Anais do V
Workshop de Pós-Graduação
Engenharia de Computação

São Paulo
2016

Comissão Organizadora

Prof. Dr. Pedro Luiz Pizzigatti Corrêa
Profa. Dra. Anarosa Alves Franco Brandão
Prof. Dr. Jorge Rady de Almeida Júnior
Ana Maria de Castro Badiali
André Rodrigues Ribeiro
Cléber Gimenez Corrêa
Hardy José Santos de Miranda
Jorge Luiz Diaz Pinaya
Mariza Ushijima Leone
Max Rosan dos Santos Júnior
Renata Maria Marè
Rosalía Edith Caya Carhuanina
Thiago Adriano Coleti

Comitê Científico

Profa. Dra. Anarosa A. F. Brandão (EPUSP)
Prof. Dr. André R. Hirakawa (EPUSP)
Profa. Dra. Anna H. R. Costa (EPUSP)
Prof. Dr. Bruno C. Albertini (EPUSP)
Prof. Dr. Carlos E. Cugnasca (EPUSP)
Dr. Cléber G. Corrêa (EACH-USP)
Prof. Dr. David Martins (UFABC)
Prof. Dr. Edison Spina (EPUSP)
Profa. Dra. Elisângela S. C. Rodrigues (UFMS)
Profa. Dra. Fabiana Santana (University of Canberra)
Prof. Dr. Fabio G. Cozman (EPUSP)
Prof. Dr. Fábio L. Siqueira (EPUSP)
Prof. Dr. Fabrício Rodrigues (UFMS)
Profa. Dra. Fátima L. S. Nunes (EACH-USP)
Prof. Dr. Fernando E. Corrêa (UNIMEP)
Prof. Dr. Fernando R. Kakugawa (Anhembi Morumbi)
Prof. Dr. Flávio S. C. Silva (IME-USP)
Prof. Dr. Gabriel M. Dias (Universitat Pompeu Fabra)
Prof. Dr. Hae Y. Kim (EPUSP)
Prof. Dr. Jaime S. Sichman (EPUSP)
Prof. Dr. João B. Camargo Jr. (EPUSP)
Prof. Dr. João J. Neto (EPUSP)
Prof. Dr. João L. Bernardes Jr. (EACH-USP)
Prof. Dr. Jorge R. Almeida Jr. (EPUSP)
Prof. Dr. Jorge L. Risco (EPUSP)
Prof. Dr. José S. C. Martini (EPUSP)
Prof. Dr. Lisandro Z. Granville (UFRGS)
Profa. Dra. Lucia V. L. Filgueiras (EPUSP)
Prof. Dr. Marcelo Morandini (EACH-USP)
Prof. Dr. Marco T. C. Andrade (EPUSP)
Prof. Dr. Marcos A. Simplício Jr. (EPUSP)
Dr. Osvaldo Gogliano Sobrinho (Abili Tecnologia da Informação)
Prof. Dr. Pedro L. P. Corrêa (EPUSP)
Prof. Dr. Ricardo L. A. Rocha (EPUSP)
Prof. Dr. Romero Tori (EPUSP)
Profa. Dra. Solange N. A. Souza (EPUSP)
Dr. Silvio L. Stanzani (Intel)
Dra. Wannessa R. Fonseca (CEPROMAT)
Dr. Wellington Lopes (Red Hat Brasil)
Prof. Dr. Wilson V. Ruggiero (EPUSP)

Universidade de São Paulo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

POLI USP

USP

Catalogação na Publicação

Workshop de Pós-Graduação Engenharia de Computação

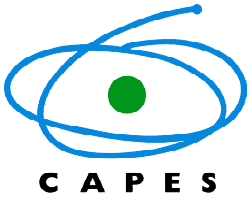
Anais do V Workshop de Pós-Graduação em Engenharia de Computação – WPGEC, São Paulo, SP, 24 de novembro de 2016 / organizado por Pedro L.P. Corrêa et al. – São Paulo: PCS/POLI/USP, 2016.

ISBN: 978-85-86686-91-7

1. Engenharia da computação. 2. Ciência da computação. 3. Ciência da informação. I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação. II. T.

CDD 621.39

Patrocínio



Apoio

Apresentação

Este volume consiste dos resumos expandidos e das comunicações de publicações incluídos na 5ª edição do Workshop de Pós-Graduação em Engenharia de Computação (V WPGEC 2016), realizado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), no Prédio da Engenharia Elétrica da EPUSP no dia 24 de novembro de 2016 (pcs.usp.br/wpgec2016).

A EPUSP oferece diversos programas de Pós-Graduação – mestrado, doutorado e doutorado direto. Dentre eles está o de Engenharia Elétrica, cuja Área de Concentração "Engenharia de Computação" é de responsabilidade dos professores do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais (PCS/EPUSP), sendo o curso reconhecido e avaliado regularmente pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), fundação do Ministério da Educação (MEC), com nota "6" (entre 1 e 7). A área de concentração Engenharia de Computação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) conta com três linhas de pesquisa relacionadas a seguir. **A) Sistemas de Informação e Aplicações Computacionais**, envolvendo sistemas computacionais e banco de dados relacionados ao agronegócio, gestão de dados científicos, ambiente, logística, governo, metro-ferroviários, aeronáuticos, confiabilidade, segurança crítica, automação e sistemas complexos. **B) Organização de Sistemas Computacionais,** envolvendo redes de computadores; desempenho de sistemas Computacionais; segurança da informação e de redes; arquitetura de computadores; sistemas dedicados; arquitetura e processamento paralelos. **C) Metodologias de Computação** envolvendo inteligência artificial**,** sistemas multiagentes, visão computacional, ciência dos dados, robótica inteligente, aprendizado de máquina, técnicas adaptativas, engenharia de conhecimento, computação gráfica, realidade aumentada, interface humano-computador e computação na educação.

O WPGEC tem por objetivo difundir as pesquisas e estimular a colaboração entre os alunos e professores do PPGEE/EPUSP, e também com os demais pesquisadores e a comunidade em geral, interessados no tema.

Nós gostaríamos de agradecer imensamente a todos os participantes por compartilharem discussões sobre pesquisas desenvolvidas pelos pós-graduandos do PPGEE/EPUSP, contribuindo dessa maneira com a formação dos pesquisadores na área de Engenharia de Computação do programa.

São Paulo, 24 de novembro de 2016.
Comitê Organizador do V WPGEC 2016

Agenda do WPGEC 2016

08:00	**Credenciamento**	
08:30	**Sessão de Abertura**	
09:00 09:30	**Palestra convidada** Desafios e oportunidades em pesquisa na IBM Research no Brasil Ulisses T. Mello, IBM Research - Brasil Session Chair: Profa. Dra. Anarosa Alves Franco Brandão	
10:00	**Coffee Break**	
10:30 11:00 11:30	**Apresentações de trabalhos selecionados** Apresentação oral de trabalhos Session Chair: Prof. Dr. João José Neto	Trabalho 29 (10 min) Trabalho 30 (10 min) Trabalho 31 (10 min) Trabalho 36 (10 min) Trabalho 46 (10 min) Trabalho 49 (10 min) Trabalho 55 (10 min) Trabalho 63 (10 min) Trabalho 67 (10 min)
12:00 12:30 13:00 13:30	**Almoço** Exibição de pôsteres Session Chair: Profa. Dra. Tereza Cristina Melo de Brito Carvalho	
14:00 14:30	**Palestra convidada** Ericsson: 17 Anos de Pesquisa no Brasil – Passado, Presente e Futuro Eduardo B. L. Oliva, Diretor de Pesquisa - Ericsson Session Chair: Prof. Dr. Jorge Rady	
15:00 15:30 16:00	**Apresentações de trabalhos selecionados** Apresentação oral de trabalhos Session Chair: Profa. Dra. Líria Matsumoto Sato	Trabalho 02 (10 min) Trabalho 11 (10 min) Trabalho15 (10 min) Trabalho 21 (10 min) Trabalho 22 (10 min) Trabalho24 (10 min) Trabalho 25 (10 min) Trabalho 26 (10 min) Trabalho 27 (10 min)
16:30	**Coffee Break** Exibição de pôsteres selecionados Session Chair: Prof. Dr. Ricardo Nakamura	
17:00	**Sessão de Premiação e Encerramento**	

Apresentação Oral

Horário	Autores/Título
10h30min 10h40min	Felipe Leno da Silva e Anna Helena Reali Costa. Transfer Learning for Multiagent Reinforcement Learning
10h40min 10h50min	Bruno Sofiato e Ricardo Luis de Azevedo da Rocha. Anotações para Definição de Igualdade em Java
10h50min 11h00min	Priscilla Avegliano e Jaime Simão Sichman. A two-phase method for parameter calibration in agent-based social simulations
11h00min 11h10min	Leandro Luque, Leônidas Brandão and Anarosa Alves Franco Brandão. Bringing down barriers: a method to include blind people in cooperative modeling
11h10min 11h20min	Ruben Glatt e Anna Helena Reali Costa. Improving Deep Reinforcement Learning through Knowledge Transfer
11h20min 11h30min	Everton Reis e Jaime Simão Sichman. PROFITS: A MultiAgent System for Stock Portfolio Management
11h30min 11h40min	Ricardo Jacomini e Anna Helena Reali Costa. Clustering and multivariate analyses on inference of gene regulatory networks
11h40min 11h50min	Vladimir Rocha e Anarosa Alves Franco Brandão. Uma Arquitetura Escalável para Recuperação e Atualização de Informações Vinculadas
11h50min 12h00min	Ricardo Mitollo Bertani e Anna Helena Reali Costa. Improving the accuracy in diffusion-based recommender algorithms via user profile learning
15h00min 15h10min	Ariana Moura da Silva, André Lins Gonzalez e Ricardo Luis de Azevedo da Rocha. Utilização de Técnicas de Processamento de Linguagem Natural para Análise de Sentimentos relacionados à Segurança em Grandes Eventos
15h10min 15h20min	Arthur Casals e Anarosa Brandão. rHoA: Extension of a High-Order Agent Model with Contextual Planning
15h20min 15h30min	Suelane Garcia Fontes, Pedro Luiz Pizzigatti Corrêa e Silvio Luiz Stanzani. Estratégias de Análise de Trajetórias
15h30min 15h40min	Roberto Fray da Silva e Carlos Eduardo Cugnasca. Proposta de framework para integração de dados heterogêneos em cadeias de suprimentos agroindustriais
15h40min 15h50min	Andreiwid Corrêa, Pedro Corrêa e Flávio Silva. Uma Arquitetura de Referência Colaborativa para Estruturação de Dados Abertos Governamentais
15h50min 16h00min	Leonardo S. Silva, Fátima L. S. Nunes e Ricardo Nakamura. Visualização de Informação com interação multimodal aplicada ao problema do acesso e integração de dados médicos
16h00min 16h10min	Cyntia E. H. Nishida e Anna Helena Reali Costa. Técnica de Aprendizado por Reforço em Lote para controlar Redes de Regulação Gênica
16h10min 16h20min	Eduardo Alves e Anna Helena Reali Costa. Multiple Model SLAM: An Approach to Large-Scale Environments
16h20min 16h30min	Gabriel Martins Dias, Boris Bellalta, Simon Oechsner e Cíntia Borges Margi. Using Data Prediction Techniques to Reduce Data Transmissions in the IoT

Artigos - Mestrado

rHoA: Extension of a Higher-Order Agent Model with Contextual Planning..... 1
CASALS, A.; BRANDÃO, A. A. F.

Annotations for Defining Equality on Java..... 5
SOFIATO, B.; ROCHA, R. L. A.

Otimização da qualidade de serviço para um sistema em Cloud Gaming com implementação de camadas e predição de movimento..... 9
SADAIKE, M. T.; BRESSAN, G.

Collaborative Security Architecture for Cloud Computing Systems..... 13
ALMEIDA, T. R. M.; SIMPLICIO JR, M. A.

Text recognition improvement using a novel iterative method and super-resolution..... 17
VALIENTE, R.; BRESSAN, G.

An evaluation of trust models in agent simulated supply-chains..... 23
JALBUT, A.; SICHMAN, J.

PROFITS: A MultiAgent System for Stock Portfolio Management..... 26
REIS, E. R.; SICHMAN, J. S.

Improving the accuracy in diffusion-based recommender algorithms via user profile learning..... 30
BERTANI, R. M.; COSTA, A. H. R.

Utilização de Técnicas de Processamento de Linguagem Natural para Análise de Sentimentos relacionados à Segurança em Grandes Eventos..... 34
SILVA, A. M.; GONZALEZ, A. L.; ROCHA, R. L. A.

Software-Defined Networking (SDN): frame switching process analysis..... 38
WEBER, C. E.; SILVEIRA, R. M.

Scheduling Method for Cloud Computing Energy Management..... 42
NASCIMENTO, V. T.; CARVALHO, T. C. M. B.; GIMENES, A. L. V.

Analysis of V2V communication technologies with focus on safety..... 46
SILVA, T. A.; CAMARGO JR, J. B.

Safety and Resiliency Analysis of Critical Automotive Cyber-Physical Systems (ACPS) through the technique Safety Cases..... 51
GONZÁLEZ, R. I. R.; CAMARGO JR, J. B.

Physics Game using Adaptivity with Felder-Silverman Learning Styles..... 55
PITUBA, J. L.; NAKAMURA, R.

Hazard Analysis of the Autonomous Vehicle Control System..... 57

TANCREDI MOLINA, C. B. S.; ALMEIDA JR, J. R.

A study of the applicability of data sanitization techniques in a cloud computing environment..... 60
SBAMPATO, F. V.; CARVALHO, T. C. M. B.

Using (Partially) Homomorphic Encryption to Ensure Data Privacy on Cloud Databases..... 64
COMINETTI, E. L.; SIMPLICIO JR, M. A.

WebGLOR — Um Sistema de geração de pacientes artificiais para a construção de Classificadores de Aprendizagem de Máquina para o diagnóstico do Glaucoma..... 68
OLIVEIRA, G. O.; GOMI, E. S.

Análise do desempenho na execução de Redes Neurais Convolucionais em Software e em Hardware FPGA..... 71
POL, F. ; GOMI, E. S.

Learning Options for Transfer Learning in Multiobjective Reinforcement Learning..... 74
BONINI, R. C.; COSTA, A. H. R.

Meta-Organizations Modeling..... 78
LUDESCHER, L. G.; SICHMAN, J. S.

Analysis of Requirements Elicitation Techniques for Developing Crowdsourcing Systems..... 80
BERTASSI, E.; SPINA, E.

ALTO-VC: Integração proativa entre redes de distribuição de conteúdo e redes definidas por software..... 84
HERNANDEZ, M. P.; CHIGAMI, L.; KOPP, S.; SILVEIRA, R. M.

Análise de atributos obtidos com o uso de Redes Neurais Convolucionais para determinação de similaridade de imagens em Acervos Históricos e Culturais..... 88
AGARIE JR, C.; GOMI, E. S.

Artigos - Doutorado

Transfer Learning for Multiagent Reinforcement Learning..... 92
SILVA, F. L.; COSTA, A. H. R.

Intelligent retrieval of 3D medical cardiac objects using regionalised search and selection for computer aided diagnosis of Cardiomyopathy..... 96
BERGAMASCO, L. C. C.; NUNES, F. L. S.

A two-phase method for parameter calibration in agent-based social simulations..... 100
AVEGLIANO, P.; SICHMAN, J. S.

Efficient Blind Signatures from Lattices..... 104
RICARDINI, J. E.; BARRETO, P. S. L. M.

Bringing down barriers: a method to include blind people in cooperative modeling..... 107
LUQUE, L.; BRANDÃO, A. A. F.; OLIVEIRA BRANDÃO, L.

Improving Deep Reinforcement Learning through Knowledge Transfer..... 111
GLATT, R.; COSTA, A. H. R.

Mecanismo para predição de valores e determinação dinâmica dos intervalos de amostragem em uma rede de sensores..... 115
SANTOS JÚNIOR, M. R.; SANTOS, I. M.; CUGNASCA, C. E.

Clustering and multivariate analyses on inference of gene regulatory networks..... 119
JACOMINI, R. S.; COSTA, A. H. R.; MARTINS-JR, D. C.

A Scalable Multiagent Architecture for Retrieving and Updating Vinculated Information..... 123
ROCHA, V.; BRANDÃO, A. A. F.

Metrics for Network Neutrality according to Marco Civil da Internet..... 127
PATRÍCIO, N. S.; SPINA, E.

Transposition of Logical Puzzle from Traditional to Digital Environment..... 131
TABUTI, L. M.; NAKAMURA, R.; ROCHA, R. L. A.

Trajectory Analysis of Strategies..... 135
FONTES, S. G.; CORRÊA, P. L. P.; STANZANI, S. L.

Automatically configuring heuristics by resource exchange..... 139
DE CARVALHO, V. R.; SICHMAN, J. S.

Applying metrics to improve the shared metadata classification on social networking systems..... 143
SANTOS, B. Z.; ALMEIDA JR, J. R.

Proposta de framework para integração de dados heterogêneos em cadeias de suprimentos agroindustriais..... 147
SILVA, R. F.; CUGNASCA, C. E.

Metodologia para Paralelizar Laços Aninhados com Processamento Heterogêneo em Sistemas Paralelos e Distribuídos..... 151
LUZ, C. S. F.; SATO, L. M.

Sustainability and innovation metrics applied in the production chain of Brazilian software companies..... 155
MACHADO, M. C.; CARVALHO, T. C. M. B.

A Proposal for an Approach to Support Sharing, Reusing and Analysis of Usability Testing Integrated Data..... 159
COLETI, T. A.; CORREA, P. L. P.; MORANDINI, M.

A Reference Collaborative-Oriented Architecture for Structuring Information to Open Government Data..... 163
CORRÊA, A. S.; CORRÊA, P. L. P.; SILVA, F. S. C.

Visualização de Informação com interação multimodal aplicada ao problema do acesso e integração de dados médicos..... 167
SILVA, L. S.; NUNES, F. L. S.; NAKAMURA, R.

Discrete Event Systems Modeling using Adaptive Petri Nets..... 171
GUIBU, H. I.; NETO, J. J.

Batch Reinforcement Learning technique to control Gene Regulatory Networks..... 175
NISHIDA, C. E. H.; COSTA, A. H. R.

Legal guidelines for privacy engineering..... 179
KERR, V. K. S.; SPINA, E.

Model of Food Conservation System Based on IoT-A and Adaptive Decision Table..... 182
KAWANO, B. R.; CUGNASCA, C. E.

Redes de Sensores sem Fio: Proposta de um Método de Roteamento Adaptativo com Base em Tabela Hash..... 186
MIGUEL, S. D.; HIRAKAWA , A. R.

Multiple Model SLAM: An Approach to Large-Scale Environments..... 188
ALVES, E.; COSTA, A. H. R.

Agile Methods Adherence to Software Quality Model CMMI Focusing in Software Documentation and Knowledge Management..... 192
KAWAMOTO, S.; ALMEIDA JR, J. R.

A Process of Classification for Open Educational Resources based on Provenance Information..... 196
SHEUNEMANN, S. S.; BRANDÃO, A. A. F.

Using Data Prediction Techniques to Reduce Data Transmissions in the IoT..... 199
DIAS, G. M.; BELLALTA, B.; OECHSNER, S.; MARGI, C. B.

Comunicações de Publicação

Impact of Immersive Technology Applied in Computer Graphics Learning..... 204
MOREIRA, P. M.; OLIVEIRA, E. C.; TORI, R.

A process for text recognition of generic identification documents over cloud computing..... 205
VALIENTE, R.; SADAIKE, M. T.; GUTIÉRREZ, J. C.; SORIANO, D. F.; BRESSAN, G.; RUGGIERO, W.

Visible Light Communication Applied to Intelligent Transport Systems: an Overview..... 206
MARÈ, R. M.; MARTE, C. L.; CUGNASCA, C. E.

A Provenance-Based Approach for Reusing Biodiversity Data Products..... 207
SILVA, D. L.; BATISTA, A. F.; BORBA, C.; CORREA, A.; GARCIA, S.; CORRÊA, P. L. P.

Visual Analytics improving Data Understandability in IoT Projects: An Overview of the U.S. DOE ARM Program Data Science Tools..... 208
BATISTA, A. F. M.; CORRÊA, P. L. P.; PALANISAMY, G.; FONTES, S. G.

IEEE 802.15.4e TSCH mode performance analysis..... 209
ALVES, R. C. A.; MARGI, C. B.

Biologically-inspired Neural Network for Walking Stabilization of Humanoid Robots..... 210
CASTRO, G. B.; TAMURA, K.; KAWAMURA, A.; HIRAKAWA, A. R.

Duty Cycle Based Energy Management Tool for Wireless Sensor Networks..... 211
SEGURA, G. A. N.; MARGI, C. B.

Using Keywords to Support the Verbalization in Usability Evaluation..... 212
COLETI, T. A.; MORANDINI, M.; CORRÊA, P. L. P.; SILVA, D. L.; BOSCARIOLI, C.

A Survey for Monitoring the Users´ Profile and Information Technology Needs in Information Systems..... 213
COLETI, T. A.; MORANDINI, M.; CORRÊA, P. L. P.

A Conceptual Middleware for Adaptive Sanctioning in Normative Multi-Agent Systems..... 214
DE LIMA, I. C. A.; NARDIN, L. G.; SICHMAN, J. S.

MSGRANUL: Correlation-based Granulometry and MSER Applied to Bacteria Counting..... 215
SILVA, J. M. J.; BALIAN, S. C.; KIM, H. Y.

Artigos
Mestrado

rHoA: Extension of a Higher-Order Agent Model with Contextual Planning

rHoA: Extensão de Um Modelo de Agente de Alta Ordem com Planejamento Contextual

CASALS, A.; BRANDÃO, A.A.F.
Laboratório de Técnicas Inteligentes - Universidade de São Paulo
arthur.casals@ieee.org, anarosa.brandao@usp.br

***Abstract*—Ambient Intelligence (AmI) refers to electronic environments (systems and devices integrated to a physical environment) that are sensitive to the presence of individuals and objects [1]. This characteristic implies responsiveness – the system or device uses information about the physical environment to perform specific actions or functions. This information also includes contextual information, referring to the information related to the individuals present in the environment and their situational context. Among the different system models that can benefit from this concept are included the multi-agent systems, which are systems composed by multiple interacting agents running in an environment. One of the architectures used to program these agents is called BDI (belief-desire-intention), which uses the concepts of belief, desire and intention as a basis for the problem-solving mechanism used by the agent to reason. With that in mind, a higher-order agent architecture was developed to be used in situations involving dynamic contextual planning [2,3]. This work aims at extending this architecture in order to make it possible for a higher-order agent to use social, temporal, and spatial information extracted from the context with its problem-solving mechanism.**

***Keywords*— multi-agent systems; BDI; context-based systems; AmI.**

***Resumo*—O conceito de Inteligência Ambiente (AmI) refere-se a ambientes eletrônicos (sistemas e dispositivos integrados em um ambiente físico) que são sensíveis à presença de indivíduos e objetos [1]. Esta sensibilidade é naturalmente acompanhada de responsividade – o sistema ou dispositivo em questão utiliza as informações sobre o ambiente em que se encontra para desempenhar determinadas funções. As informações de ambiente utilizadas por tais sistemas também incluem informações contextuais, que se referem às informações relacionadas aos indivíduos presentes no ambiente e o contexto em que se encontram. Dentre os possíveis modelos de sistemas a se beneficiar deste conceito encontram-se os sistemas multiagentes, que são sistemas compostos por múltiplos agentes interagindo entre si enquanto são executados num ambiente. Uma das arquiteturas utilizadas para se programar tais agentes é chamada de BDI (belief-desire-intention), que se caracteriza por utilizar os conceitos de crença, desejo e intenção como base para o mecanismo de resolução de problemas utilizado pelo agente para raciocinar. Com este mecanismo em mente, uma arquitetura de agentes foi desenvolvida para uso em situações envolvendo planejamento contextual dinâmico [2,3], que considerava apenas o contexto espacial na seleção de planos. O objetivo deste trabalho é estender e consolidar a arquitetura desenvolvida de forma que um agente possa utilizar informações sociais, temporais e espaciais extraídas do contexto ambiente em seu mecanismo de resolução de problemas.**

***Palavras-chave*— sistemas multiagentes; BDI; sistemas sensíveis ao contexto; AmI.**

I. INTRODUÇÃO

O conceito de Inteligência Ambiente (AmI) está vinculado, de forma geral, aos conceitos de adaptabilidade e personalização: uma vez que sistemas e dispositivos passam a capturar e utilizar informações sobre o ambiente em que se encontram para desempenhar suas funções, as interações entre estes e os indivíduos presentes no mesmo ambiente são modificadas e refinadas a ponto de proporcionar a melhor experiência possível para aquele determinado contexto. O nível de adaptabilidade proporcionado por tais sistemas e dispositivos depende de diversas tecnologias: sensores, integração e interoperabilidade entre dispositivos, redes sem fio e interfaces centradas em humanos são algumas delas. Tal adaptabilidade pode ser explorada em diversas situações; uma das situações mais promissoras, focada em pessoas que necessitam de cuidados especiais, é chamada de *Ambient Assisted Living* (AAL), e tem como objetivo facilitar ou automatizar tarefas cotidianas quando necessário [1].

Para que este nível de adaptabilidade seja proporcionado, é preciso que a tecnologia utilizada pelos sistemas e dispositivos envolvidos seja capaz de capturar o estado atual do ambiente em que se encontram, descrito através de informações relevantes para o processo de adaptabilidade envolvido. Sistemas e dispositivos capazes de capturar este tipo de informação (e utilizá-la para adaptar suas funcionalidades ao contexto capturado) são chamados de sistemas sensíveis a contexto (*context-aware*) [4]. Tais sistemas são capazes de capturar a informação disponível no ambiente através de sensores físicos, armazenando-a e comparando-a com o modelo de contexto programado de forma a determinar sua relevância.

Dentre os métodos que podem ser utilizados por um sistema sensível a contexto para se programar e analisar a relevância da informação disponível sobre o ambiente encontra-se a utilização

de sistemas multiagentes. Tais sistemas são compostos por múltiplos agentes interagindo entre si, e são normalmente utilizados em situações nas quais um determinado conjunto de funcionalidades não pode ser desempenhado por um sistema monolítico [5,6]. Agentes são entidades que percebem o ambiente em que se encontram através de diferentes tipos de sensores (câmeras, sensores biométricos, detectores de ruído, etc.) e agem sobre este mesmo ambiente através de atuadores (motores, alto-falantes, componentes de software, etc.). Para cada tarefa realizada por um agente (atuação sobre o ambiente em que se encontra), define-se o grau de sucesso na realização desta tarefa como medida de desempenho. Esta definição é essencial para a caracterização do agente racional – um agente que, para cada ação possível, escolhe a que maximize sua medida de desempenho. Agentes racionais devem ser autônomos, ou seja, capazes de raciocinar e se adaptas a situações novas. Estes agentes podem ser construídos a partir de diversas arquiteturas, utilizando estruturas mais simples (ações tomadas a partir de um mapeamento prévio entre percepções possíveis e ações a se executar) ou mais complexas (estruturas cognitivas que possibilitam o aprendizado a partir da observação do resultado de ações executadas sobre o ambiente). A estrutura de um agente é formada por componentes de hardware (dispositivo onde o agente é implementado) e software; o foco deste trabalho, no entanto, reside em agentes de *software*.

Uma das arquiteturas utilizadas para se programar agentes racionais (ou inteligentes) é chamada de BDI [7,8]. Esta arquitetura utiliza os conceitos de crença, desejo e intenção como base para o mecanismo de resolução de problemas utilizado pelo agente inteligente. A utilização de tais conceitos permite que se crie um mecanismo capaz de separar as atividades de escolha de um plano de ação (composto pelas atividades que o agente irá realizar) e a execução deste mesmo plano. Esta separação permite que um agente específico planeje o melhor curso de ação possível (dentre os cursos de ação disponíveis) a partir das informações que possui antes de executar as ações propriamente ditas – característica importante em um sistema que possua a premissa de adaptar suas funcionalidades a determinadas situações.

Com o objetivo de utilizar de forma conjunta a arquitetura BDI em sistemas multiagentes e as informações de contexto disponíveis em um ambiente inteligente, desenvolveu-se uma arquitetura para agentes inteligentes (sob o modelo BDI) que possibilitasse o uso de informações contextuais em sua etapa de planejamento de curso de ação [2,3]. A utilização de informações de contexto (capturadas a partir do ambiente físico) em sistemas BDI permite, portanto, que as ações a serem executadas por um conjunto de agentes possam ser selecionadas de acordo com as condições de contexto, de forma dinâmica (mudanças no ambiente podem levar a mudanças nos planos de ação executados pelos agentes inteligentes).

A implementação desta arquitetura – denominada HoA [2] – valeu-se de uma linguagem algébrica formal para a estruturação e avaliação dos planos pelos agentes de forma dinâmica, em tempo de execução. A arquitetura implementada foi testada em cenários envolvendo decisões dependentes de informações contextuais espaciais (dimensão física) e conjuntos específicos de restrições aplicadas a estas informações. O objetivo deste trabalho é a extensão da arquitetura originalmente implementada de forma que informações contextuais em outras dimensões (temporal e social) também possam ser utilizadas pelos agentes. Também faz parte desta extensão a definição de uma linguagem de restrições que possa ser utilizada pelos agentes.

II. ARQUITETURA HOA

A. *Arquitetura Original*

Por ter como foco sistemas BDI inseridos no contexto de Inteligência Ambiente, a arquitetura implementada pressupõe algumas características inerentes aos agentes modelados:

- O agente é autônomo, ou seja, pode operar sem qualquer tipo de intervenção humana.
- O agente é antecipativo e pode processar decisões racionais, baseada em suas próprias crenças.
- O agente é sensível a contexto, ou seja, possui informações relevantes sobre o ambiente em que se encontra.

Com base nestas premissas, estruturou-se a arquitetura do agente de forma que seu processo de planejamento pudesse ser observado de forma evolutiva. Desta forma, um agente HoA possui três etapas processuais distintas:

- Processo Contextual: refere-se ao processo responsável pela informação contextual utilizada pelo agente. É disparado tanto por novas percepções sobre o ambiente quanto por resultados de ações executadas pelo agente, registrando sucessos e falhas decorrentes de tais execuções (eventos internos). Este processo antecede a porção cognitiva do agente HoA.
- Processo Mental: corresponde à primeira porção cognitiva do agente inteligente. Recebe informações relevantes do processo de contexto para que, se necessário, possa rever as informações existentes referentes às crenças, desejos e intenções do agente.
- Processo de Planejamento: corresponde à segunda porção cognitiva do agente inteligente. É invocado pelo processo mental, e tem como função principal produzir um conjunto de ações (plano de execução) a serem executadas pelo agente, a partir da biblioteca de planos original (LibP) e do conjunto atualizado de intenções.

A arquitetura do agente HoA pode, assim, ser desenhada conforme mostrado na Figura 1.

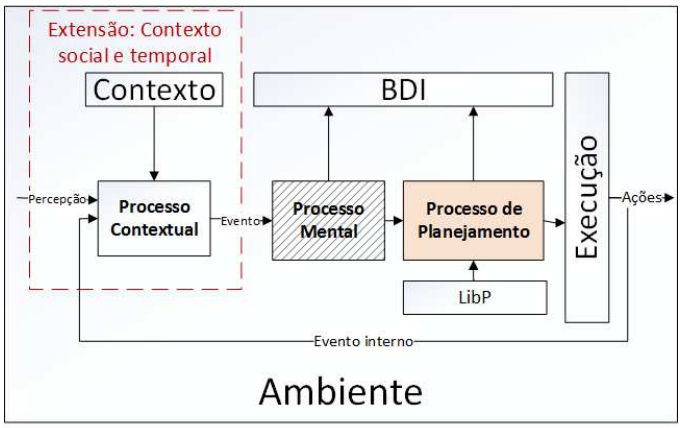


Fig. 1. Arquitetura de um agente HoA (adaptado de [2])

É importante observar que os estados relacionados às crenças, desejos e intenções do agente (estado BDI) estão relacionados somente aos processos contextual e mental, de forma que o estado final do agente é um par composto por seu estado BDI e seu estado de planejamento (referente ao processo de planejamento). O estado do agente pode, portanto, ser alterado tanto por mudanças em seu estado BDI quanto em seu estado de planejamento.

Um outro ponto importante refere-se ao Processo de Planejamento: ao ser responsável pela produção de um plano de execução de ações, tal processo passa a ser responsável por alguns aspectos referentes ao gerenciamento dos planos disponíveis para o agente. O planejamento da execução de ações envolve, por exemplo, a verificação da exequibilidade de cada ação. É responsabilidade do Processo de Planejamento, portanto, a montagem de planos de execução compostos somente por planos exequíveis a partir das condições de contexto observadas. Esta responsabilidade pode ser exemplificada por um uma situação que envolva planos condicionados a horários-limite e.g., a partir de determinados horários certos planos não podem ser mais executados. O horário atual é parte das informações de contexto utilizadas pelo agente; assim, ainda que um plano esteja disponível na biblioteca de planos (LibP), o mesmo não pode ser executado se o horário atual tiver ultrapassado o horário-limite vinculado ao plano em questão.

B. *Estrutura dos Planos*

Os planos utilizados pelo agente HoA são compostos por sub-planos. Cada sub-plano representa um conjunto de ações visando a execução de uma determinada intenção, e é composto por um conjunto de planos elementares, que são armazenados em uma biblioteca de planos (LibP na Figura 1). Desta forma, durante o processo de planejamento o agente pode elaborar planos para atingir suas intenções, utilizando ao mesmo tempo as informações de que dispõe em um determinado momento e os planos elementares existentes em sua biblioteca. Este processo de planejamento é, portanto, dinâmico, e pode ser disparado sempre que houver mudanças relevantes no ambiente em que se insere o agente.

C. *Informações de Contexto*

As informações de contexto consideradas na implementação original da arquitetura referem-se primariamente à dimensão espacial. Assim, tanto a relevância das informações coletadas quanto a biblioteca de planos elementares encontram-se restritas a esta dimensão. Os cenários explorados na implementação original da arquitetura também estão sujeitos à mesma condição, de forma que todo o estudo de planejamento contextual ocorre somente na dimensão espacial.

III. Extensão da Arquitetura Original

A expansão da arquitetura original, batizada de rHoA (*rich* HoA) – objeto do presente trabalho – foi realizada tendo como motivação principal a restrição de dimensão existente nas informações de contexto. Ao se considerar os requisitos de um sistema inserido no âmbito de Inteligência Ambiente, entende-se que os quesitos de adaptabilidade e personalização devem levar em consideração tantas dimensões de informação contextual quanto possíveis, desde que relevantes para a descrição do contexto. As informações referentes a estas dimensões podem, assim, ser processadas pelo agente de forma a se obter uma compreensão apurada do contexto em que se encontra, possibilitando um planejamento mais refinado das ações a se tomar, adequado às várias condições do ambiente.

A primeira parte da extensão da arquitetura original está focada no aumento de dimensões de informação contextual. Incluiu-se, portanto, duas dimensões de informação à arquitetura em questão: as dimensões temporal e social. A dimensão temporal refere-se ao momento em que se insere o contexto; este momento pode ser discretizado de diferentes formas (hora do dia, período do dia, estação do ano). Em um dado ambiente, o momento pode determinar a modificação de uma restrição, por exemplo, ou a adição de novos planos elementares referentes a outras dimensões (é possível, por exemplo, percorrer um determinado trecho a pé durante o verão, mas não durante o inverno).

A segunda dimensão – social – refere-se aos indivíduos presentes no ambiente. Sua influência no contexto é um pouco mais elaborada, podendo ocasionar eventos de replanejamento mais complexos por parte do agente. Esta condição é exemplificada mais facilmente através do conceito de papéis que podem ser assumidos por um determinado indivíduo. Ao utilizar as informações de uma estrutura organizacional hierárquica em seu processo de raciocínio, por exemplo, um agente inteligente pode considerar a posição do indivíduo na organização durante o planejamento de suas ações.

A utilização destas dimensões por um agente inteligente pode ser exemplificada através de um cenário real: a implementação de um sistema de controle de acessos físicos em um prédio comercial. Uma ação vinculada a uma permissão física – acesso a uma determinada sala dentro de um prédio, por exemplo – pode ou não ser executada dependendo (i) da posição que o indivíduo ocupa na organização em questão (permissões vinculadas à posição hierárquica) e (ii) do horário em que a ação é executada (o acesso a uma sala comum pode ser restrito a partir de um certo horário, ou durante um certo período no dia).

O exemplo descrito considera uma estrutura organizacional como parte do contexto social. Esta dimensão, no entanto, não se limita a estruturas organizacionais: a presença de mais de um indivíduo no ambiente, por exemplo, pode levar o agente a planejar ações específicas não somente para o indivíduo que ocupa a posição hierárquica mais alta, como também para o número de pessoas presentes no ambiente. Desta forma, uma determinada ação (anunciar as condições meteorológicas atuais) pode ser executada direcionada a uma pessoa (mensagem de texto em dispositivo móvel individual) ou a um grupo de pessoas (anuncio em alto-falante).

A metodologia utilizada para a extensão da arquitetura original envolveu os seguintes passos:

- Identificar dimensões de informação relevantes para a descrição do contexto.
- Adequar a implementação original da arquitetura para comportar as dimensões de informação identificadas.
- Estender a biblioteca de planos elementares de forma a incluir planos referentes às novas dimensões de informação.
- Aplicar a arquitetura estendida à simulação de um cenário real, possibilitando o estudo do processo de tomada de decisões utilizado pelos agentes inteligentes.

O penúltimo passo materializa-se na segunda parte da expansão da arquitetura original. Para que a biblioteca de planos elementares comportasse planos referentes às novas dimensões de informação, foi necessário definir uma linguagem de restrições que pudesse ser utilizada para a descrição e estruturação dos planos pelo agente. Esta linguagem foi especialmente influenciada pela dimensão social, uma vez que a associação de papéis a indivíduos traduz-se na utilização de conjuntos de restrições associados a cada papel. Se um determinado indivíduo assumir mais de um papel, portanto, estas restrições devem ser aglutinadas e processadas de forma que o conjunto de restrições resultante seja coerente com cada papel atribuído ao indivíduo.

IV. Conclusão e Trabalhos Futuros

A extensão da arquitetura HoA é um trabalho em andamento, mas tem se mostrado adequada para o tratamento das informações de contexto em todas as dimensões consideradas. Uma utilização prática da extensão proposta está sendo desenvolvida na forma de um cenário envolvendo exemplos similares aos descritos ao longo do texto. No cenário trabalhado, agentes inteligentes são associados a estudantes e professores (atores ocupando diferentes posições em uma organização) com acesso a diferentes recursos (permissões de acesso, meios de locomoção, poder de tomada de decisão em diferentes situações). Neste cenário, os agentes estendidos são aplicados de forma a poder planejar e executar diferentes planos de ação de acordo com as mudanças de contexto observadas (em todas as dimensões descritas). Desta forma, os planos de ação dos agentes são reavaliados a cada mudança pertinente observada (horário, presença ou ausência de determinadas pessoas no mesmo ambiente), tornando possível não somente a mudança de cursos de ação a partir de mudanças no contexto observado como também a colaboração entre agentes em prol da execução de seus objetivos.

A linguagem de restrições desenvolvida está sendo adequada para possibilitar o tratamento de informações de contexto mais complexas – especialmente em relação às informações de dimensão social. Os próximos passos do trabalho envolvem a validação da arquitetura estendida em cenários mais complexos e a comparação com arquiteturas de sistemas multiagentes já existentes, de forma a se validar as contribuições reais proporcionadas pela arquitetura proposta no âmbito de Inteligência Ambiente.

Referências

[1] AARTS, Emile; WICHERT, Reiner. Ambient intelligence. In: Technology Guide. Springer Berlin Heidelberg, p. 244-249, 2009.

[2] CHAOUCHE, Ahmed-Chawki et al. A higher-order agent model with contextual planning management for ambient systems. In: Transactions on Computational Collective Intelligence XVI. Springer Berlin Heidelberg, p. 146-169, 2014.

[3] CHAOUCHE, Ahmed Chawki et al. A dynamical plan revising for ambient systems. Procedia Computer Science, v. 32, p. 37-44, 2014.

[4] HONG, Jong-yi; SUH, Eui-ho; KIM, Sung-Jin. Context-aware systems: A literature review and classification. Expert Systems with Applications, v. 36, n. 4, p. 8509-8522, 2009.

[5] WOOLDRIDGE, Michael. An introduction to multiagent systems. John Wiley & Sons, 2009.

[6] RUSSELL, S.; NORVIG, P. Artificial Intelligence, a Modern Approach. 3rd edition. Pearson, 2010.

[7] RAO, Anand S. et al. BDI agents: From theory to practice. In: ICMAS. 1995. p. 312-319.

[8] KINNY, David; GEORGEFF, Michael; RAO, Anand. A methodology and modelling technique for systems of BDI agents. In: European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World. Springer Berlin Heidelberg, 1996. p. 56-71.

Annotations for Defining Equality on Java
Anotações para Definição de Igualdade em Java

SOFIATO, B.*; ROCHA, R. L. A.*
*LTA – Laboratório de Linguagem e Técnicas Adaptativas - Escola Politécnica da USP
E-mail: bruno.sofiato@gmail.com, rlarocha@usp.br

***Abstract*— Both equality and ordering are domain-dependent concepts. As such, it is eventually necessary to write code modeling them. In spite of being intuitively understood concepts, empirical evidence points to the presence of defects related to their implementation on a broad range of open-source software. Existing solutions do not support more exotic, non-algebrical comparision semantics. Likewise, the ordering concept is not addressed. This research's main objective is to outline a language-agnostic solution capable of consistently computing both equality and ordering. In order to explore its trade-offs, an experiment on which several open-source software are migrated is conducted. Preliminary results show a greater robustness and lesser overall complexity at expense of a sensible performance hit.**

***Keywords*— Computer languages; Object oriented programming; Declarative programming;**

***Resumo*— Tanto a igualdade quanto a ordem são conceitos dependentes do domínio. Sendo assim é necessário escrever código que os modelem. Apesar de serem conceitos intuitivamente conhecidos, evidências empíricas mostram defeitos relativos à sua implementação em uma variada gama de programas de código-aberto. Soluções existentes não dão suporte a semânticas de comparação mais exóticas e não tratam o conceito de ordem. O principal objetivo desta pesquisa é delinear uma solução agnóstica à linguagem de programação, capaz de computar tanto a ordem quanto a igualdade de forma consistente. De modo a estudar os ganhos e perdas, é conduzido um experimento no qual diversos programas de código-fonte aberto são migrados. Resultados preliminares mostram uma maior robustez e menor complexidade, à custa de uma sensível perda de desempenho.**

***Palavras-chave*— Linguagens de programação; Programação orientada a objetos; Programação declarativa;**

I. Introdução

Os conceitos de igualdade (do latim *aequalis*) e de ordem são usados diariamente de forma intuitiva quando se deseja comparar objetos (por exemplo, quando deseja-se identificar qual pessoa é a mais alta de um grupo de pessoas ou comparar o preço de dois produtos). Pode-se notar a existência de uma relação intrínseca entre o conceito de igualdade e ordem: se dois números x e y são diferentes, ou x é menor que y ou y é menor que x.

O real significado de ambos os conceitos depende porém do domínio estudado [1]. Por exemplo, duas figuras geométricas são consideradas iguais quando são congruentes – têm a mesma forma e tamanho. Logo, um desenvolvedor eventualmente necessita modelá-los durante o desenvolvimento de programas de computador.

Apesar de serem de fácil compreensão, a modelagem desses conceitos é problemática: trabalhos [2], [3] apontam para um grande número de defeitos em suas implementações. Esses defeitos acarretam problemas como o mau-funcionamento esporádico de estruturas de dados importantes, como as tabelas de espalhamento. Além disso, as implementações mostram-se frágeis na presença de referências circulares, que segundo Melton et al. são comumente encontradas [4].

Tendo em vista o cenário delineado, o objetivo principal deste trabalho é conceber uma solução devidamente formalizada que permita a definição declarativa de semântica de igualdade e ordem natural de maneira agnóstica à linguagem. É objetivado também a implementação de um procedimento de redução – procedimento de mapeamento – que permita o mapeamento da solução apresentada em Java. Como objetivo secundário, tem-se a criação de um protótipo que implementa a solução.

O uso de uma abordagem declarativa para a definição semântica traz uma série de benefícios, já que esta demonstra-se ser mais intuitiva [5] e robusta: o código gerado pode tratar transparentemente questões como a presença de referências circulares e manutenção da simetria. A última sendo notoriamente complexa em linguagens orientada a objetos dotadas de despacho simples [6].

A escolha da linguagem Java para implementação do protótipo tem como principais motivações a sua popularidade, a existência de construtos – anotações – para a definição de metadados declarativamente e a existência de suítes de testes de desempenho [7] construídas de modo a englobar as diversas classes (e.g. renderizadores, compiladores e etc.) de programas existentes.

Este artigo está estruturado da seguinte maneira: uma introdução, seguida de uma visão matemática formal dos conceitos de ordem e igualdade. Com os conceitos estabelecidos, a solução em questão é descrita, tanto no nível teórico quanto de implementação (protótipo). A seguir é descrito um breve experimento, seguida da apresentação de alguns resultados preliminares. Por fim são descritos os próximos passos da pesquisa e uma breve conclusão sobre os resultados obtidos até o momento.

II. Formalização da Igualdade e Ordem natural

Tanto a noção intuitiva de igualdade quando a noção de ordem são expressas por conceitos matemáticos formais. A primeira pertence a uma classe de relações chamadas de relações de equivalência enquanto a segunda as chamadas relações de ordem estrita.

Para uma relação de equivalência ser considerada bem-formada, é necessário que ela respeite algumas propriedades: *reflexibilidade* – um elemento deve sempre ser considerado igual a si mesmo –, *simetria* – se x é igual a y então y deve ser igual a x –. e *transitividade* – caso x seja considerado igual a y e y a z, então x e z devem ser considerados iguais.

De maneira análoga, as relações de ordem estrita também precisam cumprir certos requisitos. Quando bem-formadas elas são: *totais* – dado dois elementos distintos x e y, ou x é menor que y ou vice-versa –, *antissimétricas* – se x é considerado menor que y, então y deve ser maior que x, e *transitivas* – sendo x maior que y e y maior que z, então x é maior que z.

III. Solução Teórica

A. Registro de Comparação

Para a comparação entre objetos, a solução proposta utiliza-se de registro de comparação, que estendem a definição usual de registro [8] através da inclusão da semântica de comparação de seus campos. Formalmente um registro de comparação é uma família indexada [9] $\mathcal{R} = \{v_f\}$, onde $v \in V$ e $f \in F$ representam respectivamente os possíveis valores e campos do registro.

Valores podem assumir valores primitivos (*strings*, booleanos, e etc.), outros registros ou uma das constantes *null* – constante que denota a ausência de valor – e *desconhecido*, esta última associada a um campo não declarado na hierarquia de classe do objeto relacionado ao registro. De maneira análoga à algumas lógicas ternárias, qualquer valor é considerado diferente de *desconhecido*, inclusive ele mesmo[1].

Campos por sua vez são representados por uma tupla (n, Δ), onde n representa o identificador único do campo e a função $\Delta : \mathcal{O} \rightarrow \mathcal{F}$ uma função de ordem superior que mapeia uma operação de comparação $o \in \mathcal{O}$ – equivalência ou de ordem natural – ao procedimento $f \in \mathcal{F}$ responsável pela computação do resultado esperado de o.

Apesar de a priori parecerem semelhantes, existem diferenças importantes entre registros de comparação e funções de abstração [11]: no primeiro, a representação obtida depende do contexto sendo utilizado (no caso, dos operandos fornecidos à operação de comparação) enquanto no último, a representação obtida independe do contexto.

B. Algoritmo de Comparação

A comparação entre registros de comparação se dá de maneira algébrica: dois registros são considerados equivalentes quando todos seus valores assim o forem considerados. A equivalência entre cada valor é checada através do procedimento indicado pelo componente Δ de seu índice. Esse comportamento é ilustrado pela Figura 1. O cálculo da ordem natural se dá de maneira análoga.

IV. Protótipo

Apesar da definição de registro de comparação e os algoritmos para sua comparação serem definidos de maneira independente de linguagem, é necessária a criação de procedimentos de redução que mapeie os construtos específicos de uma linguagem nos elementos agnósticos à linguagem.

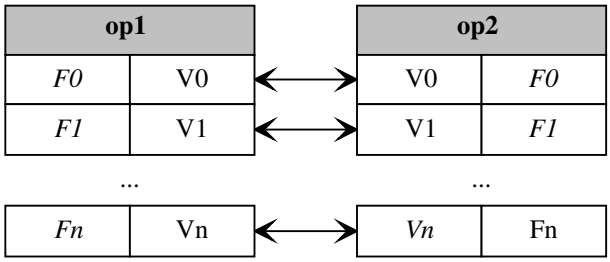


Figura 1. Exemplo de Registro de Comparação

No caso do protótipo, esse procedimento é encapsulado em um *mixin* – construto que agrupa métodos semanticamente relacionados. Esse *mixin* é incorporado a todas as classes que definem semântica de comparação. Para a realização dessas incorporações são utilizadas técnicas de programação orientada a aspectos[2], uma vez que Java não dá suporte a esse construto nativamente.

A. Modelagem da Igualdade em Java

Para a implementação correta das relações de equivalência e ordem em Java, é necessário que o desenvolvedor observe algumas outras propriedades, além das descritas anteriormente. Essas propriedades compreendem a *não-nulabilidade* e a *consistência* [12].

A não-nulabilidade tem significado distinto dependendo do tipo de relação onde é aplicada. No caso das relações de equivalência, ela dita que todo objeto é diferente de *null*. Já no que tange a relações de ordem, qualquer valor deve ser considerado maior que *null*.

A propriedade de consistência tem como motivação delinear o comportamento na presença de efeitos colaterais. Nesse contexto, entende-se por efeito colaterais mudanças secundárias à obtenção de um resultado por uma função ou método [13]. Pode-se citar como exemplo de efeito colateral a mudança do estado interno de um objeto. A propriedade de consistência dita que dois objetos considerados iguais (ou maior/menor, no caso das relações de ordem) devem sempre ser assim considerados, a não ser que um (ou ambos) mudem.

A implementação da semântica de igualdade (e ordem natural) em Java se dá através de três métodos distintos: *equals()*, que deve retornar verdadeiro caso os operandos sejam equivalentes (ou falso, caso contrário); *compareTo()*, que retorna um valor negativo caso o primeiro[3] operando seja menor que o segundo ou positivo, caso contrário (zero é retornado caso sejam iguais); e *hashCode()*, cujo retorno é um código *hash* de propósito geral.

É importante notar que deve existir uma consistência entre os resultados retornados por esses métodos: tanto *equals()* como *compareTo()* devem considerar dois objetos iguais (ou

[1] Esse comportamento é idêntico à constante *NULL* do SQL [10]

[2] AspectJ (https://eclipse.org/aspectj/)

[3] Entende-se como primeiro operando o objeto receptor da mensagem.

Tabela I
PARÂMETROS DE @COMPARABLE

Construto	Parâmetro	Descrição
Classe	*direction*	*ASCENDING*, ou *DESCENDING* (ordem inversa).
	strategy	Estratégia de comparação.
Propriedade	*direction*	*ASCENDING*, ou *DESCENDING* (ordem inversa).
	evaluationOrder	A ordem na qual os atributos de um objeto é avaliada. Quanto menor o valor, maior a precedência.
	strategy	Estratégia de comparação.
	value	Açúcar sintático para duas estratégias de comparação: *VALUE* (igualdade) ou *IDENTITY* (identidade).

diferentes) em consonância e elementos considerados iguais devem ter o mesmo código *hash*. Inconsistências entre esses métodos não são apontadas pelo compilador e podem levar a falhas de difícil detecção [12] e comportamento errôneo de estruturas de dados que utilizem-se da semântica de comparação em seus algoritmos, como por exemplo as tabelas de espalhamento e os conjuntos.

B. Definição da Semântica de Igualdade

Para a declaração da semântica de igualdade optou-se pelo uso de anotações – construto introduzido na versão 5 da linguagem Java que têm como principal motivação possibilitar ao desenvolvedor anexar metadados a construtos de um programa. O uso de anotações traz diversas vantagens, entre as quais a familiaridade dos desenvolvedores, suporte ferramental e checagens em tempo de compilação.

Para a definição da semântica de igualdade, usa-se uma única anotação – *@Comparable*. A Listagem 1 exemplifica a definição de uma semântica de comparação para Pontos, na qual são considerados equivalentes pontos em uma mesma posição (coordenadas *x* e *y*).

```
1 @Comparable
2 public class Ponto {
3   @Comparable
4   private double x;
5
6   @Comparable
7   private double y;
8 }
```

Listagem 1. Exemplo do Uso de @Comparable

É possível ainda refinar a semântica declarada através do uso de parâmetros definidos por *@Comparable*. Pode-se por exemplo comparar um elemento baseado na sua identidade – duas referências têm a mesma identidade quando referem-se à mesma instância – ou suprir um algoritmo customizado para comparação (equivalente à componente Δ definida no âmbito teórico). Esses parâmetro encontram-se sumarizados na Tabela I.

C. Detecção de Referências Circulares

Conforme discutido anteriormente, uma das principais deficiências encontradas em implementações é a fragilidade no tratamento de referências circulares, cuja presença acarreta defeitos como estouro de pilha em muitas implementações de algoritmos de comparação.

O algoritmo utilizado para a detecção e tratamento de referências circulares é baseado no algoritmo utilizado com o mesmo intuito pela linguagem Eiffel [14]. De modo geral, o algoritmo checa se os parâmetros da operação sendo tratada estão inclusos em um contexto único a *thread* de execução. Caso estejam, um valor neutro[4] é retornado. Caso contrário, os parâmetros são incluídos no contexto e a execução é delegada para a operação originalmente invocada. Ao fim da execução, os parâmetros são retirados do contexto e o resultado obtido é retornado.

V. EXPERIMENTO

No intuito de se ter uma ideia dos impactos da adoção da solução proposta, é conduzido um experimento onde uma série de programas têm seu código-fonte migrado e aferido. Esses programas pertencem à suíte de testes DaCapo [7] (versão 2009) que compreende diversas classes de programas, como banco de dados, rasterizadores e indexadores de texto.

Apesar de desejável, a comparação entre a solução proposta e as soluções existentes não se mostra factível, uma vez que apenas uma disponibiliza um protótipo [15]. Além disso, nenhuma trata do cálculo da ordem natural.

A. Métricas

Para a quantificação do impacto da migração, são definidas três métricas: desempenho, complexidade e robustez. O desempenho mede o impacto no tempo de execução do programa.

A complexidade por sua vez baseia-se na complexidade ciclomática [16] dos métodos do programa. Schroeder [17] cita uma correlação entre uma maior complexidade e um maior números de defeitos. Valores menores que 100% indicam melhorias.

A robustez baseia-se no número de possíveis defeitos encontrados através de ferramental de análise estática[5] de código. É expressa pela Fórmula 1, onde V_o e V_a indicam respectivamente, o número de violações encontrados no código-fonte original e alterado. Caso todas as violações sejam corrigidas, seu valor é 100%.

$$Rb = 1 - \left(\frac{100}{V_o} \times V_a \right) \quad (1)$$

B. Resultados preliminares

Resultados preliminares obtidos através da migração de um único programa[6], indicam um aumento expressivo da robustez com uma sensível diminuição de desempenho. Também foi detectada uma redução significativa na complexidade do programa em questão. A Tabela II sumariza os resultados obtidos.

[4]Zero no caso de *compareTo()* e *hashCode*, e verdadeiro para *equals()*.

[5]Foi utilizado o Findbugs 3.0.0 (http://findbugs.sourceforge.net/), restrito a defeitos da categoria *EC* – defeitos em lógica de comparação/igualdade.

[6]JFreeChart 1.0.0 (http://www.jfree.org/jfreechart/), escolhido a esmo. Ao final da pesquisa espera-se que todos os programas incluídos na suíte de DaCapo façam parte do experimento.

Tabela II
RESULTADOS PRELIMINARES

Programa	Tempo de Execução	Complexidade	Robustez
JFreeChart	106,11%	84%	98,78%

VI. TRABALHOS CORRELATOS

Uma série de trabalhos têm como motivação a definição da semântica de igualdade de objetos ou de construtos arbitrários de um programa de computador.

Vaziri et al. [3] define um novo tipo de construto derivado de objetos chamado Tipo de Relação, cujo ciclo de vida é definido através da semântica de igualdade: novas instâncias só são criadas caso não existam instâncias equivalentes. A sua comparação é realizada através de sua identidade e é proibida a alteração de informações importantes à semântica de igualdade após a construção.

Rayside et al. [18] utiliza-se do conceito de funções de abstração para a construção das representações internas dos objetos comparados. Essas representação são comparadas algebricamente. Não é totalmente declarativa, uma vez que obriga o desenvolvedor a escrever manualmente funções de abstração quando herança é utilizada.

Diferentemente de Rayside et al., Grech et al. [15] permite a definição declarativa de semântica de igualdade mesmo na presença de herança. Técnicas adaptativas como a reordenação das ordem de comparação dos atributos dos operandos são utilizadas para aumento de desempenho. Atributos utilizados pela semântica de igualdade devem ser imutáveis: tentativas após uma comparação resulta em erros em tempo de execução.

Em Baker, H. G. [19] é proposto o predicado EGAL. Esse predicado, escrito em LISP, efetua comparações algébricas entre construtos dessa linguagem. Entre esses construtos encontram-se listas, números e fechamentos. O último em específico é interessante: o cálculo λ (e por isomorfismo funções) não é normalizável [20], logo, só são consideradas iguais fechamentos estruturalmente idênticos. Apesar de não tratar diretamente objetos, pode ser utilizado como base teórica para soluções que tratem esta questão especificamente.

Algumas questões relativas aos trabalhos correlatos podem ser destacadas: nenhuma das soluções analisadas provê mecanismos para a integração de bibliotecas e *frameworks* de terceiros. Pelo contrário, algumas [3], [15] requerem restrições que impedem o seu uso com *frameworks* amplamente utilizados. Vale ressaltar também que nenhuma das proposições analisadas tratam o problema da definição da semântica de ordem entre objetos.

VII. PRÓXIMOS PASSOS

Os próximos passos da pesquisa compreende a finalização do experimento descrito e a definição de um mecanismo para reindexação de coleções que utilizam-se da igualdade de elementos para seu funcionamento (como, por exemplo, tabelas de espalhamento). Apesar de ser uma questão secundária – ocorre em cerca de 18% dos programas analisados por Nelson et al. [21] –, a sua mitigação é importante para a aceitação da solução pela comunidade científica.

VIII. CONCLUSÃO

A análise subjetiva dos resultado preliminares apontam para um ganho real com relação robustez e complexidade com uma pequena diminuição de desempenho, com relação a implementação original, quando a solução proposta é adotada. Espera-se que os resultados finais, englobando todos os programas incluídos na suíte DaCapo, apresentem a mesma tendência.

REFERÊNCIAS

[1] TARSKI, A. *Introduction to Logic and to the Methodology of the Deductive Sciences (Oxford Logic Guides)*. [S.l.]: Oxford University Press, 1994. ISBN 019504472X.

[2] RUPAKHETI, C. R.; HOU, D. An empirical study of the design and implementation of object equality in java. In: ACM. *Proceedings of the 2008 conference of the center for advanced studies on collaborative research: meeting of minds*. [S.l.], 2008. p. 9.

[3] VAZIRI, M. et al. Declarative object identity using relation types. In: SPRINGER. *European Conference on Object-Oriented Programming*. [S.l.], 2007. p. 54–78.

[4] MELTON, H.; TEMPERO, E. An empirical study of cycles among classes in java. *Empirical Software Engineering*, Springer, v. 12, n. 4, p. 389–415, 2007.

[5] GUERRA, E.; FERNANDES, C. A qualitative and quantitative analysis on metadata-based frameworks usage. In: *Computational Science and Its Applications–ICCSA 2013*. [S.l.]: Springer, 2013. p. 375–390.

[6] BRUCE, K. et al. On binary methods. 1995.

[7] BLACKBURN, S. M. et al. The DaCapo benchmarks: Java benchmarking development and analysis. In: *OOPSLA '06: Proceedings of the 21st annual ACM SIGPLAN conference on Object-Oriented Programing, Systems, Languages, and Applications*. New York, NY, USA: ACM Press, 2006. p. 169–190.

[8] CARDELLI, L. A semantics of multiple inheritance. In: *Semantics of data types*. [S.l.]: Springer, 1984. p. 51–67.

[9] MUNKRES, J. R. *Topology*. [S.l.]: Prentice Hall, 2000.

[10] CODD, E. F. Extending the database relational model to capture more meaning. *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, ACM, v. 4, n. 4, p. 397–434, 1979.

[11] LISKOV, B.; GUTTAG, J. *Abstraction and specification in program development*. [S.l.]: MIT press, 1986.

[12] BLOCH, J. *Effective Java (2nd Edition)*. [S.l.]: Addison-Wesley, 2008.

[13] HUGHES, J. Why functional programming matters. *The computer journal*, Br Computer Soc, v. 32, n. 2, p. 98–107, 1989.

[14] BERTRAND, M. Eiffel: the language. *Object Oriented Series, Prentice Hall publishing,*, 1992.

[15] GRECH, N.; RATHKE, J.; FISCHER, B. Jequalitygen: generating equality and hashing methods. In: ACM. *ACM SIGPLAN Notices*. [S.l.], 2010. v. 46, n. 2, p. 177–186.

[16] MCCABE, T. J. A complexity measure. *IEEE Transactions on software Engineering*, IEEE, n. 4, p. 308–320, 1976.

[17] SCHROEDER, M. A practical guide to object-oriented metrics. *IT professional*, IEEE, v. 1, n. 6, p. 30–36, 1999.

[18] RAYSIDE, D. et al. Equality and hashing for (almost) free: Generating implementations from abstraction functions. In: IEEE COMPUTER SOCIETY. *Proceedings of the 31st International Conference on Software Engineering*. [S.l.], 2009. p. 342–352.

[19] BAKER, H. G. Equal rights for functional objects or, the more things change, the more they are the same. *ACM SIGPLAN OOPS Messenger*, ACM, v. 4, n. 4, p. 2–27, 1993.

[20] BARENDREGT, H. P.; BARENDSEN, E. Introduction to lambda calculus. *Nieuw archief voor wisenkunde*, v. 4, n. 2, p. 337–372, 1984.

[21] NELSON, S.; PEARCE, D. J.; NOBLE, J. Understanding the impact of collection contracts on design. In: VITEK, J. (Ed.). *Objects, Models, Components, Patterns*. Springer Berlin Heidelberg, 2010, (Lecture Notes in Computer Science, 6141). p. 61–78. ISBN 978-3-642-13952-9, 978-3-642-13953-6. Disponível em: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-13953-6_4>.

Otimização da qualidade de serviço para um sistema em Cloud Gaming com implementação de camadas e predição de movimento

Marcelo Tetsuhiro Sadaike
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
São Paulo, SP, Brasil
+55 11 99682-4159
msadaike@larc.usp.br

Graça Bressan
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
São Paulo, SP, Brasil
+55 11 3091-9747
gbressan@larc.usp.br

ABSTRACT
With the growing video games industry, new markets and technologies are emerging. Electronic games of the new generation are increasingly requiring more processing and powerful video cards. The solution that is gaining more prominence is Cloud Gaming, where the player performs a command, the information is sent and processed remotely on a cloud, then the images return as a video stream back to the player using the Internet. To improve the Quality of Experience (QoE), it is proposed a model that reduces the response time between the player command and the stream of the resulting game scenes through a game manager called Cloud Manager. The Cloud Manager uses layer caching techniques, in the background, and future state prediction, in the character, to reduce the network bandwidth usage, bitrate transmission and network latencies. The game is encoded in different layers, if a layer is the same in the following frame, it will not be re-encoded by the server. To speculate the next frames, the game manager renders all future possible outcomes based on the commands performed by the player.

Keywords
computing; cloud; gaming; preprocessing; layer caching; movement prediction.

1. INTRODUÇÃO
Ao longo dos últimos quarenta anos, a indústria de jogos eletrônicos cresceu de forma constante, aumentando seu público em todo o mundo, ampliando sua demografia e adicionando novas plataformas (consoles, computadores, consoles portáteis, celulares, tablets, entre outros). A oferta e a demanda mudaram de acordo com as evoluções tecnológicas das interfaces, dispositivos e redes. Em 2013, havia 1,2 bilhão de jogadores ativos em todo o mundo, com 880 jogos ativos e com as receitas previstas de US$ 86,1 bilhões em 2016, uma taxa de crescimento anual prevista de 6,7% [1]. Em outras palavras, a indústria de jogos é uma forma estabelecida de entretenimento e de renda.

Os jogos modernos, no entanto, têm novas exigências de desempenho gráfico e CPU que só os computadores de ponta e consoles podem suprir. Outros dispositivos como set-top boxes ou dispositivos portáteis geralmente não têm a capacidade de executar um jogo com saída gráfica de alta qualidade. Uma solução que vem ganhando cada vez mais força é o Cloud Gaming.

Em Cloud Gaming, o processamento é realizado remotamente na nuvem e retorna imagens como uma sequência de vídeo em tempo real de volta para o jogador utilizando a Internet. O sistema deve recolher as ações de um jogador, transmiti-las para a nuvem, processar as ações, renderizar os resultados, codificar/comprimir as alterações do jogo e transmitir o vídeo (cenas do jogo) de volta para o jogador.

Há desafios ao fornecer jogos pela nuvem. Como descrito por Huang et al. [2] usuários esperam alta qualidade de vídeos, assim como, baixo tempo de resposta (round trip time – RTT) que são requisitos fundamentais para uma boa qualidade de experiência.

Trabalhos relacionados focam em implementação por camadas [3, 4] ou predição de movimentos [5, 6] de maneira separada. Essas técnicas são usadas para diminuir o tempo de resposta como principal objetivo.

Neste trabalho, a fim de otimizar a qualidade de experiência (QoE) é proposto um gerenciador de nuvem chamado Cloud Manager composto de duas principais funções. Para isso, o jogo é divido em duas partes, plano de fundo e personagem. Na primeira função, o Cloud Manager analisa cada camada do plano de fundo e verifica se houve uma mudança em alguma camada, em caso positivo a camada que foi modificada é processada novamente e atualizada no cliente. Na segunda função, é analisado os comandos enviados pelo cliente e realizando o pré-processamento na nuvem do vídeo, utilizando predição de movimento.

O resto do artigo é estruturado da seguinte maneira: na Sessão 2, as definições de Jogos Eletrônicos são apresentadas, na Sessão 3, o Cloud Gaming é mostrado, na Sessão 4, o Cloud Manager é apresentado. As conclusões são apresentadas na Sessão 5.

2. JOGOS ELETRÔNICOS
Os jogos eletrônicos podem ser classificados em relação aos requisitos de recursos, sistemas: offline/online, número de jogadores e arquiteturas. Para alcançar uma boa jogabilidade, os jogos eletrônicos exigem requisitos na precisão de jogo, capacidade de resposta e equidade entre todos os jogadores, exigindo mais processamento da arquitetura de sistema de jogo [7].

2.1 Gêneros de Jogos
Os gêneros de jogos são usados para organizar os jogos com base em sua interação com o jogador. Um gênero de jogo é definido pela sua jogabilidade e são classificados independentemente da sua definição ou conteúdo [8].

Nomes descritivos de gêneros levam em conta os objetivos do jogo, o protagonista e até mesmo a perspectiva oferecida ao

jogador. Por exemplo, um jogo de tiro em primeira pessoa é um jogo que é jogado a partir de uma perspectiva em primeira pessoa e envolve a prática de tiro. O termo "subgênero" pode ser usado para se referir a uma categoria dentro de um gênero para especificar ainda mais o gênero do jogo em discussão. Considerando que "jogo de tiro" é um nome de gênero, "tiro em primeira pessoa" e "tiro em terceira pessoa" são subgêneros comuns do gênero de jogos de tiros [9].

2.2 Ponto de vista do jogador

Em jogos, a visão em primeira pessoa refere-se a uma perspectiva gráfica a partir do ponto de vista do personagem do jogador. A visão em segunda pessoa é semelhante à primeira pessoa, mas vista é a partir da parte de trás do personagem do jogador, o que significa que o jogador pode ver o seu avatar na tela. Já os jogos com visão em terceira pessoa sempre têm um ângulo de vista fixo, os chamados God-view; os jogadores assistem toda a cena como um pássaro, para que eles possam facilmente visualizar o ambiente ao redor de seus avatares.

Neste trabalho, para reduzir a quantidade de codificação para cada frame será utilizado um jogo do gênero plataforma 2D e com ponto de vista em terceira pessoa, uma vez que o cenário tem apenas 2 dimensões e a quantidade de movimentos do personagem são limitadas.

3. CLOUD GAMING

Com o Cloud Gaming, não há a necessidade de instalar o jogo, não ocupando espaço no computador do cliente e simplificando o processo de lançamento de jogos para as companhias de jogos.
Os dados dos jogos ficam em uma nuvem, o que evita a perda de dados devido a algum dano causado no dispositivo do usuário. Os usuários frequentemente interagem com vários dispositivos (smartphone, tablet, laptop). Os jogadores muitas vezes estão interessados nos jogos, sem se preocupar com a plataforma. Eles estão dispostos a jogar o mesmo jogo em diferentes dispositivos, se o conteúdo for entregue sem problemas. Portanto, proporcionar uma boa experiência para jogos em tempo real com características multiplataforma é crítica. Deve ser simples e rápido suspender e retomar um jogo, de modo que o jogador não perceba a transição.
Alguns dos maiores desafios em Cloud Gaming [10] são:

- Satisfazer as expectativas dos jogadores em qualidade de experiência (Quality of Experience - QoE) durante jogos on-line fornecendo qualidade de serviço (Quality of Service - QoS) de forma flexível em ambientes heterogêneos de rede.
- Suprir o aumento dramático na demanda de recursos de computação.

Processar e transmitir dados de dispositivos móveis para a nuvem através de redes sem fio.

3.1 Qualidade de Experiência

Para avaliar a qualidade de experiência (QoE) do cliente algumas características são consideradas, como:

- Características de tráfego: a largura de banda da rede e o consumo dentro de uma sessão de jogo.
- Latência: a diferença de tempo entre o início de um evento e o momento em que seus efeitos se tornam perceptíveis em cada etapa.
- *Jitter*: variação da latência em um curto período de tempo.
- Qualidade gráfica: a fidelidade do vídeo transmitido para o cliente.

Os parâmetros de qualidade de serviço (QoS) tais como atraso, *jitter* e perda de pacotes são conhecidos por influenciar a experiência do usuário ou a jogabilidade [11].

Como o Cloud Game é um serviço de nuvem, este não pode ser iniciado sem acesso à rede e os jogos não podem ser reproduzidos uma vez que a Internet está desconectada.
A alta qualidade de vídeo e as altas taxas de transmissões de vídeo requerem uma quantidade grande de largura de banda, enquanto que a experiência de jogo é altamente sensível à latência de rede. O desafio de pesquisa mais crítico nesta área é estabelecer um sistema eficaz, para jogos, capaz de codificar vídeo, comprimir, transmitir e decodificar em tempo real [12].

3.2 Implementação por camadas

O sistema codifica as diferentes camadas do jogo separadamente e gera o resultado, quando o próximo quadro é gerado, se a camada não for modificada, não será necessário codificá-la novamente no servidor. A última informação de cada camada é armazenada no gerenciador da nuvem, dessa forma, o gerenciador precisa combinar dados pré-codificados estáticos com dados codificados em tempo real. Um desafio para a implementação é que em cada quadro gerado no servidor é preciso renderizar, codificar, enviar e decodificar, mantendo um baixo tempo de atraso no sistema.

O jogo deve ser adaptado ou criado especificamente para renderizar por camadas. O codificador deve ter acesso a cada camada do quadro. Para o designer do jogo, é necessário codificar cada camada especificamente, já sabendo o comportamento do jogo e quais objetos de cada camada são mais relevantes.

Figura 1. Imagem do jogo "2D Platformer" do gênero plataforma 2D com visão em terceira pessoa.

Nesse trabalho será utilizado um jogo desenvolvido na plataforma Unity, "2D Platformer", que é gratuito, com código aberto e criado em camadas, conforme mostra a Figura 1.

3.3 Comandos do jogador

Os comandos que o usuário pode realizar têm campos importantes como tempo, ângulo de visão, movimento e os botões. O campo de tempo corresponde a quantos milissegundos de simulação o comando corresponde. O campo de ângulo de visão é um vetor que representa a direção em que o jogador está olhando. O campo de movimento é determinado pela ação do teclado, mouse e joystick para ver se qualquer um dos botões de movimento foi apertado. O campo de botões é apenas um campo de bits com um ou mais bits definidos para cada botão que está sendo pressionado [13].

3.4 Predição de movimento

Predição de movimento implica prever os movimentos futuros em intervalos de tempo discreto. Foi usada a cadeia de Markov para prever o movimento, baseado nos comandos realizados pelo jogador.

O tempo é quantizado, com cada intervalo discreto de tempo correspondente ao tempo de tick do jogo. O tick corresponde à atualização do jogo que ocorre em um ciclo determinado de tempo.

A variável aleatória $N_t$representa o vetor de navegação que altera em 3D a translação e a rotação no tempo t:

$$N_t = \{\delta_{x,t}, \delta_{y,t}, \delta_{z,t}, \theta_{x,t}, \theta_{y,t}, \theta_{z,t}\} \quad (1)$$

Cada componente acima é quantizado. n_t representa um vetor de navegação recebido pelo cliente. Um dos problemas de estimar o próximo estado é achar a máxima estimativa possível $\widehat{N}_{t+\lambda}$Onde λ é o tempo de resposta (RTT). Usando o modelo de Markov, a distribuição de probabilidade do vetor de navegação no próximo passo é dependente somente do vetor de navegação da etapa atual: $p(N_{t+1}|N_t)$. Prever o vetor de navegação mais provável $\widehat{N}_{t+1}$ no próximo passo de tempo com:

$$\begin{aligned} \widehat{N}_{t+1} &= \mathrm{E}[p\,(N_{t+1}|N_t = n_t)] \\ &= \underset{N_{t+1}}{\operatorname{argmax}}\, p\,(N_{t+1}|N_t = n_t) \end{aligned} \quad (2)$$

Onde $N_t = n_t$ indica que o passo atual foi atribuído um valor fixo devido ao valor de entrada do usuário n_t . Em muitos casos, o tempo de resposta é mais do que uma etapa única. Para lidar com este caso, é possível prever o valor mais provável depois de um tempo de resposta como:

$$\hat{N}_{t+\lambda} = \underset{N_{t+\lambda}}{\operatorname{argmax}}\, p(N_{t+1}|N_t = n_t) \prod_{i=1..\lambda-1} p(N_{t+i+1}|N_{t+i}) \quad (3)$$

Onde λ representa a latência do tempo de resposta expressa em unidades de *tick*. N_{t+1} não possui memória, ou seja, é independente do dado N_t antigo. Deve-se considerar que, informações adicionais nas cadeias mais longas de Markov não mostraram um benefício mensurável em termos da precisão da previsão. Ao invés de construir um modelo único para todo o vetor de navegação, tratar cada componente do vetor Nde forma independente e construir seis modelos distintos. O benefício dessa abordagem é que menos treinamento é necessário quando se estima $\widehat{N}$.

4. CLOUD MANAGER

Para implementar o Cloud Manager será utilizado o GamingAnywhere que é um sistema aberto em Cloud Gaming, que pode ser usado, estudado e modificado sem restrições, e que pode ser copiado e redistribuído de forma modificada ou não modificada, sem qualquer restrição [2].

Para testar a proposta, foi utilizado o jogo "2D Platformer", presente na Figura 1, pois o jogo produzido no Unity, já é separado em camada de plano de fundo e personagem, facilitando a implementação por camadas.

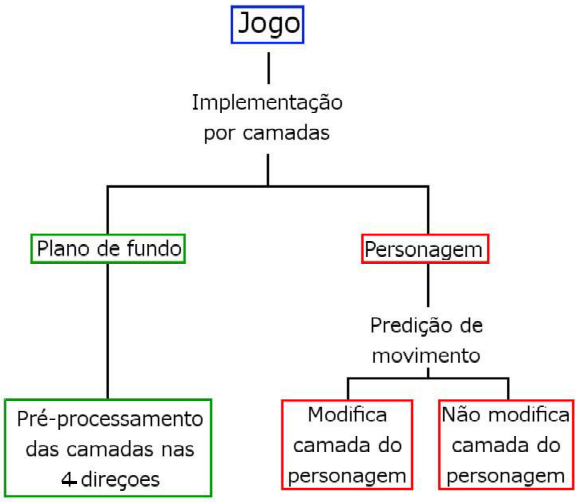


Figura 2. Arquitetura do Cloud Manager

Com a implementação por camadas, foi analisado separadamente o plano de fundo e o personagem, conforme mostra a Figura 2. Como o jogo é de plataforma 2D, as possíveis direções que o personagem pode se mover são quatro, para direita, esquerda, cima ou baixo, foi implementado um pré-processamento das camadas do plano de fundo nessas quatro direções. Já no plano do personagem, foi utilizado a predição de movimento para pré-processar o possível próximo quadro do personagem apenas. Se o comando do usuário corresponder à predição calculada, o Cloud Manager envia o conteúdo já pré-processado. Caso contrário, o Cloud Manager não envia o conteúdo pré-processado e ao invés disso, o servidor em nuvem realiza o processo que foi mandado pelo cliente.

Para testar a viabilidade do Cloud Manager, será testado o jogo em três condições diferentes, apenas com a implementação de camadas, apenas com a predição de movimento e utilizando as duas técnicas ao mesmo tempo.

5. CONCLUSÃO

Neste artigo foi proposto o Cloud Manager que otimiza a qualidade de experiência do usuário utilizando implementação por camada e predição de movimento. Realizando a predição de movimento apenas para o personagem, muda apenas a camada em que o personagem está presente, não necessitando ter que fazer o processamento do quadro inteiro, reduzindo assim o tempo de resposta.

Para jogos em que o cenário tem pouca variação ou é fixo e a quantidade de movimentos que o personagem do jogo pode realizar é pouca, esta solução permite melhorar o tempo de resposta e melhorar a qualidade de serviço.

Uma das grandes limitações dessa proposta é que o jogo deve ser desenvolvido em camadas ou ser adaptado para ser dividido em camadas. Outro fator a ser analisado em trabalhos futuros é que dependendo do gênero e do ponto de vista esta solução pode não ser viável ou ter resultados insatisfatórios.

6. REFERÊNCIAS

[1] Warman P. ; Global Monetization of Games: Emerging Markets as Drivers of Growth. Casual Connect San Francisco, 2013.

[2] C. Huang, C. Hsu, Y. Chang, and K. Chen, "GamingAnywhere: an open cloud gaming system", 4th ACM Multimedia Systems Conference (MMSys '13). ACM, New York, NY, USA, 36-47, 2013. DOI=10.1145/2483977.2483981.

[3] Wu, Xiangyu, et al. "CGSharing: Efficient content sharing in GPU-based cloud gaming." Low Power Electronics and Design (ISLPED), 2015 IEEE/ACM International Symposium on. IEEE, 2015.

[4] Cordeiro Barboza, Diego, Debora Christina Muchaluat-Saade, and Esteban Walter Gonzales Clua. "A real-time game streaming optimization technique based on layer caching." Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2015 12th Annual IEEE. IEEE, 2015.

[5] Lee, Kyungmin, et al. "Outatime: Using speculation to enable low-latency continuous interaction for mobile cloud gaming." GetMobile: Mobile Computing and Communications 19.3 (2015): 14-17.

[6] K. Lee, D. Chu, E. Cuervo, J. Kopf, Y. Degtyarev, S. Grizan, A. Wolman, and J. Flinn. Outatime: Using Speculation to Enable Low-Latency Continuous Interaction for Mobile Cloud Gaming. In Proc. Of the 13th International Conference on Mobile Systems, Applications and Services, pages 151-165, Florence, Italy, May 2015.

[7] Mishra D., Zarki M. E., Erbad A., Hsu C., Venkatasubramanian N.; Clouds + games: A multifaceted approach. IEEE Internet Comput., vol.18, no.3, p.20-27, 2014.

[8] Apperley T. H.; Genre and game studies: Toward a critical approach to video game genres. Simulation & Gaming, 37(1), p. 6–23, 2006.

[9] Lecky-Thompson, G. W.; Video Game Design Revealed. Cengage Learning. p. 23, 2008.

[10] Wei C., Victor C. M. L., Min C.; Next Generation Mobile Cloud Gaming. 2013 IEEE Seventh International Symposium on Service-Oriented System Engineering, 2013.

[11] Wei Cai, Leung V.C.M. “Mlutiplayer Cloud Gaming System with Cooperative Video Sharing,” CloudCom, Taiwan, Dec. 2012, pp. 640-645, doi:10.1109/CloudCom.2012.6427515.

[12] Cai W., Chen M., Leung V.; Towards gaming as a service. IEEE Internet Computing, 2014.

[13] Bernier Y. W.; Latency Compensating Methods in Client/Server In-game Protocol Design and Optimization. Game Developers Conference, 2001.

Collaborative Security Architecture for Cloud Computing Systems

ALMEIDA, T. R. M.* and SIMPLICIO JUNIOR, M. A.*
*Laboratório de Arquitetura e Redes de Computadores
Escola Politécnica - Universidade de São Paulo
E-mail: {talmeida,mjunior}@larc.usp.br

***Abstract*—Distributed attacks, such as distributed denial of service (DDoS) and flooding attacks, are common threats against networks and require not only the deployment of isolated security mechanisms responsible for monitoring a limited portion of the network, but also distributed appliances that are able to jointly detect and mitigate them before the exhaustion of network resources. These collaborative mechanisms are proposed aiming to cover some different phases related to distributed attacks mitigation, ranging from the detection of a distributed attack to the relief of the system after the attack dissipation. After the identification of an attack, these solutions are expected to enable collaboration among security nodes through the distribution of tasks or the instantiation of new specialized security nodes using either centralized and decentralized approaches. However, an important issue that is not widely covered by existing collaborative solutions against distributed attacks is how to optimize the deployment of security tasks in order to mitigate the attack while trying to guarantee the best possible overall system performance and minimizing the quality of service loss. Thus, this work proposes the optimal placement of security tasks among security appliances in a collaborative scenario aiming to address the best overall network usage while avoiding packet dropping due to the prediction of congestion through resources monitoring and, thus, triggering the collaboration process before any packet loss.**

***Keywords*— DDoS; collaboration; security.**

I. Introduction

Distributed attacks, such as Distributed Denial of Service (DDoS), are among the most serious network threats faced by organizations of different sizes, especially considering the amount of traffic involved and the total number of services affected worldwide. The frequency of such attacks have been steadily increasing every year: according to Akamai, when comparing the first quarter of 2015 and of 2016, the number of attacks grew 125% and attacks involving more than 100 Gbps increased 137% [1]. Such attacks typically involve the exhaustion of the targets available resources (e.g., bandwidth or TCP connection state tables), a situation that is often difficult to differentiate from a simple high service usage by legitimate users, although some may also exploit application-layer vulnerabilities (e.g., SQL injection) [2], [1].

These threats are important network security concerns that usually require the employment of mitigation strategies that enable cooperation among security mechanisms deployed through a protected network. These collaborative mechanisms are developed using different strategies responsible for detecting, analyzing and responding distributed attacks while learning from them in order to build better mitigation strategies against future attacks. Most security mechanisms related to DDoS mitigation are traditional appliances, such as intrusion-detection systems (IDS), firewalls and the combination of both for building intrusion prevention systems (IPS). These appliances aim to implement stateless and statefull functionalities according to their specific security goals.

Although it is possible to identify solutions that mitigate DDoS attacks while sharing tasks cooperatively among security mechanisms, there are few works that exploit the optimal distribution of tasks to achieve the best possible network performance during a DDoS attack. The prediction of congestion is another functionality that is not usually adressed by existing solutions, but is important to avoid a damage in the quality of service of the network due to a massive DDoS attack. So, in order to address communication and interation characteristics of collaborative solutions, the analysis of their detection and mitigation strategy may consider centralized or distributed approaches according to the organization of these nodes or the strategy used by the decision-making algorithms. As an example, the decision employed by the controller may be the allocation of tasks always in the node as closer as possible to the border of the network, other possible strategy is to always deploy security functions in neighbor nodes, upstream or downstream, and there is even possible to deploy new security nodes when an attack is identified in order to better balance the incoming load.

The main lack in existing collaborative approaches regarding the distribution of mitigation-related security tasks is related to the use of a fixed deployment strategy in order to mitigate the attack. These solutions usually consider only security aspects instead of applying a deeper analysis of resources utilization in the network and enabled nodes position in order to define an optimal strategy that enables the appropriate distribution of security tasks before any damage.

Additionally, in the DDoS context, the network resources usage is a critical issue that must be carefully addressed by collaborative solutions. Thus, the main challenge is to allocate security tasks among enabled nodes in order to provide the best possible resource availability in the network during the attack without any packet loss. Another important challenge is the deployment of a congestion prediction of mechanism capable of launching the collaboration process to be handled by the solution controller before packets are dropped to enhance the overall quality of service and network performance.

The main goal of this work is to provide a solution based on Service Function Chaining aiming to optimally distribute security tasks among enabled network nodes according to their respective resources usage automatically when a congestion is predicted by a trigger module in order to mitigate DDoS attacks. Thus, the proposed solution aims to provide mainly DDoS attacks detection and mitigation capabilities, also employing negotiation and security functions deployment among security nodes deployed through a network.

II. Related Works

Most collaborative security solutions in the literature focus on DDoS, aiming to create an environment for their detection, analysis and mitigation. The usual approach for doing so, adopted in solutions such as DiCoDefense [3], CoDef [4] and BGP Flowspec [5] is to rely on a central controller with a global view of the network. This controller is responsible for coordinating the collaboration among security modules, deploying the required tasks on different network nodes aiming to avoid congestion or to re-route flows to a path with enough resources and needed functions. Additionally, controllers (e.g., SDN-based) from different domains may also cooperate to define a strategy against DDoS attacks considering alerts raised inside their own domains. For example, a separate datapath (e.g., with VLAN tags) including all required tasks can be defined for a suspicious flow when mitigation is needed.

The presented approach behaves similarly, but it also aims to take into account the load on the tasks in a path, provisioning new security nodes if necessary. In addition, collaboration between elements in the mentioned solutions usually considers the outsourcing of entire security tasks among them instead of enabling a negotiation protocol that allows the outsourcing of a portion of the tasks that can be properly handled. Thus, all traffic matching a given security policy must be handled by the node that accepts to perform a given task, which can be a firewall rule to drop all malicious packets or the redirection of suspicious flows. Whereas this may be enough in some cases, this is not necessarily optimal in terms of resource usage when compared to a best-effort approach. Hence, the solution hereby proposed is expected to provide further flexibility, creating more effective resource optimization opportunities and extensive network resources monitoring in each security node. Solutions with no central controller also exist, such as DefCOM [6] and Pushback [7]. In this case, a node has autonomy to send requests to its upstream neighbors (i.e., closer to the packets source) when congestion is detected, and assume that they are able to fulfill the request (e.g., apply traffic rate-limiting tasks).

III. Collaborative DDoS mitigation Scenario

In this section we discuss a possible collaborative scenario that describes the implementation of a web server in a cloud infrastructure aiming to leverage its elasticity to mitigate DDoS attacks. The example, as illustrated in Fig. 1, considers a web server protected by a chain of 4 Security Service Functions (SSF): SSF_4, a Web Application Firewall (WAF) hosted on

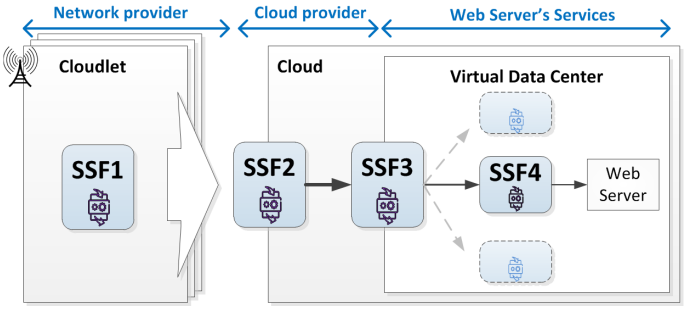


Fig. 1. Collaborative scenario.

the web server; SSF_3, a gateway firewall at virtual data center (VDC)'s entry point; SSF_2, a firewall placed at the cloud's entry point; and several instances of SSF_1, cloudlet firewalls in the domain of the Internet Service Providers (ISPs) and, thus, close to the web server's clients. Although in practice multiple cloudlets are likely to exist to filter malicious traffic before reaching the cloud, for simplicitiy we simply refer to SSF_1 as one single SSF along our example. The collaboration goals in this scenario include the mitigation of DDoS attacks through enabled security nodes located in positions of the datapath that allow a better overall network performance, redistributing the load related to each security task accordingly.

To work with a more concrete example, suppose for simplicity that all firewalls are dimensioned at 100σ, where σ is a generic measure of computational resources (e.g., CPU, RAM). Suppose also that, at some point in time, their resource usage for processing their own security tasks is 50σ. Then, due to a DDoS attack, the resource usage at SSF_1 and SSF_4 rise both to, say, 80σ; for the same reason, if SSF_2 and SSF_3 keep processing the same tasks, their resource usage would become respectively, say, 55σ and 105σ, as SSF_3 would end up filtering most of the DDoS traffic as currently configured. In this case, the queues in SSF_3 would continuously grow, increasing latency, until its buffers are full and packets start to being dropped. One could deal with this issue by creating a second instance of SSF_3 and attaching both instances to a load balancer; it would be better, however, if SSF_3 could simply *offload* some tasks (say, taking 25σ) to SSF_2, so both would end up with a resource usage of 80σ, keeping the QoS without any extra instance provisioning.

Some time later, when the DDoS is already under control due to the collaboration, the attack pattern changes and starts including packets that are only filtered by rules installed at SSF_4. This raises the resource usage of the corresponding filtering task τ from 0σ to 30σ (and, thus, SSF_4's resource usage becomes 110σ. Unfortunately, SSF_4 cannot offload the whole task to any other firewall, as that would just change the place of the problem. Nevertheless, it can collaborate with some of them sharing the corresponding load, in a "best effort" manner. For example, if τ would take the same amount of resources wherever executed, SSF_4 could ask SSF_3 and SSF_2 to invest 10σ each on this task, so the load on SSF_4,

SSF_3 and SSF_2 would be 90σ. It is possible, however, that running τ with only 10σ at SSF_2 will not be as effective as in SSF_4, since the volume of traffic at SSF_2 is higher; after all, in SSF_4, τ runs only on packets that have not been filtered by SSF_3's tasks, whereas SSF_2 sees the full load of packets to which τ must be applied even if SSF_2's regular filtering tasks are all applied prior to τ. Therefore, some negotiation mechanism is likely to be necessary to decide a reasonable workload division that ensures no single firewall gets overloaded.

Finally, there may be situations in which neither offloading or best-effort load-sharing is feasible, so a new SSF needs to be instantiated to avoid upgrading the existing machines (vertical scaling). Even in this case, a multi-domain collaborative approach provides more flexibility than simply using load balancing, since the new instance added to the chain does not need to be an exact copy of some existing SSF. As a result, some optimizations are possible. For example, the new SSF could be placed at the beginning of the chain and receive tasks that can filter many packets (preferably with little processing), thus reducing the network's overall load.

IV. Collaborative Solution against DDoS attacks

This section describes an architecture to enable the collaboration among SSF instances from single or multiple domains. We differentiate these domains in this article as Clouds, which are located at the service provider side, and Cloudlets, which are located at the client side. We assume a centralized architecture, meaning that controller nodes from each domain involved in the collaboration are responsible to decide how the mitigation security tasks must be outsourced when a given node is congested. We also limit the scope of the collaboration in each domain to a scenario based on the Service Function Chaining (SFC) architecture[8]. SFC enables the definition and instantiation of an ordered set of service functions responsible for steering the traffic according to their corresponding services. The reason to adopt SFC is that, although alternatives exist (e.g., a purely SDN-based approach as done in [9]), SFC already provides mechanisms that facilitate the construction and management of data paths with different security services inside an administrative domain.

Thus, this work proposes a collaborative architecture, as illustrated by Figure 2, that provides a packet loss prediction and security tasks allocation technique based on optimization algorithms that take as input some network resources statistics in each node (e.g., CPU usage and RAM). Each node that launches the collaboration due to congestion prediction is called Initiator (SSFi) and each node that employ part of the offload requested by the Initiator is called Provider (SSFp). A collaboration trigger module is then responsible for handling the collaboration alert raised by the prediction mechanism just before any packet loss while defining which security tasks must be outsourced by the Initiator node in order to lower the congestion and identifying which flows are suspicious. After that, the network controller must define which enabled nodes can handle the outsourced mitigation tasks based on their actual resources usage and is responsible for negotiating with these nodes through a placement optimization technique. This placement technique is responsible for taking into account the amount of the processing load required to perform each outsourced security task and the available resources of each provider node in order to decide how these tasks will be exchanged. In addition, when the overall available processing capacity is not enough for the offload required to free the Initiator node, a new node must be provisioned accordingly in order to handle part of the traffic responsible for the Initiator overflow.

However, considering that each Provider node may be able to employ a bigger part of the outsourced mitigation tasks than those negotiated with the controller node, a best effort technique will also be implemented in order to take advantage of any free resource in mitigation nodes. This best effort technique is implemented using the Network Service Header, which is already used in the communication between nodes at the SFC architecture. Thus, each security node is expected to treat as many packets of a given flow as possible, even if it is no negotiated with the controller, leading to a better usage of available resources by treating suspicious traffic earlier in the data path.

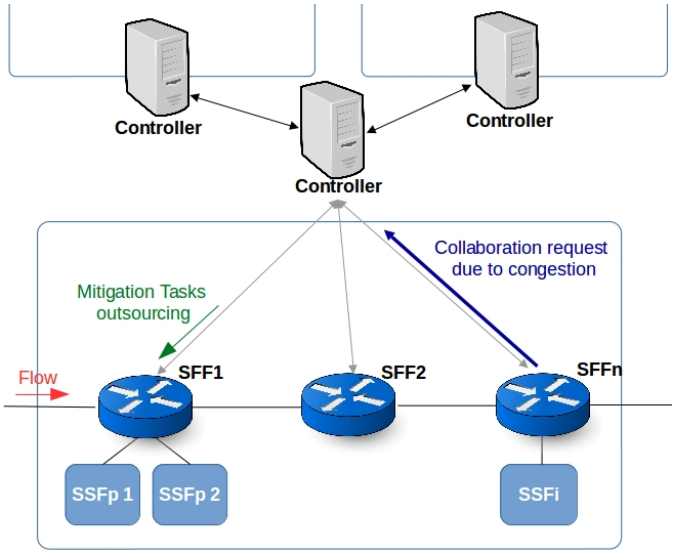


Fig. 2. Solution architecture: collaboration overview

V. Preliminary results

Aiming to evaluate the feasibility of the proposed architecture, a experimental inter-domain setup using SFC OpenDayLight (ODL) [10] project in its Beryllium release.

A. Adding a new SSF to the service chain

As a first evaluation, we measured the overhead introduced by the traffic path modification mechanisms when using the SFC approach. We started by measuring the time required for the insertion of a new SSF instance into the cloudlet's chain (namely, `ssf1`, as shown in Figure 1). This task was

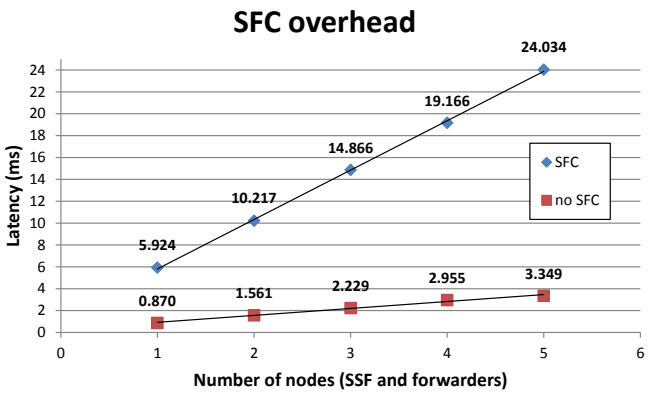


Fig. 3. Latency incurred by SFC architecture, with one forwarder per SSF.

separated in two steps: (1) the time taken for instantiating a VM image (with Vagrant); and (2) the time taken for creating a new SFC chain including that SSF instance. The result is that the first and second steps take, respectively, 64.9 $\pm$ 0.3 and 69.5 $\pm$ 0.1 seconds. In practice, however, the first step would be executed only if the VM was instantiated on demand after the negotiation between orchestrators is finished; hence, such overhead could be neglected with the preemptive instantiation of a suitable VM as part of the collaboration protocol, so this interval can be seen as a worst case scenario Even if the VMs are actually instantiated on demand, though, an interval of a couple of minutes can be considered an acceptable result in practice when compared to the hours-long lifespan of typical DDoS attacks [1].

B. Measuring SFC's latency overhead

In a second experiment, we evaluated the average overhead introduced by the adoption of the SFC itself as basis for an orchestrated implementation of the proposed framework. More precisely, we measured how much latency is added by the presence of forwarders along the chain, in comparison with having a direct connection between the SSF, using the tcpping functionality at the client's side. For this task, we employed the same SSF provided by default in the OpenDaylight SFC demo used as basis for the testbed, which do not provide any actual filtering service, but simply forward all traffic received after evaluating and updating its header. We then connected the network interfaces of those SSF via forwarders, one per SSF, analogously to scenario shown in Figure 2, or directly, so no overhead would result from the SFC architecture itself. Figure 3 depicts the results obtained with 1 to 5 SSF; the numbers shown correspond to 1000 repetitions of the tests, resulting in a standard deviation of approximately 10% in each case. The analysis of this figure reveals that each SSF and corresponding forwarder contribute to an average latency of approximately 4.5 ms, which means a total latency overhead of approximately 3.9 ms compared to the scenario where the SSF are connected directly.

VI. Conclusion

The effective collaboration among security service functions (SSF) is an important feature for scalability. In this paper, we present a flexible solution for enabling collaboration through a congestion prevention approach that can be employed in one or multiple domains. The proposed collaborative approach considers that security nodes can negotiate not only the tasks to be offloaded among them, but also the amount of resources to be dedicated on each task while enabling a "best-effort" cooperation mode. The implementation of the proposed solution is still in its preliminary stage, as there is still no dynamic collaboration between domains. Nonetheless, our initial experiments based on the Service Function Chaining (SFC) architecture and OpenDaylight show that the proposed approach is feasible when considering its additional overhead. As future work, we plan to extend our current implementation to include different services, including packet filtering, and also a larger number of SSF to evaluate scalability issues.

References

[1] AKAMAI. *State of the Internet / security – Q1 2016 executive review*. [S.l.], 2016. urls.

[2] ANSTEE, D. et al. *Worldwide infrastructure security report*. [S.l.], 2016. XI. urls.

[3] ZARGAR, S. T.; JOSHI, J. B. A collaborative approach to facilitate intrusion detection and response against ddos attacks. In: IEEE. *Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing (CollaborateCom), 2010 6th International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 1–8.

[4] LEE, S. B.; KANG, M. S.; GLIGOR, V. D. Codef: collaborative defense against large-scale link-flooding attacks. In: ACM. *Proceedings of the ninth ACM conference on Emerging networking experiments and technologies*. [S.l.], 2013. p. 417–428.

[5] MARQUES, P. et al. *Dissemination of Flow Specification Rules (RFC 5575)*. 2009. urls.

[6] MIRKOVIC, J. et al. Distributed defense against ddos attacks. In: . [S.l.: s.n.], 2005. p. 1–12.

[7] MAHAJAN, R. et al. Controlling high bandwidth aggregates in the network. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, ACM, v. 32, n. 3, p. 62–73, 2002.

[8] HALPERN, J.; PIGNATARO, C. *Service Function Chaining (SFC) Architecture (RFC 7665)*. 2015. urls.

[9] SAHAY, R. et al. Towards autonomic ddos mitigation using software defined networking. In: INTERNET SOCIETY. *NDSS Workshop on Security of Emerging Networking Technologies (SENT'2015)*. [S.l.], 2015.

[10] MEDVED, J. et al. OpenDaylight: Towards a model-driven SDN controller architecture. In: *IEEE 15th International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*. [S.l.]: IEEE, 2014. p. 1–6. urls.

Text recognition improvement using a novel iterative method and super-resolution

VALIENTE, R.; BRESSAN,G.
Laboratory of Computer Architecture and Networks, Escola Politénica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brazil
{rvaliente, gbressan}@larc.usp.br

Abstract*— A process for accurate text recognition of generic identification documents (ID) using super-resolution and over cloud computing is presented. The image processing is done in a cloud server where image rectification, text detections and word recognition methods are combined to extract all non-manuscript information from the ID. Rectification is based on an improved Hough Transform and the text detection approach consists of a contrast-enhanced Maximally Stable Extremal Region (MSER), using heuristics constraints to remove non-text regions. The word recognition process is enhanced using a novel iterative method and by text image super-resolution. Low resolution introduces substantial loss of details which can make a text unreadable by humans and unrecognizable by OCR systems. As a solution, a sparse coding-based approach is proposed to enhance the resolution of a textual image. The performance of the process is evaluated qualitatively and quantitatively on real images from different documents with low-resolution text. Significant improvements in visual quality and character recognition rates are achieved using the proposed approach.

Keywords: *image rectification, text recognition, cloud computing, super-resolution, OCR, ID.*

1 INTRODUCTION

In a world that is increasingly digital, there is a significant push to digitize documents of cultural or intellectual value. A large portion of the data to be digitized is text, which poses some challenges to massive digitization efforts. Automatic text recognition is one of the hardest problems in computer vision. Although many text detection methods have been studied in the past, the problem remains open [1-7]. An essential prerequisite for text recognition is to locate text on images. This still remains a challenging task because of the wide variety of text appearance, due to variations in font, thickness, color, size, texture, and geometric distortions [8].

Manual work will be minimized and changed as much as possible by applying a computer. Identification documents (ID) are one of the main sources for obtaining information about a citizen. Some business sectors require the information contained in ID cards to perform registration processes. In general, registration processes uses forms to be filled in accordance with the data from the ID cards, which will be converted into digital data by manually entering the information [4]. However, a system can extract this information by processing the image of the ID and generating text as a result. This approach is known as optical character recognition (OCR). OCR systems allow one to extract textual information from images. However, when those images lack of resolution, these systems fail. Simple interpolation techniques are very limited at improving the performances. Super resolution (SR) approaches aim to enhance the reconstruction process by generating missing details, and are able to provide better shaped images yielding better OCR performances.

Text recognition from low resolution images is an interesting problem encountered in many application areas. Resolution enhancement has become a valuable research topic due to the rapidly growing need for high-quality images in various applications. Various resolution enhancement approaches have been successfully applied on natural images. Nevertheless, their direct application to textual images is not efficient enough due to the specificities that distinguish these particular images from natural images. The use of insufficient resolution introduces substantial loss of details which can make a text unreadable by humans and unrecognizable by OCR systems. To address these issues, a sparse coding-based approach is proposed to enhance the resolution of a textual image. The information extracted must be accurate, since a recognition error can generate a mistake during the registration, making the system complex and requiring intensive processing [9]. Devices with low computational power can use the cloud for intensive processing.

Related works focus on text recognition,[7, 10, 11], text location and segmentation [12-14] , text rectification [15-17] or super resolution. These approaches have been considered separately in a number of other recent studies [5, 6, 11, 14]. These techniques have been used for complete ID recognition using a template [4], and for Business Cards OCR in Android Operating Systems [9].

We here propose an implementation of a character recognition process for generic documents. Fig. **1** shows a diagram of the system. It consists of two phases: in phase 1, the ID image is captured and sent to the server, and in phase 2, a Java server processes the image for text recognition. All image processing algorithms are implemented and debugged in Matlab. Using Matlab compiler SDK, we generate a java package (code.jar) with all the functions previously implemented. Finally, this package is run by the server. The image processing includes four steps: (a) preprocessing, (b) text-area location and segmentation, (c) rectification and (d) word recognition.

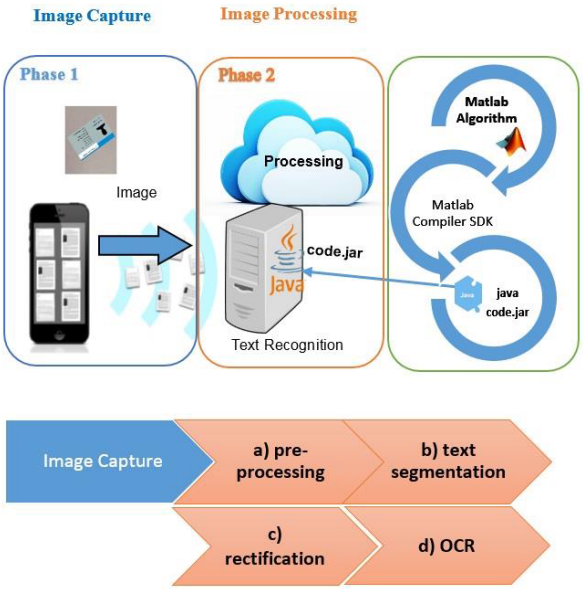


Fig. 1. System Architecture. (1) phase 1, image capture. (2) phase 2, image processing. (a, b, c, d, are the steps of the text recognition process)

The rest of the paper is structured as follows: In Section 2, the Text recognition process is presented, in Section 3, the experimental evaluation is provided. The conclusions are in Section 4.

2 TEXT RECOGNITION PROCESS

The algorithm consists of four processing steps A, B, C e D, shown in Fig. 2. The algorithm optimizes the conditions for text recognition before providing the image to OCR Tesseract. A Super resolution (SR) approach and a novel iterative method are combined to improve the word recognition process.

Tesseract assumes that its input is a binary image with optional polygonal text regions defined. The first step is a connected component analysis, which the outlines of the components are stored and gathered together, converting into Blobs. Blobs are organized into text lines, and the lines and regions are analyzed for fixed area or proportional text size. Text lines are divided into words according to the character spacing and fuzzy spaces[18].

Recognition then proceeds as a two-pass process. In the first pass, an attempt is made to recognize each word in from the text. Each word that is satisfactory is passed to an adaptive classifier as training data. A second pass is run over the page, in which words that were not recognized well enough are recognized again. A final phase resolves fuzzy spaces, and checks alternative hypotheses for the x-height to locate smallcap text[18].

2.1 Preprocessing

As images are taken in different illumination conditions and at various distances from the smartphone, the images need to be preprocessed to improve the next stages [8, 11] (Fig. 2, A).

The pre-processing improves the input image to reduce the noise, hence to enhance the processing speed. The image is converted into gray level image and then into binary image. The following steps are used for preprocessing: automatic contrast adjustment and noise reduction by performing a median filter combined with morphological operators.

2.2 Text segmentation

Following preprocessing, the text segmentation separates the text from the background (Fig. 2, B). An adaptive threshold with a contrast-enhanced MSER algorithm is designed to extract the character candidates. Next, simple geometric constraints are applied to remove the non-text regions.

2.2.1 Adaptive Threshold

Concerning the improvement of MSER, the image is subdivided into blocks; for each block all local thresholds are computed. The Adaptive thresholding performs the reduction of a grayscale image to a binary image. The algorithm assumes that in an image there are foreground (black) pixels and background (white) pixels. It then calculates the optimal threshold that separates the two pixel classes such that the variance between the two is minimal. Next, the morphological operations: opening, closing, and dilation, using square structuring elements, are performed. The final result overlays the original image to delete the background area.

2.2.2 Text detection using MSER

The MSER feature detector works well for finding text regions[12, 14] because the consistent color and the high contrast of the text lead to stable intensity profiles.

MSER detects a set of connected regions from an image, where each region is defined by an extremal property of the intensity function within the region to the values on its outer boundary. MSERs are invariant to continuous geometric transformations and affine intensity changes and are detected at several scales. MSER are further considered as the fastest interest point detection method, since algorithms for calculating MSERs in linear time are available [12, 14].

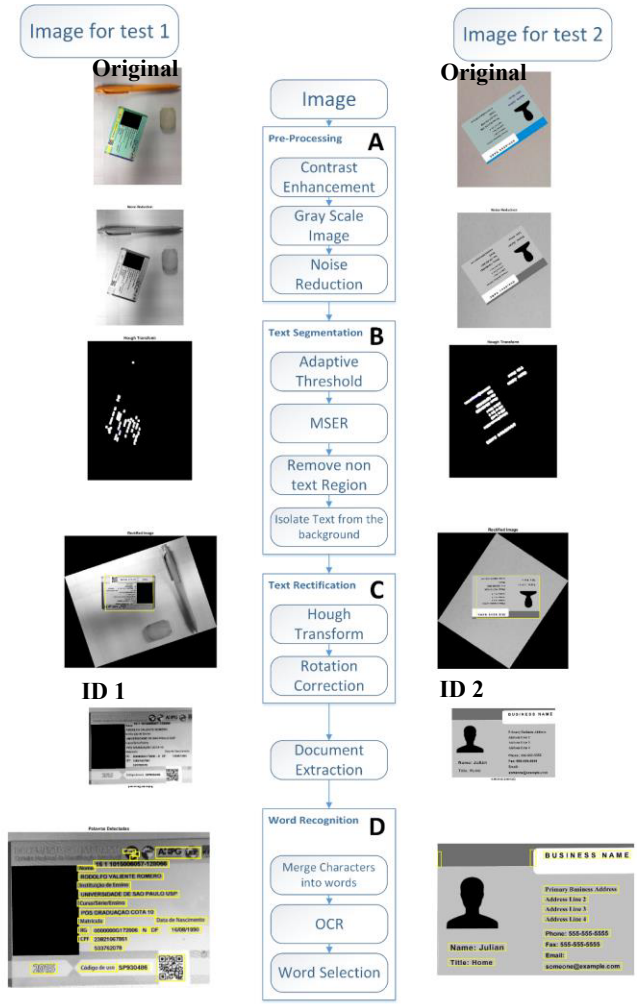


Fig. 2. Complete Text Recognition Diagram. (1) Image captured from a real ID. (2) Image from a standard Microsoft Publisher template.

2.2.3 *Basic Geometric Properties Filtering*

Although the MSER algorithm detects most of the text, it also detects many other stable regions on the image that are not text. There are several geometric properties that are good for discriminating between text and non-text regions [8, 12].

The convex area is the area of the convex hull, which is the smallest convex polygon that contains the region. A stroke is a contiguous part of an image that forms a band of a nearly constant width. Characters are made of strokes which have consistent stroke width. The Stroke Width Transform (SWT) is a local image operator that computes per pixel the width of the most likely stroke containing the pixel.

For an ID, the best distinctive properties obtained are: Aspect ratio, Eccentricity, Solidity and Area. Table 1 shows the range of the selected values for each property.

Table 1. HEURISTIC PROPERTIES. t= number of pixels of the image

Properties	**Value (v)**
Aspect ratio	$0.2 < v < 5$
Eccentricity	$v < 0.995$
Solidity	$v > 0.3$
Area	$1/104 * t < v < 1/103 * t$

2.2.4 *Stroke Width*

Stroke width is another common metric used to discriminate between text and non-text; it is defined as the length of a straight line from a text edge pixel to another along its gradient direction. The stroke width remains almost the same in a single character. However, there is a significant change in stroke width in non-text regions as a result of their irregularity. Text regions tend to have little stroke width variation, whereas non-text regions tend to have larger variations [12]; thus, regions with larger variations are removed.

Some text candidates can be erroneously rejected, especially those with a high aspect ratio. Therefore, to bring back the mistakenly removed characters, we take consider that adjacent characters are expected to have similar attributes, such as height and stroke width. Then, by integrating the stroke width generated from the skeletons of those candidates, the remaining false positives are rejected[12]. Finally, all text regions are extracted (extracted text area).

2.3 *Text Rectification*

During the process of acquiring the picture of the ID, the text image will inevitably have different degrees of tilt and cause certain difficulties to the following OCR process [16]. Thus, image rectification is necessary and is executed by performing an improved Hough transform (Fig. 2, C). Hough transform is not applied to the original image, but to the extracted text area. The horizontal and vertical line segments of the text area are extracted, and the line segments serve as an image feature for image rectification [15-17]. Next, the transformation to be applied is computed and the image is rectified (Fig. 2, C). From the rectified image the ID is cropped and the text extracted is used for the next step.

2.4 *Word Recognition*

At this point, all the detection results are composed of individual text characters. To use these results for recognition tasks, such as OCR, the individual text characters must be merged into words or text lines (Fig. 2, D), which carry more meaningful information than just the individual characters [11, 12]. The characters are grouped into words based on distance, orientation, and similarities between characters. Then, the recognition process is performed (Fig. 2, D) for each word in the bounding boxes.

Using Algorithm 1, the results are improved by applying OCR to the image of the document extracted (Fig. 2, ID Extracted) and to the image with the text segmented (without background); both images are shown in figure 3. Therefore, by

repeating the OCR twice and taking into account the confidence value (percent of accuracy) given by the OCR function, the most accurate OCR result is selected for each word.

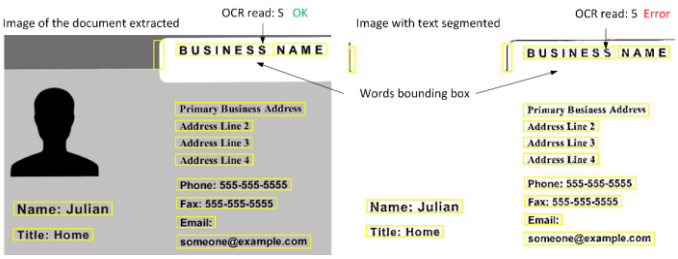


Fig. 3. Images used to apply OCR, and improve the results

2.4.1 Merge characters into words

The individual text regions are merged into words or text lines by finding neighboring text regions. This is achieved by expanding the bounding boxes of each individual character computed earlier, until they overlap. The overlapping bounding boxes can be merged to form a chain of horizontal single bounding boxes around individual words or text lines.

Before showing the final detection results, false text detections are suppressed by removing the bounding boxes with just one text region inside. This process removes isolated regions that are unlikely to be a word, taking into account that every text is usually found in groups (words and sentences).

2.4.2 Image super resolution

After detecting the word regions, we improve the image resolution before using OCR, as existing OCR algorithms and tools produce good results from high resolution, good quality, document images. For regular texts (font size 8-10 points) it is recommended to use 300 dpi resolution for OCR. If image have a smaller resolution, for example 200 dpi, then 10 point font will be too small. Low image quality (low resolution) may produce uncertainty in character recognition process, thus to archive a good OCR result it is important to generate a good, suitable binary image. (ABBYY Technologies)

Super Resolution is a technique that enhances the image resolution and makes it clearer for human as well as for machines in view for better information extraction which are not visibly cleared in LR image. Super resolution can be acquired either by processing multiple low resolved images as input and generating a high detail containing a single super resolved image as output or enhancing the details in a single low resolved image and generating a high resolved image for analysis. In SR from multiple LR images, it is a construction of HR image from several LR images, thereby increasing the high frequency components. The basic idea behind this is to combine non-repetitive information contained by multiple LR images. While in SR from single LR image, resolution of the image can be increased either by enhancing the edges of the objects present in an image or by patch redundancy technique, where each LR patch is replaced by its corresponding HR patch. The main benefit of SR approach is that, a HR image can be obtained even with the existing LR imaging with lower cost and less power consumption.

Linear or even cubic spline interpolation create a softer image that may be good for certain applications, but is horribly suited, for example, to enhance text images. It is obvious that a local image is not enough to produce a higher-resolution version of the image, and in general super resolution is an ill-posed problem. This is obvious since there are many high-resolution images that could generate a low-resolution one after blurring or downsampling. Most machine learning approaches to super resolution involve a training set of low- and high-resolution image pairs to train an algorithm to predict a clearer version of an image. Additionally, the high correlation of neighboring pixels in natural images is often utilized by image-enhancing algorithms. One successful algorithms for image super-resolution is belief propagation where an image's high-resolution equivalent is treated like a Markov network. Other accomplish super resolution by first training multiple support vector machines on corresponding patches of low- and high- resolution images and then use the trained SVM's to predict higher-resolution versions of input images.

In particular, this paper is concerned with a sparse coding-based approach to enhance the resolution of a textual image. Sparse representation is proven to be a promising approach to image super-resolution, where the low-resolution (LR) image is usually modeled as the down-sampled version of its high-resolution (HR) counterpart after blurring. Table 2 shows how the resolution change the OCR accuracy, and how different super-resolution method can achieve a good OCR result.

Table 2: RESULTS OF THE ICDAR2015 COMPETITION ON TEXT IMAGE SUPER-RESOLUTION.

Team / Method	RMSE	PSNR	SSIM	OCR accuracy
Bicubic	19.04	23.50	0.879	60.64
ASRS [1]	12.86	26.98	0.95	71.25
SRCNN-1 [2]	7.52	31.75	0.98	77.19
SRCNN-2 [2]	7.24	31.99	0.981	76.10
Synchromedia Lab [3]	62.67	12.66	0.623	65.93
Original HR	-	-	-	78.80

2.4.3 Perform OCR and select best words

After improving the resolution of the text images, the OCR function is used to recognize the text within each bounding box. Word recognition is improved by obtaining the optimal width of the bounding box and by performing OCR on two images (Fig. 3). The procedure is outlined in Algorithm 1. The output of the Algorithm 1 is the best result for each word and improves the final word recognition process. For example, in Fig. 3, for the bounding box of the word “BUSINESS”, in the image on the left, the OCR output is “BUSINESS”, with 91% of accuracy, and for the image on the right, the OCR output is “BUSINE5S”, with 83% of accuracy; then, the

algorithm selects the first, which is the better result. The same process is performed for all the bounding boxes.

Algorithm 1- Finding the best words for each bounding boxe in each image

Input: A=image set, B= Word bounding boxes (location of each word)
Output: W= selected best words recognized

```
Initialize  W (row, column)                    //in the first column we save the
//word in the second column the accurate of the OCR
  for i= each image in A  do                   // iterate over each image and select
//the best recognized words
                                               // i is the image
    for j=each B in image i do                 // j is the bounding box
      W_temp(j,1) = OCR (word in the bounding box j  )
      W_temp (j,2) = OCR (word in the bounding box j  ).confidence
                     // confidence value =percent of accuracy of the OCR
       If  (W_temp  (j,2)  >  W  (j,2))   //save word with the best OCR
accuracy
          W (j,2)= W_temp (j,2)
          W (j,1)= W_temp (j,1)
        end if
     end for
  end for
return W
```

(A) In our case we use two images. We could choose other processed images from the original.

3 EXPERIMENTS AND RESULTS

We used 20 different images with 5 different points of view, for a total of 100 images. One of these images is a standard Microsoft Publisher template (Fig. 2). The IDs under study are subjected to a variety of adverse conditions, including variable illumination, background, rotation, and text flow. The performance of the all process is evaluated, from the application on the phone to the word recognition by the server. Furthermore, the results of Algorithm 1 are assessed.

3.1 Complete process

Fig. 2 shows the results of the full process for two images. In both cases, 100% of the bounding box of the words are detected. In image 2, 100% of accuracy is obtained after performing OCR (Fig. 4). In image 1, 21 sentences are detected, from which 19 are read correctly, obtaining a 90% accuracy. The two incorrect words are shown in Figure 5. The error is assumed to be related to the OCR engine lack of training for specific typography.

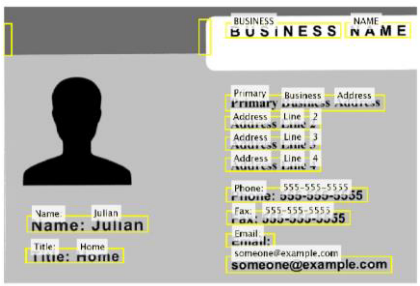


Fig. 4. Result from Word Recognition in test image 2 (Figure 2). 12 sentences (100% of the document) with a 100% of accurate OCR were detected.

Fig. 5. Incorrectly read words in figure 2 (test image 1). For the first word, 2o15 was read and, for the second, A.-*

Images with complex background and typographies different from the trained data have worse results, since the background introduces complex noise into the image and OCR is not trained for these typographies. Therefore, an improved robust process that can get similar results with all documents and environments is necessary.

3.2 Performance of OCR Algorithm

To evaluate the performance of Algorithm 1, 100 images are processed. We compute a sum of: a) the total words in the IDs, b) all the words found after applying OCR, c) words with accuracy better than 80% (confidence of OCR Tesseract), and we calculate d) process accuracy as in equation 8.

$$\text{process accuracy} = \frac{\text{words with OCR} > 80\% \text{ accuracy}}{total\ words} \qquad (8)$$

We calculated that in four different cases (Table 3):
1- OCR over the original image (Fig. 2, Original).
2- OCR over the rectified image (Fig. 2, ID Extracted).
3- OCR over image with bounding box (Fig. 2).
4- OCR using the Algorithm 1.

Table 3. COMPARATIVE OUTPUT RESULT FROM THE OCR FUNCTION

Case of Study	**a)**Total words	**b)**found words	**c)**OCR > 80% accuracy	**d)**%process accuracy
1-OCR without rectification	1100	63	1	0.09
2-OCR with just rectification	1100	487	344	3.,27
3-OCR with bounding box	1100	1034	871	79.18
4-OCR with our method	1100	1034	963	**87.54**

The method proposed achieves better results than the other available alternatives. For case 1, the image is not rectified; therefore, dreadful results are obtained because OCR tesseract works with words in horizontal direction. For case 2, the image is rectified, but the bounding box is not extracted, thus, not achieving the desirable results. For case 3, the OCR is applied over just one image and it produces some mistakes. For case 4, the OCR is improved by using Algorithm 1 the best results are acquired with an accuracy of 87,54 % as the average for the 100 images.

4 CONCLUSIONS

This paper proposed a process for text recognition of generic identification documents over cloud computing. It efficiently combines MSER, a locally adaptive threshold method for text segmentation and a rectification correction using the Hough transform algorithm. Some of the operations

described are too intensive to be run in a mobile phone; therefore, cloud computing is used for processing. By using Algorithm 1, experimental results confirm that the process enhances the result of OCR, allowing it to obtain better accuracy of words recognition. As a mobile device and cloud computing are used, the result is highly functional and interesting. Nevertheless, the recognition process has some inaccurate results for images with complex backgrounds and different typographies; the process described will thus be improved in future works.

5 ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank Scopus Soluções em TI and also Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (FUSP). This work is in the context of the project LARC/MEC-MDIC-MCT-1-11.

6 REFERENCES

[1] A. K. Jain and B. Yu, "Automatic text location in images and video frames," *Pattern Recognition,* vol. 31, pp. 2055-2076, Dec 1998.

[2] B. Epshtein, E. Ofek, Y. Wexler, and Ieee, "Detecting Text in Natural Scenes with Stroke Width Transform," in *2010 Ieee Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, ed Los Alamitos: Ieee Computer Soc, 2010, pp. 2963-2970.

[3] C. Yao, X. Bai, W. Y. Liu, Y. Ma, Z. W. Tu, and Ieee, "Detecting Texts of Arbitrary Orientations in Natural Images," in *2012 Ieee Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, ed New York: Ieee, 2012, pp. 1083-1090.

[4] M. Ryan and N. Hanafiah, "An Examination of Character Recognition on ID card using Template Matching Approach," *International Conference on Computer Science and Computational Intelligence (Iccsci 2015),* vol. 59, pp. 520-529, 2015.

[5] J. M. Lukas Neumann, "Efficient Scene Text Localization and Recognition with Local Character Refinement," presented at the International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), 2015.

[6] L. Sun, Q. Huo, W. Jia, and K. Chen, "A robust approach for text detection from natural scene images," *Pattern Recognition,* vol. 48, pp. 2906-2920, Sep 2015.

[7] M. Jaderberg, K. Simonyan, A. Vedaldi, and A. Zisserman, "Reading Text in the Wild with Convolutional Neural Networks," *International Journal of Computer Vision,* vol. 116, pp. 1-20, Jan 2016.

[8] A. Gonzalez, L. M. Bergasa, J. J. Yebes, S. Bronte, and Ieee, "Text Location in Complex Images," in *2012 21st International Conference on Pattern Recognition*, ed New York: Ieee, 2012, pp. 617-620.

[9] N. L. Sonia Bhaskar, Scott Green, "Implementing Optical Character Recognition on the Android Operating System for Business Cards," 2011.

[10] I. W. a. H.-C. Chang, "Signboard Optical Character Recognition," 2013.

[11] A. Gonzalez and L. M. Bergasa, "A text reading algorithm for natural images," *Image and Vision Computing,* vol. 31, pp. 255-274, Mar 2013.

[12] Y. Li, H. C. Lu, and Ieee, "Scene Text Detection via Stroke Width," in *2012 21st International Conference on Pattern Recognition*, ed New York: Ieee, 2012, pp. 681-684.

[13] A. Risnumawan, P. Shivakumara, C. S. Chan, and C. L. Tan, "A robust arbitrary text detection system for natural scene images," *Expert Systems with Applications,* vol. 41, pp. 8027-8048, Dec 2014.

[14] X. C. Yin, X. W. Yin, K. Z. Huang, and H. W. Hao, "Robust Text Detection in Natural Scene Images," *Ieee Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* vol. 36, pp. 970-983, May 2014.

[15] S. Yonemoto, "A Method for Text Detection and Rectification in Real-World Images," pp. 374-377, 2014.

[16] F. Yin, D. Chen, and R. Wu, "A distortion correction approach on natural scene text image," pp. 1058-1061, 2011.

[17] Y.-m. L. a. Z.-y. H. Yu-peng Gao, "Skewed Text Correction Based on the Improved Hough Tranform," 2011.

[18] R. Smith, "An Overview of the Tesseract OCR Engine," in *Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007)*, 2007, pp. 629-633.

An evaluation of trust models in agent simulated supply-chains
Avaliação de modelos de confiança em cadeias de suprimentos simuladas por agentes

André Jalbut *; Jaime Sichman *;
*LTI - Escola Politécnica da USP
E-mail: andrejalbut@usp.br, jaime.sichman@usp.br

***Abstract*—A common way to study supply-chain behaviour is through agent-based simulation, each agent representing a firm which reasons to choose its suppliers. In this study, a trust model intended to base this choice is proposed. It must be specified, programmed, simulated alongside and compared with preexisting similar models.**

***Keywords*— multi-agent systems; trust models; supply chains; simulation**

***Resumo*— Uma maneira de estudar o comportamento de cadeias de suprimentos é simulá-las com auxílio de agentes, cada um representando uma firma que avalia e escolhe seus fornecedores. No presente trabalho, propõe-se um modelo de confiança para embasar tal escolha. Ele deverá ser especificado, programado e simulado juntamente com outros modelos já cobertos por estudos similares.**

***Palavras-chave*— sistemas multi-agentes; modelos de confiança; cadeias de suprimentos; simulação**

I. Introdução

Esta pesquisa é fundamentada em uma série de conceitos, descritos a seguir.

A. Cadeias de suprimentos

Cadeias de suprimentos (Supply Chains - SCs) são definidas como o conjunto de organizações, atividades, informação e recursos envolvidos na movimentação de um produto ou serviço de fornecedor para consumidor [1]. O estudo do gerenciamento destas cadeias (Supply Chain Management - SCM) vem sendo alvo de interesse crescente visando obter vantagens competitivas para o mercado por meio de melhorias em seus processos [2].

B. Sistemas multi-agentes

Para poder estimar os resultados de qualquer decisão referente ao gerenciamento de cadeias de suprimentos, é necessária uma ferramenta para modelar esses sistemas. Alguns estudiosos propõem para tal fim a utilização de sistemas multi-agentes (Multi-Agent Systems - MAS) [4], um ramo da inteligência artificial que estabelece a representação de um sistema como a interação entre múltiplos agentes inteligentes, cada um avaliando alternativas diferentes e tomando suas próprias decisões, dentro de um contexto definido por restrições locais e externas

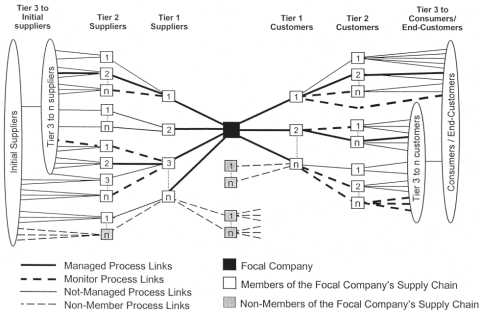


Figura 1. Exemplo de cadeia de suprimentos [3]

[5].
Mais especificamente, pesquisadores defendem a escolha de MAS baseados nas características intrínsecas do SCM: é um problema fisicamente distribuído, pode ser alimentado com um padrão geral de tomada de decisões, cada agente pode considerar tanto interesses próprios como de toda a cadeia, e é um problema altamente complexo, o que é influenciado pela interação entre as diversas variáveis que o integram [6].
Com relação aos experimentos, optou-se aqui pelo método de simulação. Tal escolha se sustenta pela flexibilidade inerente que esta abordagem oferece para a modelagem e estudo de SCs, cuja complexidade intrínseca obstrui qualquer tentativa de avaliação analítica [7].

C. Modelos de confiança

Uma vez que uma SC é composta por firmas individuais colaborando para servir consumidores finais, sua eficácia é altamente dependente da confiança entre os parceiros da rede [8]. Define-se confiança como a predisposição de um agente a se colocar em uma posição vulnerável com relação a outro esperando que este lhe proporcione alguma vantagem por contrapartida [9]. Em uma cadeia de suprimentos, a escolha e manutenção dos parceiros depende da confiança dos destinatários das mercadorias nos respectivos fornecedores, com base no histórico de entregas bem sucedidas e na pontualidade destas [10]. A utilização de modelos de confiança para embasar as crenças e decisões dos agentes deriva da comprovação de

que quanto maior a confiança de um consumidor em seus fornecedores, maior a responsividade destes, e portanto maior o ganho para a SC [11].

II. Objetivos

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um modelo de confiança para cadeias de suprimentos, e comparar os indicadores por ele obtidos em simulação com os obtidos por outros modelos já existentes na literatura simulados nas mesmas condições, de forma a determinar aquele que apresenta o melhor desempenho.

III. Método

O modelo de confiança proposto consistirá em uma cadeia separada em níveis de produção sequenciais. Cada nível será composto por nós representados por agentes, cada um contendo uma representação interna de todos os agentes do nível anterior. Esta representação deverá conter a lista de todos os possíveis fornecedores e respectivos índices de confiança para o agente em questão, que os consumirá. O propósito e funcionamento dos índices de confiança é explicado a seguir. Cada agente conterá dois tipos de estoques, um de matérias primas e outro de produtos fabricados. De tempos em tempos, um consumidor deverá negociar pedidos com os seus fornecedores, na forma de um leilão. Os fornecedores, por sua vez, também negociarão com os níveis anteriores a fim de obter as matérias primas necessárias para fabricar o conteúdo de suas entregas, em um processo que se alastrará do fim ao início da cadeia.

A oferta vencedora será determinada pela combinação entre 3 fatores: menor custo do pedido, menor tempo de entrega e maior índice de confiança do agente no fornecedor ofertante. Vencido o leilão, o fornecedor deverá proceder à fabricação e envio das mercadorias. A taxa de sucesso de uma entrega será determinada pela proporção entre as quantidades entregues e prometidas e também por critério de pontualidade. A depender da taxa de sucesso da entrega, o índice de confiança do agente no fornecedor deverá ser acrescido ou decrescido de um valor. Convertidas matérias primas em produtos entre os níveis, a produtividade global da SC poderá ser mensurada conforme critérios variados, como unidades consumidas no último nível, ganho financeiro e tempo de ciclo.

Concluída a modelagem, será preciso especificar a cadeia de suprimentos a ser testada, com a definição das etapas produtivas, consumidores, fornecedores, matérias primas, produtos intermediários, finais. Logo em seguida, os agentes MAS serão introduzidos em cada nó (etapa) da cadeia. A essa altura, serão definidas as restrições e regras de tomada de decisão para os agentes, regras estas que diferirão entre os cenários de teste referentes a cada modelo de confiança.

Após a especificação dos testes, o projeto seguirá para a etapa de simulação, que deverá fazer uso de softwares baseados em agentes, como por exemplo Netlogo [12]. Os cenários serão programados, e os sinais de entrada serão definidos. Cada cenário será executado por um número suficiente de vezes para garantir um intervalo de confiança, a ser definido. Os resultados colhidos deverão contemplar os indicadores de produtividade e confiabilidade supracitados.

Os dados de saída serão então estatisticamente analisados por meio de softwares com como R [13] e comparados entre os casos de teste. Os resultados serão então interpretados com o intuito de definir os prós e contras entre o gerenciamento feito por meio de cada modelo simulado.

IV. Revisão bibliográfica

No âmbito de SCM, foi demonstrado que confiança contribui para diminuir o tempo para entrega dos pedidos e aumentar a taxa de entregas pontuais[14]. Evidências empíricas demonstram que a confiança entre parceiros pode reduzir a variabilidade dos seus níveis de estoque [15], e também indicam que a confiança entre fornecedores e consumidores contribui para uma maior integração da cadeia, o que por sua vez aumenta seu ganho financeiro [16].

Constatou-se que muitas das pesquisas que estudam modelos de confiança no contexto de SCM carecem de métricas e indicadores quantitativos, valendo-se, primariamente, de questionários como fontes de dados, sintetizando os resultados em tabelas de correlação [17] [18] [11]. Em vez disto, o foco do atual trabalho é reproduzir o comportamento das cadeias em ambiente virtual, de forma a poder realizar medições e traçar conclusões com base em resultados experimentais.

V. Resultados esperados

Dentro do cenário de uma cadeia de suprimentos modelada e simulada, uma vez analisados e comparados os modelos de confiança para escolha de fornecedores, será possível determinar aquele que maximiza a produtividade global do sistema. Desta forma, com o estudo de uma diversidade de cadeias em trabalhos subsequentes que adotem simulação por agentes, espera-se obter uma política de decisão consolidada. Esta política deverá, por excelência, conciliar os diferentes modelos de confiança, de forma a aplicar cada um deles no conjunto de cenários em que desempenhe melhor.

Determinadas as cadeias em que cada modelo de confiança se sobressai, o próximo passo deve ser mapear os respectivos cenários virtuais para cadeias de suprimentos reais. Desta forma, será possível validar, caso a caso, a eficácia das escolhas de parceiros previstas no referido modelo com relação às escolhas previstas por políticas de decisão tradicionais no que diz respeito aos indicadores de produtividade.

Referências

[1] NAGURNEY, A. *Supply chain network economics: dynamics of prices, flows and profits*. [S.l.]: Edward Elgar Publishing, 2006.

[2] CROOM, S.; ROMANO, P.; GIANNAKIS, M. Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. *European journal of purchasing & supply management*, Elsevier, v. 6, n. 1, p. 67–83, 2000.

[3] LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C. Issues in supply chain management. *Industrial marketing management*, Elsevier, v. 29, n. 1, p. 65–83, 2000.

[4] KAIHARA, T. Multi-agent based supply chain modelling with dynamic environment. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 85, n. 2, p. 263–269, 2003.

[5] WOOLDRIDGE, M. J. *Reasoning about rational agents*. [S.l.]: MIT press, 2000.

[6] FUENTE, D. D. L.; LOZANO, J. Application of distributed intelligence to reduce the bullwhip effect. *International Journal of Production Research*, Taylor & Francis, v. 45, n. 8, p. 1815–1833, 2007.

[7] ZEE, D.-J. V. D.; VORST, J. G. V. D. A modeling framework for supply chain simulation: Opportunities for improved decision making*. *Decision Sciences*, Wiley Online Library, v. 36, n. 1, p. 65–95, 2005.

[8] VLACHOS, I. P.; BOURLAKIS, M. Supply chain collaboration between retailers and manufacturers: do they trust each other? In: TAYLOR & FRANCIS. *Supply Chain Forum: An International Journal*. [S.l.], 2006. v. 7, n. 1, p. 70–80.

[9] MAYER, R. C.; DAVIS, J. H.; SCHOORMAN, F. D. An integrative model of organizational trust. *Academy of management review*, Academy of Management, v. 20, n. 3, p. 709–734, 1995.

[10] HOU, Y. et al. The effects of a trust mechanism on a dynamic supply chain network. *Expert Systems with Applications*, Elsevier, v. 41, n. 6, p. 3060–3068, 2014.

[11] HANDFIELD, R. B.; BECHTEL, C. The role of trust and relationship structure in improving supply chain responsiveness. *Industrial marketing management*, Elsevier, v. 31, n. 4, p. 367–382, 2002.

[12] BARBOSA, J.; LEITÃO, P. Simulation of multi-agent manufacturing systems using agent-based modelling platforms. In: IEEE. *Industrial Informatics (INDIN), 2011 9th IEEE International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 477–482.

[13] DEVORE, J. *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*. [S.l.]: Cengage Learning, 2015.

[14] LIN, F.-r.; SUNG, Y.-W.; LO, Y.-P. Effects of trust mechanisms on supply-chain performance: A multi-agent simulation study. *International Journal of Electronic Commerce*, Taylor & Francis, v. 9, n. 4, p. 9–112, 2005.

[15] PANAYIDES, P. M.; LUN, Y. V. The impact of trust on innovativeness and supply chain performance. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 122, n. 1, p. 35–46, 2009.

[16] ZHANG, M.; HUO, B. The impact of dependence and trust on supply chain integration. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Emerald Group Publishing Limited, v. 43, n. 7, p. 544–563, 2013.

[17] LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C.; PAGH, J. D. Supply chain management: implementation issues and research opportunities. *The international journal of logistics management*, MCB UP Ltd, v. 9, n. 2, p. 1–20, 1998.

[18] KWON, I.-W. G.; SUH, T. Trust, commitment and relationships in supply chain management: a path analysis. *Supply chain management: an international journal*, Emerald Group Publishing Limited, v. 10, n. 1, p. 26–33, 2005.

PROFITS: A MultiAgent System for Stock Portfolio Management

REIS, E. R.*; SICHMAN, J. S.*;
*LTI - Intelligent Techniques Laboratory - School of Electrical and Computer Engineering
E-mail: everton.rreis@usp.br, jaime.sichman@poli.usp.br

***Abstract*—Asset management is a problem with unknown optimal solution. The use of automated trading systems is becoming commonly, and recently studies has shown good results for specialist systems and hybrid systems [1]. However, most of them focus on maximizing return, without considering the risk, some of them consider the relation between risk and return and one system in particular, manage the assets based on different investors profile [2]. Following the investors profile approach, this work proposes an architecture for a multiagent system composed by: (i) technical agents (build with machine learning methods and technical indicators), (ii) scrapers (that will retrieve fundamentalist data from web), (iii) fundamentalists agents (based on valuation and indicators), and (iv) coordinators (that will evaluate the agents and manage the resources). The system will be validated through simulations in the Brazilian stock market, comparing the quantitative results with the performance of IBOVESPA, the buy and hold strategy and other systems.**

***Keywords*— multi-agent system; machine learning, technical analysis, fundamentalist analysis, stock portfolio management.**

I. Introduction

Stock Portfolio Management is a problem with unknown optimal solution. The different possibilities of strategies and management approaches reinforce the problem. As a solution, a lot of specialist systems were proposed. They use a lot of past data, actual quotations and advanced modeling schemes and simulations to forecast future trends and determine which stocks to buy or sell [3].

One of the approaches to design and build these system is based on Multiagent Systems. An agent is a computer system that takes part of an environment, and is capable of autonomous acting, seeking to accomplish determined goals. A multiagent system is one composed by more than one agent, where interactions occurs, typically by messages exchange. These agents can have different goals and motivations, and for effective interactions, they need to cooperate, coordinate and negotiate among them. The conjunct work of agents in the multiagent system will result in the accomplishment of the global goal, for which the system was designed [4].

Agents perceive and act in the environment through sensors and actuators. The characterization of an environment is an important step to design the multiagent system, some of the properties cited by [5] are:

- Fully Observable vs. partially Observable: An environment is fully observable when agent's sensor have access to the complete state of the environment at each point in time. An environment can be partially observable because of noise and inaccurate sensors, or because of missing data from some state.
- Single agent vs. Multiagent: A puzzle problem where an agent solve it autonomously is a single agent problem. A chess game is a multiagent problem. Multiagent environment can be competitive (like a chess game) or cooperative (like car's traffic control).
- Deterministic vs. Stochastic: If the next state of the environment is completely determined by the current state, it is deterministic, otherwise it is stochastic.
- Episodic vs. sequential: In an episodic environment, the agent receives a percept and then performs a single action, the future states do not depend on the action performed in the actual state. On the other hand, at sequential environment, the current decision could affect all future decisions.
- Static vs. Dynamic: If the environment changes before the agent performs an action or while it is still deliberating, it is dynamic, otherwise it is static.
- Discrete vs. Continuous: This characteristic is related to the way time is handled, how percepts and action applies to the state of the environment.
- Known vs. Unknown: At a known environment, the results (or possible results, if it is a stochastic environment) for each action is known, otherwise the agent will have to learn how the environment work to make good decisions.

An environment that is partially observable, multiagent, stochastic, sequential, dynamic, continuous, and unknown is the hardest case [5].

The task of autonomous Stock Portfolio Management is characterized by this kind of complexity and this motivates the development of this work.

II. Related work

There are a lot of published work related to automated trading systems. They can be divided by (i) the principal artificial intelligence technique utilized, (ii) how many assets were simultaneously managed, (iii) the goal of the system.

- Kendall and Yan Su [6] build a multiagent system using neural network applied to single stock, seeking to maximize return.
- Yuan et al. [7] developed a multiagent system that could handle multiple assets, also objecting the maximization of return.

- Kendall and Su [8], utilized a particle swarm optimization approach in the construction of an optimal risky portfolios, now considering the trade-off between risk and return (utilizing the Sharpe ratio).
- Castro [9], build a multiagent system, multi-assets, and considered the investor's profile, on other words, the risk tolerance of each user, controlling the trade-off between risk and return.

This work is based on the work published by Castro [9], but our approach will be driven for the IBOVESPA, instead of NASDAQ, and utilizing the real-time IBOVESPA environment, instead of a simulated market environment, like he did. We will also consider multi stock management and the investor's profile.

Another important citation is the survey written by Bahrammirzaee [1], where the author compares systems based on three different approaches, (i) artificial neural network, (ii) expert system, and (iii) hybrid intelligence systems, applied at three different finance domains, that were: (i) credit analysis, (ii) portfolio management, (iii) and financial forecast.

III. Objectives

The main objective of this ongoing work is to propose a multiagent system architecture that contribute with a suitable solution to a problem without recognized optimal solution, the stock portfolio management, a complex environment for the multiagent systems domain.

As specific objectives we have:

1) Evaluate the relationship between risk and return, following the investor's profile preferences, using as metrics the return of the analyzed period (compared to the one offered by the "risk-free" asset, buy and hold strategy and IBOVESPA index), and the risk (using Sharpe Ratio and Max Drawdown statistics);
2) Optimization and evaluation of technical agents using machine learning techniques and feature selection;
3) Design of fundamentalist agents based on valuation, that will get data automatically through scrapers agents. It is an important contribution, because we have few agents based on fundamentalist analysis in automated trading systems, given its complexity.

IV. Proposed Approach

A. About the Inspiring System

To understand our proposal, it is interesting to firstly introduce the one proposed by Castro [9]. He developed two societies, the first one was CTCS (**C**oach,**T**rader,**C**onflict **S**olver) and the second one was COAST (**CO**mpetitive **A**gent **S**ocie**T**y).

The COAST architecture, that is used as reference to this work, is presented at figure 1. In this example we have three different strategies for three different assets. The agents $\mu 1$, $\mu 2$, and $\mu 3$ are based on strategies composed by a single technical indicator. The strategies used are presented bellow:

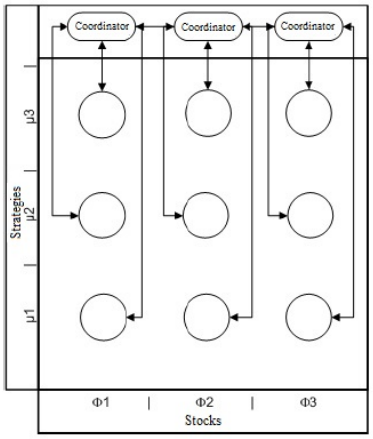


Fig. 1. COAST society to operate with three different strategies and assets. Adapted from [9].

- RSI - Relative Strength Index - Period of 14 days. Buy if it is higher than 70% and sell if it is equal or lower than 70%.
- Stochastic - Period of 14 days. Buy if less than 20 and sell if it is higher than 80.
- Moving Average (MA) - Period of 14 and 60 days. Buy when the short-term MA crosses above the longer-term MA. Sell when the short-term MA crosses below the longer-term MA.
- MACD - Moving Average Convergence Divergence - Periods of 26 and 12 days for the exponential MAs (EMA) and 9 days for the signal. The difference between the EMAs shows the trend and the signal is the trigger. Buy when MACD cross the trigger in a uptrend and sell when it cross the trigger in a downtrend.
- Price Oscillator - It is the same strategy adopted by MACD, but here the EMAs are of period 10 and 30 days.

TABLE I
Possible goals for different market scenarios and Investor's profile

		Investor Profile			
		Maximum Risk Acceptance	Minimum Return required	Limited Risk-Return	Free Risk-Return
Market Scenarios	Acceptable Risk and Return	Return Maximization	Efficiency Maximization	Efficiency Maximization	Efficiency Maximization
	High Risk, acceptable Return	Risk Minimization	Not Applied	Risk Minimization	Efficiency Maximization
	Acceptable Risk, Low Return	Not Applied	Return Maximization	Return Maximization	Eficience Maximization
	High Risk, Low Return	Not Applied	Not Applied	Eficience Maximization	Eficience Maximization

They are competitive agents, and they send a recommendation based on their strategy. There are also the coordi-

nators agents, that allocate resources between the advisors and evaluate them. The advisors just communicate with their coordinator, because they are competitive and compete for resources. On the other hand, a coordinator communicate with others coordinators and they negotiate the resources that will be allocated between them.

According to the market situation (state of the environment) and the investor's profile, agents can adopt different goals, such as: (i) risk minimization, (ii) return maximization, or (iii) efficiency maximization. It is represented at table I.

B. About our System

Our proposed system is the PROFITS (**PRO**fitable **F**undamental**I**st and **T**echnical **S**ystem). It is composed by technical agents, scrapers, fundamentalist agents, and coordinators, forming our multiagent society. It is illustrated by figure 2.

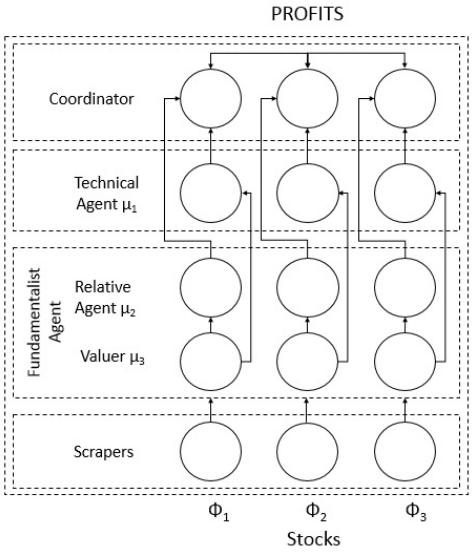


Fig. 2. PROFITS configured to 3 stocks.

The scrapers agents will search for fundamentalist data in the Internet, respecting The Robots Exclusion Protocol (/robots.txt). This protocol tells to the agent what it can access or not at a determined domain. It will also keep up with the announcement calendar of companies, to update the fundamental data from each company. The data obtained by scrapers feed the fundamentalist agents.

There are two different fundamentalist agents. The first one is the Valuer, it is responsible for analyzing the *fundamentus* of a company, the potential that each company has to generate *value*. This information will feed the relative agent and the technical agent, because if a company is not able to produce positive value it is not a good company to invest, so the Valuer acts as an inhibitor, a filter, selecting the good companies to invest, it is a cooperative agent. Its feedback will probable be in a ranking format, in the interval [0,1] classifying how good that company is. Later this number can be used by the coordinators as a confidence index, that will help them determine the size of the trade, and the risk exposure.

The second fundamentalist agent is the relative agent. It will use relative analysis, a valuation approach that uses multiples and compare them with similar companies in the market, trying to find undervalued and overvalued companies. To find and group similar companies we will use an unsupervised method (like K-means).

The technical agent substitutes the strategies approach adopted by COAST, it is also based on technical indicators, but in a combination of them, that will be selected by a feature selection technique and input a machine learning model. The idea is to choose those indicators that work better together, based on past data, assuming that such patterns will happen again in the future.

Finally, we have the coordinators agents, they communicate between them and receive recommendation from technical and relative agents. The coordinator will decided how to allocate the money and size the trade, based on the recommendations received and its actual goal. It can also consider both recommendations to improve trade's confidence, not considering divergent opinions, it will depends on the investor's profile. Coordinators will also evaluate their agents and their recommendations, with a correctness rate, that will be used as a bargain during the negotiation with others coordinators for resources.

The possible goals for coordinators are those presented at table I. When we talk about efficiency maximization we are talking about the Sharpe Ratio maximization. It measures the excess return of a portfolio, compared to a risk-free option with portfolio's standard deviation, and is calculated following equation 1.

$$Sharpe_p = \frac{E(r_p) - r_f}{\sigma_p} \tag{1}$$

Where $E(r_p)$ is the annualized average return of portfolio p, r_f is the annual risk-free rate, and σ_p is the annualized standard deviation of portfolio p [10].

V. Partials Results

We have some partials results for the technical agents [11]. In this article we used different techniques of feature selection to determine the best subset of features, that were evaluated by filters (Information Gain, Symmetrical Uncertainty, ReliefF, CFS, and OneR), wrappers (Using SFS-Sequential Forward Search and SBS-Sequencial Backward Search) and a hybrid approach, combining filters and SBS.

At table II it is possible to see which technical indicators were used, and at table III it is possible to see the results obtained. The machine learning technique used was a SVM (Support Vector Machine) with a RBF kernel (Radial Bases Function). The parameters $Cost(C)$ and $gamma(\gamma)$ were obtained through a grid search procedure. The grid space of C was $log_2 C\{-5, -3, ..., 15\}$ and for γ was $log_2 \gamma\{-15, -13, ..., 3\}$. We analyzed the IBOVESPA index, and now this model can be expanded to other stocks.

It is possible to see that we achieve good results, more details about the methodology can be obtained at [11]. With the OneR_SBS, we reduced the features to 5 from 33 (84,85% reduction) and got an accuracy of 70,04% in the test set.

TABLE II
TECHNICAL INDICATORS AND PARAMETERS FROM TTR PACKAGE (DOCUMENTATION AVAILABLE AT [12]).

Feature	Description	Technical Trading Rules
MACD9	Moving average Convergence/Divergence	*MACD (maType = 'EMA')*
BOLL20	Bollinger Bands	*BBands (n = 20)*
K9	Stochastic	*stock (default)*
WR10	William's Overbought/Oversold Index	*WPR (n = 10)*
RSI6	Relative Strength Index	*RSI (n = 6)*
RSI14	Relative Strength Index	*RSI (default)*
TRIX9	Triple Smoothed Exponential Oscillator	*TRIX (n = 9)*
TRIX20	Triple Smoothed Exponential Oscillator	*TRIX (default)*
CCI14	Commodity Channel Index	*CCI (n = 14)*
CCI20	Commodity Channel Index	*CCI (default)*
SMA5	Simple Moving Average	*SMA (n = 5)*
SMA30	Simple Moving Average	*SMA (n = 30)*
SMA200	Simple Moving Average	*SMA (n = 200)*
EMA5	Exponencial Moving Average	*EMA (n = 5)*
EMA30	Exponencial Moving Average	*EMA (n = 30)*
EMA200	Exponencial Moving Average	*EMA (n = 200)*
ADX14	Welles Wilder's Directional Movement Index	*ADX (maType = 'EMA')*
AROON20	Aroon	*aroon (default)*
ATR14	Average True Range	*ATR (default)*
chaikinvolatility10	Chaikin Volatility	*chaikinVolatility(default)*
CMO14	Chande Momentum Oscillator	*CMO (default)*
DPO10	De-Trended Price Oscillator	*DPO (default)*
ROC	Rate of Change/Momentum	*ROC (default)*
SAR	Parabolic Stop-and-Reverse	*SAR (default)*
ultimateOscillator	The Ultimate Oscillator	*ultimateOscillator (default)*
VHF28	Vertical Horizontal Filter	*VHD (default)*
Volatility10	Volatility	*volatility (default)*
WilliamsAD	Williams Accumulation/Distribution	*williamsAD (default)*
WPR14	William's %R	*WPR (default)*

VI. CONCLUSIONS

This is an ongoing work that proposes a multiagent system called PROFITS, to solve a problem that is characterized as a complex environment and with no optimal recognized solution, the stock portfolio management. It uses technical and fundamental analysis and is fully automated.

Some preliminary results regarding the trading agent are encouraging, and presented good numerical results. We are now working at the fundamentalist agents.

TABLE III
CLASSIFICATION ACCURACIES FOR EACH MODEL AND DIFFERENT TEST SUBSETS FOR THE IBOVESPA DATASET.

Method	N^o Features	Training/Validation (Accuracy)	Test set (Accuracy)	Cost (C)	gamma (γ)
SVM	33	$70,16 \pm 9,04\%$	69,57%	2^7	2^{-15}
SVM + wrapper_SFS	7	$75,82 \pm 5,57\%$	66,82%	2^{15}	2^{-9}
SVM + wrapper_SBS	24	$72,34 \pm 7,82\%$	69,19%	2^7	2^{-15}
SVM + Information Gain ($t = 0.05$)	13	$72,87 \pm 6,57\%$	68,62%	2^{-1}	2^{-7}
SVM + Symmetrical uncertainty ($t = 0.05$)	15	$72,17 \pm 7,51\%$	69,57%	2^5	2^{-11}
SVM + ReliefF ($t = 0.01$)	22	$66,11 \pm 13,17\%$	66,92%	2^7	2^{-13}
SVM + Cfs	9	$72,50 \pm 7,50\%$	69,94%	2^3	2^{-11}
SVM + OneR ($t = 3.5$)	12	$65,04 \pm 10,86\%$	59,26%	2^{-1}	2^{-1}
SVM + IG_SBS	10	$75,57 \pm 5,94\%$	67,77%	2^5	2^{-7}
SVM + SU_SBS	11	$74,88 \pm 6,87\%$	69,09%	2^{13}	2^{-15}
SVM + ReliefF_SBS	7	$72,01 \pm 7,91\%$	69,75%	2^{15}	2^{-15}
SVM + Cfs_SBS	5	$75,29 \pm 6,07\%$	68,72%	2^9	2^{-7}
SVM + OneR_SBS	5	$69,39 \pm 8,71\%$	70,04%	2^{15}	2^{-15}

REFERENCES

[1] BAHRAMMIRZAEE, A. A comparative survey of artificial intelligence applications in finance: artificial neural networks, expert system and hybrid intelligent systems. *Neural Computing and Applications*, v. 19, n. 8, p. 1165–1195, 2010. ISSN 0941-0643. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00521-010-0362-z>.

[2] CASTRO, P. A. L.; SICHMAN, J. S. Automated asset management based on partially cooperative agents for a world of risks. *Applied Intelligence*, v. 38, n. 2, p. 210–225, 2013. ISSN 0924-669X. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10489-012-0366-8>.

[3] BRUNI, A. L.; FAMÁ, R. Eficiência, previsibilidade dos preços e anomalias em mercados de capitais: teoria e evidências. *Caderno de Pesquisas em Administração*, v. 1, n. 7, p. 71–85, 1998.

[4] WOOLDRIDGE, M. *An introduction to multiagent systems*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2009.

[5] RUSSELL, S. J. et al. *Artificial intelligence: a modern approach*. [S.l.]: Prentice hall Upper Saddle River, 2003. v. 2.

[6] KENDALL, G.; SU, Y. A multi-agent based simulated stock market - testing on different types of stocks. *The 2003 Congress on Evolutionary Computation, 2003. CEC '03.*, v. 4, p. 2298–2305, 2003.

[7] YUAN, L. et al. A multi-agent decision support system for stock trading. *Network, IEEE*, v. 16, n. 1, p. 20–27, 2002. ISSN 08908044.

[8] KENDALL, G.; SU, Y. A Particle Swarm Optimisation Approach in the Construction of Optimal Risky Portfolios. *Artificial Intelligence and Applications*, 2005.

[9] CASTRO, P. A. L. *Uma Arquitetura para Administração Automatizada de Ativos Baseada em Agentes Competitivos*. 165 p. Tese (Doutorado) — USP, 2009.

[10] ANG, C. *Analyzing Financial Data and Implementing Financial Models Using R*. [S.l.]: Springer, 2015.

[11] REIS, E. R.; CASTRO, P. A. L.; SICHMAN, J. S. Enhancing classification accuracy through feature selection methods. *Proceedings of the XIII Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional, ENIAC*, p. 1–12, 2016. Disponível em: <http://www.lbd.dcc.ufmg.br/bdbcomp/servlet/Trabalho?id=24408>.

[12] ULRICH, J. R package ttr. *Version 0.23-1*, 2016.

Improving the accuracy in diffusion-based recommender algorithms via user profile learning

BERTANI, R. M.*; COSTA, A. H. R.*
*Laboratório de Técnicas Inteligentes - Engenharia de Computação,
Escola Politécnica – Universidade de São Paulo
ricardomb6@gmail.com; anna.reali@usp.br,

***Abstract* — Recommender systems are used to help people deal with a large volume of data available on the World Wide Web, especially in the search for the most relevant content according to their references. A wide variety of algorithms have been proposed in the literature to achieve this goal, following different approaches: content-based, collaborative filtering, demographic-based, and graph-based algorithms. In general, recommender systems suffer from some classic problems related to the accuracy and novelty of the recommendations due to the high sparsity of data. The data sparsity problem is characterized as having a high number of users and items, but with a low number of user-item interactions, making it difficult to measure the similarity of interests among users. A very effective solution for recommending items to users has been proposed in the literature using a graph-based hybrid method via diffusion process. However, this solution propagates rates in the same way for any user. In this master dissertation we propose to determine the user profile and make personalized recommendations, controlling the degree of diffusion based on the user profile. Experiments are being conducted in the MovieLens dataset seeking to validate our proposal.**

***Keywords*— machile learning, recommender systems, sparsity problem, graph-based methods.**

I. INTRODUCTION

Due to continued growth of the amount of information on the Internet, Recommender Systems (RS) are frequently adopted to help people finding the most useful content in a massive amount of data. Lu et al. [3] define RS as programs that attempt to recommend the most suitable objects to particular users based on the prediction of user's interest in an object. This prediction is based on the related information among users, objects (or itens) and interactions between users and objects.

According to [1] RS consider different sources of information to provide predictions about objects to users, and try to balance factors such as accuracy, novelty, and dispersity in the recommendation. The authors explain that the most common researches are focused on movie recommendations, but they state that there are several different applications of RS, such as recommending songs, books, documents, e-learning and e-commerce. For the authors in [1], the following concepts should be considered to generate a recommendation in a typical RS: (i) the type of data available in the dataset (ratings, user registration information, features, social relationships); (ii) the filtering algorithm (content-based, collaborative, demographic, social-based, context-aware, and hybrid); (iii) the model (memory-based or model-based); (iv) sparsity level of the dataset; (v) quality of the results; and (vi) performance of the system (memory and time consuming).

One of the recommendation techniques most common in the literature is the collaborative filtering, which suffers from two known issues that are the cold-start and the data sparsity problem. In this paper we propose an adaptation of the technique based on the diffusion process, so that we can consider the user profile to guide personalized recommendations. We compare our proposal with the collaborative filtering method, and with the method based on hybrid diffusion. Results show that our approach overcomes these methods.

The remainder of this paper is organized as follows. Section II discusses the most relevant work related to recommendation methods. Section III details the diffusion-based methods that guide our work. In Section IV we present our proposal. Section V describes our experiments and discusses the results. Finally, we conclude in Section VI pointing towards future works.

II. MAIN RECOMMENDATION TECHNIQUES

Lu et al. [3] classify the main recommendation techniques in seven classes: content-based (CB), collaborative-filtering (CF), knowledge-based, hybrid, and some recent methods such as social network-based, trust-based, and context awareness-based. In [2] is cited a not so common graph-based approach called spreading activation that, when compared to standard CF techniques shows that the quality of the recommendations can be significantly improved due the exploitation of the "transitivity" of the user tastes.

The CB approach basically recommends the objects that are similar to those previously preferred by a user [3]. The main idea is to collect the common attributes among all objects that the user has preferred in the past, and create a user profile; then only objects with a high degree of similarity to the user profile are recommended.

On the other hand, CF technique exploits information about the past opinions or past behavior of an existing user community to predict what objects the target user will probably like or be interested in [2]. There are two approaches, user-based CF and item-based CF. In the user-based CF approach

the target user receives as recommendation the items liked by similar users, and in the item-based CF approach the user receives as recommendation the items similar with all items the target user liked in the past. In this paper we consider the word "objects" instead of "items" because it is the notation most widely used in the works based on diffusion, which will be further investigated in Section III.

CF techniques can be classified in two general classes called neighborhood-based and model-based methods [4]. In the neighborhood-based (also known as memory-based) CF, the ratings of the pair user-object are directly used to predict ratings for new objects, while model-based CF uses these ratings to learn a predictive model and uses this model to predict ratings for new objects.

Neighborhood-based CF usually considers a similarity measure to determine the user or object neighborhood – the most commons are the Pearson correlation coefficient to compute the user-user similarity, and cosine vector to compute the object-object similarity. A critical factor in the neighborhood approach is the neighborhood selection. That is because in real applications we can have millions of users and objects, and generally we cannot store the similarities between each pair of users or objects due to memory limitations. Thus, it is essential to consider a pre-filtering of neighbors to make neighborhood-based approaches feasible.

III. DIFFUSION-BASED METHODS

Some research has been done with the spreading activation approach cited by [2]. In particular, we focus on the diffusion-based hybrid method presented by [9], which was shown to solve the diversity-accuracy dilemma in RS.

The diffusion-based hybrid method [9] combines two algorithms, Mass Diffusion (MD) [8] and Heat-Spreading (HS) [7]. Here, a recommender system is represented as a user-object bipartite graph defined formally as G = {U, O, E}, where U={u_1, u_2,...,u_N}, O = {o_1, o_2, ..., o_M} and E={e_1, e_2,...,e_L} are the user set, object set, and link set (graph edges), respectively. MD and HS perform on three stages to propagate resources in the graph. The following steps are performed for each user in the training set:

- In the first step, a resource unit $\mathbf{r}_\alpha$ is assigned to each object $\boldsymbol{\alpha}$ in the graph. If there is an interaction between α and a user then $\mathbf{r}_\alpha = 1$, otherwise $\mathbf{r}_\alpha = 0$;
- In the second step, every object α that has some resource unit ($\mathbf{r}_\alpha > 0$) propagates a new resource value for each user $\boldsymbol{\beta}$ that has had an earlier interaction with α (i.e., there is an edge in the graph between α and β). The calculation of the new value of resources depends on the algorithm used:
    - Algorithm MD: the resource of user β is computed by $\sum_{m=0}^{M} r_\alpha / w(\alpha)$
    - Algorithm HS: the resource of user β is computed by $(\sum_{m=0}^{M} r_\alpha) / w(\beta)$,

  where M is the total number of objects with which the user β interacts, r_α is the resource unit of object α, $w(\alpha)$ and $w(\beta)$ are the vertex degree of object α and vertex degree of user β, respectively.
- Finally, in the last step, propagation in the graph is made from the user to the object. The process is analogous to the second step but in this case, each user β that has a positive resource value ($r_\beta > 0$) propagates a new resource value for each object α with which the user has an interaction. The resource value calculation depends on the type of algorithm used:
    - MD: the resource value of object α is computed by $\sum_{n=0}^{N} r_\beta / w(\beta)$
    - HS: the resource value of object α is computed by $(\sum_{n=0}^{N} r_\beta) / w(\alpha)$,

  where N is the total number of users with which the object α interacts, r_β is the resource value of user β, $w(\alpha)$ and $w(\beta)$ are the vertex degree of object α and the vertex degree of the user β, respectively.

These steps of diffusion are illustrated in the Fig. 1. After propagation steps described above, each training set user receives as prediction a list of objects ordered by their resource values, in descending order. Objects considered are only those with which the user has no interaction at the beginning of the process ($r_\alpha = 0$) and that has a positive resource value at the end of the process ($r'_\alpha > 0$).

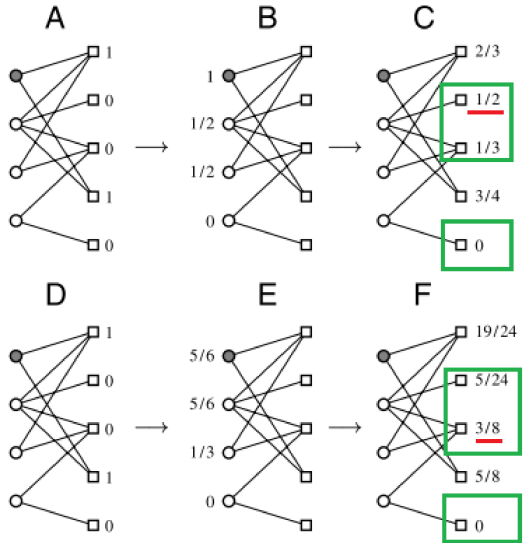


Fig. 1 HS (graphs A, B, C) and MD (graphs D, E, F) propagation steps in the user-object bipartite graph. Circles represent users, squares represent objects, and shaded circles represent the target user. In green are marked objects that would be recommended to the target user (objects without interaction with the target user at the beginning) and in red are shown the most recommended object (the object with the highest resource value). Figure adapted from [9].

[9] takes an hybridization parameter λ to the combination of MD and HS, and the calculation of the resource value of a particular object α is given by:

$$r'_{\alpha} = 1 / (w(\alpha)^{1-\lambda} w(\beta)^{\lambda}) \sum_{j=0}^{U} (r_{\beta_j} r_{\alpha j}) / w(\beta_j) \quad .$$

If λ = 1, only MD is considered; On the other hand, if λ = 0, only HS is considered to make a recommendation. Any λ value between 0 and 1 mixes the results of the two algorithms. According to [9], the MD algorithm is the best option to give accurate recommendations to users, while the HS algorithm is suggested for novelty recommendations. This property can be observed when we compare the resulting list of recommendations given by each algorithm for the same set of objects. For example, in Fig. 1, the object most recommended by the HS algorithm (graphs A, B, C) is the one that has the lowest degree of the vertex; On the other hand, the object most recommended by the MD algorithm (graphs D, E, F) is the one with the highest degree of the vertex, indicating the most popular object.

However, in [5] the authors argue that this hybrid method based on diffusion fails with sets of sparse data, and they proposed a recommendation algorithm based on semi-local diffusion (SLD) to address this issue. Basically, the algorithm presented by these authors considers the pure MD algorithm but allow the continuation of the steps of propagation. The authors called the three steps in [9] as a macrostep and, in their proposal, they consider macrosteps > 1. The best result was obtained with 5 macrosteps.

Recently, an evolution of these techniques was presented by [6], in which the authors varied the parameter λ of the diffusion-based hybrid method differently in the second and third steps of propagation, achieving better results. However, the authors do not relate variations in the values of λ with any other properties or characteristics of the users' tastes. All of these previous approaches apply the hybridization parameter λ for all users in the same way, without regard to personal characteristics of each user. Our proposal, described in the next section, addresses precisely this problem by proposing different values of the hybridization parameter λ for each user, according to his/her characteristics.

IV. User Profile Learning In Difussion-based Algorithms

Our proposal consists of a method that combines the diffusion-based hybrid algorithm with a strategy to learn the best value λ for each user, improving the recommendations through customizations.

Our system is composed of two phases: (i) training phase and (ii) execution phase. In the training phase, the objective is to train a classifier that indicates the best value of λ having as input some user features such as gender, age, occupation, etc. In the execution phase, given the users' features, the λ value appropriate to the user profile is determined using the trained classifier; then, the diffusion-based hybrid algorithm is run (using the λ defined by the classifier) to determine the appropriate objects recommendation list to the user in question.

For this, in a first step, the dataset is divided into two parts: 80% for the training set and 20% for the validation set. This division was the same as that used by the authors of the diffusion-based methods. The dataset consists of user features, userID, objectID, and rank values that indicate how much each user liked each object. In the second step, we determine k user clusters in the training set with the Hierarchical Agglomerative Clustering technique [4] that merges users with similar values of Frequency-Weighted Pearson Correlation. These correlation values are measured in object-rank values. As output of this step, we have k clusters of users who have similar tastes. In the third step, we run the diffusion-based hybrid algorithm in each cluster, with varying λ values (from 0.0 to 1.0 with increments of 0.1), aiming to find the best λ value for each user cluster. The metrics used for the λ evaluation were rankscore, precision, recall and novelty (see next section for the metrics definitions). The output of this step is the pair formed by the set of userID of each cluster and its corresponding best λ value.

Then, from each userID, the corresponding user features are retrieved from the dataset. In the fourth training step, having pairs of inputs and desired outputs given by the <user-features, λ> pairs we have trained a classifier using a supervised approach. Different types of classifiers have been trained, and the best of them was selected – the selection was based on the lowest error rate. Experimentally we find that decision trees provide better results and that the appropriate number of clusters was k=5. The output of this training phase is a classifier that receives as input the features of each user and provides as output the most suitable λ value for him / her.

In online execution phase of our proposal for each target user, a list of recommendations is generated as follows. The user is described by a set of features (age range, gender, occupation, location) that are entered as input to the classifier. The classifier provides as output the best λ value for the target user. This λ value is then used in the diffusion-based hybrid algorithm to generate a personalized recommendation list for the target user.

V. Experiments and Results

In the experiments we consider a well-known dataset: **MovieLens**. It contains user features, which are necessary for learning the user's profile. In the MovieLens dataset we consider 911 users, 1.556 objects and 79.324 links. All users with invalid or missing features were discarded (originally , the dataset had 943 users, 1.574 objects and 82.520 links).

The metrics used for evaluation were:

- **rank score:** Measures whether the position of objects in the recommendation lists generated for the user corresponds to the actual preference order displayed by the user (using the validation data) [5]. The lower its value, the most accurate are the recommendation considering the object positions in the recommendation lists.
- **recall:** Measures the proportion of objects chosen by users in the validation set that actually correspond to the objects recommended by the system [5]. The

higher its value, the most accurate are the recommendations.

- **precision:** measures what proportion of objects presented into the recommendation lists matches with the objects presented in the validation set for all users [5]. The higher its value, the most accurate are the recommendations.
- **novelty:** measures the unpredictability of a given object with relation to its global information, which according to [9] can be computed by:

$$\log_2 (u / w(\alpha)),$$

where u is the quantity of users in the validation set and $w(\alpha)$ is the vertex degree of object α. In this way, intuitively, an object with a smaller vertex degree has a greater unpredictability. The higher this value, the more novelty there is in the recommendations.

We compare our algorithm with the neighborhood collaborative-filtering approach (CF) and the diffusion-based hybrid algorithm.

We perform 10 times the whole procedure, with partitioning of the dataset by 80% for training and 20% for validation. The average results are shown in Table I. By the results obtained until now, our method outperforms the traditional CF and the diffusion-based when the rank score metric is considered. We will continue validating our approach with different parameters to improve its effectiveness.

Table I. RECOMMENDATION RESULTS FOR THE MOVIELENS DATASET. THE RECOMMENDATION LIST SIZE WAS 30 OBJECTS.

Algorithm	**Metrics**			
	Rank Score	***Recall***	***Precision***	***Novelty***
User-profile based diffusion method	**0.048**	0.231	0.11	72.629
Diffusion-based hybrid method	0.077	**0.299**	**0.139**	**91.233**
Neighborhood CF *Neighborhood size =30*	0.500	0.024	0.004	2.453

VI. CONCLUSION AND FUTURE WORKS

The experiments are still preliminary, but results show that our method is very promising. Our proposal outperformed the other methods in the rank score. Although we have not passed the two other methods in the recall and precision metrics, Table I shows that our proposal comes in second place, and even more that it is not far from the first place. The novelty metric indicates how surprising the recommendation list might be. Although we have calculated this metric, it does not reflect very well the intent of our proposal, since we want the list of recommendations to be surprising only for those users who so desire according to their profiles.

In the next steps we intend to better assess the user features that are most representative of the clusters, in order to select those that best describe users with similar tastes. We also intend to validate our method with different parameter values, to improve its effectiveness. Finally, we also intend to test our method on other data sets and demonstrate that our proposal is statistically effective.

REFERENCES

[1] BOBADILLA et al. Recommender systems survey. *Knowledge-Based Systems*, 46, 109–132. Madri, April, 2013.

[2] JANNAC et al. Recommender Systems: An Introduction , Cambridge University Press, New York, 333 p., 2011.

[3] LU, J., Wu, D., Mao, M., Wang, W., & Zhang, G. Recommender system application developments: A survey. *Decision Support Systems*, 74, 12–32. Sydney, April, 2015.

[4] RICCI, F. et al. Recommender Systems Handbook, *Springer Science+Business Media*, New York, 842 p., 2011.

[5] ZENG, W. et al. Information filtering in sparse online systems: Recommendation via semi-local diffusion. *PLoS ONE, 8(11), v. 8, issue 11, November, 2013.*

[6] ZHANG, F. and Zeng, A. Information Filtering via Heterogeneous Diffusion in Online Bipartite Networks. *PLoS ONE. China, June, 2015*

[7] ZHANG, Y.-C. et al. Heat Conduction Process on Community Networks as a Recommendation Model. *Physical Review Letters, 99(16), Beijing, 2007.*

[8] ZHOU, T. et al. Bipartite network projection and personal recommendation. Physical Review E - *Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 76(4), 1–7. China, October, 2007

[9] ZHOU, T. et al. Solving the apparent diversity-accuracy dilemma of recommender systems, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 76(4), 1–7. Rome, January, 2010.

Utilização de Técnicas de Processamento de Linguagem Natural para Análise de Sentimentos relacionados à Segurança em Grandes Eventos

Ariana Moura da Silva *; André Lins Gonzalez*; Ricardo Luis de Azevedo Rocha*
*LTA - Laboratório de Linguagens e Técnicas Adaptativas
Departamento Engenharia da Computação
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo São Paulo - Brasil
E-mail: ariana.moura@usp.br, andre.lgonz@gmail.com, rlarocha@usp.br

***Abstract*—The occurrence of high profile media events such as the Rio 2016, is followed by an increased attention to cyber security in Brazil. Incidents related to this issue generate significant impact on information systems and, if neglected, such impacts directly affect society. The occurrence of an isolated event, such as the dissemination of false information on social networks, can trigger a sequence of resulting occurrences of both human actions and automatically, as actions performed by machines. Faced with this problem, this paper aims to present, through a study of a fictitious situation involving an attack on a sensor system, such as techniques of Natural Language Processing could be used to analyze and evaluate the reaction of the population. Still considering the fictional situation and techniques presented, feelings and behaviors expressed by individuals can be observed.**

***Keywords*— Natural Language Processing - NLP; cybersecurity; sentiment analysis.**

***Resumo*— A ocorrência de eventos de grande visibilidade na mídia, como os Jogos Olímpicos de Verão Rio 2016, é seguida pelo aumento da atenção com a segurança cibernética no Brasil. Incidentes relacionados a este tema geram impactos significativos nos sistemas de informação e, quando negligenciados, tais impactos afetam diretamente a sociedade. A ocorrência de um evento isolado, como a divulgação de informações falsas nas redes sociais, pode desencadear uma sequência de ocorrências resultantes tanto de ações humanas como automaticamente, na forma de ações executadas por máquinas. Frente a este problema, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar, por meio de um estudo de uma situação fictícia envolvendo um ataque a um sistema de sensores, de que forma técnicas de Processamento de Linguagem Natural poderiam ser utilizadas para analisar e avaliar a reação da população. Ainda considerando a situação fictícia e as técnicas apresentadas, pode-se observar quais sentimentos e comportamentos foram expressos pelos indivíduos.**

***Palavras-chave*— PLN - Processamento de Linguagem Natural; segurança cibernética; análise de sentimentos.**

I. Introdução

Ataques cibernéticos a sistemas críticos, como usinas de energia, são uma grande preocupação atualmente. O ataque do Stuxnet [1] em 2010, aos sistemas SCADA da Siemens, evidenciaram a vulnerabilidade de tais sistemas.

O sistema da Siemens é utilizado para controlar as centrífugas de enriquecimento de urânio das usinas iranianas [2]. Este vírus tem a capacidade de reprogramar sistemas industriais (mesmo que tais sistemas tenham configurações únicas, diferentes dos sistemas controladores de outras centrífugas) e esconder as mudanças, de forma que antivírus normalmente utilizados não consigam detectá-las.

Este tipo de ataque pode causar sérios problemas para a organização de grandes eventos. No caso dos Jogos Olímpicos de Verão Rio 2016 (Rio 2016), com previsão de audiência em torno de três bilhões de pessoas apenas na cerimônia de abertura [3], essa preocupação é ainda maior, pois qualquer ataque tem potencial de causar grandes danos e expor a população a sérios riscos, além de atrair atenção geral das pessoas e das mídias de todo o mundo.

Como comparação, pode-se considerar os Jogos de Inverno de Sóchi, na Rússia, que mesmo sendo um evento menor que a Rio 2016, "sofreu cerca de 1.000 ataques, como tentativas de penetração no sistema, infecção, botnets e ataques de negação de serviço" [4]. Esses dados foram informados por Eugene Kaspersky, membro da equipe responsável pela segurança dos jogos de inverno. Kaspersky também afirma, em [4], que a "segurança desses eventos não se resume à instalação de soluções de segurança na rede". Além disso, é necessária a montagem de times dedicados de respostas a incidentes.

Em virtude das análises realizadas por equipes especializadas em segurança cibernética, no Brasil foi criado, pelas Forças Armadas, o Comando de Defesa Cibernética [5] [6]. O objetivo principal deste grupo é de evitar ataques hackers a sistemas do País. Conforme noticiado em [5], somente em 2015 foram identificados 9.940 ataques cibernéticos a instalações do governo brasileiro.

Devido ao elevado número de ataques, torna-se inviável que todo o processamento seja realizado por humanos. Diversos incidentes são identificados e tratados automaticamente pelos sistemas e suas ferramentas de segurança.

Levando-se em conta a criticidade de algumas das instalações, como usinas nucleares, por exemplo, a velocidade de resposta e aviso à população torna-se chave para a redução dos impactos destes possíveis ataques.

Este artigo tem como foco as respostas automatizadas que podem ser enviadas pelos sistemas, no caso de ataques à estruturas e sistemas críticos. Para tal, foi considerada uma

situação fictícia de ataque a um Medidor Geiser de uma das usinas nucleares de Angra dos Reis.

O ataque em questão causaria uma série de erros de leitura neste medidor, que acionaria dispositivos de segurança. Para este artigo, consideramos que um destes dispositivos poderia ser uma ferramenta de notificação à população. Esta notificação seria feita por meio do envio de mensagem de texto.

A partir do recebimento de tal mensagem, os indivíduos teriam diferentes sentimentos e reagiriam de formas diversas. O objetivo do artigo é analisar os sentimentos causados a partir das mensagens de texto enviadas.

O restante do artigo está organizado de forma que a Seção II apresenta conceitos e aplicações de processamento de linguagem natural; a Seção III define análise de sentimento, apresentando um exemplo; e a Seção IV apresenta algumas conclusões obtidas a partir de análises feitas sobre o exemplo apresentado e alguns trabalhos futuros.

II. Processamento de Linguagem Natural para a Automatização de Mensagens Estruturadas

Sistemas são criados para auxiliar em tarefas úteis de pessoas. Dos diversos sistemas existentes atualmente, têm-se os sistemas da categoria de risco, também conhecidos como sistemas críticos. Sistemas críticos são todos aqueles cujas manifestações, ataques, descontrole ou pane em seu funcionamento resulte em consequências tangíveis e/ou intangíveis que podem ser perceptíveis ao público, sob uma perspectiva emocional-afetiva, que chame a atenção das mídias sociais, comentários em redes sociais, imagens de impacto, entre outras [7]. São exemplos destes sistemas: sistemas de defesa territorial, sistemas de gestão de tráfego aéreo, sistemas de energia, sistemas de transporte público, sistemas financeiros, sistemas de monitoramento de desastres naturais, ambientais e tecnológicos.

Dada a grande importância de tais sistemas este artigo propõe a seguinte situação fictícia: um ataque ao sistema de sensoriamento do Medidor Geiser, cujo objetivo da invasão, não esteja diretamente relacionado em causar uma pane ou dano físico ao medidor ou à usina nuclear. A real intenção deste ataque é criar uma situação de pânico à população. Especificamente, causar pânico às pessoas localizadas nos arredores desta usina.

Ainda com relação à situação proposta, sabe-se que, ao mudar os padrões de leitura do medidor, o mesmo aciona automaticamente um sistema interno de alertas. Este sistema de alertas envia mensagens de texto, para que tanto a população como os órgãos responsáveis pela segurança pública da região, entrem em estado de alerta e evacuem a área com potencial de ser afetada.

Logo, na criação dos sistemas críticos, os parâmetros de segurança do sistema são definidos e inseridos por um humano. Desta forma, dependendo do estimulo recebido, o sistema tem a capacidade de tomar decisões e iniciar ações automaticamente, sem a necessidade de intervenção humana. Devido à possibilidade de adotar tal automatização, é necessário que exista uma preocupação na maneira como esses os parâmetros serão configurados no sistema, ou como serão gravadas as regras para que a própria máquina possa realizar combinações e tomar a decisão correta em caso de um defeito nas leituras do medidor.

Mensagens de texto podem ser configuradas juntamente aos parâmetros de segurança para que, caso detectado malfuncionamento, o sistema informe a população de forma automática. A mensagem de texto enviada depende dos níveis obtidos pelo medidor, quando da realização da leitura. Exemplos de mensagens que poderiam ser enviadas estão listadas abaixo. Cada mensagem corresponde a um nível relacionado à leitura realizada pelo medidor.

- **Intensidade Baixa**: A usina nuclear de Angra dos Reis encontra-se com problemas técnicos. Recomendamos que evacue a região de Angra dos Reis-RJ num raio de 50 km;
- **Intensidade Média**: Este é um aviso de emergência, e solicitamos que todos os moradores próximos à Usina Nuclear de Angra dos Reis, deixem suas residências num raio de 100 km, desloquem-se para um lugar seguro. Esta mensagem não é uma brincadeira;
- **Intensidade Alta**: A usina nuclear de Angra dos Reis encontra-se com gravíssimos problemas técnicos. Solicitamos a todos que, primeiramente, protejam seus olhos, nariz e boca, para não inalar as substâncias químicas, e se afastem o máximo que puderem da região em menos de 2 horas.

Mensagens não podem ser construídas de maneira aleatória. É necessário levar em consideração o contexto no qual a mensagem estará inserida e a situação na qual será transmitida. A linguagem é a morada do ser, através dela o homem transmite tudo o que o define [8]. Desta forma, devem-se considerar algumas questões, como:

- Cultura local;
- Idiomas falado e escrito – pois a estrutura léxico-sintática falada não é, necessariamente, a mesma de uma mensagem escrita;
- Regionalidade;
- Público-alvo;
- Estilo – dependente do público-alvo. Por exemplo, não é recomendado o uso de uma linguagem técnica ou uma linguagem de difícil entendimento com um público leigo.

Para o apoio na construção das mensagens de textos estruturadas que serão processadas pela máquina, utilizaremos o Processamento de Linguagem Natural (PLN). PLN é uma área de pesquisa que auxilia o uso de máquinas e como elas podem ser utilizadas para compreender, interpretar e manipular textos em linguagem natural [9].

"O desafio do processamento de linguagem natural é produzir sistemas computacionais capazes de aplicar os conceitos da linguística, além de interpretar outras informações que estão implícitas em um texto, como as emoções transmitidas" [10].

As pessoas estão em constante contato com diversas formas de comunicação, como fala, escrita, entre outros. As ciências linguísticas, como a PLN, tem o objetivo de classificar e construir um grande número de observações linguísticas reais,

que se aproximem ao modo natural de comunicação do ser humano [11].

As primeiras investigações utilizando PLN tiveram início na década de 1950, na tentativa de realizar traduções automáticas da língua russa para a inglesa [12]. Desde então, o desafio da PLN é auxiliar os sistemas computacionais com o entendimento de termos linguísticos, interpretando as informações implícitas neles. O objetivo é obter um entendimento mais próximo ao modo como o ser humano interpreta tais termos. PLN está conectada com Inteligência Artificial (IA), de forma que juntos possibilitam a interpretação e manipulação de textos ou discursos em linguagem natural, auxiliando em tarefas úteis e rotineiras [9].

A motivação dos estudos em PLN se dá pelo fato de que o conhecimento humano é registrado em linguagem natural e, caso um computador consiga entender tais registros, terá acesso, de forma rápida e assertiva, às informações.

Na próxima seção serão apresentados componentes de PLN que podem ser utilizados como apoio na construção de mensagens neutras. O objetivo de tais mensagens é transmitir informação sem que sejam gerados danos materiais, emocionais ou situações de tumulto ou pânico. Além disso, serão exemplificadas maneiras que podem ser utilizadas para construir mensagens estruturadas em sistemas de pânico.

III. Análise de Sentimentos em Situações de Alerta

Em PLN utiliza-se muito o conceito de palavras-chave, que ainda é um conceito amplo, pois existem diversas maneiras para a extração de palavras-chave. “Palavra-chave é a palavra que traduz o sentido de um contexto, que o torna claro e o identifica, ou ainda palavra que identifica elementos correlatos ou que pertençam à mesma área de interesse para fins de pesquisa” [13].

No programa WordSmith Tools, palavras-chave tem como conceito a comparação de um corpus de referência com um corpus de estudo. Esta comparação é realizada de maneira que a probabilidade estatisticamente diferente no corpus de estudo, em relação ao corpus de referência, é dada como uma palavra-chave [14].

Realizou-se um exercício de separar as palavras contidas nas três mensagens de texto apresentadas na Seção II. As palavras foram categorizadas em uma escala de 0 à 10, dentro do contexto da intensidade da frase à qual a palavra pertence.

Primeiramente, a classificação foi feita de forma individual, para cada palavra. Em seguida, foi considerado como as palavras poderiam ser relacionadas a uma situação de pânico, ou seja, quais palavras poderiam despertar o sentimento de pânico (alto), pavor (médio) e desconforto (baixo) na população local da região.

As três frases causam uma sensação de insegurança na população, pois são mensagens divulgadas por uma fonte considerada confiável. Na primeira frase (intensidade baixa), encontramos termos como “problemas técnicos”, “evacue”, “raio de 50km” e “usina”. É sabido por nós seres humanos, que qualquer mensagens de alerta sobre uma usina nuclear requer atenção. Nesta primeira frase, o termo “problemas técnicos” indica que algo ocorreu e merece a atenção na leitura da mensagem de texto, em seguida essa atenção é respondida pelos termos “evacue” e “raio de 50km” que por se tratar de uma usina, 50km seria assumido como uma pequena dimensão para o tamanho do impacto que uma usina poderia causar em casos graves. A Figura 1 exemplifica a classificação das palavras dentro do contexto da frase de intensidade baixa. Essa mensagem esta classificada como sendo da classe de sentimentos "desconforto".

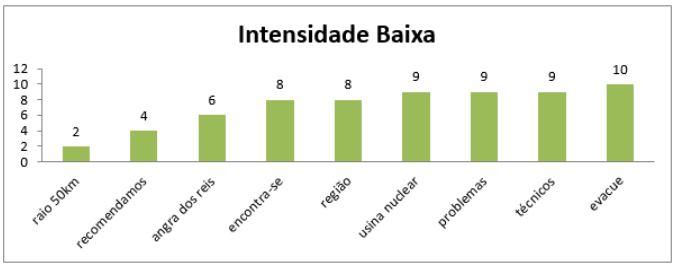


Figura 1. PLN da mensagem de baixa intensidade

A Figura 2, exemplifica a classificação das palavras em uma situação de classificação do sentimento "pavor", onde aparecem termos como "não é uma brincadeira", "deixem ", "suas", "casas", "emergência", "desloquem-se". São expressões que, quando postas dentro de um mesmo contexto, informam algo mais denso, onde a atenção deve ser redobrada. A mensagem reforça que o aviso, não foi um teste ou um ensaio, o aviso é real, e que as pessoas devem se deslocar para um lugar seguro, e que devem deixar suas casas nessa situação de emergência, ou seja, isso afetará também sua forma de viver, não podem se abrigar em suas residências. Diferentemente da primeira mensagem, que usava o verbo "evacue"na terceira pessoa do singular, esta mensagem de intensidade média utiliza os verbos na terceira pessoa do plural "solicitamos que todos os moradores", "deixem", "desloquem-se", e de maneira direta causa uma situação de pavor.

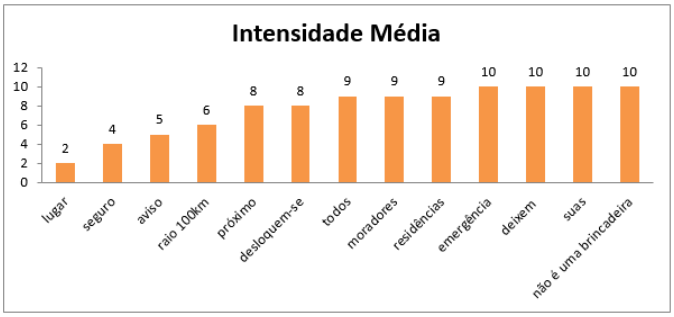


Figura 2. PLN da mensagem de média intensidade

A Figura 3, exemplifica a classificação das palavras em uma situação de classificação do sentimento de "pânico", onde termos como "protejam", "seus", "olhos", "nariz", "boca", "não inalar", "menos de 2 horas", indicam não somente a devida seriedade da mensagem, mas também são alertas que

indicam que sua rotina e sua saúde serão afetadas. Em outras palavras, o ponto de maior prioridade de sua vida pode ser afetado, caso não consiga evacuar o local. A mensagem ainda contém um prazo, representado pela expressão "menos de 2 horas", indicando o tempo limite de exposição. Estas expressões permitem inferir que sérios problemas podem afetar sua saúde, embora não exista o termo "saúde"propriamente dito. Uma mensagem como esta, classificada como alta, geraria certamente uma situação de pavor, alterando toda a logística da região central e das demais regiões vizinhas. Um sentimento de desespero poderia afetar as pessoas.

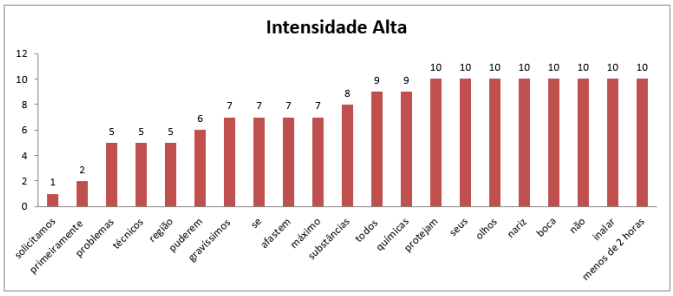


Figura 3. PLN da mensagem de alta intensidade

A partir desta reflexão, é possível verificar que mensagens pré-programadas e construídas sem a devida consideração da causalidade nas ações dos indivíduos, poderia causar um descontrole generalizado. Mensagens poderiam ser pré-programadas fundamentadas na combinação de regras da leitura do medidor, e não somente em um parâmetro único que envia uma mensagem única de acordo com o grau de intensidade. Tais mensagens podem ser concebidas a partir de termos linguísticos capazes de auxiliar a máquina no envio de mensagens criadas automaticamente, com uma linguagem de fácil interpretação, com menos uso da linguagem técnica, que pudesse realizar o aviso, minimizando ao máximo as situações de desconforto, pavor e pânico quando a mesma não é verdadeira.

A próxima seção apresenta algumas conclusões que observadas a partir da análise realizada sobre o evento descrito neste artigo. Além disso, alguns trabalhos futuros são indicados.

IV. Conclusão

Este artigo apresenta um estudo a ser realizado pelos alunos do laboratório de tecnologias adaptativas. Neste trabalho foram apresentadas técnicas de PLN para a análise de sentimentos.

Com o intuito de facilitar o entendimento, foi utilizada, como exemplo, uma situação fictícia de segurança cibernética em grandes eventoss. A situação proposta refere-se a um ataque a um Medidor Geiser de uma das usinas nucleares de Angra dos Reis, durante a Rio 2016.

Este ataque resultaria em erros de leitura deste medidor. O sistema das usinas conta com um sistema de alarmes que, mediante uma sequência de leituras com valores inesperados, dispara, automaticamente, mensagens de texto para os moradores da região.

A partir do recebimento destas mensagens, cada indivíduo apresentou uma reação diferente. Esta reação pode ser analisada computacionalmente, utilizando PLN. Então, a partir desta análise, pode-se determinar quais sentimentos os indivíduos vivenciaram devido à leitura de cada mensagem enviada pelo sistema.

Aprofundando a análise, pode-se observar comportamentos de grupos de indivíduos e, de forma mais ampla, a reação da sociedade como um todo.

Para a sequência deste trabalho, espera-se utilizar PLN para análise de sentimentos a partir de mensagens em redes sociais. Além disso, também faz parte dos trabalhos futuros o desenvolvimento de uma abordagem que permita reduzir a necessidade de intervenção humana na criação das regras de sistemas de segurança cibernética. Por fim, espera-se conseguir obter respostas para as seguintes perguntas: Como ensinar uma máquina a enviar mensagens automáticas? Como classificar essas mensagens dependendo do estímulo que receba? Como redigir mensagens inéditas de acordo com a atualização dos fatos? Como definir os termos linguísticos de interesse?

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPQ processo nº 141077/2015-8 pelo apoio recebido, na forma de concessão de bolsa de doutorado, para o desenvolvimento deste trabalho, à comissão organizadora deste Workshop, à coordenação do curso de pós-graduação em Engenharia da Computação e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Referências

[1] R. Langner, "Stuxnet: Dissecting a cyberwarfare weapon," *IEEE Security & Privacy*, vol. 9, no. 3, pp. 49–51, 2011.

[2] "Stuxnet," https://pt.wikipedia.org/wiki/Stuxnet, [Online; acessado em Agosto/2016].

[3] "Os números superlativos da abertura da rio 2016," http://olimpiadas.meioemensagem.com.br/2016/08/05/os-numeros-superlativos-da-abertura-da-rio-2016/, [Online; acessado em Agosto/2016].

[4] "Rio 2016 faz do brasil um alvo de ataques cibernéticos, diz especialista ao jornal o globo," https://seginfo.com.br/2016/03/21/rio-2016-faz-do-brasil-um-alvo-de-ataques-ciberneticos-diz-especialista-ao-jornal-o-globo/, [Online; acessado em Agosto/2016].

[5] "Segurança cibernética na rio 2016 é reforçada," http://odia.ig.com.br/rio-de-janeiro/2016-04-15/seguranca-cibernetica-na-rio-2016-e-reforcada.html, [Online; acessado em Agosto/2016].

[6] "Exército, abin e cgi.br farão a defesa cibernética nas olimpíadas rio 2016." http://www.cbsi.net.br/2016/04/seguranca-da-informacao-rio-2016.html, [Online; acessado em Agosto/2016].

[7] Y. Y. Haimes, "On the complex quantification of risk: Systems-based perspective on terrorism," *Risk Analysis*, vol. 31, no. 8, 2011.

[8] M. Heidegger, *Carta Sobre o Humanismo*. Taurus, 1970.

[9] G. G. Chowdhury, "Natural language processing," *Annual Review of Information Science and Technology*, vol. 37, no. 1, 2003.

[10] N. F. Rodriguez, "Tecnologias de linguagem aplicadas à percepção social: Detecção de emoções em redes sociais sobre a seca em são paulo," Master's thesis, Universidade Federal do ABC, 2016.

[11] C. D. Manning and H. Schütze, *Foundations of Statistical Natural Language Processing*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1999.

[12] T. D. S. Cunha, "Análise de sentimento em dados do twitter," Master's thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.

[13] Houaiss, "Dicionário houaiss eletrônico da língua portuguesa – cd-rom," 2009.

[14] T. Berber-Sardinha, "Comparing corpora with wordsmith tools: How large must the reference corpus be?" in *Proceedings of the Workshop on Comparing Corpora - Volume 9*. Association for Computational Linguistics, 2000.

Software-Defined Networking (SDN): frame switching process analysis

Redes Definidas por Software (SDN): análise do processo de comutação de quadros

WEBER, C. E.; SILVEIRA, R. M.*;
*Laboratório de Arquitetura e Redes de Computadores - Universidade de São Paulo
cweber2005@gmail.com, regina@larc.usp.br

***Abstract*— Networks based on IP protocol have increased in size and complexity due to the growth of the services provided on this structure. Software-Defined Networking has provided contributions to improving implementation performance networks. This study aimed to evaluate the behavior of frame switching process, in loop, on Software-Defined Networking environment, compared to a traditional network environment. The scenario created for research development was in a virtual environment using network simulation tools with the features necessary to implement the experiment. This paper provides as contribution an understanding of the actual process of operating a network virtual environment, in a certain topology using Software- Defined Networking technology and the analysis of this process compared to a similar environment in a traditional network.**

***Keywords*— Software-Defined Networking; Switching; Data flow.**

***Resumo*— As redes baseadas no protocolo IP aumentaram em tamanho e complexidade, devido ao crescimento dos serviços fornecidos nessa estrutura. As Redes Definidas por Software têm fornecido contribuições para a melhoria de desempenho na implementação de redes. Este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento do processo de comutação de quadros, em laço, em um ambiente de Redes Definidas por Software, em comparação a um ambiente de rede tradicional. O cenário criado para o desenvolvimento da pesquisa foi em ambiente virtual usando ferramentas de simulação de rede com as características necessárias para implementar o experimento. Este trabalho proporciona como contribuição a compreensão do atual processo de funcionamento de um ambiente virtual de rede, em uma determinada topologia, utilizando a tecnologia de Redes Definidas por Software e a análise desse processo em relação a um ambiente similar de uma rede tradicional.**

***Palavras-chave*— Redes Definidas por Software; Comutação; Fluxo de Dados.**

I. INTRODUÇÃO

As redes baseadas no protocolo IP (*Internet Protocol*) têm aumentado em tamanho e complexidade devido ao crescimento dos serviços fornecidos sobre essa estrutura [1]. Com esse cenário visualiza-se a possibilidade de um controle dos serviços, conteúdos e dispositivos destas redes, por meio de um ambiente dissociado do hardware tradicional controlado por software. Com essa ideia, surgem as Redes Definidas por Software (*Software-Defined Networking* ou SDN).

Este estudo tem como objetivo avaliar o comportamento do processo de comutação de Redes Definidas por Software. As Redes Definidas por Software consistem em uma arquitetura emergente, que possui características de dinamismo, controle, boa relação de custo-benefício e fácil adaptação, tornando-se ideal para serviços de banda larga com a natureza dinâmica dos aplicativos atuais. As soluções SDN baseiam-se, principalmente, no protocolo *OpenFlow*® [2]. As Redes Definidas por Software têm fornecido contribuições para implementações de melhoria no desempenho de redes [3]–[5].

O ambiente construído para o desenvolvimento deste estudo consiste em uma máquina virtual (*Virtual Machine* ou VM) usando um sistema operacional Linux, com uma ferramenta de simulação de rede, preparada para a criação de uma SDN. Implementando-se uma rede com três *hosts* e três *switches* e um controlador, foram realizados testes de conectividade e comutação entre os *switches* e observou-se o comportamento da rede, em algumas situações distintas, sendo comparados com dados obtidos de uma simulação de rede em um ambiente de rede tradicional.

A estrutura deste estudo está dividida em: Referencial Teórico, Metodologia, Análise dos Resultados, e Conclusões / Considerações Finais, apresentando os comentários sobre o estudo, as lições aprendidas, as contribuições científicas alcançadas e as propostas para trabalhos futuros; e as Referências, listando os trabalhos citados neste estudo.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Redes Definidas por Software

As redes possuem vários equipamentos, como roteadores, switches, firewalls e servidores, que rodam softwares complexos e, geralmente, fechados e proprietários [6]. Considerando esse cenário, visualizou-se a possibilidade de controlar os elementos de rede separando-se o software do hardware. Assim nasceu a ideia das Redes Definidas por Software.

Seguindo o princípio básico da arquitetura, a SDN consiste na existência de dois planos, denominados plano de controle e plano de dados ou de encaminhamento, de forma que possam trocar informações de forma padronizada [7], [8]. O plano de controle possui a função de controlar um ou mais dispositivos de rede, com intuito de determinar a forma de processamento e o redirecionamento dos dados, executados pelo plano de dados ou encaminhamento [8].

As arquiteturas conhecidas para as Redes Definidas por Software são a *OpenFlow* [2] e a ForCES [9]. O protocolo original, o *OpenFlow*®, foi padronizado com um modelo que consistia em um plano de dados e uma API do plano de controle sobre um conjunto inicial de recursos já suportados pelo switches de rede [6]. A arquitetura ForCES [9] possui duas entidades lógicas denominadas Elemento de Encaminhamento (*Forwarding Element* - FE) e Elemento de Controle (*Control Element* - CE). A entidade FE é responsável pelo processamento e manipulação de cada pacote associado ao hardware. A entidade CE executa funções de controle e sinalização, e instrui uma ou mais entidades FEs sobre a maneira de processar os pacotes. Os gestores CE (CE *Manager* – CEM) e FE (FE *Manager* – FEM) são responsáveis pelo gerenciamento das tarefas genéricas das entidades CE e FE, respectivamente.

B. Processo de Comutação

Os switches examinam o cabeçalho da camada de enlace, camada 2 do modelo OSI, para escolher como processar o quadro. Normalmente, os switches decidem enviar e filtrar os quadros, aprendem os endereços MAC e utilizam o protocolo STP (*Spanning Tree Protocol*) para evitar loops [12].

O processo de comutação ocorre com base em três considerações. A primeira consiste em que os switches encaminham os quadros baseando-se no endereço de destino. Se o endereço de destino é um endereço de *broadcast*, *multicast* ou um *unicast* não listado na sua tabela, o switch envia um sinal de *flood*, sinal enviado para todas as portas exceto a de origem do quadro. No caso do endereço de destino ser um endereço de *unicast* conhecido, ou seja, já constar da sua tabela, o switch realiza as seguintes operações: a) se a interface de saída listada na tabela MAC for diferente da interface de origem do quadro, o switch encaminha o quadro para a porta de saída conforme indicação da tabela; b) se a interface de saída listada na tabela MAC for igual à interface de origem do quadro, o switch ignora o quadro. A segunda consideração diz respeito à lógica de construção da tabela MAC. Para cada quadro recebido, o switch anota o endereço MAC e a porta por onde foi recebido o quadro. Nesta etapa são verificadas duas situações: a) se não consta na tabela, faz a associação do endereço MAC à porta, e coloca o temporizador de inatividade em zero; b) se já consta na tabela, reinicializa o temporizador de inatividade em zero. A terceira consideração é quanto à utilização do protocolo *Spanning Tree* (STP) pelos switches, o que causa o bloqueio de interfaces para receber ou enviar quadros. Esse mecanismo serve para evitar loops na rede. Essa situação se faz presente no circuito a ser implementado neste estudo [12].

III. METODOLOGIA

O método escolhido para iniciar este estudo foi a pesquisa exploratória sobre "*Software-Defined Networking*" onde foi possível selecionar artigos utilizados no referencial teórico, utilizando-se fontes secundárias.

Inicialmente foram utilizadas as técnicas de bibliometria, a fim de identificar as principais obras e autores sobre o tema. Para isso, utilizou-se a ferramenta de bibliometria *Harzing's Publish or Perish*, que indicou as obras mais citadas e os autores mais relevantes para os parâmetros utilizados nesta pesquisa, assim como a classificação (*ranking*) por número de citações, citações por ano e h-index. O número de resultados de cada busca variou dependendo da palavra procurada, ou da composição de palavras, e da base de dados. Utilizando-se a associação lógica ["*software defined network**" *or* "*software-defined network**" *or* "sdn"] *and* ["*switching*"] na pesquisa, considerando a base do Google Acadêmico, para o período a partir de 2010, com limitação de mil *papers*, foram selecionados os 39 primeiros mais citados para a análise de aderência ao tema de estudo, verificando o título e o resumo de cada resultado de pesquisa. Estes *papers* obtiveram índice h superior à 39, e citações que variaram de 11 a 193,33 por ano. Desta análise foram selecionados 12 *papers*. Também foram analisados os dez *papers* classificados segundo o *ranking* da ferramenta, onde todos constavam na análise anterior. Reduzindo-se a associação lógica para "*software defined network**" *or* "*software-defined network**" *or* "sdn" na pesquisa, considerando os mesmos parâmetros, foram selecionados os 50 primeiros mais citados para a análise de aderência ao tema de estudo. Estes *papers* obtiveram índice h superior à 51, e citações que variaram de 11 a 228 por ano. Das duas análises executadas, foram selecionados 20 artigos, distribuídos entre IEEE, ACM e Elsevier. A estes foram adicionados documentos, RFCs (*Request for Comments*) e páginas *web* de organizações relacionadas ao tema.

Foi feito um trabalho de verificação sobre os autores mais citados pelos artigos relacionados, sendo compilados pelas ferramentas Microsoft Excel e VOSViewer. De onde surgiram mais alguns trabalhos para a complementar a pesquisa.

Quanto ao ambiente de testes, foi construída uma topologia contendo três *hosts* e três *switches*. A fim de criar uma base de referência para a análise do ambiente da Rede Definida por Software, criou-se uma rede tradicional, com as mesmas características, de acordo com a Figura 1.

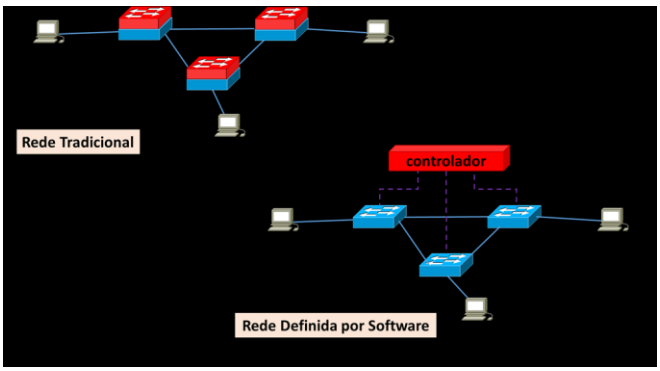


Fig. 1. Topologia da rede Tradicional e SDN.

Uma vez com os ambientes operacionais foram realizados os testes de conectividade entre os *hosts* e comutação de portas dos *switches*, observando-se o comportamento da rede.

A comutação das interconexões foi realizada, manualmente, por comando executado no controlador, derrubando-se uma interface entre os switches de cada vez, forçando o tráfego por outra interface. Após cada chaveamento, o teste de conectividade entre todos os *hosts* era refeito. Seguiu-se o mesmo processo para a rede Tradicional. Dessa forma, foram obtidos os dados para análise dos dois ambientes.

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os testes foram realizados com base em um Plano de Testes do Projeto previamente planejado. A estrutura do plano consiste em: 1) Preparação do ambiente;2) Levantamento de dados da topologia: a. Endereço IP e MAC das interfaces; b. Estado das interfaces: i. Análise do STP (*Spanning Tree Protocol*); c. Caminho do tráfego; 3) Pré-teste de conectividade (todos os nós); 4) Inicialização da ferramenta de análise (*Tcpdump*) para o ambiente de SDN; 5) Testes de conectividade, com 200 amostras, e comutação de interfaces.

Após a obtenção dos dados originados nos ambientes experimentais, foram geradas planilhas para realizar a análise dos resultados e a obtenção dos gráficos.

A. *Ambiente tradicional*

Para o ambiente de rede tradicional não foi possível utilizar a ferramenta Mininet pois a mesma não opera com dispositivos legados ligados em *loop* [13]. Por esse motivo, utilizou-se o simulador de rede Cisco *Packet Tracer* 6.2 *Student*.

A topologia foi criada para a realização dos testes, com os mesmos parâmetros de rede utilizados na Rede Definida por Software, a fim de servir de base para comparação.

Pela ferramenta foi possível visualizar a interface bloqueada pelo protocolo STP para evitar o *loop* na rede, identificada pelo estado de cor laranja. Com o cenário construído, foram realizados os pré-testes para comprovar que o ambiente estava operacional e pronto para a realização dos testes principais. Realizou-se um teste de conectividade de um *host* para todos os demais, até que todas as conexões entre origens e destinos fossem testadas.

Após o sucesso do pré-teste, iniciaram-se os testes entre os pares de *hosts*. Começando pelo *host1* e *host2*, foram enviadas 200 requisições do *host1* ao *host2*, interrompendo-se a ligação entre eles no meio do teste e causando a perda temporária de conectividade entre os dois *hosts*. Na sequência, verificou-se a correta atuação do protocolo STP, habilitando a ligação inicialmente bloqueada e chaveando o tráfego para ela e, posteriormente, para a ligação entre o *switch6* e o *switch5*. Reestabelecendo a conectividade entre o *host1* e o *host2*. Com o término do teste, voltou-se à condição inicial, reativando a ligação interrompida. O mesmo procedimento foi realizado para testar a conectividade entre os demais pares de *hosts* e a comutação entre os *switches* envolvidos.

Com os testes realizados, obteve-se os gráficos do tempo de resposta (*Round Trip Time* – RTT) em função do número da requisição feita (Figura 2).

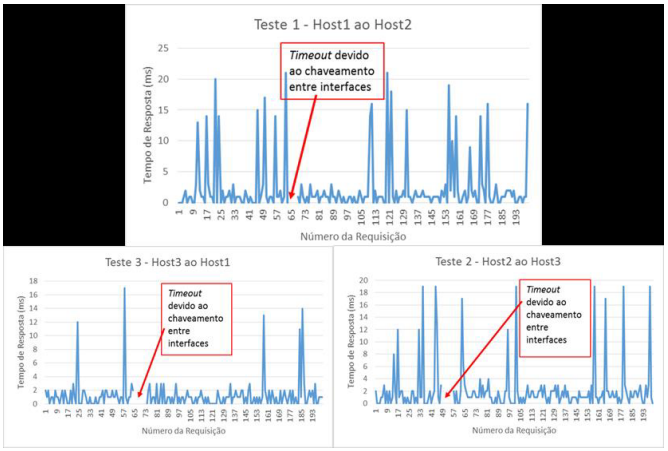


Fig. 2. Gráficos do tempo de resposta entre os *hosts* e o *timeout* entre as comutações, no ambiente de rede tradicional.

Os resultados apresentados nos testes tiveram um comportamento dentro do esperado, de até algumas dezenas de milisegundos. As comutações foram executadas em um período compatível aos ambientes reais.

B. *Ambiente da Rede Definida por Software*

Para a criação de um ambiente de Rede Definida por Software foi utilizada uma máquina virtual usando *VMware Workstation* 12 *Player* sobre Windows 10, construída em Linux Lubuntu, rodando a aplicação Mininet. O Mininet permite a criação da rede por programação, na linguagem Python, fazendo-se uso de linhas de comandos. Os testes realizados neste ambiente seguiram o mesmo plano utilizado para o ambiente tradicional e parâmetros de rede idênticos.

A atuação do protocolo *Spanning Tree* foi analisada pelos resultados dos testes de conectividade, identificando o *link* bloqueado (*blocked*), igual ao teste realizado no ambiente tradicional. Após a realização dos testes de conectividade e comutação (Figura 3), usando o mesmo plano de testes do ambiente tradicional, foram coletados os dados do experimento e inseridos em uma planilha para a análise dos mesmos. Como resultado, foram obtidos os gráficos ilustrados na Figura 4.

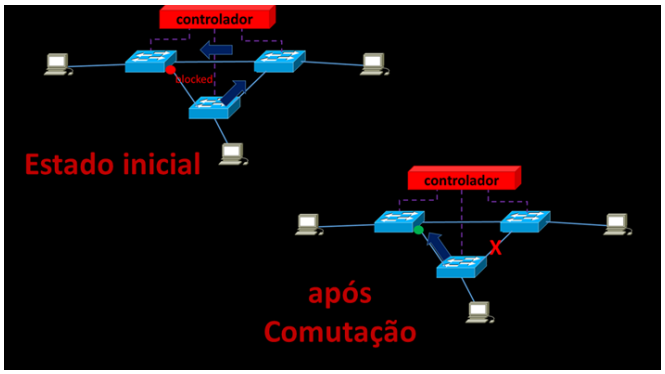


Fig. 3. Fluxo do tráfego entre o *host3* e o *host1*, no ambiente de SDN, com STP.

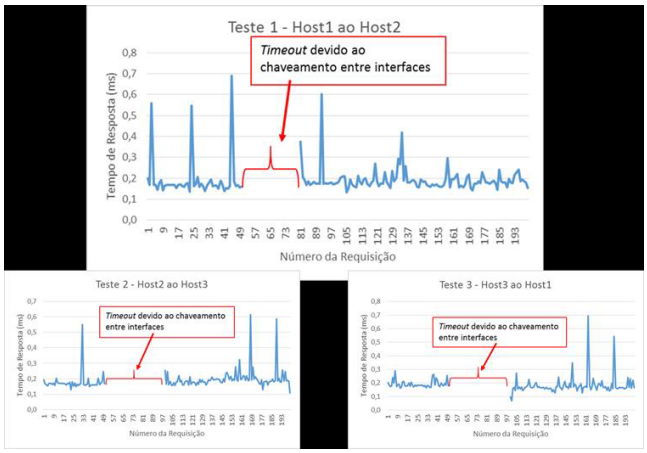


Fig. 4. Gráficos do tempo de resposta entre os *hosts* e o *timeout* entre as comutações, em um ambiente de SDN.

Os resultados obtidos neste ambiente tiveram um comportamento dentro das expectativas. Um ponto que chamou a atenção nesse ambiente foi o elevado tempo de comutação das ligações (*links*) entre os switches, que pode ser observado pelo período de timeout demonstrado nos gráficos. Esse fato, pelos dados coletados, se deve ao algoritmo usado pela controladora padrão da ferramenta.

C. *Comparando os Ambientes*

Do ponto de vista operacional de rede, tanto a emulação da rede tradicional quanto a da Rede Definida por Software tiveram um comportamento dentro da normalidade.

Considerando os resultados obtidos em ambos ambientes, nota-se que no ambiente simulado em uma rede tradicional houve uma variação maior entre os valores máximos e mínimos do RTT do que no ambiente SDN, no entanto, os valores obtidos na rede SDN tiveram valores médios mais baixos.

Tratando-se do tempo de comutação, o ambiente da rede tradicional apresentou um período de inatividade (*timeout*) menor que o período observado no ambiente de SDN.

Vale ressaltar que os ambientes utilizados para teste não foram ambientes reais e as medições efetuadas servem para uma verificação do comportamento da topologia implementada nas duas ferramentas distintas.

V. CONCLUSÕES / CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo revelou pelo experimento realizado, considerando as limitações abordadas, o comportamento do processo de chaveamento de uma Rede Definida por Software. Desta forma, atendeu ao objetivo proposto, identificando características dessa tecnologia. A análise dos resultados foi realizada com base nas informações e conhecimentos adquiridos dos diversos documentos consultados durante o processo de pesquisa.

A principal contribuição desse estudo foi demonstrar o funcionamento de uma Rede Definida por Software composta por *switches* utilizando o protocolo *Spanning Tree* e a sua comparação com uma rede tradicional, de mesma topologia, servindo como apoio a profissionais do setor de telecomunicações, pesquisadores e estudantes que pretendem ingressar nesta área e compreender o comportamento e as características deste tipo de tecnologia.

Este trabalho foi limitado a um ambiente virtual rodando em ferramentas de simulação e emulação de redes. Futuramente, esta pesquisa poderia ser reaplicada em um ambiente real para comprovação dos resultados obtidos neste estudo. Sendo assim, entendo que este trabalho possibilita a execução de estudos futuros que complementem esta pesquisa e possam contribuir, ainda mais, para as áreas de Engenharia de Computação e Redes de Computadores.

REFERÊNCIAS

[1] Cisco Systems, “The Zettabyte Era—Trends and Analysis”, *Cisco*, 23-jun-2015. [Online]. Available at: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/VNI_Hyperconnectivity_WP.html. [Acessado: 10-abr-2016].

[2] Open Networking Foundation, “Software-Defined Networking (SDN) Definition”, *Open Networking Foundation*, 2016. [Online]. Available at: https://www.opennetworking.org/sdn-resources/sdn-definition. [Acessado: 13-mar-2016].

[3] M. Wichtlhuber, R. Reinecke, e D. Hausheer, “An SDN-Based CDN/ISP Collaboration Architecture for Managing High-Volume Flows”, *Ieee Trans. Netw. Serv. Manag.*, vol. 12, nº 1, p. 48–60, mar. 2015.

[4] J. Rueckert, J. Blendin, e D. Hausheer, “Software-Defined Multicast for Over-the-Top and Overlay-based Live Streaming in ISP Networks”, *J. Netw. Syst. Manag.*, vol. 23, nº 2, p. 280–308, abr. 2015.

[5] S. Paul, R. Jain, M. Samaka, e J. Pan, “Application delivery in multi-cloud environments using software defined networking”, *Comput. Netw.*, vol. 68, p. 166–186, ago. 2014.

[6] N. Feamster, J. Rexford, e E. Zegura, “The road to SDN: an intellectual history of programmable networks”, *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 44, nº 2, p. 87–98, 2014.

[7] B. A. Nunes, M. Mendonca, X.-N. Nguyen, K. Obraczka, e T. Turletti, “A survey of Software-Defined Networking: Past, present, and future of programmable networks”, *Commun. Surv. Tutor. IEEE*, vol. 16, nº 3, p. 1617–1634, 2014.

[8] S. Denazis, E. Haleplidis, J. H. Salim, O. Koufopavlou, D. Meyer, e K. Pentikousis, “Software-Defined Networking (SDN): Layers and Architecture Terminology”, 2015.

[9] A. Doria, J. H. Salim, R. Haas, H. Khosravi, W. Wang, L. Dong, R. Gopal, e J. Halpern, “Forwarding and control element separation (ForCES) protocol specification”, *Internet Req. Comments RFC Ed. RFC*, vol. 5810, 2010.

[10] Mininet, “Mininet: An Instant Virtual Network on your Laptop (or other PC)”, 2016. [Online]. Available at: http://mininet.org/. [Acessado: 26-abr-2016].

[11] NS-3 Consortium, “ns-3”, 2016. [Online]. Available at: https://www.nsnam.org/. [Acessado: 26-abr-2016].

[12] T. Boyles e D. Hucaby, *Cisco CCNP switching exam certification guide*. Indianapolis, IN: Cisco Press, 2001.

[13] B. Linkletter, “How to use MiniEdit, Mininet’s graphical user interface”, *Open-Source Routing and Network Simulation*, 03-abr-2015. [Online]. Available at: http://www.brianlinkletter.com/how-to-use-miniedit-mininets-graphical-user-interface/. [Acessado: 29-maio-2016].

Scheduling Method for Cloud Computing Energy Management

NASCIMENTO, V. T.*; CARVALHO, T. C. M. B.*; GIMENES, A. L. V.†
(Viviane T. Nascimento; Tereza Cristina M. B. Carvalho; Andre L. V. Gimenes)
*Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais - Escola Politécnica da USP
†Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas - Escola Politécnica da USP
E-mail: {vianetn@larc.usp.br, terezacarvalho@usp.br, gimenes@pea.usp.br

***Abstract*—The increasing demand for energy consumption by Cloud Computing infrastructure is a concern for its providers. The high related energy cost that accompanies the electricity demand is one challenge for the providers to cope. The flexibility of the computing load, the possible time shifting and negotiation of service related terms enables to manage the service provisioning according to power conditions. Energy prices and availability vary according to daytime and geographical position, which implies in different prices for the resources in distinct periods. The power management of the Cloud Computing capacity regarding energy provider enables the adaptation of the infrastructure to take advantage of the energy prices fluctuation and the different sources availability. This work defines a method that allows negotiation and management of computing resources based on energy information in various time intervals. The proposed solution sets processing plans and establishes scheduling conditions to seize the most affordable costs for the power consumption. A proposed model that translates the customer contract information searches for the lowest energy prices and allocates the services based on these searches is presented to reinforce our approach. Initial results point out 17% of savings in comparison to non-energy management techniques.**

***Keywords*— Cloud Computing; Demand Management; Energy**

I. Introduction

Energy costs are one of the biggest costs of Data Centers (DCs) running, forcing operators to consider different energy savings as core strategies for the business continuity [1]. As more business shifts to Cloud Computing, as the reliance on this model increases, the electricity significantly grows as well. Recent studies cite that the energy demand is expected to increase by 60% until 2020 [2].

Focusing on the energy efficiency of the infrastructure, different approaches had been evaluated. Hardware efficiency, energy-aware resource management, energy efficient applications, efficient cooling techniques and geographical allocation of DCs [3]. Most of these approaches focus on the energy conservation of the infrastructure, minimizing the power consumption of the DCs; however, few works propose dealing with the energy costs flexibility.

Unlike the energy saving, behavior incentive programs encourage the consumers' usage patterns reasoning costs reduction [4]. Defined as Demand Response (DR) programs, they incentive the load shifting for set time periods based on the reliability of the grid or prices rewards[5]. The Price-Based Programs incentive the load variation based on energy prices fluctuation during time intervals, Incentive-Based rewards the load reduction by request or control of the appliances and the Demand Reduction Bids rewards the consumers initiative to reduce the load [6].

Despite the energy rates and availability variation during time periods, the flexibility of the energy is inferior in comparison to the computing load [7]. The fact that the DCs infrastructure are highly automated and monitored, including the ICT (Information and Communication Technology) equipment and cooling infrastructure, enables to handle the workload and adjust it according to energy requirements.

The management of the load allows exploiting the power consumption flexibility. The evaluation of systems and infrastructure that enable power management, the load shifting probability, flexibility of the quality terms, as QoS (Quality of Service) and SLA (Service Level Agreement) and geographical load balancing are approaches related to the power flexibility of the DCs [7]. This management approaches to control the contracted load and deploy DR programs for ICT infrastructures.

According to services providers goals and established service levels, the cloud resources are managed. Different functional strategies are deployed to cope with the capacity, such as scheduling of cloud resources, demand profiling, resource estimation, pricing and profit maximization, scaling and provisioning, workload management and management systems as the functional areas are deployed to deal with the resources management of the cloud [3].

As a provided resource of the Cloud Computing environment, the energy consumption is managed to achieve its efficient usage. The time variation of the energy prices and availability allows establishing scheduling conditions for the resources allocation. Different authors regards the energy consumption[9], [11], [12], [13], the improved deployment of renewable sources and generation prediction [14], [16], as power-related conditions to allocate the Cloud resources.

Although different works cite scheduling as efficient costs and resources utilization technique, no work applies energy allocation costs as a dynamical pricing strategy for the contracts scheduling. Thus, the work deploys processing costs and establishes processing plans and contractable energy-related information to guarantee the balance between energy

provisioning, DCs demand, and contracts fulfillment.

II. Energy Aware Contracts Management

This work defines an energy provisioning strategy based on the availability and prices fluctuation according to established time intervals. A scheduling methodology, based on contracted quality terms and infrastructure provisioning, manages the services to define powering strategies for the Cloud Computing environment. The energy management is not restricted to the ICT equipment but includes the infrastructure related to the DCs functioning, such as air cooling.

The computing infrastructure provisioning can be determined based on contracts terms, the information granted by the users enables to estimate the number of resources and the quality of the services provided to fulfill the contracts terms.

The knowledge of the capacity enables to determine the energy demanded to run the DCs infrastructure; the contracted terms also allows to set how to power the services processing. Due to this fact, the energy usage to process the services become contracting terms to the customer, including the negotiation of aspects of performance, quality, energy efficiency, energy sources.

The energy requirements defined by contract and the prediction of the energy demanded by the computational resources allows the Cloud Computing services provider to negotiate prices and sources availability with the electricity market. The specificities of the energy resources demanded allows the negotiation of the amount of power to be deployed for a particular time interval. The time interval for the power prices definition, its dissemination and the decision-making for the resources is defined aligned with the energy market.

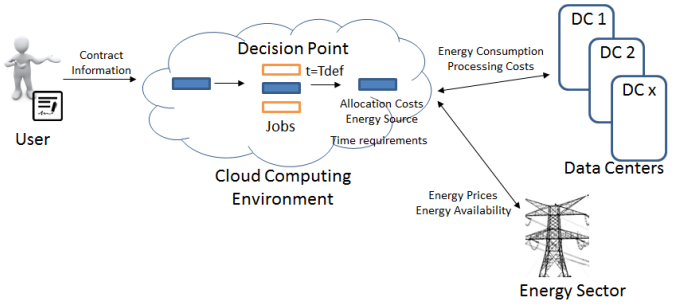


Fig. 1. Energy Decision Point for Cloud Computing

Figure 1 shows a general perspective for the proposed energy management. The user sets the contracts requirements, including computing terms, energy and service levels. The Decision Point receives the contracts and translates the conditions into energy-related metrics; before the definition of the energy parameters, each contract named as a job.

According to the time requirements established by the Decision Point, the jobs are managed to be allocated. The physical allocation depends on the energy costs to process the job and the type of energy source contracted; balancing contracts information with the energy sector data, which are related to the energy prices and availability, and the DCs

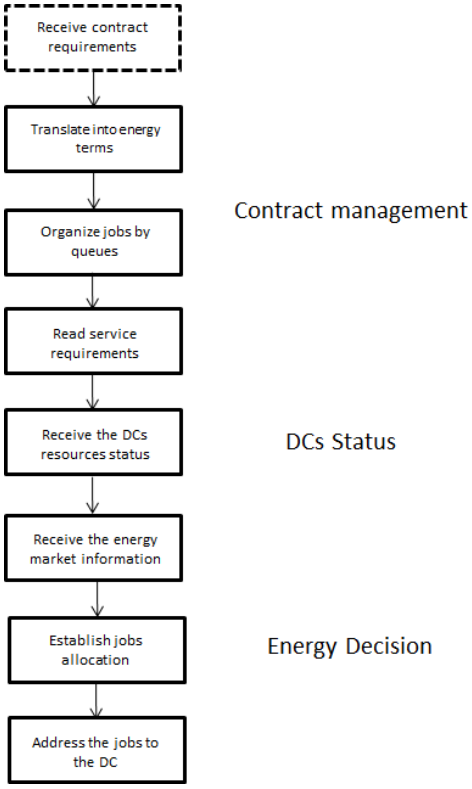


Fig. 2. Services Scheduling Based on Energy Status

energy consumption and processing associated costs. Despite the scheduling of the jobs according to energy requirements, the decision related to the internal processing of the services, including VMs allocation, is not the focus of the present work.

The contracted range for the services processing allows determining the prices and the computational loads for the different periods of the day. Based on ToU (Time of Use) demand response program, which discloses the energy price at determined time intervals, the time interval allows predicting the most affordable prices and availability. The time interval for the services processing is defined for example based on three different processing plans: reserved, flexible and on-demand.

For the reserved plans, the user establishes the time interval for the services allocation; the on-demand plan requires the immediate distribution of the contracts and the flexible plan does not have a time interval contracted and depends on the most affordable price of the energy to be processed. The quality service levels for the flexible plans is the lowest, in comparison with the two other plans; to incentive the user to contract this plan, it is the cheapest one.

Figure 2 represents the contracts-scheduling proposal for the energy management of the Cloud Computing environment. It is defined into three different stages, beginning with the contracts receiving and translation into energy terms, establishing conditions for the jobs management and the allocation and receipt of the status of both the energy sector and DCs status.

The jobs are organized in queues by processing plans

and time interval. Based on the specified time periods for the energy purchasing, provided by the market, the jobs are managed to be assigned: costs related to the amount of energy to be purchased and the quantity of energy required to run the infrastructure are set as values for the allocation conditions.

The DC energy and capacity status and the electricity sector information are received by the Decision Point. The costs for the contracts, the energy market, and the DCs are balanced to allocate the jobs. The jobs are always addressed to the cheapest DC.

Since the flexible plans have the lowest quality service terms of all plans, they can be paused, and reallocated posteriorly, or migrated to other DCs. This fact benefits the cloud operator that can manage the flexible plans to reduce the energy costs and apply the energy load management.

III. Initial Results

The initial results are based on the allocation of 100 random contracts. The contracts establish the computing resources level, energy source, type of plan, initial and final distribution hours, maximum processing time. The exception is the flexible plan that defines the maximum processing time instead of the initial and finishing hours. The contracts specify four different computing resources levels, small, medium, large and extralarge that sets the expected energy consumption for each contract.

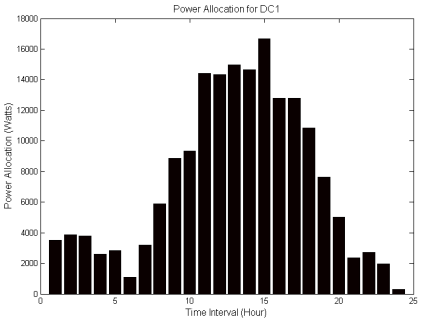
The energy expenditure for each resource level was established by the consumption of a high-performance server [17]. The energy consumption on idle state is Pidle=300W, and the maximum load is 1000W. The light levels spend Pidle+30%*Pidle, medium Pidle+75%*Pidle, large Pidle+150%*Pidle and extralarge consumers the maximum load.

The prices were established hourly and by type of source - renewable and non-renewable. DC1 buys only renewable sources, DC2 non-renewable and DC3 searches for the lowest price for the time interval. The contracts that required renewable sources are allocated on DC1; the other contracts are assigned to the cheapest DC, including DC1.

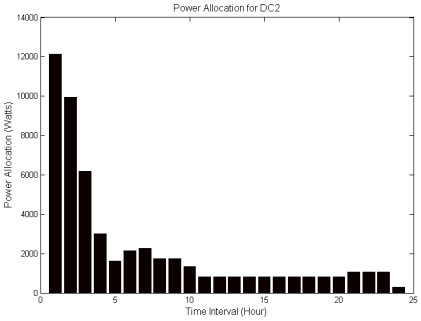
The jobs are allocated based on the comparison of the costs to purchase the amount of energy required to run it, as on equation 1, and the average cost to process a job on each predicted DC, determined on equation 2. The cost for the job allocation 1 is the sum of the energy prices for the referred hour (p(t)) multiplied by the amount of predicted energy (JobEnergy) for the services processing during the contracted interval (ti$\leq t \leq tf$).

The value is compared with the costs for the jobs processing. The cost of the DC (2) is defined by the sum of the idle power of the non-used servers (Pidle) multiplied by the energy paid for the energy running the DC (pe(t)) and the power demanded to run the services multiplied by the energy price (pe(t)).

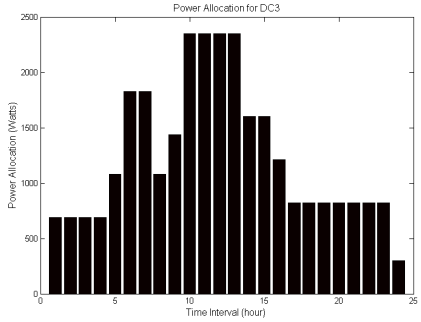
For the reserved and on-demand contracts, the model allocates the jobs according to the contracted hour interval. For the flexible plans, the model searches for the cheapest time interval to assign the job, based on the maximum processing interval contracted; even if the model searches for the most affordable time interval, the type of source contracted is not infringed.



(a) Power Allocation for DC1



(b) Power Allocation for DC2



(c) Power Allocation for DC3

Fig. 3. Power Allocation Based on Costs Balance

$$JobCost(t) = \sum_{t=ti}^{t=tf} p(t) * JobEnergy \quad (1)$$

$$EC(t) = \frac{\sum_{s=1}^{S} Pidle * pe(t) + JobEnergy(t) * pe(t)}{Job} \quad (2)$$

Figure 3 shows the hour power allocation for each defined DC. Since the price for the non-renewable sources is cheaper on the dawn and morning, the majority of the reserved jobs are allocated on DC2 and by the first hours of the day. The rest of the day, DC2 maintains its energy load very low.

DC1 and DC3 have load peaks during the afternoon, which is justified by the quantity of reserved and on-demand plans that contracts allocation for the evening hours. DC3 maintains

the load high on the non-peak hours because it always buys the cheapest energy offered.

A non-management model was defined as a comparison to the proposed one. The same contracts were used, and the jobs are allocated according to their contracts arrival hour, without considering energy prices and costs. In comparison to the proposed model, the costs to assign the jobs is 17% cheaper on the management model. This result is justified mainly by the use of the early hours of the day to assign the jobs and the definition of flexible plans.

Lucanin and Brandic [13] developed an energy-aware contracts allocation to cope with the renewable energy generation and prices variation during established time periods. The authors consider the energy costs and consumption as results of their approach.

Despite the authors achieved a 26% costs savings, in comparison to non-management approach, the work does not include the type of source as a contractable and, therefore, cost item of the DC. The current results are lower than the cited ones, but we present the advantage of the source as a contractable and price-composing item for the user.

IV. Conclusion

The method presented evaluated a scheduling proposal for Cloud Computing environments that deals with contracts requirements, electricity sector information and the DCs status to take advantage of the energy prices and availability. The method also defines contracts terms that enable the user to specify how to power the services processing.

The first results show that the energy costs to process a set of contracts decrease in comparison with a non-management allocation. Also, the results demonstrate the distribution of contracts in unusual processing hours. This fact can be an advantage for the services provider since he can offer benefits to users in exchange of the usage of the infrastructure during major energy availability and reduced costs.

The next steps of this work include establishing an energy-aware interface that could deal with both the electricity sector data and the DCs energy consumption status. The proposed interface will be able to deal with the contracted specificities to guarantee the best energy deployment of the Cloud Computing environment. A performance negotiation regarding the power consumption is also being evaluated as next steps of the contracts management.

References

[1] POMERANTZ G. COOK, K. R. B. J. D. *Clicking Clean: A Guide to Building the Green Internet*. [S.l.], 2015. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/usa/wpcontent/uploads/legacy/Global/usa/planet3/PDFs/2015ClickingClean.pdf>.

[2] COOK, G. et al. *Clicking Clean: How Companies are Creating the Green Internet*. [S.l.], 2014. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/usa/Global/usa/planet3/PDFs/clickingclean.pdf>.

[3] JENNINGS, B.; STADLER, R. Resource management in clouds: Survey and research challenges. *Journal of Network and Systems Management*, Springer, v. 23, n. 3, p. 567–619, 2015.

[4] TANG, C.-J. et al. A load control method for small data centers participating in demand response programs. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, v. 32, p. 232–245, 2014.

[5] TORRITI, J. *Peak Energy Demand and Demand Side Response*. Taylor & Francis, 2015. (Routledge Explorations in Environmental Studies). ISBN 9781317704478. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=fw0tCgAAQBAJ>.

[6] SIANO, P. Demand response and smart gridsa survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 30, p. 461–478, 2014.

[7] WIERMAN, A. et al. Opportunities and challenges for data center demand response. In: IEEE. *Green Computing Conference (IGCC), 2014 International*. [S.l.], 2014. p. 1–10.

[8] HSU, Y.-C.; LIU, P.; WU, J.-J. Job sequence scheduling for cloud computing. In: IEEE. *Cloud and Service Computing (CSC), 2011 International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 212–219.

[9] JOE-WONG, C.; KAMITSOS, I.; HA, S. Interdatacenter job routing and scheduling with variable costs and deadlines. *IEEE Transactions on Smart Grid*, IEEE, v. 6, n. 6, p. 2669–2680, 2015.

[10] REN, S.; HE, Y.; XU, F. Provably-efficient job scheduling for energy and fairness in geographically distributed data centers. In: IEEE. *Distributed Computing Systems (ICDCS), 2012 IEEE 32nd International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 22–31.

[11] WU, C.-M.; CHANG, R.-S.; CHAN, H.-Y. A green energy-efficient scheduling algorithm using the {DVFS} technique for cloud datacenters. *Future Generation Computer Systems*, v. 37, p. 141 – 147, 2014.

[12] KIM, N.; CHO, J.; SEO, E. Energy-credit scheduler: an energy-aware virtual machine scheduler for cloud systems. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, v. 32, p. 128–137, 2014.

[13] LUCANIN, D.; BRANDIC, I. Take a break: cloud scheduling optimized for real-time electricity pricing. In: IEEE. *Cloud and Green Computing (CGC), 2013 Third International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 113–120.

[14] MINH, H. T.; SAMEJIMA, M. An evaluation of job scheduling based on distributed energy generation in decentralized data centers. In: IEEE. *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2015 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2015. p. 1172–1177.

[15] GOIRI, Í. et al. Greenslot: scheduling energy consumption in green datacenters. In: ACM. *Proceedings of 2011 International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis*. [S.l.], 2011. p. 20.

[16] MÄSKER, M. et al. Smart grid-aware scheduling in data centres. *Computer Communications*, Elsevier, 2016.

[17] SUPERMICRO. *SuperServer 8028B-TR4F*. [S.l.], 2016. Disponível em: <http://www.supermicro.com/products/system/2U/8028/SYS-8028B-TR4F.cfm>.

Analysis of V2V communication technologies with focus on safety

Análise das tecnologias de comunicação V2V com foco em segurança

SILVA, T. A.; JUNIOR, J. B. C.
Grupo de Análise de Segurança - Universidade de São Paulo
tiago.silva1230@gmail.com, joaocamargo@usp.br

***Abstract*— A subject that is becoming increasingly important in academia, industry and government is the automation of the automotive transportation systems. This automation shows advantages in terms of traffic efficiency and, consequently, reducing emissions. Safety is another point which is expected to have significant gains in the application of automation. Within the systems aimed at the safety vehicle V2V communication has aimed to add an extra layer of protection for its ability to anticipate possible danger. The paper presents an analysis, focusing on safety, of key technologies that can be adopted for the implementation of a V2V system: LTE D2D and DSRC. The analysis covers the features, advantages and disadvantages of each technology that can affect vehicle safety systems. The scenarios adopted for the analysis seek to exploit critical for communication situations applied to the automotive environment. The analysis shows that both of these technologies have their limitations and have underperformed acceptable for use in a critical system such as automotive in certain scenarios. One approach to adopt both technologies in parallel can be a solution that circumvents these limitations.**

***Keywords*— Safety; ITS; V2V; LTE D2D; DSRC.**

***Resumo*— Um assunto que ganha cada vez mais importância na academia, na indústria e nos governos é a automação dos sistemas de transporte automotivo. Essa automação mostra vantagens em termos de eficiência do tráfego e, consequentemente, redução de emissões. A segurança é outro ponto onde espera-se ter ganhos significativos com a aplicação da automação. Dentro dos sistemas voltados para a segurança veicular a comunicação V2V tem objetivo de acrescentar uma camada a mais de proteção pela sua capacidade de antecipar possíveis situações de perigo. O paper traz uma análise, focando na segurança, das principais tecnologias que podem ser adotadas para a implantação de um sistema V2V: LTE D2D e DSRC. A análise cobre as características, vantagens e desvantagens de cada tecnologia que podem afetar os sistemas de segurança do veículo. Os cenários adotados para a análise buscam explorar as situações críticas para comunicação aplicadas ao ambiente automotivo. A análise dessas tecnologias mostra que ambas têm suas limitações e apresentam desempenho abaixo do aceitável para a aplicação em um sistema crítico como o automotivo em determinados cenários. Uma abordagem que adote ambas as tecnologias em paralelo pode ser uma solução que contorne essas limitações.**

***Palavras-chave*— Segurança; ITS; V2V; LTE D2D; DSRC.**

I. INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito são uma preocupação em todo o mundo. Essa preocupação é tanta que em alguns países existem órgãos governamentais que tem por finalidade tornar o transito mais seguro. Um exemplo é o National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Esse órgão é ligado ao Department of Transportation (DoT) norte-americano e objetiva diminuir as mortes, ferimentos e perdas econômicas geradas pelos acidentes automobilísticos [1].

A ação desses órgãos, ao promover o desenvolvimento de novas tecnologias e realizar sua regulamentação de uso, faz com que cada nova geração de automóveis seja mais segura que a anterior. Os elementos de segurança no âmbito automotivo podem ser classificados quanto a seu meio de atuação em dois conjuntos. Os elementos passivos são aqueles que têm a finalidade de diminuir os danos aos passageiros na ocorrência de um acidente. Um exemplo desses elementos que podemos destacar é o Air Bag. Os elementos ativos são aqueles que buscam dar ao motorista melhores condições de reação em situações de emergência. Como exemplo podemos citar o Anti-lock Breaking System (ABS). No entanto, em cenários cada vez mais complexos, como os atuais e futuros, não é suficiente apenas tornar o veículo seguro. São necessários elementos que antecipem situações de perigo e alertem o motorista a tempo de uma reação que evite o possível acidente [1].

O NHTSA, em conjunto com outros órgãos do governo norte-americano e de outros países, vem pesquisando e desenvolvendo um novo conceito em transportes denominado Intelligent Transportation Systems (ITS). O ITS tem por objetivo inserir sistemas de telecomunicações que buscam aumentar a segurança e a eficiência dos meios de transporte. Dentre os sistemas de ITS destaca-se que o sistema de comunicação Veiculo-a-Veículo (V2V) pode ser um passo a mais no intuito de evitar a ocorrência de acidentes. A comunicação V2V utiliza dispositivos on-board dedicados e com raio de comunicação de curto alcance que trocam mensagens contendo informações sobre o veículo que podem ser utilizadas pelos demais veículos para identificar possíveis situações de risco.

Para a implantação desses sistemas de comunicação V2V diferentes tecnologias de comunicação podem ser utilizadas. Dentre elas duas tem se mostrado promissoras. A Dedicated Short Range Communications (DSRC) é um tipo de comunicação que se baseou no Wireless Fidelity (WiFi) e foi adaptado para comunicação veicular. O Long-Term Evolution Device-to-Device (LTE D2D) também se mostra uma possível tecnologia para a comunicação veicular que possibilita a comunicação direta entre dispositivos de uma rede LTE.

O paper é organizado em quatro seções. Na seção I é introduzido o trabalho. Na seção II é apresentado o ITS e a relação entre os sistemas de telecomunicação e o uso de sensores e câmeras embarcadas nos veículos do sistema de transporte automotivo. Na seção III são apresentadas as tecnologias DSRC e LTE D2D e uma análise comparativa levando em consideração os requisitos de safety do sistema de tráfego. Finalmente na seção IV são apresentadas as Conclusões do trabalho.

II. INTELIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITS) E SENSORES

O ITS visa a utilização de tecnologias no ambiente automotivo com o intuito de aumentar a disponibilidade de informações para o motorista. Estas informações relacionam-se principalmente com a segurança e o tráfego. Na área de segurança, o ITS propõe a utilização de vários dispositivos que permitem o monitoramento do ambiente, a detecção de situações de risco e o alerta ao motorista. Dispositivos como sensores, radares e câmeras cumprem essa função. Além desses dispositivos outra tecnologia que pode acrescentar uma camada a mais de segurança para o automóvel é a utilização de dispositivos de comunicação em rede. A comunicação V2V permite que o veículo aumente seu campo de detecção de situações de risco por ter um alcance maior que os sistemas de radares, sensores e câmeras. Esse tipo de comunicação também excede os sistemas de sensoriamento por ter a capacidade de ver através dos obstáculos. Essas características possibilitam uma ação antecipada por parte do motorista.

O ITS prevê que um grande número de aplicações podem usufruir da comunicação V2V. Tanto aplicações voltadas para a segurança do veículo quanto aplicações de navegação, busca de locais para estacionar e até aplicações voltadas para o entretenimento dos ocupantes. Dentre as aplicações voltadas para a segurança, podemos destacar algumas que podem utilizar a comunicação V2V: Intersection Movement Assist (IMA), que alerta sobre o risco de entrar em um cruzamento, Forward Collision Warning (FCW), que avisa sobre freiadas bruscas e veículos parados a frente, Do-Not-Pass Warning (DNPW), que avisa sobre veículos vindo na direção contrária ao se iniciar uma ultrapassagem, Lane Change Warning/Blind Spot Warning (LCW/BSW), que alerta sobre a existência de outros veículos em ponto sem visibilidade ao se mudar de faixa de trânsito e Left Turn Assist (LTA), que alerta o motorista quando há a possibilidade de colisão ao realizar uma conversão à esquerda [1].

Segundo estimativas do NHTSA, a aplicação IMA poderá ajudar a evitar de 41% a 55% dos acidentes em cruzamentos e a LTA poderá ajudar a evitar de 36% a 62% dos acidentes relacionados com conversões à esquerda [1]. Juntos, IMA e LTA podem prevenir entre 413 mil a 592 mil acidentes e salvar de 777 a 1.083 vidas se forem implantados em toda a frota norte-americana no ano de 2058 [1]. Quanto ao custo da instalação desse tipo de sistema nos automóveis, o NHTSA estima que os custos girem em torno de $341 a $350 por veículo em 2020 e entre $209 a $235 em 2058 [1].

O fato dos veículos dotados de dispositivos V2V detectarem apenas outros veículos que também utilizem a tecnologia faz com que essa comunicação funcione de forma integrada com os sistemas de detecção de obstáculos como os sensores, câmeras e radares. Dessa forma a comunicação V2V funciona de forma complementar a esses dispositivos permitindo ao motorista um grau a mais de segurança. Essa utilização conjunta é extremamente importante principalmente no início da implantação da comunicação V2V, onde poucos veículos terão essa tecnologia.

III. LTE D2D VERSUS DSRC

A tecnologia de comunicação D2D, desenvolvida pelo 3rd Generation Partnership Project (3GPP), possibilita a comunicação direta entre elementos da rede LTE sem que seus dados precisem transitar pela rede celular. Isso possibilita que essa tecnologia opere tanto com suporte da infraestrutura da rede, que define os parâmetros de configuração da comunicação, quanto sem esse suporte, onde os dispositivos utilizam parâmetros pré-configurados. A comunicação D2D foi desenvolvida a partir da evolução das redes LTE e teve uma primeira especificação definida no release 12 da 3GPP [2]. Espera-se que essa tecnologia seja aprimorada até o lançamento do release 14 da 3GPP, a mesma que irá definir o 5G.

A tecnologia DSRC foi baseada nos padrões de comunicação do WiFi com adaptações para comunicação veicular e possui seu próprio padrão, o IEE 802.11p. É a tecnologia adotada para ITS nos EUA onde a banda de frequência de 5.9GHz foi alocada para esse tipo de comunicação pela Federal Communications Commission (FCC) [1].

Ao se comparar essas tecnologias, dentre as várias características que diferem entre elas destacam-se as seguintes:

A. Alcance da comunicação

Uma importante característica a ser analisada nas tecnologias, levando em consideração sua aplicação em safety, é o seu alcance. Segundo os experimentos realizados por Sorrentino [3] a tecnologia LTE D2D chegou a alcançar raio de comunicação até duas vezes maior quando comparado com a tecnologia DSRC. Em seu estudo foram adotados dois cenários: Um cenário urbano com veículos trafegando a uma velocidade de 15km/h e enviando 2 mensagens por segundo e outro cenário em uma rodovia com os veículos trafegando a uma velocidade de 140km/h e enviando 10 mensagens por

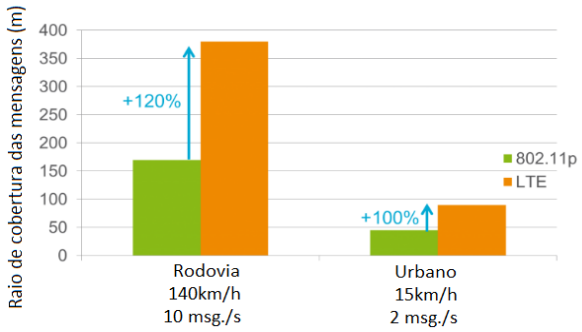


Fig. 1. Alcance LTE D2D e DSRC[3]

segundo. Os resultados obtidos podem ser vistos na fig. 1.

B. *Delay*

O delay observado considera o tempo decorrido desde o envio pelo transmissor até a recepção da mensagem pelo receptor. Essa medida é extremamente importante para aplicações de missão crítica, pois quanto antes o receptor tem acesso à informação mais tempo ele tem para reagir e prevenir uma possível situação de risco. De acordo com o DSCC [4], como citado por Yin [5], o delay para aplicações de segurança crítica deve ser menor do que 100ms.

Nos experimentos de Mir [6] foram adotadas diferentes frequência de envio de mensagens e cenários com diferentes quantidades (n) de veículos se comunicando. O resultado de seus experimentos pode ser visto nas figuras a seguir. A fig.2 mostra o delay obtido utilizando a tecnologia DSRC.

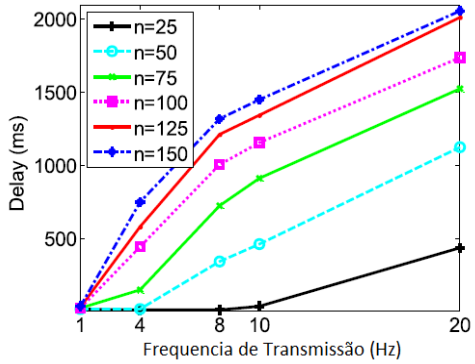


Fig. 2. DSRC Delay [6]

A fig. 3 apresenta os resultados obtidos por Mir [6] utilizando a tecnologia LTE D2D também variando a frequência de transmissão de mensagens em cenários contendo diferentes números (n) de veículos enviando essas mensagens.

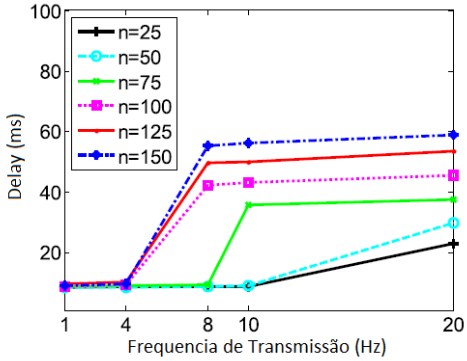


Fig. 3. LTE Delay [6]

Esses resultados mostram que o LTE D2D apresenta um delay bem menor que o obtido ao se utilizar o DSRC. LTE D2D consegue obter valores abaixo do limite definido pelo DSCC. Já o DSRC somente consegue obter valores abaixo desse limite em cenários com menos de 50 veículos ou com frequência de transmissão menor que 4Hz.

Outro experimento realizado por Mir foi variar a quantidade de veículos e avaliar o delay dos canais de uplink e downlink. Os resultados obtidos pelo experimento podem ser vistos na fig. 4. Esses resultados mostram que o LTE D2D apresente alto delay no seu canal de downlink em cenários com grande quantidade de veículos. Isso ocorre principalmente por características da ligadas à comunicação entre a infraestrutura da rede celular e cada automóvel ao se estabelecer os parâmetros de configuração da comunicação [6].

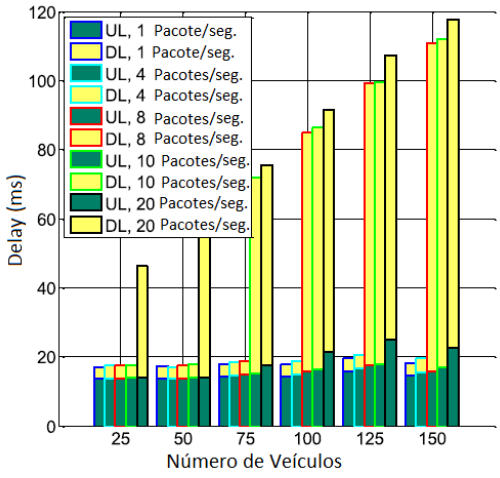


Fig. 4. LTE Delay [6]

C. *Taxa de entrega de pacotes*

A taxa de entrega de pacotes avalia a quantidade de pacotes enviados pelo emissor que foram recebidos com sucesso pelo receptor.

Nos experimentos realizados por Mir [6] o cenário adotado varia a quantidade (n) de veículos e a frequência de envio de mensagens. Na fig. 5 estão os resultados obtidos utilizando a tecnologia DSRC.

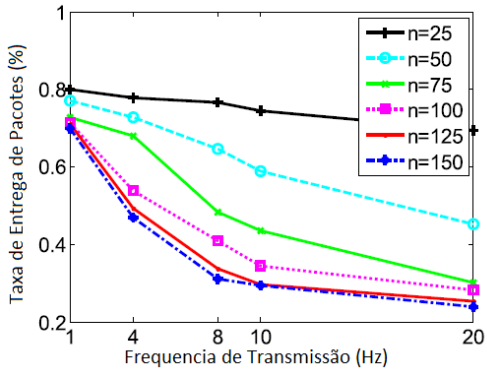


Fig. 5. DSRC Taxa de entrega de pacotes [6]

A fig. 6 apresenta os resultados obtidos por Mir [6] também variando a frequência de transmissão de mensagens e a quantidade (n) de veículos enviando essas mensagens ao se utilizar a tecnologia LTE D2D.

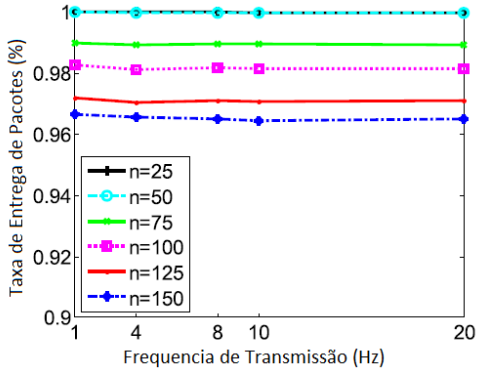


Fig. 6. LTE Taxa de entrega de pacotes [6]

Esses resultados mostram que o LTE D2D apresenta uma taxa de entrega de pacotes bem maior que o DSRC. Enquanto LTE D2D tem taxas de entrega acima de 96% o DSRC não passa de 80%. Outra observação interessante que podemos extrair desses resultados é que a tecnologia LTE não apresenta perda de taxa de entrega de pacotes quando se varia a frequência de transmissão de mensagens. Já a tecnologia DSRC, por outro lado, ao se aumentar a frequência de transmissão de mensagens há uma queda na taxa de entrega de pacotes.

D. Tamanho dos pacotes

Nos experimentos realizados por Yin [5] variando o tamanho do pacote enviado utilizando a tecnologia DSRC observou-se que pacotes maiores têm uma menor taxa de entrega com sucesso se comparados com pacotes de tamanho menor. Yin realizou os experimentos com pacotes de 100 bytes e 200 bytes e os resultados obtidos mostram que os pacotes menores têm, em média, um delay 15% menor e uma taxa de entrega de pacotes 6% maior que os pacotes de tamanho maior. Não foram encontrados resultados equivalentes utilizando a tecnologia LTE D2D. Um dos objetivos futuros desse trabalho é fazer esse experimento e comparar seus resultados com os obtidos por Yin**.**

E. Interferência

A interferência é um grande problema para os sistemas de comunicação e pode causar tanto a degradação quanto a total perda dos dados transmitidos [7]. Nos EUA a possibilidade de alocação da banda de 5.5GHz a 5.9GHz pela FCC para dispositivos Unlicensed-National Information Infrastructure (U-NII) pode causar interferência com a comunicação DSRC que utiliza a banda de 5.9GHz para comunicação V2V [1]. A tecnologia LTE D2D também pode ser afetada pela interferência, principalmente com a comunicação celular tradicional [8]. O controle fornecido pela infraestrutura celular pode controlar essa interferência. No entanto, em casos onde os dispositivos estão sem cobertura da rede e tem que utilizar parâmetros pré-configurados para realizar a comunicação não há esse controle que busque minimizar a interferência [9].

IV. Conclusões

Ao se analisar algumas características dessas duas tecnologias percebe-se que a tecnologia DSRC consegue apresentar níveis aceitáveis, tendo como base os parâmetros analisados, para aplicações críticas em cenários com pouca transmissão de mensagens e/ou baixa quantidade de veículos. Por outro lado, a tecnologia LTE D2D apresenta delay alto, mesmo que menor que o apresentado pela tecnologia DSRC, para cenário com grande quantidade de dispositivos conectados a rede LTE. Diante do fato de ambas as tecnologias terem suas limitações, uma possível solução seria a adoção de ambas as tecnologias em paralelo.

Um trabalho futuro será analisar a adoção dessas duas tecnologias em paralelo. Outras características, como o suporte à mobilidade, por exemplo, também devem ser analisadas futuramente. Outra tarefa que será realizada é a criação de modelos que simulem essas duas tecnologias e coletem dados a fim de embasar essa pesquisa.

Agradecimentos

Este trabalho é parcialmente suportado pela RLAM Innovation Center, Ericsson Telecomunicações S.A., Brasil.

Referências

[1] U. S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, DOT HS 812 014, "Vehicle-to-Vehicle Communications: Readiness of V2V Technology for Application", http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/V2V/Readiness-of-V2V-Technology-for-Application-812014.pdf, Agosto 2014, [Accessado: 26-Ago-2016].

[2] 3GPP TR 36.843, "Study on LTE Device to Device Proximity Services", 2014.

[3] S. Sorrentino, "LTE for Intelligent Transport Systems", Ericson Research, https://www.ericsson.com/research-blog/lte/lte-intelligent-transport-systems [Accessed: 29-Aug-2016]

[4] Task 3: Identify Intelligent Vehicle Safety Applications Enabled by DSRC - Interim Report, Vehicle Safety Communications Consortium, Jan. 2003.

[5] J. Yin, T. Elbatt, et al., "Performance evaluation of safety applications over DSRC vehicular ad hoc networks", ACM VANET, pp. 1-9, 2004.

[6] Z. H. Mir and F. J. Filali, "LTE and IEEE 802.11p for vehicular networking: a performance evaluation", in EURASIP Journal on

Wireless Communications and Networking, 2014:89. doi:10.1186/1687-1499-2014-89.

[7] Sue, M.K. "Radio frequency interference at the geostationary orbit". NASA. Jet Propulsion Laboratory. Retrieved 6 October 2011.

[8] A. Asadi, Q. Wang and V. Mancuso, "A survey on device-to-device communication in cellular networks", in IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2014:16. doi: 10.1109/COMST.2014.2319555.

[9] E. G. Ström, P. Popovski and J. Sachs, "5G Ultra-Reliable Vehicular Communication", arXiv preprint arXiv:1510.01288 (2015).

Safety and Resiliency Analysis of Critical Automotive Cyber-Physical Systems (ACPS) through the technique *Safety Cases*

Análise de Segurança Crítica e Resiliência de Sistemas Ciberfísicos Automotivos (ACPS) através da técnica de Casos de Segurança (*Safety Cases*)

GONZÁLEZ, R.I.R.; CAMARGO, J. B. Jr.†
Universidade de São Paulo – Escola Politécnica
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais
†Grupo de Análise de Segurança
{nacho13rojas, joaocamargo}@usp.br

***Abstract*— This project aims to analyze the safety and resilience in Automotive Cyber-Physical Systems (ACPS), highlighting the case of autonomous vehicles in the context of Intelligent Transportation Systems (ITS), through a framework based on computer simulations. The introduction of autonomous vehicles on the market will bring new challenges for automotive safety. These challenges need to be faced without limiting the advancement of this new technology. In this work we will create a model composed of the characteristics elements of a Road Transportation System (RTS) considering their relevance to safety. Scenarios will be developed to evaluate the model and to obtain safety recommendations, comparing systems composed only by autonomous vehicles, traditional vehicle systems and mixed systems. The safety analysis will be based on Safety Cases technique, which presents structured arguments, supported by evidences, to justify that a system is acceptably safe for a specific application on a specific operating environment. Therefore, it will be possible to present guidelines to ensure safety in ACPS and autonomous vehicles, with the consequent reduction of traffic accidents. This recommendations will guide the development of autonomous vehicles that will mitigate human errors without entering new errors that would affect safety.**

***Keywords*— ACPS, CPS, autonomous vehicles, ITS, RTS, Safety Cases, safety analysis.**

***Resumo*— O presente projeto tem o objetivo de analisar a segurança e resiliência em Sistemas Ciberfísicos Automotivos (ACPS), destacando o caso de veículos autônomos, no contexto dos Sistemas de Transporte Inteligente (ITS), através de um arcabouço baseado em simulações computacionais. A introdução de veículos autônomos no mercado vai trazer novos desafios para a segurança automotiva. Tais desafios precisarão ser enfrentados sem limitar o avanço dessa nova tecnologia. Neste trabalho se criará um modelo composto pelos elementos próprios de um Sistema de Transporte Rodoviário (RTS) considerando sua relevância em relação à segurança.**

Cenários serão desenvolvidos para avaliar o modelo e obter recomendações de segurança comparando sistemas compostos somente por veículos autônomos, sistemas de veículos tradicionais e sistemas mistos. A análise de segurança será baseada na técnica *Safety Cases* que apresenta argumentos estruturados, suportados por evidências, para justificar que um sistema é aceitavelmente seguro para uma aplicação específica em um ambiente operacional específico. Assim, será possível elaborar diretrizes para garantir a segurança de ACPS e veículos autônomos, com a consequente redução de acidentes de tráfego. As recomendações irão orientar o desenvolvimento de veículos autônomos que mitiguem erros humanos sem inserir novos erros que afetem a segurança.

***Palavras-chave*— ACPS, CPS, veículos autônomos, ITS, RTS, Safety Cases, análise de segurança.**

I. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

Sistemas Ciberfísicos (*Cyber-Physical Systems,* CPS) são aqueles que integram recursos de computação (em rede) e processos físicos, onde sistemas embarcados e conectados em rede monitoram e controlam processos multi-físicos (e.g. mecânicos, químicos, eléctricos, biológicos). As dinâmicas conjuntas que emergem desta combinação afetam tanto o lado cibernético quanto o físico [4].

Considerando-se o domínio de transporte rodoviário, a integração de CPS para melhorar a segurança no tráfego parece ser uma solução a ser avaliada. O controle de tais sistemas apresenta grandes desafios e requer abordagens provenientes de múltiplas áreas: sistemas de controle tradicional, sistemas de controle híbridos, sistemas discretos de eventos, controle de redes, e também abordagens provenientes da Ciência da Computação, como abstração e verificação, redes, e muitas outras áreas, dependendo das aplicações de interesse.

Este trabalho é apoiado pelo RLAM Innovation Center, Ericsson Telecomunicações S.A., Brasil

Segundo a National Science Foundation (NSF), avanços em sistemas ciberfísicos tem potencial de transformar o nosso mundo com sistemas que respondam de forma mais rápida, mais precisa, operando em ambientes perigosos ou inacessíveis, fornecendo coordenação distribuída em grande escala, altamente eficientes, aumentando as capacidades humanas e melhorando o bem-estar social[1]. A grande escala e heterogeneidade dos componentes em CPS introduzem grandes desafios de pesquisa em função da dinâmica dos sistemas envolvidos. Questões de robustez, resiliência e segurança devem ser abordadas, constituindo-se em novas áreas de investigação de grande importância. A integração de diferentes tecnologias e domínios científicos apresenta novos e desafiadores problemas fundamentais subjacentes aos fundamentos teóricos para esta classe de sistemas.

Lidando com esses desafios, são levantadas as seguintes questões: como construir CPS com um comportamento previsível trabalhando em rede, em tempo real e considerando diversos elementos? Como construir e gerenciar sistemas que devem atender altos índices de confiabilidade, segurança (tanto crítica quanto da informação) e serem dinamicamente configurados? Como organizar e assegurar interoperabilidade? Como evitar falhas em cascata? Como formular uma base probatória para sistemas confiáveis e seguros que leve a procedimentos de certificação técnica e financeiramente viáveis? É claro que a dependabilidade precisará ser avaliada e garantida regularmente, por causa das mudanças esperadas nos CPS.

II. OBJETIVOS

O projeto de pesquisa tem o objetivo de analisar a segurança crítica e a resiliência, mediante a técnica de Casos de Segurança (*Safety Cases*), em CPS no caso especifico de sistemas de transporte automotivo (*Automotive Cyber-Physical Systems*, ACPS), considerando a sua influência no nível superior de Sistema de Sistema (*Systems of Systems*, SoS), mais especificamente sobre o conceito de Sistemas de Transporte Inteligente (*Intelligent Transportation Systems*, ITS). O caso particular de veículos autônomos com Comunicação Veículo – Veículo (V2V) e Veículo – Infraestrutura (V2I) também será analisado, estudando as consequências da introdução de veículos autônomos no tráfego sobre a segurança crítica do sistema de transporte.

Para realizar esta análise, será desenvolvido um arcabouço baseado em modelagem e simulações computacionais em tempo acelerado e real, no qual serão considerados e testados: o projeto (MIL, *Model-In-the-Loop*) e suas interações (HIL, *Human-In-The-Loop*). Através deste ambiente, será possível analisar o impacto de conceitos, tecnologias e procedimentos (incluindo normas e regulamentos) relacionados com características de segurança e resiliência em Sistemas Ciberfísicos Automotivos.

O objetivo específico deste trabalho será a realização da avaliação da efetiva segurança do sistema em questão aplicando a técnica *Safety Cases*, mediante a qual será argumentada, com base em evidências, a efetiva segurança do sistema em questão.

[1] http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286

III. REVISÃO DA LITERATURA

A. CPS, ACPS

Desde 2006, o termo CPS vem sendo popularizado na comunidade técnica e científica. O número de publicações utilizando o termo CPS cresceu rapidamente na bibliografia especializada, de poucas publicações em 2006/2007 para milhares atualmente. Este aumento do número de publicações é o resultado de agendas de pesquisa e a priorização em CPS estabelecida nos níveis governamentais por vários países. O governo dos EUA tem colocado CPS no centro da agenda de pesquisa de engenharia desde 2007 [2], quando CPS foi estabelecida como a principal prioridade para investimentos federais em Redes e Tecnologia da Informação (NIT). Em 2009, a NSF criou um programa CPS para apoiar o desenvolvimento de um "sistema científico necessário para projetar sistemas ciberfísicos complexos, dos quais as pessoas possam interagir e depender" [3]. Na Europa, a Comissão Europeia (CE) tem apoiado muitos projetos de investigação e desenvolvimento de CPS, inclusive por meio do Programa para a Investigação e Inovação até 2020 (Horizon 2020)[4].

A implantação da tecnologia dos CPS na área automotiva tem como consequência direta o desenvolvimento de veículos autônomos, e a introdução desses veículos no mercado vai implicar novos desafios para a segurança. É fundamental definir requisitos de segurança que sejam completos e corretos [1]. Segundo [7]:

> *The mechatronic control systems that are typically implemented in vehicle application, such as engine control, speed control, transmission control, throttle control, and braking, typically involve multiple complex physical systems with dedicated embedded controllers that communicate with each other via a connected vehicle network. Moreover, Future vehicles, by communicating with other vehicles, roadside infrastructures, and personal communication devices, will adapt to the external regional environment and consequently avoid collisions and congestion. […] Automotive Cyber-Physical Systems (ACPS) confront increased requirements for safety-critical functionalities, such as electronic drive assist applications, X-by-wire systems, location based systems, as well as increased demand for non-critical functionalities, such as multimedia applications, Internet, and ad-hoc networking with other cars and stationary objects.*

Portanto, análises de segurança com foco em sistemas ciberfísicos automotivos precisam ser melhor desenvolvidas. Segundo [2]:

> *[…] modern comfort and active safety systems has to operate properly even in hardly foreseeable traffic situations. Thus, today's software engineering must be extended by approaches, which explicitly embrace simulation environments especially for sensor-based data.*

[2] https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-07-nitrd-review.pdf

[3] http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286

[4] https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/

B. Casos de Segurança (*Safety Cases*), Goal Structuring Notation (GSN)

Um Caso de Segurança (*Safety Case)* pode ser definido como um conjunto de **argumentos** estruturados, apoiados por **evidências**, que fornecem uma justificativa sólida, convincente e compreensível de que o sistema é seguro para uma determinada aplicação em um determinado ambiente operacional [5; 6]. Desta forma, os objetivos e, consequentemente, os **requisitos** de segurança do sistema podem ser atingidos mediante uma argumentação justificada em evidências.

Para tanto, o safety case pode ser entendido como um **conceito lógico** (respondendo à pergunta 'O sistema é aceitavelmente seguro? '), e da aplicação do mesmo gera-se um artefato físico, o ***Safety Case Report***, o qual pode incluir, entre outros documentos, os seguintes relatórios:

Descrição do sistema

Identificação e Análise de perigos

Estimação do Risco

Avaliação de Risco

Medidas de emergência e contingencia

A funcionalidade destes relatórios muda nas diferentes etapas do ciclo de vida do projeto:

Inicialmente, nas primeiras etapas do desenvolvimento, demostra que os requisitos de segurança foram corretamente compreendidos e que existe uma estratégia para gerenciar a segurança no restante do projeto.

Em seguida, no processo de validação e comissionamento, é utilizado para evidenciar que o sistema possa ser colocado em serviço de forma segura. Se ocorrer algum incidente durante a vida do sistema, o safety case deverá mostrar que um estado seguro pode ser alcançado.

Finalmente, o safety case poderá ser usado para realizar um descomissionamento/descarte seguro do sistema ao final de sua vida útil.

Existem diversos abordagens/ferramentas que podem ser utilizadas no processo de elaboração e manutenção de um Caso de Segurança. Nesta pesquisa, será utilizada a técnica ***Goal Structuring Notation*** **(GSN)**, a qual apresenta várias vantagens frente às outras, como *texto libre*, *matrizes de rastreabilidade* e *redes bayesianas* [3]. A GSN é uma representação gráfica da estrutura de um argumento de segurança, representando as relações entre os elementos individuais do argumento (requisitos, afirmações, evidências e contexto).

IV. MÉTODO

O método de pesquisa escolhido considera tanto o desenvolvimento do arcabouço como ferramenta para a análise de segurança como a realização da análise propriamente dita, a qual se apoiará no arcabouço para gerar as evidências de segurança em base das quais serão argumentados os *Safety Cases*. O mesmo consta dos seguintes passos:

A. *Definição dos elementos a serem modelados no arcabouço*

Identificação e especificação dos elementos lógicos e físicos, pertencentes aos RTS, ITS e ACPS, que irão compor o arcabouço.

B. *Criação do modelo conceitual de alto nível da especificação*

Definição dos atributos e funcionalidades associados a cada elemento do arcabouço, assim como as inter-relações entre eles.

C. *Implementação do modelo conceitual em um modelo computacional*

Desenvolvimento do arcabouço propriamente dito, mediante as ferramentas de simulação *open source* SUMO (simulador de tráfego em tempo acelerado), OMNet++ (simulador de redes baseado em eventos) e Veins (simulador de redes veiculares baseado nos dois anteriores).

D. *Desenvolvimento de cenários/casos de uso para a verificação dos Safety Cases*

Criação de cenários para a realização de análises seguindo as recomendações para argumentação mediante *Safety Cases*.

E. *Realização de experimentos nos cenários desenvolvidos e obtenção de evidências de segurança*

Serão comparados sistemas formados exclusivamente por veículos autônomos, sistemas de veículos convencionais e sistemas mistos, avaliando a influência da presença de tecnologia autônoma no arcabouço. Assim serão obtidas evidências que permitirão realizar uma argumentação para justificar a segurança do sistema.

F. *Análise dos resultados para obtenção de conclusões e recomendações*

Apresentação das conclusões e recomendações sobre o sistema analisado, em forma de *Safety Case Report*, que servirá como ferramenta para orientar o desenvolvimento de projetos na área dos veículos autônomos e ACPS em termos de segurança e resiliência.

V. RESULTADOS ESPERADOS

Apoiando-se no arcabouço proposto, será possível elaborar diretrizes para avaliar de forma efetiva a segurança de CPS automotivos tanto a nível operacional (e.g. segurança no tráfego a curto prazo) como a nível estratégico (e.g. políticas e regulamentos que melhorem a capacidade de resiliência do transporte rodoviário), na forma de um *Safety Case Report*. Avaliações das conclusões obtidas e recomendações em relação à segurança no tocante à utilização de veículos autônomos serão apresentadas, tanto na visão acadêmica quanto na aplicação prática na indústria.

A melhora da segurança em veículos autônomos minimizará o risco de colisão permitindo consequentemente a redução dos acidentes de tráfego. Ações resilientes devem ser consideradas de forma a garantir que as tecnologias autônomas nos veículos mitiguem erros humanos sem inserir novos erros que afetem a segurança.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao engenheiro Lucio F. Vismari pelas discussões e contribuições realizadas ao longo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] BERGENHEM, C. e. a. How to reach complete safety requirement refinement for autonomous vehicles. **CARS - Critical Automotive applications: Robustness Safety**, 2015. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01190734>.

[2] BERGER C.; RUMPE, B. Autonomous driving - 5 years after the urban challenge: The anticipatory vehicle as a cyber-physical system. **Proceedings of the INFORMATIK 2012**, n. September, p. 789–798, 2012.

[3] KELLY, T. P. Arguing Safety – A Systematic Approach to Managing Safety Cases. **Science**, n. September, p. 341, 1998.

[4] KHAITAN, S. K.; MCCALLEY, J. D. Design Techniques and Applications of Cyberphysical Systems: A Survey. **IEEE Systems Journal**, v. 9, n. 2, p. 350–365, 2015.

[5] MOD. Defence Standard 00-56 Safety Management Requirements for Defence Systems Part 1 Requirements. n. 4, 2007.

[6] U.K. Ministry Of Defense - An Introduction to System Safety Management in the MOD. **The Guide to System Safety Management in the MOD**, January, 2011.

[7] ZHANG, L. An integration approach to specify and model automotive cyber physical systems. **International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2013 - Proceedings**, p. 568–573, 2013.

Physics Game using Adaptivity with Felder-Silverman Learning Styles

Jogo de Física utilizando Adaptatividade com Estilos de Aprendizagem Felder-Silverman

PITUBA, J. L.; NAKAMURA, R.
Laboratório de Mídias Interativas – Escola Politécnica
Universidade de São Paulo
{jessicapituba, ricardonakamura}@usp.br

***Abstract*—Following a proposal of an adaptive game presented on a previous work, this article will present a game with basic physics concepts developed to test the adaptivity using Felder-Silverman Learning Styles.**

***Keywords*— games; serious games; game-based learning; learning styles.**

***Resumo*—Seguindo a proposta de jogo adaptativo apresentada em trabalho anterior, este trabalho apresentará um jogo com conceitos básicos de física desenvolvido para testar a adaptatividade utilizando os estilos de aprendizagem Felder-Silverman..**

***Palavras-chave*— jogos; jogos sérios; aprendizagem baseada em jogos; estilos de aprendizagem.**

I. INTRODUÇÃO

Em um trabalho anterior [1], foi apresentado brevemente o conceito de jogos adaptativos, com foco em jogos educacionais que utilizam adaptatividade, e também os estilos de aprendizagem Felder-Silverman [2], desenvolvido com base em estudantes de engenharia. Usando estes conceitos, foi proposto a criação de um jogo que abordasse o conteúdo básico de Física para o nível universitário com comportamento adaptativo e tendo como modelo para essa adaptação os estilos de Felder-Silverman.

Neste artigo, apresentamos o jogo desenvolvido a partir desta proposta e apresentamos um experimento que será realizado para validar a efetividade da sua adaptatividade, se está adaptando corretamente com o modelo utilizado, e também se a adaptatividade não é invasiva para a experiência do jogador, ou seja, se não está interferindo na diversão do jogador ao jogar.

II. O JOGO

A. Descrição Geral

O jogo cunhado de "Rampa Inclinada" foi desenvolvido em Unity 3D e seu cenário principal é uma rampa feita de determinados materiais em cada um dos níveis, um cubo de material neutro e uma plataforma colorida, logo ao final da rampa. O objetivo do jogo é alterar o grau de inclinação da rampa para que a caixa deslize até a plataforma e se estabilize na faixa, variando a pontuação de acordo com a cor. As condições que levam a falha dos níveis são quando o usuário atinge a faixa vermelha da plataforma ou a ultrapassa, quando ele falha em atingir a plataforma em um tempo estimado para o nível. O jogo possui 5 níveis, utilizando um material na rampa que traz um coeficiente de atrito diferente em cada, ambos informados no começo do nível para que o jogador possa utilizar as fórmulas tradicionais para calcular a velocidade da caixa, se assim desejar.

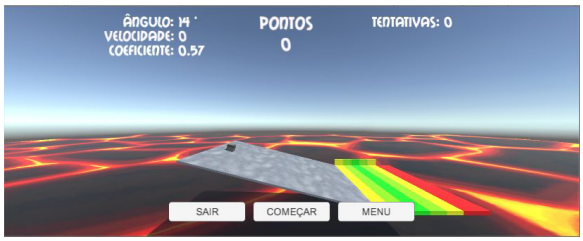


Figura 1 – Cena do Primeiro Nível do Jogo em visão isométrica.

Figura 2 – Cena apresentada ao completar o nível com sucesso.

B. Adaptatividade

A adaptatividade em jogos é implementada com 3 componentes: O modelo, o módulo de avaliação e o módulo de adaptação [3]. O modelo nada mais é que uma referência do ideal para a adaptação. No caso de jogos educativos, geralmente tratam-se de modelos baseados em teorias da aprendizagem, como os estilos de aprendizagem Felder-Silverman selecionados para esta pesquisa. No nível 1 do jogo, temos um ponto neutro que é usado como ponto de partida para que o algoritmo interno, módulo de avaliação responsável pela verificação da conformidade com o modelo, possa classificar o aluno em Ativo ou Reflexivo, eixo dos estilos de aprendizagem Felder-Silverman selecionado no trabalho anterior para esta pesquisa. Durante o jogo, as interações do jogador com os objetos do jogo serão gravadas e avaliadas como um dos perfis;

Segundo Felder em seu trabalho original [2], estudantes ativos aprendem através de experimentação e ação contínua. Serão classificados neste perfil os jogadores que fizerem um grande número de tentativas em um curto espaço de tempo para chegar a solução final.

Os estudantes reflexivos são solitários e preferem refletir sobre o problema antes de tentar resolvê-lo. Serão classificados neste perfil os jogadores que tiverem um tempo maior de inatividade entre as tentativas e necessitarem de menos tentativas para chegar a solução.

C. Cenários Adaptativos

A partir da detecção do perfil, o módulo de adaptação irá alterar algumas regras do jogo para dar vantagem ou desvantagem para cada estilo, dependendo da quantidade de pontos conseguidos até o nível em que o jogador foi detectado.

Para os jogadores ativos, o jogo irá apresentar a vantagem de salvar o grau de inclinação utilizado na tentativa anterior, para facilitar a experimentação com diferentes inclinações próximas a uma que já conseguiu mover a caixa. E a sua desvantagem será a limitação de tentativas para estimular que ele pense um pouco mais antes de realizar uma tentativa se quiser ganhar uma pontuação melhor.

Jogadores reflexivos irão contar com uma tabela com as fórmulas de cálculo de atrito, assim como vetores mostrando a aplicação das forças sobre a caixa, durante o movimento do jogo. Para dificultar, o tempo entre cada tentativa será limitado por um contador de tempo e, quanto mais rápida a ação, maior será a sua pontuação.

III. PROPOSTA DE EXPERIMENTO

Utilizando o jogo descrito neste trabalho, é proposto um experimento com uma sessão de jogo com alunos do primeiro ano do curso superior de Engenharia, que são o publico-alvo do jogo desenvolvido, precedida por um teste para avaliar o seu estilo de aprendizagem e finalizada com um teste que avalie sua experiência com o jogo.

Para o pré-teste, será utilizado a ferramenta oficial dos estilos de aprendizado Felder-Silverman desenvolvida pelo próprio Felder e cunhada *Index of Learning Styles* [4] (Índice de Estilos de Aprendizado em Tradução Livre). O resultado deste pré-teste será gravado e apenas será computado após o experimento, junto com o resto dos dados coletados pelo aluno.

A sessão de jogo teria entre 15 e 20 minutos, o suficiente para que o jogador pudesse experimentar mais do que 3 níveis de jogo, para coletar mais informações sobre a sua interação e também haver uma chance maior que ele tenha sido influenciado pela adaptação. Durante a sessão, logs de interação serão gravados, juntamente com marcos onde o computador realizou adaptações para facilitar a identificação de onde ela ocorreu.

O pós-teste será o questionário de EGameFlow [5], utilizado para avaliar a experiência de jogos educativos de forma quantitativa. Este poderá ser computado separado dos outros dados, pois o objetivo é avaliar a qualidade do jogo, que pode ser afetada pela adaptação se esta for invasiva.

CONCLUSÃO

Foi apresentado neste trabalho um jogo de física que incorpora uma forma simples de adaptatividade de acordo com o perfil de usuário. O jogo está mapeado, dentro de suas possibilidades de interação, para cada um do estilos recortados para esta pesquisa, porém, é necessário validar o jogo junto ao seu público alvo para verificar o funcionamento da adaptatividade e se a mesma está atingindo seu resultado esperado.

[1] PITUBA, J.L. e NAKAMURA, R. Jogo Educativo adaptado com Estilos de Aprendizagem. IV Workshop de Pós Graduação em Engenharia da Computação, 2015, pp 88

[2] Felder, R.K. and Silverman, L.K. Learning and Teaching Styles in Engineering Education Engineering Education, Vol. 78, No. 7. (1988), pp. 674-681

[3] PITUBA, J. L.. Adaptatividade em jogos (resumo). Em: Memórias do X Workshop de Tecnologia Adaptativa - WTA 2016. EPUSP, São Paulo. ISBN: 978-85-86686-86-3, p. 6. 28 e 29 de Janeiro, 2016.

[4] Felder, R.M., and Soloman, B.A. Index of Learning Styles. Disponível em: <http://www.ncsu.edu/felder-public/ILSpage.html> Acesso em: 13 de setembro de 2015.

[5] FU, Fong-Ling; SU, Rong-Chang; YU, Sheng-Chin. EGameFlow: A scale to measure learners' enjoyment of e-learning games. Computers & Education, v. 52, n. 1, p. 101-112, 2009.

Hazard Analysis of the Autonomous Vehicle Control System

Análise de Perigos do Sistema de Controle Veicular Autônomo

TANCREDI MOLINA, C. B. S.; De ALMEIDA JR, J. R.
Grupo de Análise de Segurança - Universidade de São Paulo
jorgerady@usp.br, carolinebstmolina@gmail.com

***Abstract*— With the development of technology, vehicles are becoming more automated in order to ensure a better user experience - in terms of comfort and security. The vehicle that was previously developed only from a purely physical system based on the laws of mechanics and chemistry begins to have incorporated in it a more sophisticated system called Cyber Physical System (CPS). This is a system in which computing systems, network and physical are strongly related, in other words, in the context, the CPS incorporates electronic components and control systems to improve performance and safety of the automobile. Thus, there are challenging areas as reliability, security, and safety, especially when talking about autonomous vehicles in which are present the Automotive Cyber Physical System (ACPS). There is much speculation about the impact of autonomous vehicles. Thus, it was realized that they could bring benefits to people - reduction of accidents, reduction in greenhouse gas emissions, cost reduction, among others. However, there are other aspects that need to be better studied and analyzed, for example, the resilience, safety, and security, of the system. In the face of these new challenges, this study intends to use a causality model called STAMP (Systems-Theoretic Accident Modeling and Processes) to study the autonomous vehicle control system, which will control the operation of an autonomous car.**

***Keywords*— Cyber Physical System (CPS); Automotive Cyber Physical System (ACPS); Autonomous Vehicle; Autonomous Vehicle Control System; STAMP.**

***Resumo*— Com o avanço da tecnologia, os veículos estão ficando cada vez mais automatizados a fim de garantir uma melhor experiência ao usuário - tanto a nível de conforto quanto de segurança. O veículo, que antes era desenvolvido apenas a partir de um sistema puramente físico com base nas leis da mecânica e da química, começa a ter incorporado à ele um sistema mais sofisticado denominado Sistema Ciberfísico (em inglês CPS - *Cyber Physical System*). Neste, os sistemas de computação, de rede e físico se relacionam fortemente. No contexto em questão, o CPS incorpora componentes eletrônicos e sistemas de controle para melhorar o desempenho e a segurança dos automóveis. Desta forma, surgem desafios quanto a segurança (*security* e *safety*) dos mesmos, principalmente ao se falar em veículos autônomos, no qual está presente o Sistema Ciberfísico Automotivo (em inglês ACPS - *Automotive Cyber Physical System*). Há muita especulação a respeito da repercussão dos veículos autônomos. Assim, percebeu-se que os mesmos podem trazer benefícios às pessoas - redução de acidentes, redução na emissão de gases poluentes, redução de custos, entre outros. Porém, existem outros aspectos que precisam ser melhor analisados e estudados, por exemplo, como assegurar a segurança (*security* e *safety*) desses sistemas. Em face destes novos desafios, esse trabalho pretende utilizar um modelo de causalidade denominado STAMP (em inglês *Systems-Theoretic Accident Modeling and Processes*) para estudar o sistema de controle veicular autônomo, o qual vai controlar o funcionamento de um carro autônomo.**

***Palavras-chave*— Sistema Ciberfísico; Sistema Ciberfísico Automotivo; Veículo Autônomo; Sistema de Controle Veicular Autônomo; STAMP.**

I. INTRODUÇÃO

O sistema de transporte é fundamental na vida humana. Atuando no transporte de pessoas e bens entre lugares, ele suporta todas as atividades humanas essenciais, desde as necessidades básicas (por exemplo, alimentação, emergências hospitalares), passando por atividades econômicas (troca de equipamentos e bens) até bem-estar (por exemplo, o turismo, as relação sociais). Por outro lado, ele pode causar danos à vida humana e ao meio ambiente em que se encontra caso não esteja funcionando da maneira adequada. A fim de minimizar estes danos e até mesmo de resolver problemas relacionados, principalmente, ao tráfego e a acidentes surgiu o conceito de Sistema de Transporte Inteligente (em inglês, ITS - *Intelligent Transport System*).

O ITS é um sistema que integra tecnologias relacionadas a telecomunicações, a sistemas eletrônicos e a sistemas de informação com a engenharia de transportes, a fim de planejar, projetar, operar, manter e gerir os sistemas de transporte. Neste contexto estão presentes algumas aplicações dos Sistemas Ciberfísicos (em inglês, CPS - *Cyber Physical Systems*). Dentre estas aplicações, existem as que se encontram voltadas a Sistemas de Transporte Rodoviários, as quais são aplicações

Este trabalho é apoiado pelo Region Latin America Innovation Center, Ericsson Telecomunicações S.A., Brasil.

do Sistema Ciberfísico Automotivo (em inglês, ACPS - *Automotive Cyber Physical System*).

Devido ao crescente avanço tecnológico muitos módulos desses sistemas vêm sendo desenvolvidos. Assim, o ACPS e o ITS estão se aprimorando cada vez mais, uma vez que as tecnologias relacionadas a sensores, à localização, à comunicação e ao processamento de dados são cada vez mais capazes de compartilhar e transmitir informações entre sistemas.

Dentre os diversos módulos que já estão sendo estudados pelo ITS encontra-se a transmissão segura de informação, a manutenção de rotas de acordo com as condições reais de tráfego, as técnicas para evitar colisão e a direção autônoma (QU; WANG; YANG, 2010). Estes módulos estão relacionados ao foco deste trabalho, principalmente a direção autônoma.

Portanto, este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um *Framework* para análise de segurança crítica (*safety*) e de resiliência dos futuros Sistemas Ciberfísicos Automotivos críticos, os quais estarão presentes em veículos autônomos. ACPS podem ser definidos como Sistemas Ciberfísicos aplicados à área automobilística; o conceito de ACPS será melhor explicado no decorrer do trabalho.

Modelar e analisar Sistemas Ciberfísicos Automotivos presentes em um Sistema de Transporte Inteligente, no qual se tem um alto grau de automação, não é simples. Assim, o objetivo específico deste trabalho é aplicar um modelo de causalidade denominado STAMP (*Systems-Theoretic Accident Modeling and Processes*), especificamente uma de suas ferramentas para segurança crítica de sistemas denominada STPA (*System-Theoretic Process Analysis*) que é uma técnica de análise de risco, para analisar o sistema de controle veicular autônomo de um veículo autônomo em um determinado cenário, inserido no contexto do ITS.

II. Revisão Bibliográfica

A. Conceitos: ITS, CPS e ACPS

De acordo com Lee and Seshia[2] (2015), o termo CPS foi criado por volta de 2006 pela Dr. Helen Gill[3] na Fundação Nacional de Ciência dos Estados Unidos da América (NSF - *National Science Foundation*). Este termo refere-se à integração de elementos computacionais e processos físicos. Vale ressaltar que estudos sobre o CPS já vêm sendo feitos desde bem antes de 2006.

A definição que melhor se encaixa na utilizada neste trabalho é a de KHAITAN and MCCALLEY (2015), a qual define o CPS como

> *[...]the systems that offer integrations of computation, networking, and physical processes or, in other words, as the systems where **physical** and **software** components are deeply intertwined, each operating on different **spatial** and **temporal scales**, exhibiting **multiple** and **distinct behavioral modalities**, and interacting with each other in a myriad of ways that **change** with context.*

Analisando a definição apresentada acima, pode-se concluir que o CPS controla um determinado processo físico utilizando elementos computacionais (por exemplo, sensores). Assim, ele analisa as informações obtidas no meio externo (processo físico) e gera uma resposta de controle esperada. Isto pode ser observado na Figura 1.

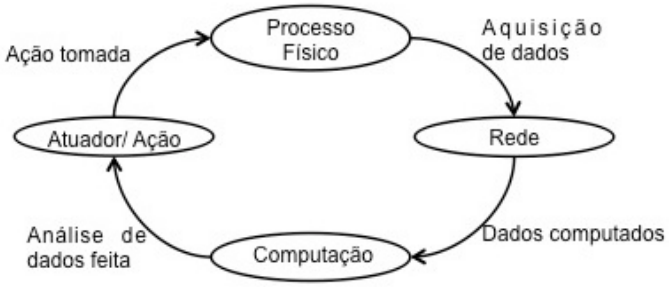


Figura 1 - Fluxo Geral do CPS
Fonte: WANG, E. K.; YIU S. M. Security Issues and Challenges.

O conceito e as aplicações de CPS foram tão bem aceitos no meio científico e acadêmico que surgiram pesquisas de como aplicá-los para melhorar o sistema de transporte. Assim, uma das linhas de pesquisa da área está relacionada aos Sistemas Ciberfísicos Automotivos, inseridos no contexto de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS).

O desenvolvimento do ITS tem sido significativo desde os anos de 1990. Nesse período, as discussões sobre o assunto foram focadas principalmente nos EUA, na Europa Ocidental e no Japão. Estas discussões foram motivadas pelos problemas de transporte que enfrentavam, os quais eram em sua maioria relacionados ao tráfego e a problemas de segurança (Sussman, 2005).

De acordo com ZHANG (2013), ACPS pode ser definido como

> *[...] the system in the vehicle or connected vehicle is a typical cyber physical system, which is called the **Automotive Cyber-Physical System (ACPS)**. The mechatronic control systems that are typically implemented in vehicle application, such as engine control, speed control, transmission control, throttle control, and braking, typically involve multiple complex physical systems with dedicated embedded controllers that communicate with each other via a connected vehicle network. **Moreover, Future vehicles, [...], will adapt to the external regional environment and consequently avoid collisions and congestion** [...]*

B. STAMP

'Systems-Theoretic Accident Modeling and Processes' é um modelo de causalidade baseado nos conceitos básicos de teoria de sistemas. Tem como objetivo auxiliar na compreensão do porquê os acidentes ocorrem e, assim, usar esse conhecimento para criar novas e melhores formas de prevenir perdas.

[2] Professores e pesquisadores em sistemas embarcados na UC-Berkeley (EESC).
[3] http://cps-vo.org/node/3966

O STAMP possui três conceitos básicos: restrições de segurança, estrutura hierárquica de controle de segurança e modelo de processo. Assim, os sistemas analisados são vistos como componentes inter-relacionados que são mantidos em um estado de equilíbrio dinâmico por laços de realimentação de informação e controle. Assim, o sistema deve continuar a funcionar de forma segura mesmo que haja alteração e adaptação do sistema ao longo do tempo (LEVESSON, 2011).

Segurança crítica e resiliência neste modelo são tratadas como problemas de controle. Desta forma, os acidentes ocorrem quando há falhas de componentes, perturbações externas e/ou interações disfuncionais entre os componentes do sistema não são adequadamente tratadas.

Por fim, vale ressaltar que o STAMP possui várias técnicas e ferramentas que podem ser aplicadas para segurança crítica de sistemas. Uma delas é STPA (*Systems-Theoretic Process Analysis*), a qual é uma técnica de análise de perigos e consiste em:

- Identificar acidentes e perigos;
- Construir a estrutura do sistema de controle;
- Identificar as ações de controle inseguros;
- Identificar os fatores causais e as falhas de controle relacionadas com as ações de controle de risco.

O STPA pode ser utilizado em qualquer estágio do ciclo de vida de um sistema. Assim, dependendo de quando for utilizado, pode providenciar a informação necessária para garantir que as restrições de segurança do sistema sejam mantidas em todas as demais etapas (design, desenvolvimento, etc.) desse sistema (LEVESSON, 2011). Portanto o STPA será utilizado para analisar o sistema veicular de controle automático presente em carros autônomos.

III. Desenvolvimento do Trabalho

Até o momento foram identificados os elementos que vão fazer parte do *Framework* (objetivo geral), assim como as interações entre eles e os dados que são trocados. Desta forma, a metodologia ainda não foi aplicada ao sistema veicular de controle autônomo presente no carro autônomo. No entanto, esta primeira etapa foi de extrema importância uma vez que os elementos que fazem parte do *Framework* poderão estar presentes no módulo de controle autônomo do veículo autônomo, o qual representa o sistema veicular de controle autônomo. Desta forma, a partir da interação desses elementos é possível compreender o funcionamento adequado do sistema de controle autônomo (com relação a troca de informações) e estruturá-lo para que, posteriormente, o STPA seja aplicado (objetivo específico).

Assim, para que a metodologia seja aplicada é necessário, a princípio:

- Levantar as funções individuais de cada um dos componentes do sistema de controle autônomo.
- Mapear as interfaces e a troca de informação entre os componentes.

Como dito anteriormente, as etapas apresentadas acima já começaram a ser desenvolvidas. Assim, a interação básica necessária entre os elementos do sistema em questão já foram mapeadas, porém precisam ser refinadas antes que a análise seja feita.

A partir das etapas apresentadas será possível gerar uma estrutura hierárquica de controle de segurança para o sistema de controle autônomo do veículo. Desta forma, essa estrutura representará a interação entre a proteção automática do veículo que faz com que o mesmo se movimente de forma segura e a operação automática do veículo que informa o plano de navegação ao mesmo. O foco deste trabalho é analisar principalmente a proteção automática do veículo, ou seja, como o veículo deve responder à eventuais perigos de forma segura.

Desta forma, a análise poderá ser iniciada e espera-se que ao final seja possível avaliar as restricões de segurança que já existem neste sistema afim de aprimorá-las e, se necessário, propor novas restrições de segurança para que o sistema veicular de controle autônomo dos futuros carros autônomos funcionem de forma segura.

Acknowledgment

Agradecemos a Ericsson Telecomunicações S.A. e ao engenheiro Lucio F. Vismari pelas discussões e contribuições realizadas ao longo deste trabalho.

Referências

KHAITAN; KUMAR S.; MCCALLEY, J. D. Design Techniques and Applications of Cyberphysical Systems: A Survey. IEEE Systems Journal, 2015.
doi: 10.1109/JSYST.2014.2322503.

LEVESSON, N. G. Engineering a Safer World. Published 2011, ISBN: 978-0-262-01662-9.

QU, F.; WANG, F. Y.; YANG, L. Intelligent Transportation Spaces: Vehicles, Traffic, Communications, and Beyond. IEEE Communications Magazine, v. 48, n. 11, p. 136–142, 2010.

SUSSMAN, J. Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS). Published 2005, ISBN: 0-387-23257-5.

WANG, E. K.; YE, Y.; XU, X.; YIU, S. M.; HUI, L. C. K.; CHOW, K. P. Security Issues and Challenges for Cyber Physical System. 2010 IEEE/ACM International Conference on Green Computing and Communications & 2010 IEEE/ACM International Conference on Cyber, Physical and Social Computing.

ZHANG, L. An integration approach to specify and model automotive cyber physical systems. 2013 International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2013 - Proceedings, p. 568–573, 2013.

A study of the applicability of data sanitization techniques in a cloud computing environment

Fernando Vilgino Sbampato*; Tereza Cristina Melo de Brito Carvalho*
*Laboratory of Computer Networks and Architecture (LARC)- Escola Politécnica, University of São Paulo
E-mail: {fsbampato,terezacarvalho}@usp.br

***Abstract*—One of the open challenges in cloud computing environments is related to data sanitization when users want remove its data from the cloud. There are two ways to performing the data sanitization procedure in a hard drive. The first one is to use physical techniques aimed at the completely destruction of the hard disk. The second one is the use of logical techniques to performing data sanitization on the hard disk, allowing it to be used again. The use of logical techniques is the most appropriate procedure in cloud computing environments, due to the possibility of reuse of the hard disk driver, since the hard disk drive in the cloud is shared with mores users which prevent their removal. This study of the applicability of data sanitization techniques in a cloud computing environment is to assess whether these logical techniques applied to hard disks can be used on cloud computing environments, so that the volumes that were will undergo data sanitization technique makes data recovery infeasible. Finally, a validation of the study will be performed by implementing the data sanitization technique that was more suited to the cloud computing environment framework to provide cloud security services.**

***Keywords*— Cloud computing, data sanitization, data sanitization techniques.**

***Resumo*— Um dos desafios que está em aberto no ambiente de computação em nuvem é o desafio da sanitização de dados dos usuários quando eles desejam remover seus dados que estão armazenados nos discos rígidos deste ambiente. Há duas formas de realizar o procedimento de sanitização de dados em discos rígidos. Uma é a utilização de técnicas físicas que visa à destruição do disco rígido por completo. A segunda é a utilizaç˜ao de técnicas lógicas que visam realizar a sanitização dos dados que estão armazenados no disco rígido, permitindo que este seja utilizado novamente. Em um ambiente de computação em nuvem o uso de técnicas lógicas é o procedimento mais adequado a ser utilizado, devido à possibilidade de reutilização do mesmo, sendo que neste ambiente os discos rígidos são compartilhados pelos consumidores, o que impede sua remoção definitiva. A proposta deste estudo é avaliar se estas técnicas lógicas aplicadas em discos rígidos podem ser utilizadas em um ambiente de computaço em nuvem, de forma que os volumes utilizados para armazenar dados que foram submetidos á técnica de sanitização torne a recuperaço dos dados inviável. Por fim, será realizado uma prova de conceito do estudo realizado neste trabalho por meio da implementação da técnica de sanitização de dados que foi utilizada no teste prático no ambiente de computação em nuvem, por meio de um arcabouço destinado a oferecer serviços de segurança em nuvem.**

***Palavras-chave*— Computação em nuvem; sanitização de dados, técnicas de sanitização de dados.**

I. Introdução

O paradigma de computação em nuvem apresenta características como: escalabilidade, elasticidade, amplo acesso à rede, um grande conjunto de recursos e serviços mensuráveis [1], possibilitando o melhor aproveitamento dos recursos alocados [2], permitindo compor diferentes implementações, facilitando a integração entre aplicações e serviços oferecidos por meio de interfaces transparentes para os usuários [3], permitindo que os consumidores possam reduzir gastos relacionados à área da tecnologia da informação, aumentado dessa forma seu desempenho e sua lucratividade [4] possibilitando novas oportunidades de negócios entre provedores e consumidores de nuvem [5], [6].

Apesar destas vantagens, há desafios em aberto neste ambiente que impedem sua maior adesão por parte dos interessados [7]. Como exemplo, no âmbito das questões legais, há desafios de conformidade em relação á perda de controle sobre os dados armazenados [8]. Na área de governança dos dados, há desafios em relação aos privilégios que o provedor possui sobre os dados dos consumidores [9]. Na área de virtualização são citados os desafios relacionados a falhas de segurança nos monitores de máquinas virtuais [10].

No contexto da segurança dos dados no ambiente da nuvem, um dos desafios em aberto é a sanitização dos dados dos consumidores na nuvem [11], [12], [13], [14]. Sanitização de dados significa a total remoção dos dados de uma mídia, por exemplo, um disco rígido, garantindo que as dados que foram removidos desta mídia não sejam mais recuperáveis após uma tentativa de ataque que vise á restauração destes dados [15],

O restante deste trabalho segue da seguinte forma, sessão II apresenta a motivação e o contexto do problema, sessão III, apresenta os trabalhos relacionados, sessão IV apresenta a proposta do trabalho e a sessão V apresenta a conclusão e os próximos passos.

II. Motivação e contexto do problema

Segundo [16] todos os dados contém um ciclo de vida que é composto de sete fases. A primeira fase é a de criação dos dados, a segunda é a de transferłncia destes dados que deve ocorrer de acordo com a politica de segurança *(Service Level Agreement - SLA)* estabelecida pelos envolvidos. A terceira fase é a do seu uso, onde são estabelecidos quais são os privilégios necessários para que os usuários tenham acesso a estes dados, na quarta fase, os dados são compartilhados com todos os envolvidos, na quinta fase, é definido como será armazenado estes dados. Na sexta fase os dados são arquivados para possíveis consulta, na sétima e última fase é onde ocorre

a sanitização dos dados, pois nesta fase o consumidor deseja que seus dados sejam removidos do ambiente da nuvem.

Porém, os procedimentos utilizados pelos provedores para realizar a sanitização de dados na nuvem está afetando a confiabilidade dos consumidores [17], [18], devido ao fato que estudos apontam que é possível a recuperação dos dados após a aplicação dos procedimentos de sanitização de dados realizados pela nuvem [19].

Como no estudo apresentado por [20] que analisou a segurança da *Amazon Elastic Compute Cloud - EC2* onde 98% dos dados removidos das AMIs (Amazon Machine Image) puderam ser recuperados. Uma abordagem para realizar a sanitização de dados no ambiente de computação em nuvem é a utilização de técnicas lógicas de sanitização de dados.

Estas técnicas são utilizadas para sanitizar dados armazenados em discos rígidos, sendo seu objetivo sobrescrever os dados originais tornando os dados resultantes da operação o mais diferente possível dos dados originais. Um exemplo deste tipo de técnica de sanitização de dados é a técnica DoD 5220.20.22-M do departamento de defesa americano [21], utilizada pelo serviço da Amazon Web Services da Amazon nos discos rígidos utilizados pelos serviços de armazenamento de dados disponíveis aos consumidores [22]. Porém, a Amazon realizar este procedimento de sanitização nos dados quando o disco rígido utilizado por ela chega ao final da vida útil, ou seja, quando ele será removido do ambiente da nuvem e não será mais usado.

O objetivo deste estudo é verificar a aplicabilidade destas técnicas lógicas de sanitização de dados para o ambiente de computação em nuvem enquanto o disco rígido ainda esta em uso pelo ambiente da nuvem. Sendo que neste ambiente o consumidor compartilhar o mesmo disco rígido com mais usuários para armazenar seus dados [23], [24] o que impede sua remoção definitica. Sendo assim, é necessário que a sanitização dos dados ocorra enquanto o disco rígido está em operação no ambiente da nuvem e no volume/espaço reservado ao consumidor para armazenar seus dados dentro do disco rígido [25].

III. Trabalhos relacionados

Alguns trabalhos propõem soluções para o desafio de sanitização de dados na nuvem. O trabalho [26], apresenta uma arquitetura para fornecer privacidade dos dados em nuvens híbridas. Os autores utilizam o modelo de nuvem privada e de nuvem pública. Na nuvem privada ocorre o processo de sanitização de dados, removendo os dados que são considerados dados confidênciais. Porém, a sanitização não ocorre na nuvem pública, o que pode causar perdas de dados se algum tipo de dados não autorizado foi transmitido para nuvem pública. Outro fator contrário a esta abordagem é que somente usuários dos dois modelos de nuvem (Privada/Pública) podem realizar a sanitização dos dados, os consumidores de nuvem pública somente não poderiam realizar a sanitização dos seus dados. Entretanto, o fator mais agravante é que apenas a separação dos dados entre os modelos de nuvem, não que dizer que ocorre a sanitização de dados no ambiente de computação em nuvem, sendo que se um atacante obtiver sucesso em uma tentativa de ataque ele tem acesso aos dados dos consumidores.

O trabalho [19], apresentou uma arquitetura destinada a fazer a sanitização dos dados por meio de uma arquitetura. Todavia a arquitetura apresentada não detalhas os procedimentos utilizados para realizar a sanitização de dados nos discos rígidos. Os prórios autores relataram que a parte de detalhamento de como é feita a sanitização dos dados está em desenvolvimento e nenhum teste foi realizado para verificar se os dados podem ser recuperados da mídia onde os dados foram armazenados, sendo que aparentemente este trabalho não teve continuidade, pois não foi encontrado na literatura mais informações sobre ele.

IV. Proposta de pesquisa

É necessário que para o processo de sanitização ocorra com sucesso na nuvem seja considerado o disco rígido que armazena os dados efetivamente. Se a sanitização não ocorrer neste dispositivo corretamente é possível que pessoas não autorizadas possam ter acesso aos dados após alguma tentativa de ataque ao ambiente de computação em nuvem que obtenha sucesso [27]. Isso ocorre pelo que em uma simples remoção dos dados de um disco rígido, o espaço onde os dados estavam gravados no disco rígido é marcado como disponível na tabela de alocação de arquivos para gravação de novos dados. Os dados antigos permanecem armazenados nos discos rígidos, até que a área reservada aos dados antigos seja regravada com novos dados. Porém, durante este espaço de tempo que não ocorre esta regravação de novos dados é possível que os dados antigos possam ser recuperados [28], [8].

Outro fator que contribui para que a sanitização dos dados nos discos rígidos utilizados pelo ambiente da nuvem ocorra, é que mesmo com o uso da criptografia para cifrar os dados é necessário que eles sejam sanitizados no ambiente da nuvem, para que não haja qualquer vestígio destes dados nos discos rígidos utilizados para armazenar estes dados [29], [30], [31]

O principal objetivo de deste trabalho é validar o uso de técnicas lógicas de sanitização de dados dos consumidores para o ambiente da nuvem. Para verificar se é possível a recuperação dos dados armazenados dentro do volume/espaço utilizado pelos consumidores após a aplicação de uma técnica de sanitização de dados, será realizado uma avaliação e um teste experimental. A avaliação pretende analisar o quão eficientes são as oito técnicas de sanitização de dados (Gutmann, VSITR, RCMP TSSIT OPS-II, CSEC ITSG-06, DOD 5220.22-M, AR 380-19, GOST R 50739-95, ISM 6.9.92) relacionadas neste trabalho para sanitizar os dados. O Segundo teste físico vai verificar a possibilidade de recuperação dos dados que foram sanitizados com a técnica que se apresentou mais apta na avaliação. O objetivo de realizar esta avaliação e o teste experimental é verificar entre as oito técnicas lógicas de sanitização de dados pesquisadas qual é a que realiza a sanitização de dados de maneia mais eficaz, ou seja, a técnica que remove os dados com mais êxito. Também será apresentada a infraestrutura de nuvem selecionada para a

aplicação da técnica de sanitização de dados, bem como o arcabouço que será utilizado para realizar a prova se conceito.

A. Avaliação

O principal objetivo da avaliação proposta é classificar entre as oito técnicas lógicas de sanitização de dados selecionadas qual é a técnica que sanitizar os dados com mais eficiência, ou seja, a técnica que sobrescreve os dados permitindo que a relação de proximidade com os dados originais seja a mais distante possível. Para realizar esta verificação será utilizada a métricas da Distância de Hamming [32] e segunda a Distncia de Jaro-Winker [33]. A Distância de Hamming permite verificar o número de posições que uma string A se diferem de uma string A´ sendo ambas as strings do mesmo tamanho em relação ao número de elementos que as compõem.

Durante a pesquisa para verificar qual seria a métrica mais adequada para a avaliação foram relacionadas mais métricas como, a distância de Levenshtein [34], a distância de Jaro Winkler [35], a distância de Monge Elkan [36], coeficiente de Dices [37] e similaridade de Jaccard [38] utilizadas para recuperação de dados, porém, estas métricas são, normalmente sã utilizadas para string não binárias (string de caracteres). Como o alvo deste trabalho é avaliar strings binárias, essas métricas não foram selecionadas para a avaliação.

Para está avaliação serão criados nove volumes. Nestes nove volumes serão armazenados dados conhecidos. Em um volume não será aplicada nenhuma técnica de sanitização de dados, nos outros oito volumes serão aplicadas as oito técnicas de sanitização de dados selecionadas. Sendo que para cada volume será aplicado uma técnica diferente. A sanitização ocorrerá de forma parcial, ou seja, só no espaço/volume reservado dentro do disco rgido. O objetivo é realizar a sanitizaçãao dentro do espaço/volume como se o processo estive-se ocorrendo no ambiente da nuvem. Após o teste lógico será selecionada a técnica que se apresentou mais apta a sanitizar os dados originais para o teste físico.

B. Teste físico

O teste físico consiste em verificar experimentalmente se é possível á recuperação dos dados nos atuais discos rígidos utilizados no ambiente de computação em nuvem que foram submetidos ás técnicas de sanitização de dados. Para verificar esta possibilidade será utilizada a técnica de microscopia de força magnética [39]. A técnica permite analisar a estabilidade de padrões de bits em mídias de alta densidade, como as utilizadas nos discos rígidos [40]. O trabalho [41] apresentou um estudo que recuperou dados armazenados em disco rígido por meio desta técnica. Porém, desde 1993, data que foi realizado o experimento, os discos rígidos evoluíram drasticamente em capacidade de armazenamento alterando suas propriedades. Por exemplo, desta alteração é citado á densidade dos setores que aumentou consideravelmente [42], ou seja, a região de gravação esta cada vez menor o que pode interferir na leitura do campo magnético do disco rígido. Junto com este aumentou da densidade outro fato que deve ser considerado é que os sinais eletromagnéticos são menores, ou seja, a gravação dos bits ocorre de maneira mais superficial do que nos antigos discos rígidos, impedindo assim que os dados sejam recuperados [43].

A técnica de microscopia de força magnética é aplicada sobre o disco rígido por meio do Microscópio MultiMode 8 [44]. Para a realização do teste físico primeiro serão adquiridos quatro discos rígidos novos. No primeiro disco rígido será realizada uma formatação de baixo nível (escrever zeros em todo o disco rígido). O objetivo é verificar como é o padrão da superficie do disco rígido quando armazenar o valor 0. No segundo disco rígido serão gravado o valor 1 em todo o disco rígido. O objetivo é verificar o padrão de gravação do valor 1 no disco rígido. No terceiro disco rígido serão gravados dados conhecidos e será feito um backup dos dados que foram armazenados. O objetivo é ter uma imagem dos dados que foram gravados no disco rígido bem como o padrão de gravação deste dados. No quarto disco rígido serão gravados os mesmos dados que foram gravados no terceiro disco rígido, e será aplicada a técnica de sanitização de dados selecionada no teste lógico. Com as imagens geradas pelo microscópio MultiMode 8 será possível verificar a possibilidade de restauração dos dados que foram gravados no disco rígido e submetido á técnica de sanitização de dados.

C. Infraestrutura de nuvem selecionada

A infraestrutura de nuvem OpenStack [45] foi a selecionada para a realização da prova de conceito. O OpenStack é um conjunto de serviços de código aberto destinados á implementação de nuvens públicas, permitindo o provedor configura e administra máquinas virtuais, armazenamento e redes, sendo destinada a fornece o serviço de Infraestrutura como Serviço. Tendo sua primeira versão com codinome Austin, lançada em outubro de 2010. Sua última versão é a Liberty, lançada em outubro de 2015. A versão utilizada nesta pesquisa é a Kilo que foi lançda em Julho de 2015.

D. Arcabouço utilizado para a prova de conceito

Para a etapa de prova de conceito será utilizado o arcabouço apresentado no trabalho [14]. O arcabouço é composto de uma parte *front-end* e uma parte *back-end*. A Figura 1 apresenta os componentes deste arcabouço.

V. Conclusão e próximas tarefas

É notório que a sanitização de dados é um desafio que esta em aberto no paradigma da computação em nuvem e necessita que solucões sejam apresentadas. O objetivo deste trabalho é avaliar o uso ténicas de sanitização de dados utilizadas em disco rígido para sanitizar dados que estão no ambiente da nuvem e evidenciar que estes dados foram sanitizados, por meio, de uma prova de conceito que será realizado em um ambiente real de computação em nuvem.

Como próximas tarefas é elencado a realização da avaliação e do teste experimental, após será realizado a implementação do mescanismo no arcabouço proposto para a prova de conceito desta pesquisa e a análise dos resultados obtidos.

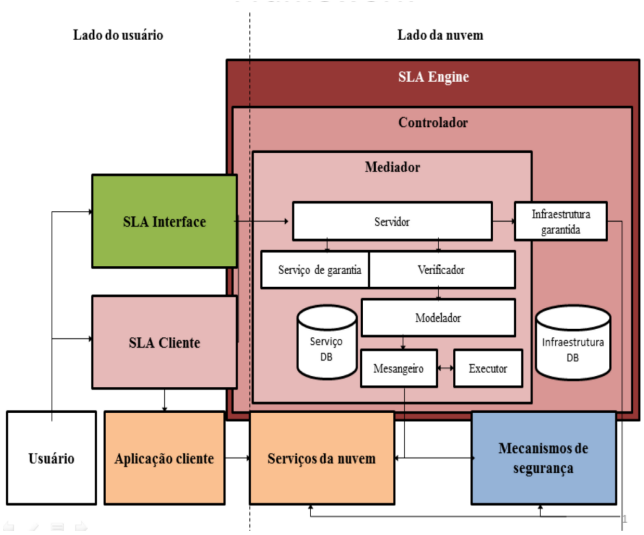


Fig. 1. Arcabouço proposto

ACKNOWLEDGMENT

REFERENCES

[1] ENISA. Cloud standards and security. Disponível em: <https://resilience.enisa.europa.eu/cloud-security-and-resilience/Cloudstandards.pdf>.

[2] COUTINHO, E. et al. Elasticidade em computaçao na nuvem: Uma abordagem sistemática. *XXXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuıdos (SBRC 2013)-Minicursos*, 2013.

[3] ARMBRUST, M. et al. A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, v. 53, n. 4, p. 50–58, 2010.

[4] TALUKDER, A. K.; ZIMMERMAN, L. et al. Cloud economics: Principles, costs, and benefits. In: *Cloud computing*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 343–360.

[5] KSHETRI, N. Cloud computing in developing economies. *ieee Computer*, v. 43, n. 10, p. 47–55, 2010.

[6] MARSTON, S. et al. Cloud computingthe business perspective. *Decision support systems*, v. 51, n. 1, p. 176–189, 2011.

[7] RONG, C.; NGUYEN, S. T.; JAATUN, M. G. Beyond lightning: A survey on security challenges in cloud computing. *Computers & Electrical Engineering*, v. 39, n. 1, p. 47–54, 2013.

[8] GONZALEZ, N. et al. A quantitative analysis of current security concerns and solutions for cloud computing. *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications*, v. 1, n. 1, p. 1, 2012.

[9] LEE, K. Security threats in cloud computing environments. *International Journal of Security and Its Applications*, v. 6, n. 4, p. 25–32, 2012.

[10] SANAEI, Z. et al. Heterogeneity in mobile cloud computing: taxonomy and open challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 16, n. 1, p. 369–392, 2014.

[11] BRENDER, N.; MARKOV, I. Risk perception and risk management in cloud computing: Results from a case study of swiss companies. *International journal of information management*, v. 33, n. 5, p. 726–733, 2013.

[12] LU, R. et al. Toward efficient and privacy-preserving computing in big data era. *IEEE Network*, v. 28, n. 4, p. 46–50, 2014.

[13] AL-ATTAB, B. S.; FADEWAR, H. Security issues and challenges in cloud computing. *IJESE*, v. 2, n. 7, p. 2319–6378, 2014.

[14] ROJAS, M. A. T. et al. Inclusion of security requirements in sla lifecycle management for cloud computing. In: *Evolving Security and Privacy Requirements Engineering (ESPRE), 2015 IEEE 2nd Workshop on*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 7–12.

[15] BARRETO, G. L. Utilização de técnicas anti-forenses para garantir a confidencialidade. *Curitiba, PUC-PR. Disponível em:¡ http://www. ppgia. pucpr. br/˜ jamhour/Download/pub/RSS/MTC/referencias/TCC*, 2009.

[16] CHEN, D.; ZHAO, H. Data security and privacy protection issues in cloud computing. In: *Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE), 2012 International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2012. v. 1, p. 647–651.

[17] BISHOP, M. et al. Some problems in sanitizing network data. In: . [S.l.: s.n.], 2006. p. 307–312.

[18] ROUSSEV, V. et al. Cloud forensics–tool development studies & future outlook. *Digital Investigation*, 2016.

[19] KULKARNI, G. et al. A security aspects in cloud computing. In: *2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 547–550.

[20] BALDUZZI, M. et al. A security analysis of amazon's elastic compute cloud service. In: *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1427–1434.

[21] DEFENSE, U. D. of; SERVICE, D. I.; AMERICA, U. S. of. Industrial security manual for safeguarding classified information. 1984.

[22] AMAZON, A. *Amazon Web Services Overview of Security Processes*. 2015.

[23] BARKER, S. K.; SHENOY, P. Empirical evaluation of latency-sensitive application performance in the cloud. In: *Proceedings of the first annual ACM SIGMM conference on Multimedia systems*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 35–46.

[24] LIU, F. et al. Nist cloud computing reference architecture. *NIST special publication*, v. 500, n. 2011, p. 292, 2011.

[25] WANG, Q. et al. Enabling public verifiability and data dynamics for storage security in cloud computing. In: *European symposium on research in computer security*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 355–370.

[26] ZHANG, K. et al. Sedic: privacy-aware data intensive computing on hybrid clouds. In: *Proceedings of the 18th ACM conference on Computer and communications security*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 515–526.

[27] FERNANDES, D. A. et al. Security issues in cloud environments: a survey. *International Journal of Information Security*, v. 13, n. 2, p. 113–170, 2014.

[28] DORION, P. Data destruction services: When data deletion is not enough. *SearchDataBackup. com*, 2010.

[29] GROBAUER, B.; WALLOSCHEK, T.; STOCKER, E. Understanding cloud computing vulnerabilities. *IEEE Security & Privacy*, v. 9, n. 2, p. 50–57, 2011.

[30] SRIVASTAVA, P. et al. An architecture based on proactive model for security in cloud computing. In: . [S.l.: s.n.], 2011. p. 661–666.

[31] YOUNIS, Y. A.; KIFAYAT, K. Secure cloud computing for critical infrastructure: A survey. *Liverpool John Moores University, United Kingdom, Tech. Rep*, 2013.

[32] HAMMING, R. W. Error detecting and error correcting codes. *Bell System technical journal*, v. 29, n. 2, p. 147–160, 1950.

[33] JARO, M. A. Probabilistic linkage of large public health data files. *Statistics in medicine*, v. 14, n. 5-7, p. 491–498, 1995.

[34] HEERINGA, W. J. Measuring dialect pronunciation differences using levenshtein distance. 2004.

[35] WINKLER, W. E. String comparator metrics and enhanced decision rules in the fellegi-sunter model of record linkage. ERIC, 1990.

[36] MONGE, A. E.; ELKAN, C. et al. The field matching problem: Algorithms and applications. In: *KDD*. [S.l.: s.n.], 1996. p. 267–270.

[37] DICE, L. R. Measures of the amount of ecologic association between species. *Ecology*, v. 26, n. 3, 1945.

[38] COHEN, W.; RAVIKUMAR, P.; FIENBERG, S. A comparison of string metrics for matching names and records. In: *Kdd workshop on data cleaning and object consolidation*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 3, p. 73–78.

[39] RUGAR, D. et al. Magnetic force microscopy: General principles and application to longitudinal recording media. *Journal of Applied Physics*, v. 68, n. 3, p. 1169–1183, 1990.

[40] KOBLISCHKA, M.; WEI, J.; HARTMANN, U. Optimization of the hf-mfm technique. In: *Journal of Physics: Conference Series*. [S.l.: s.n.], 2007. v. 61, n. 1, p. 591.

[41] GOMEZ, R. et al. Microscopic investigations of overwritten data. *Journal of Applied Physics*, v. 73, n. 10, p. 6001–6003, 1993.

[42] ADVANCED format the migration to 4k sectors. Disponível em: <http://www.seagate.com/br/pt/tech-insights/advanced-format-4k-sector-hard-drives-master-ti/>.

[43] QIN, G. et al. Development of high density magnetic recording media for hard disk drives: materials science issues and challenges. *International Materials Reviews*, 2013.

[44] MULTIMODE 8. Disponível em: <https://www.bruker.com/fileadmin/user upload/8-PDF-Docs/SurfaceAnalysis/AFM/Brochures/B072-RevC0-MultiMode 8-BrochureLoRes.pdf>.

[45] FIFIELD, T. et al. *OpenStack Operations Guide*. [S.l.]: " O'Reilly Media, Inc.", 2014.

Using (Partially) Homomorphic Encryption to Ensure Data Privacy on Cloud Databases

COMINETTI, E. L.*; SIMPLICIO JR, M. A.*
*Lab. Comp. Networks and Architecture (LARC), Dep. Eng. Computação e Sist. Digitais (PCS), EP-USP

E-mail: {ecominetti,mjunior}@larc.usp.br

***Abstract*—On this paper, a summary of the studied references for a master's project focused on using (partially) homomorphic encryption to ensure data privacy on cloud databases is presented. The summary is focused on presenting, to the best of our knowledge, the state-of-the-art data privacy cloud database CryptDB and its algorithms and a brief description of studied partially homomorphic encryption schemes.**

***Keywords*— homomorphic encryption; data privacy; cloud databases.**

I. Introduction

Many online applications are required to store third party data to properly work. Those data can be private or confidential, such as credit card numbers or medical history. Therefore, a way to protect those data from internal and external agents is needed.

This concern is extremely relevant since the number of attacks which tries to recover confidential data is considerable: only in the United States, more than 5,000 data were made public, compromising more than 9 million records since 2005. [1]

To achieve this objective, one can simply encrypt the data, preventing unauthorized users from gaining access to sensitive information. However, many applications also need to manipulate information to produce the user's desired result. An example of such application is a database, which requires to sort and return just a few of the available records.

Encrypt and decrypting the records is unfeasible for it requires to provide the secret key to the application, which would make the data visible for an attacker at least momentarily. The private key would also be in jeopardy.

Another way to ensure data security is by using a set of encryption algorithms that can compute operations directly on ciphertexts, without the need to decrypt the data. This set of algorithms are called (partially) homomorphic encryption.

In this paper, we will discuss about homomorphic encryption and cloud databases that achieve data privacy. In section II, we discuss the related work on the field. In section III, we talk about CryptDB, a cloud database that achieves data privacy. In section IV, we present the definition and examples of Homomorphic Encryption. Finally, in section V, we present the next steps to be followed in the research.

II. Related Work

Searching the Cryptology ePrint archive for the keywords "database", "cloud",and "homomorphic", we have found only three potential candidates for cloud databases that achieve data privacy, CryptDB [2], ZeroDB [3], and Arx [4]. The first one was thoroughly studied, while the second and third were found just recently.

There are a number of partially homomorphic algorithms. The most studied ones were ElGamal [5], Elliptic Curve ElGamal [6] and Paillier [7].

Fully homomorphic encryption is a recent field of study. The first feasible algorithm was proposed only in 2009 by Gentry [8]. Some other algorithms were proposed since then, but almost all of then were found insecure [9], [10]. From the ones that remained, YASHE [11], LTV [12] and LSMV [13] are the most promissing.

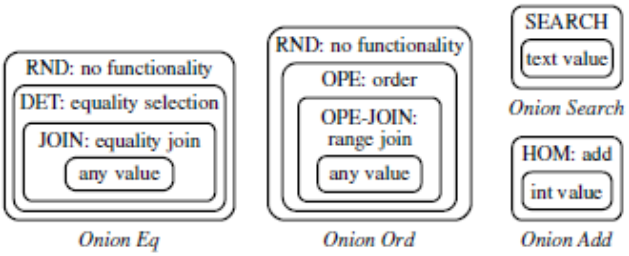
III. CryptDB

CryptDB is a cloud database system developed by MIT that provides data security [2].

To execute a query, the user submits his query to the CryptDB proxy server, which translates the query to its encrypted equivalent. The encrypted query is executed at the DBMS server and a ciphertext is returned to the proxy. Finally, the proxy decrypts the ciphertext and sends to the user the desired plaintext.

To perform those operations, CryptDB stores the information in the DBMS on multiple layers, called onions, as show on figure 1.

Fig. 1. CryptDB onions.



Source: [2].

The description of the algorithms used in each layer and the layer function will follow.

A. RND

The RND - Random layer uses AES with a random initialization vector. The function of this layer is to just provide security to the database.

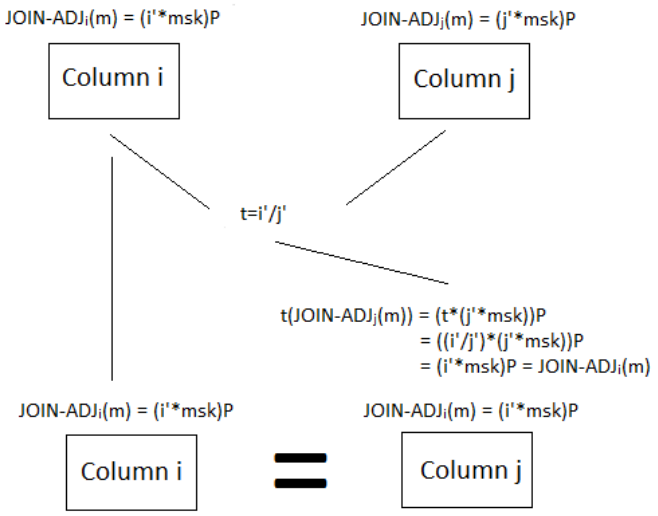
B. DET

The DET - deterministic layer uses AES with a zero-value initialization vector. This way, equal plaintexts are encrypted to equal ciphertexts. This layer is used to provide the operations WHERE, COUNT, COUNT DISTINCT of the database.

C. JOIN and OPE-JOIN

The JOIN layers are responsible for performing the join operation between multiple columns in the CryptDB. Its important to notice that every column has a unique secret key for its encryption, and the encryption is performed using elliptic curves. To perform the join between multiple different keys encrypted columns, a mechanism similar to Diffie-Hellman is applied to the ciphertext, as illustrated on figure 2.

Fig. 2. CryptDB JOIN operation. i' and j' are the column keys and msk is the message integer that multiply point P to generate the secret key.



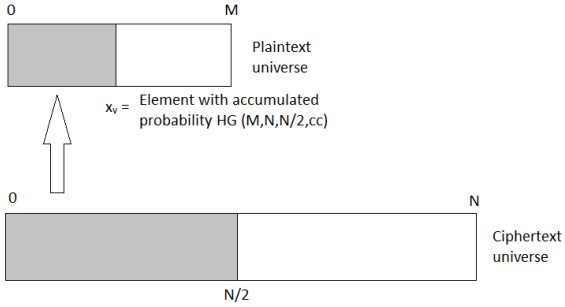
Source: Authors.

Each column has a unique integer key and the message value is represented as an integer. The column key is multiplied by the curve point P to generate a curve point key, which is used to encode the message integer msk. When a join is performed, column key i' is divided by column key j' resulting in a correction value t. Then, each value of column j is multiplied by this value t. The result is that each value of column j will now be encrypted by column i key, i', and wherever the message integer msk is presented, the ciphertexts of both columns will be the same, allowing the DBMS to perform a join without knowing the original plaintext value. [14]

D. OPE

The OPE - Order Preserve Encryption layer is responsible for ordering the texts. The first algorithm used is based on [15]. This algorithm works by successively mapping parts of the ciphertext universe to the plaintext universe using the hyper geometric function until the function is mapped to the desired plaintext. Figure 3 show one step of the algorithm.

Fig. 3. CryptDB original OPE operation. N and M are the sizes of the plaintext and ciphertext universes. cc is a coin chosed by the algorithm.

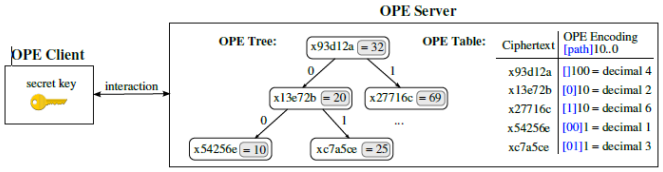


Source: Authors.

This algorithm was shown to be insecure by [16], which also proposes two new algorithms to perform ciphertext ordering, called mOPE and stOPE. As the later is an improvement of the first, only stOPE will be described.

1) stOPE: stOPE is a simple algorithm. It encrypts the plaintext using AES with a random initialization vector and stores it in an b-tree, where every left leaf is smaller than its root and every right leaf is bigger than its root. Figure 4 illustrates that.

Fig. 4. CryptDB stOPE tree.



Source: [16].

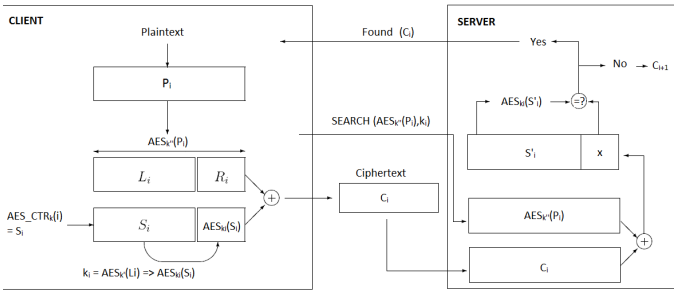
To determine if a value is smaller or bigger than a root, the DBMS sends the root value to the proxy and waits for its answer, travelling the entire tree until a empty leaf is founded and inserting the new element on this position. If the value is equal to an already saved value, the proxy informs the DBMS that the value is equal and the DBMS cancels the insertion. Also, the leaves record the Merkle tree hash value. This hash value is used to guarantee that whenever a leaf removal is performed, the database really removes the value from the tree and forgets every relation it has to all other values. This improves the algorithm security because the database can only compare currently stored values.

E. SEARCH

The search layer is responsible for performing search queries on the database. This layer uses the algorithm of Song et al. [17]. Figure 5 illustrates the algorithm.

The plaintext is encrypted using AES with key k''. This encrypted value is divided into a Left and Right value. A

Fig. 5. CryptDB search.



Source: Authors.

value k_i is obtained by encrypting the Left value using AES with a key k' and a S_i value is obtained by encrypting the value i, which holds a relation to the original plaintext (such as word position), is encrypted using AES with key k. Now, S_i is encrypted using key k_i. Finally, $L_i||R_i$ is XORed with $S_i||AES_{k_i}(S_i)$, resulting in the final ciphertext C_i.

To perform a search, the client sends $AES_{k''}(P_i) = L_i||R_i$ and k_i to the server. The server XORs $L_i||R_i$ with C_i, obtaining a S_i' value. Then, it encrypts S_i' with k_i and compares this result with x. If they are equal, the text was found; if not, another C is chosen.

F. HOM: add

The HOM: add - homomorphic addition layer is used to perform homomorphic addition of ciphertexts. It uses the Paillier algorithm to do so [7].

Paillier is a Composite Degree Residuosity algorithm. The algoritm description will follow.

Choose two primes, p, q, and compute $n = p * q$. Now, choose g such as $gcd(g, n^2) = 1$. Then, compute

$$\lambda = lcm(p-1, q-1) \tag{1}$$

$$a = \frac{(g^{\lambda} mod n^2) - 1}{n} \tag{2}$$

If $gcd(a, n) = 1$ then $\mu = a^{-1} mod n$. Otherwise, choose another g.

Now, to encrypt a text chose a random r, where $gcd(r, n) = 1$ and compute

$$c = g^m * r^n mod n^2 \tag{3}$$

and to decrypt a text, compute

$$m = \frac{(c^{\lambda} mod n^2) - 1}{n} * \mu mod n \tag{4}$$

Now, to perform an addition, given ciphertexts c_1 and c_2 from messages m_1 and m_2, one must compute

$$(c_1 * c_2) mod n^2 = c_3 \tag{5}$$

and

$$D(c_3) = (m_1 + m_2) mod n \tag{6}$$

IV. Homomorphic Encryption

Homomorphic encryption was first described by Rivest et al. in 1978 as "encryption functions which permit encrypted data to be operated on without preliminary decryption of the operands, for many sets of interesting operations". [18]

Since then, encryption schemes that achieved homomorphism for some sets of operations were created, such as ElGamal [5] and Paillier [7]. As these encryption schemes are only able to perform homomorphic operations for a limited set of functions, they received the name of Partially Homomorphic Encryption.

Encryption schemes that are able to perform homomorphic operation for all defined functions are called Fully Homomorphic, such as YASHE [11] and LTV [12]. Although these schemes were studied, both of these fully homomorphic encryptions are based on lattices, which is a lengthy topic. Moreover, the performance of fully homomorphic encryption is poor compared to partially homomorphic encryption, so these algorithms will not be described in this paper. The only observation for these schemes is that there is a known attack to both of them [10], but it requires a decryption oracle. Such oracle is not obtainable in our database scenario for an attacker.

We are going to focus on partially homomorphic encryption, briefly describing ElGamal and Elliptic Curve ElGamal. Paillier cryptosystem was already defined above.

A. ElGamal

ElGamal encryption was proposed by the Egyptian cryptographer Taher ElGamal in 1984. The algorithm security relies on the difficult of computing logarithms over finite fields. [5] A brief description of the algorithm will follow.

Suppose we have two parties, Alice and Bob, and BoB wants to send a private message to Alice. Alice chooses a large prime p, a generator g of p, and a private key k that belongs to $[0, p-1]$. Alice computes $h = g^k mod p$ and sends to Bob the tuple (p, g, h). Bob then computes $s = h^y mod p$, where y belongs to $]0, p-1]$. Finally, Bob computes $c = (m * s) mod p$ and sends the tuple (g^y, c), which is the ciphertext, to Alice.

To decrypt the message, Alice has to compute $(g^y)^k mod p = (g^k)^y mod p = h^y mod p = s$ and then she can recover the message m by computing $(c/s) mod p = m$. It is worthwhile to note that the size of the ciphertext is two times the size of the message.

Careful readers may have noticed that given two ciphertext tuples, (g^{y_1}, c_1) and (g^{y_2}, c_2), the tuple $(g^{y_1} * g^{y_2}, c_1 * c_2)$ is equal to $(g^{y_1+y_2}, h^{y_1+y_2} * (m_1 * m_2) mod p)$, which is the encryption of messages $m_1 * m_2$, thus providing multiplicative homomorphism.

B. Elliptic Curve ElGamal

It is possible to change the ElGamal encryption scheme to use elliptic curves. The Elliptic Curve ElGamal security relies on the difficult of computing elliptic curve logarithms over finite fields. To achieve the equivalent security of AES-128, the elliptic curve implementation requires a key size of 256 to 383 bits for both the private and public key, while the

standard implementation requires a private key of 256 bits, but a public key of 3072 bits [19]. The smaller key size makes Elliptic Curve ElGamal a more light-weighted choice than the standard ElGamal.

An elliptic curve E over the finite field $\mathbb{F}_p$ is the set of solutions (x, y) to the equation $y^2 = x^3 + ax + b$ where $a, b \in \mathbb{F}_p$ [6].

The parameters G, a point of the elliptic curve E, and p, an integer, are made public. The public key H, an elliptic curve point, is created by multiplying the secret key k, an integer, by G, $H = k * G$. Using the same notation as the previous example, Alice sends Bob the tuple (p, G, H).

Bob, to encode a message m, first maps this message to an elliptic curve point M. After that, Bob chooses a random integer y that belongs to $]0, p-1]$ and computes the point $S = y * H$. Finally, Bob computes $C = M + S$ and sends Alice the tuple $(y * G, C)$.

To decrypt the message, Alice has to compute $k*(y*G) = y*(k*G) = y*H = S$, subtract this result from C, $C - H = M + S - S = M$ and finally reverse the mapped message m from M.

To map a message m to an elliptic curve point M and reverse it, the method Elligator2 [20] will be used. The map algorithm works for some set of elliptic curves, including the elliptic curve Curve25519, which is considered a good curve for cryptography.

Notice that this time, if you have the two tuples $(y_1 * G, C_1)$ and $(y_2 * G, C_2)$, the sum of the tuples $(y_1 * G + y_2 * G, C_1 + C_2)$ is equal to $((y_1 + y_2) * G, (M_1 + M_2) + (y_1 + y_2) * H)$, which is the encryption of the mapped messages $M_1 + M_2$, thus giving us additive homomorphism.

V. Next Steps

For the next steps of the research, we are proposing a change to the CryptDB search algorithm that will allow it to perform other functions, solving some statistical attacks presented on system. We are also studying the possibility of adapting the search mechanism to allow it to perform search operations on word fragments.

We are also comparing the performance of Elliptic Curve ElGamal with Paillier, to study if changing the CryptDB Homomorphic algorithm will be advantageous.

Finally, we are also studying the recently found ZeroDB [3] and Arx [4].

Acknowledgment

The author is supported by CNPq research grant 300053/2016-9, under the project 440850/2013-4 - Intel Strategic Research Alliance.

References

[1] CHRONOLOGY of data breaches. 2016. http://privacyrights.org/data-breach. Acessed: August/2016.

[2] POPA, R. A. et al. Cryptdb: protecting confidentiality with encrypted query processing. In: ACM. *Proceedings of the Twenty-Third ACM Symposium on Operating Systems Principles*. [S.l.], 2011. p. 85–100.

[3] EGOROV, M.; WILKISON, M. Zerodb whitepaper. *arXiv preprint arXiv:1602.07168*, 2016.

[4] PODDAR, R.; BOELTER, T.; POPA, R. A. *Arx: A Strongly Encrypted Database System*. 2016. Cryptology ePrint Archive, Report 2016/591. http://eprint.iacr.org/2016/591.

[5] ELGAMAL, T. A public key cryptosystem and a signature scheme based on discrete logarithms. In: SPRINGER. *Advances in cryptology*. [S.l.], 1984. p. 10–18.

[6] KOBLITZ, N. Elliptic curve cryptosystems. *Mathematics of computation*, v. 48, n. 177, p. 203–209, 1987.

[7] PAILLIER, P. Public-key cryptosystems based on composite degree residuosity classes. In: SPRINGER. *Advances in cryptologyEUROCRYPT99*. [S.l.], 1999. p. 223–238.

[8] GENTRY, C. *A fully homomorphic encryption scheme*. Tese (Doutorado) — Stanford University, 2009.

[9] CHENAL, M.; TANG, Q. On key recovery attacks against existing somewhat homomorphic encryption schemes. In: *Progress in Cryptology-LATINCRYPT 2014*. [S.l.]: Springer, 2014. p. 239–258.

[10] CHENAL, M.; TANG, Q. Key recovery attacks against ntru-based somewhat homomorphic encryption schemes. In: *Information Security*. [S.l.]: Springer, 2015. p. 397–418.

[11] BOS, J. W. et al. Improved security for a ring-based fully homomorphic encryption scheme. In: SPRINGER. *IMA International Conference on Cryptography and Coding*. [S.l.], 2013. p. 45–64.

[12] LÓPEZ-ALT, A.; TROMER, E.; VAIKUNTANATHAN, V. On-the-fly multiparty computation on the cloud via multikey fully homomorphic encryption. In: ACM. *Proceedings of the forty-fourth annual ACM symposium on Theory of computing*. [S.l.], 2012. p. 1219–1234.

[13] LOFTUS, J. et al. On cca-secure somewhat homomorphic encryption. In: SPRINGER. *Selected Areas in Cryptography*. [S.l.], 2011. p. 55–72.

[14] POPA, R. A.; ZELDOVICH, N. Cryptographic treatment of cryptdb's adjustable join. 2012.

[15] BOLDYREVA, A. et al. Order-preserving symmetric encryption. In: SPRINGER. *Annual International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques*. [S.l.], 2009. p. 224–241.

[16] POPA, R. A.; LI, F. H.; ZELDOVICH, N. An ideal-security protocol for order-preserving encoding. In: IEEE. *Security and Privacy (SP), 2013 IEEE Symposium on*. [S.l.], 2013. p. 463–477.

[17] SONG, D. X.; WAGNER, D.; PERRIG, A. Practical techniques for searches on encrypted data. In: *Security and Privacy, 2000. S P 2000. Proceedings. 2000 IEEE Symposium on*. [S.l.: s.n.], 2000. p. 44–55. ISSN 1081-6011.

[18] RIVEST, R.; ADLEMAN, L.; DERTOUZOS, M. On data banks and privacy homomorphisms. *Foundations of secure computation*, Citeseer, v. 4, n. 11, p. 169–180, 1978.

[19] BARKER, E. *Recommendation for Key Management Part 1: General*. [S.l.], 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.800-57pt1r4>.

[20] BERNSTEIN, D. J. et al. Elligator: Elliptic-curve points indistinguishable from uniform random strings. In: ACM. *Proceedings of the 2013 ACM SIGSAC conference on Computer & communications security*. [S.l.], 2013. p. 967–980.

WebGLOR — Um Sistema de geração de pacientes artificiais para a construção de Classificadores de Aprendizagem de Máquina para o diagnóstico do Glaucoma.

GABRIEL, O. OLIVEIRA*; EDSON S. GOMI*;
*Laboratório de Engenharia do Conhecimento - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

E-mail: gabriel.ozeas@gmail.com, gomi@usp.br

***Abstract*—Glaucoma is a disease that leads to a irreversible vision loss and is the second leading cause of blindness in the world. In order to assist in identification of or quantification of severity of disease progression, studies available in the literature propose to solve this problem by applying pattern recognition techniques. This article aims to describe the progress of a research project for the evaluation of classifiers used in glaucoma diagnosis created from artificial data.**

***Keywords*— Glaucoma; Machine Learning.**

***Resumo*— Glaucoma é uma doença que resulta em perda irreversível da visão e é a segunda causa de cegueira no mundo. Para auxiliar a identificação de um possível caso ou quantificar a severidade da progressão da doença, estudos disponíveis na literatura propõem resolver este problema por meio de técnicas de reconhecimento de padrões, ou seja, com o uso de Classificadores de Aprendizagem de Máquina. Este artigo tem como objetivo descrever a evolução de um projeto de pesquisa em estágio inicial para a avaliação de classificadores para o diagnóstico de glaucoma criados a partir de dados gerados artificialmente.**

***Palavras-chave*— Glaucoma; Aprendizado de Máquina.**

I. Introdução

Estima-se que em 2010, as doenças da visão já acometiam 285 milhões de pessoas ao redor do mundo, deixando mais de 39 milhões de pessoas cegas, estando entre os principais causadores, a catarata (33%) e o glaucoma (2%) [1]. Apesar da quantidade de casos de glaucoma ser relativamente menor, a perda de visão causada por esta doença é irreversível. O glaucoma é caracterizada por danos estruturais ao nervo óptico, acompanhado de disfunção visual e frequentemente está associado a várias patologias [2].

Estudos na literatura modelam o problema de diagnóstico do glaucoma em um problema de reconhecimento de padrões, aplicando técnicas de Aprendizagem de Máquina para reconhecer a presença da doença ([3], [4]) ou medir a severidade da progressão ao decorrer do tempo ([5]), através de modelos (denominados classificadores) construídos a partir de um conjunto de dados. Um conjunto de dados representativo (*dataset*) das populações de pacientes com glaucoma e normais é necessário para um desempenho adequado do classificador resultante.

Com o intuito de fornecer uma quantidade significativa de dados para o treinamento de classificadores, [6] propôs o uso de pacientes gerados artificialmente, através de um modelo matemático que permite gerar indivíduos com e sem glaucoma baseado em características estatísticas encontradas na literatura.

O objetivo do projeto de pesquisa é avaliar classificadores gerados a partir de populações artificiais de pacientes normais e glaucomatosos, com relação sensibilidade e especificidade

Este artigo descreve o trabalho de [6], utilizado como referência do projeto de pequisa e a evolução do projeto até o momento.

Na seção II é descrito alguns dos métodos utilizados por médicos para identificação e avaliação da progressão do glaucoma nos pacientes. Na seção III são descritos alguns algoritmos de aprendizado de máquina aplicados ao diagnóstico do Glaucoma. A seção IV descreve a implementação do modelo matemático para geração de grupos de pacientes com e sem glaucoma .

II. Diagnóstico

O diagnóstico do glaucoma é realizado através de análise de histórico familiar e de doenças do paciente além de testes funcionais da visão e exames estruturais do globo ocular com o objetivo de identificar a presença da doença ou determinar o grau de severidade da progressão, permitindo iniciar tratamentos para retardar sua evolução.

A avaliação estrutural pode ser feita através da fundoscopia, que permite analisar alterações no disco óptico ao decorrer de exames seguidos como na figura 1 que mostra as alterações estruturais causadas pelo glaucoma no decorrer de vários anos em um paciente. Outro exame estrutural importante é o mapeamento da camada de fibras nervosas da retina (RNFL, Retina Nerve Fiber Layer) é realizado através da Tomografia de Coerência Óptica (OCT - *Optical Coherence Tomography* que é discutido na seção seguinte.

A. Tomografia de Coerência Óptica

O OCT é um exame por imagem, não invasivo, que produz imagens com cortes transversais e tridimensionais com reso-

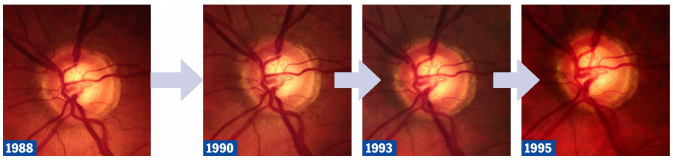


Figura 1. Evolução do Glaucoma [7]

.

lução axial entre 5-μm e 15-μm para a análise da espessura da camada de fibras nervosas da retina, permitindo identificar regiões com perda acentuada de células glanglionares em comparação com populações da mesma faixa de idade [8]. O médico avalia o resultado do OCT em um relatório que exibe diagramas comparativos entre o paciente e o grupo de idade em que ele faz parte. A primeira tecnologia a ser utilizada, *Time Domain Optical Coherence Tomography* (TD-OCT) utiliza a diferença de tempo de ondas de luz para determinar a distância das estruturas no tecido e gerar a imagem. Já a tecnologia *Spectral Domain Optical Coherence Tomography* (SD-OCT) utiliza a frequência de ondas permitindo uma captação de dados maior e produzindo imagens mais detalhadas [9].

B. Perimetria Automatizada Padrão

A Perimetria Automatizada Padrão (SAP, Standard Automated Perimetry) vendo se tornando um dos principais exames para a identificação dos danos a função visual causado pelo glaucoma [10]. O SAP testa a sensibilidade à luz de vários pontos do sistema visual. Durante o exame, são gerados estímulos de tamanho e intensidade específicos em um fundo com um padrão de luminância. Com a visão fixa em um ponto central, o paciente responde aos estímulos feitos durante o exame. Um software consolida os pontos que são visíveis pelo campo visual do paciente em um mapa [11].

III. Diagnóstico automatizado

Como já pode ser observado na figura 1, a evolução do glaucoma pode ser lenta, exigindo acompanhamento do paciente durante anos, além de exames repetidos para a presença ou progressão sejam verificadas. Alguns trabalhos na literatura modelam este problema como um problema de reconhecimento de padrões e assim propõe de técnicas de aprendizado de máquina para identificar e avaliar a progressão do glaucoma. Por exemplo, [4] analisou a sensibilidade e especificidade de algoritmos como Naive-Bayes, Bagging, Random Forest entre outros utilizando como atributos para treinamentos dados gerados pelo OCT e pelo SAP.

A. Geração dos dados artificiais

Coletar uma quantidade significativa de dados de forma a representar as populações de pessoas normais e com glaucoma pode ser considerada uma tarefa demorada. [6] propôs a geração de populações artificiais que poderiam ser utilizadas no treinamento novos classificadores. Em seu trabalho, os exames escolhidos como modelo para a geração de dados foram o OCT e o SAP. Também foram incluídos a idade e a pressão intraocular.

Para o OCT, primeiramente são geradas 12 seções de espessura da RNFL através de uma técnica de amostragem denominada *Inverse Transform Sampling*. A partir desses valores são calculados os quadrantes e espessura média fornecidos pelo OCT.

Os valores gerados para o SAP são criados a partir de um modelo matemático que mapeia a perda de fibras nervosas da retina e a perda do campo visual.

B. Inverse Transform Sampling

Conhecido também como *Smirnov Transform*, é um método que permite realizar amostragens aleatórias de uma determinada distribuição de probabilidade através de sua função de distribuição cumulativa (CDF, *Cumulative Distribution Function*). Considerando uma variável aleatória X e $F(X)$ uma função de distribuição cumulativa estritamente crescente da distribuição de probabilidade $P(X)$ que se deseja amostrar, e que $F_X^{-1}(p)$ é função de distribuição inversa (ou função quantil), onde para cada probabilidade p, existe um número real x em que $F(x) = p$, então o método é realizado da seguinte forma:

1) Realiza-se uma amostragem u de uma distribuição uniforme $U(0, 1)$.
2) Considere u uma probabilidade entre $[0, 1]$.
3) Utilizando a função $F_X^{-1}(u)$ recupera-se o valor de x e considera-se como uma amostragem aleatória da distribuição $F(X)$

.

Utilizado esta técnica é possível gerar valores que se aproximam de uma distribuição normal (Equação 1) dado uma média μ e desvio padrão σ. A CDF para a distribuição normal pode ser vista na equação 2. A função inversa é descrita na equação 5.

$$P(x|\mu,\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \tag{1}$$

$$\phi(x) = \frac{1}{2}\left[1 + erf\left(\frac{x-\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right] \tag{2}$$

$$erf(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-x}^{-x} e^{-t^2} \mathrm{d}t \tag{3}$$

$$\phi^{-1}(p) = \sqrt{(2)} erf^{-1}(2p-1), p \in (0,1) \tag{4}$$

$$F^{-1}(p) = \mu + \sigma\phi^{-1}(p), p \in (0,1) \tag{5}$$

IV. Web GLOR

O WebGLOR é uma implementação parcial do modelo matemático descrito em [6]. Até o momento a geração de dados artificiais para os parâmetros do OCT, além da pressão intraocular e idade. Foi assumido que todos estes atributos seguem distribuições normais e que são independentes. Então

ao gerar novas populações, é possível configurar novos valores para média e desvio padrão para cada um.

Como implementação para a geração de números a partir da função de distribuição cumulativa inversa (ICDF, Inverse Cumulative Distribution Function) foi utilizado a biblioteca Apache Commons Math 3.6.1.

A figura 2 exibe os valores padrões extraídos de [12] para pacientes normais e com glaucoma, enquanto a figura 3 exibe os diagramas de espessura da RNFL gerados pelo WebGLOR para um paciente sem glaucoma. A figura 3a é um diagrama que representa as espessuras da RNFL, medidas pelo OCT, divididas em seção por hora (12 no total). As cores representam a distribuição de normalidade para o grupo sendo utilizado na comparação. A cor vermelha indica que aquela seção é comum em menos de 1% da população, a cor amarela, 5% e verde 95% da população. A figura 3b exibe um diagrama das seções agrupadas em quadrantes Temporal, Nasal, Inferior e Superior. A figura 3d exibe um gráfico comparativo das espessuras onde é possível verificar quais partes da camada estão sendo mais afetadas.

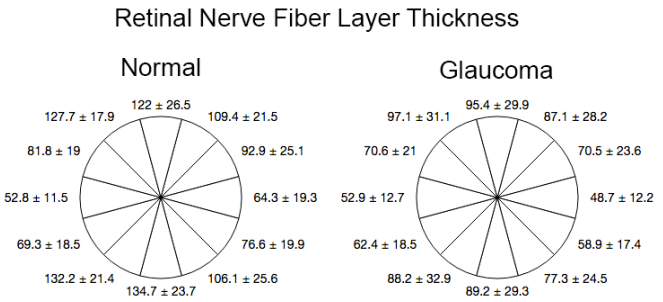


Figura 2. Lado esquerdo: média e desvio padrão para espessura de RNFL em um paciente normal. Lado direito: para espessura de RNFL em paciente glaucomatoso.

V. Conclusão

Permitir a identificação do glaucoma em casos iniciais é importante na tentativa de minimizar os dados causados a visão do paciente. O emprego de técnicas de aprendizado de máquina para o diagnóstico se mostra promissor, porém a coleta de dados para o treinamento de novos classificadores é processo lento e custoso. O presente artigo apresentou a evolução de um projeto de pesquisa para a avaliação de classificadores gerados a partir de populações artificiais de pacientes.

Referências

[1] PASCOLINI, D.; MARIOTTI, S. P. Global estimates of visual impairment: 2010. *British Journal of Ophthalmology*, v. 96, n. 5, p. 614–618, 2012. Disponível em: <http://bjo.bmj.com/content/96/5/614.abstract>.

[2] FOSTER, P. J. et al. The definition and classification of glaucoma in prevalence surveys. *British Journal of Ophthalmology*, v. 86, n. 2, p. 238–242, 2002. Disponível em: <http://bjo.bmj.com/content/86/2/238.abstract>.

[3] VIDOTTI, V. G. et al. Sensitivity and specificity of machine learning classifiers and spectral domain oct for the diagnosis of glaucoma. *European journal of ophthalmology*, p. 0–0, 2012.

Figura 3. Exemplo de um paciente sem glaucoma gerado pelo Webglor.

[4] SILVA, F. R. et al. Sensitivity and specificity of machine learning classifiers for glaucoma diagnosis using spectral domain oct and standard automated perimetry. *Arquivos brasileiros de oftalmologia*, SciELO Brasil, v. 76, n. 3, p. 170–174, 2013.

[5] GOLDBAUM, M. H. et al. Progression of patterns (pop): A machine classifier algorithm to identify glaucoma progression in visual fieldspop: An algorithm used for detecting vf progression. *Investigative ophthalmology & visual science*, The Association for Research in Vision and Ophthalmology, v. 53, n. 10, p. 6557–6567, 2012.

[6] DIAS, M. *Geração de Populações Artificiais para Treinamento de Classificadores de Apoio ao Diagnósatico de Glaucoma*. Tese (Doutorado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

[7] BOURNE, R. R. The optic nerve head in glaucoma. *Community Eye Health Journal*, v. 19, n. 59, p. 44–45, jul. 2006.

[8] WOLLSTEIN, G.; SCHUMAN, J. S. Optic nerve analysis. In: *OPHTHALMOLOGY*. 4. ed. [S.l.]: Elsevier, 2014. p. 1040:1047.

[9] SCHUMAN, J. S. Spectral domain optical coherence tomography for glaucoma (an aos thesis). *Transactions of the American Ophthalmological Society*, American Ophthalmological Society, v. 106, p. 426, 2008.

[10] ALENCAR, L. M.; MEDEIROS, F. A. et al. The role of standard automated perimetry and newer functional methods for glaucoma diagnosis and follow-up. *Indian journal of ophthalmology*, Medknow, v. 59, n. 7, p. 53, 2011.

[11] BUDENZ, D. L. Visual field testing in glaucoma. In: MD, M. Y.; MD, J. S. D. (Ed.). *OPHTHALMOLOGY*. 4. ed. [S.l.]: Elsevier, 2014. p. 1029:1035.

[12] FA, M. et al. Comparison of the gdx vcc scanning laser polarimeter, hrt ii confocalscanning laser ophthalmoscope, and stratus oct optical coherence tomographfor the detection of glaucoma. *Archives of Ophthalmology*, v. 122, n. 6, p. 827–837, 2004. Disponível em: <+ http://dx.doi.org/10.1001/archopht.122.6.827>.

Análise do desempenho na execução de Redes Neurais Convolucionais em Software e em Hardware FPGA

POL, FLAVIO ; GOMI, EDSON
Laboratório de Engenharia de Conhecimento – KNOMA
Escola Politécnica - Universidade de São Paulo
flaviopol@gmail.com; gomi@usp.br

***Resumo*— Nos últimos anos, os resultados dos algoritmos de classificação baseados no conceito de *Deep Learning* têm sido expressivos na área de Reconhecimento de Padrões, por exemplo, objetos em imagens. Aplicações em tempo real, como reconhecimento de faces em imagens de vídeo de segurança ou compreensão de frases em ligações telefônicas, exigem sistemas computacionais que atendam às exigências de tempo de processamento. Adicionalmente, o uso desses algoritmos em sistemas embarcados móveis exigem hardwares de alto desempenho computacional e com baixo consumo de energia. Atender a estes requisitos torna interessante o uso de arquiteturas de hardware baseadas em FPGA (*Field Programmable Gate Array*). Entretanto, ainda não é claro em quais algoritmos e aplicações o uso de FPGA apresenta vantagens em relação às implementações baseadas em software. Além disso, há o desafio de se projetar implementações eficientes de algoritmos de *Deep Learning* em FGPA. Pode-se projetar o hardware manualmente ou usar programas que geram descrições em HDL (*Hardware Description Languages*), tal como o MATLAB. Este trabalho de pesquisa tem como objetivo analisar e comparar o desempenho na execução de Redes Neurais Convolucionais (CNN) implementadas em hardware FPGA e em software. Este artigo incluirá um *review* dos trabalhos pesquisa sobre o tema e uma descrição das implementações em preparação. O trabalho de pesquisa se encontra em fase de implementação de experimentos clássicos de *Deep Learning*. O primeiro experimento é baseado no LeNet-5, que é um sistema de reconhecimento de dígitos manuscritos, desenvolvido por Yann LeCun *et al.* O LeNet-5 implementa uma CNN que foi treinada com o dataset MNIST, o qual contém 60.000 imagens rotuladas para treinamento e 10.000 imagens para validação. Estes experimentos preliminares incluem a simulação em software MATLAB da execução de CNNs em ponto fixo e ponto flutuante para a rede LeNet5, e os futuros experimentos a serem desenvolvidos.**

***Palavras-chave*— *Deep Learning*; Redes Neurais Convolucionais; Hardware FPGA; Ponto Fixo.**

I. INTRODUÇÃO

Aplicações de reconhecimento de objetos em imagens, compreensão de áudio em ligações telefônicas, entre outras, utilizam de arquiteturas *Deep Learning* para reconhecimento de padrões em tempo real. Hoje em dia vê-se a necessidade de utilizar estas aplicações como tecnologia embarcada em dispositivos móveis. Porém, com o crescente aumento das dimensões dos bancos de dados, as arquiteturas *Deep Learning* requerem cada vez uma maior capacidade de processamento computacional, o que compromete a implementação de visão computacional em dispositivos que possuem baixa capacidade de carga e processamento.

Muitos hardware são utilizados especificamente para treinar e executar algoritmos *Deep Learning* pois requerem especificações técnicas para processar as operações matemáticas. Dentre os hardwares mais utilizados para treinamento e execução das aplicações *Deep Learning* têm-se as Unidades de Processamento Gráfico (GPU), Processadores de Uso Geral (GPGPU) e, como uma alternativa interessante a FPGA [1].

O trabalho de pesquisa se encontra em fase de validação de experimentos os quais consistem em executar o reconhecimento de padrões em imagens utilizando de Redes Neurais Convolucionais (CNN) no software de simulação MATLAB em ponto flutuante e ponto fixo. No método de ponto fixo a aplicação não altera os valores numéricos na execução. Com a simulação em ponto fixo o objetivo é analisar o comportamento da execução das CNNs assim como os valores de seus pesos e desempenho das funções no método de ponto fixo em diversos graus de precisão. Após esta análise, o segundo objetivo é gerar código HDL automáticamente utilizando o produto adicional do MATLAB, a toolbox HDL Coder. O póximo passo será analisar e validar o código HDL gerado utilizando o software Quartus do fabricante Altera. Após esta validação, o código HDL será implementado no FPGA.

As métricas para efetuar a comparação entre software e hardware serão: tempo de processamento de execução, taxa de erros, limitação do sistema e consumo de energia. As métricas para software e hardware serão analisadas e validadas conforme valores de trabalhos experimentais anteriores [4][6].

Escolhe-se implementar a execução das operações de convolução no FPGA devido às características benéficas de processamento paralelo. Trabalhos anteriores consideram o FPGA uma solução, pois os FPGAs possuem excelente de desempenho computacional e eficiência energética [5].

II. REVISÃO DA LITERATURA

Abordagens computacionais convencionais em inteligência artificial eram focadas em resolver problemas analiticamente, porém era necessário possuir conhecimentos específicos em determinado domínio e a construção de algoritmos exigia puro trabalho manual [2]. Contudo, os avanços em inteligência artificial despertaram maiores interesses em resolver problemas mais complexos, e que não exigissem o completo domínio teórico do problema. Além do mais, com o crescimento na aquisição e armazenamento de dados aplicações como reconhecimento de voz, detecção de objetos e diagnóstico médico tornaram-se possíveis. O uso de *Deep Learning* tem gerado resultados melhores que os obtidos com o uso de outros classificadores de máquina [3].

O trabalho de pesquisa Lecun *et al* [4] inclui um *review* de vários métodos aplicados ao reconhecimento de dígitos manuscritos e compara-os ao método utilizando CNNs as quais são projetadas especificamente para lidar com pixels em imagens 2D. O trabalho apresenta resultados positivos no reconhecimento de valores escritos em cheques bancários. Para o reconhecimento do dígitos foi utilizada a Rede Neural Multicamadas (MLP) LeNet5, a qual consiste de várias camadas de convolução e sub-amostragem da imagem de entrada. Esta rede utilizou o *dataset* de dígitos manuscritos do MNIST para treinamento e validação, além do algoritmo de *Backpropagation* para aprendizado dos pesos da rede. Os resultados alcançados apresentaram taxa de erro de 0.95% no reconhecimento do dígito.

As Redes Neurais Convolucionais se destacam dentre as arquiteturas *Deep Learning*, especialmente no quesito de reconhecimento de imagem por pixels. Para Zhang *et al* [5], as CNNs são redes que possuem uma ampla gama de designs, encontrar um modelo mais próximo do desejado pode exigir muitos ajustes pois as CNNs possuem muitos graus de liberdade, por exemplo: ajuste nas camadas da rede. As CNNs têm um padrão de cálculo dos dados que é altamente apropriado para paralelização por hardware. Além disso, as características de reconfiguração permitem implementar diferentes modelos e escolher aquele modelo de melhor desempenho diretamente no hardware [5].

O hardware FPGA é considerado uma alternativa para implementações em pequenos dispositivos. Porém, segundo Lacey *et al* [1], existem alguns *trade-offs* na implementação de redes neurais robustas como as CNNs. Para o FPGA ter a possibilidade de reconfiguração, exigem que os circuitos sejam menos densos em comparação ao hardware GPU, e muitas vezes isto causa a impossibilidade de implementar as CNNs no FPGA. Entretanto, com a modernização dos FPGA tendendo cada vez mais incorporar circuitos mais densos, a implementação de aplicações de reconhecimento de imagens torna-se possível.

Em Farabet [6] foi utilizada a alta eficiência das CNNs implementada em FPGAs de baixa capacidade de processamento de sinais, os quais são mais acessíveis. A implementação explora toda a capacidade de paralelismo do FPGA somada a um módulo de memória externa. Uma rede de compiladores previamente treinado, compilam a sequência de convoluções de dados de reconhecimento de rostos a uma velocidade de dez *frames* por segundo. Graças à eficiência energética que esta implementação teve como resultado, esta solução de visão computacional pode ser utilizada nos dispositivos com baixa capacidade de bateria tais como pequenos robôs.

O trabalho de pesquisa Li *et al* [7], focou-se em investigar como a representação aritmética por ponto flutuante e ponto fixo afetam na implementação de Redes Neurais Artificiais (ANN) em hardware FPGA. A pesquisa examinou as vantagens e desvantagens entre precisão e variação numérica para diversos hardwares FPGA.

III. EXPERIMENTOS E RESULTADOS PRELIMINARES

O primeiro passo experimental consistiu na implementação da rede LeNet5 no MATLAB em ponto flutuante. Para isso utilizou-se da versão do MATLAB R2015a. Grande parte das funções e *scripts* utilizados provem do projeto MyCNN elaborado por Nikolay Chumerim [8]. Algumas funções e *scripts* foram modificados para poder realizar treinamentos utilizando diferentes quantidades de dados e iterações. Foram realizados implementações de treinamento reproduzindo os resultados da redes LeNet5 [4].

A primeira atividade consistiu em extrair os dados matriciais do formato original *ubyte* para o formato .mat, o qual é reconhecido no MATLAB. Foram extraídos do banco de dados MNIST as 60.000 imagens de treinamento e as 10.000 imagens de validação, assim como seus respectivos rótulos.

O próximo passo consistiu em normalizar os dados para acelerar o treinamento. Após este passo, executou-se o treinamento da rede. O primeiro treinamento utilizou-se o *learning rate* e número de 20 iterações conforme [4], este treinamento levou 35 minutos. Foi realizado um segundo treinamento desta vez com 50 iterações. A análise gráfica de ambos treinamentos da rede mostram que após 20 iterações a taxa de erro quadrático se mantém com pouca variação, em contrapartida, a taxa de erro de classificação para as imagens de validação foram menores para o treinamento com 50 iterações.

Foi realizado um terceiro treinamento com 20 iterações, mas desta vez os as imagens foram normalizadas para valores entre 0 e 1, dividindo-as pelo seu maior valor do pixel 255, o qual corresponde ao valor de um pixel branco na escala de cinza. Neste treinamento obteve-se uma taxa de erro de classificação muito alta, o que será investigado mais profundamente no decorrer da pesquisa.

O passo seguinte constituiu em extrair os pesos de cada neurônio da rede convolucional. Na sequência, estes pesos foram utilizados na classificação de uma imagem de teste. Neste teste, ocorreu a propagação da imagem por toda a rede e sua devida classificação utilizando o software MATLAB levou 1,5 segundos, considerando a impressão na tela da imagem resultante de cada camada da rede.

A conversão do *dataset*, o treinamento e execução da rede LeNet5 no MATLAB foi realizada utilizando o formato

numérico em ponto flutuante de dupla precisão, que é o formato padrão do software MATLAB.

A segunda etapa do experimento consistiu em converter todas as imagens do *dataset* MNIST para o formato numérico em ponto fixo. Levando em consideração o hardware FPGA que pretende-se utilizar para execução da rede LeNet5, escolheu-se o formato ponto fixo de 8 bits e com 7 bits dedicados à parte fracionária. Utilizando o MATLAB e os parâmetros, a precisão numérica alcançada foi de $2^{-7} = 0.0078125$. Após a conversão das imagens, também foram convertidos os pesos de cada camada convolucional do treinamento em ponto flutuante.

Nesta etapa foram elaboradas as funções de convolução e sub-amostragem em ponto fixo. Estas funções são utilizadas nas camadas da rede LeNet5. Devido à limitação da função exponencial em ponto fixo, a função sigmoide não pode ser executada [9]. Uma solução geralmente utilizadas neste caso para simulação em ponto fixo é o uso de ReLU(*Rectified Linear Unit*). Para este experimento a CNN será treinada novamente utilizando ReLU ao invés de utilizar a função sigmoide na LeNet5.

IV. EXPERIMENTOS FUTUROS

Os próximos passos experimentais engloba a construção da CNN com ReLU em ponto flutuante e ponto fixo. Após a modelagem, simulação e validação de toda a rede LeNe5 em ponto fixo, o próximo passo será a geração automática de código VHDL utilizando o MATLAB.

O código gerado em VHDL será compilado utilizando o software do fabricante do Kit FPGA, e em seguida será embarcado no hardware FPGA para execução no hardware. O *dataset* de imagens de entrada em ponto fixo será embarcado na memória RAM externa do FPGA.

Com a implementação em software e hardware concluída, será efetuada a comparação segundo as métricas mencionadas na introdução.

REFERÊNCIAS

[1] LACEY, G.; TAYLOR, G. W.; AREIBI, S. Deep learning on fpgas: Past, present, and future. arXiv preprint arXiv:1602.04283, 2016.

[2] BENGIO, Y.; DELALLEAU, O. On the expressive power of deep architectures. In: SPRINGER. International Conference on Algorithmic Learning Theory. [S.l.], 2011. p. 18–36.

[3] LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. Nature, Nature Publishing Group, v. 521, n. 7553, p. 436–444, 2015.

[4] LECUN, Y. et al. Gradient-based learning applied to document recognition. Proceedings of the IEEE, IEEE, v. 86, n. 11, p. 2278–2324, 1998.

[5] ZHANG, C. et al. Optimizing fpga-based accelerator design for deep convolutional neural networks. In: ACM. Proceedings of the 2015 ACM/SIGDA International Symposium on Field-Programmable Gate A-rays. [S.l.], 2015. p. 161–170.

[6] FARABET, C. et al. Cnp: An fpga-based processor for convolutional networks. In: IEEE. 2009 International Conference on Field Programmable Logic and Applications. [S.l.], 2009. p. 32–37.

[7] LI, X.; MOUSSA, M.; AREIBI, S. Arithmetic formats for implementing artificial neural networks on fpgas. Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, IEEE, v. 31, n. 1, p. 31–40, 2006.

[8] CHUMERIN, N. myCNN - Matlab Implementation of Convolutional Neural Network. 2009. Disponível em: <https://sites.google.com/site/chumerin/myprojects/mycnn>.

[9] TISAN, A., ONIGA, S., MIC, D., & BUCHMAN, A. (2009). Digital implementation of the sigmoid function for FPGA circuits. ACTA Technica Napocensis, 50(2), 15-20.

Learning Options for Transfer Learning in Multiobjective Reinforcement Learning

BONINI, Rodrigo Cesar*; COSTA, Anna Helena Reali*
*Intelligent Techniques Laboratory (LTI) - Escola Politećnica da USP
E-mail: {rodrigo_cesarb, anna.reali}@usp.br

***Abstract*—Reinforcement Learning is a tool used to train intelligent agents, since learning takes place completely autonomously. This learning is accomplished through training the agents, where happen repeated interactions between agents and the environment, by trial and error, until the agents have enough information to act appropriately in order to solve a given task. However, the agent can take a long time to determine which actions are most appropriate for each situation. To work around this problem, Transfer Learning solutions began to be used, aiming to generalize knowledge between tasks, and thus accelerate the learning of similar tasks given a source task. But, this approach introduces new problems such as the difficulty of establishing similarity between tasks and control the depth of this generalization. Therefore, research has investigated partial solutions to minimize these problems. One of these approaches is through the use of Options, which are a sequence of actions that an agent can do to achieve certain subgoal in Reinforcement Learning environment. However, for the best of our knowledge, these techniques are all for solve problems with single-agent and objectives. Even more, there is no method which joins Options with Multiobjective Reinforcement Learning problems, so it is still necessary to investigate and propose methods to answer the following questions, which were answered only partially by the state of the art: How to properly abstracting the knowledge gained in training?; How to represent the learned knowledge and its levels of abstraction?; When and how to transmit knowledge efficiently?; How to discover Options and choose them autonomously and efficiently? How apply all these concepts to Multiobjective domains?**

***Keywords*— Reinforcement Learning; Transfer Learning, Options, Multiobjective, Markov Decision Process.**

I. Introduction

Reinforcement Learning (RL) [1] is a technique that allows autonomous agents to learn with interactions in the environment. An action that affects the environment is chosen by the agent, then the agent observes how much that action helped to the task completion through a reward function. An agent can learn how to optimally solve tasks by executing this process multiple times. Altough RL has been successfully applied in many problems [2], [3], [4], RL algorithms learn very slowly.

The main problem when applying RL is that the classical algorithms learn very slowly through interactions of trial and error type, taking a very long time, because RL classical approach needs many steps to explore the state-action space. The problem is further intensified when the problem must be described by multiple reward functions. The extension of the classical RL abstraction, Multiobjective Reinforcement Learning(MORL)[5], solves tasks with multiple reward functions $\{R_1, \ldots, R_i\}$ by balancing all objectives as well as possible, considering the criteria informed by humans. So, as domains become progressively complex over the years, scalability gains more importance for these methods.

Many solutions were developed to minimize these problems, like the Transfer Learning(TL) and option-based ones. The Options Framework [6], which we are speacially interested, has proposed an approach to tackle RL scalability issues. Options offer a way to propose high-level actions that encapsulate sequences of actions performed by agents, which can be easily incorporated into a variety of different RL algorithms, accelerating their learning process. An option may solve a subgoal in a RL problem and may contain a subset of optimal actions for certain states where the agent is. For instance, an option in a indoor navigation domain could portray some or all the actions needed to move towards a door, unlock it, and open it.

This approach works like human learning, where previous and partial knowledge can be used to accelerate the learning of a new task. For instance, it is relatively easier to learn how to play a Bass beforehand knowing how to play an Eletric Guitar (or a similar instrument with strings).

At the same time and even along with this approach, were also developed TL solutions[7], which allow to reuse knowledge acquired in previous tasks, generalizing and transferring knowledge between domains, agents and tasks, thus accelerating learning in RL domains. Along with options, TL can be used to reuse knowledge from previously learned tasks, or parts of these tasks[8]. In the instrument learning example, being instructed by a good musician about how to play some chords and notes or observing your performance playing different songs can accelerate learning of several new songs, because you can identify your mistakes, some similarities between them and of course it was given some explanation and feedback by the musician, i.e, ”transferring knowledge” acquired.

However, learning how to discover the options that are useful for an agent in a given domain and transfer knowledge is not a trivial task, since the environment may vary and we can have several objectives and domains, which take into account multiple and different reward functions increasing even further the learning space. Even though TL and options has been used in many ways in RL, there is no standard answer to many aspects that must be defined in order to discover the options and how to transfer knowledge in MORL domains.

Therefore, this research aims to specify a new use to

existing options discovery methods and investigate the use of the Options Framework to allow knowledge reuse in MORL domains from previously learned options and tasks, aiming at accelerate the current learn process of MORL and TL algorithms.

II. Objective

This research aims to specify a new use to existing **options discovery methods** and investigate the use of the Options Framework to allow knowledge reuse in **MORL domains** from previously learned options and tasks, aiming at accelerate the current learn process of RL algorithms. Thus, we have the following tasks:

- **Study of TL and Options techniques that obtained relevant results in RL:** The approach of Options does not have a standard solution in the RL universe, so we plan to determine which techniques have obtained satisfactory results in certain scenarios in order to use them as base on multiobjective domains.
- **Experiments with the chosen techniques:** The techniques that were evaluated as most relevant in the matter will be deeply investigated in order to find out what their advantages and disadvantages and where they fit best. The experiments may also include some different domains and scenarios.
- **Definition of a more general and efficient algorithm for options discovery in a MORL problem:** There are some works that describe the methods of options discovery in the most interesting ways possible. In [9], [8], [10] for example, this was done by extracting Options in a given task by analyzing common behaviour by an agent over a given time. Although there are studies using Options to support the use of the TL in RL [9], [8], [10], these works need to be improved and investigated in order to discover methods that are general and scalable to the most complex and diverse possible domains, mainly with multiobjectives. Thus, a detailed analysis will allow the definition of an algorithm with a higher level of abstraction and generalization, accelerating the reuse of knowledge and the TL process.

III. Foundation and Related Work

Many sequential decision problems may be modeled by a Markov Decision Problem (MDP), and RL is a extensively used solution for MDPs. An MDP is described by the tuple $< S, A, T, R >$[11], where S is the set of environment states, A is the set of actions available to an agent, T is the transition function, and R is the reward function, which gives a feedback toward task completion.

In the RL framework [1] (Figure 1), an agent learns by interacting with an environment over a series of discrete time steps. In each decision step t, the agent observes the current state s_t and applies an action a_t. Then, the next state is defined by a transition probability function T (unknown by the agent in learning scenarios) and the agent receives a reward r_t. The agent goal in an MDP is to learn an optimal policy π^* that maps each state to the actions that leads to the greatest expected cumulative sum of rewards.

In learning problems (where R and T are unknown) the agent can iteratively learn a Q-table, for instance with the algorithm Q-Learning[12], a function that maps every pair of state and action to an estimate of the long-term reward. It starts from the current state-action pair, that eventually converges to the true Q function: $Q^*(s,a) = E\left[\sum_{i=0}^{\infty} \gamma^i r_i\right]$, and Q^* can be used to define an optimal policy as $\pi^*(s) = \arg\max_a Q^*(s,a)$.

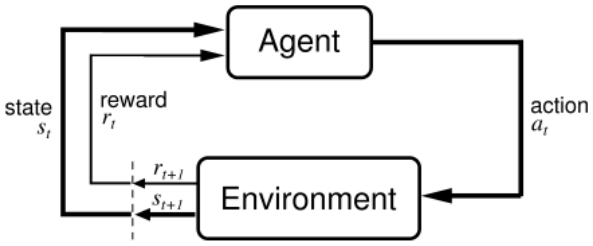


Fig. 1. The agent-environment interaction in reinforcement learning. (Adapted from [1])

However, learning Q^* may take a long time, and so TL and Options methods can be used to accelerate its convergence. The basic idea in most of these algorithms is to reuse previously acquired knowledge in the same task or in a new task.

Before use TL in practice, some aspects must be defined [7]: **What**, **when**, and **how** to transfer. Although many methods have been developed, there is no standard definition of how to represent knowledge and how to transfer it. Thus, the success of a TL method depends on the knowledge representation. The standard MDP formulation is not always a good representation for knowledge abstraction, which is of extreme importance when transferring knowledge between two similar tasks. Relational representations achieved some success in knowledge abstraction and TL[13].

With respect to the options, an option for an MDP is a conditional sequence of primitive actions defined as a three-tuple, $\{\ \pi,\ \mathcal{I},\ \beta\ \}$, consisting of a **policy** ($\pi : S \rightarrow A$), a set of **initiation states** ($\mathcal{I} \subseteq S$), and a **termination condition** ($\beta : S \rightarrow [0,1]$) [6]. The initiation set $\mathcal{I}$ is the subset of the state space in which the option can begin to be executed. In other words, an option is available in state s_t iff $s_t \in \mathcal{I}$. When the options initiation condition is satisfied and the agent selects it, the policy is followed until a termination condition is met. The termination condition β is a probability function over states that defines the likelihood with which the agent ends the execution of an option when it is in that state. It may also be a time limit, that terminates deterministically when the execution of the option policy reaches a certain number of episodes parametrized by designer [9]. Then, when an option ends, the agent has the chance to select another option, and this process repeats over time, executing it many times, until a goal state is reached. Another important point is that options need not be macroactions (continuous actions), but may be

discontinuous and contain avaible actions for states that have no connection with each other.

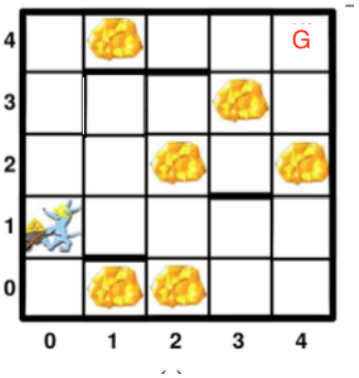


Fig. 2. The Goldmine Domain for Multiobjective Reinforcement Learning. The miner aims to gather all gold pieces in the environment while minimizing its amount of steps until it reaches its goal(G). Adapted from [14].

RL may be applied in many real-world domains, and all of them would be benefited from faster RL algorithms, such as we are developing in this research. *Goldmine* Domain [14] is one particularly relevant domain, as new challenges are arising from the advancements in this area. The example of these challenges is sketched in (Figure 2). The main challenge in this problem is to maximize the amount of gold mining picks at the same time maximizing the number of steps until the agent reaches its goal.

IV. Proposal

Most of previously proposed options-based methods are focused single-objective problems [9]. Notwithstanding, MORL approaches attained good results in domains that have more than one objective, pondering tasks and these objectives [15], [16].

These algorithms, in general, were purposed to work along specific kinds of problems, not being able to solve general problems with the same quality. The *PolicyBlocks Algorithm* is an interesting options discovery algorithm due to its versatility and good results in very different domains [8], so because of this, we evaluated it first together with our method.

The *PolicyBlocks Algorithm*, is decomposed in a three step process: (1) Firstly it generates a set of option **candidates** by finding where the sample solutions match, in other words, here occurs the **merge process** between a pair of partial policies, ($mrg(\pi_1 \cap \pi_2 \cap \cdots, \pi_n)$). (2) After that, it **scores** the candidates basing in the match and then chooses the highest scoring option. (3) Finally, **subtracts** this option from a source set of optimal policies L. Then, we have a set of options o that have been learned with the algorithm and can be used to accelerate the learning. However, the state-of-the-art option-based methods do not work in such multiobjective scenarios.

Aiming at accelerate learning in MORL problems, we here introduce MO-Opt, an approach based in the Options Framework for option-discovery and for TL with fixed state variables and actions [7] in multiobjective domains according to humans preferences. The main idea of MO-Opt is to learn options for each of the objectives separately (for which the *PolicyBlocks* algorithm, for example, can be used) and apply these options in the multiobjective problem, and finally transfer the obtained knowledge to a new and different domain, reusing the acquired knowledge in previous tasks. The learned options are intended to optimize a single objective, but may maximize multiple objectives for some situations, or guide the agent towards trajectories that maximize one objective without hampering the others, according to a human setting. The RL algorithm is able to identify when each option is useful, and we argue that these options can accelerate the learning process, guiding the agent's exploration to learn a given task faster.

There are many TL methods that can transfer knowledge between MDPs where the type of knowledge transferred can be primarily characterized by its specificity. We here assume that the state and action spaces are fixed for the source and target tasks, but the state transition function may vary [7].

Algorithm 1 MO-Opt for Transfer Learning

```
1: Π ← ∅
2: for each domain d ∈ D do
3:    for each objective i ∈ O do
4:       for H episodes do
5:          learn a set of optimal policies L_i for i
6:          Π ← Π ∪ PolicyBlocks(L_i)
7:       end for
8:    end for
9:    transfer options to another d
10:   run MORL in the new domain using Π ∪A
11: end for
```

Algorithm 1 describes our proposal. Firstly we initialize a set of options Π. Then, we learn a set of optimal policies L_i for each objective $i \in O$ by using a standard RL algorithm, where O is the set of objectives. After that, we use the standard *PolicyBlocks Algorithm* (any other options-discovery algorithm could also be used) to learn a set of options for each objective separately (including them in Π). Then, the Multiobjective learning algorithm is executed in the new domain using Π ∪A, to finally learn the policy for the MORL domain.

V. Experimental Evaluation and Discussion

In order to evaluate our proposal, we choose a 11x11 *Goldmine* Domain, in which the agent must optimize two (possibly) conflicting objectives. A certain number of *gold pieces* are spread in the environment, and the agent has a goal position to be reached. The first objective is to arrive in the goal position as fast as possible, and the second objective is to collect all *gold pieces*. However, *gold pieces* are often outside the optimal path towards the goal position, then the agent must balance the two objectives and reason over the objective to be pursued at a certain moment.

We placed 4 *golds* in the map, and the action set is $A = \{north, south, east, west\}$. A *gold piece* is collected when the agent is in the same position of it, which results in a

reward of +1 in the second reward function. A reward of +1 is awarded in the first reward function when the agent achieves the goal position, and then the episode ends. Otherwise, the reward is 0 for both objectives.

Firstly, we performed the Q-learning algorithm for each objective for 100 episodes, providing 5 optimal policies to *PolicyBlocks*, that chooses the 3 best scored options for each objective. Then, we executed 100 learning episodes using the *Scalarized Q-Learning algorithm* [16] both without options and using MO-Opt, in order to evaluate the relative effectiveness of the learned options to the learning process. The scalarized algorithm was configured with the weights w_1 = 0.75 and w_2 = 0.25, i.e., the reward functions are combined using a linear combination with those weights. We set the learning rate α = 0.2 and the discount rate γ = 0.9 in our experiments. The observed performances are averages over 100 executions of this procedure.

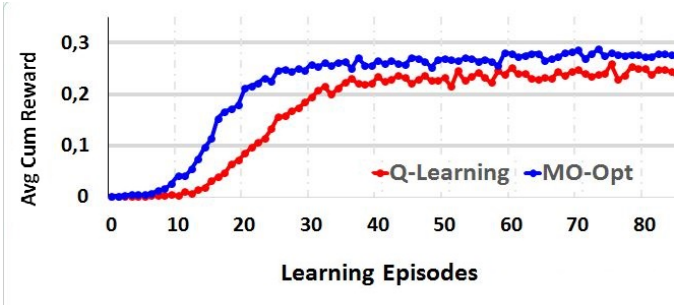


Fig. 3. The average reward (linear combination of the two objectives) for 80 episodes during the learning process. To be published in [17].

MO-Opt learns faster at the beginning of the learning processes, achieving an average reward of 0.16 after roughly 30 learning episodes. The standard Q-Learning without options achieved similar results only after approximately 60 learning episodes (Figure 3). This difference between the average cumulative reward indicated that MO-Opt provides a better jump-start to MORL domains than standard RL techniques.

VI. Next Steps

MO Options might be a promising algorithm which allows knowledge reuse and generalization, thus accelerating learning between multiobjective tasks. The next step of our research is investigate some different algorithms, domains and MORL algorithms to ponder weights to objectives in a problem, like W-Learning[18]. Then, we have to define how to transfer learned knowledge through tasks or agents.

After investigating the first steps, we will focus in some specific approaches for TL with options. Options Discovery and Transfer Options have been successfully used in single agent Transfer Learning, thus we now plan to investigate these approaches to analyze if MO-Options could provide some significant improvement.

Next, we have to define a mapping method to find commonalities between states and actions in different domains. After that, if we have time and the previous research presents good results, we will try to work towards proposing a method to options sharing among agents in Multi-Agent domains.

Finally, we intend to evaluate our method by allowing the use of options with stochastic policies, aiming at improving and accelerating the knowledge generalization provided by our approach. And also apply our methods in more real-world domains, such as other problems in the Location-Based Systems, Smart Grid Area, Social Media, and Automated Video Game Playing.

Acknowledgment

We are grateful for the financial support from CEST and CNPq (grant 311608/2014-0).

References

[1] SUTTON, R. S.; BARTO, A. G. *Reinforcement Learning: An Introduction*. 1st. ed. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1998. ISBN 0262193981.

[2] NG, A. Y. et al. Autonomous inverted helicopter flight via reinforcement learning. In: *Experimental Robotics IX*. [S.l.]: Springer, 2006. p. 363–372.

[3] SINGH, S. et al. Optimizing dialogue management with reinforcement learning: Experiments with the njfun system. *Journal of Artificial Intelligence Research*, p. 105–133, 2002.

[4] MNIH, V. et al. Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, Nature Publishing Group, v. 518, n. 7540, p. 529–533, 2015.

[5] MOFFAERT, K. V.; DRUGAN, M. M.; NOWÉ, A. Scalarized multi-objective reinforcement learning: Novel design techniques. In: IEEE. *2013 in ADPRL*. [S.l.], 2013. p. 191–199.

[6] SUTTON, R. S.; PRECUP, D.; SINGH, S. Between mdps and semi-mdps: A framework for temporal abstraction in reinforcement learning. *Artificial intelligence*, Elsevier, p. 181–211, 1999.

[7] TAYLOR, M. E.; STONE, P. Transfer learning for reinforcement learning domains: A survey. *Journal of Machine Learning Research*, v. 10, p. 1633–1685, 2009. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1577069.1755839>.

[8] PICKETT, M.; BARTO, A. G. Policyblocks: An algorithm for creating useful macro-actions in reinforcement learning. In: *ICML*. [S.l.: s.n.], 2002. p. 506–513.

[9] THRUN, S.; SCHWARTZ, A. Finding structure in reinforcement learning. *Advances in neural information processing systems*, Citeseer, p. 385–392, 1995.

[10] TEMBO, T. et al. Discovering subgoals in complex domains. In: *2014 AAAI Fall Symposium Series*. [S.l.: s.n.], 2014.

[11] PUTERMAN, M. L. *Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming*. 1st. ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1994. ISBN 0471619779.

[12] WATKINS, C. J.; DAYAN, P. Q-learning. *Machine learning*, Springer Netherlands, v. 8, n. 3, p. 279–292, 1992.

[13] BIANCHI, R. A. et al. Transferring knowledge as heuristics in reinforcement learning: A case-based approach. *Artificial Intelligence*, v. 226, p. 102 – 121, 2015. ISSN 0004-3702.

[14] DIUK, C.; COHEN, A.; LITTMAN, M. L. An object-oriented representation for efficient reinforcement learning. In: ACM. *Proceedings of the 25th international conference on Machine learning*. [S.l.], 2008. p. 240–247.

[15] KHAMIS, M. A.; GOMAA, W. Adaptive multi-objective reinforcement learning with hybrid exploration for traffic signal control based on cooperative multi-agent framework. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Elsevier, v. 29, p. 134–151, 2014.

[16] SILVA, F. L.; COSTA, A. H. R. Multi-objective reinforcement learning through reward weighting. In: *joint with IJCAI (TRI 2015)*. [S.l.: s.n.], 2015.

[17] BONINI, R. C.; SILVA, F. L. da; COSTA, A. H. R. Learning options in multiobjective reinforcement learning. In: *AAAI-17*. [S.l.: s.n.], 2017. p. (Accepted Paper).

[18] LIU, C.; XU, X.; HU, D. Multiobjective reinforcement learning: A comprehensive overview. *Systems, Man, and Cybernetics: Systems, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 45, n. 3, p. 385–398, 2015.

Meta-Organizations Modeling
Modelagem de Meta-Organizações

LUDESCHER, L. G.
Laboratório de Técnicas Inteligentes – Departamento de Engenharia de Computação
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
lgludescher@usp.br

***Abstract*—This work is still at an early stage and aims to apply the concepts and techniques of agent-based simulation to simulate meta-organizations (roughly, organizations composed by individuals and other organizations with no formal authority relations between them). Possible applications are in the field of social and political sciences to simulate phenomena related to decision-making.**

***Keywords*— agent-based simulation; meta-organizations; social simulation.**

***Resumo*—Este trabalho, ainda em fase inicial, visa aplicar os conceitos e técnicas da simulação baseada em agentes para simular meta-organizações (simplificadamente, organizações compostas por indivíduos e outras organizações sem relações de autoridade formal entre eles). Possíveis aplicações são no campo das ciências sociais e políticas para simular fenômenos relacionados a tomadas de decisão.**

***Palavras-chave*— simulação baseada em agentes; meta-organizações; simulação social.**

I. INTRODUÇÃO

A organização tem papel fundamental no desenvolvimento da sociedade. Desde organizações definidas por simples divisões de tarefa até complexas estruturas organizacionais modernas envolvendo uma grande quantidade de indivíduos que devem atingir objetivos determinados de maneira coordenada, por exemplo na execução de megaprojetos como os que possibilitam a realização de grandes eventos como as Olimpíadas.

A evolução nas estruturas organizacionais evidentemente trouxe novos desafios em relação a questões como definição e atribuição de tarefas, tomada de decisões, hierarquização, equilíbrio de interesses, execução de projetos entre tantos outros. Desta forma, tornou-se necessário investigar os tipos de estrutura, identificar padrões, criar conceitos e categorias e definir abordagens para que sejam criados métodos que permitam direcionar a dinâmica de grandes organizações, bem como avaliar sua eficiência e seus resultados, de modo que obtenham sucesso em seus propósitos.

Evidentemente a tecnologia possui um papel fundamental para a viabilidade de organizações e projetos cada vez maiores. Portanto, o objetivo deste trabalho passa pela elaboração de um projeto que tenha impacto no aperfeiçoamento das técnicas e tecnologias que possibilitam a dinâmica de grandes organizações e megaprojetos, de modo a promover-lhes maior eficiência e melhores resultados.

II. META-ORGANIZAÇÕES E MEGAPROJETOS

A. Meta-Organizações

Primeiramente, é importante conceituar "meta-organização": segundo o artigo *Meta-Organization Design: Rethinking Design in Inter-Organizational and Community Contexts* [1], meta-organizações são definidas como organizações cujos agentes são por si só legalmente autônomos e não inter-relacionados por vínculos empregatícios. Cada agente pode ser ou não uma organização (na qual pode ou não haver vínculos empregatícios), mas é sempre tratado como um ator individual por propósitos de análise. Meta-organizações são compostas por redes de empresas e indivíduos não delimitadas por relações de autoridade formal mas caracterizadas por objetivos globais, mesmo que cada agente tenha seus próprios objetivos.

No que se refere à estrutura de meta-organizações, pode-se definir dois conceitos básicos: permeabilidade de fronteiras e grau de estratificação. A permeabilidade de fronteiras está atrelada aos modelos de atração, seleção e retenção de membros: meta-organizações com fronteiras menos permeáveis são aquelas que controlam com mais rigidez e, portanto, possuem mais critérios para a entrada de novos membros, enquanto que aquelas com fronteiras mais permeáveis permitem mais abertamente a entrada e colaboração de novos membros. Já o grau de estratificação está relacionado à tomada de decisões: meta-organizações com alto grau de estratificação possuem uma hierarquia rígida e bem definida para a tomada de decisões, enquanto que naquelas com baixo grau de estratificação, o poder de tomada de decisões é distribuído de maneira mais homogênea entre seus membros.

B. Megaprojetos

Outro ponto a ser considerado são os megaprojetos. Tais projetos, por sua escala, necessitam da colaboração entre uma grande quantidade de agentes, frequentemente não interconectados por relações de autoridade formal, portanto são projetos desenvolvidos através de meta-organizações.

Megaprojetos são bastante complexos de se analisar, até mesmo para definir seu sucesso ou insucesso. Para tanto,

conforme apresentado no artigo *Why Mega-Projects (seem to?) Fail: a Meta-Organizational Perspective* [2], é importante levar em conta alguns fatores-chave que podem afetar a performance de um megaprojeto e, portanto, devem ser ajustados conforme cada necessidade, são eles: (a) até que ponto deve-se postergar o anúncio das metas de um projeto; (b) o quanto deve-se ter de folga no orçamento para contingência; (c) qual deve ser a ordem de entrada dos agentes-chave no núcleo de decisões; (d) como gerenciar negociações entre pares em estruturas hierárquicas e; (e) qual o grau de transparência que se deve ter com a mídia.

III. OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo principal será realizar simulações de meta-organizações. Para tanto deve-se definir métodos claros que rejam a dinâmica entre os agentes em modelos organizacionais específicos, como priorização de determinados agentes na tomada de cada tipo de decisão, modelos de interação entre agentes, métricas de avaliação de eficiência, parâmetros de ajuste, tipos de agentes, grau de estratificação da rede, permeabilidade das fronteiras da organização, etc.

Em termos tecnológicos, o objetivo é utilizar os conceitos e tecnologias mais atuais relacionados a simulações baseadas em agentes (multi-agentes) para realizar as simulações propostas, onde cada agente do sistema será um componente da meta-organização, seja ele um indivíduo ou uma organização por si só. Adicionalmente, uma abordagem promissora neste tipo de aplicação é a dos agentes holônicos, que pode ser entendida de maneira simplificada como um agente ou conjunto de agentes representando cada nível hierárquico de uma meta-organização.

Uma simulação, de maneira geral, deverá ser definida por um estado inicial determinado pela configuração de parâmetros como tipos de agente, inter-relacionamentos entre eles, regras de priorização e interação, papéis organizacionais, metas individuais e metas globais. Após a execução de uma simulação, deverão ser apresentadas métricas de performance e grau de atingimento de metas.

Por fim, será possível propor modelos de dinâmicas e estruturas, métodos, abordagens e práticas, para meta-organizações e megaprojetos, que tendam a amplificar a eficiência e a produzir resultados mais aderentes às metas estabelecidas dentro das condições pré-definidas.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho está em sua fase inicial de modo que estão sendo avaliadas diversas possíveis abordagens e aplicações para o tema. Há um campo bastante promissor de aplicação da modelagem baseada em agentes na área das ciências sociais e políticas, nas quais a metáfora de agentes, bem como a ideia de meta-organizações, encaixa-se de maneira bastante interessante. Seguindo tal linha, pode-se imaginar aplicações para simular definições relativas a políticas públicas, interações sociais, negociações políticas, relações partidárias e processos de tomada de decisão em geral.

REFERENCES

[1] GULATI, RANJAY; PURANAM, PHANISH; TUSHMAN, MICHAEL Meta-Organization Design: Rethinking Design in Inter-Organizational and Community Contexts.

[2] LUNDRIGAN, COLM; GIL, NUNO; PURANAM, PHANISH Why Mega-Projects (seem to?) Fail: a Meta-Organizational Perspective.

[3] WOOLDRIDGE, MICHAEL J. An Introduction to MultiAgent Systems – 2nd ed.

Analysis of Requirements Elicitation Techniques for Developing Crowdsourcing Systems

Análise de Técnicas de Levantamento de Requisitos para Desenvolvimento de Sistemas de *Crowdsourcing*

BERTASSI, E.; SPINA, E.
Laboratório de Engenharia do Conhecimento (KNOMA) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
eduardo.bertassi@gmail.com, spina@usp.br

***Abstract*— Crowdsourcing systems provide support to an online business model for proposing or solving problems in which people distributed in a network spontaneously contribute to the creation or undertaking of tasks. Due to specific human factors that make the development of crowdsourcing systems a complex problem it is important to identify how traditional engineering requirements approaches can be complemented to enhance the use of such systems and to prevent them from not being used due to the lack of users. This paper aims to present a research proposal that will show that it is possible to enhance the use of crowdsourcing systems if the traditional engineering requirements techniques are complemented with multi-agent based simulations and the modelling of human factors involved in the user interactions with the crowdsourcing system.**

***Keywords*— crowdsourcing; requirements engineering; multi-agent-based simulation.**

***Resumo*— Sistemas de *crowdsourcing* dão suporte a um modelo de negócios *online* para propor ou resolver problemas o qual pessoas distribuídas em uma rede contribuem espontaneamente para a criação ou resolução de tarefas. Devido a fatores humanos específicos que tornam o desenvolvimento de sistemas de *crowdsourcing* um problema complexo é importante identificar como as abordagens tradicionais de engenharia de requisitos podem ser complementadas para potencializar a utilização desse tipo de sistemas e impedir que eles deixem de ser utilizados por falta de usuários. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de pesquisa que mostrará que é possível potencializar a utilização de sistemas de *crowdsourcing* se as técnicas de levantamento de requisitos tradicionais forem complementadas com simulações baseadas em sistemas multiagentes e com a modelagem dos fatores humanos envolvidos na interação dos usuários com o sistema de *crowdsourcing*.**

***Palavras-chave— crowdsourcing;* engenharia de requisitos; simulações baseadas em multiagentes.**

I. INTRODUÇÃO

Há décadas, várias empresas passaram a terceirizar o trabalho de seus profissionais para empresas localizadas na Índia ou China como forma de baratear seus custos de contratação e produção. Com os avanços tecnológicos na área de tecnologia de informação e comunicações os custos de contratação que diferenciavam os profissionais dos amadores também diminuíram, pois trabalhadores de tempo parcial dispersos na rede encontraram na *internet* um mercado para oferecer seus serviços num novo modelo de negócios: o *crowdsourcing* [1].

O termo *crowdsourcing*, cunhado pelo jornalista Jeff Howe em 2006, tinha como significado literal a terceirização (*outsource*) de uma atividade para uma multidão (*crowd*) que se encontrava dispersa na *internet* [1]. Porém, o conceito por trás do termo era difuso, pois poderia abranger desde qualquer tipo de atividade colaborativa baseada na *internet* até atividades de cocriação e inovação.

Com o objetivo de fornecer uma definição que eliminasse ambiguidades e descrevesse qualquer atividade de *crowdsourcing*, Estellés-Arolas e González-Ladrón-de-Guevara definiram em 2012 que "O *crowdsourcing* é um tipo de atividade *on-line* participativa em que um indivíduo, uma instituição, uma organização sem fins lucrativos, ou empresa, propõe a um grupo de indivíduos (de número, heterogeneidade e conhecimentos variados) a realização de uma tarefa por meio de uma chamada aberta e flexível. A atividade a ser realizada, de complexidade e modularidade variadas, e a qual a multidão pode participar (por meio de trabalho, dinheiro, conhecimento ou experiência) sempre visa benefício mútuo: o usuário obterá sua satisfação de acordo com sua necessidade (seja por motivos econômicos, reconhecimento social, autoestima, ou desenvolvimento de competências individuais); e o proponente (*crowdsourcer*) irá obter e utilizar em seu proveito aquilo que o usuário trouxer para seu empreendimento, cuja forma dependerá do tipo de atividade a ser realizada" [2].

O *crowdsourcing* é um dos fenômenos típicos que emergiram a partir da evolução da Web 1.0 para a Web 2.0 [3]. Na Web 1.0 tanto os dados quanto as informações eram publicados de forma estática e não permitiam muitas interações entre os criadores de conteúdo e seus consumidores [4]. Em contrapartida, a Web 2.0 destaca-se pela extensão dos ideais originais, princípios e infraestrutura da Web 1.0, ou seja: criação e utilização em larga escala de redes sociais; desenvolvimento de softwares e aplicativos compatíveis com diferentes dispositivos e plataformas; e maior utilização de recursos de hardware e software disponíveis na rede [4][5].

Com o passar dos anos, o uso intensivo de smartphones, aplicativos móveis e redes sociais fez com que as pessoas que exploravam essas tecnologias se tornassem *prosumers*, ou seja, indivíduos que são simultaneamente produtores (*producers*) e consumidores (*consumers*) de conteúdo [6][7]. Com isso, novas oportunidades de negócios e de desenvolvimento de aplicações relacionadas com *crowdsourcing* começaram a emergir como, por exemplo: descobertas sobre o comportamento humano coletivo por meio da utilização de aplicativos de avaliação de preferências, como Foursquare [8]; realização de micro tarefas para auxílio no processo de digitalização de livros ou textos por meio da utilização do reCaptcha [9]; angariação de fundos para realização de novos projetos, como o Kickstarter; entre outros. À medida que os sistemas de *crowdsourcing* se tornavam disponíveis foi possível identificar que eles podiam ser classificá-los em dois tipos [10]: sistemas de *crowdsourcing* explícito, os quais os usuários estão cientes das tarefas que estão realizando; e sistemas de *crowdsourcing* implícito, os quais os usuários não sabem que estão colaborando com a resolução de uma tarefa enquanto usam o sistema.

A exploração da capacidade de realização de tarefas de forma explícita ou implícita por usuários distribuídos na rede possui grande potencial. Porém, apesar do desenvolvimento da *web* e do surgimento de aplicações relacionadas com *crowdsourcing*, as práticas e técnicas para incentivar o desenvolvimento deste tipo sistema precisam ser melhor desenvolvidas em diferentes contextos (acadêmico, empresarial ou social) para potencializar a participação de usuários em diferentes níveis [11].

II. Objetivos e Motivação

Desde que o termo *crowdsourcing* foi cunhado em 2006 [1], diversos estudos vêm sendo feitos e, por conta disso, diversas questões de pesquisa foram levantadas [4] [6] [9] [10] [11] [12] [13] [14]. Em especial, os pesquisadores Doan, Ramakrishnan e Halevy [9] citam em seu trabalho que sistemas de *crowdsourcing* apresentam quatro desafios chave:

> Como recrutar e reter usuários?
> Como definir o que os usuários devem fazer?
> Como combinar suas contribuições?
> Como gerenciar informações incorretas?

Essas questões são difíceis de serem respondidas em tempo de projeto porque é difícil prever como será o comportamento dinâmico de milhares de usuários distribuídos na rede quando forem utilizar o sistema de *crowdsourcing*, porém, é importante ter algum parâmetro de comparação em tempo de projeto para evitar que o sistema seja desativado por falta de uso, ou para evitar retrabalhos quando o sistema estiver em produção.

Uma das formas de se obter respostas sobre as interações complexas que os usuários podem ter com os sistemas de *crowdsourcing* é por meio da realização de simulações baseadas em sistemas multiagentes [15], pois com este tipo de simulação é possível modelar não apenas o comportamento dos usuários (contemplando características comportamentais e organizacionais) como também é possível modelar o ambiente o qual os agentes (usuários do sistema de *crowdsourcing*) irão interagir. Nesse aspecto, as ferramentas, técnicas e procedimentos utilizados em processos tradicionais de levantamento de requisitos podem ser complementados, pois os resultados advindos de simulações baseadas em sistemas multiagentes oferecem uma visão dinâmica dos requisitos levantados para o sistema de *crowdsourcing* ainda em tempo de projeto.

Tendo como foco a melhoria das práticas para incentivar o desenvolvimento de sistemas de *crowdsourcing* para potencializar sua utilização pelos usuários, surgem as seguintes perguntas:

> Quais fatores humanos devem ser considerados na modelagem dos usuários de um sistema de *crowdsourcing* para potencializar seu uso?
> Como as estratégias de levantamento e validação de requisitos podem ser complementadas para permitir uma visão dinâmica do sistema de *crowdsourcing* em tempo de projeto?
> Qual *framework* de programação pode ser utilizado para simular os agentes e o ambiente de *crowdsourcing* de forma que a programação tenha baixo acoplamento, ou seja, de forma que a programação dos agentes e sua organização fiquem desacopladas da programação do ambiente simulado de *crowdsourcing*?

Portanto, o objetivo da pesquisa é mostrar que é possível potencializar a utilização de sistemas de *crowdsourcing* se as técnicas de levantamento de requisitos tradicionais forem complementadas com simulações baseadas em sistemas multiagentes e com a modelagem dos fatores humanos envolvidos na interação usuário *versus* sistema de *crowdsourcing*.

III. Revisão da Literatura

A. Fatores Humanos em Crowdsourcing

Em geral, as pessoas participam espontaneamente de comunidades com base em afinidades em comum ou por gostarem de interagir com pessoas que pensam de formas parecidas. Sistemas de *crowdsourcing* devem ser elaborados com base na compreensão das motivações intrínsecas e extrínsecas de seus usuários [4] [11], pois essa compreensão é o que fará com que os requisitos do sistema sejam adequadamente identificados para permitir que seus usuários desempenhem funções específicas em conjunto e de forma organizada para resolver tarefas ou problemas, minimizando a possibilidade de perderem a motivação ao utilizar o sistema.

Usuários da *internet* trabalham em comunidade por diversas razões [16]: pela possibilidade de se auto controlarem sem a necessidade de gerentes; porque as tarefas são feitas com base na persuasão e argumentação ao invés de determinação por parte de uma autoridade; e pelo reconhecimento e respeito adquiridos (quem num ambiente comunitário acaba tendo mais importância do que o incentivo financeiro).

Pan e Blevis [11] identificaram que as práticas colaborativas dependem de determinados contextos (acadêmico, empresarial ou social), de certas dimensões (papéis, comportamentos e mídia) e de certas variáveis (tipo de liderança, propriedade, capacidade de coordenação e gestão de conflitos, integração, atribuição, mobilidade e ubiquidade). Tanto os contextos quanto as dimensões e variáveis identificados pelos pesquisadores estão relacionados com a imprevisibilidade do comportamento humano, nomeadamente fatores humanos.

Roy et al [17] destacam que existem pesquisas sendo feitas sobre mecanismos de avaliação das tarefas realizadas nos ambientes de *crowdsourcing*, processos de atribuição e divisão de tarefas aos usuários, formas de remuneração de acordo com as habilidades dos executores das tarefas, entre outros aspectos técnicos, mas pouca atenção está sendo dada ao risco da falta de detalhamento dos fatores humanos que precisam ser considerados nos projetos de sistemas de *crowdsourcing*.

B. *Wicked Problems e a Engenharia de Requisitos*

Wicked problems são problemas abertos sem formulação clara ou objetivos bem definidos e que são difíceis de serem decompostos em problemas menores [18] [19] [20]. Para essa categoria de problemas, é comum que os *stakeholders* nem sempre concordem com o que o problema realmente é, e não se pode afirmar que existem respostas certas ou erradas, mas apenas respostas que são melhores ou piores dependendo de diferentes pontos de vista [19]. Como exemplo, a maioria dos problemas sociais (relacionados com o ambiente, saúde, pobreza, educação e criminalidade) são considerados como *wicked problems* devido ao seu contexto social complexo [20] [21].

Sistemas de *crowdsourcing* podem ser utilizados como ferramentas de colaboração em massa para resolver *wicked problems* [18] [22]. Mas, levantar requisitos para situações complexas não é uma tarefa trivial, pois as ferramentas, técnicas e procedimentos utilizados em processos tradicionais de levantamento de requisitos, apesar de maduras, tem sido alvo de críticas com relação à sua aplicabilidade, pois em face a problemas complexos, o processo completo de levantamento de requisitos precisa ser reexaminado sob um ponto de vista mais holístico considerando: o papel dos *stakeholders* durante o processo; a natureza dos requisitos; e a influência do ambiente do sistema [23]. Sutcliffe e Sawyer [24] também afirmam que as técnicas tradicionais de levantamento de requisitos (entrevistas, observação, realização de *workshops*, realização de diálogos, utilização de protótipos, entre outros) se provaram relativamente maduras ao longo dos anos e, apesar da sua utilização combinada, a incorporação de técnicas de simulação e de criação de ambientes virtuais possui potencial para o desenvolvimento de novas pesquisas na área de engenharia de requisitos.

C. *Modelagem Baseada em MultiAgentes*

É importante que os sistemas de *crowdsourcing* sejam criados com base nas motivações intrínsecas e extrínsecas [4] [11] dos usuários para que tenham uso contínuo. Pesquisas recentes na área não exploram como essas motivações mudam com o tempo e como isso afeta a dinâmica de utilização do sistema [25]. Pan e Blevis [11] também recomendam que se façam mais estudos sobre o comportamento dos participantes e sua interação com os sistemas de *crowdsourcing*.

É possível avaliar a complexidade do comportamento dos usuários de um sistema por meio de modelagem e simulação baseada em agentes. Segundo Zou, Gil e Tharayil [15], a modelagem baseada em agentes permite o estudo do comportamento complexo de diversas entidades autônomas e auxilia a obtenção de informações sobre padrões de comportamentos complexos que podem emergir a partir da dinâmica dos agentes com as tarefas e o ambiente modelado.

Além disso, uma simulação baseada em multiagentes é particularmente útil quando os testes de um sistema são muito caros, difíceis, inconvenientes, cansativos ou até mesmo impossíveis de serem realizados com uma quantidade muito grande de pessoas [26].

IV. METODOLOGIA

Nesta pesquisa serão seguidas as seguintes etapas (Fig. 1):

1. Mapear os fatores humanos que devem ser considerados na criação de um sistema de *crowdsourcing*;
2. Mapear os requisitos funcionais de um sistema de *crowdsourcing* visando resolução de tarefas;
3. Modelar e implementar um sistema (simulado) de *crowdsourcing* no *framework* de programação de multiagentes JaCaMo [27];
4. Comparar os resultados da simulação do sistema de *crowdsourcing* com dados de outras pesquisas na área para verificar que os comportamentos dos agentes estão de acordo com os modelos teóricos de mecanismos de incentivo ou com resultados empíricos advindos da análise de outros sistemas.

V. RESULTADOS ESPERADOS

Ao fim da pesquisa espera-se apresentar os seguintes resultados:

1. Mostrar que interações complexas entre um sistema de *crowdsourcing* e seus usuários podem ser previstas antes da implementação real do sistema;
2. Mostrar que a modificação dos coeficientes dos fatores humanos pode potencializar ou prejudicar a utilização de um sistema de *crowdsourcing*;
3. Mostrar que simulações de sistemas de *crowdsourcing* utilizando o *framework* de programação JaCaMo se beneficiam com a combinação das tecnologias Jason, Cartago e Moise.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho de pesquisa têm o apoio do CEST - Centro de Estudos Sociedade e Tecnologia da Universidade de São Paulo.

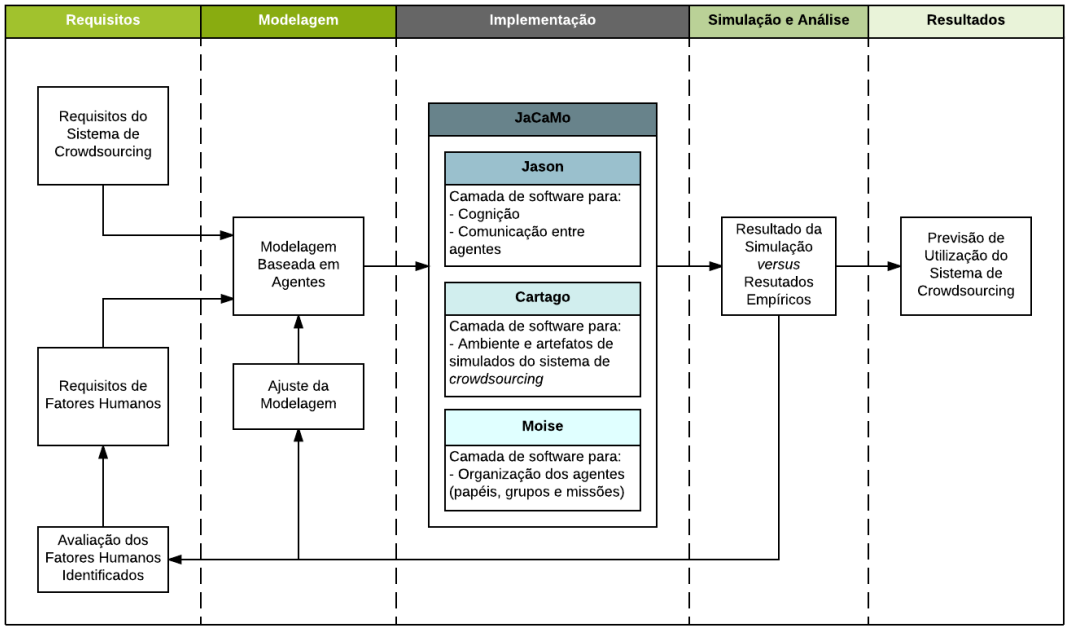


Fig. 1 Etapas da Pesquisa

REFERÊNCIAS

[1] HOWE, J. The rise of crowdsourcing. Wired magazine, v. 14, n. 6, p. 1-4, 2006.

[2] ESTELLÉS-AROLAS, E.; GONZÁLEZ-LADRÓN-DE-GUEVARA, F. Towards an integrated crowdsourcing definition. Journal of Information Science, v. 38, n. 2, p. 189-200, 2012.

[3] RUDMAN, R.; BRUWER, R. Defining Web 3.0: opportunities and challenges. The Electronic Library, v. 34, n. 1, p. 132-154, 2016.

[4] ZHAO, Y.; ZHU, Q. Evaluation on crowdsourcing research: Current status and future direction. Information Systems Frontiers, v. 16, n. 3, p. 417-434, 2014.

[5] NEWMAN, R. et al. Web 2.0 - The past and the future. International Journal of Information Management, v. 36, n. 4, p. 591-598, 2016.

[6] WHITAKER, R. M.; CHORLEY, M.; ALLEN, S. M. New frontiers for crowdsourcing: The extended mind. In: System Sciences (HICSS), 2015 48th Hawaii International Conference on. IEEE, 2015. p. 1635-1644.

[7] TAPSCOTT, D.; WILLIAMS, A. D. Wikinomics: How Mass Collaboration Changes Everything. Portfolio, Penguin Group, New York, 2007.

[8] SILVA, T., MELO, P. O. S.; ALMEIDA, J.; MUSOLESI, M. You are What you Eat (and Drink): Identifying Cultural Boundaries by Analyzing Food and Drink Habits in Foursquare. In 8th AAAI International Conference on Weblogs and Social Media (ICWSM 14), 2014.

[9] DOAN, A.; RAMAKRISHNAN, R.; HALEVY, A. Y. Crowdsourcing systems on the world-wide web. Communications of the ACM, v. 54, n. 4, p. 86-96, 2011.

[10] SPRINGER, T.; HARA, T.; SCHILL, A. On Providing Crowdsourcing as a Service. In: Proceedings of the 2013 IEEE/ACM 6th International Conference on Utility and Cloud Computing. IEEE Computer Society, 2013. p. 510-511.

[11] PAN, Y.; BLEVIS, E. A survey of crowdsourcing as a means of collaboration and the implications of crowdsourcing for interaction design. In:Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2011 International Conference on. IEEE, 2011. p. 397-403.

[12] YUEN, M.; KING, I.; LEUNG, K. A survey of crowdsourcing systems. In: Privacy, Security, Risk and Trust (PASSAT) and 2011 IEEE Third Inernational Conference on Social Computing (SocialCom), 2011 IEEE Third International Conference on. IEEE, 2011. p. 766-773.

[13] HETMANK, L. Components and Functions of Crowdsourcing Systems-A Systematic Literature Review. Wirtschaftsinformatik, v. 4, 2013.

[14] SABOU, M.; BONTCHEVA, K.; SCHARL, A. Crowdsourcing research opportunities: lessons from natural language processing. In: Proceedings of the 12th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies. ACM, 2012. p. 1.

[15] ZOU, G.; GIL, A.; THARAYIL, M.. An agent-based model for crowdsourcing systems. In: Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference. IEEE Press, 2014. p. 407-418.

[16] HOWE, J. Crowdsourcing: why the power of the crowd is driving the future of business. Crown Business, 2009.

[17] ROY, S. B. et al. Crowds, not drones: Modeling human factors in interactive crowdsourcing. In: DBCrowd 2013-VLDB Workshop on Databases and Crowdsourcing. CEUR-WS, 2013. p. 39-42.

[18] POTTER, A.; MCCLURE, M.; SELLERS, K. Mass collaboration problem solving: A new approach to wicked problems. In: Collaborative Technologies and Systems (CTS), 2010 International Symposium on. IEEE, 2010. p. 398-407.

[19] SIMON, H. A. The structure of ill structured problems. Artificial Intelligence, v. 4, n. 3-4, p. 181-201, 1973.

[20] RITTEL, H. W. J.; WEBBER, M. M. Dilemmas in a general theory of planning. Policy sciences, v. 4, n. 2, p. 155-169, 1973.

[21] INTRONE, J. et al. Solving wicked social problems with socio-computational systems. KI-Künstliche Intelligenz, v. 27, n. 1, p. 45-52, 2013.

[22] CHIU, C.; LIANG, T.; TURBAN, E. What can crowdsourcing do for decision support?. Decision Support Systems, v. 65, p. 40-49, 2014.

[23] KATINA, P. F.; KEATING, C. B.; RA'ED, M. J. System requirements engineering in complex situations. Requirements Engineering, v. 19, n. 1, p. 45-62, 2014.

[24] SUTCLIFFE, A.; SAWYER, P. Requirements elicitation: Towards the unknown unknowns. In: 2013 21st IEEE International Requirements Engineering Conference (RE). IEEE, 2013. p. 92-104.

[25] SOLIMAN, W.; TUUNAINEN, V. K. Understanding continued use of crowdsourcing systems: an interpretive study. Journal of theoretical and applied electronic commerce research, v. 10, n. 1, p. 1-18, 2015.

[26] DAVIDSSON, P. Multi agent based simulation: beyond social simulation. In: Multi-Agent-Based Simulation. Springer Berlin Heidelberg, 2000. p. 97-107.

[27] BOISSIER, O. et al. Multi-agent oriented programming with JaCaMo. Science of Computer Programming, v. 78, n. 6, p. 747-761, 2013.

ALTO-VC: Integração proativa entre redes de distribuição de conteúdo e redes definidas por software

HERNANDEZ, M. P.*; CHIGAMI, L. *; KOPP, S.*; SILVEIRA, R. M.*
*Laboratório de redes e arquitetura de computadores - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
E-mail: {mhernandez,lchigami,samuel,regina}@larc.usp.br

***Resumo*— O presente trabalho trata o tema da integração entre redes de distribuição de conteúdo e redes definidas por software. A literatura mostra a utilização do protocolo ALTO neste assunto como uma camada de abstração essencialmente passiva, provendo informações da topologia e custos entre as diversas divisões administrativas da infraestrutura de rede. O modo proativo em redes definidas por software antecipa a ação do controlador da rede, predefinindo as regras de encaminhamento nos comutadores. O ganho significativo deste modo de operação é observado na diminuição da latência na transmissão dos fluxos. O objetivo deste trabalho é propor o mecanismo ALTO-VC, visando beneficiar os serviços de distribuição de conteúdo através do modo de operação proativo da rede definida por software. Para isso propõe-se estender o protocolo ALTO com serviços de caráter ativo através dos quais serão enviadas requisições para a definição antecipada de circuitos virtuais. Os resultados obtidos demonstram a diminuição da latência experimentada pelos conteúdos distribuídos na rede quando aplicada a integração.**

***Palavras-chave*— CDN; SDN; ALTO.**

I. Introdução

Rede Definida por Software (SDN) [1] é um novo paradigma que visa facilitar a criação de redes dinâmicas, gerenciáveis e adaptáveis. Nesta abordagem, a rede é definida como uma entidade programável e abstrai os serviços e aplicações de rede das camadas inferiores através de padrões abertos, como o protocolo OpenFlow [2]. Para isto, estabelece o *Controlador* como o elemento responsável por determinar as ações a serem aplicadas em cada fluxo de pacotes nos comutadores.

Um dos grandes benefícios desta estratégia é que permite a um elemento, que possui uma visão holística da rede, a definição do modo de tratamento dos pacotes. Ademais, permite a este expor uma API para as aplicações usuárias da rede, de modo a terem acesso às informações da rede, e também informar como fluxos específicos devem ser tratados. Um exemplo deste tipo de funcionalidade é o *Intents* [3], através do qual as aplicações podem definir as "intenções" de conectividade almejadas de forma proativa. A Figura 1 demonstra os ganhos significativos que podem ser alcançados na utilização deste mecanismo em uma transmissão de dados usando HTTP, conforme o trabalho apresentado em [4].

O grande desafio no entanto é a definição da abstração "ótima" entre a rede e as aplicações para que estas facilidades sejam úteis a um grande número de aplicações, sem que estas prejudiquem o funcionamento geral da rede.

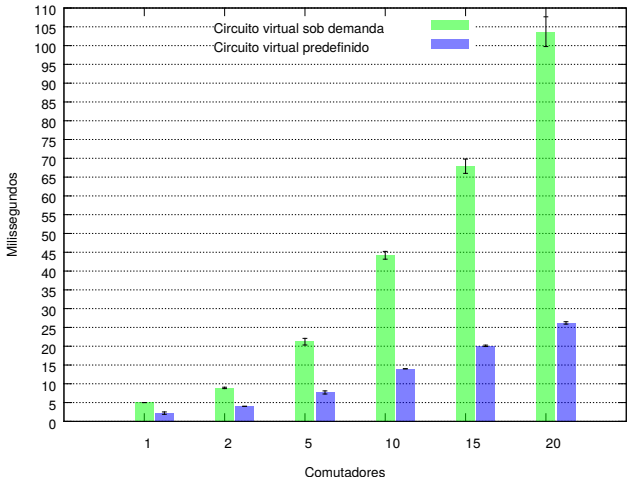


Figura 1: Comparação entre a latência no recebimento do primeiro pacote de uma transmissão HTTP usando circuito virtual reativo ou proativo.

Para tratar esta questão, é observada a utilização do protocolo ALTO [5] por permitir a padronização de uma camada de abstração entre a rede e as aplicações, como as redes de distribuição de conteúdo (CDNs) [6]. O ALTO tem como objetivo prover um conjunto de informações que permitem às aplicações otimizar a tomada de decisões nos aspectos relacionados a rede, proporcionando um melhor QoE aos usuários, além de permitir um uso mais eficiente da mesma.

Contudo, as interfaces definidas até o momento pelo ALTO atentam apenas a interação estritamente passiva em relação a rede. Apesar destas já proporcionarem diversos benefícios quanto ao uso da rede, não permitem explorar algumas das funcionalidades advindas com a SDN, como o modo proativo.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo propor a definição de uma extensão do ALTO, que permitirá às aplicações interagirem de forma ativa com a rede, através da solicitação do estabelecimento de "circuitos virtuais" entre os elementos da rede.

II. Trabalhos relacionados

Os benefícios no uso das SDNs já são um assunto amplamente retratado em [7], [8], [9], [10]. Entre estas possibilida-

des, foram identificadas algumas pesquisas relacionadas com o presente trabalho.

O primeiro aspecto a ressaltar é a busca por mecanismos que permitam as aplicações (e.g. serviços de distribuição de conteúdo) utilizar de forma mais eficiente a rede e/ou prover mecanismos de QoS através de meios em que estas possam exercer um papel ativo na rede. Nesta linha, o *Kaleidoscope* [11] é uma proposta que possibilita, entre outros, o uso de *multicast* usando *OpenFlow*. Outro trabalho interessante é apresentado em UFair [12], o qual implementado permite a alocação de recursos através dos *meter tables* e *meter bands* do *OpenFlow* na versão 1.3 para prover QoE na transmissão de vídeos.

O segundo aspecto é o modo de abstração dos serviços providos pela rede (ISPs) aos clientes desta (e.g. CDNs). Esta questão é muito importante para que as aplicações possam efetivamente fazer o uso das funcionalidades avançadas providas pela SDN. Um exemplo desta iniciativa é o *Meridian* [13], em que é implementada uma plataforma SDN para serviços de rede na nuvem. Este define uma API para que os serviços de orquestração de nuvem (e.g. OpenStack) possam requisitar ao serviço de gerenciamento de rede o estabelecimento de conectividade entre servidores, inclusive com priorização de tráfego. No entanto, a utilização do ALTO [5] como protocolo de abstração tem sido amplamente indicado em diversas pesquisas, como apresentadas em [14], [15], [16], [10], [18], [19]. Entre os benefícios desta estratégia é que além de ser um protocolo já especificado pelo IETF, o modelo de dados definido é bem flexível, atendendo a diversas necessidades. Ademais, novas extensões estão sendo propostas para atender mais cenários.

Assim, o trabalho proposto visa contribuir na evolução dos aspectos apresentados, propondo uma extensão ao protocolo ALTO para que as aplicações possam desempenhar um papel mais ativo na rede.

III. ALTO-VC

O protocolo ALTO propõe fornecer uma visão da infraestrutura de rede conforme a conveniência dos provedores de serviços ("My Internet View"). O ALTO foi elaborado para contribuir com a tomada de decisões em serviços que possuam mais de uma fonte de conteúdo e opera utilizando o protocolo HTTP disponibilizando recursos RESTful [20]. Os principais serviços de informação do ALTO podem ser observados na Figura 2.

Através do protocolo ALTO as informações sobre a infraestrutura de rede podem ser observadas como um conjunto de agregações (hosts, sub-rede, conjunto de sub-redes, área metropolitana) e os custos associados entre estas agregações, chamadas localizações de rede. O custo definido pelo protocolo é genérico, deixando ao fornecedor de serviço (e.g. ISP) a implementação do mesmo através de políticas internas (banda disponível, atraso, distância, etc). Estas informações compõem o *Mapa da rede* e o *Mapa de custos*.

A proposta aqui apresentada não modifica a semântica do protocolo ALTO. Ao contrário, ALTO-VC adota as

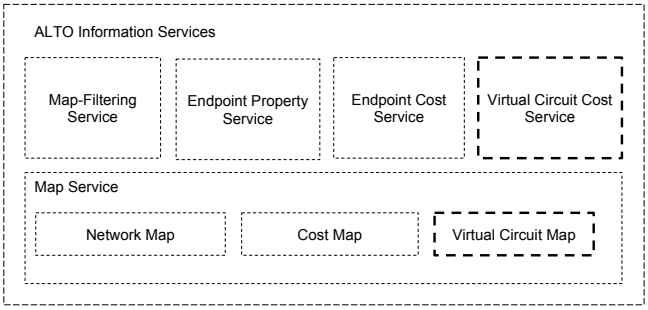


Figura 2: Framework do Serviço de Informações ALTO integrado ao ALTO-VC

especificações ALTO para prover uma nova forma de interação entre as camadas CDN-SDN tradicionalmente separadas funcionalmente.

A. Estrutura interna

ALTO-VC propõe a inserção de dois novos serviços conforme ilustrado com linhas descontínuas na Figura 2. O *Mapa de circuitos virtuais*, mostrado na Lista 2, permite ao protocolo oferecer uma interface de comunicação bidirecional, na qual, além do comportamento tradicional de consulta das informações sobre um serviço pela CDN, pode ser solicitado a instalação de forma proativa de um conjunto de regras de encaminhamento na SDN. Neste trabalho é adotada a nomenclatura de circuito virtual para descrever este conjunto de regras que, abstraídos como uma rota fim-a-fim, podem ser monitorados e aplicados sobre eles mecanismos de QoS como alocação de recursos e controle de tráfego.

O *Mapa de custos de circuitos virtuais*, observado na Lista 1, diminui a granularidade no tratamento dos custos na especificação ALTO (custo entre localizações de rede). Através deste serviço, duas localizações de rede podem possuir vários custos associados de acordo com as características dos circuitos virtuais que interconectam elas. Este serviço pode contribuir principalmente em operações de engenharia de tráfego (SDN) e no gerenciamento de políticas de contabilização e monetização (CDN).

B. Arquitetura

Dentro do contexto da integração, o presente trabalho propõe uma arquitetura que envolve diversos módulos os quais podem ser observados na Figura 3. Estes módulos abstraem as funcionalidades de ambas camadas (CDN-SDN) e provem uma interface comum que viabiliza a utilização do ALTO-VC.

O Módulo de Abstração de Rede da SDN, tem como principal função definir uma interface de comunicação entre os elementos da CDN e a infraestrutura de rede, garantindo a autonomia na administração desta. Para isso, este módulo precisa ser capaz de expor as informações da infraestrutura de rede mediante as políticas de sigilo do agente administrador desta, por exemplo, de um ISP. Além disso deverá oferecer mecanismos para execução de operações de otimização da

distribuição de conteúdo, por exemplo, a criação dinâmica de circuitos virtuais.

A principal responsabilidade do Módulo de Abstração da CDN é consolidar as informações da infraestrutura da rede com as informações dos elementos da CDN que realizam a distribuição do conteúdo. Este módulo deve ter a capacidade de solicitar ao Módulo de Abstração da SDN, de maneira proativa, a criação dos circuitos virtuais que interligam os servidores de réplica ativos. Isto é, definir proativamente um conjunto de regras nas tabelas de fluxo dos comutadores OpenFlow que conectam os servidores que efetuam a distribuição do conteúdo.

Lista 1: Mapa de custos de circuitos virtuais

```
{
 "meta" : {
  "vtag" : {
   "resource-id": "my-virtualcircuit-costmap",
   "tag": "da65eca2eb7a10"
  },
  "cost-type" : {"cost-mode": "virtual-circuit",
  "cost-metric": ["bw", "delay", "..."]}
 },
 "cost-map" : {
  "VC-ID1" : [{"bw" : 10}, {"delay" : 150}],
  "VC-ID2" : [{"bw" : 50}, {"delay" : 200}],
  "VC-ID3" : [{"bw" : 15}, {"delay" : 100}],
  "VC-ID4" : [{"bw" : 20}, {"delay" : 150}]
 }
}
```

Lista 2: Mapa de circuitos virtuais

```
{
 "meta": {
  "vtag": {
   "resource-id": "my-virtualcircuit-map",
   "tag": "2e3f8eb1d4785"
  },
  "virtualcircuit-metrics": {
   "virtualcircuit-delay": "ms",
   "virtualcircuit-bandwitdth": "Mbits"
  }
 },
 "virtualcircuit-map": {
  "VC-ID1": {
   "src": {
    "ipv4": [
     "192.0.2.0/24",
     "198.52.100.0/25"
    ]
    },
   "dst": {
    "ipv4": [
     "192.0.3.0/24",
     "198.51.100.0/25"
    ]
   },
  "virtualcircuit-constrains": {
   "virtualcircuit-delay": "100",
   "virtualcircuit-bandwitdth": "2"
   }
 }
}
```

IV. Experimentos

Para a realização dos experimentos foi modelada uma topologia que pudesse simular uma rede de distribuição de conteúdo, com a inclusão de serviços que viabilizem essa distribuição. O objetivo do experimento é a coleta de métricas que atestem o benefício da integração através de um mecanismo proativo.

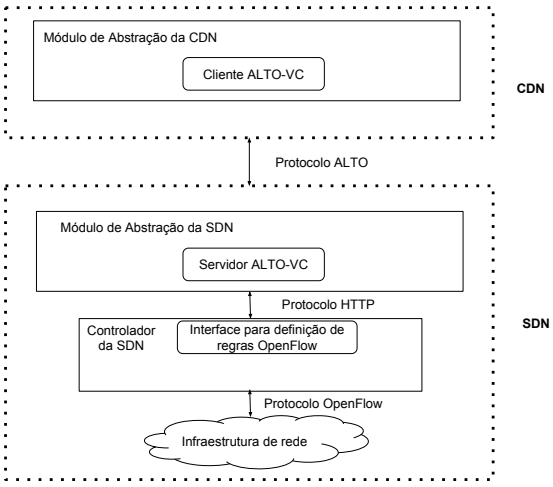


Figura 3: Arquitetura da integração (CDN-SDN) aplicando ALTO-VC

A topologia foi elaborada utilizando a ferramenta Mininet [21] na versão 2.2.1, o controlador de rede SDN ONOS [22] na versão 1.5.0, todas sendo executadas em servidores com Ubuntu 14.04. Com o objetivo de elaborar uma topologia que represente de forma fiel uma infraestrutura real, foram configurados parâmetros de atraso e largura de banda entre os comutadores e os *hosts* virtuais, além da configuração de um controlador de rede remoto. A representação da topologia pode ser vista na Figura 4, e as configurações de *hardware* utilizadas na montagem do ambiente podem ser vistas na Tabela I.

Para a coleta das métricas, foi montado um sistema que simula uma transmissão de um arquivo através de servidores de réplica utilizando uma rota predefinida. Foram coletados os tempos de transmissão de um arquivo de 15 *KBytes* com e sem o uso de circuitos virtuais previamente configurados.

Tabela I: Características dos equipamentos utilizados no experimento

	Fabricante	**CPU**	**Memória**
Rede virtual	IBM	Intel(R) Xeon(R) E5-2407	16 GB
Controlador	Dell	Intel(R) Core(TM) i3-2120	8 GB

V. Resultados

As médias calculadas obtidas através de 10 medições mostram um ganho de 82,67% no tempo de requisição com o uso do circuito virtual, em uma rota que compreende 2 servidores de réplica, 1 servidor que disponibiliza o arquivo e 7 comutadores *OpenFlow*.

Uma análise de escalabilidade da proposta de integração foi realizada medindo os tempos de instalação dos circuitos virtuais de acordo com a quantidade de regras solicitadas. Os resultados obtidos estão representados na Figura 5 e discutidos na seguinte seção.

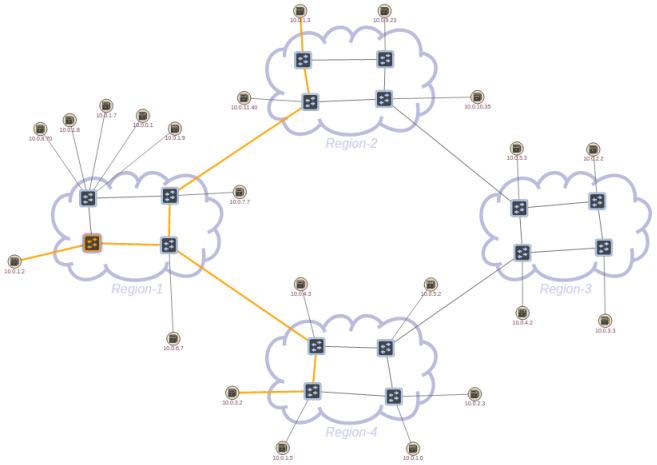


Figura 4: Topologia da rede com mapa de circuitos virtuais instalado

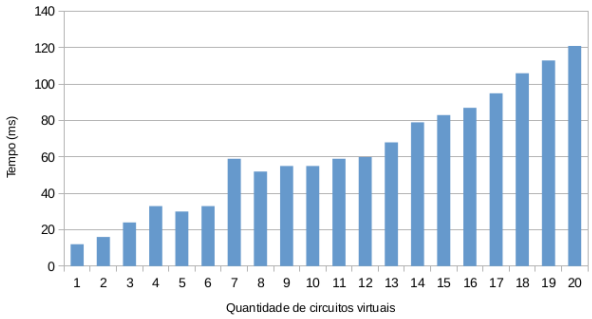


Figura 5: Tempos de instalação do mapa de circuitos virtuais

VI. Conclusões

Os avanços alcançados através de diversas pesquisas demostram os benefícios que a SDN pode proporcionar para as aplicações e serviços, como as CDNs, ao utilizar as informações providas por estas. Além disso, a utilização de funcionalidades como o *Intents* permite às aplicações requisitar tratamentos mais adequados para fluxos de dados específicos.

O ALTO tem sido indicado em diversas pesquisas como um protocolo para padronizar a camada de abstração entre as aplicações e a rede. No entanto, até o momento, este protocolo permite com que as aplicações executem um papel passivo na interação com a rede. O presente trabalho apresentou uma extensão ao ALTO, o ALTO-VC (Virtual Circuit), permitindo com que as aplicações possam requisitar o acesso a funcionalidades como o *Intents*, através de um *Mapa de circuitos virtuais*.

Finalmente, os resultados obtidos em experimentos demostram que através desta interface proposta é possível que as aplicações solicitem a criação de circuitos virtuais entre os nós indicados. Ademais, demonstram que o custo (latência) desta solicitação não é aditiva, mas apresenta um acréscimo de menos de 50% do custo de cada instalação de circuito virtual de forma individual.

Referências

[1] Open Networking Foundation. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks [white paper]. *ONF White Paper*, p. 1–12, 2012.

[2] MCKEOWN, N. et al. OpenFlow. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, v. 38, n. 2, p. 69, mar 2008. ISSN 01464833.

[3] ON.LAB. *Intent Framework - ONOS - Wiki*. Disponível em: <https://wiki.onosproject.org/display/ONOS/Intent+Framework>.

[4] KOPP, S. et al. *Sistema para Rede de Distribuição de Conteúdos integrado à tecnologia SDN*. São Paulo, 2015. 177 p.

[5] PENNO, R. A. et al. Application-Layer Traffic Optimization (ALTO) Protocol. *RFC7285*, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2015. ISSN 1098-6596.

[6] PALLIS, G.; VAKALI, A. Insight and perspectives for content delivery networks. *Communications of the ACM*, v. 49, n. 1, p. 101–106, jan 2006. ISSN 00010782.

[7] FARHADY, H.; LEE, H.; NAKAO, A. Software-Defined Networking: A survey. *Computer Networks*, Elsevier B.V., v. 81, p. 79–95, 2015. ISSN 13891286.

[8] HAKIRI, A. et al. Software-Defined Networking: Challenges and research opportunities for Future Internet. *Computer Networks*, Elsevier B.V., v. 75, p. 453–471, 2014. ISSN 1389-1286.

[9] NUNES, B. A. a. et al. A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, v. 16, n. 3, p. 1617–1634, 2014. ISSN 1553877X.

[10] AHMAD, I. et al. New Concepts for Traffic , Resource and Mobility Management in Software-Defined Mobile Networks New Concepts for Traffic , Resource and Mobility Management in Software-Defined Mobile Networks. n. JANUARY, p. 41–48, 2016.

[11] ZHANG, Q. et al. Kaleidoscope: Real-time content delivery in software defined infrastructures. *Proceedings of the 2015 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, IM 2015*, p. 686–692, 2015.

[12] MU, M. et al. A Scalable User Fairness Model for Adaptive Video Streaming over Future Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, v. 34, n. 8, p. 1–1, 2016. ISSN 0733-8716.

[13] BANIKAZEMI, M. et al. Meridian: An SDN platform for cloud network services. *IEEE Communications Magazine*, v. 51, n. 2, p. 120–127, 2013. ISSN 01636804.

[14] FAIGL, Z.; SZABO, Z.; SCHULCZ, R. Application-layer traffic optimization in software-defined mobile networks: A proof-of-concept implementation. In: *2014 16th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium (Networks)*. [S.l.]: IEEE, 2014. p. 1–6. ISBN 978-1-4799-6515-1.

[15] GURBANI, V. K. et al. Abstracting network state in Software Defined Networks (SDN) for rendezvous services. *IEEE International Conference on Communications*, p. 6627–6632, 2012. ISSN 15503607.

[16] NISHAT-I-MOWLA; DOH, I.; CHAE, K. Multi-Defense Mechanism against DDoS in SDN based CDNi. *Eighth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing Multi-Defense*, p. 447–451, 2014.

[17] Shi Li et al. Key management mechanism in ALTO/SDN based CDNi architecture. In: *2015 International Conference on Information Networking (ICOIN)*. [S.l.]: IEEE, 2015. v. 2015-Janua, p. 110–115. ISBN 978-1-4799-8342-1. ISSN 19767684.

[18] XIE, H. et al. *Use Cases for ALTO with Software Defined Networks*. [S.l.], 2012. 1–29 p.

[19] ARUMAITHURAI, M. et al. Evaluation of ALTO-enhanced request routing for CDN interconnection. *IEEE International Conference on Communications*, p. 3519–3524, 2013. ISSN 15503607.

[20] SEEDORF, J.; BURGER, E. Application-layer traffic optimization (ALTO) problem statement. *Network Working Group*, v. 5693, p. 1–14, 2009.

[21] LANTZ, B.; HELLER, B.; MCKEOWN, N. A network in a laptop: rapid prototyping for software-defined networks. . . . *Workshop on Hot Topics in Networks*, p. 1–6, 2010. ISSN 1450304095.

[22] BERDE, P. et al. ONOS: towards an open, distributed SDN OS. *Proceedings of the third workshop on Hot topics in software defined networking - HotSDN '14*, p. 1–6, 2014.

Análise de atributos obtidos com o uso de Redes Neurais Convolucionais para classificação de imagens em Acervos Históricos e Culturais

AGARIE JR, C.*; GOMI, E. S.*
*Laboratório de Engenharia do Conhecimento — KNOMA
Escola Politécnica — Universidade de São Paulo
E-mail: carlos.agarie@gmail.com, gomi@usp.br

***Abstract*—The advance of digitization technologies allowed the proliferation of several digital cultural heritage collections. One of the existing challenges in this domain is being able to search images based on their content. This has been traditionally addressed by manually classifying each image with a set of keywords for indexing, which is a labor intensive and expensive task for large collections. One way to attack this problem is by using Machine Learning classifiers. However, cultural heritage collections present two characteristics that make training a classifier hard. Some of the labels used have few samples, which hurts generalization performance. Second, labels depend on several characteristics that can be difficult to capture in algorithms, like the presence of objects, the artistic style and the material of the depicted work. Current research shows that features described by local information are generally better than ones described by global information, but designing features is hard. Recent experiments have shown good results in using Convolutional Neural Networks (CNNs) for extracting features of images, by using the last layer of a CNN as a representation for training a SVM classifier. This strategy still can't beat traditional methods like training classifiers on features obtained via Fisher Vectors in the limited domain of cultural heritage collections. The research project is in a exploratory stage, thus in this paper the process of extracting features from a CNN to improve the performance of indexing and search in digital cultural heritage collections will be analyzed.**

***Keywords*— Deep Learning; Convolutional Neural Networks; Machine Learning; Cultural Heritage Collections.**

***Resumo*— O avanço das tecnologias de digitalização permitiu o surgimento de inúmeros acervos digitais de coleções históricas e culturais. Um dos desafios que existem é o da indexação e da busca de imagens de interesse dentro de um acervo. O método de indexação tradicional consiste em rotular manualmente cada imagem por meio de palavras-chave. Entretanto, a descrição manual torna-se uma tarefa cara e cansativa em coleções com milhares de imagens. Uma forma de atacar este problema é através do uso de classificadores de *Machine Learning*, que tentam estimar o rótulo correto de uma imagem. Acervos digitais apresentam duas características que tornam difícil o treinamento de classificadores. Apesar de existirem acervos com milhares de imagens, há categorias com poucos exemplos, o que dificulta o treinamento; e os rótulos dependem de características variadas, como a presença de objetos, o estilo artístico e o tipo de material das obras retratadas. Além disso, a classificação das imagens é baseada na definição de atributos, que é uma tarefa trabalhosa se feita manualmente. Pesquisas realizadas mostraram que, para imagens de acervos históricos e culturais, os atributos descritos por informações locais como a textura de uma parte de uma pintura propiciam um desempenho melhor para caracterizar similaridade do que propriedades globais das imagens. Entretanto, identificar atributos locais é uma tarefa difícil. Experimentos recentes mostraram resultados promissores com o uso de *Convolutional Neural Networks* (CNNs). A estratégia adotada foi treinar uma CNN para reconhecimento de objetos em datasets grandes, como o ImageNet, e usá-la para extrair atributos que foram usados para treinar um classificador SVM. Essa abordagem ainda não foi suficiente para superar o desempenho de métodos tradicionais como treinar classificadores em atributos obtidos via *Fisher Vectors*. O projeto de pesquisa está em fase exploratória e neste artigo será analisada a obtenção de atributos com o uso de CNNs para melhorar o desempenho na indexação e busca em imagens dentro de acervos digitais históricos e culturais.**

***Palavras-chave*— Deep Learning; Redes Neurais Convolucionais; Aprendizagem de Máquina; Acervos Culturais e Históricos.**

I. Introdução

Acervos Históricos e Culturais são coleções de documentos como fotografias, contratos e mapas que possuem valor cultural e que são mantidos para consulta por pesquisadores. Devido aos avanços das tecnologias de digitalização e da capacidade de armazenamento em disco, tornou-se comum digitalizar acervos físicos tanto para preservá-los quanto para disponibilizá-los on-line. Para tanto, é necessário categorizar as imagens e indexá-las. A categorização é feita manualmente e é cara, cansativa e demorada, o que faz com que muitos acervos possuam obras digitalizadas que não estão disponíveis para busca [4].

Uma solução para esse problema é a utilização de classificadores de Aprendizagem de Máquina. Neste problema específico, um classificador é um programa que usa algum método para estimar um rótulo a partir da imagem obtida pelo processo de digitalização. Os métodos tradicionais se baseiam em extrair atributos das imagens, essencialmente mapeando cada imagem em um vetor, e treinar um modelo (e.g. SVM) para classificá-las.

Acervos digitais apresentam duas características que tornam esse procedimento difícil. Primeiro, apesar de existirem acervos digitais com milhares de imagens, há categorias com poucos exemplos, o que dificulta o poder de generalização de modelos treinados. Segundo, os métodos tradicionais de classificação de imagens dependem da definição de atributos para estas. Pesquisas realizadas mostraram que, para imagens

de acervos históricos e culturais, os atributos descritos por informações locais como a textura de uma parte de uma pintura propiciam um desempenho melhor do que propriedades globais. Entretanto, é necessário bastante criatividade para encontrar um conjunto de atributos que permita essa classificação com bom desempenho, ou seja, identificar atributos locais manualmente é uma tarefa difícil.

Redes Neurais Convolucionais (do inglês Convolutional Neural Networks, ou CNNs) é um modelo que apresenta bons resultados em vários problemas de Visão Computacional [2], [1], sendo sua principal característica o uso de camadas convolucionais, que são filtros lineares cujos pesos são aprendidos através do algoritmo de Backpropagation. Razavian et al. mostraram que as CNNs tem grande potencial como extratores de atributos, obtendo bons resultados comparado aos métodos tradicionais [5]. Entretanto, o mesmo resultado não se repete em acervos digitais. Em [4] vemos que a solução mais simples — usar uma CNN pronta, treinada no ImageNet — não consegue superar o desempenho de métodos tradicionais como SVMs treinadas em atributos obtidos com *Fisher Vectors*. O trabalho de pesquisa descrito neste artigo tem como objetivo levantar hipóteses que expliquem essa diferença de modo a guiar os experimentos futuros.

II. Revisão da literatura

Pesquisas recentes apresentam a abordagem em que uma CNN é treinada em um problema como reconhecimento de objetos em um dataset com milhões de imagens (ImageNet) e os valores das últimas camadas desta rede são usados como atributos para representar as imagens em outros problemas [5], [6], [3]. É notável que o desempenho apresentado é bom mesmo que a rede seja usada para problemas diferentes daquele para o qual foi treinada. Razavian et al. também analisam formas de melhorar o desempenho da rede [5]: pode-se realizar o fine-tuning, que consiste em treiná-la no dataset menor e mais específico tendo como ponto de partida a rede treinada no dataset maior (ImageNet), ou usar uma rede projetada para a tarefa em questão.

O artigo [4] aborda os desafios da classificação de imagens no contexto de indexação em acervos culturais e históricos. Apesar do problema parecer superficialmente com o tratado em [5], acervos digitais possuem características que tornam o treinamento de classificadores mais difícil. Primeiro, há categorias que possuem muito poucos exemplos. Segundo, os rótulos podem depender de vários tipos de atributos diferentes da imagem, como características físicas (cor, forma, etc), conteúdo semântico (identificação de objetos, tipo de arte, etc) e propriedades físicas (material, textura, método de construção). Os experimentos realizados mostram que CNNs treinadas em datasets externos por si só não são suficientes para melhorar o desempenho em relação ao estado da arte.

III. Resultados experimentais

O experimento realizado até agora é uma reprodução dos testes de rotulação automática descritos em [4]. A rede OverFeat (a mesma usada em [5]) foi utilizada para mapear as imagens do dataset em vetores de atributos, os quais foram usados para treinar um classificador SVM com validação cruzada em 5 conjuntos (5-CV). O desempenho foi comparado através da Mean Average Precision (mAP), que é a média da precisão para todos os valores de sensibilidade (ou *recall*). O dataset usado é o BnF benchmark, disponível em http://perso-etis.ensea.fr/~picard/bnf_bench/, que é uma coleção de 3017 imagens digitalizadas pela Biblioteca Nacional da França composta por manuscritos, moedas, desenhos e outros tipos de obras.

O desempenho do classificador treinado com os atributos obtidos pela CNN foi comparado com classificadores treinados com atributos obtidos com *Fisher Vectors* e *Compact Preprocessed Vector of Locally Aggregated Tensors* (CPVLAT), os quais estão disponíveis no site do BnF benchmark. O mAP para cada um foi: 27.4 para Fisher Vectors, 25.8 para CNNs e 21.6 para CPVLAT.

Uma hipótese que pode explicar esse resultado é que o dataset usado para treinar essa CNN não possui exemplos parecidos com as imagens do BnF, o que faz com que a rede não consiga extrair bons atributos para essas imagens, ou seja, deve ser possível obter um desempenho melhor através de fine-tuning. Outra hipótese é que Fisher Vectors possuem um desempenho melhor que CNNs neste problema pelo dataset ser composto de várias classes com poucos exemplos [4]; essa observação deve se repetir em outros experimentos com configuração similar. Por fim, é possível que a arquitetura da CNN simplesmente não tenha como modelar as características das imagens do acervo e seja preciso modificá-la.

IV. Considerações finais

Os resultados preliminares mostram que acervos digitais apresentam um problema complicado, em que não vemos o mesmo ganho de desempenho em relação às técnicas tradicionais como foi identificado em [5]. Uma das conclusões de [5] é que CNNs treinadas em problemas genéricos são boas para extrair atributos de imagens, mas é possível melhorar seu desempenho de duas formas:

Realizar o fine-tuning da rede, ou seja, treinar a rede no dataset menor (no caso, o BnF benchmark) usando os pesos da rede treinada em um problema maior como ponto inicial. Projetar uma CNN especificamente para esta tarefa, ajustando o tamanho dos filtros em cada camada convolucional, o número de camadas, etc.

Com isso, os próximos trabalhos devem se concentrar em realizar o fine-tuning da CNN no dataset BnF e considerar outras arquiteturas para a rede de modo a estudar como CNNs podem ser usadas para atacar os problemas apresentados neste artigo. Mais especificamente, o fine-tuning da CNN usada em [4] deve resultar em um aumento de desempenho similar ao observado em [5], da ordem de 15%.

Referências

[1] Krizhevsky, A., Sutskever, I., and Hinton, G. E. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances In Neural Information Processing Systems* (2012), 1–9.

[2] LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., and Haffner, P. Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE 86*, 11 (1998), 2278–2323.

[3] Oquab, M., Bottou, L., Laptev, I., and Sivic, J. Learning and transferring mid-level image representations using convolutional neural networks. In *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (June 2014).

[4] Picard, D., Gosselin, P.-h., and Gaspard, M.-c. Challenges in Content-Based Image Indexing of Cultural Heritage Collections. *IEEE Signal Processing Magazine 32*, 4 (jul 2015), 95–102.

[5] Razavian, A. S., Azizpour, H., Sullivan, J., and Carlsson, S. CNN features off-the-shelf: An astounding baseline for recognition. In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* (2014), pp. 512–519.

[6] Wan, J., Wang, D., Hoi, S. C. H., Wu, P., Zhu, J., Zhang, Y., and Li, J. Deep Learning for Content-Based Image Retrieval: A Comprehensive Study. *Proceedings of the ACM International Conference on Multimedia - MM '14* (2014), 157–166.

Artigos
Doutorado

Transfer Learning for Multiagent Reinforcement Learning

SILVA, Felipe Leno da*; COSTA, Anna Helena Reali*
*Intelligent Techniques Laboratory (LTI) - Escola Politécnica da USP
E-mail: {f.leno,anna.reali}@usp.br

***Abstract*—Reinforcement learning methods have successfully been applied to build autonomous agents that solve many sequential decision-making problems. However, agents need a long time to learn a suitable policy, especially when multiple autonomous agents are in the environment. This research aims to propose a Transfer Learning (TL) framework to accelerate learning by exploiting two knowledge sources: (i) previously learned tasks; and (ii) advising from a more experienced agent. The definition of such framework requires answering several challenging research questions, including: *How to abstract and represent knowledge, in order to allow generalization and posterior reuse?*, *How and when to transfer and receive knowledge in an efficient manner?*, and *How to evaluate the transfer quality in a Multiagent scenario?*.**

***Keywords*— Reinforcement Learning; Multiagent Systems; Markov Decision Processes; Knowledge Reuse.**

PUBLICATIONS

The first author took part in the following publications since the beginning of his doctorate, in March of 2015: [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]. The qualifying exam will take place on February of 2017.

I. CONTEXT AND MOTIVATION

Reinforcement Learning (RL) [11] is an extensively used technique for autonomous agents with the ability to learn through experimentation. First an action that affects the environment is chosen, then the agent observes how much that action collaborated to the task completion through a reward function.

An agent can learn how to optimally solve tasks by executing this procedure multiple times. The main limitation of RL is that agents take a long time to learn how to solve tasks. However, like in human learning, previous knowledge can greatly accelerate the learning of a new task. For example, it is easier to learn Spanish beforehand knowing Portuguese (or a similar language).

Many RL domains can be treated as *Multiagent Systems* (MAS) [12], in which multiple agents are acting in a shared environment. We are especially interested in Cooperative Multiagent RL (MARL) [13], in which all agents work cooperatively to solve the same task. In such domains, other type of knowledge reuse is applicable. Agents can communicate to transfer learned behaviors.

In the language learning example, being taught by a fluent speaker of the desired language can accelerate learning, because the teacher can identify learner's mistakes and provide customized explanations and examples. However, learning how to actuate in a MAS may be a difficult task, since the environment becomes non-stationary due to the parallel actuation of multiple agents [14].

Transfer Learning (TL) [15] allows to reuse knowledge acquired in previous tasks, and has been used to accelerate learning in RL domains and alleviate scalability issues. In MARL, TL can either reuse knowledge from previously learned tasks or from agent communication, in which one agent can transfer learned behaviors to another agent.

Even though TL has been used in many ways in MARL [16], [17], [18], [19], there is no consensual answer to many aspects that must be defined in order to specify a TL algorithm. This research aims to specify a TL framework to allow knowledge reuse in multiagent domains from both previously learned tasks (when available) and agent tutoring, two scenarios that are common in human learning.

II. RESEARCH GOALS AND EXPECTED CONTRIBUTIONS

This research aims to **propose a Transfer Learning framework** to allow knowledge reuse **in Multiagent Reinforcement Learning**, both from previous tasks and among agents [2]. In order to specify a method to fulfill the expected contributions, we would need to define:

1) A model which allows knowledge generalization;
2) What information is transferred through tasks or agents;
3) How to define when the knowledge of a given agent must be transferred to another.

Figure 1 depicts the proposed framework. The agent extracts knowledge from advice given by other agents and previously solved tasks to accelerate the learning of a new task. The solution of this new task can then be abstracted and added to the knowledge base.

In the long-term, the agent is expected to learn tasks much faster because of all the task solutions stored in his knowledge base.

III. BACKGROUND AND RELATED WORK

Single-agent sequential decision problems are often modeled as a *Markov Decision Process* (MDP), which can be solved by RL. An MDP is described by the tuple $\langle S, A, T, R \rangle$ [20], where S is the set of environment states, A is the set of actions available to an agent, T is the transition function, and R is the reward function, which gives a feedback toward task completion.

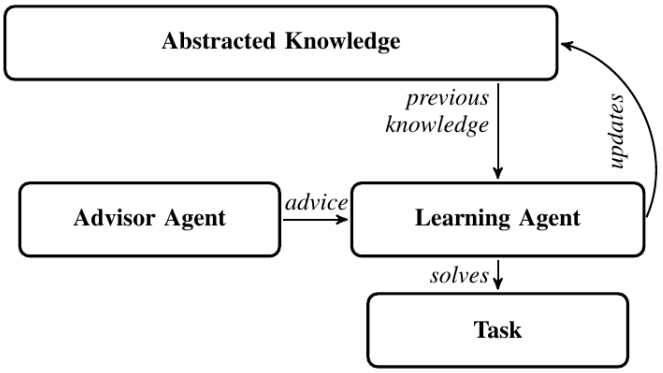


Fig. 1. The proposed Transfer Learning framework.

At each decision step, an agent observes the state s and chooses an action a (among the applicable ones in s). Then the next state is defined by T. The agent must learn a policy π that maps the best action for each possible state. The solution of an MDP is an optimal policy π^*, a function that chooses an action maximizing future rewards at every state.

In learning problems (where R and T are unknown) the agent can iteratively learn a Q-table, i.e. a function that maps every combination of state and action to an estimate of the long-term reward starting from the current state-action pair, which eventually converges to the true Q function [21]: $Q^*(s,a) = E\left[\sum_{i=0}^{\infty} \gamma^i r_i\right]$, where γ is a discount rate and r_i is the reward received after i steps from using action a on state s. Q^* can be used to define an optimal policy as: $\pi^*(s) = \arg\max_a Q^*(s,a)$.

However, learning Q^* may take a long time, and TL methods can be used to accelerate convergence. The basic idea in any TL algorithm is to reuse previously acquired knowledge in a new task.

In order to use TL in practice, three aspects must be defined [22]: *What*, *when*, and *how* to transfer. Even though many methods have been developed, there is no consensual definition of how to represent knowledge and how to transfer it. Therefore, the success of a TL method depends on the knowledge representation. The standard MDP formulation is not a good representation for knowledge abstraction, which is of utmost importance when transferring knowledge between two similar tasks.

Relational representations achieved great success in knowledge abstraction and TL [23]. *Object-Oriented MDP* (OO-MDP) [24] is a relational representation that allows generalization opportunities by modeling similar entities of a domain as *objects* that follow the description of a *class*.

An OO-MDP requires the definition of a set of *classes* C, where each class C_i is composed of a set of *attributes*, and each attribute has a *domain*, which specifies the set of values this attribute can assume. The state is defined by the set of objects that exist in the environment. As the objects of the same class follow the same description, the learner can abstract experiences by assuming that objects of the same class are affected in the same way by actions. For example, a robot learning how to navigate in an environment can learn that moving towards a specific wall results in a disadvantageous collision. Then, the robot can assume that moving towards any wall would be harmful, thus avoiding all wall collisions even though the agent has never collided with many of the walls in the environment.

Although OO-MDP seems promising to TL, so far no OO-MDP extensions to MAS are available in the literature. Thus, the specification of an OO-MDP extension to MAS is a good first step toward a knowledge representation that could lead to successful TL.

RL may be applied in many real-world domains, and all of them would be benefited from faster RL algorithms, such as we are developing in this research. Smart Grid is one particularly relevant domain, as new challenges are arising from the advancements in this area.

One example of these challenges is the Coordinated Charging Problem, illustrated in Figure 2. The main challenge in this problem is to distributively recharge a fleet of Eletric Vehicles simultaneously avoiding transformer overloads and ensuring that the cars have enough battery to perform their daily journeys.

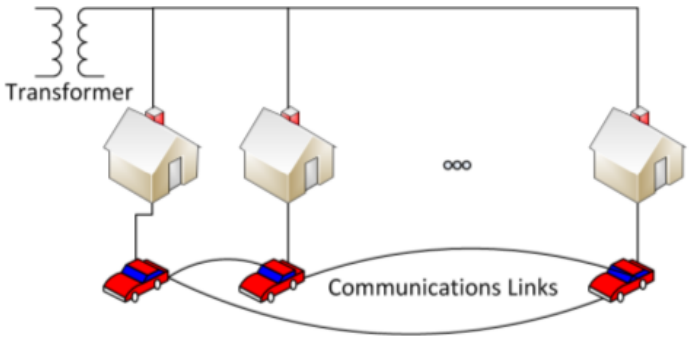


Fig. 2. Each house in a neighborhood has an electric vehicle (EV) that tries to recharge its battery without causing overload in a transformer. Each EV may have a communication link with other cars, and EVs should coordinate to prevent transformer overloads while minimizing energy costs. (adapted from [19]).

Other relevant domains include Robotic Soccer [25], and Autonomous Video Game Playing [26], [27]

IV. Partial Results

In this Section we depict our first steps towards the framework described in Section II.

In order to define a representation which allows knowledge generalization, we proposed an OO-MDP extension to MAS, called *Multiagent Object-Oriented MDP* (MOO-MDP). This extension is fully described in our BRACIS paper [3], in which an algorithm to solve deterministic cooperative MOO-MDPs is also presented.

MOO-MDP is inspired by the insight that each agent in a MAS can be seen as an object, hence the environment is described by a set of agents and environment objects, in which

the former can perform autonomous actions and the latter are unreasoning entities.

While MOO-MDP enables state space abstraction by generalizing experiences for all objects of the same class, coordinated behaviors can still be learned since agents can identify other reasoning entities and act according to previous experiences with that same class of agents.

Our proposal allows a state abstraction as illustrated in Figure 3. This kind of state abstraction accelerate learning and provides generalization, which is also useful for Transfer Learning [23]. Under certain conditions, our algorithm *Distributed Object-Oriented Q-Learning* (DOO-Q) was proved to learn the optimal policy while providing generalization. The proof of the following proposition is available in [3].

Proposition 1: Each agent in a MAS composed of DOO-Q learners, at convergence time, learns a policy that results in an optimal joint policy under certain conditions.

In addition to be proven to learn an optimal policy, in practice our proposal also achieves better results than other state of the art methods.

Figure 4 shows the Cumulative Reward achieved by each of the learning algorithms when solving the *Goldmine* task, an extensively studied benchmark in the Multiagent community. The algorithms were executed with a timeout, and the *MAQL* was not able to complete the training process. DOO-Q allowed to achieve good rewards much faster, due to the aforementioned generalization.

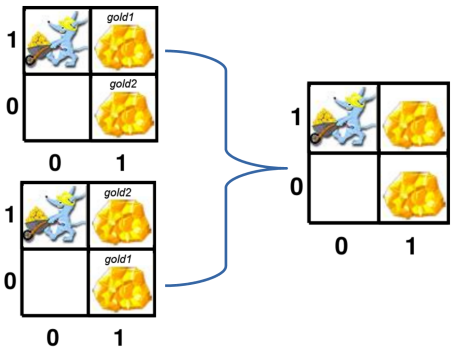


Fig. 3. Graphical representation of the state space abstraction. The left side represents two concrete states (ids on top of gold pieces) that are described by a single abstract state in the right side..

Furthermore, we started to explore the challenge of building autonomous agents that can provide and receive advice as illustrated in Figure 1. The idea of giving advice to a RL agent is not new, and initially the works focused on humans as teachers [28].

Although some works focused on agents advising agents [29], [27], almost all works in this area assumed that the teacher actuation is optimal (or at least better than of the student).

However, as we are interested in simultaneously learning agents, this is not true in our setting. We are now writting a paper to be submitted on the AAAI conference, in which the agents can advise each other, even when none of them

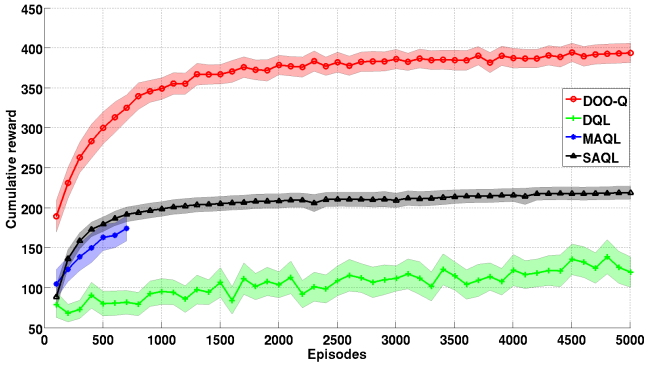


Fig. 4. Observed discounted cumulative reward in the *Goldmine* learning problem. The DOO-Q curve refers to our proposal, while the other curves refer to related state of the art methods. The shaded area correspond to the 95% confidence interval.

already converged to the optimal policy. In this paper, we are facing the challenge of how to identify when an agent policy is reliable enough to be transferred.

We also performed experiments to evaluate the effectiveness of RL in real-world domains. The articles [1] and [6] describe our solution for the Coordinated Charging Problem (Figure 2) based on MARL. We proposed a distributed Multiobjective RL algorithm to simultaneously maximize three objectives:

- **Battery Level** – This objective encodes the user satisfaction of having the battery in a high level, even when there is no need to use all battery. The optimal answer for this objective would be charge the vehicle at all time steps.
- **Paid Price** – The second reward intends to minimize the energy costs per kWh. The optimal answer for this objective would be recharge all cars in the lowest energy cost period.
- **Transformer Overload** – The last reward avoids transformer overloads. The optimal answer for this objective would be never recharge.

Note that this problem is very hard to solve, as the objectives are conflicting. If all agents recharge during the cheapest period, a peak in the transformer load is caused, hurting the performance of the third objective. However, if the vehicles avoid charging all the time, the results in the first objective will be poor.

Table I summarizes the results of our proposal (MASCO) against other usual strategies and algorithms to solve the same problem in a realistic simulation following the Brazilian tariff. Our proposal was able to avoid transfer overloads while achieving the lowest energy costs among the evaluated algorithms.

Our experimental results also indicate that our proposal could be employed in combination with other methods to provide varied functionalities in the Smart Grid Area. For example, our method could be employed in combination with *Energy Management Systems*, such as the proposed in [30].

TABLE I
AVERAGE ENERGY COSTS AND NUMBER OF OVERLOADS PER DAY AFTER THE TRAINING PROCESS. THE NUMBER ARE AVERAGES FROM 25 EXECUTIONS WITH THE 95% CONFIDENCE INTERVAL. NUMBERS IN BOLD AND IN RED CORRESPOND TO, RESPECTIVELY, THE BEST AND THE WORST PERFORMANCE ACHIEVED BY ALL ALGORITHMS IN THAT METRIC. THE ALGORITHM NAME IN BOLD CORRESPONDS TO THE BEST PERFORMANCE OVERALL.

Alg.	Costs (R$)	Over.
ACP	4.07 ± 0.01	8.40 ± 0.21
RP	3.74 ± 0.02	$\mathbf{0.20 \pm 0.21}$
DWL	3.56 ± 0.04	0.72 ± 0.59
$\boldsymbol{MASCO}$	$\mathbf{2.33 \pm 0.09}$	$\mathbf{0.20 \pm 0.27}$

V. NEXT STEPS

MOO-MDP is a promising model which allows knowledge generalization. Now, the next step in our research is to define how to transfer learned knowledge through tasks or agents.

Abstract policies have been successfully used in single-agent Transfer Learning [23], thus we now plan to build abstract policies based on MOO-MDPs and transfer significant parts of them through similar tasks. We still need to specify a mapping method to find correspondences between states and actions in different domains.

Even though we are currently working towards proposing a method to knowledge sharing among agents, after that we will still need to have a way to combine the two sources of knowledge consistently.

Finally, we plan to apply our methods in more real-world domain, such as other problems in the Smart Grid Area, Robotic Soccer, and Automated Video Game Playing.

ACKNOWLEDGMENT

We gratefully acknowledge financial support from CNPq (grant 311608/2014-0) and São Paulo Research Foundation (FAPESP), grant 2015/16310-4.

REFERENCES

[1] SILVA, F. L. da; COSTA, A. H. R. Multi-objective reinforcement learning through reward weighting. In: *Proceedings of the 2nd Workshop on Synergies Between Multiagent Systems, Machine Learning and Complex Systems (TRI 2015), joint with IJCAI 2015*. [S.l.: s.n.], 2015. v. 1, p. 25 – 36.

[2] SILVA, F. L. da; COSTA, A. H. R. Transfer learning for multiagent reinforcement learning systems. In: *Proceedings of the Twenty-Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 3982–3983.

[3] SILVA, F. L. da; GLATT, R.; COSTA, A. H. R. Object-oriented reinforcement learning in cooperative multiagent domains. In: *Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 19–24 – **Best Paper Award**.

[4] SILVA, F. L. da; COSTA, A. H. R. Accelerating multiagent reinforcement learning through transfer learning. In: *AAAI-17*. [S.l.: s.n.], 2017. p. (Accepted).

[5] SILVA, F. L. da; GLATT, R.; COSTA, A. H. R. An advising framework for multiagent reinforcement learning systems. In: *AAAI-17*. [S.l.: s.n.], 2017. p. (Accepted).

[6] SILVA, F. L. da; COSTA, A. H. R. Coordination of electric vehicle charging through multiagent reinforcement learning. *Engineering Applications of Artificial Intelligence (Submitted)*, Elsevier.

[7] GLATT, R.; SILVA, F. L. da; COSTA, A. H. R. Towards knowledge transfer in deep reinforcement learning. In: *Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 91–96.

[8] JACOMINI, R. S. et al. A framework for scalable inference of temporal gene regulatory networks based on clustering and multivariate analysis. In: *Bioinformatics and Artificial Intelligence (BAI), joint with IJCAI-16*. [S.l.: s.n.], 2016.

[9] BONINI, R. C.; SILVA, F. L. da; COSTA, A. H. R. Learning options in multiobjective reinforcement learning. In: *AAAI-17*. [S.l.: s.n.], 2017. p. (Accepted).

[10] VILLOTA, J. P. et al. Pairwise registration in indoor environments using adaptive combination of 2d and 3d cues. *Image and Vision Computing (Submitted)*, Elsevier.

[11] SUTTON, R. S.; BARTO, A. G. *Reinforcement Learning: An Introduction*. 1st. ed. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1998. ISBN 0262193981.

[12] WOOLDRIDGE, M. J. *An Introduction to MultiAgent Systems (2. ed.)*. [S.l.]: Wiley, 2009. ISBN 978-0-470-51946-2.

[13] BAZZAN, A. L. C. Beyond reinforcement learning and local view in multiagent systems. *Künstliche Intelligenz*, v. 28, n. 3, p. 179–189, 2014.

[14] BUSONIU, L.; BABUSKA, R.; SCHUTTER, B. D. A comprehensive survey of multiagent reinforcement learning. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, v. 38, n. 2, p. 156–172, 2008. ISSN 1094-6977.

[15] TAYLOR, M. E.; STONE, P. Transfer learning for reinforcement learning domains: A survey. *Journal of Machine Learning Research*, v. 10, p. 1633–1685, 2009. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1577069.1755839>.

[16] HU, Y.; GAO, Y.; AN, B. Learning in multi-agent systems with sparse interactions by knowledge transfer and game abstraction. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems (AAMAS)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 753–761.

[17] HU, Y.; GAO, Y.; AN, B. Accelerating multiagent reinforcement learning by equilibrium transfer. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2015.

[18] PROPER, S.; TADEPALLI, P. Multiagent transfer learning via assignment-based decomposition. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 345–350.

[19] TAYLOR, A. et al. Transfer learning in multi-agent systems through parallel transfer. In: *Proceedings of the Workshop on Theoretically Grounded Transfer Learning*. [S.l.: s.n.], 2013.

[20] PUTERMAN, M. L. *Markov Decision Processes : Discrete Stochastic Dynamic Programming*. Hoboken (N. J.): J. Wiley & Sons, 2005. ISBN 0-471-72782-2.

[21] WATKINS, C. J.; DAYAN, P. Q-learning. *Machine learning*, Springer Netherlands, v. 8, n. 3, p. 279–292, 1992.

[22] PAN, S. J.; YANG, Q. A survey on transfer learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, IEEE, v. 22, n. 10, p. 1345–1359, 2010.

[23] KOGA, M. L.; SILVA, V. F. da; COSTA, A. H. R. Stochastic Abstract Policies: Generalizing Knowledge to Improve Reinforcement Learning. *IEEE Transactions on Cybernetics*, v. 45, n. 1, p. 77–88, 2015.

[24] DIUK, C.; COHEN, A.; LITTMAN, M. L. An object-oriented representation for efficient reinforcement learning. In: *Int. Conf. on Machine Learning (ICML)*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 240–247. ISBN 978-1-60558-205-4.

[25] HAUSKNECHT, M. et al. Half field offense: An environment for multiagent learning and ad hoc teamwork. In: *AAMAS Adaptive Learning Agents (ALA) Workshop*. Singapore: [s.n.], 2016.

[26] MNIH, V. et al. Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, v. 518, n. 7540, p. 529–533, 2015.

[27] TAYLOR, M. E. et al. Reinforcement learning agents providing advice in complex video games. *Connection Science*, v. 26, n. 1, p. 45–63, 2014.

[28] MACLIN, R.; SHAVLIK, J. W.; KAELBLING, P. Creating advice-taking reinforcement learners. In: *Machine Learning*. [S.l.: s.n.], 1996. p. 251–281.

[29] TORREY, L.; TAYLOR, M. E. Teaching on a budget: agents advising agents in reinforcement learning. In: *Proceedings of 12th the International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems (AAMAS)*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1053–1060.

[30] BERLINK, H.; KAGAN, N.; COSTA, A. H. R. Intelligent Decision-Making for Smart Home Energy Management. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, v. 80, n. 1, p. 331–354, 2015. ISSN 1573-0409.

Intelligent retrieval of 3D medical cardiac objects using regionalised search and selection for computer aided diagnosis of Cardiomyopathy Recuperação inteligente de objetos tridimensionais cardíacos utilizando busca e seleção regionalizada para auxílio ao diagnóstico de Cardiomiopatia

BERGAMASCO, L. C. C.*; NUNES, F. L. S.*†
*Laboratório de Tecnologias Interativas (INTERLAB)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Escola Politécnica - Universidade de São Paulo (PPgEE/POLI/USP)
†Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde (LApIS)
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Informação
Escola de Artes, Ciências e Humanidades - Universidade de São Paulo (PPgSI/EACH/USP)
E-mail: {leila.cristina, fatima.nunes}@usp.br

***Abstract*—The Content-Based Image Retrieval (CBIR) retrieves in a image database, the most similar occurrences to an image provided as a query, from extracted characteristics of these objects. The use of CBIR concept, although exploited for recovery of two-dimensional images, is still under explored in the three-dimensional objects knowledge field. This project aims to develop computational techniques, considering the CBIR concept, to extract and retrieves information related to the left ventricles morphology, reconstructed from Magnetic Resonance Images. It was conducted a Systematic mapping in the literature to identify descriptors used in medical imaging applications. Also, it was developed and evaluated descriptors and algorithms to measure similarity considering the search for similar cases related to Congestive Heart Failure. Initial results indicated that the approach has potential to correctly retrieve Cardiomyopathies related cases. On the project ending, we expect retrieve the most similar three-dimensional objects and thereby associate them with certain diseases whose the main symptom is the ventricular structure deformation, assisting the diagnosis composition.**

***Keywords*— 3D CBIR; Cardiomiopaty; Shape descriptors; three-dimensional medical objects.**

***Resumo*— A Recuperação de Imagens Baseada por Conteúdo (*Content-Based Image Retrieval* - CBIR) visa a recuperar, em uma base de imagens, as ocorrências mais similares a uma imagem fornecida como modelo, a partir de características extraídas desses objetos. O uso dos conceitos de CBIR, embora bem explorado para recuperação de imagens bidimensionais, ainda é pouco explorado no domínio de objetos tridimensionais. O presente projeto tem por objetivo desenvolver técnicas computacionais, considerando os conceitos de CBIR, para extrair e recuperar informações relacionadas à forma de ventrículos esquerdos reconstruídos a partir de imagens de Ressonância Magnética Nuclear. Foi conduzido um mapeamento sistemático da literatura com a finalidade de identificar descritores empregados em aplicações que usam imagens médicas. Em seguida, foram desenvolvidos e avaliados descritores e algoritmos de mensuração de similaridade considerando a busca por casos similares referentes à Insuficiência Cardíaca Congestiva. Os resultados iniciais indicaram que a abordagem apresenta potencial para recuperar corretamente casos relacionados com Cardiomiopatias. Espera-se que ao final do projeto seja possível recuperar os objetos tridimensionais mais similares e assim associá-los a determinadas doenças que têm como principal sintoma a deformação da estrutura ventricular, auxiliando na composição do diagnóstico.**

***Palavras-chave*— CBIR 3D; Cardiomiopatia; descritores de forma; objetos tridimensionais médicos.**

I. Introdução

A Medicina, é uma das áreas que mais se beneficiam com o advento tecnológico e, muitas vezes, faz uso pioneiro dos avanços existentes. Algumas modalidades médicas radiológicas como Ressonância Magnética Nuclear (RMN) e Tomografia Computadorizada (TC). Tais sistemas armazenam dezenas de *slices* que, por serem geradas com alto grau de resolução, necessitam de muito espaço para armazenamento[1].

Como exemplo do cenário citado, em Cardiologia há algumas doenças que atingem principalmente o ventrículo esquerdo, nas quais o principal sintoma é a alteração de sua morfologia em áreas específicas, chamadas de Cardiomiopatias. Comumente a detecção dessas doenças em casos mais complexos, utiliza-se a RMN. Por esta razão se torna relevante o desenvolvimento de métodos inteligentes para armazenamento e recuperação dessas imagens médicas que são geradas diariamente.

A Recuperação de Imagens Baseada em Conteúdo (*Content-Based Image Retrieval* - CBIR) pode ser utilizada nesse cenário para aumentar a precisão das buscas, uma vez que possibilita a extração de características da imagem e as reúne em vetores, realiza a sua indexação na base de dados e utiliza métodos para calcular a similaridade entre os vetores de características existentes. Em relação aos objetos 3D, são possíveis duas abordagens: (1) extrair características de cada *slice* do exame sob análise ou (2) extrair as características diretamente do objeto 3D reconstruído [2]. A primeira abordagem é considerada por alguns autores uma estratégia problemática, pois exige muito tempo para processar todos os *slices*. Assim, a segunda abordagem pode constituir uma alternativa eficiente, sendo a adotada neste projeto.

Considerando o cenário apresentado, o presente projeto tem por objetivo utilizar técnicas inteligentes de recuperação de objetos médicos 3D, em uma abordagem local, destacando as regiões específicas de interesse, pode favorecer a composição do diagnóstico. Adicionalmente,pode ser útil como ferramenta no processo educacional dos estudantes de Medicina, contribuindo para a aquisição de conhecimento sobre todos os possíveis cenários dentro da doença de Cardiomiopatia.

O presente artigo está organizado da seguinte forma: Na Seção 2 são apresentados alguns trabalhos correlatos; Na Seção 3 é apresentada a proposta e metodologia idealizadas para o projeto de Doutorado; Na Seção 4 são apresentados resultados preliminares obtidos e por fim, na Seção 5 é feita a conclusão.

II. Trabalhos correlatos

Foi realizado um Mapeamento Sistemático [3] em Julho de 2015, no qual se obteve 169 artigos provenientes das bases *IEEE Xplore, ACM Digital Library, Science Direct* e *Pubmed*. O objetivo do Mapeamento Sistemático era avaliar principalmente quais técnicas computacionais estavam sendo utilizadas para analisar e recuperar objetos 3D médicos. Nesse estudo foi considerado um objeto 3D tanto um conjunto de slices 2D (como os provenientes de exames de RMN) como um objeto 3D volumétrico ou com superfície reconstruída.

A maioria dos artigos, 89%, focaram seus esforços em desenvolver e/ou avaliar diferentes descritores em diferentes objetos 3D médicos. Sendo que as imagens cardíacas estavam presentes em menos de 3% dos trabalhos incluídos.

Dentre os artigos incluídos podemos destacar o artigo de Khelifa, Abdallah e Ghorbel (2008) [4] no qual são utilizadas as Harmônicas Esféricas para mapear o ventrículo esquerdo em uma esfera normalizada. Em seguida é feita a comparação entre esferas de ventrículos dilatados e relaxados. Foi observado que com essa técnica é possível diferenciar os ventrículos nesses estados de forma automatizada. Já em Wu *et al* (2004) [5] foram extraídas informações volumétricas diretamente do objeto reconstruído de imagens PET que serviram como base para diferenciá-los em relação a sua forma, porém sem focar em nenhuma doença específica.

Percebe-se a partir do Mapeamento Sistemático feito que a área de Cardiologia apresenta uma lacuna em relação a recuperação de objetos tridimensionais cardíacos para uso efetivo no auxílio ao diagnóstico de doenças específicas.Além disso foi notado que descritores que armazenam, além do grau de deformação, o local em que ela ocorre pode ser uma solução adequada para esse problema.

III. Metodologia

Dado o problema apresentado, foi proposta uma metodologia que envolve 5 blocos de atividades:

1) **Revisão literária**: na primeira fase foi conduzido um Mapeamento Sistemático da literatura, com o objetivo de conhecer os conceitos principais com relação à recuperação de objetos 3D.
2) **Definição e implementação de descritores e métodos para seleção de regiões de interesse:** pretende-se desenvolver descritores inéditos na literatura, tendo por base o Mapeamento Sistemático feito, uma vez que foi notado nesse levantamento bibliográfico uma carência de descritores específicos para objetos 3D médicos. Serão implementados também os métodos de atualização em tempo real dos vetores de características.
3) **Validação das técnicas implementadas:** durante toda a fase de desenvolvimento está sendo feita a avaliação dos resultados com base na métrica de Precisão *vs.* Revocação, a mais utilizada na área de CBIR.
4) **Divulgação dos resultados:** os resultados obtidos estão sendo submetidos a conferências e periódicos da área em forma de artigos. Relatórios técnicos também serão elaborados. Prevê-se, durante todo o projeto a participação de um profissional da área para auxiliar no estabelecimento de requisitos e na validação das técnicas desenvolvidas.

A. Materiais

Para a primeira etapa do projeto estão disponíveis 44 conjuntos de exames: 22 casos sem anomalia, 10 casos de Cardiomiopatia dilatada e 12 casos de hipertrofia. Cada exame possui 15 *slices* e cada *slice* possui resolução espacial de 256x256 *pixels* e resolução de contraste de 16 *bits* por *pixel*. A Figura 1 apresenta um exemplo de *slice* de cada categoria.

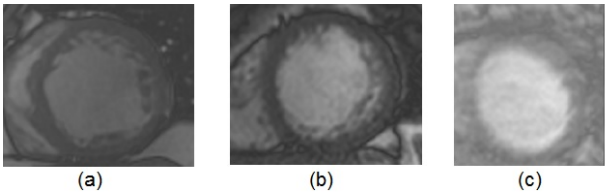


Figura 1. Exemplos de slices com diferentes quadros de Cardiomiopatia: a) com CMH; b) sem anomalia; c) com CMD (Fonte: Autor).

Para o desenvolvimento dos descritores, métodos de similaridade e indexação, está sendo utilizada a linguagem Java, mais especificamente a API Java 3D [6].

Uma vez que a composição da base de dados de Cardiomiopatias não estava concluída, para a validação dos resultados utilizou-se uma base de dados de objetos 3D do ventrículo

esquerdo com e sem a doença de ICC (um subtipo de Cardiomiopatia, que também causa deformação no ventrículo esquerdo), provenientes de exames de RMN, criada durante o projeto de Mestrado.

B. Descritores desenvolvidos

Previamente, durante o Mestrado foram desenvolvidos 4 descritores de forma que serão adaptados para o presente projeto de Doutorado e tiveram por objetivo detectar alterações de forma dos ventrículos esquerdos reconstruídos considerando principalmente a distância entre o centro e superfície em diferentes locais do objeto 3D. Eles estão detalhados no artigo [7].

Em paralelo foi desenvolvido um método novo, chamado de Extrator Local de Distância e Área (ELAD) [8] que tornou mais precisa a recuperação de objetos 3D baseado na informação de superfície.

Em relação aos métodos de similaridade serão reaproveitadas as funções desenvolvidas previamente e que segundo o Mapeamento Sistemático feito, continuam válidas para esse contexto, como as distâncias Euclidianas e Manhattan. E nesse contexto também já foi implementado um método novo utilizando o conceito de grafos Bipartidos [9] que realizam a comparação dos objetos 3D utilizando o conceito de matriz de adjacência para cada octante do objeto 3D analisado.

C. Próximas etapas

Como verificado no Mapeamento Sistemático, descritores de forma são os mais utilizados e os descritores baseados em sinais são mais sensíveis a ruídos, uma característica desejável quando são investigados problemas de ordem médica, nos quais qualquer alteração na estrutura pode indicar diferentes doenças. Em contrapartida, devido a sua complexidade, um desafio a esse tipo de técnica é em relação à indexação no banco de dados.

Foi constatado também que os grafos podem ser uma boa solução para esse tipo de problema e, além disso, podem ser úteis para armazenar informações sobre a topologia do objeto 3D, característica desejável em uma busca regionalizada.

1) Proposta de novo descritor: Em princípio será implementado pelo menos mais um descritor com o objetivo de agregar as vantagens dos descritores até o momento implementados e conciliar com o problema médico investigado, a Cardiomiopatia.

Uma das técnicas a serem estudadas denomina-se Harmônicas Esféricas, que foi escolhida por ser bastante utilizada nos trabalhos selecionados no Mapeamento Sistemático, inclusive para diferenciar ciclos cardíacos [4]. Esse descritor, baseado em sinais também é totalmente diferente do que foi desenvolvido até a presente fase do projeto, porém devido aos resultados encontrados parece uma solução bastante promissora.

2) Proposta de novos métodos de indexação: Nos vetores tradicionais de característica cada posição do vetor representa uma característica, porém esse tipo de estrutura de dados não permite identificar em quais locais das imagens ou objetos 3D essas características aconteceram. Para tanto, é necessário mapear previamente no próprio vetor de característica os possíveis locais de ocorrência de determinada característica. Uma opção seria discretizar o vetor de características em um grafo, os nós dos grafos seriam os valores de cada posição do vetor de característica e eles são ordenados de acordo com o local que ocorrem por meio de uma regra de inserção.

3) Busca regionalizada: Um dos maiores desafios deste projeto de pesquisa é em relação à busca regionalizada. Uma primeira abordagem possível é quantificar as dimensões dessas duas estruturas e compará-las. Entretanto, alguns desafios apresentados e que serão objetos de investigação podem ser assim enumerados: 1) quais os pontos do objeto 3D deverão ser analisados; 2) como relacionar as regiões da cavidade com a da parede ventricular; 3) dado que a seleção será feita em tempo real, como armazenar os vetores de características de forma que seja possível compará-los utilizando como base apenas as extrações dos vetores de características correspondentes a seleção feita.

IV. Resultado Preliminares

Como mencionado, visto que algumas técnicas já foram desenvolvidas elas foram testadas utilizando métodos previamente desenvolvidos no curso de Mestrado e tendo como objeto de estudo a ICC – um subtipo de Cardiomiopatia

A Figura 2 mostra os gráficos de Precisão *vs.* Revocação para os objetos 3D do ventrículo esquerdo, com e sem ICC. Nos gráficos apresentados é possível comparar o desempenho do ELAD com o desempenho da técnica do Extrator baseado na Transformada de Hough 3D (ETH3D). Os gráficos indicam que a precisão do ELAD se manteve alta mesmo com valores altos de revocação, ao passo que o ETH3D apresentou uma queda de desempenho considerável ao se aumentar os valores de revocação. Visualmente é possível perceber que a área entre a curva do ELAD com o eixo x é maior que a área referente ao ETH3D. Tanto para casos com ICC quanto para casos sem a doença, o desempenho do ELAD mostrou-se superior ao ETH3D.

Em relação ao método do grafo Bipartido, pode-se verificar um desempenho melhor em comparação com as distâncias Euclidiana e Manhattan. Isto pode ser constatado pelos valores médios de precisão de 80% para qualquer valor de Revocação.

Adicionalmente os casos novos de CMH, CMD e pacientes sem anomalia já foram selecionados, segmentados e reconstruídos para futuros testes.

A. Publicações

Com os resultados parciais já foram obtidas algumas publicações em eventos Qualis A1 [10], Qualis A2 [7, 11], Qualis B1 [9, 12] e Qualis B5 [8].

Adicionalmente, o Mapeamento Sistemático foi submetido e está aguardando revisão no periódico *Computerized Medical Imaging and Graphics* (Qualis A1) e também o método de segmentação e reconstrução 3D semi-automático desenvolvido em conjunto com alunos do LApIS também foi submetido e está aguardando avaliação no *Workshop de Visão Computacional* (Qualis B5).

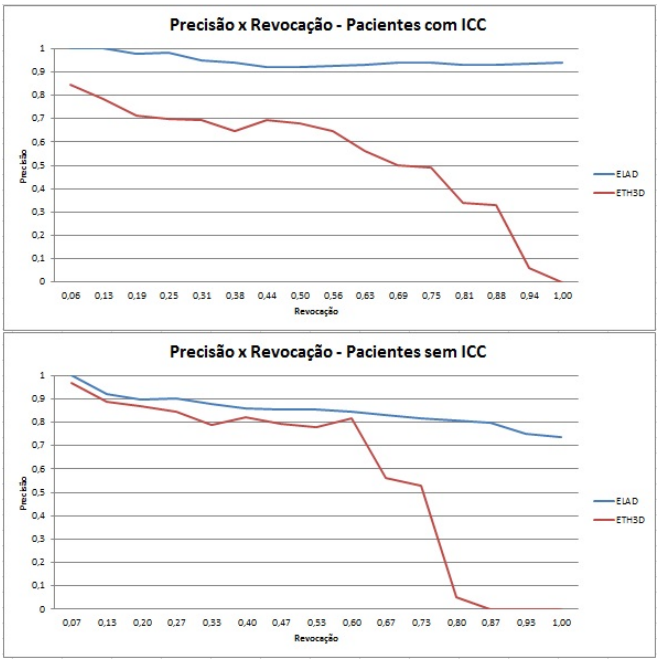


Figura 2. Gráfico de Precisão *vs.* Revocação da comparação do desempenho do ELAD e ETH3D.

V. Conclusão

O presente projeto de pesquisa tem por objetivo a recuperação de objetos 3D médicos com base na informação do conteúdo de sua estrutura e também realizando buscas regionalizadas. Nesse projeto o problema investigado será o de Cardiomiopatia, que ocomete os ventrículos gerando diferenças morfológicas.

Esse tipo de abordagem possui algumas vantagens. Do ponto de vista da área de Engenharia há uma contribuição para o estado da arte no que tange ao desenvolvimento de novos descritores 3D de forma automatizada e adaptáveis para buscas globais ou parciais. Também prevê-se contribuições por meio da criação de novos métodos de indexação baseados em grafos possibilitando uma busca parcial precisa e em tempo real.

Para a área de Medicina as contribuições deste trabalho estabelecem-se tanto em relação a impactos sociais quanto a impactos econômicos. Há também a possibilidade de utilizar o sistema gerado por este projeto como uma ferramenta educacional, no qual por meio da análise dos objetos 3D similares, os alunos consigam compreender quais são as características determinantes para cada tipo de doença ocorrida no ventrículo esquerdo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC).

Referências

[1] BANKMAN, I. N.; MORCOVESCU, S. Handbook of medical imaging. processing and analysis. *Medical Physics*, American Association of Physicists in Medicine, v. 29, n. 1, p. 107–107, 2002.

[2] YU, F. et al. *Three-dimensional Model Analysis and Processing*. China: Springer-Verlag, 2010. (Advanced Topics in Science and Technology in China).

[3] PETTICREW, M.; ROBERTS, H. *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2008.

[4] KHELIFA, W. B. H.; Ben Abdallah, A.; GHORBEL, F. Three dimensional modeling of the left ventricle of the heart using spherical harmonic analysis. In: *Biomedical Imaging: From Nano to Macro, 2008. ISBI 2008. 5th IEEE International Symposium on*. Chicago, USA: IEEE Computer Society, 2008. p. 1275–1278.

[5] WU, H. et al. Volume of interest (VOI) feature representation and retrieval of multi-dimensional dynamic positron emission tomography images. In: *Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing, 2004. Proceedings of 2004 International Symposium on*. China: IEEE Computer Society, 2004. p. 639–642.

[6] ORACLE. *API Java 3D*. 2013. Disponível em: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/index-jsp-138252.html>.

[7] BERGAMASCO, L. C. C.; NUNES, F. L. S. Three-dimensional content-based cardiac image retrieval using global and local descriptors. In: AMIA. *AMIA Annual Symposium Proceedings*. Washinghton, USA, 2015. p. 1811–1820.

[8] DELMONDES, P. H. M.; BERGAMASCO, L. C. C.; NUNES, F. d. L. dos S. Recuperacao de modelos medicos por conteudo usando extrator local de area e distancia. *Revista de Informatica Teorica e Aplicada*, v. 22, n. 2, p. 10–30, 2015.

[9] BERGAMASCO, L. C. et al. Using bipartite graphs for 3d cardiac model retrieval. In: *Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2015 IEEE 28th International Symposium on*. São Paulo: IEEE Computer Society, 2015. p. 232–237.

[10] BERGAMASCO, L. C. C.; NUNES, F. L. S. A New Local Feature Extraction Approach for Content-based 3D Medical Model Retrieval Using Shape Descriptor. In: *Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. New York, NY, USA: ACM, 2014. (SAC '14), p. 902–907. ISBN 978-1-4503-2469-4. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2554850.2554873>.

[11] BERGAMASCO, L. C.; NUNES, F. L. Applying Distance Histogram to retrieve 3D cardiac medical models. *AMIA Annu Symp Proc*, v. 2013, p. 112–121, 2013.

[12] BERGAMASCO, L. et al. Content-based image retrieval of 3d cardiac models to aid the diagnosis of congestive heart failure by using spectral clustering. In: *Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2015 IEEE 28th International Symposium on*. São Paulo: IEEE Computer Society, 2015. p. 183–186.

A two-phase method for parameter calibration in agent-based social simulations

AVEGLIANO, P.*†; SICHMAN, J. S.*
*Polytechnic School of the University of São Paulo
†IBM Research
E-mail: pba@br.ibm.com, jaime.sichman@poli.usp.br

***Abstract*—Multi-agent Systems (MAS) have won notoriety in the task of modelling social phenomena for simulation purposes, because they allow the replication of emergent behaviour by modelling the constituents parts of a system. Differently from traditional approaches, whose core is based on the definition of a mathematical equation that better approximates the global system's behaviour, in an agent-based approach the rules that govern the individual agents' behaviour must be defined. In spite of using theories previously developed in the Social Sciences, some assumptions regarding unknown parameters must be made to conduct the simulation. The number of unknown parameters can be high, which implies a huge search space that should be analysed in the parameter calibration task. In this work, we propose the adaptation of some techniques from System Dynamics approach to extract structural properties of the target system, reducing the search space and turning the process of parameter calibration into a more tractable one from a computational standpoint. An agent-based simulation of the housing market illustrates the application of the proposed method for parameter calibration and is used to assess its performance.**

***Keywords*— Multi-agent system; Parameter calibration; Social simulation.**

I. Introduction

Since the nineties, Multi-agent Systems (MAS) presented themselves as the ideal paradigm for the task of modelling social phenomena, for allowing the representation of individual parts that compose a whole system and, hence, the replication of emergent behaviour [1].

To perform a social simulation, the computational model of the target phenomena must be defined. On traditional approaches (not agent-based ones), data is collected and then analyzed in an attempt to extract a mathematical equation that describes the system's functioning. For simple systems, these mathematical equations can be derived by applying linear regression techniques. However, when nonlinearities permeate the system, only differential equations are capable of expressing the observed behaviour. In this case, there are two possibilities: (i) analytically integrate these equations, which can be costly even when there is only one differential equation, or (ii) numerically solve them, which makes the solution valid for the very specific condition used on its calculation - new initial values require a new calculation of the solution [2].

On Social Sciences, the systems are notoriously dynamic, and, thus, governed by differential equations [3]. This is why an agent-based approach is well-suited for such systems, as one can model the (generally) more simple behaviour of each constituent part of the system. The choice for this modelling strategy, however, brings along different challenges: the decision rules present in the agents and that are responsible for the overall behaviour of the system should be defined, which requires a more detailed specification.

For the simulation of social systems, social theories provide the rules that govern individual behaviour. Then, the parameters of this rules must be carefully selected to replicate the overall behaviour of the target system. The problem is that social theories frequently deal with parameters that are hardly measured and that are not directly observable. In practice, this means that to assure the replication of the observed behaviour several unknown parameters must be estimated.

Given this scenario, one could argue that we fall back to the very same problem of numerically solving the equation that describes the behaviour of the system - we are overfitting the data to replicate the behaviour of the specific situation described by the historical data. Indeed, the parameters are calibrated for the observed situation. Nevertheless, the MAS approach provides an endogenous explanation for the phenomena: it makes clearer what are the relations and interactions that result in the observed behaviour. In situations in which the system is characterized by emergency, that is quite a remarkable contribution [4].

Faced with the importance of parameter calibration and its intrinsic challenging aspect on agent-based social simulations, in this work, we propose a two-step parameter estimation process for agent-based social simulation. It first attempts to extract some *a priori* information about the relationship among the parameters (structural properties). Afterwards, with that information, our method is capable of grouping those parameters, resulting in a reduction of the search space and allowing the paralellization of the process.

II. Related work

To date, there is no golden standard for parameter calibration in agent-based models [5] despite its unquestionable relevance to the field. Of course, the choice for a method to accomplish this task can vary greatly, depending on the kind of parameters being estimated, the dynamics the model needs to replicate, the aggregated data used as input and output, and many other factors. The problem is that formal parameter calibration is not a common practice among agent-based modellers [6]. Substantial part of the published work in

the area is dedicated to prove theoretical insights about human dynamics, and is not numerically confronted against real data. This step is essential for a greater diffusion of agent-based models, as it is a consolidated form of empirical validation, widely used in other simulation approaches. As stated in [6], the empirical validation of the agent-based models could make them overcome their anecdotal character.

The subclass of agent-based models used for decision-supporting tools is an exception in this scenario, as the model validation is the first step before any *what-if* scenario exercise is performed over the model. In this context, several works, specially the ones related to land-use, adopted formal methods for parameter calibration [7] [8]. Based on several of these works, some researches have proposed a common framework for agent behaviours characterisation [9]. The framework consists of suggesting a set of methods to collect or estimate data associated to each step, depending on the properties of the target system such as agent population, behavioural diversity and access to data. The authors highlight that time-series analysis could be used to infer behavioural components, by estimating the relationship among variables. No further details are provided concerning how this regression could be applied in practice. Moreover, the authors suggest the use of surveys and census to determine agent's attributes, but not unfrequently agent's attributes are not obeservable, which would also demand their estimation.

Another work that aims at proposing a common protocol for agent-based modelling [6] also emphasizes the importance of parameter calibration in the field, while notes that this is an arbitrary and unfrequent task. The authors indicate the use of traditional parameter estimation techniques with some slight modifications, as in agent-based models we do not have a function f that globally describes the system's behaviour. They suggest the use of an approximation of the likelihood (*Maximun Simulated Likelihood*), instead of the *Maximum Likelihood*, or simulated approximations for the calculus of the reduction of moments between real and simulated data.

The other branch of agent-based models that consistently apply parameter calibration methods are the ones devoted to Economy. So, commonly, some of the techniques coming from Econometric are applied, as presented in [5]. This is the case of the *Indirect calibration approach* [10] apud [5] , whose objective is to reduce the number of parameters in a model, and, hence, the number of "possible worlds" to test; the *Werker-Brenner Approach* [11] apud [5], that uses existing empirical evidence to generate a set of model specifications, assign a likelihood to each one of them, and incrementaly refine the most probable ones; and the *History-friendly Approach* [12] apud [5], that selects the model that is able to generate the greatest number of stylised patterns of behaviour observed in a given domain.

The problem of parameter calibration is seen as a multi-objective optimisation problem. In [13], the authors applied a genetic algorithm to explore the search space and find the pareto-optimal configuration of parameters in the model of a financial market. Similarly, in [14], the *CMA-ES* method was adopted to adjust the simulation parameters to the real-world data concerning the french labour market. The *CMA-ES* is considered today the state-of-the-art in evolutionary algorithms to optimisation purposes.

On the opposite way, the authors in [15] argue that traditional optimisation methods are not suited for agent-based simulation models, and propose a new method, specifically tailored for this kind of application. They claim that, in agent-based models, there is a two-level ambiguity in the calibration task: a model cannot be considered valid without calibrating all of its parameters, while, at the same time, we might be willing to perform an unachievable task by trying to calibrate parameters of a model that is potentially wrong. To overcome this dilemma, the authors suggest a set of simplifications that can be made on the task of parameter calibration, such as masking heterogenities and aggregating correlate variables. Their proposal explores ideas that are shared with the method presented in this work.

III. Structural analysis of time-series

Dynamic systems can be defined as the ones that evolve over time. In fact, they are characterized by their behaviour over time. With the *Cellular Automata* [16] perspective, dynamic systems are structured in a taxonomy composed by four classes: (1) systems that quickly evolve into a single and homogeneous state; (2) systems that present a simple and periodic behaviour; (3) systems with chaotic behaviour; and (4) systems with a complex behaviour, with persistent patterns in space and time which alternate in large intervals.

The dynamic systems can be also analyzed with a nonlinear system perspective, in which their stability is considered a key factor. The concept of stability expresses if the output of a system is limited to a perimeter in the domain. More specifically, the stability of a system can be analyzed under three different perspectives: (1) how the system behaves nearby the equilibrium; (2) the degree of resistance in the system's trajectory under small perturbations (orbital stability); and (3) its structural stability, which evaluates how the dynamics of the system changes with small external perturbations.

The research field of Systems Dynamics (SD) was developed closely related to the analysis of structural stability of systems. Roughly speaking, Systems Dynamics is a top-down modelling approach, which states that the behaviour of the system is defined by its underlying structure. At the heart of this modelling approach, there are two fundamental structures: stocks and flows [17]. These components can be seen as abstractions for common elements of differential equations: the stocks represent the variables (for instance, x or y) while flows are the derivatives variables (e.g. $\dot{x}$ or $\dot{y}$, or even $\frac{dx}{dt}$ and $\frac{dy}{dt}$). SD claims that, by observing the output of a system, it is possible to infer how the stocks (variables) are inter-related among each other by means of flows. There are some canonical behaviours, known as *system archetypes*, whose originating structures are identified, and that can be combined among each other, giving rise to more sophisticated behaviours. Those resulting behaviours are quite common among social systems.

In this work we propose to take advantage of the analysis proposed in the SD field, as it can provide valuable insights about the relationship among the parameter being calibrated (i.e, its structural properties).

IV. Proposed method for parameter calibration

There is extense research for techniques concerned with unknown parameter calibration. Indeed, there is a whole subarea of Mathematica, named *Inverse Problem*, that applies statistical methods to identify the most probable configuration set of parameters that result in the the observed behaviour [18].

When the number of parameters is too high, which is a common situation in agent-based models, evolutive algorithms are frequently applied. The *CMA-ES* is the most efficient algorithm to this end, to date [19]. However, it assumes that the parameters are non-separable, which means that they cannot be calibrated independently.

In this work, we propose, as a first step, to analyse the behaviour of the real system, in order to infer its structural properties. By applying techniques developed in the area of System Dynamics, specially the identification of system archetypes, we can infer how the major parameters (stocks) are related to each other (by means of flows). In other words, we are inverting the philosophy of agent-based models, as we are first calibrating the parameters in a top-down fashion.

The rational behind the proposed method is based on one fundamental principle: the existance of the homomorphism between the models. By homomorphism, we consider the property of presenting an equivalent state in the model for all important states of a couterpart system. Regardeless of the chosen modelling approach, both top-down (System Dynamics) and bottom-up (agent-based models) approaches are representing the same phenomena, so there must be an equivalence among the models. Having this idea in mind, we consider that the flows and stocks of the System Dynamic's approach are, essentialy, an aggregated representation of the parameters found in the agent-based models. Thus, by identifying those high level variables, its is possible to coalesce the outnumber of agent parameters into one higher level representative variable. This way, we can subdivide the parameter calibration into a sequence of independent subproblems, presenting each one a lower dimension. Roughly speaking, the proposed method relies on the old and greatly explored divide-to-conquer strategy.

V. Simulation domain

The housing market received great attention as it became the epicenter of the 2008 world's economic crisis. The failure of traditional forecast and simulation methods to foresee the crisis incited the review of traditional methods and gave room to a discussion about alternative modelling methods. Traditional econometric methods are very good at forecasting future events based on past data, but only if no disruption on the behaviour pattern is present. Thus, several researchers started to advocate for the use of agent-based to this end, due to several properties, such as the capacity to model heterogeneous behaviour and strategies, commonly based on game-theoretical approaches, of buyers and sellers. Additionally, with agent-based models, it is possible to incorporate the role of real estate agents, that can also influence the overall output.

A. The agent-based model for the English housing market

In [20], the authors' model the idiosyncrasies of the English housing market.

The protagonists of the simulation are sellers, realtors and buyers. The dynamic of the housing market is triggered by newcomers, that are willing to buy a house for the first time, and by households that are compelled to move away from their homes due to a job relocation or due to an increase/decrease on their income. On the other side of the equation, houses that are too old or have a deprecated price are substituted by new houses. Empty slots are also converted into new houses. Every house presents a *Quality* attribute associated to it, which influences on its sell price.

New market entrants and people willing to move away from their houses compose the **buyers** class. Each buyer searches randomly for a house he can afford (whose mortgage is compatible with his income, denoted by variable *Affordability*) in a specified radio in the grid. The property that presents the highest price (and hypothetically presents the best quality), yet still affordable, is chosen. The buyer then makes an offer for the house. If no property with the desired attributes is found in a cycle, the buyer might change his search space for the next one. If no house is found for *MaxHomelessPeriod* periods, the buyer gives up and leaves the market.

Houses' prices are defined by **realtors**. Each realtor is responsible for a coverage area of the city. In some places, there is an overlap on realtors' actuation areas. When a property enters the market, the nearest realtor is consulted to define the price of the property. Each realtor keep record of all the properties he sold within a location, and calculates the average price. This value is then multiplied by the *Quality* attribute of the house. If the realtor does not have any information about previous sales, he uses the average mortgage price of the properties in the region or in the whole city. The estimated average price of the property is then increased by a boosting factor expressed by *RealtorOptimism* variable. If a house is not sold during a predetermined period, its selling price is reduced by *PriceDropRate* and stays on the market with the adjusted price.

The **sellers**, house owners, have previous mortgages with a certain duration (*MortgageDuration*). If they sell their property, they need to quit the mortgage and if, after that, some money remains, he can use this as a partial or full payment for the next house.

B. Implementation details

As highlighted in the model description, the simulation requires several parameters. Some can be easily estimated, as in the case of income distribution. In the original paper, the authors adopted a Gamma distribution around the *Mean-Income* value for England. Such information can be extracted

from official census for other countries. The number of new properties that entered the market within a period can be also easily obtained. Moreover one can gather information about the profile of the properties, such as the number of bedrooms, to define the variable *Quality*, associated to each property. The expected behaviour of the system is measured by the average price of the square meter in the target city.

Other variables that compose the model are not available and should be estimated, though. The proposed method, presented in section IV, can be employed on this task. In order to correctly execute the selected housing market model, those are the variables that must be calibrated: (1) the number of newcomers that want to buy a house for the first time; (2) the number of house owners that decide to buy another property; (3) the number of cycles a buyer is willing to wait before giving up (*MaxHomelessPeriod*); (4) the *RealtorOptimism* factor used to adjust the properties' prices by the realtors; (5) the amount the price of a house is decreased if it is not sold in a period (*PriceDropRate*); and (6) the duration of the mortgages previously contracted by house owners (*MortgageDuration*).

Additionally, there are other parameters that possibly influence the system's behaviour and require a further investigation, such as: (1) how the *Quality* attribute of properties varies among them?; (2) is *Affordability* attribute uniform to all the buyers population?; (3) do realtor's number and actuation radious influence the output?; (4) is the interest for specific locations uniform among the whole city?

After analysing the gain in accuracy by adding all the parameters listed above, the method for calibrating parameters in agent-based simulations, presented in section IV, will be executed for the housing market scenario. Similarly, the *CMA-ES* method will be applied to the very same task and will be used as a benchmark in terms of computational and time cost.

VI. Final remarks

The problem of calibrating parameters has unquestionable relevance to the social agent-based simulation field. Surprisingly, there are few works specifically aimed at developing methods to this end. Most of the applied techniques are borrowed from other research fields, such as Econometrics.

In this work we propose a new method for calibrating the simulation parameters in a social agent-based model. As surprising as it might seem, we suggest an inversion on the modelling logic: the first step of our method consists of acquiring a top-down model of the same phenomena, and calibrating the parameters of this model. Then this parameters are decomposed into independent and meaningful calibration subproblems. The identification of the system archetype is crucial to define how the macro variables should be disassembled into independent subproblems. Each subproblem, in turn, contains the inumerous agent parameters that, when aggregated, result in the macro behaviour.

Some questions regarding the performance of the proposed method should be carefully evaluated on the next steps: as this is a two phase calibration process, there are two points were precision errors can be inserted in the process, or even noise can be amplified.

Overall, we believe our method take advantages of the two modelling approaches, specially under two perspectives. Namely, by reducing the parameter calibration search space, by using a top-down perspective, while, at the same time, not limiting the required multitude of dimensions in agent-based models. The proposed method deals with the vast search space by subdividing it into self-contained calibration problems, that can be solved in a parallel fashion. Moreover, it provides means for the refinement of the agent-based model, as the level of detail of agent's model can be incrementally increased.

References

[1] HOLLANDER, C.; WU, A. The current state of normative agent-based systems. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 14, n. 2, p. 6, 2011.

[2] MONTEIRO, L. H. A. *Sistemas dinâmicos*. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2006.

[3] GILBERT, N.; TROITZSCH, K. G. *Simulation for the social scientist*. [S.l.]: McGraw-Hill International, 2005.

[4] LOWRY, I. S. A short course in model design. *Journal of the American Institute of Planners*, Taylor & Francis, v. 31, n. 2, p. 158–166, 1965.

[5] WINDRUM, P.; FAGIOLO, G.; MONETA, A. Empirical validation of agent-based models: Alternatives and prospects. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 10, n. 2, p. 8, 2007.

[6] RICHIARDI, M. G. et al. A common protocol for agent-based social simulation. *Journal of artificial societies and social simulation*, v. 9, 2006.

[7] SEE, L. et al. Calibration and validation of agent-based models of land cover change. In: *Agent-based models of geographical systems*. [S.l.]: Springer, 2012. p. 181–197.

[8] HEPPENSTALL, A. J. et al. *Agent-based models of geographical systems*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2011.

[9] SMAJGL, A.; LARSON, S. Characterising human agents in the mekong region. In: *Proceedings of the 19th International Congress on Modelling and Simulation*. [S.l.: s.n.], 2011.

[10] DOSI, G.; FAGIOLO, G.; ROVENTINI, A. An evolutionary model of endogenous business cycles. *Computational Economics*, Springer, v. 27, n. 1, p. 3–34, 2006.

[11] SAWYER, K. R.; BEED, C.; SANKEY, H. Underdetermination in economics. the duhem-quine thesis. *Economics and Philosophy*, Cambridge Univ Press, v. 13, n. 01, p. 1–23, 1997.

[12] MALERBA, F. et al. 'history-friendly'models of industry evolution: the computer industry. *Industrial and corporate change*, Oxford Univ Press, v. 8, n. 1, p. 3–40, 1999.

[13] ROGERS, A.; TESSIN, P. V. Multi-objective calibration for agent-based models. 2004.

[14] LEWKOVICZ, Z.; DOMINGUE, D.; KANT, J.-D. An agent-based simulation of the french labour market: studying age discrimination. In: *The 6th Conference of the European Social Simulation Association, eds., Bruce Edmonds and Nigel Gilbert,(9 2009)*. [S.l.: s.n.], 2009.

[15] FEHLER, M.; KLÜGL, F.; PUPPE, F. Approaches for resolving the dilemma between model structure refinement and parameter calibration in agent-based simulations. In: ACM. *Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*. [S.l.], 2006. p. 120–122.

[16] WOLFRAM, S. *A new kind of science*. [S.l.]: Wolfram media Champaign, 2002.

[17] STERMAN, J. D. *Business Dynamics - Systems thinking and modeling for a complex world*. United States: Irwin McGraw-Hill, 2000.

[18] TARANTOLA, A. *Inverse problem theory and methods for model parameter estimation*. [S.l.]: siam, 2005.

[19] HANSEN, N.; MÜLLER, S. D.; KOUMOUTSAKOS, P. Reducing the time complexity of the derandomized evolution strategy with covariance matrix adaptation (cma-es). *Evolutionary computation*, MIT Press, v. 11, n. 1, p. 1–18, 2003.

[20] GILBERT, N.; HAWKSWORTH, J. C.; SWINNEY, P. A. An agent-based model of the english housing market. In: *AAAI Spring Symposium: Technosocial Predictive Analytics*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 30–35.

Efficient Blind Signatures from Lattices

RICARDINI, J. E.*; BARRETO, P. S. L. M. *
*LARC - School of Electrical and Computer Engineering
E-mail: {jricardini,pbarreto}@larc.usp.br

***Abstract*—A blind signature scheme allows one to sign a message without knowing any information about the original message or the identity of the requesting person. They were originally introduced by Chaum, and are essential for many advanced applications, such as , e-voting and e-cash. Nowadays, the most widely used blind signature schemes are based on RSA, elliptic curve cryptography and pairings. However, there exist threats for these primitives. Such threats are related to recent discoveries of classical for solving certain discrete logarithms used in these cryptographic tools. Another threat is the Shor's quantum algorithm for factoring large integers and compute discrete logarithms in finite fields. The hardness of these problems is directly related to the security of the cryptosystems mentioned above. Aiming to tackle these issues, herein we propose a technique for obtaining blind signatures from plain signature schemes based on lattices, providing a scheme that resists the aforesaid attacks.**

***Keywords*— Cryptography; Blind signature; Post-quantum; Lattices.**

I. Introduction

A blind signature scheme allows one to generate signatures without revealing any information about the original message (or the identity of the requesting person). Despite this added privacy property, one can still publicly verify the resulting blind signature against the original unblinded message, just as in a regular digital signature. Blind signatures were originally introduced by Chaum [1], and are essential for many advanced applications, such as, banking, e-voting and e-cash [2], [3].

Herein we propose a technique for obtaining post-quantum blind signatures from plain signature schemes based on lattices. Our proposal is to hide the information about the message by using controlled noise. The signer and the requester add each a distinct Gaussian noise layer to the signature. This technique ensures the requester's anonymity and the message confidentiality, while also preserving the nature of the signature distributions.

Melchor *et al.* [4] originally proposed a similar strategy for sealing the leakage of NTRU signatures and we now generalize it and use it in the context of blind signatures. As result, we can get an efficient post-quantum blind signature scheme.

Nowadays, the main blind signature schemes are based on RSA [5], [1], elliptic curve cryptography (ECC) [6] and pairings [7]. However, there is threats for the last two primitives, due to recent discoveries of classical algorithms for solving certain discrete logarithms related to these cryptographic primitives [8].

Another threat is Shor's quantum algorithm for factoring large integers and compute discrete logarithms in finite fields in polynomial time [9], which would break all aforementioned primitives, since the security of classic schemes relies on difficulty of solving these problems. Even though quantum computers are still far from being practical, the risk that advances in the area make quantum computers a reality has motivated the search for better alternatives [10].

Alternative schemes based on different computational problems are, thus, necessary to address this concern. Fortunately, there exist a development of the so-called *post-quantum* cryptosystems [10], which are resistant to these attacks. Lattices are the root of one of the biggest post-quantum cryptosystem families, thanks to their flexibility in terms of possible applications. Such flexibility makes lattice-based cryptography a viable alternative to classic primitives in construction of blind signatures schemes.

Actually, it is interesting to notice that, the first post-quantum blind signature scheme in the literature, proposed by Rückert [11], was based on lattices. This scheme is just a proof-of-concept, though, as it is not efficient nor practical in terms of signature and key sizes or bandwidth occupation.

Our main goal in this work is to improve blind signature schemes based on the *Closest Vector Problem* (CVP). This problem, directly related to lattice problems, is the base of many signature schemes.

The remainder of this documents is organized as follows. We introduce basic notions on lattices and related concepts in Section II. We discuss the generic lattices signatures and the strategy for selling leakage in Section III. Finally, we conclude and point out the ongoing work, and next steps in Section IV.

II. Preliminary concepts

Use use the following notation throughout the text, except where otherwise indicated.

Let $\mathbb{Z}$ be the set of integer numbers and $q \in \mathbb{Z}$, $\mathbb{Z}_q$ denotes the set of integers modulo q. $\mathcal{R}_q$ denotes the ring $\mathbb{Z}_q[x]/(x^n - 1)$ of polynomials of degree n modulo $x^n - 1$. The ring $\mathcal{R}_q$ is isomorphic to $\mathbb{Z}_q^n$, hence we can represent any polynomial of $\mathcal{R}_q$ as a vector with n elements. We will use bold-face letters to represent the elements of the ring $\mathcal{R}_q$. This goes for both, polynomial notation $\mathbf{x} = \sum_{i=0}^{n-1} a_i x^i$ and for vector representation $\mathbf{x} = (x_0, x_1, ..., x_{n-1})^T$. Finally, matrices will be represented with bold-face capital letters $\mathbf{A} \in \mathbb{Z}_q^{n \times m}$.

Definition 1: ***(Lattice).*** Let $\mathbb{R}^n$ be an n-dimensional Euclidean vector space over $\mathbb{R}$, and let $B := \{\mathbf{b_1}, \ldots, \mathbf{b_n}\}$ be a set of n linearly independent vectors. A lattice $\mathcal{L}$ in $\mathbb{R}^n$ is an

additive subgroup consisting of all linear combinations of B with integer coefficients, with the form

$$\mathcal{L}(\mathbf{b_1}, \ldots, \mathbf{b_n}) = \left\{ \sum_{i=1}^{n} x_i \mathbf{b_i} : x_i \in \mathbb{Z} \right\}.$$

B is called *lattice basis*. The same lattice $\mathcal{L}$ can be generated by different bases. A basis composed by short, nearly orthogonal vectors is deemed a *good* basis, whereas a *bad* basis has a big orthogonality defect. B can be represented by a matrix $\mathbb{R}^{n \times n}$. In this notation, the lattice generated by $\mathbf{B}$ is defined as $\mathcal{L} = \{\mathbf{Bx} \mid \mathbf{x} \in \mathbb{Z}^n\}$.

Also, let $\mathscr{A}$ denote a syndrome function for the lattice basis, i.e. a linear function such that $\mathscr{A}(\mathbf{p}) = 0$ (i.e, $\mathbf{Ap} = 0$) iff $\mathbf{p} \in \mathcal{L}$.

III. A GENERAL CVP SIGNATURE SCHEME

The CVP is defined as follow: given lattice $\mathcal{L}(\mathbf{B})$ and a vector $\mathbf{t} \in \mathbb{R}^m$, the goal is to find the vector $\mathbf{v} \in \mathcal{L}(\mathbf{B})$ closest to $\mathbf{t}$.

The first cryptosystem based on CVP was GGH [12], inspired by the seminal work of Ajtai [13]. It is based on the CVP in the sense that its security is related to the hardness of approximating the CVP in a lattice. Although the GGH scheme was firstly focused on encryption, Goldreich *et.al.* also described how the underlying principle of the GGH encryption could also provide a signature scheme.

GGH signature scheme did not attract much interest in research literature because it was not competitive with other cryptosystem in terms of efficiency. This scenario has changed after the proposal of NTRUSign [14]. It is based on the same design as GGH, but using the compact NTRU [15] scheme lattices parameters.

However, NTRUSign signature scheme [14] is long known to leak enough information to enable recovering the private signing key after a small sample of signatures has been made public [16]. The leak has been sealed by introducing Gaussian noise to the signatures [4]. In fact, the technique adopted to seal the NTRUSign leak is more general, and can be applied in principle to any CVP signature scheme. We now summarize the technique by Melchor *et al.* [4], formulating it in the general CVP setting.

In what follows, let $\mathsf{CVP}(\mathbf{p}, \mathbf{G})$ be a function that, given a vector $\mathbf{p}$ and a 'good' private basis $\mathbf{G}$ for a lattice $\mathcal{L}$, returns a lattice vector sufficiently close to $\mathbf{p}$ (according to some criterion). Also, Let $\mathscr{H}$ be a random oracle. The naive and *insecure* way to obtain digital signatures from the CVP assumption is described in algorithm 1.

This scheme has a leakage, given a number of valid signatures, it is possible to recover the private basis $\mathbf{G}$. This vulnerability was pointed out in the attack proposed by Nguyen and Regev [17] then improved by Ducas and Nguyen [16]

A way to make this scheme secure is to hide the leaky signature with Gaussian noise. This essential idea had already appeared in the Lyubashevsky signature scheme [18], and was first applied to a CVP setting in the case of the NTRUSign scheme [4].

Algorithm 1 Leaky CVP signatures

▷ *Alice signs message m:*
$\mathbf{h} \leftarrow \mathscr{H}(m)$
$\mathbf{s} \leftarrow \mathbf{h} - \mathsf{CVP}(\mathbf{h}, \mathbf{G})$ ▷ $\mathbf{s}$ is a 'short' vector and $\mathbf{G}$ is a 'good' basis for the lattice i.e. the private key
if $\|\mathbf{s}\| > \tau$ **then**
  return $\perp$ ▷ fail if too large
else
  return $\mathbf{s}$
end if
▷ *Bob verifies the signature s for message m:*
if $\|\mathbf{s}\| > \tau$ **then**
  return $\perp$ ▷ reject
end if
$\mathbf{h} \leftarrow \mathscr{H}(m)$
if $\mathscr{A}(\mathbf{h} - \mathbf{s}) \neq 0$ **then**
  return $\perp$ ▷ reject
else
  return Accept
end if

Intuitively, the overall strategy is to mask the very short (but leaky) signature with Gaussian noise that is large enough to seal the leak, but small enough so that the resulting signature remains short.

Formally, it is based on the zero-knowledge proof (ZKP) of the 'good' lattice basis $\mathbf{G}$ described in algorithm 2.

Algorithm 2 ZKP of 'good' lattice basis

1: Peggy, the prover, samples the Gaussian noise $\mathbf{n} \xleftarrow{\$} D_\sigma^n$ and sends its syndrome $\mathscr{A}(\mathbf{n})$ to Charlie.
2: Charlie, the challenger, picks a uniformly random challenge $\mathbf{h} \xleftarrow{\$} \mathbb{Z}^n$ and sends it to Peggy.
3: Peggy computes a short integer solution $\mathbf{s} \leftarrow \mathbf{h} - \mathsf{CVP}(\mathbf{h}, \mathbf{G})$ to the equation $\mathscr{A}(\mathbf{s}) = \mathscr{A}(\mathbf{h})$.
4: Peggy computes a short integer solution $\mathbf{c} \leftarrow \mathbf{s} + \mathbf{n}$ to the equation $\mathscr{A}(\mathbf{c}) = \mathscr{A}(\mathbf{h}) + \mathscr{A}(\mathbf{n})$ and returns $\mathbf{c}$ to Charlie.
5: Charlie checks that $||\mathbf{c}|| \leqslant \tau'$ and that $\mathscr{A}(\mathbf{c}) = \mathscr{A}(\mathbf{h}) + \mathscr{A}(\mathbf{n})$.

Note that taking $\mathbf{c} \leftarrow \mathbf{s} + \mathbf{n}$ effectively hides $\mathbf{s}$ with Gaussian noise while leaving $\mathbf{c}$ still short, while also leading to $\mathscr{A}(\mathbf{c}) = \mathscr{A}(\mathbf{s}) + \mathscr{A}(\mathbf{n}) = \mathscr{A}(\mathbf{h}) + \mathscr{A}(\mathbf{n})$ as required.

The Fiat-Shamir paradigm [19] essentially yields a signature scheme without leaks from the usual non-interactive version of the above ZKP. Let $\mathscr{H}$ now be a random oracle taking a syndrome and a message as argument. The overall scheme is described in algorithm 3:

In our work we refine and generalize Melchor *et al.*'s [4] approach to seal NTRU signatures leakage. This generalization was made in order to adapt their technique for any CVP based signature, the algorithm 3 is already the generalized version. One can find the original approach in Melchor *et al.*'s original paper [4].

Using this generalized version of Melchor *et al.*'s technique, we can get an efficient post-quantum blind signature.

The overall strategy to attain a blind signature scheme is that Bob, the requester, masks the hash with suitably shaped noise before submitting it to Alice, the signer. Then she signs the received hash and sends the result to Bob. Finally, Bob masks

Algorithm 3 Sealed CVP signatures

▷ *Alice signs message* m*:*
$\mathbf{n} \xleftarrow{\$} D_\sigma^n$ ▷ sample the Gaussian noise
$\mathbf{h} \leftarrow \mathscr{H}(\mathscr{A}(\mathbf{n}), m)$ ▷ commit $\mathscr{A}(\mathbf{n})$ and simulate challenge
$\mathbf{s} \leftarrow \mathbf{h} - \mathsf{CVP}(\mathbf{h}, \mathbf{G})$ ▷ obtain CVP to $\mathscr{A}(\mathbf{s}) = \mathscr{A}(\mathbf{h})$
$\mathbf{v} \leftarrow \mathbf{s} + \mathbf{n}$ ▷ hide $\mathbf{s}$ and obtain CVP to $\mathscr{A}(\mathbf{c}) = \mathscr{A}(\mathbf{h}) + \mathscr{A}(\mathbf{n})$
if $\|\mathbf{c}\| > \tau'$ **then**
    return $\perp$ ▷ fail if too large
else
    return $(\mathbf{h}, \mathbf{c})$
end if
▷ *Bob verifies the signature* $(\mathbf{h}, \mathbf{c})$ *for message* m*:*
if $\|\mathbf{c}\| > \tau'$ **then**
    return $\perp$ ▷ reject
end if
$\mathbf{h}^? \leftarrow \mathscr{H}(\mathscr{A}(\mathbf{c} - \mathbf{h}), m)$
if $\mathbf{h}^? \neq \mathbf{h}$ **then**
    return Reject
else
    return Accept
end if

the received signature with large enough Gaussian noise to ensure untraceability, but small enough so that the resulting signature is still short. It is in general similar to the leakage sealing technique, and relies on similar security assumptions.

IV. Conclusion

In this document, we presented the argument of our work, which is the possibility of post-quantum efficient blind signature schemes. We propose a novel technique for making blind signature scheme from plain signatures. The first lattice based blind signature scheme appeared on the literature was proposed by Rückert [11], and it is a proof-of-concept, since it is not efficient nor practical in terms of signature and key sizes or bandwidth occupation.

Herein we propose a lattice based blind signature scheme from the CVP problem. Our technique enables one to make blind from lattice based plain signature. It is worth mentioning that thanks to requirements on the parameters of our technique, some signature scheme will not able to generate a secure blind scheme. We present an example of scheme that is compatible with our technique.

Finally, with our technique it will be possible to make lattice based blind signature from plain signature. We expect to get better results than Rückert [11], in terms of Key and signature sizes, and network bandwidth occupation, since our technique tend to require less restarts in the signature process. The number of attempts to generate valid signatures is the reason for the bandwidth occupation bottleneck in Rückert's scheme. Preliminary analysis shows that our propose does not have this issue, because we use well controlled Gaussian noise.

The next steps are related to design of the scheme, security analysis, and the implementation of our scheme. Other activities related to this subject is the paper submission and the doctoral dissertation writing.

Acknowledgment

This work was supported by CAPES.

References

[1] CHAUM, D. Blind signatures for untraceable payments. In: CHAUM, D.; RIVEST, R.; SHERMAN, A. (Ed.). *Advances in Cryptology – CRYPTO '82*. Santa Barbara, CA, USA: Springer, 1983. p. 199–203.

[2] LÓPEZ-GARCÍA, L.; PEREZ, L. J. D.; RODRÍGUEZ-HENRÍQUEZ, F. A pairing-based blind signature e-voting scheme. *The Computer Journal*, British Computer Society, 2013.

[3] MIERS, I. et al. Zerocoin: Anonymous distributed e-cash from bitcoin. In: *Security and Privacy (SP), 2013 IEEE Symposium on*. San Francisco, CA, USA: IEEE, 2013. p. 397–411. ISSN 1081-6011.

[4] MELCHOR, C. A. et al. Sealing the leak on classical NTRU signatures. In: MOSCA, M. (Ed.). *Post-Quantum Cryptography – PQCrypto 2014*. Waterloo, ON, Canada: Springer, 2014, (Lecture Notes in Computer Science). p. 1–21.

[5] POINTCHEVAL, D.; STERN, J. Security arguments for digital signatures and blind signatures. *Journal of Cryptology*, Springer, v. 13, n. 3, p. 361–396, 2000.

[6] POINTCHEVAL, D.; STERN, J. Provably secure blind signature schemes. In: KIMAND k.; MATSUMOTO, T. (Ed.). *Advances in Cryptology – ASIACRYPT '96*. Gyeongju, Korea: Springer Berlin Heidelberg, 1996, (Lecture Notes in Computer Science, v. 1163). p. 252–265.

[7] ZHANG, F.; KIM, K. Id-based blind signature and ring signature from pairings. In: ZHENG, Y. (Ed.). *Advances in Cryptology – ASIACRYPT 2002*. Queenstown, New Zealand: Springer Berlin Heidelberg, 2002, (Lecture Notes in Computer Science, v. 2501). p. 533–547.

[8] BARBULESCU, R. et al. *A quasi-polynomial algorithm for discrete logarithm in finite fields of small characteristic*. 2013. HAL-INRIA technical report, http://hal.inria.fr/hal-00835446/.

[9] SHOR, P. W. Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer. *SIAM J. Comput.*, v. 26, p. 1484–1509, 1997.

[10] BERNSTEIN, D. J.; BUCHMANN, J.; DAHMEN, E. *Post-Quantum Cryptography*. Heidelberg, Deutschland: Springer, 2008.

[11] RÜCKERT, M. Lattice-based blind signatures. In: *Advances in Cryptology – Asiacrypt 2010*. Singapore: Springer, 2010. (Lecture Notes in Computer Science, v. 6477), p. 413–430.

[12] GOLDREICH, O.; GOLDWASSER, S.; HALEVI, S. Public-key cryptosystems from lattice reduction problems. In: JR., B. K. (Ed.). *Advances in Cryptology – CRYPTO'97*. Santa Barbara, CA, USA: Springer Berlin Heidelberg, 1997, (Lecture Notes in Computer Science, v. 1294). p. 112–131.

[13] AJTAI, M. Generating hard instances of lattice problems (extended abstract). In: *Proceedings of the Twenty-eighth Annual ACM Symposium on Theory of Computing – STOC '96*. New York: ACM, 1996. p. 99–108.

[14] HOFFSTEIN, J. et al. NTRUSign: Digital signatures using the NTRU lattice. In: JOYE, M. (Ed.). *Topics in Cryptology – CT-RSA 2003*. San Francisco, CA, USA: Springer, 2003, (Lecture Notes in Computer Science, v. 2612). p. 122–140. ISBN 978-3-540-00847-7.

[15] HOFFSTEIN, J.; PIPHER, J.; SILVERMAN, J. H. NTRU: A new high speed public key cryptosystem. In: *Algorithmic Number Theory Symposium – ANTS III*. [S.l.]: Springer, 1998. (Lecture Notes in Computer Science, v. 1423), p. 267–288.

[16] DUCAS, L.; NGUYEN., P. Q. Learning a zonotope and more: Cryptanalysis of NTRUSign countermeasures. In: WANG, X.; SAKO k. (Ed.). *Advances in Cryptology – Asiacrypt 2012*. Beijing, China: Springer, 2012. (Lecture Notes in Computer Science, v. 7658), p. 433–450.

[17] NGUYEN, P. Q.; REGEV, O. Learning a parallelepiped: Cryptanalysis of ggh and ntru signatures. In: VAUDENAY, S. (Ed.). *Advances in Cryptology – EUROCRYPT'06*. St. Petersburg, Russia: Springer Berlin Heidelberg, 2006, (Lecture Notes in Computer Science). p. 271–288.

[18] LYUBASHEVSKY, V. Lattice signatures without trapdoors. In: *Advances in Cryptology – Eurocrypt 2012*. Cambridge, UK: Springer, 2012. (Lecture Notes in Computer Science).

[19] FIAT, A.; SHAMIR, A. How to prove yourself: Practical solutions to identification and signature problems. In: WANG, X.; SAKO k. (Ed.). *Advances in cryptology – CRYPTO '86*. Santa Barbara, CA, USA: Springer, 1987. (Lecture Notes in Computer Science), p. 186–194.

Bringing down barriers: a method to include blind people in cooperative modeling

LUQUE, L.*; BRANDÃO, A. A. F.*; OLIVEIRA BRANDÃO, L.†
*Escola Politécnica - University of Sao Paulo
†The Institute of Mathematics ans Statistics - University of Sao Paulo
E-mail: {leandro.luque,anarosa.brandao}@usp.br, leo@ime.usp.br

***Abstract*—The inclusion of blind people in some math, computing, and engineering-related courses and jobs is challenging. Among the reasons for that is the frequent use of models that keep a strong dependence on graphical representations. Challenges are related not only to individual access and editing of such models, as well as to scenarios in which other sighted and blind people work cooperatively. The literature on cooperative modeling involving blind people is scarce and few studies have covered aspects related to coordination, communication, and awareness mechanisms in such activities. In this PhD project, we aim at proposing and validating a method to include blind people in cooperative modeling activities. To do that, we developed an accessible web-based tool, called Model2gether (available at model2gether.com), which can be customized regarding supported models, interface styles, and awareness mechanisms. Additionally, we have been conducting experiments involving blind and sighted people to identify: (i) the influence of blind's mental model; (ii) appropriate interface/interaction styles; as well as (iii) appropriate coordination, communication and awareness mechanisms in such activities. Currently, we are updating the tool, planning new experiments and considering the possibility of using haptic devices in a multimodal interaction style.**

***Keywords*— blind, cooperative, modeling, accessible, method**

I. Introduction

According to the World Health Organization [1], there are about 39 million blind people all around the world. The inclusion of people with this impairment in some computing-related courses and jobs is challenging. Among the reasons for that is the frequent use of models that keep a strong dependence on graphical representations [2], [3]. Examples of such models in the computing field are entity-relationship models [4], data flow models [5], and the UML - Unified Modeling Language models [6].

While the literature on the accessibility of these models, hereafter called graphical models, is extensive from the point of view of individual activities [7], [8], [9], [10], [11], [12], many activities carried on in academia and industry have a cooperative nature. Among these, we can cite:

- Teaching and learning: (i) when educators present graphical models and discuss with learners the features and deficiencies of these models; (ii) when educators construct or modify models with learners; (iii) when learners peer review activities based on models produced by classmates.
- Software development: (i) when teams hold meetings, workshops, and other activities aimed at analyzing and designing new systems; studying existing systems; incorporating new features, and performing maintenance.

The existence of solutions for individual activities does not guarantee the possibility of performing cooperative activities since there are several features of the latter that are not present in the former [13]. Among these features are: (i) communication mechanisms; (ii) coordination mechanisms; and (iii) awareness mechanisms [13].

The literature on cooperative modeling involving blind people is scarce [14], [15] and we have found only two software tools that support such modeling activities [16], [14], [17]. One of the tools implements coordination mechanisms using locks (when someone is editing an element, others cannot do it), but does not implement any communication or awareness mechanism. In a user study [14] conducted with 3 visually impaired and 3 sighted people, participants reported difficulties in understanding what others were doing in the tool, an awareness-related issue. At the other hand, a recent user study we conducted showed that continuous feedback is harmful to blind people in cooperative modeling. Moments of interruption as well as configuring the level of awareness were considered essential by blind participants. The other one supports the inclusion of blind people in brainstorming sessions. The system allows blind users to access both 'artifact level' and 'non-verbal level' information through a Braille display.

In this context, further research in this area is essential to gather more information and to produce technologies to support the inclusion of blind people in cooperative modeling.

II. Background

In addition to accessing and updating an artifact (model), there are three main types of social mechanisms that arise in cooperative modeling activities [13]:

- Communication mechanisms: to facilitate the flow of speech and to help overcome breakdowns along it;
- Coordination mechanisms: to allow people to work together and interact;
- Awareness mechanisms: to find out what is happening, what others are doing and, additionally, to let others know what you are doing.

Communication mechanisms involve both verbal and non-verbal communication. The latter includes deictic gestures,

such as pointing to a model element and nodding to agree with someone else.

Regarding coordination mechanisms, one can establish a classification into two categories: master-slave and master-master [18]. In the former, one of the participants takes the activity control, while in the latter participants share the activity control. An example of activity in which coordination occurs is building graphical models in lectures.

In the case of a master-master coordination, it is important to define the editing possibilities of each member. One possible strategy involves maintaining a shared cursor among the participants. Thus, when considering graphical models, only one element of the model can be edited at once. Another potential strategy involves allowing each participant to freely change the model elements. In this case, it may be difficult to implement awareness mechanisms for the visually impaired, because the volume of information available about the changes is huge. In addition, the communication of this information competes with the communication of those related to the changes produced by the participants themselves.

Furthermore, it is possible to establish locks at different levels, to prevent two or more participants from editing the same element. Although the master-master coordination is possible in activities with graphical models, a master-slave scenario where there is a constant alternation between the roles of participants is more common. As an example, when a member of a team (master) explains details about a model, others (slaves) follow the explanation. Then, if one of the other members need to make his/her contribution, he/she can take the role of master.

Awareness, in turn, is related to the knowledge about what is happening and what others are doing.

When blind individuals participate in such activities, all this information competes for two main channels: auditory and haptic.

III. Research Question

The research question we address in this project is how to include blind people in computer-supported cooperative modeling. With regard to the question, we chose to consider only blindness, as opposed to all visual impairment degrees, because people with low vision may access and edit graphical models in its original graphical form, as sighted people, with the help of adequate tools (e.g. screen magnifiers and contrast adjusters). Additionally, the teaching and learning process and the software development process are the two contexts of interest in this project in which cooperative modeling takes place.

IV. Research Objectives

Considering the aforementioned context, the main objective of this project is the development and validation of a method for the inclusion of blind people in cooperative modeling. The method will specify a set of principles and activities that must be followed to choose appropriate interface/interaction styles, as well as coordination, communication, and awareness mechanisms. We will consider initially two types of graph-based models: UML (Unified Modeling Language) Use Case and Class models. To support the experiments and validate the method, we developed an inclusive web-based software tool, called Model2gether (www.model2gether.com) [19], [20].

The specific objectives of this project are:

- Identify the main factors that influence that type of cooperative work;
- Verify what interface/interaction styles as well as coordination, communication, and awareness mechanisms can be used in this work;
- Define what data about the participants and about the activity context must be gathered to choose the adequate interface/interaction styles;
- Describe how these data can be gathered;
- Define how to use this data to produce a specification of suitable interface/interaction styles, as well as of appropriate coordination, communication, and awareness mechanisms;
- Describe how to map this specification into supportive software systems requirements.

V. Related Work

Winberg and Bowers [15] examined the cooperation between sighted and visually impaired people while playing Hanoi Towers games. The authors emphasized the importance of providing visually impaired participants with a continuous feedback on the game state (awereness). Not maintaining a shared cursor control among participants was also identified as a factor that improves orientation, involvement and coordination of shared activities [21].

Oliveira et al. [22] discussed how visually impaired learners may interact with educators and with graphical content during Geometry and Trigonometry classes. The authors adressed how to translate deictic gestures made on a whiteboard with static content into a haptic representation.

Metatla et al. [16], [23], [14] proposed a tool, known as CCMi, which allows collaborative editing of graph-based graphical models for sighted and visually impaired people. The tool was developed in Java and allows the visually impaired to interact with the diagram via keyboard and an haptic device (Geomatic Touch[1]). The model is represented in two ways: in its original state (no changes) and hierarchically. The authors implemented concurrent access to models by locking means. Aside from this, no other mechanism to regulate the cooperation was implemented.

Kunz et al. [24] described a system (CoME) that supports the inclusion of blind people in brainstorming sessions. The authors' main contribution was related to investigating collaborative aspects in dynamic content. The system allows blind users to access both 'artifact level' and 'non-verbal level' information through a Braille display. Pölzer et al. [17] presented the users' opinions about studies conducted in trios (2 sighted and 1 blind participant) with CoME. The studies

[1]Formely known as Phantom Omni.

aimed at collaboratively creating mind maps. Both artifact and non-verbal communication were established. Leap Motion was used to detect deictic pointing gestures. A tree-view of the mind map was presented to the blind and Braille displays were used in the tests. Although speech output could be used with the developed interface, the authors tested only Braille displays.

Casela [25] studied the accessibility of data flow diagrams to blind individuals.

Regarding our previous published work in this field, we defined a set of high level user requirements to include blind people in cooperative e-learning activities in [26], [27]. Furthermore, we conducted a user study with 4 blind people to evaluate different awareness strategies.

VI. Method

The method described in this section was approved by the USP Universitary Hospital Research Ethics Committee (CAAE 49264815.3.0000.0076).

We initially conducted two systematic reviews. One of them on the accessibility of UML models to visually impaired people and another one on computer-supported cooperative work involving people with this type of disability.

Then, we defined the requirements and developed a web-based tool, Model2gether, to support experiments with cooperative modeling.

Model2gether's accessibility was checked through its conformance with WCAG 2.0. To do that, we used an automatic free service available at achecker.ca. No known problems nor likely problems were found by the service.

After that, we carried out a user study with 4 blind and 1 sighted people. The blind participants were invited from the Brazilian Blind Programmers List. The sighted participant was one of the authors.

Firstly, we invited the blind participants to test the tool in order to assure its accessibility. For this, they were asked to conduct the following activities: (i) open the tool website and create an account; (ii) sign-in into the system; (iii) localize the help menu, open and read it; (iv) open a use case model that was shared with them and identify the actors, use cases, and relationships; (v) create a new use case model based on a textual description; and finally (vi) share this diagram.

Before the tests, a lecture about use case modeling was provided by the sighted participant. Participants were allowed to make questions anytime. The lecture was used to assure that all participants shared the same definition about concepts that could influence cooperative modeling.

To perform the activities, each pair received 3 system descriptions to model using use cases (academic, restaurant, and e-commerce). The descriptions defined features so as to guarantee/ensure that the systems model size would not differ. Each model domain was explained to the partner. The features were divided (50/50) among the participants and each one had to create the actors, use cases, and relationships related to the features received. Some of the features overlapped in terms of actors and use cases in order to require participants' knowledge about what the other participant was doing (awareness).

In order to isolate the effects of awareness and non-verbal communication, each system was modeled with the same cooperative configuration (despite differences in awareness and non-verbal communication). Additionally, to assure that the order in which each awareness and non-verbal communication configuration was used did not influence the results, we varied the order for the users.

One of the systems was modeled without continuous information (A). The blind users were instructed to disable the checkbox "Follow model updates" and to turn it on only when they felt necessary.

Another one was modeled only with beep to inform that something changed or an element was selected (B). That is to say, no messages were continuously communicated about changes. Only a beep sound was reproduced when the other participant made changes to the model. To be aware about changes, the blind participant could navigate through the history of actions made by the other participant.

Finally, the last system was modeled with continuous awareness and pointing information (C). In other words, every change made to the model by one participant and every pointing was immediately communicated by the system to the other in the pair by messages, such as "A new actor was created: Student".

In the next step of the research, we are going to conduct experiments involving blind people to gather information that can help us reaching the project objectives. The experiments will involve the execution of a set of activities, further described. After performing the activities, participants will answer questions related to each of them. Blind participants will be asked to verbalize what they are doing during the experiments. Activities will be conducted both individually and in groups. They may be organized into five categories: model creation, peer-review, features addition, error correction, and refactoring. These categories are described next:

- Model creation: the participants will create a model from scratch.
- Peer-review: the participants will review the model created by others.
- Features addition: In this category, participants will be presented a valid model and will have to add new features to it.
- Error Correction: In this category, a model with errors will be presented to participants and they should identify and correct them;
- Refactoring: In this category, a valid model will be presented to participants and they should propose changes in its structure to improve its quality;

These categories involve common activities both in academic and industrial settings. They were organized in such a way that participants face a growing complexity. To be able to add features to a model, for example, he/she must be able to understand a model (peer-review) and create a model.

Different coordination, communication, and awareness mechanisms will be used. Additionally, we are going to test various interface/interaction styles.

All users will use a screen recording software to record their activity and the conversation will also be recorded with their consenting. Based on the participants feedback, we will iteratively improve the method (first version to be proposed) and the supportive tool (Model2gether).

VII. To Date Results

A. Publications and Submissions

The systematic review results were submitted to CHI 2016. The Model2gether requirements and a comparison with existing tools were published in RBIE [26] and SBIE 2014 [27]. Details about the tool implementation were published in CBSoft 2016 [19] and SBIE 2016 [20]. With regards to the conducted experiments, the results were submitted to CHI 2016. This PhD research project was presented at the ASSETS 2016 Doctoral Consortium.

B. Model2gether

As a technological result of this PhD, we have developed a web-based tool to support cooperative modeling involving blind people. It is a free software - distributed under the GNU General Public License (GPL). It currently allows cooperative modeling of UML use case models, but we have been working on extensions to Class and Entity-Relationship models.

C. Use Study

All blind participants were very excited with the lecture and the tool and gave positive feedback (e.g. "It was the first time I felt comfortable following a class that contains graphical content"). One of them used the tool a week later to work together with colleagues in order to create a use case model for a course he was taking.

VIII. Contributions

We have not found in the literature any method similar to the one proposed in this work. Additionally, no other tool was found with the same features as Model2gether.

Acknowledgment

We would like to thank Toshiba - grant 2014/Dr-02 (TOSHIBA-EPUSP) for supporting this research. This project also won the Google Latin America Research Award 2016.

References

[1] PASCOLINI, D.; MARIOTTI, S. Global estimates of visual impairment: 2010. *The British journal of ophthalmology*, v. 96, n. 5, p. 614–618, 2012.

[2] LUQUE, L. et al. Can We Work Together? On the Inclusion of Blind People in UML Model-Based Tasks. In: LANGDON, P. M. et al. (Ed.). *Inclusive Designing*. [S.l.]: Springer International Publishing, 2014. p. 223–233. ISBN 978-3-319-05094-2 978-3-319-05095-9. DOI: 10.1007/978-3-319-05095-9_20.

[3] COBURN, S.; OWEN, C. B. UML diagrams for blind programmers. In: *Proceedings of the 2014 ASEE North Central Section Conference. Oakland, USA*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–7.

[4] CHEN, P. P.-S. The entity–relationship model: toward a unified view of data. *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, ACM, v. 1, n. 1, p. 9–36, 1976.

[5] LI, Q.; CHEN, Y.-L. *Modeling and Analysis of Enterprise and Information Systems: from requirements to realization*. [S.l.]: Springer Publishing Company, Incorporated, 2009.

[6] RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I.; BOOCH, G. *Unified Modeling Language Reference Manual, The*. [S.l.]: Pearson Higher Education, 2004.

[7] BREWSTER, S. Visualization tools for blind people using multiple modalities. *Disability & Rehabilitation*, Informa UK Ltd UK, v. 24, n. 11-12, p. 613–621, 2002.

[8] CALDER, M. et al. Teaching data structures to students who are blind. *ACM SIGCSE Bulletin*, ACM, v. 39, n. 3, p. 87–90, 2007.

[9] GRILLO, F. D. N.; FORTES, R. P. de M. Accessible modeling on the web: a case study. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 27, p. 460–470, 2014.

[10] KING, A. et al. Presenting UML Software Engineering Diagrams to Blind People. In: MIESENBERGER, K. et al. (Ed.). *Computers Helping People with Special Needs*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2004, (Lecture Notes in Computer Science, 3118). p. 522–529. ISBN 978-3-540-22334-4 978-3-540-27817-7. DOI: 10.1007/978-3-540-27817-7_76.

[11] LOITSCH, C.; WEBER, G. *Viable haptic UML for blind people*. [S.l.]: Springer, 2012.

[12] METATLA, O.; BRYAN-KINNS, N.; STOCKMAN, T. Constructing relational diagrams in audio: the multiple perspective hierarchical approach. In: ACM. *Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*. [S.l.], 2008. p. 97–104.

[13] PREECE, J.; SHARP, H.; ROGERS, Y. *Interaction Design-beyond human-computer interaction*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015.

[14] METATLA, O. et al. Cross-modal collaborative interaction between visually-impaired and sighted users in the workplace. In: *Proc. of the Designing Interactive Systems Conference 2012*. [S.l.]: Georgia Institute of Technology, 2012.

[15] WINBERG, F.; BOWERS, J. Assembling the senses: towards the design of cooperative interfaces for visually impaired users. In: ACM. *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work*. [S.l.], 2004. p. 332–341.

[16] BRYAN-KINNS, N.; STOCKMAN, T.; METATLA, O. Collaborative cross-modal interfaces. *Proc. of Digital Futures*, v. 10.

[17] PÖLZER, S. et al. An accessible environment to integrate blind participants into brainstorming sessions. In: SPRINGER. *Int. Conf. on Computers Helping People with Special Needs*. [S.l.], 2016. p. 587–593.

[18] KI, B.; KLASKY, S. Scivis. *Concurrency: Practice and Experience*, Wiley Online Library, v. 10, n. 11-13, p. 1107–1115, 1998.

[19] LUQUE, L. et al. Model2gether: a tool to support cooperative modeling involving blind people. In: *Proc. VII Brazilian Software Conference*. [S.l.: s.n.], 2016.

[20] LUQUE, L. et al. Model2gether: uma ferramenta de apoio ao ensino e a aprendizagem de modelos por cegos. In: *Proc. XXVII Brazilian Conference of Informatics in Education*. [S.l.: s.n.], 2016.

[21] WINBERG, F. Supporting cross-modal collaboration: adding a social dimension to accessibility. In: *Haptic and Audio Interaction Design*. [S.l.]: Springer, 2006. p. 102–110.

[22] OLIVEIRA, F. et al. Enabling multimodal discourse for the blind. In: ACM. *Int. Conf. on Multimodal Interfaces and the Workshop on ML for Multimodal Interaction*. [S.l.], 2010. p. 18.

[23] METATLA, O. et al. Designing for collaborative cross-modal interaction. In: *Proc. of Digital Engagement 2011 the 2nd RCUK Digital Economy All Hands Meeting*. [S.l.: s.n.], 2011.

[24] KUNZ, A. et al. Accessibility of brainstorming sessions for blind people. In: SPRINGER. *International Conference on Computers for Handicapped Persons*. [S.l.], 2014. p. 237–244.

[25] CASELA, D. E. *Periferico de Implementao de Diagrama de Fluxo de Dados para Cegos*. Dissertação (Mestrado) — University of Mogi das Cruzes, Brasil, 2014.

[26] LUQUE, L. et al. On the inclusion of blind people in uml e-learning activities. *Brazilian Journal of Informatics in Education*, v. 23, n. 02, p. 18, 2015.

[27] LUQUE, L. et al. Are you seeing this? what is available and how can we include blind students in virtual uml learning activities. In: *Proc. XXV Brazilian Conference of Informatics in Education*. [S.l.: s.n.], 2014. v. 25, n. 1, p. 204–213.

Improving Deep Reinforcement Learning through Knowledge Transfer

GLATT, R.*; COSTA, A. H. R.*
*Engenharia de Computação – Laboratório de Técnicas Inteligentes (LTI)
Escola Politécnica – Universidade de São Paulo
Email: {ruben.glatt, anna.reali}@usp.br

***Abstract*—This proposal concerns the domain of Machine Learning research and focuses on improving the state-of-the-art in Reinforcement Learning (RL). Conventional RL algorithms are well suited for single task learning but do not scale well to multi task learning. Consequently, our objective lies on further advancing the recent results of successful Deep Reinforcement Learning (DRL) agents by leveraging the power of Transfer Learning algorithms. In a first step, we have implemented and open sourced a framework to work with DRL agents in an Atari 2600 Arcade Learning environment and published the results of our initial experiments. The goal of this project is to build autonomous agents that assemble libraries of abstracted knowledge from known tasks and uses them to speed up and improve the learning of unknown tasks.**

***Keywords*— Deep Learning; Reinforcement Learning; Transfer Learning.**

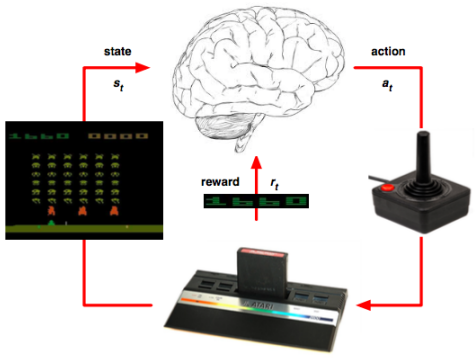


Fig. 1. Standard RL setup: After performing an action a_t in state s_t, an agent receives a reward r_t and an update of the current state s_{t+1} from the environment [3].

I. Introduction and Context

Deep Learning (DL) is a technique that has been gaining a lot of publicity in recent years. It has driven many of the recent Machine Learning (ML) developments by profiting from the comeback of neural networks (NN) in Artificial Intelligence (AI) research. DL allows to learn abstract representations of high dimensional input data and can be used to improve many existing ML techniques [1]. DL architectures became one of the most powerful tools in AI in short time, beating long standing records not just in one, but in many domains of ML, as for example in object recognition, hand-written digit recognition, speech recognition, natural language processing or recommender systems.

One of the techniques that can benefit from DL is the well-researched area of Reinforcement Learning (RL) [2]. In RL, an agent explores the space of possible strategies or actions in a given environment, receives a feedback (reward or cost) on the outcome of the choices made and deduces a behavior policy from his observations. An agent can interact with its environment by performing an action on each discrete time-step. The environment then answers by updating the current state to a follow-up state and by giving a reward to the agent, indicating the value of performing a certain action in a certain state as shown in Figure 1. By performing various actions in a trial-and-error manner a sequence of states s, actions a, follow-up states s' and rewards r is generated and can be either directly used to train the agent or can be stored in episodes as tuples of $\langle s, a, r, s' \rangle$. The goal of the agent is to determine a policy π that maps any state to an action, which maximizes the accumulated reward over the lifetime of the agent.

This form of sequential decision-making can be considered a Markov Decision Process (MDP) [4]. The core of the MDP is the Markov Property (MP), which is given, if future states of the process depend only upon the present state and the action we take in this state, but not on how this state was reached. RL algorithms already achieve excellent results in a variety of domains like the board-game domain [5], autonomous helicopter flight [6] or robot soccer [7]. The LTI group has contributed in this area for example by investigating the use of heuristic functions to increase the rate of convergence of RL algorithms [8] and a framework for simultaneous RL [9] in Robotics navigation.

Conventional RL algorithms have three major flaws. First, they need a long time and many examples to converge to an acceptable result during training. Second, a model that has been trained on one task can only be used on that same task. And third, the possible state and action spaces are not always fully observable and the model achieves bad results when it is confronted with an unknown state. Recent work in combining the power of DL techniques with RL have let to more powerful intelligent agents, which are now able to solve problems with high-dimensional input data, like images, with reasonable computational efforts as demonstrated in the Atari game playing domain by [10] or more recently in the Chinese board game Go, which was previously believed to be at least

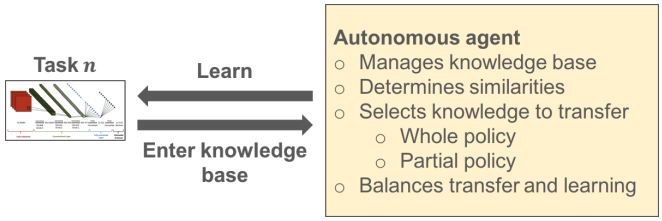


Fig. 2. Simplified sketch of proposed autonomous agent.

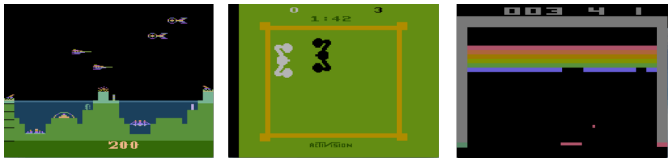


Fig. 3. The Atari games for which DQNs were trained from left to right: Atlantis, Boxing, and Breakout.

a decade away [11].

Although it is not a new idea to use NN on RL problems [12], advances in algorithms for DL have brought up a new wave of successful applications kickstarted by the 2013 version of [10] and created the field of Deep Reinforcement Learning (DRL). In this context a trained deep NN (DNN) can be seen as a kind of end-to-end RL approach, where the agent learns a state abstraction and a policy approximation in a single network directly from its input data. The policy follows the optimal action-value function $Q^*(s, a)$, which is approximated by the DNN, which is therefore termed Deep Q-Network (DQN).

The basic architecture of the DQN algorithm introduces three changes to classic approaches to make the learning of a task more efficient. The first is the introduction of an *experience memory*, where the agent stores transitions in tuples of $\langle s, a, r, s' \rangle$ during acting and draws random tuples for training to break up sequential data and reduce correlations of training examples. The second one is the introduction of a second network for the policy evaluation, that is only updated periodically, to reduce correlations with the target. The third change deals with the problem of unknown and increasing target values and just clips the rewards to a sensible range, $\{r \in \mathbb{R} | -1 \leq r \leq 1\}$.

II. Related Research

The focus of our research now lies in profiting from the knowledge an agent has acquired and how we can transfer this knowledge to other tasks. In the last years this Transfer Learning (TL) has been investigated in the classic RL domain, based on mainly three developments [13]: (1) RL techniques have achieved very notable successes and outperformed other ML techniques for a variety of difficult tasks in agent theory, (2) other classical ML techniques have matured enough to assist with TL, and (3) the initial results show that this combination can be very effective and has a positive effect on various aspects of RL.

One of those methods to apply TL in RL is *Policy Reuse* [14], where a library of policies from various source tasks is built and then used to support the training of a new target task by exploiting similarities between the tasks.

The amount of publications that deal with transfer for DRL approaches is yet very small. One of those proposes *ADAAPT (A Deep Architecture for Adaptive Policy Transfer)*, which introduces a setup that combines a fixed library of source policies with an attention network, to achieve a selective transfer by blending policies during training [15]. Another interesting approach is the training of a Single Policy Network (SPN), termed *Actor-Mimic-Network (AMN)*, that is trained by a fixed number of source tasks, to transfer the weights of the SPN as initialization to the untrained network of a new task [16].

III. Proposal

We have seen impressive results in DRL over the last years in many domains, as for example Atari game playing [10], traditional board game playing [11] or robotics [17]. Since the area has already achieved those remarkable successes in single task learning, we intend to investigate the multi task case, which is still underrepresented in the published literature. We believe that using this kind of RL supported by DL algorithms combined with the ability to transfer relevant knowledge is the foundation for building strong general multi task agents.

The area has still many open challenges. For example, it is not clear on how to effectively separate policy representation from state abstraction to provide the means for a well targeted transfer. To date there are no methods that are able to transfer knowledge between tasks that do not share same state and/or action space. As in the classic domain, the problem of bad influence of the transferred knowledge as in negative transfer is not satisfyingly resolved.

Consequently, in this work we propose to investigate autonomous RL agents to improve and speed up the learning for the multi task case. In the course of this work, we intend to develop methods to manage a knowledge base, to determine similarity between tasks, to select the appropriate knowledge to transfer, and to balance transfer and learning during training as sketched in Figure 2.

IV. Preliminary Results

In the following, we describe the results we have achieved so far.

A. Experiments

In the course of determining the suitability of knowledge transfer for DRL, we conducted a number of experiments, which will be published at BRACIS in October [18].

Our experiments intend to evaluate the possible effects of TL on DRL. We divided our experiments in two phases: (i) *DRL optimizer definition*; and (ii) *TL evaluation*. While in the former we evaluate different DRL training algorithms and select the best one for the second phase, in the latter we

evaluate the performance of TL applied to DRL. We limited our experiments to the games shown in Figure 3, mainly to provide a controlled scenario and ease the analysis of our results.

In a first phase of the experiments we verified the choice of optimizer for the training of the DQN because earlier works reported the use of either *RMSProp* [19] or *ADAM* [20]. Additionally we investigated if the number of output nodes should be limited to the game-specific actions (6 for *Breakout*), as is sufficient for single task learning, or if we could use all possible actions (18), which could facilitate parameter transfer in multi task scenarios. Our experiments concluded that *RMSProp* achieves slightly better performance and it made no relevant difference what amount of output nodes we used. The following experiments were therefore conducted using *RMSProp* with all 18 output nodes.

The second phase of our experiments simulates the following situation: A source task is given to a learning agent that has been initialized randomly. After learning an effective policy, a new target task is learned, but the agent uses the parameters of the previously learned task. In order to evaluate the efficiency of TL in different situations, we trained a DQN for the Breakout game from scratch and then compared the learning results under the following scenarios:

1) *TL from similar tasks*: TL is expected to present better results when the source and target tasks are very similar. In order to simulate this situations, we perform a new training phase for *Breakout* initializing the DQN with a previously trained DQN also on *Breakout*.
2) *TL from neutral tasks*: While in *Atlantis* an optimal policy can be achieved by only using the *fire* actions, they are mostly useless in *Breakout* (but they do not lead to terrible situations either). We here evaluate TL when the source task is different from the target task, but the optimal actuation in the source task is not expected to be much worse than a random policy. After training a DQN for the game *Atlantis*, we use it to train a new DQN for *Breakout*.
3) *TL from different tasks*: TL is reported to result in negative transfer when applied carelessly. We here evaluate the learning performance when starting with a very bad policy. The game *Boxing* offers a very different gameplay than *Breakout*, and also has very different outcomes when using the same actions. We here train a DQN in *Boxing* and also use it to train a new DQN for *Breakout*.

Figure 4 shows the results for the first situation. The achieved rewards per episode in the first epochs are much greater when starting with the transferred DQN, while the number of episodes per epoch has already decreased, meaning that fewer lives are lost during playing the game.

Figure 5 depicts the results for the second situation. The number of episodes and average reward per episodes are similar in both situations, which means that the transferred knowledge did not help with the DQN training but also did not lead to worse results than the random initialization.

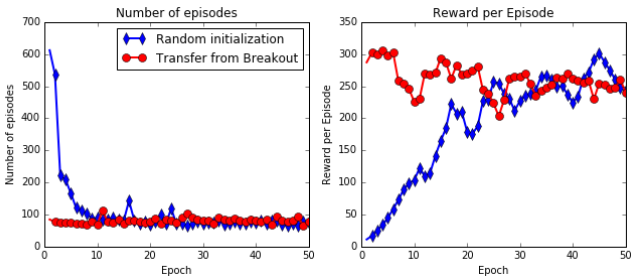


Fig. 4. Comparison between random initialization of Breakout and initialization with the best performing network for a previously trained DQN for Breakout.

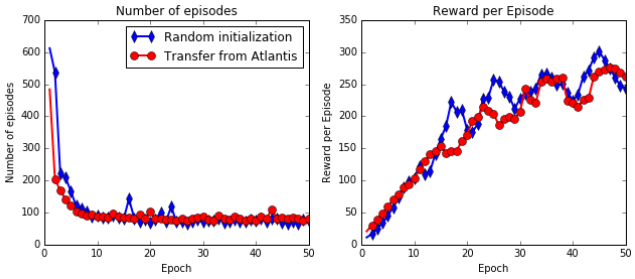


Fig. 5. Comparison between random initialization of Breakout and initialization with the best performing network for a previously trained DQN for Atlantis.

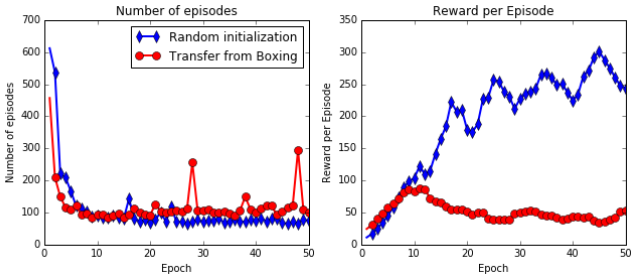


Fig. 6. Comparison between random initialization of Breakout and initialization with the best performing network for a previously trained DQN for Boxing.

Finally, Figure 6 presents the results for the third situation. In this case it seems that the learned DQN suffers from negative transfer resulting in overestimation as described in [21]. The use of a very unfit policy when starting the learning process greatly hampered the DQN optimization, which is much worse when comparing to the random initialization. The influence was so dominant that the agent was unable to improve his performance until the end of our training period.

Our results show that the concern about negative transfer is also valid for TL in DRL algorithms. Even though TL is very beneficial to the learning process when the tasks are similar and neutral when the two domains are not very different, when dealing with very uncorrelated domains the negative transfer lets the learner take a long time to overcome the initial bad actuation. This also means that TL cannot be blindly applied

to DRL, and the similarity of the source and target tasks must be evaluated before transferring knowledge.

Our results show that the initialization of the DQN plays a far more important role than the choice of optimization algorithm of the gradient decent method of the network. The results also reinforce the importance of being able to start the learning of a new task with experiences from previously learned tasks. When transferring knowledge from similar tasks TL achieved a greatly accelerated learning process, realizing results closer to the optimal actuation since the beginning of the training. However, when applied to unrelated tasks, the negative transfer makes the training performance much worse and very difficult to recover than with random initialization.

These outcomes show that much of the concerns presented from researchers when applying TL in classical RL are also valid for DRL. Being able to find which of the previously learned tasks are similar to the target task (and possibly defining the degree of similarity) is directly correlated to the success or failure when applying TL.

B. Software framework

During the course of our research we developed an open source software framework to facilitate the development of new algorithms and released it to the public[1]. The programming language we choose is Python, because of it's simplicity, the availability of a wide range of ML libraries with a large user base, and the many sources for documentation and support. The biggest advantage of our framework is that one can simply write one's own implementation of the learner network using whatever Python library one prefers.

V. Future work

In conclusion, TL has shown a great potential to accelerate learning in DRL tasks, but there are still many aspects to be understood before we can formulate the definition of a comprehensive framework for knowledge reuse across DQNs.

The next steps towards our research goals are already well defined and sketched in Figure 7. First, we intend to implement three extensions for the DQN network to further stabilize and speed up the training for single tasks: *Prioritized Replay Memory* [22], *Double DQN* [21] and the *Dueling Network architecture* [23]. Second, we intend to implement the *Policy Reuse* algorithm for the DRL domain to enable the targeted transfer of whole policies during training. And third, we intend to compare our approach to the earlier discussed approaches *ADAAPT* (for blending policies during training) and *AMN* (for training initialization only).

Acknowledgments

We gratefully acknowledge financial support from CAPES and CNPq (grant 311608/2014-0), the hardware support from the Superintendency of Information at the University of São Paulo and from the NVIDIA Corporation. We also thank Google for the support due to the Latin America Research Awards 2015 and 2016.

[1]https://github.com/cowhi/deepatari

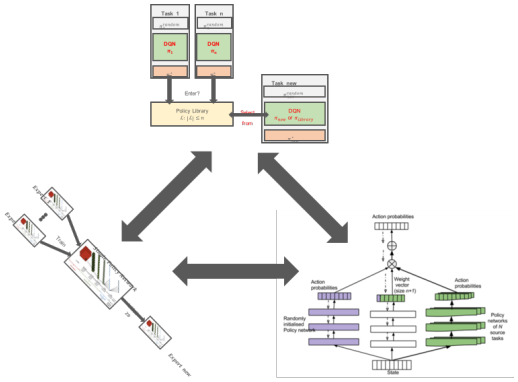


Fig. 7. Next step: Implement *Policy Reuse* for DRL (train with alternating whole policies) [top] and compare with *ADAAPT* (train with blended policies) [right], and *AMN* (only initialize training once) [left].

References

[1] LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. *Nature*, Nature Publishing Group, v. 521, n. 7553, p. 436–444, 2015.

[2] SUTTON, R. S.; BARTO, A. G. *Introduction to Reinforcement Learning*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1998. ISBN 9780262193986.

[3] SILVER, D. *Lecture notes in Advanced Topics in Machine Learning: COMPGI13 (Reinforcement Learning)*. 2015. University College London, Computer Science Department.

[4] PUTERMAN, M. L. *Markov decision processes: discrete stochastic dynamic programming*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2014.

[5] TESAURO, G. Temporal difference learning and td-gammon. *Communications of the ACM*, v. 38, n. 3, p. 58–68, 1995.

[6] NG, A. Y. et al. Autonomous inverted helicopter flight via reinforcement learning. In: *Experimental Robotics IX*. [S.l.]: Springer, 2006. p. 363–372.

[7] STONE, P.; SUTTON, R. S. Scaling reinforcement learning toward robocup soccer. In: ACM. *Proc. 18th International Conference of Machine Learning (ICML)*. [S.l.], 2001. p. 537–544.

[8] BIANCHI, R. A.; RIBEIRO, C. H.; COSTA, A. H. Accelerating autonomous learning by using heuristic selection of actions. *Journal of Heuristics*, Springer, v. 14, n. 2, p. 135–168, 2008.

[9] MATOS, T. et al. Simultaneous abstract and concrete reinforcement learning. In: *Proc. 9th SARA*. [S.l.: s.n.], 2011.

[10] MNIH, V. et al. Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, Nature Publishing Group, v. 518, n. 7540, p. 529–533, 2015.

[11] SILVER, D. et al. Mastering the game of go with deep neural networks and tree search. *Nature*, v. 529, n. 7587, p. 484–489, 2016.

[12] RIEDMILLER, M. Neural fitted q iteration. In: *ECML*. [S.l.]: Springer, 2005. p. 317–328.

[13] TAYLOR, M. E.; STONE, P. Transfer learning for reinforcement learning domains: A survey. *JMLR*, v. 10, p. 1633–1685, 2009.

[14] FERNÁNDEZ, F.; VELOSO, M. Probabilistic policy reuse in a reinforcement learning agent. In: *AAMAS*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 720–727.

[15] RAJENDRAN, J. et al. Adaapt: A deep architecture for adaptive policy transfer from multiple sources. *arXiv preprint arXiv:1510.02879*, 2015.

[16] PARISOTTO, E.; BA, L. J.; SALAKHUTDINOV, R. Actor-mimic: Deep multitask and transfer reinforcement learning. *CoRR*, abs/1511.06342, 2015. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1511.06342>.

[17] LEVINE, S. et al. End-to-end training of deep visuomotor policies. *JMLR*, v. 17, n. 39, p. 1–40, 2016.

[18] GLATT, R.; SILVA, F. L. d.; COSTA, A. H. R. Towards knowledge transfer in deep reinforcement learning. In: *BRACIS*. [S.l.: s.n.], 2016.

[19] DAUPHIN, Y. N. et al. RMSProp and equilibrated adaptive learning rates for non-convex optimization. *arXiv preprint arXiv:1502.04390*, 2015.

[20] KINGMA, D.; BA, J. ADAM: A method for stochastic optimization. *arXiv preprint arXiv:1412.6980*, 2014.

[21] HASSELT, H. van; GUEZ, A.; SILVER, D. Deep reinforcement learning with double q-learning. *arXiv preprint arXiv:1509.06461*, 2015.

[22] SCHAUL, T. et al. Prioritized experience replay. *arXiv preprint arXiv:1511.05952*, 2015.

[23] WANG, Z. et al. Dueling network architectures for deep reinforcement learning. In: . [S.l.: s.n.], 2016. p. 1995–2003.

Mecanismo para predição de valores e determinação dinâmica dos intervalos de amostragem em uma rede de sensores

Santos Júnior, M. R.*; Santos, I.M. †; Cugnasca, C. E. *
*Escola Politécnica - Universidade de São Paulo
†Instituto de Ciências Exatas e da Terra - Campus Universitário do Araguaia - Universidade Federal de Mato Grosso
E-mail: maxrosan@ime.usp.br, ivairton@ufmt.br, carlos.cugnasca@poli.usp.br

***Resumo*—Há uma constante preocupação com o clima na viticultura. Temperaturas muito elevadas ou baixas afetam o metabolismo da planta, comprometendo a uva e seus derivados. Há também uma preocupação com mudanças climáticas bruscas, contextos estes que levam ao uso de redes de sensores. Um dos desafios no uso de rede de sensores é a fonte limitada de energia, que impõe uma restrição relevante em ações relacionadas ao processamento de dados, comunicação, precisão dos dados registrados, tempo de vida da rede, entre outros. O presente trabalho propõe um algoritmo, em desenvolvimento, para amostragem dinâmica e predição da temperatura, a fim de prolongar o tempo de vida dos sensores e a emissão de alertas preventivos no contexto da viticultura. A partir de uma série histórica real, é mostrado neste trabalho que a temperatura pode ser modelada com Autoregressive Moving Average Model (ARMA) e predita. Também é apresentado aqui um algoritmo para definição dinâmica do intervalo de amostragem, usando como base a predição e o desvio padrão dos dados.**

***Palavras-chave*— viticultura; redes de sensores; predição.**

I. Introdução

Sabe-se que o clima tem grande influência na viticultura, parâmetros como temperatura e umidade podem afetar a composição e a qualidade da uva [1] e, consequemente, a qualidade de seus derivados, como o vinho. Ainda de acordo com [1], temperaturas acima de 30^{o}C podem provocar redução no tamanho da uva e no seu peso, afetando também seu processo de metabolismo e o acúmulo de açucar. Além das temperaturas elevadas, temperaturas muito baixas podem afetar o desenvolvimento da planta [2].

No Brasil a produção de uva para vinho está concentrada na região sul do país, em específico no estado do Rio Grande do Sul (RS), onde as temperaturas variam bastante de acordo com a estação do ano, podendo ultrapassar em determinadas épocas os limiares críticos para o cultivo da uva.

Dado o efeito que a temperatura tem na produção de vinho, há uma constante preocupação também com as mudanças climáticas que estão ocorrendo no mundo [3]. Costa [4] faz um apanhado geral da literatura sobre os efeitos da mudança climática nos vinhedos, relatando que em algumas plantações houve antecipação da floração. Tais mudanças podem forçar uma readequação nos processos de cultivo e exigir um maior monitoramento dos mesmos, a fim de evitar perdas.

Uma forma de tentar mitigar tais perdas com as variações de temperatura e com as mudanças climáticas é com o sensoriamento dos cultivos. Este sensoriamento pode se dar por meio das redes de sensores sem fio (RSSF) [5]. No entanto, o uso das RSSF enfrenta um desafio: a limitação do recurso de energia (uso de baterias). É necessário que, após a instalação, esses sensores possam trabalhar de maneira autônoma, evitando a intervenção humana pelo maior intervalo de tempo possível, sendo esse intervalo afetado principalmente pelo tempo de vida útil da bateria. Benavente [6] introduziu o uso de uma amostragem de dados adaptativa para reduzir o consumo da bateria, sem afetar a qualidade dos dados, onde a amostragem é maior quando os dados amostrados estão fora dos limiares críticos de temperatura. No entanto, a proposta de Benavente mantém os valores dos intervalos de amostragem fixos, independente do comportamento da temperatura. Assim, se a temperatura variar dentro da faixa definida pelo usuário e o intervalo de amostragem for relativamente grande, é provável que isso introduza um erro na média da temperatura amostrada. Além do mais, é importante ressaltar que nessa proposta o intervalo de amostragem só diminui quando a temperatura ultrapassa o limiar definido.

Santos [7] introduziu o uso de autômatos adaptativos para a definição dinâmica de intervalos de amostragem de dados em RSSF. A proposta apresenta duas estratégias distintas, na primeira há semelhanças com a proposta de [6], onde ocorre a definição de limiares críticos para os dados coletados. No entanto, por meio de um autômato adaptativo, os nós sensores ajustam de maneira autônoma seus intervalos de amostragem e tendem a aumentar a frequência da amostragem de dados à medida que os valores registrados ultrapassam os limites críticos. A segunda estratégia apresentada por [7] consiste também da proposição de um autômato adaptativo que considera a variação entre os dados amostrados pelos sensores. Nesse caso, inicialmente os sensores possuem uma alta frequência de amostragem de dados, à medida que os dados registrados se mantêm sem variações a frequência de amostragem tende a diminuir. Sempre que ocorre uma variação no valor dos dados registrados a frequência volta a aumentar. Essa estratégia proporciona a definição de diferentes valores para os intervalos de amostragem, economizando energia quando há baixa variação nos dados registrados. Como trabalho futuro, Santos propõe o uso de um mecanismo para definição do intervalo de amostragem mais otimizado, de acordo com os

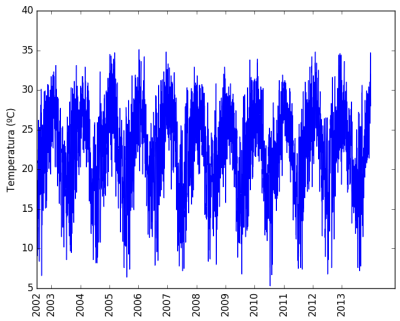


Figura 1. Temperaturas máximas de 2002 a 2016 em Bento Gonçalves/RG.

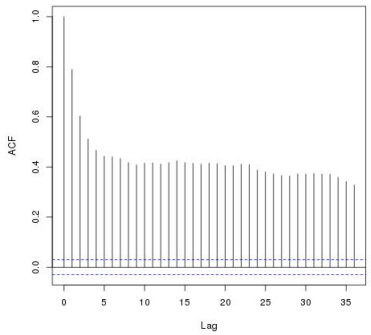


Figura 2. Autocorrelação da série histórica de temperatura máxima.

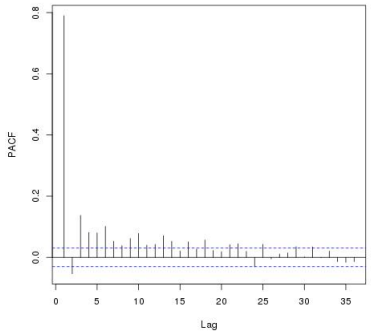


Figura 3. Autocorrelação parcial da série histórica de temperatura máxima.

dados de entrada, o que é dado como uma das contribuições desse trabalho.

O presente trabalho define o intervalo de amostragem de dados de acordo com os dados registrados, considerando um erro máximo permitido. Além disso, considerando o contexto de aplicação na cultura da uva, é proposto um mecanismo de predição de forma que o usuário possa antecipar temperaturas críticas para o cultivo. Define-se assim a hipótese do trabalho: dada uma viticultura monitorada por RSSF, é possível antecipar valores de parâmetros críticos para o cultivo, como temperaturas muito altas ou muito baixas ou umidade elevada, e reduzir o consumo de bateria definindo o intervalo de amostragem de acordo com a variação dos dados.

II. Análise da temperatura máxima

Foram analisados os dados de uma série histórica de temperatura máxima na cidade de Bento Gonçalves, retirada da base do INMET [8], do ano de 2002 ao ano de 2013, como apresentado na Figura 1.

A partir do gráfico na Figura 1 é possível notar que há sazonalidade no valor da temperatura máxima. No entanto, a figura não evidencia claramente essa tendência. Nesse sentido, é possível aplicar funções de autocorrelação e autocorrelação parcial para verificar se a série é estacionária, uma vez que regressões como ARMA (*Autoregressive Moving Average Models*) [9] são restritas a processos estacionários.

As Figuras 2 e 3 contêm os valores das funções de autocorrelação (ACF) e autocorrelação parcial (PACF) aplicadas na série histórica. É possível ver nos gráficos que não há nenhum decaimento significativo nas primeiras *lags*, todas as trinta primeiras *lags* apresentaram valores significativos tanto no gráfico da ACF como no da PACF. Isso mostra que essa série não pode ser modelada como ARMA e não é estacionária.

Uma forma de tornar a série estacionária é removendo sua tendência e sua sazonalidade. Primeiro, é necessário decompor a série em componentes multiplicativos ou aditivos. Foi adotado aqui o modelo aditivo, modelando a série como mostrado na Equação 1 [9].

$$y_t = S_t + T_t + E_t \tag{1}$$

Na Equação 1 tem-se que y_t é a série histórica de temperatura máxima, S_t representa o componente de sazonalidade, T_t representa a tendência e E_t representa a irregularidade, que possivelmente é uma série estacionária e vai ser usada para o cálculo da previsão.

Para calcular T_t foi usada uma regressão linear simples (2) e S_t foi modelado como uma série de Fourier (3).

$$T_t = \delta \times t + t_0 \tag{2}$$

$$S_t = \sum_{k=1}^{K} [\alpha_k \sin(2\pi kt/m) + \beta_k \cos(2\pi kt/m)] \tag{3}$$

A Equação 2 mostra a aproximação da tendência da série histórica por uma equação de reta, onde os parâmetros δ e t_0 são calculados a partir de uma regressão linear usando o método dos mínimos quadrados.

Já a Equação 3 [9] mostra a aproximação da sazonalidade por uma série de Fourier, onde K é o número de termos, m é o período escolhido e α_k e β_k são os coeficientes de Fourier, calculados usando como base os dois parâmetros anteriores. Os parâmetros K e m são calculados de tal forma que o erro $\sum_{i=1}^{N}(y_t - T_t - S_t)^2$ tem o menor valor possível.

A Figura 4 apresenta o gráfico da série histórica com a tendência e a sazonalidade calculadas. Do gráfico da tendência

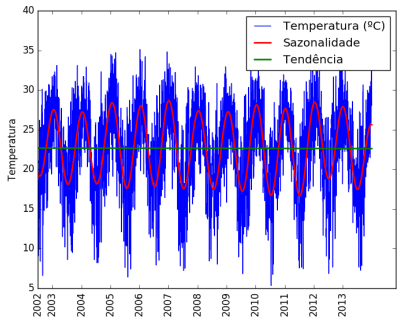


Figura 4. Série histórica com a sazonalidade e tendência plotadas.

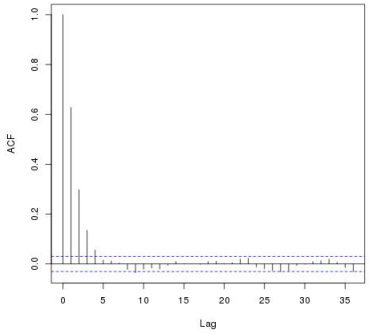


Figura 5. ACF resultante da irregularidade restante E_t.

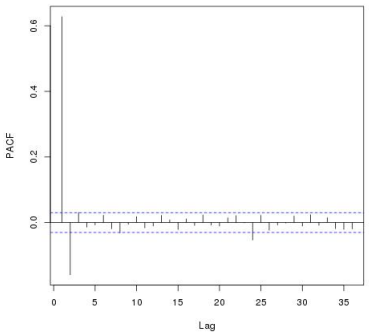


Figura 6. PACF resultante da irregularidade restante E_t.

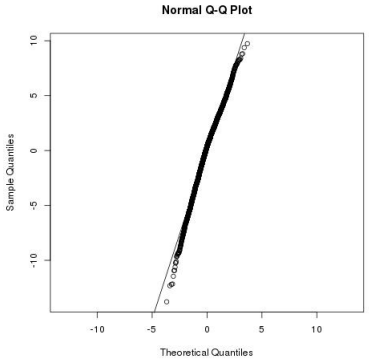


Figura 7. Q-Q plot para distribuição normal com residuais do modelo.

é possível ver uma linha quase na horizontal, mostrando que a média pouco variou. Removendo a sazonalidade e a tendência de y_t, podemos então analisar E_t e ver como a série se comporta.

As Figuras 5 e 6 apresentam os gráficos da autocorrelação de E_t e a autocorrelação parcial, respectivamente. No gráfico da ACF é possível ver um rápido decaimento após a *lag* 1 e dois picos nas duas primeiras *lags* no gráfico da PACF, o que sugere que o E_t pode ser modelado com ARMA (2,1). Isso pode ser mostrado no *Q-Q plot* para distribuição normal com os valores residuais (erro) do modelo, como apresentado na Figura 7.

Dessa forma, dado que E_t se apresenta como um processo estacionário e pode ser modelado com ARMA (2, 1) e com os modelos de S_t e T_t, é possível estimar o próximo valor de y_t.

III. Intervalo de amostragem com base no desvio padrão

O intervalo de amostragem está diretamente ligado ao erro na amostragem e da variação da variável monitorada ao longo do tempo. Se a variável pouco muda seu valor ao longo do tempo, intervalos maiores de amostragem podem acabar não aumentando o erro na amostragem. Caso contrário, havendo mudanças bruscas na variável monitorada intervalos longos de amostragem podem aumentar consideravelmente o erro na amostragem.

Considerando o monitoramento em viticulturas, Benevante [6] e Santos [7] não consideraram a variação do valor após ultrapassar o limiar determinado. Se os valores registrados se mantiverem fora dos limiares determinados por um longo intervalo de tempo, o sensor vai passar esse intervalo de tempo coletando amostras no menor intervalo de amostragem possível, diminuindo assim o tempo de vida da bateria. Para que isso seja evitado, seria necessária uma intervenção humana, mudando os valores dos limiares entre mudanças de estação, por exemplo.

Para que o intervalo de amostragem seja dinâmico, pode-se considerar a variação da variável monitorada que ocorre ao longo do tempo. Uma forma de fazer isso é considerar o desvio padrão. Há na literatura trabalhos com propostas de amostragem dinâmica [10], alguns visando reduzir o consumo energia da em uma rede de sensores [11] [12]. Entretanto, esses trabalhos não consideram a predição de valores, como aqui considerado. Baqer e Al Mutawh [13] usam desvio padrão como base para o cálculo do intervalo de amostragem. De forma semelhante, neste trabalho foi adotado o desvio padrão para o cálculo do intervalo de amostragem.

O algoritmo proposto aqui para determinação do intervalo da amostragem funciona da seguinte maneira: dadas as sessenta últimas amostras coletadas, um intervalo de amostragem I_k é escolhido de uma lista ordenada de intervalos $\{I_i\}_{i\in\mathbb{N}}$,

de tal forma que,

$$I_{k-1} \leq \lceil \frac{60}{n} \rceil \leq I_k \quad (4)$$

onde n é dado por

$$n = (\frac{z \times S}{E})^2 \quad (5)$$

onde z é o Z-score e depende da frequência de amostragem desejada, E é o erro permitido e S o desvio padrão das últimas sessentas amostras coletadas.

IV. Algoritmo para amostragem dinâmica

Na seção anterior foram apresentados uma modelagem para predição da temperatura máxima e um mecanismo para escolha do intervalo de amostragem com base no desvio padrão dos valores. No caso do monitoramento da temperatura na viticultura, necessita-se de valores mais precisos quando a temperatura pode ser prejudicial para o cultivo, dessa forma os intervalos de amostragem devem ser escolhidos levando isso em consideração. Uma forma de ter maior precisão nas medições é variar o intervalo de amostragem de acordo com o desvio padrão e também valores preditos, uma vez que a predição permitiria iniciar uma medição mais precisa antes mesma dos valores críticos ocorrerem.

Fazendo a predição da temperatura máxima diária, com um dia de antecedência o usuário poderia tomar medidas preventivas contra, por exemplo, ondas de calor usando o borrifamento [14]. Além disso, poder-se-ia escolher intervalos mais curtos de amostragem para dias em que a predição aponta que a temperatura vai passar algum valor crítico, para que o usuário pudesse obter valores mais detalhados naquele dia, uma vez que aquele dia pode apresentar algum risco ao cultivo. Assim, o algoritmo proposto funciona da seguinte maneira:

1: $H \leftarrow$pegaHoraAtual()
2: $L \leftarrow 30$ ▷ Intervalo inicial em minutos para coleta de dados
3: `inicio:`
4: $x \leftarrow$pegaTemperaturaSensor()
5: adicionaTemperatura(x)
6: esperaMinutos(L)
7: **se** $H <$pegaHoraAtual() **então**
8: $L \leftarrow$calculaNovoIntervalo() ▷ Calcula novo intervalo de coleta de dados com base no algoritmo explicado na Seção III.
9: $H \leftarrow$pegaHoraAtual()
10: **fim se**
11: **se** $H == 0$ **então**
12: $\hat{T}_{max} \leftarrow$predicãoTemperaturaProximoDia()
13: **se** $\hat{T}_{max} \geq 30$ **então**
14: defineIntervalosEmMinutos($[5, 10, 15, 30]$)
15: enviaAlerta()
16: **senão**
17: defineIntervalosEmMinutos($[30, 60]$)
18: **fim se**
19: **fim se**
20: **vá para** `inicio`

V. Discussão e trabalhos futuros

Fatores como a temperatura e umidade podem afetar a composição da uva e consequemente seus derivados. É necessário que haja um monitoramento dessas variáveis e a predição desses valores, para que se possa tomar atitudes preventivas.Uma forma de implementar o monitoramento em viticultura, visando maximizar o tempo de vida da rede de sensores, é usando a predição e o intervalo de amostragem dinâmico, escolhendo o intervalo de acordo com as necessidades do monitoramento.

Os próximos passos da pesquisa consistem em calcular erro da predição, analisar séries de temperatura mínima e umidade e verificar quanto o mecanismo aqui proposto permite prolongar o tempo de vida da rede em relação a outras propostas da literatura.

Referências

[1] ORDUNA, R. M. D. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*, Elsevier, v. 43, n. 7, p. 1844–1855, 2010.

[2] HENDRICKSON, L. et al. Low temperature effects on photosynthesis and growth of grapevine. *Plant, Cell & Environment*, Wiley Online Library, v. 27, n. 7, p. 795–809, 2004.

[3] FRAGA, H. et al. An overview of climate change impacts on european viticulture. *Food and Energy Security*, Wiley Online Library, v. 1, n. 2, p. 94–110, 2012.

[4] COSTA, V. B. *Efeito das condições climáticas na fenologia da videira européia em Santana do Livramento, Rio Grande do Sul*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Pelotas, 2011.

[5] YICK, J.; MUKHERJEE, B.; GHOSAL, D. Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, v. 52, n. 12, p. 2292 – 2330, 2008. ISSN 1389-1286. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128608001254>.

[6] BENAVENTE, C.; CARLOS, J. *Monitoramento ambiental de vinhedos utilizando uma rede de sensores sem fio que coleta dados com um intervalo de amostragem variável.* Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2010.

[7] SANTOS, I. M.; CUGNASCA, C. E. Adaptive strategies for dynamic setting of the data register frequency in wireless sensor networks. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, IEEE, v. 12, n. 7, p. 1284–1291, 2014.

[8] BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Acessado em 25/08/2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>.

[9] BROCKWELL, P. J.; DAVIS, R. A. *Introduction to time series and forecasting*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2006.

[10] PROVOST, F.; JENSEN, D.; OATES, T. Efficient progressive sampling. In: *Proceedings of the Fifth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. New York, NY, USA: ACM, 1999. (KDD '99), p. 23–32. ISBN 1-58113-143-7. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/312129.312188>.

[11] ALIPPI, C. et al. An adaptive sampling algorithm for effective energy management in wireless sensor networks with energy-hungry sensors. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, v. 59, n. 2, p. 335–344, Feb 2010. ISSN 0018-9456.

[12] SOUA, R.; MINET, P. A survey on energy efficient techniques in wireless sensor networks. In: *Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 2011 4th Joint IFIP*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–9.

[13] BAQER, M.; MUTAWAH, K. A. Random node sampling for energy efficient data collection in wireless sensor networks. In: *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, 2013 IEEE Eighth International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 467–472.

[14] HAYMAN, P. et al. Managing grapevines during heatwaves. *Grape and wine research and development corporation*, 2012.

Clustering and multivariate analyses on inference of gene regulatory networks

JACOMINI, Ricardo de Souza*; COSTA, Anna Helena Reali*; MARTINS-JR, David Corrêa†
*Intelligent Techniques Laboratory (LTI) - Escola Politécnica da USP
†Centro de Matemática, Computação e Cognição (CMCC) - Universidade Federal do ABC
E-mail: {ricardo.jacomini, anna.reali}@usp.br, david.martins@ufabc.edu.br

***Abstract*—Genomic information has been used as a starting point for the analysis of the origin and development of diseases, which lead to the development of many methods that model the dynamics of gene expression data. Gene Networks (GN) are widely used to model such information, and many methods have been developed for GN inference from temporal gene expression data. However, this data usually results in training sets composed of a small number of temporal samples for a large amount of genes, which renders many GN inference methods unfeasible to apply in real temporal expression data composed of thousands of genes, since they are exponential in function of the number of genes. In order to improve the scalability of the GN inference problem, we propose a novel framework based on the Probabilistic Gene Networks model, in which we rely on a clustering preprocessing step to provide an approximated solution with reduced computational complexity. We compared our proposal with a similar approach without the clustering step, and our experiments show that the proposed framework achieves substantial computation time reduction, while approximately preserving the prediction accuracy.**

***Keywords*— Gene networks inference; probabilistic gene network; clustering; intrinsically multivariate prediction; features selection.**

I. Introduction

The modeling, inference and interpretation of gene regulatory networks (GRNs) from temporal gene expression data has drawn significant attention recently [1], [2], specially after the advent of large scale gene expression measurement techniques, such as cDNA microarrays and, more recently, RNA-Seq.This interest relies on the fact that genes play a major role in the control of cell functions. The GRN inference problem involves the discovery of complex regulatory relationships between biological molecules which can describe not only diverse biological functions, but also the dynamics of molecular activities. Once the network is recovered, intervention studies can be conducted to control the dynamics of biological systems aiming to prevent or treat diseases [3]. Genes and proteins usually form an intrincate complex network where, in many cases, the behavior of a given gene, measured by means of its expression level (i.e. mRNA abundance), depends on a multivariate and coordinated action of other genes and their byproducts (proteins) [4]. The importance of GRN reconstruction can also be seen through many initiatives, such as DREAM (Dialogue for Reverse Engineering Assessments and Methods) [2].

The literature that deals with the GRN inference problem is vast. Some examples of methods that deal with this problem include mutual information based feature selection [5], relevance networks [6], feature selection by maximum relevance/minimum redundancy [7], among others. Even though there are many GRN inference methods in the literature [1], [2], GRN inference is considered an ill-posed problem, since for a given dataset of gene expression profiles, there are many (if not infinity) networks capable of generating this same dataset. This problem is further hampered due to a typically limited number of samples, a huge dimensionality (number of variables, i.e., genes), and the presence of noise [1]. In the specific context of discrete models, BNs and PBNs can generalize and capture the global behavior of biological systems [8]. The main disadvantage of these models is the information loss as a consequence of the required data quantization. However, the quantization makes the BN and PBN models simpler to implement and analyse [9], and many methods were proposed to infer GRNs modeled as BN or PBN [10].

Although PBN genes have only two possible expression values, network inferences are still difficult, since the curse of dimensionality still plays an important role. In this way, PGN provides a simplification of the inference process that allows to apply local feature selection to search for the best subsets of genes to predict the behavior of a given target gene [11]. Since exhaustive search is the only feature selection algorithm that guarantees optimality, high performance computing techniques are required when using this algorithm to search for predictor subsets of three or four dimensions (for higher dimensions, this technique is still impractical) [12]. An alternative to reduce the computational complexity of the exhaustive search is to apply some prior dimensionality reduction technique to restrict the search space of candidate predictor subsets for a given target, which is not trivial to do, since even the worst features individually could be great when combined to predict a given target, while the best individual features could not be so good in predicting the target when combined [4].

In order to alleviate the curse of dimensionality inherent to the GRN inference problem, and consequently its computational cost, this paper proposes a novel GRN inference framework to infer PGNs. Our proposal relies on a clustering technique to reduce the search complexity when evaluating the possible predictor subsets and thus alleviate the computational complexity of the GRN inference. Besides, an intrinsically

multivariate analysis is conducted to eliminate redundant features from each predictor subset [4] and, consequently, to obtain a minimal network. We experimentally compared the prediction quality of our proposal with GRN inference by executing an exhaustive search over all possible predictor subsets, which has prohibitive computational costs but is expected to achieve the best prediction quality. Our results using *in silico* data show that the approximated solution given by our framework achieves very similar prediction quality to the exhaustive search, while providing a substantial reduction of the computational complexity.

II. Research Goals

This research aims to propose **a new framework for GRN inference** that follows the PGN model assumptions [4], and applies a clustering technique before feature selection for two reasons. First, k-means clustering gives partitions as result, i.e., each resulting cluster contains a list of genes and the intersection between different clusters lists is always null (a gene cannot belong to more than one cluster). Second, k-means clustering allows to regulate the number of desired clusters (parameter k indicates the number of clusters). This is important, since k becomes the resulting dimensionality of the GRN inference process. For instance, if k is set to a number in the order of dozens, the dimensionality of the process reduces from N initial genes in the order of thousands to k gene clusters in the order of dozens. Thus, to reduce the dimensionality of possible predictor subsets. Besides, after the feature selection phase, minimal predictor subsets are found by removing redundant genes inside the predictor subset through a multivariate analysis to make networks as simple as possible. Fig. 1 depicts the main steps involved, which are described as follows.

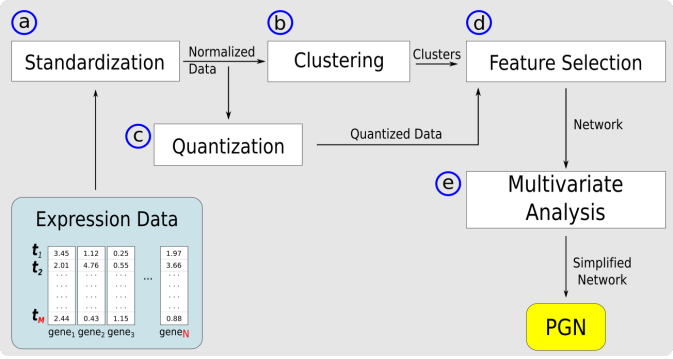


Fig. 1. Block diagram with the main steps performed in this proposed framework to infer gene networks following the PGN model. The light blue box represents the gene expression profiles dataset to be taken as input by the framework, and the yellow box represents the output PGN.

(a) Gene expression standardization: Given a gene expression data, first a transformation is applied to the input data. In the experiments of Section III, a Z-score standardization is applied, in which the expression e_i of a given gene i becomes $e'_i = \frac{e_i - \mu_i}{\sigma_i}$, where μ_i and σ_i are average and standard deviation of the expressions of gene i, respectively. This transformation aims to change the data in such a way that expression values of a given gene below its own average become negative (underexpressed), while expressions above its own average become positive (overexpressed).

(b) Clustering: A clustering method is applied to group genes with similar expression profile measures. Any clustering method that returns a partition and a list of members per cluster, including their respective representative genes (genes that most represent their respective clusters according to a given criterion) can be used. It is desirable that the clustering method allows to set the number of clusters to be returned, or at least to restrict the maximum number of clusters, since this number has a crucial impact on the feature search space. Here we adopted the k-means clustering for the experiments described in Section III.

(c) Quantization: Following the PGN model, the gene expression dataset is quantized so that each gene expression presents a finite set of possible values. We adopt the binary quantization where negative Z-scored values become 0, while positive Z-scored values become 1.

(d) Feature selection: A feature selection algorithm is applied considering each gene placed as target, aiming to achieve the best predictor subset for that target, according to a given criterion function. All gene representatives (one gene for each cluster) are taken as potential predictor genes, hence all other genes are ignored. If the defined number of clusters is small enough (one hundred at most), an exhaustive search is applicable to search for trios or even subsets with larger dimensions (4 or 5). Following the PGN model, the criterion function needs to evaluate the prediction power of a candidate predictor subset with regard to the target expression at the next timepoint (first-order Markov Chain).

(e) Multivariate analysis: This step is necessary to eliminate redundant genes from the best predictor subset achieved for a given target. This can be done by evaluating the IMP score (IS) according described by [13]. In the experiments of Section III, a subset $\mathbf{Z}$ selected to predict Y is reduced if $IS(\mathbf{Z}, Y) = 0$. This reduction process is recursive: the reduction continues until $IS(\mathbf{Z}, Y) > 0$, achieving the minimal predictor subset. Once defined the final predictor subset for each target, it derives the dependence logics that rule the target expression profile based on its final predictor subset. These dependence logics are retrieved from the conditional probabilities distributions $P(Y|\mathbf{Z})$ (where Y is the target and $\mathbf{Z}$ is the best predictor subset for Y), in such a way that for all $\mathbf{z} \in \mathbf{Z}$, the Y output is defined by $\{y|P(Y = y|\mathbf{Z} = \mathbf{z}) = \max_{y \in Y} P(Y = y|\mathbf{Z} = \mathbf{z})\}$ (the logic outputs are those that minimize the Bayesian classification error of Y based on $\mathbf{Z}$ values). Thus, the expression of a gene at the time $t + 1$ is given by the application of the prediction logic of the predictors aforementioned by taking its expression values from

time t as inputs (these expressions are obtained from the quantized dataset). This is performed considering all timepoints.

Finally, the output of our framework is a set of predictor *clusters* for each desired target gene. If necessary, a PGN can be assembled by combining all desired target genes with its predictor set. Thus, the output PGN is composed of all target genes linked to cluster representative genes.

III. Experimental Setup

We adopted the SysGenSIM to generate datasets for our experiments. SysGenSIM is an *in silico* method that generates gene expression data from non-linear differential equations based on biochemical dynamics of yeasts.

The following parameters were defined when generating the datasets: 3 different expression profiles were generated with 40 samples ($M = 40$) each. The Barabási-Albert scale-free model was adopted to generate the network topology, and the average input degree was set to 3. The number of genes was defined as $N = 100$ and $N = 1000$ (one for each experiment). The cooperativity coefficient was set to a Gamma distribution and the degradation rate was constant. The biological variance of transcription, degradation and noise was set to a Gaussian distribution, and the other parameters were set to the default values provided by the simulator. These parameters should be defined such that the distribution of estimated "heritabilities" of the traits is close to those found in real data [14].

In the clustering step, the k-means method was applied to group genes with similar expression profiles. The parameter k, which indicates the number of clusters, was varied among 20, 30, 40, 50 and 100, and the Euclidean distance was adopted as the distance criterion. For each cluster, the gene with minimum Euclidean distance to the cluster centroid in terms of the expression profiles was selected to be the representative gene of the cluster.

After the clustering step, we set each gene of the N genes of the input dataset as the target gene, and then we performed an exhaustive search that evaluates all possible subsets of candidate predictor genes of size $p = 3$ to retrieve the best predictor subset according to the coefficient of determination and the mutual information score as criterion functions [4]. Recall that candidate predictors are only the representative genes of the clusters (one for each of the k clusters), which were retrieved in the previous step. Then, a multivariate analysis is applied to further discard redundant predictors from subsets that present null IMP score with regard to their corresponding targets.

As we are interested in evaluating the structure of the inferred gene expression profile dynamics, the expression of a gene at the time t_{i+1} is given by the application of the prediction logic of its corresponding predictors by taking its expression values from time t_i obtained from the quantized dataset as inputs. This is performed considering all timepoints. Each inferred binary gene expression profile is compared with the corresponding binary gene expression profile from the quantized dataset. The percentage of correctly predicted timepoints defines the accuracy (it is equivalent to the Hamming distance between the two binary profiles divided by the number of timepoints of each profile). The average of accuracies obtained for all target genes is taken as the overall accuracy of the inferred dataset (values between 0 and 1, where 1 means perfect accuracy and 0.5 is the expected value obtained by random guesses of the binary gene expression profile values).

In our experiments, we compare both accuracy and execution time between GRN inference by pure exhaustive search and by our proposed framework. The pure exhaustive search was performed only for datasets composed of $N = 100$ genes, since this method was unfeasible to compute in our hardware for $N > 100$. Computing the exhaustive search in greater datasets was infeasible, since the method takes many days to execute. In contrast, our proposal was executed for datasets composed of $N = \{100, 1000\}$ genes. We evaluated the performance of our proposal for $k = \{20, 30, 40, 50, 100\}$, where k is the number of clusters. Our framework was implemented in R language (version 3.2.3). All experiments were executed in a computer Intel® Xeon® 8 core CPU E7-2870 2.40 GHz with 32 GB RAM, under Linux Ubuntu 64-bit operating system. The codes and data sets used in this study are available in https://github.com/ricardojacomini/genia.

IV. Partial Results and Discussion

Table I shows the average prediction accuracy of the inferred expression profiles taking the quantized dataset as ground truth for different numbers of clusters and for the pure exhaustive with $N = 100$.

It is noteworthy that the accuracy loss was very small when using our proposal, specially for $k = \{50, 100\}$, while the processing time is substantially reduced when compared to the pure exhaustive search. Note also that our proposal spent less than 30 minutes regardless of the number of total genes, which means that our proposal is scalable in terms of total number of genes. As predicted by our theoretical analysis, the execution time in our proposal is affected by the number of clusters, and the overhead introduced by the clustering step is negligible.

The exhaustive search, by its turn, is unfeasible to execute in the greater number of genes. According to our estimates, if the pure exhaustive search was fully processed for a single target gene considering $N = 1000$ genes, it would spend about 28,800 minutes (20 days) according to our estimates, which is roughly 1000 times longer than the processing time required by our proposed framework considering $N = 1000$ and $k = 100$. Finally, it is also noteworthy that real expression data often have greater dimensionality than $N = 1000$, which means that our proposal may be a useful method in many domains in which the exhaustive search was inapplicable.

It can also be noted in our results that the prediction accuracies obtained by the CoD and the MI scores used as search criterion functions were very similar. These experiments were repeated 10 times for $k = 100$ and $N = 1000$, the CoD score achieved an average accuracy of 90.29% with 2% of standard

TABLE I

AVERAGE PRECISION OF ALL N GENE EXPRESSION PROFILES AND OBSERVED PROCESSING TIME FOR A SINGLE GENE ACHIEVED BY BOTH OUR PROPOSAL AND THE PURE EXHAUSTIVE SEARCH (REPRESENTED BY EXHA. COLUMNS) FOR $N = \{100, 1000\}$ GENES. IN OUR PROPOSAL THE K-MEANS CLUSTERING WAS ADOPTED CONSIDERING $k = \{20, 30, 40, 50, 100\}$. IN BOTH CASES, THE EXHAUSTIVE FEATURE SELECTION WAS APPLIED USING MUTUAL INFORMATION (MI) AND COEFFICIENT OF DETERMINATION (COD) AS CRITERION FUNCTIONS. TIMES DENOTED BY m (MINUTES) AND d (DAYS). TIMES WITH $*$ SYMBOL ARE ESTIMATED.

		***N* = 100 Genes**					***N* = 1000 Genes**					
		***k*=20**	***k*=30**	***k*=40**	***k*=50**	**Exha.**	***k*=20**	***k*=30**	***k*=40**	***k*=50**	***k*=100**	**Exha.**
MI	Acc. (%)	82.57	84.84	85.41	86.86	89.84	81.99	84.30	85.78	86.75	89.62	$--$
	Time	$<$ 1m	$\approx$ 1m	$\approx$ 3m	$\approx$ 6m	$\approx$ 29m	$<$ 1m	$\approx$ 1m	$\approx$ 3m	$\approx$ 6m	$\approx$ 29m	$*20d$
CoD	Acc. (%)	83.59	85.73	86.03	87.70	90.46	83.19	85.28	86.70	87.65	90.29	$--$
	Time	$<$ 1m	$\approx$ 1m	$\approx$ 2m	$\approx$ 5m	$\approx$ 28m	$<$ 1m	$\approx$ 1m	$\approx$ 2m	$\approx$ 5m	$\approx$ 28m	$*20d$

deviation, while the MI score achieved 89.62% with 3% of standard deviation.

V. PARTIAL CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this work we describe a new framework for gene regulatory networks inference, in which a clustering method is applied to reduce the complexity of the predictor subsets search for each gene placed as target. We demonstrated the applicability of our proposal in experiments using synthetic data, for which it was able to preserve the prediction accuracy obtained by the pure exhaustive search, but substantially reduced the computational complexity of the search. In addition, it is important to highlight that the synthetic datasets were generated by a complex and detailed model (non-linear differential equations based on biochemical dynamics of yeasts, while the PGN model on which our framework relies is much simpler. This extension is fully described in our IJCAI-BAI-20116 paper [13]. In spite of, assuming a simpler model, our framework described the synthetic expression profiles with great accuracy (about 90%) considering datasets with 1000 genes and setting 100 clusters.

The next step is to evaluate the performance of our proposal in real gene expression datasets. Besides, as our proposal consists in a framework, several aspects regarding the different steps involved can be improved. For example, other clustering algorithms can be tested as well as other distance metrics and methods to define the representative genes. Also, the clustering algorithm can be applied after the quantization step, which might lead to clusters with less variability among their respective gene expression profiles.

Even though completely understanding and modeling the properties and structures of real biological systems is still an open problem, our proposal showed promise in assisting professionals of biomedicine and related areas in decision-making regarding the control of the gene regulatory systems dynamics. Our proposal also provides a viable system in environments with limited computing resources, which was not possible considering previous works that applied exhaustive search as a way to guarantee the best predictor subset for each target.

Finally, our proposal showed to be scalable, since we were able to increase in ten times the number of genes in the input expression data without increase in the processing time of exhaustive feature selection for a single target gene, which implies that the processing time linearly increases with the number of genes in the whole network.

ACKNOWLEDGMENT

We gratefully acknowledge funding from: CAPES, CNPq (grants 304955/2014-0, 311608/2014-0), FAPESP (grants 2011/50761-2, 2015/01587-0).

REFERENCES

[1] HECKER, M. et al. Gene Regulatory Network Inference: Data Integration in Dynamic Models: a Review. *Biosystems*, Elsevier, v. 96, n. 1, p. 86–103, 2009.

[2] MARBACH, D. et al. Wisdom of Crowds for Robust Gene Network Inference. *Nature Methods*, Nature Publishing Group, a division of Macmillan Publishers Limited. All Rights Reserved., v. 9, n. 8, p. 796–804, 2012. ISSN 1548-7105.

[3] SHMULEVICH, I.; DOUGHERTY, E. R. *Genomic Signal Processing*. [S.l.]: Princeton University Press, 2014.

[4] MARTINS-JR, D. C. et al. Intrinsically Multivariate Predictive Genes. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, IEEE, v. 2, n. 3, p. 424–439, 2008.

[5] LOPES, F. M. et al. A Feature Selection Technique for Inference of Graphs from their Known Topological Properties: Revealing Scale-free Gene Regulatory Networks. *Information Sciences*, Elsevier, v. 272, p. 1–15, 2014.

[6] MARGOLIN, A. A. et al. ARACNE: An Algorithm for the Reconstruction of Gene Regulatory Networks in a Mammalian Cellular Context. *BMC Bioinformatics*, BioMed Central Ltd, v. 7, n. Suppl 1, p. S7, 2006.

[7] MEYER, P. et al. Information Theoretic Inference of Large Transcriptional Regulatory Networks. *EURASIP Journal on Bioinformatics and Systems Biology*, v. 2007, p. 1–9, 2007.

[8] SHMULEVICH, I. et al. Probabilistic Boolean Networks: A Rule-based Uncertainty Model for Gene Regulatory Networks. *Bioinformatics*, Oxford Univ Press, v. 18, n. 2, p. 261–274, 2002.

[9] STYCZYNSKI, M. P.; STEPHANOPOULOS, G. Overview of Computational Methods for the Inference of Gene Regulatory Networks. *Computers & Chemical Engineering*, v. 29, n. 3, p. 519–534, 2005.

[10] AKUTSU, T. et al. Identification of Genetic Networks from a small number of Gene Expression Patterns under the Boolean Network Model. In: *Proceedings of the Pacific Symposium on Biocomputing (PSB)*. [S.l.: s.n.], 1999. v. 4, p. 17–28.

[11] BARRERA, J. et al. Constructing Probabilistic Genetic Networks of *Plasmodium falciparum* from Dynamical Expression Signals of the Intraerythrocytic Development Cycle. In: *Methods of Microarray Data Analysis V*. [S.l.]: Springer, 2007. cap. 2, p. 11–26.

[12] BORELLI, F. F. et al. Gene Regulatory Networks Inference using a multi-GPU Exhaustive Search algorithm. *BMC Bioinformatics*, v. 14, n. S5, 2013.

[13] JACOMINI, R. et al. A framework for scalable inference of temporal gene regulatory networks based on clustering and multivariate analysis. In: *Bioinformatics and Artificial Intelligence (BAI), New York City*. [S.l.: s.n.], 2016.

[14] LIU, B.; FUENTE, A. de L.; HOESCHELE, I. Gene network inference via structural equation modeling in genetical genomics experiments. *Genetics*, Genetics Soc America, v. 178, n. 3, p. 1763–1776, 2008.

A Scalable Multiagent Architecture for Retrieving and Updating Vinculated Information
Uma Arquitetura Escalável para Recuperação e Atualização de Informações Vinculadas

Rocha, V.*; Brandão, A. A. F.*
*Escola Politécnica - Universidade de São Paulo
E-mail: vmoreira@ime.usp.br, anarosa.brandao@poli.usp.br

***Abstract*—Recently, there has been an explosive growth in the use of wireless devices, mainly due to the decrease in cost, size, and energy consumption. Researches into different domains, such as Internet of Things and Video on Demand, have focused on how to continuously monitor these devices considering both scalability and efficiency while searching and updating the devices information. For this, a combination of an efficient distributed structure and data aggregation method is used, allowing a device to manage a group of devices, minimizing the number of transmissions and saving energy. However, scalability is still a key challenge when the group is composed of a large number of devices. In this work, we propose a scalable architecture that distributes the data aggregation responsibility to the devices of the boundary of the group, and creates new agents to manage groups, and the interaction among them, when a agent is overloaded. Experimental results showed the viability of adopting this architecture if compared with the most widely used approaches.**

***Keywords*— Multiagent systems; MAS; DHT; VoD; IoT.**

***Resumo*— A imensa quantidade de dispositivos móveis conectados à Internet tem provocado um crescimento na geração e armazenamento distribuído de informações, como a localização dos dispositivos ou os arquivos que compartilham. Nesse contexto, a busca deve ser eficiente para trazer os resultados rapidamente e escalável para suportar o volume crescente de tráfego de dados gerado pela atualização e busca dessas informações. As alternativas atuais combinam tecnologias bem estabelecidas e amplamente conhecidas para tratar questões relacionadas à eficiência: agregação de dados para atualizar as informações e Tabelas de *Hash* Distribuídas (DHT) para buscar a informação. Entretanto, ainda existe o problema da escalabilidade quando um dispositivo da estrutura se sobrecarrega pelo recebimento e processamento das informações do grupo de dispositivos que gerencia. Este projeto de doutorado visa desenvolver uma arquitetura multiagentes que localize de forma eficiente e escalável as informações armazenadas de forma distribuída nos dispositivos, independente do domínio em que for utilizada. Para aumentar a escalabilidade, tanto o método de agregação quanto a estrutura distribuída foram estendidas. No caso da agregação, a responsabilidade da coleta e atualização foi distribuída para todos os dispositivos que fazem parte da fronteira do grupo. No caso da DHT, as estruturas internas foram estendidas para distribuir as requisições entre os diversos dispositivos. A utilização da arquitetura, no domínio de sistemas de Vídeo sob Demanda (VoD) e de sistemas de sensores sem fio, no contexto de Internet das Coisas, mostrou-se viável tanto na escalabilidade quanto na eficiência na recuperação e atualização de informações.**

***Palavras-chave*— Sistemas multiagentes; DHT; VoD; IoT.**

I. Introdução

Nos últimos anos houve um aumento significativo na utilização de dispositivos sem fio conectados a Internet, devido principalmente à diminuição do custo, tamanho e consumo de energia desses dispositivos. De acordo com o relatório da Gartner, em 2016 haverão mais de 4.9 bilhões desses dispositivos, chegando a 25 bilhões em 2020 [1]. Como consequência desse aumento, houve uma explosão na produção de informação. Diariamente são produzidos milhares de Petabytes de informação em fotos, vídeos, documentos, entre outros.

Nesse contexto, diversas pesquisas têm se focado em criar tecnologias que permitam realizar uma busca por essas informações de forma eficiente, para trazer os resultados rapidamente, e escalável para suportar o volume crescente de tráfego de dados gerado pela atualização e busca dessas informações. Dentre as alternativas atuais mais utilizadas, duas se destacam em tratar essas questões: agregação de dados (*Data Aggregation*) [2] para atualizar as informações e a estrutura denominada Tabela de *Hash* Distribuída (DHT) [3] para buscar a informação. Na agregação de dados, escolhe-se um dispositivo responsável por coletar e gerenciar as informações de todos os dispositivos que formam um grupo, minimizando a quantidade de informações trafegadas. Na estrutura distribuída, os dispositivos se organizam para recuperar, de forma eficiente, o dispositivo escolhido para agregar dados, quando outros dispositivos querem se unir a um grupo ou encontrar uma determinada informação. No entanto, ainda existem problemas em aberto, especificamente no ponto único de falha e na escalabilidade.

Por um lado, o problema do ponto único de falha surge quando o dispositivo escolhido interrompe sua responsabilidade de agregar os dados devido a um defeito (e.g., pelo consumo total da energia, perda do sinal em certas regiões, entre outras) que devem ser consideradas no comportamento do dispositivo. Como consequência, as informações do grupo que gerencia ficam inacessíveis até que um novo dispositivo seja escolhido. Por outro lado, o problema da escalabilidade surge quando o grupo aumenta a quantidade de membros, seja porque novos dispositivos se uniram ao grupo ou porque diver-

sos grupos se uniram entre si. Esse incremento faz com que o dispositivo fique sobrecarregado na coleta de informações até o ponto em que não consegue mais gerenciar o grupo. Como consequência, as informações do grupo ficam inacessíveis inclusive quando um novo dispositivo é escolhido.

Esse trabalho de doutorado visa desenvolver uma arquitetura escalável para a atualização de informações advindas de um grupo de dispositivos, mantendo a eficiência das alternativas atuais quando realizada uma busca. A arquitetura é composta de duas camadas, a de dispositivos e a de agentes. A camada de dispositivos consiste em grupos de dispositivos conectados. Para manter a escalabilidade no processo de atualização de informação, o método de agregação foi estendido, onde cada grupo atribui a responsabilidade por agregar e enviar suas informações aos dispositivos da borda. A camada multiagentes consiste em agentes responsáveis por gerenciar as informações dos grupos e por verificar se existe alguma interação com outros grupos, tais como uniões e separações. Para manter a escalabilidade no processo de atualização de informações, a estrutura DHT foi estendida, onde os agentes podem criar novos agentes (agentificando os dispositivos) para distribuir a responsabilidade de gerenciamento do grupo. No fim, apresentamos os resultados obtidos através de simulações da arquitetura que foi implementada no domínio dos VoD [4] e de sensores de localização no contexto de Internet das Coisas [5].

II. Cenários

A arquitetura a ser desenvolvida poderá ser implantada em diferentes domínios. A característica comum desses domínios é que a informação a ser gerenciada está vinculada a outras informações. A seguir serão mostrados os dois cenários analisados nesse trabalho. O primeiro cenário são os sistemas de VoD, que permitem aos usuários assistirem um vídeo, cujo conteúdo foi particionado em segmentos. Nesse contexto, um segmento está fortemente vinculado ao segmento seguinte e ao anterior (pois os usuários que visualizaram um segmento tendem a assistir o próximo).

O segundo cenário é composto por sistemas de localização de sensores, que permitem monitorar o movimento destes em determinadas regiões do mapa. Nesse contexto, uma região está fortemente vinculada às regiões que a circundam (pois os sensores podem se movimentar entre elas).

III. Trabalhos Relacionados

Nesta seção são revisados os trabalhos que utilizam a agregação de dados para escolher o responsável por gerenciar um grupo e os trabalhos que utilizam a DHT para recuperar de forma eficiente esse responsável.

A. Agregação de Dados

Pesquisas recentes no método de agregação de dados têm se focado em como explorar o método para apoiar a descoberta e atualização de informações de um grupo de dispositivos de forma eficiente e escalável. Gallucio et al. [6] propõe que um dispositivo (denominado *Group Master* ou GM) seja o responsável por coletar, agregar e enviar as informações de todos os dispositivos (denominados *slaves*) que residem dentro dentro da sua área de cobertura. Essa abordagem foi avaliada em [7], onde um grande número de simulações foram realizadas em diferentes cenários, como logística e de movimentação de pessoas. Por outro lado, Tang et al. [8] propõe agrupar os dispositivos em setores retangulares pré-definidos (e não pela área de cobertura como nos trabalhos anteriores), utilizando uma estrutura de árvore distribuída, denominada ECH-Tree, para localizá-los de forma eficiente. Nosso trabalho se diferencia na distribuição da responsabilidade da agregação entre os dispositivos que formam a borda do grupo.

B. DHT

Pesquisas recentes na estrutura DHT têm se focado em como escolher o GM responsável por um setor para evitar ter que substituí-lo constantemente. A substituição é necessária pois cada ação realizada pelo dispositivo (e.g., coleta de informações) consome energia até o ponto de deixá-lo inutilizável. Para uma DHT, evitar a substituição de um membro é crítico, pois esse comportamento tem como consequência a reorganização da estrutura, gastando recursos enquanto é realizada. O sistema *Chord for Sensor Networks* (CSN) [9] propõe escolher aleatoriamente um GM dentre os dispositivos que residem em um determinado setor. A substituição do GM é realizada antes do dispositivo consumir toda sua energia. Quando isso ocorre, o sistema escolhe outro aleatoriamente, que será o novo GM (processo denominado de rotação). O sistema *Tiered Chord System* (T-Chord) [10], por outro lado, analisa as propriedades de todos os dispositivos que residem em um determinado setor (propriedades como energia, estabilidade na comunicação, entre outras), escolhendo aquele que tiver o maior valor. Entretanto, o sistema não permite a rotação do GM, que pode deixar indisponíveis as informações de um setor caso o GM consuma toda sua energia. Nosso trabalho se diferencia por permitir que vários GM possam gerenciar um determinado setor, evitando o ponto único de falha e sobrecarga do GM.

IV. Arquitetura

A Figura 1 apresenta a arquitetura, composta de duas camadas, a de dispositivos e a de agentes. Na camada de dispositivos, aqueles que pertencem à borda do grupo estabelecem conexões entre si para decidir quais serão responsáveis por agregar e enviar as informações do grupo para o agente que o gerencia (dispositivos d_1, d_2 e d_3 do grupo S_1). Na camada multiagentes, cada agente monitora o comportamento do seu grupo (agente a_1 gerencia o grupo S_1). Nesta camada, os agentes estabelecem relacionamento entre si, trocando informações sobre seus grupos, i.e., se estão se unindo (o agente a_2 troca informações com o agente a_3 sobre a união dos seus grupos S_2 e S_3) ou divisão (agente a_4 troca informações com os agentes a_2 e a_3 sobre a divisão do grupo S_4).

A. Camada de Dispositivos

A camada de dispositivos consiste de dispositivos interconectados onde cada um tem seu próprio movimento, mas se

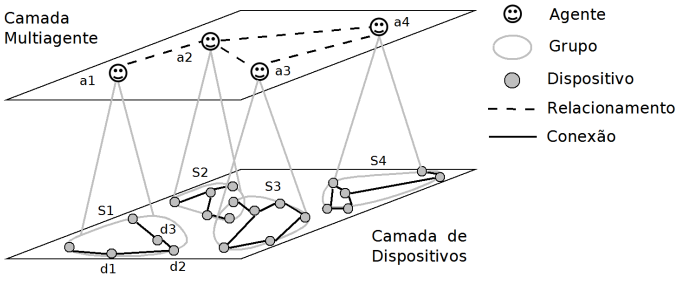


Figura 1. Arquitetura e suas camadas.

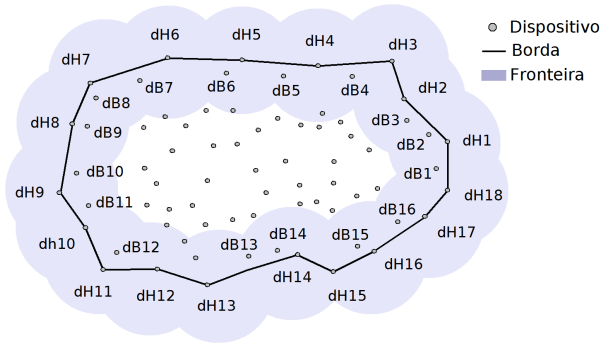


Figura 2. Camada de dispositivos.

visto como um todo, eles se movimentam em grupos. A Figura 2 mostra o detalhe de um grupo dessa camada, utilizando o sistema de coordenadas $\mathbb{R}^2$ por simplicidade. Na figura, o grupo é composto por uma grande quantidade de dispositivos. A borda do grupo está representada como o conjunto de dispositivos dH_i, com i variando de 1 a 18, onde, para cada par consecutivo de dispositivos (dH_i, $dH_{i+1 mod N}$), existe uma conexão entre eles. A fronteira do grupo é o conjunto de dispositivos dB_k, com k variando de 1 a 16, que residem na zona de influência (área de raio r) de algum dispositivo pertencente à borda (e.g., a localização do dB_3 reside na zona de influência do dH_2).

Nesta camada, para manter a escalabilidade, somente os dispositivos que pertencem à fronteira serão os responsáveis por executar determinados processos relacionados com o comportamento do grupo. Nesse contexto, primeiro analisaremos como determinar se um dispositivo é da fronteira e, depois, quais são os processos que estes dispositivos devem executar.

Cada dispositivo do grupo deve determinar se pertence à fronteira em dois momentos, (i) quando se une ao grupo; (ii) e durante seu ciclo de vida. No primeiro caso, quando um dispositivo d se une ao grupo, o agente responsável por ele lhe proverá uma lista L de dispositivos que estão localizados próximos a d e que já pertencem à fronteira ou à borda (o agente conhece todos os dispositivos da fronteira e da borda do grupo que gerencia). Logo, d seleciona de L aqueles dispositivos d_i que pertencem à borda e verifica se algum deles reside na sua zona de influência. Se isso ocorre, o dispositivo d se declara ao agente como pertencente à fronteira. No segundo caso, durante o ciclo de vida, quando d muda sua posição, este deve perguntar aos dispositivos que residem na sua zona de influência se algum deles pertence à borda. Se isso acontecer, o dispositivo se declara ao agente como pertencente à fronteira.

O dispositivo que pertencer à fronteira deve ser responsável por executar os seguintes processos: (1) atualizar a localização e movimento da fronteira e agregar a localização dos dispositivos que residem na sua zona de influência, enviando essa informação ao agente responsável pelo grupo; (2) perceber se a fronteira está se desunindo, tentando evitar a desconexão da borda e avisando dessa situação ao agente responsável; (3) eliminar as conexões com os dispositivos que saíram da sua zona de influência e estabelecer conexões com os dispositivos que entraram na zona; (4) agentificar um dispositivo para que gerencie o grupo, caso não haja um agente cumprindo essa função. Cabe destacar que os processos 1 ao 3 podem ser realizados em paralelo.

B. *Camada de Agentes*

A camada multiagentes consiste em agentes responsáveis por gerenciar grupos de dispositivos. Cada agente possui dois tipos de relacionamentos com outros agentes: sequenciais e de saltos. Relacionamentos sequenciais são estabelecidos para manter a escalabilidade, permitindo aos agentes próximos entre si (i.e., aqueles cujos grupos estão próximos de se unirem) trocarem informações. Relacionamentos de saltos são estabelecidos para manter a eficiência e escalabilidade, permitindo aos agentes acessar a localização de grupos que estão fora do alcance dos relacionamentos sequenciais.

Cada agente desta camada é responsável por executar os seguintes processos: (1) dado uma localização l, enviada por um dispositivo que quer se unir a um grupo, procurar o agente que gerencia o grupo localizado em l; (2) monitorar o comportamento do grupo, eliminando aqueles dispositivos da fronteira e da borda que não estejam cumprindo com suas responsabilidades; (3) receber a localização dos dispositivos da fronteira, atualizando a área coberta pelo grupo; (4) perceber se o grupo está se unindo com outros grupos, utilizando para isso os relacionamentos sequenciais, e unindo-os caso seja necessário; (5) perceber se o grupo está se desunindo, tentando prevenir a divisão; (6) dividir o grupo em dois, caso não seja possível prevenir a divisão no passo anterior. Cabe destacar que os processos 2, e 4 ao 6 podem ser realizados em paralelo.

V. Resultados Experimentais

A escalabilidade e a eficiência da arquitetura foram testadas para os dois cenários mencionados na Seção II.

A. *Video sob Demanda*

No VoD, a eficiência foi analisada no tempo necessário para um membro da DHT responder às requisições pela busca de um determinado segmento de vídeo, onde o vídeo foi dividido em 1000 segmentos de 1024 kb cada um. Nesse contexto, em um determinado momento, todos os nós que pertenciam à DHT enviaram uma requisição de busca pelo mesmo segmento. A Figura 3 compara a alternativa da DHT (onde o nó tenta responder todas as requisições, diminuindo

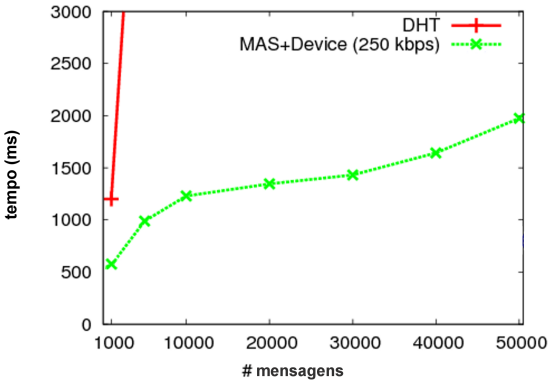


Figura 3. Escalabilidade nas mensagens atendidas.

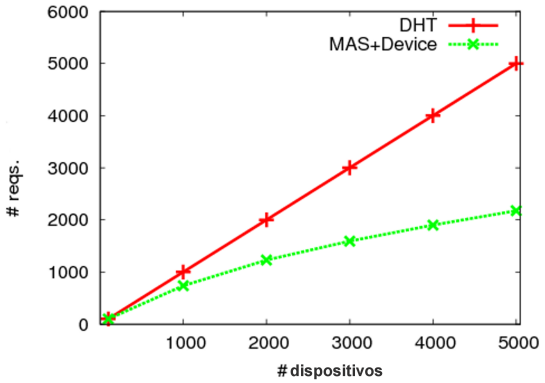


Figura 4. Escalabilidade nas mensagens enviadas.

sua eficiência quando sua largura de banda para respondê-las fica sobrecarregada) com a nossa (que cria novos agentes para distribuir as requisições e, portanto, a carga na largura de banda). A figura mostra que a DHT consegue atender 1.200 mensagens em 1 segundo, enquanto a nossa alternativa, em 2 segundos, consegue atender 50.000. Este resultado foi publicado em [4].

B. *Localização de Sensores*

Na localização de sensores, a escalabilidade foi analisada pela quantidade de mensagens de atualização enviadas pelo grupo comparada com as enviadas pela fronteira. Para isso, foi simulado o comportamento exibido por um grupo de aves que voam em uma determinada área, conhecido como bando (*flocking* em inglês). As diferentes formas que pode ter um bando foram obtidas da execução de um modelo 2D definido por Craig Reynolds [11]. A Figura 4 mostra que o uso da fronteira diminui a quantidade de mensagens recebidas pelo agente (que está gerenciando o grupo) se comparada com a estratégia usada pelas alternativas atuais, onde todos os dispositivos do grupo enviam mensagens ao agente. Por exemplo, no grupo onde a soma dos seus membros totaliza 5.000 dispositivos, nossa arquitetura supera os outros trabalhos, enviando somente 2.175 mensagens ao invés das 5.000 (correspondendo a uma mensagem por dispositivo), com uma redução de aproximadamente 57%. Por outro lado, a nossa proposta utiliza a fronteira somente depois do grupo ter uma forma. Antes disso, a arquitetura utiliza a mesma estratégia das outras alternativas, onde todos enviam mensagens ao agente. Este resultado foi publicado como capítulo de livro em [5].

VI. Conclusão

Para aumentar a escalabilidade de sistemas para recuperação e atualização de informações vinculadas, foi apresentada uma arquitetura em camadas que utiliza técnicas inovadoras que estendem tanto o método de agregação de dados quanto a DHT. Para isso, na camada de dispositivos, somente os dispositivos que pertencem à fronteira do grupo são responsáveis por coletar e agregar as informações dos dispositivos que residem na sua área de influência, evitando que todos os membros do grupo o façam. Na camada de agentes, os agentes são responsáveis por gerenciar as informações desses grupos, por responder requisições de busca por essas informações e por se comunicarem com outros agentes para trocar as interações que possam ocorrer entre seus grupos, como uniões e divisões. Quando o agente fica sobrecarregado pelas responsabilidades assumidas, novos agentes são criados para gerenciar o grupo, distribuindo a carga entre eles e aumentando a escalabilidade do sistema. Dentre os próximos passos, no cenário de VoD, pretende-se estudar como a união de grupos pode melhorar a eficiência no tempo total para baixar um vídeo.

Referências

[1] GARTNER. *Hype Cycle for the Internet of Things*. 2015. Disponível em: <http://www.gartner.com/doc/3098434>.

[2] REN, F. et al. Attribute-Aware Data Aggregation Using Potential-Based Dynamic Routing in Wireless Sensor Networks. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, v. 24, n. 5, p. 881–892, 2013.

[3] STOICA, I. et al. Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications. In: *Proceedings of the 2001 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications*. [S.l.]: ACM, 2001. (SIGCOMM '01), p. 149–160.

[4] ROCHA, V.; BRANDãO, A. A. F. Towards conscientious peers: Combining agents and peers for efficient and scalable video segment retrieval for VoD services. *EAAI*, v. 45, p. 180 – 191, 2015.

[5] ROCHA, V.; BRANDãO, A. A. F. A Scalable Multiagent Architecture for Monitoring Biodiversity Scenarios. In: ADAMATTI, D. (Ed.). *Multi-Agent Based Simulations Applied to Biological and Environmental Systems*. Hershey, PA: IGI Global, 2016. cap. 4.

[6] GALLUCCIO, L. et al. On the potentials of object group localization in the Internet of Things. In: *IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–9.

[7] D'ORO, S. et al. Exploiting Object Group Localization in the Internet of Things: Performance Analysis. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 64, n. 8, p. 3645–3656, 2015. ISSN 0018-9545.

[8] TANG, J. et al. An energy efficient hierarchical clustering index tree for facilitating time-correlated region queries in the Internet of Things. *Journal of Network and Computer Applications*, v. 40, p. 1–11, 2014.

[9] ALI, M.; UZMI, Z. Csn: a network protocol for serving dynamic queries in large-scale wireless sensor networks. In: *Communication Networks and Services Research, 2004. Proceedings. Second Annual Conference on*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 165–174.

[10] ALI, M.; LANGENDOEN, K. A Case for Peer-to-Peer Network Overlays in Sensor Networks. In: *International Workshop on Wireless Sensor Network Architecture*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 56–61.

[11] REYNOLDS, C. W. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, ACM, New York, NY, USA, v. 21, n. 4, p. 25–34, ago. 1987.

Metrics for Network Neutrality according to Marco Civil da Internet

Métricas para Neutralidade de Rede de acordo com o Marco Civil da Internet

Nathalia Sautchuk Patrício
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais
Universidade de São Paulo
São Paulo, Brazil
nathysautchuk@usp.br

Edison Spina
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais
Universidade de São Paulo
São Paulo, Brazil
spina@usp.br

***Abstract*— A neutral network is the one in which there is not a favoring of the application data packets in comparision to others. There are several advantages to remain neutral Internet like a greater incentive for innovation, the competition possibility from new entrants and established companies and access to any service without the need for additional payment. In Brazil, Law No. 12,965, known as Marco Civil da Internet, ensures network neutrality in the Brazilian Internet. However, an important issue for the law effectiveness is the technical check if the network neutrality has been fulfilled by the companies and the traffic discrimination occurs only in cases prescribed by Marco Civil. This network neutrality analysis in relation to a specific application requires a deep investigation of the network communication behavior. The research aims to identify network metrics that indicate whether an Internet network is neutral, as defined by Marco Civil da Internet.**

Keywords—Network Neutrality, Network Metric, Internet, Marco Civil da Internet

Resumo— Uma rede neutra é aquela em que não há o favorecimento dos pacotes de dados de uma aplicação em relação a outras. Há diversas vantagens em se manter a Internet neutra, como um maior incentivo para inovação, a possibilidade de concorrência entre novos entrantes e empresas já estabelecidas e acesso a qualquer serviço sem a necessidade de pagamento adicional. No Brasil, a Lei nº 12.965, conhecida como Marco Civil da Internet, garante a neutralidade de rede na Internet no Brasil. Porém, uma questão importante para a efetividade da lei é a verificação técnica se a neutralidade de rede tem sido cumprida pelas empresas e se a discriminação de tráfego ocorre apenas nos casos previstos pelo decreto nº 8.771, que regulamenta o Marco Civil. Essa análise da neutralidade de rede de um provedor em relação a uma aplicação específica requer uma investigação profunda do comportamento de comunicação na rede. A pesquisa pretende identificar métricas de rede que indiquem se uma rede Internet é neutra, segundo definido pelo Marco Civil da Internet.

Palavras-chave— Neutralidade de Rede, Métrica de Rede, Internet, Marco Civil da Internet.

I. INTRODUÇÃO

A. Problema

Uma rede neutra é aquela em que não há o favorecimento de uma aplicação em detrimento de outra [1]. A neutralidade de rede pode ser melhor definida como um princípio de projeto de redes. A ideia é a de que uma rede de informação pública útil aspira tratar todos os conteúdos, sites e plataformas de forma igual [2]. Isso significa, por exemplo, que um pacote transportando conteúdos de uma ligação por voz não pode ser transmitido mais lentamente que um pacote de mesmo tamanho contendo informações de um e-mail. Nos estudos de redes de computadores, a neutralidade tem por ancestral o princípio "end-to-end", segundo o qual em uma rede de uso geral as funções específicas das aplicações devem residir nos terminais da rede ao invés de nos nós intermediários [2].

O fundamento da neutralidade de rede não é uma ideia nova. De acordo com [2], o princípio remonta ao conceito jurídico de “common carrier”, que existe no direito inglês desde o século 16, e diz respeito às responsabilidades de uma entidade privada que exerce funções públicas de transporte ou comunicações (por exemplo, as autoridades portuárias ou serviços de correios).

Dentre os temas debatidos no campo da governança da Internet, o conceito de neutralidade de rede tem causado polêmica no Brasil e em outros países e cada vez mais atraído a atenção da opinião pública internacional. De um lado,

provedores de conteúdo e comunidade técnica defendem o modelo de neutralidade, de outro lado, empresas de telecomunicações vislumbram formas de maximizar seus lucros por meio da cobrança de vias rápidas (“fast lanes”) para o tráfego de dados.

Ainda dentro da questão da neutralidade de rede, um outro tópico debatido é a prática conhecida como "zero-rating", em que empresas de telefonia celular oferecem serviços de dados em que não cobram pelo acesso a determinadas aplicações, como o Facebook.

A NETmundial, encontro multissetorial global sobre o futuro da governança da Internet, debateu a questão da neutralidade de rede e não foi possível chegar a um consenso sobre a inclusão do tema em sua declaração final devido a visões divergentes sobre o princípio, entrando apenas na lista de pontos a serem debatidos num futuro próximo [3].

No Brasil, o conceito de neutralidade de rede foi adotado como um dos dez princípios para a governança e uso da Internet pelo Comitê Gestor da Internet no Brasil, no qual se recomenda que a filtragem ou privilégios de tráfego respeitem apenas critérios técnicos e éticos, não sendo admissíveis motivos políticos, comerciais, religiosos, culturais, ou qualquer outra forma de discriminação ou favorecimento [5].

De acordo com [4], uma lei aceitável para a neutralidade de rede deve ser uma combinação objetiva de aspectos políticos e técnicos, enquanto leva em consideração o mínimo de requisitos de Qualidade de Experiência (QoE) do usuário final.

No Brasil, a Lei nº 12.965, conhecida como Marco Civil da Internet, está em vigor desde 2014 e garante a neutralidade de rede na Internet brasileira (Art. 3º, IV). De acordo com a mesma lei (Art. 9º), "o responsável pela transmissão, comutação ou roteamento tem o dever de tratar de forma isonômica quaisquer pacotes de dados, sem distinção por conteúdo, origem e destino, serviço, terminal ou aplicação". Apenas há a previsão de discriminação ou degradação do tráfego em casos de requisitos técnicos indispensáveis à prestação adequada dos serviços e aplicações; e priorização de serviços de emergência (Art. 9º, § 1º) [6].

A questão da neutralidade de rede foi regulamentada por [18], dizendo-se que os requisitos técnicos indispensáveis são aqueles decorrentes de: I - tratamento de questões de segurança de redes, tais como restrição ao envio de mensagens em massa (spam) e controle de ataques de negação de serviço; e II - tratamento de situações excepcionais de congestionamento de redes, tais como rotas alternativas em casos de interrupções da rota principal e em situações de emergência (Art. 5º, § 1º).

No entanto, como essa regulamentação é recente, permanecem divergências de interpretação sobre como aplicar o princípio da neutralidade de rede. As empresas que praticam o "zero-rating" alegam, por exemplo, que esse modelo de negócios não constitui uma violação do princípio. Entidades da sociedade civil, por sua vez, não têm dúvidas sobre a ilegalidade dessa prática [7].

Duas questões relevantes nesse debate são como verificar tecnicamente se a neutralidade de rede tem sido cumprida pelas empresas e se a discriminação de tráfego ocorre apenas nos casos previstos pelo Marco Civil da Internet. No Brasil, ainda não há estudos relativos a esse tema. Em outros países, essa questão é tratada de maneira parcial e fragmentada em um conjunto de iniciativas não coordenadas entre si. Além disso, há pouca informação disponível sobre a neutralidade de rede na Internet móvel [8].

B. Hipótese

A hipótese da pesquisa é a de que é possível medir a neutralidade de rede, tal como definida pelo Marco Civil da Internet no Brasil. Para isso, é viável determinar métricas de rede que podem indicar que uma rede Internet é neutra, tanto na Internet fixa quanto na móvel.

C. Objetivos

O objetivo geral da pesquisa é identificar métricas de rede que possam indicar se uma rede Internet é neutra, assim como definida pelo Marco Civil da Internet no Brasil.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- avaliar ferramentas computacionais existentes a fim de verificar se conseguem realizar a medição da neutralidade de rede de acordo com as métricas de rede identificadas; e
- demonstrar a aplicação das métricas de rede identificadas na realização de um estudo de caso no Brasil, relacionando os dados levantados nas medições com a aplicação do Art. 9º do Marco Civil da Internet.

D. Justificativa

Apesar de haver várias pesquisas sobre o princípio da neutralidade de rede e algumas delas especificamente tentarem mensurá-la a partir de parâmetros técnicos de rede, ainda não há resultados conclusivos sobre o assunto. Além disso, muitas dessas pesquisas orienta-se para uma aplicação ou para um mecanismo específico de discriminação, não esgotando todos os casos possíveis. Não há estudos ainda no sentido de verificar a aplicação técnica do artigo nono do Marco Civil da Internet, que concerne à neutralidade de rede no Brasil.

II. NEUTRALIDADE DE REDE

Há diversas vantagens em se manter a Internet neutra. Dentre as principais estão:

Maior incentivo para inovação através da criação de aplicações disruptivas e de novas tecnologias de rede, se comparado com uma arquitetura fechada;

Possibilidade de concorrência entre novos entrantes e empresas já estabelecidas, seja na área de aplicações, seja no provimento de acesso à Internet; e

Acesso a qualquer serviço que o usuário desejar sem a necessidade de pagamento adicional para esse fim.

Porém, a manutenção de uma Internet neutra não é algo simples, uma vez que há diversos atores nesse ecossistema com diferentes interesses em relação a esse tópico. Em [9] é apresentado de forma resumida os interesses em jogo para cada um dos atores da rede:

Provedores de Acesso: ao serem impedidos de discriminar conteúdos e aplicações, eles perdem um instrumento de controle de suas redes, o que pode levar a redução de lucros e diminuição do potencial de eficiência de suas redes. Essas perdas podem levar à redução de incentivos para inovação na infraestrutura de telecomunicações e à redução na geração de empregos do setor;

Grandes Provedores de Conteúdo: os grandes da Internet (por exemplo, Google, Facebook) não precisariam mais negociar condições especiais para o tráfego de seus conteúdos com provedores de acesso, podendo alocar mais recursos em inovação e geração de empregos. Por outro lado, a proibição de acordos para priorização de tráfego reduz os instrumentos disponíveis para que mantenham sua hegemonia, já que pequenos provedores terão condições semelhantes;

Pequenos Provedores de Conteúdo: são os grandes beneficiários da neutralidade da rede. Com o tráfego de seus conteúdos sendo tratados da mesma forma que o dos grandes, há uma redução nas barreiras de entrada no mercado. Pequenos provedores de conteúdo não vão precisar negociar com provedores de acesso para terem uma oferta de qualidade de seus aplicativos, e a maior diversidade de iniciativas levará a um aumento na inovação como um todo; e

Usuários: com a neutralidade da rede, usuários terão acesso a conteúdos mais diversificados, impedindo efeitos de filtro de conteúdo. Há também um ganho na capacidade de autonomia, visto que usuários terão maiores incentivos para também se tornarem provedores de conteúdo. Há também ganhos expressivos no campo da liberdade de expressão, já que a neutralidade da rede impediria que provedores de acesso criem bloqueios de conteúdo.

Há pelo menos três formas de um provedor de conexão a Internet discriminar um conteúdo ou aplicação específica na Internet, violando a neutralidade de rede:

Bloqueio total da aplicação e/ou conteúdo na Internet;

Redução da sua velocidade de acesso em comparação a outras aplicações e/ou conteúdos; e

Cobrança de um preço diferente pelo acesso àquele conteúdo e/ou aplicação em comparação aos demais.

III. Trabalhos Relacionados

De acordo com [8], a análise técnica da neutralidade de rede de um provedor em relação a uma aplicação específica requer uma investigação profunda do seu comportamento de comunicação, o que é extremamente complexo. Há três metodologias de medição que diferem entre si na forma em que os dados são gerados e coletados para análise futura:

Ativa: são gerados pacotes de dados específicos para serem trafegados pela rede do provedor com o objetivo de serem medidos alguns parâmetros técnicos (como "jitter", latência, etc);

Passiva: os pacotes trafegados pela rede do provedor são logados e são extraídos indicadores de desempenho relevantes que são analisados;

Híbrida: é a combinação das metodologias acima.

As ferramentas existentes para detectar discriminações são tipicamente específicas para uma aplicação ou para um mecanismo específico de discriminação e dependem de testes de medição ativos [8] [10].

Existem várias ferramentas que se propõe a fazer a medição de diversas métricas que podem ser usadas como indicadores da neutralidade de rede.

Uma das ferramentas que mede vários indicadores de forma ativa, incluindo throughput, delay, jitter, assim como o desempenho de protocolos específicos comumente usados, incluindo o Real-Time Transport Protocol (usado na maioria das aplicações de multimedia na Internet), o protocolo peer-to-peer BitTorrent e o protocolo proprietário peer-to-peer do Skype Voice over IP [11], é o Neubot. A arquitetura do Neubot consiste em uma aplicação cliente open-source que usuários voluntários instalam em seus computadores e um conjunto de servidores Neubot. A aplicação cliente roda em background e automaticamente realiza um conjunto de medidas, periodicamente enviando resultados para um servidor central.

Outra ferramenta de medição ativa é a Glasnost, que detecta diferenciação de tráfego baseado tanto nos parâmetros do header do protocolo de transporte (número da porta) quanto no payload do pacote (Deep Packet Investigation) [8]. Ela é baseada no modelo cliente-servidor. Cada cliente se conecta a um servidor através de navegador web, rodando diversos testes. Cada teste mede o caminho entre cliente e servidor gerando streams de tráfego no nível da aplicação. A idea principal da Glasnost é a emulação de dois streams de tráfego transportando dados, idênticos em todos os sentidos, menos na característica suspeita de provocar a discriminação ao longo do caminho. Por exemplo, no caso do teste do protocolo BitTorrent, metade dos fluxos de teste usam a porta 6881, uma porta conhecida por ser usada pelo protocolo BitTorrent, enquanto a outra metada usa uma porta aleatória não associada a nenhum protocolo específico [17].

O Network Diagnostic Tool (NDT) é uma ferramenta que mede o throughput do protocolo TCP entre um cliente rodando em um host do usuário e um servidor do M-Lab. O NDT é

atualmente usado pela FCC como seu software oficial de medição de banga larga [12].

A ferramenta ShaperProbe detecta se um ISP está empregando algum tipo de traffic shapping, através de uma medição ativa dos caminhos de fluxo da rede [10]. Para isso, ela tenta identificar se o ISP está classificando certos tipos de tráfego como "baixa prioridade", fornecendo diferentes níveis de serviço para eles, através de uma técnica conhecida como token bucket [8].

As quatro ferramentas acima descritas usam a plataforma do Measurement Lab, o M-Lab. Ele fornece uma plataforma para desenvolver, testar e implantar novas ferramentas de medição ativa [12]. Os servidores do M-Lab estão distribuídos geograficamente em localizações estratégicas ao redor do mundo. Para cada ferramenta são alocados recursos dedicados na plataforma para facilitar medições com maior acurácia.

Já como ferramenta de medição passiva há a NANO. Esse sistema detecta discriminação de um ISP coletando passivamente os dados de desempenho dos clientes. Os agentes NANO, implantados nos clientes participantes ao longo da Internet, coletam dados de desempenho para serviços selecionados e reportam para servidores centralizados, que analisam as medidas para estabelecer relações causais entre um ISP e degradações de desempenho [8].

IV. Descrição do Método

Para concretizar os objetivos propostos para a pesquisa, serão seguidas as seguintes etapas:

- Fazer um levantamento das principais formas de violações de neutralidade de rede em uma rede Internet através de entrevistas com profissionais que implementam políticas de roteamento em provedores;
- Correlacionar as formas de discriminação em uma rede Internet com métricas de rede existentes;
- Analisar as ferramentas existentes para medição das métricas de rede e quais são as suas limitações;
- Criar novas ou adaptar as ferramentas existentes para a medição das métricas de rede relacionadas à neutralidade de rede na Internet;
- Modelar cenários de teste envolvendo as métricas de rede escolhidas;
- Rodar os cenários de teste para validar as métricas escolhidas como relacionadas a neutralidade de rede;
- Fazer uma análise comparativa entre os resultados dos cenários de teste com o disposto pelo Artigo 9º do Marco Civil da Internet.

V. Resultados Esperados

Espera-se que um conjunto de métricas de rede sejam adotadas como prova em ações judiciais para indicar que a neutralidade de rede em uma rede Internet está sendo violada. Ainda espera-se que as ferramentas avaliadas e/ou desenvolvidas durante a pesquisa para a medição desse conjunto de métricas de rede possam ser usadas para gerar provas para ações judiciais no âmbito do Marco Civil da Internet.

Referências

[1] T. Wu. "Network Neutrality, Broadband Discrimination". Journal of Telecommunications and High Technology Law, Vol. 2, pp. 141, 2003.

[2] T. Wu. "Network Neutrality FAQ". Timwu.org. Web. 10 May 2016.

[3] "Netmundial Multistakeholder Statement". Netmundial.br. N.p., 2014. Web. 10 May 2016.

[4] Ramneek, P. Hosein, W. Choi, and W. Seok. Disruptive Network Applications and their Impact on Network Neutrality. 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2015.

[5] "Principles for the governance and use of the Internet". Cgi.br. N.p., 2009. Web. 10 May 2016.

[6] "Lei Nº 12.965, de 23 de abril de 2014". Planalto.gov.br. N.p., 2013. Web. 10 May 2016.

[7] "Carta de Salvador sobre o Futuro da Internet no Brasil". Forumdainternet.cgi.br. N.p., 2015. Web. 10 May 2016.

[8] D. Miorandi, I. Carreras, E. Gregori, I. Graham, and J. Stewart. "Measuring Net Neutrality in Mobile Internet: Towards a Crowdsensing-based Citizen Observatory". IEEE International Conference on Communications 2013: IEEE ICC'13 - Workshop on Beyond Social Networks: Collective Awareness.

[9] P. Ramos. "Neutralidade da Rede". Neutralidadedarede.com.br. Web. 10 May 2016.

[10] Ramneek, P. Hosein, W. Choi, and W. Seok. "Detecting Network Neutrality Violations through Packet Loss Statistics". 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), 2015.

[11] J. C. De Martin, and A. Glorioso. "The Neubot Project: A Collaborative Approach To Measuring Internet Neutrality". IEEE International Symposium on Technology and Society, Fredericton (Canada), 26-28 June 2008.

[12] C. Dovrolis, K. Gummadi, A. Kuzmanovic, and S. D. Meinrath. "Measurement Lab: Overview and an Invitation to the Research Community". ACM SIGCOMM Computer Communication Review. Volume 40, Number 3, July 2010.

[13] "Neubot install guide". Neubot.org/neubot-install-guide. Web. 11 May 2016.

[14] "DiffProbe Shaper Module: Detecting ISP Traffic Rate-Limiting". Netinfer.net/diffprobe/shaperprobe.html. Web. 11 May 2016.

[15] "NDT (Network Diagnostic Test)". Measurementlab.net/tools/ndt/. Web. 11 May 2016.

[16] "Glasnost: Test if your ISP is shaping your traffic". Broadband.mpi-sws.org/transparency/bttest-mlab.php. Web. 11 May 2016.

[17] M. Dischinger, A. Mislove, A. Haeberlen, and K. P. Gummadi. "Detecting BitTorrent Blocking". Proceedings of the 8th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement - IMC'08, October 20–22, 2008, Vouliagmeni, Greece.

[18] "Decreto Nº 8.771, DE 11 de maio de 2016". Pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=11/05/2016&jornal=1000&pagina=7&totalArquivos=12. Web. 11 May 2016.

Transposition of Logical Puzzle from Traditional to Digital Environment

Transposição de Quebra-Cabeças Lógicos do Meio Físico para o Digital

TABUTI, L.M.*; NAKAMURA, R.*; ROCHA, R.L.A
*Laboratório de Tecnologias Interativas – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo
Laboratório de Linguagens e Técnicas Adaptativas – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo
lucymari@gmail.com, {ricardo.nakamura, luis.rocha}@poli.usp.br

***Abstract*—The logical reasoning is important for development of people to influence the evaluation of problems in search for solutions and decision-making. The students must develop competencies and skills of logical reasoning because they are basis for the development of critical thinking to solve academic problems and life itself. In this context, it also observed that are necessary criteria and methods that can be used to verify these concepts learning. For using digital tools, it is essential to offer a user interface and human-computer interaction to provide the student involvement. Preliminary studies with user interface and human-computer interaction on platforms in digital environment, compared with traditional one, have demonstrated that both user interface and human-computer interaction need to be improved to ensure that learning can occur. Aiming to fill this gap, the main objective of this work is to make experiments to improve the user interface and human-computer interaction from digital puzzles do improve logical reasoning learning of students.**

Keywords—puzzles; digital puzzles; competencies; skills; logical reasoning; user interface; human-computer interaction; education;

***Resumo* —O raciocínio lógico é importante para o desenvolvimento dos cidadãos, por influenciar na avaliação de problemas, na busca por soluções e na tomada de decisões. As competências e habilidades do raciocínio lógico devem ser desenvolvidas pelos estudantes e servem de base para o desenvolvimento do pensamento crítico para a resolução de problemas acadêmicos e da própria vida. Neste contexto, observa-se também que são necessários critérios e metodologias que possam ser utilizados para verificar o aprendizado destes conceitos. No caso do uso de ferramentas digitais, é essencial o oferecimento de uma interface com o usuário e uma interação humano-computador que proporcionem o envolvimento do aluno. Estudos preliminares da interface com o usuário e da interação humano-computador em plataformas no meio digital, em comparação com o meio físico, demonstraram que tanto a interface com o usuário, quanto a interação humano-computador precisa ser melhorada, para que o aprendizado de fato possa ocorrer. Visando suprir esta lacuna, o principal objetivo do presente trabalho é realizar experimentos que permitam melhorar a interface com o usuário e a interação humano-computador a partir de puzzles digitais para melhorar o ensino de raciocínio lógico dos estudantes.**

Palavras-chave—quebra-cabeças; quebra-cabeças digitais; competências; habilidades; raciocínio lógico; interface com o usuário; interação humano computador; educação

I. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da tecnologia de Informação, crianças e adolescentes têm à disposição uma abundância de dispositivos móveis com diferentes aplicativos que lhes detêm a atenção. É sabido também que a utilização dos puzzles de lógica físicos é importante para o desenvolvimento lógico e cognitivo da criança e do adolescente, independentemente da área de conhecimento em que um dia ingressarão.

Os puzzles de lógica são jogos simples e viciantes que, além de proporcionar satisfação, desafia o pensar. Os puzzles de lógica são considerados os mais antigos jogos e têm por objetivo desafiar o jogador, pois apresentam problemas que necessitam de raciocínio e paciência. Para Cuperschmid e Hildebrand [1], os puzzles de lógica, além de serem divertidos de resolver, desafiam mais a mente do que desafiam reflexos. Isso porque desafiam intelectualmente para a resolução de problemas, não só o pensamento, mas também a paciência.

Os puzzles de lógica podem ser utilizados no meio acadêmico para estimular os estudantes a criarem estratégias e desenvolverem o raciocínio lógico que podem ser utilizados para resolver problemas em quaisquer áreas do conhecimento. Para Ramos [2], o desenvolvimento de um trabalho pedagógico, que utilize puzzles de lógica, ajuda no exercício e no desenvolvimento de aspectos cognitivos do estudante de forma a torná-los mais lúdicos e prazerosos. Além disso, é sabido que o puzzle beneficia os aspectos sociais, afetivos e cognitivos do estudante permitindo desenvolver outras características como a imaginação, a imitação e a regra.

Os atuais alunos de ensino fundamental, médio e universitário são alunos cujas gerações já nasceram com a *internet*. Segundo Fraiman [3], "esses jovens se desenvolveram com um modelo mental diferente, as sinapses aconteceram de forma diferente em relação às gerações analógicas, nascidas antes da *internet*". Diante desta situação, é importante o desenvolvimento de versões digitais dos puzzles de lógica físico,

seguindo a recomendação de Ott e Pozzi [4] que afirmam, porém, que há uma necessidade de aprofundar os estudos para o desenvolvimento desses puzzles de lógica digital, de forma a garantir que, quando utilizados com o propósito educacional, capacitem a criatividade das crianças e adolescentes.

Os pontos levantados anteriormente motivaram o estudo das metodologias existentes para a conversão dos puzzles de lógica do meio físico para o meio digital. Os puzzles de lógica digitais são ferramentas que podem ser utilizadas no processo de ensino-aprendizagem, otimizando o trabalho e o tempo de professores e estudantes da geração atual [3] e [5].

Neste caso, devem ser considerados estudos de manipulação do puzzle de lógica físico com a interface com o usuário e a interação humano-computador de um puzzle de lógica digital para verificar a existência de relações entre ambos os puzzles de lógica tanto físico como digital.

A. Objetivos

O principal objetivo é apresentar os resultados dos estudos desenvolvidos para a definição de uma metodologia que envolva engenharia de software, interface com o usuário e projeto de interação humano-computador e que possam preservar as competências, habilidades e estratégias propostas pelos puzzles de lógica físicos quando digitalizados para o meio virtual.

Neste sentido, pesquisas sobre interface com usuário, interações humano-computador, bem como, as competências e habilidades do aprendizado do raciocínio lógico envolvidas no desenvolvimento do Cubo Mágico, o puzzle definido para esta pesquisa, foram estudadas. Além disso, foram realizadas pesquisas sobre as diferentes interações existentes para o desenvolvimento do cubo mágico físico, em aplicativos de *smartphones* e *tablets,* em *sites* para *desktops* com uso de *mouse* e para uso com teclado, além dos desenvolvidos para manipulação com o oculus rift e leap motion e com o oculus rift e controle de xbox.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ESTADO DA ARTE

A. Teorias de Ensino e Aprendizagem e as Metodologias para o Aprendizado

As teorias da aprendizagem referem-se aos diferentes modelos relacionados ao processo de aprendizagem dos indivíduos. Na educação contemporânea, as que são mais utilizadas são a de Jean Piaget e a de Lev Vygotsky.

O construtivismo é a teoria em que o ser humano desenvolve suas capacidades por meio das relações sociais. Para Gotardo et al [6], a construção do conhecimento é adquirida por meio das interações com o ambiente externo, onde o indivíduo deixa de ser o sujeito passivo, passando a atuar ativamente "na aprendizagem, experimentando, pesquisando, duvidando e desenvolvendo o raciocínio". Jean Piaget, que defende a ideia de a inteligência ser desenvolvida a partir da maturação do indivíduo ao ambiente, e Jerome Bruner, que defende a aprendizagem por descoberta e o currículo espiral, são os grandes teóricos do construtivismo.

Para Gotardo [6], o sócio-construtivismo também conhecido como colaborativismo ou interacionismo é a teoria cujo aprendizado acontece por meio da interação entre as pessoas que exploram e defendem suas ideias. Dessa forma, o processo de ensino-aprendizagem está relacionado a um conjunto de ações de interação onde o maior foco está na troca de informações e o "desenvolvimento cognitivo e cultural aparece no nível social e, posteriormente, no nível individual". Lev Vygotsky, que defende o processo de aprendizagem humana numa relação entre a sociedade e o indivíduo, é o principal representante desta teoria.

Lepre e Aragon [7] relacionam a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel [8], que aborda a aprendizagem cognitiva, com as duas condições necessárias para uma aprendizagem significativa: a disposição do aluno para um aprendizado significativo e não memorístico e um conteúdo potencialmente significativo com materiais que possam trazer significados.

Os cubos mágicos assim como os demais puzzles de lógica são materiais potencialmente significativos para uma aprendizagem significativa e, se digitalizados sem a perda das competências e habilidades, podem tornar-se ferramentas importantes no processo da aprendizagem significativa pois podem ser utilizados tanto em dispositivos fixos ou móveis e difundidas pelas redes telemáticas.

B. Interface com o Usuário

Segundo Barbosa e Silva [9], "A interface de um sistema interativo compreende toda a porção do sistema como qual o usuário mantém contato físico (motor ou receptivo) ou conceitual durante a interação". A interface com o usuário, que é o único meio de contato entre o usuário e o sistema, está entre o contato físico do indivíduo e o hardware e software utilizados para a interação.

Para Barbosa e Silva [9], a interface com o usuário encaminha para o processo em que o usuário pode interagir com o sistema, dessa foram, a interface com o usuário permite determinar o que o usuário pode falar ou fazer e mesmo de que maneira e em que ordem essas ações devem acontecer. A percepção do indivíduo e sua interpretação em relação à interface com o usuário, bem como, seus objetivos são influenciados pelo contexto de utilização do sistema. Além disso, quando se explora a interface com o usuário, a formação, o conhecimento e as experiências que o usuário possui também devem ser considerados.

C. Interação Humano Computador

Para Carvalho [10], a Interação Humano-Computador que é um conjunto de processos, ações e diálogos por meio do qual o usuário interage com o computador, além da característica multidisciplinar, tem como principal objetivo tornar as máquinas sofisticadas mais acessíveis, aos potenciais usuários, em relação à interação. Os sistemas interativos mais eficientes, que sejam robustos, livres de erros e que tenham fácil manutenção é alvo de grande parte da computação. Porém, a importância da Interação Humano-Computador vem do fato desta área estar preocupada com a qualidade de uso desses

sistemas, bem como, no impacto na vida dos usuários desses sistemas

Segundo Barbosa e Silva [9], para o desenvolvimento de um sistema interativo que seja adequado ao mundo no qual será inserido, a Interação Humano-Computador segue uma abordagem "de dentro para fora", de forma que o início do desenvolvimento de um sistema interativo refere-se à investigação dos atores envolvidos, seguido da identificação de oportunidades de intervenção na situação atual para, enfim, o sistema viabilizar esta forma de intervenção. Desta forma, a área de Interação Humano-Computador tem por objetivo privilegiar a qualidade de uso dos sistemas interativos.

D. Competências e Habilidades do Raciocínio Lógico

Para Fraiman [11], "entender a maneira que os alunos aprendem pode ser muito útil para o desafio diário de educar", por isso, "é tão importante que o educador pense fora da caixa e estimule seus educandos a buscar o máximo de conhecimento, da melhor forma que puderem".

Determinadas competências e habilidades de raciocínio lógico, bem como, a capacidade de desenvolver estratégias para resolução de quaisquer problemas em diversas áreas do conhecimento ajudam os estudantes na organização das atividades acadêmicas e sociais. As competências e habilidades de raciocínio lógico consideradas para análise nos puzzles de lógica físico e digitais foram observadas em Brasil [12] nos parâmetros curriculares nacionais (PCN) e utilizadas por Garcia, Abed e Ponte [13], Garcia, Abed, Soares e Ramos [14] e Sales [15].

Com o desenvolvimento da competência para a análise, os estudantes podem ser capazes de desenvolver as habilidades em resolver um problema complexo dividindo-o em subproblemas mais simples, com soluções mais imediatas; e a habilidade da recomposição dos resultados gerados para a solução do problema mais complexo.

Com o desenvolvimento da competência para a síntese, os estudantes podem ser capazes de desenvolver a habilidade de juntar informações e dados de um problema que sejam de diferentes naturezas; a habilidade de avaliar a deficiência dessas informações para determinar a solução; a habilidade de descobrir a falta de outras informações necessárias para a resolução do problema; a habilidade em priorizar e ordenar essas informações de forma a obter uma sequência de desenvolvimento até atingir a solução.

Com o desenvolvimento da competência para a inferência, os estudantes podem ser capazes de desenvolver a habilidade de descobrir padrões em um conjunto de informações; e a habilidade de aplicar novamente determinada informação de forma a agregar novas informações num conjunto que preserve a estrutura de padrões existente.

III. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário da USP (CEP-HU/USP) com parecer consubstanciado número 1.114.876 datado de 19/06/2015 e com duração para dois anos.

Para responder aos questionamentos desta pesquisa, os dados foram analisados de forma qualitativa e quantitativa, porém com os dados obtidos a partir de formulário preenchido pelos sujeitos de pesquisa com questões objetivas e subjetivas.

Os materiais utilizados na pesquisa foram o puzzle de lógica Cubo Mágico, *smartphones*, *tablets*, computadores com acesso à *internet*, oculus rift, controle de xbox e leap motion.

A metodologia proposta para a pesquisa presume as seguintes etapas com os respectivos recursos:

levantamento do estado da arte mediante revisão bibliográfica nos temas de puzzles de lógica, puzzles digitais, critérios de avaliação das características dos puzzles de lógica, competências e habilidades do raciocínio lógico e ciência cognitiva, de forma a ratificar e/ou retificar o problema formulado neste estudo;

definição da unidade-caso e determinação do número de casos a serem estudados (à semelhança do problema, para ratificar e/ou retificar o proposto neste estudo em termos de amostra);

elaboração do protocolo de pesquisa, do quadro de referência teórico e do questionário e da entrevista estruturada a serem aplicados;

coleta de dados sobre a avaliação das competências, habilidades e estratégias dos puzzles de lógica digitais, sendo utilizadas as técnicas de análise de documentos, questionários, entrevistas e observação espontânea;

análise qualitativa dos dados coletados para estruturação do estudo da preservação das competências e habilidades de raciocínio lógico em um cubo mágico a partir de uma síntese dos elementos identificados nas etapas anteriores;

definição de fundamentos, marcos e critérios para a avaliação da eficácia da metodologia proposta; e

avaliação e análise dos resultados da metodologia proposta e realização de ajustes necessários mediante experimentação e confrontação com os elementos das duas últimas etapas anteriores a esta.

IV. RESULTADOS

Com base nos resultados preliminares da pesquisa realizada com o Cubo Mágico e a partir das discussões dos resultados, pode-se observar que as competências e habilidades do raciocínio lógico em relação à transposição do Físico para o Digital e do Digital para o Físico foram preservadas em aproximadamente 80% dos casos.

Os resultados preliminares e qualitativos indicam que é mais fácil desenvolver o cubo mágico no meio físico em virtude da facilidade de visualização das faces do jogo, de manuseio dos movimentos e de uso intuitivo do raciocínio lógico envolvido.

Para o desenvolvimento do cubo mágico, as vantagens e desvantagens indicam que há uma preferência maior para o desenvolvimento no meio físico se comparado ao digital.

Porém, para todas as competências e habilidades pesquisadas no desenvolvimento do cubo mágico, pode-se verificar que foram preservadas em 78% quando desenvolvidas apenas no meio físico e 70% quando desenvolvidas apenas no meio digital.

Com base nos resultados observados nas discussões sobre a facilidade de resolver o cubo mágico, pode-se verificar que 100% dos sujeitos de pesquisa que participaram desta pesquisa não apenas acham mais fácil resolver o cubo mágico no meio físico como preferem resolver o puzzle no meio físico se comparado com o meio digital independente da interação ser por *touch*, mouse, teclado, oculus rift e controle ou oculus rift e leap motion.

Considerando a análise do tempo de resolução do cubo mágico, 100% dos sujeitos de pesquisa resolveram o jogo de lógica no meio físico no tempo esperado.

Com base nos resultados observados nas discussões sobre a facilidade de resolução do cubo mágico no meio digital, pode-se verificar que a maioria dos sujeitos de pesquisa têm mais facilidade de resolver o cubo mágico com o recurso do *touch* por botões e com o controle do xbox e com o recurso do teclado para os sujeitos de pesquisa com experiência no meio digital.

Com base nos resultados observados nas discussões sobre a interface com o usuário e interação humano-computador, pode-se verificar que a grande maioria dos sujeitos de pesquisa possuem facilidade na resolução do cubo mágico com a interface que possui *touch* por botões para smartphones ou controle do xbox como recurso, bem como, a visualização pelo oculus rif.

V. CONCLUSÕES

Com este projeto de pesquisa espera-se desenvolver e validar uma metodologia de transposição dos puzzles lógicos do meio físico para o digital, de forma que as competências e habilidades oferecidas por esses puzzles de lógica analógicos mantenham-se quando digitalizados.

Para dar continuidade ao desenvolvimento deste trabalho, outros segmentos de puzzles de lógica como os jogos de tabuleiro, jogos de raciocínio lógico e matemática, jogos de estratégia, jogos tipo *puzzle* ou quebra-cabeças, entre outros, podem ser analisados quando desenvolvidos nos meios físico e digital, para análise da interface com o usuário e a interação humano-computador. Além disso, o desenvolvimento e a análise de puzzles de lógica no meio digital com uso da realidade virtual e aumentada podem ser considerados.

A partir de uma metodologia desenvolvida e validada para um conjunto de puzzles de lógica, esta metodologia pode ser expandida para todos os puzzles de lógica existentes, bem como, para quaisquer outros tipos de puzzles que atualmente existem no meio físico.

Além disso, estudos para o desenvolvimento de um aplicativo ou software que ajude especialistas a desenvolverem puzzles de lógica ou outros jogos que ajudem no desenvolvimento lógico das crianças e adolescentes podem ser definidos a partir de uma metodologia existente e validada.

REFERÊNCIAS

[1] A. R. M. CUPERSCHMID e H. R. HILDEBRAND, Heurísticas de jogabilidde - usabilidade e entretenimento em jogos digitais, Campinas: Marketing Aumentado, 2013.

[2] D. K. RAMOS, "Jogos cognitivos eletrônicos: contribuições à aprendizagem no contexto escolar," *Ciência e Cognição,* vol. 18, pp. 19-32, 2013.

[3] L. FRAIMAN, Como ensinar bem as crianças e adolescentes de hoje, 1a edição ed., São Paulo: Esfera, 2013.

[4] M. OTT and F. POZZI, "Digital games as creativity enablers for children.," *Behavior & Information Technology,* no. doi: 10.1080/0144929X.2010. 526148, 2011.

[5] A. K. SATO, O mapa do jogo - do mundo real ao mundo ficcional: imersão no jogo, 1a edição ed., São Paulo: Cengage Learning, 2009.

[6] R. A. GOTARDO, H. A. SOUZA, E. HRUSCKLA JUNIOR e D. B. G. VIANA, "Teorias de Aprendizagens na EAD: Fundamentação no uso dos Recursos de Design Instrucional e Design Interacional," *SIED - Simpósio Internacional de Educação a Distância - EnPED - Encontro de Pesquisadores em Educação a Distância,* 2012.

[7] R. M. LEPRE e F. C. ARAGON, "Relação professor-aluno, emoções e construção da aprendizagem significativa," *IX EBICC - Encontro Brasileiro Internacinal de Ciência Cognitiva,* 2012.

[8] D. P. AUSUBEL, "The acquisition and retention of knowledge - a cognitive view," *Springer Science and Business Media Dordrecht,* 2000.

[9] S. D. J. BARBOSA e B. S. SILVA, Interação Humano-Computador, Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

[10] J. O. F. CARVALHO, O Papel da Interação Humano-Computador na Inclusão Digital, Campinas: Transinformação, 2003.

[11] L. FRAIMAN, "Valores essenciais em um mundo cada vez mais digital," *Educação Digital. Thomson Reuters. ,* Vols. %1 de %2pp 15-30, nº São Paulo, 2015.

[12] BRASIL, "Parâmetros nacionais de qualidade para a educação infantil," *Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica,* 2006.

[13] S. R. R. GARCIA, A. L. Z. ABED e T. A. P. PONTE, "Avaliação integrada de matemática, habilidades socioemocionais e resolução colaborativa de problemas," *Institutito MindGroup,* 2014.

[14] S. R. R. GARCIA, A. L. Z. ABED, R. M. SOARES e M. N. RAMOS, "O prazer de ensinar e aprender: contribuições de uma metodologia no aprimoramento das práticas pedagógicas," *Instituto MindGroup,* 2013.

[15] G. M. SALES, "O raciocínio lógico matemático e suas competências e habilidades," *Artigonal.com,* 2013.

[16] F. MÄYRA, J. HOLOPAINEN and ,. JAKOBSSON, "Research methodology in gaming: an overview," *Simul. Gaming,* no. doi: 10.1177/1046878112439508, 2012.

[17] V. DANTAS, A. NOGUEIRA, N. ALISSON, D. RANIERY, J. RAUL, R. SOARES, R. SAMPAIO, W. KELSON e T. COSTA, "Uma metodologia para estimular o raciocínio lógico baseada na reflexão crítica e no uso de jogos digitais," *CBIE 2013 - II Congresso Brasileiro de Informática na Educação,* 2013.

Trajectory Analysis of Strategies
Estratégias de Análise de Trajetórias

Suelane Garcia Fontes[1], Pedro Luiz Pizzigatti Corrêa[1] , Silvio Luiz Stanzani[2]
[1]Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP - São Paulo – SP – Brasil
[2] Centro de Computação Científica – UNESP - São Paulo – SP – Brasil
{suelane, pedro.correa}@usp.br, silvio@ncc.unesp.br

Resumo - A degradação ambiental causada pela ação humana tem acarretado enormes prejuízos para natureza exigindo ações de preservação e conservação. Com o avanço do uso de tecnologias de geolocalização os dados espaço-temporais passaram a ser amplamente coletados de dispositivos, tais como, sensores, GPS, etiquetas RFID e satélites. Esta disponibilidade de dados viabilizou a união dos estudos sobre o meio-ambiente com o uso de tecnologias, sendo o novo paradigma da ciência, a Ciência dos Dados. Desta forma, busca-se extrair conhecimento a partir dos dados, utilizando tecnologia. Uma estratégia para a obtenção desse conhecimento é o uso de técnicas de mineração de dados, que disponibilizam algoritmos, para exploração dos dados de movimento dos animais.
A tese proposta tem como objetivo elaborar estratégias que combinem técnicas de mineração de dados para a análise da interação entre os animais e o meio-ambiente, baseada nos dados espaço-temporais gerados pelo movimento animal

Palavras-chave— data science, data mining, trajetórias, espaço-temporal, biodiversidade.

I. INTRODUÇÃO

O mundo tem vivenciado mudanças na natureza causadas pela exploração humana inadequada dos recursos naturais que estão acarretando a diminuição dos recursos naturais e ecossistemas [1] e agravando a frequência e o impacto das secas, inundações e outros desastres naturais.

Diante disso, diversas organizações no mundo voltaram seus esforços para estudar e desenvolver meios de coletar informações que permitam o monitoramento das ocorrências ambientais, fornecendo subsídios para análises que orientem as ações dos órgãos governamentais e da sociedade. O *Climate Research Facility* – ARM[2], é um exemplo de projeto, para a análise das interações entre nuvens e aerossóis. No Brasil, o projeto *Green Ocean Amazon* (GOAmazon)[3], estuda as interações entre a floresta amazônica e a atmosfera e mede os níveis de poluição de Manaus e sua influência no ciclo de vida das nuvens e na formação das chuvas. No campo da biodiversidade foram criados portais web que facilitam o acesso a dados centralizados sobre espécies, tais como, o *Atlas of Living Australia* (ALA)[4], o Portal da Biodiversidade Brasileiro[5] e o *Global Biodiversity Information Facility* – GIBF[6].

Uma forma de analisar as transformações que ocorrem na natureza é acompanhar a evolução dos animais por meio de sua movimentação, considerando que o comportamento do animal pode sofrer alterações de acordo com as mudanças ocorridas no ambiente. O comportamento animal [7][8] é estudado em uma área da Ecologia, a Etologia, sendo utiizado como base para compreender como as espécies se relacionam e como interagem com o meio-ambiente.

No processo de análise do comportamento animal é importante unir a ecologia e a ciência da computação [9][10]. Desta forma, há projetos internacionais como o *Movebank* [11], que reune grupos de pesquisa e conservação de todo o mundo, disponibilizando dados sobre rastreamento de animais e o sistema para análise de dados, *Environmental Data Automated Track Annotation System* - Env-DATA, que vincula, por meio de mapas e gráficos, dados de movimento de animais com dados ambientais co-localizados sem, no entanto, contemplar a mineração de dados. O Animove [12] é outro projeto, formado por pesquisadores internacionais com a intenção de disseminar conhecimento na área de análise de dados de movimento animal utilizando recursos tecnológicos.

Com os avanços tecnológicos a capacidade de acompanhar, estudar e gerenciar os movimentos dos animais foram ampliadas. Dados espaço-temporais são amplamente coletados por dispositivos, tais como, sensores e sistemas de rastreamento GPS[9]. Esses dados espaço-temporais representam a evolução espaço-temporal de um objeto em movimento, a Trajetória.

A análise de trajetórias de animais permite rastrear os vestígios migratórios dos animais, o comportamento e a situação de vida [13][14][15][16][17], tais como, identificar animais que se movem juntos [18][19], se encontram [20] e visitam uma determinada área com frequência [21][22]. Essa análise é aplicada, também, à mobilidade de fenômenos naturais, tais como, tornados e furacões que ajudam na análise de mudanças ambientais e climáticas, prevendo desastres e protegendo o ambiente [23].

O grande desafio na análise de trajetórias é identificar padrões consistentes para provar uma hipótese e ser capaz de realizar predições sobre as interações entre o movimento dos animais e os fatores externos a partir das mudanças no comportamento desses animais [24].

No processo de descoberta de padrões de movimento técnicas baseadas em estatística e matemática, chamadas de técnicas de Mineração de Dados [24][25] podem ser utilizadas na exploração dos dados e extração de conhecimento. A mineração de dados corresponde à aplicação de algoritmos específicos para extração de padrões de dados, que fornecem o conjunto de estratégias e ferramentas para exploração dos dados e obtenção de conhecimento, sendo uma das etapas da Ciência dos Dados [26][27]. A Ciência dos Dados, é um novo paradigma da ciência, que corresponde à transformação da

forma de fazer ciência, que envolve a captura, curadoria e análise de grandes quantidades de dados de diferentes origens, incluindo sensoriamento remoto, por satélite e aéreo, instrumentos e a observação humana [28].

A tese proposta tem como objetivo elaborar estratégias que combinem técnicas de mineração de dados para a análise da interação entre os animais e o meio-ambiente, baseada nos dados espaço-temporais gerados pelo movimento animal.

O artigo está organizado da seguinte forma: após a introdução, nas seções 2 e 3, são mostrados, respectivamente, os conceitos abordados e as estratégias propostas. A conclusão é apresentada na seção 4.

II. FUNDAMENTAÇÃO

Esta seção apresenta os conceitos que norteiam a análise de dados de movimento animal como as técnicas de mineração de dados, segmentação e descoberta de padrões de movimento e de comportamento.

A. Conceitos

As técnicas de mineração de dados [29] abrangem os algoritmos utilizados para a exploração de dados na mineração e podem ser: supervisionadas, como a classificação, que exige a definição de parâmetros de entrada, as classes, que servem como referência para mineração; e não supervisionadas, como a clusterização, que não requer a entrada de parâmetros para serem utilizados como referência [30].

Algumas das técnicas de mineração de dados são: as regras de associação, permite a correlação entre itens e indivíduos deduzindo regras que definem relacionamentos; a classificação, que identifica grupos de itens e indivíduos baseado em um atributo ou classe pré-definido; a clusterização, que identifica grupos de itens baseados em uma classe não definida previamente. A clusterização é utilizada para identificar similaridade, podendo ser hierárquica, particional e por densidade[34]. A clusterização hierárquica será utilizada na proposta, considerando o algoritmo *Dynamic Time Wrapping (DTW)*[41] para o cálculo da distância.

A análise de movimento animal utiliza técnicas de mineração de dados espaço-temporais, como: a clusterização, para descoberta de grupos de trajetórias similares; padrões frequentes, para descoberta de (sub) caminhos frequentes; e a classificação, para a descoberta de padrões de comportamento, explicando o comportamento presente do objeto e realizando a predição do futuro [23].

O movimento é a variação de posição espacial de um objeto ou ponto material em relação a um referencial no decorrer do tempo. Desta forma, o movimento dos animais geram dados espaço-temporais que resultam em trajetórias [13][23] que descrevem os caminhos percorridos pelo animal. A análise de trajetórias [9] pode fornecer informações sobre o porquê, como, quando e onde os animais se movimentaram e como este processo está relacionado aos fatores externos[10]. De acordo com as informações sobre o movimento do animal pode-se identificar padrões de comportamento dos animais, como [32][33]: *flock*, liderança, perseguição e desvio.

O padrão *flock*, corresponde aos grupos de animais que se movem na mesma direção e no mesmo tempo. O padrão liderança, corresponde a um líder que se move para um direção e, após um certo tempo, outros animais com distância próxima passam a se mover na mesma direção. O padrão de perseguição e desvio acontecem juntos, onde o desvio refere-se ao animal fugindo, que tenta aumentar a distância com relação ao perseguidor para escapar.

A descoberta de padrões de comportamento dos animais, permite a compreensão do movimento dos animais e da interação entre os animais, com outras espécies e com o ambiente [10]. A interação corresponde à relação entre os padrões de comportamento, gerados pelo movimento dos animais e os fatores externos, que compreendem as características relacionadas ao ambiente onde ocorre o movimento, aos eventos, aos fenômenos ou ao movimento de outros animais. A relação é analisada para identificar a influência dos fatores externos sobre o movimento dos animais, sendo determinada pela avaliação da correlação e o grau de causalidade entre a variação do fator externo analisado e as mudanças de comportamento do animal.

A segmentação de trajetória é utilizada para identificar as mudanças de comportamento do animal ao longo da trajetória. Há diversos métodos para a segmentação de trajetória como: Lavielle[14], Gueguen[14] e BCPA - *Behavioural Change Point Analysis*[35]. Lavielle é um método estatístico que detecta pontos de mudança em trajetórias baseado no tempo de residência, comprimento do passo, velocidade, aceleração ou mudança de direção.

III. ESTRATÉGIAS PROPOSTAS

Para atender ao objetivo do trabalho e analisar a interação entre o comportamento do animal e o ambiente, a estratégia proposta foi dividida em cinco etapas, fig.1:

Figura 1 – Estrutura da Estratégia Proposta

1. Etapa: Recuperação dos Dados

Esta etapa contempla a recuperação de dados espaço-temporais do movimento e dados de fatores externos selecionados pelo usuário. Os dados da movimentação dos animais devem conter: a identificação do animal, a data (dia/mês/ano) e a hora (hora/minuto/segundo) do movimento, as coordenadas de longitude e latitude. Já os dados de fatores externos contemplam as características do meio-ambiente, tais como, incidência de radiação ultravioleta (UV), temperatura, velocidade do vento (km/h) e índice de vegetação. Deve conter: o identificador do fator, a data, a hora, a longitude e latitude da ocorrência do fator.

2. Etapa: Preparação dos Dados

Nesta etapa são abordadas as funcionalidades relativas à padronização dos dados para a etapa de análise. As atividades são: transformar dados brutos em trajetórias, transformar em trajetórias regulares e padronizar data e hora.

2.1. Transformar dados em trajetórias

Nesta atividade os dados espaço-temporais, representados por pontos, são transformados em trajetórias identificando o percurso percorrido pelo animal. Para realizar esta atividade pode-se utilizar a função *ltraj,* do pacote AdehabitatLT, biblioteca R, que gera trajetórias a partir de dados de localização como a longitude e latitude e de tempo.

2.2. Transformar em Trajetórias Regulares

Esta atividade aborda transformação das trajetórias em regulares, considerando que métodos de segmentação, como de Lavielle, estão preparados somente para tratar trajetórias com intervalo de tempo constante entre os deslocamentos sucessivos. Utiliza-se a biblioteca R, pacote adehabitatLT.

2.3. Padronizar os dados

Nesta atividade os dados são recuperados de diferentes bases de dados e podem conter diferentes formatos para data e hora, que devem ser padronizados para o formato esperado pelos algoritmos utilizados. As trajetórias, também podem conter intervalos faltantes que podem ser preenchidos por meio de interpolação, utilizando a função *redisltraj* do pacote adehabitatLT, da biblioteca R.

3. Etapa: Identificar o Comportamento dos animais

Nesta etapa são abordadas as atividades realizadas para identificar o comportamento dos animais ao longo das trajetórias. As atividades são: agrupar, identificar a direção, segmentar as trajetórias e identificar padrões de comportamento entre trajetórias.

3.1. Agrupar Trajetórias

Esta atividade aborda o uso da técnica de clusterização para identificar similaridade baseada nas trajetórias dos animais. Para realizar esta atividade é utilizada a clusterização hierárquica que permite agrupar os animais, baseado no cálculo de distância com o *Dynamic Time Warping* (DTW), do pacote dtw, da biblioteca R. A clusterização hierárquica será realizada utilizando a função *hclust*, do pacote *cluster*, da biblioteca R.

3.2. Identificar a Direção das Trajetórias

Nesta atividade é abordado como identificar a direção das trajetórias, considerando que os animais podem ter trajetórias com o mesmo início e fim, no entanto com direções opostas. Portanto, para cada grupo de trajetórias identificado na clusterização são aplicados algoritmos para a descoberta da direção das trajetórias, como o algoritmo DB-SMOT[34].

3.3. Segmentar as trajetórias

Esta atividade aborda a segmentação de trajetórias para identificar as mudanças de comportamento dos animais. O método de Lavielle é utilizado para segmentar as trajetórias, com base na variação da velocidade, gerando sub-trajetórias. Para esta atividade utiliza-se a função Lavielle, do pacote adehabitatLT, da biblioteca R.

3.4. Identificar Padrões de Comportamento entre Trajetórias

Esta atividade aborda a exploração dos dados de forma a obter conhecimento sobre as interações entre os segmentos de trajetórias. Desta forma, para cada sub-trajetória são executados algoritmos específicos para identificação de padrões de comportamento já disponibilizados em outros trabalhos, tais como: *flock* [37], liderança[36] e perseguição/ desvio. Algoritmos já descritos na literatura, em parte ou no todo, serão utilizados para a descoberta destes padrões.

4. Etapa: Identificar a Interação entre Trajetórias e Fatores Externos

Nesta etapa é analisada a relação entre as trajetórias e os fatores externos. Nas etapas iniciais da análise o usuário deve ter indicado quais fatores externos devem ser utilizados e quais características deste fator serão consideradas na análise da interação com as trajetórias dos animais.

4.1. Agrupar Trajetórias e Fatores Externos

Esta atividade aborda o uso da técnica de clusterização hierárquica para identificar a similaridade entre as trajetórias dos animais e os fatores externos. O agrupamento será baseado no cálculo de distância com o *Dynamic Time Warping* (DTW), utilizando os pacotes dtw e hclust, da biblioteca R.

4.2. Verificar a Correlação entre as Trajetórias de Animais e Fatores Externos

Nesta etapa as trajetórias dos animais e as de fatores externos já foram agrupadas de acordo com suas similaridades, portanto para cada grupo é aplicada a técnica de regras de associação para verificar a relação entre as trajetórias. As regras de associação indicam a força da associação de dois ou mais atributos de dados fornecendo uma ilusão de causalidade, que deve ser examinada para determinar se, realmente, há relação de causa e efeito[31].

4.3. Verificar Relação de Causa e Efeito entre as Trajetórias de Animais e Fatores Externos

Esta atividade aborda o uso de técnicas de mineração de dados para identificar relação de causa e efeito entre trajetórias relativas ao movimento dos animais e as geradas a partir de fatores externos. Alguns princípios para identificar relação de causa e efeito é haver co-ocorrência entre os objetos;precedência temporal, o objeto causador precede o que sofre o efeito; precisam estar próximos no tempo e espaço, correlacionados; e a ausência de outra causa [38].

Dentre as técnicas de mineração de dados que podem ser utilizadas para análise de causalidade há a regra de associação [24], a regressão e a classificação [39]. Estas técnicas são aplicadas para descoberta de relação de causa e efeito, mas devem ser analisadas com cautela, porque podem somente expressar co-ocorrência que não implica em causalidade.

Nesta proposta a relação de causa e efeito será analisada utilizando a técnica de classificação, com redes bayesianas[34], utilizando o algoritmo *Naïve bayes network* e o teste de causalidade de Granger para predição de causa e

efeito. O teste de causalidade de Granger [40], não é uma técnica de mineração de dados, mas é baseado em predição e considera que uma variável causa outra variável se a observação de uma no presente ou no passado ajuda a prever os valores futuros da outra no tempo.

5. Etapa: Visualização dos Resultados das Análises

Nesta etapa serão abordados as formas de apresentação dos resultados obtidos que serão baseadas em gráficos e mapas. Nas bibliotecas do R existem diversos recursos que podem ser utilizados na elaboração de mapas e gráficos.

IV. CONCLUSÃO

Neste artigo foi apresentada a proposta da tese que aborda, dentro do contexto da biodiversidade, como explorar a mineração de dados para a análise de movimento dos animais visando a descoberta de conhecimento sobre o comportamento animal e sua interação com o meio-ambiente.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

[1] KELLING, S. *et al.* Data-intensive Science: A New Paradigm for Biodiversity Studies. **BioScience**, 7 jan. 2009. v. 59, n. 7, p. 613–620.

[2] ACKERMAN, T. P.; STOKES, G. M. The Atmospheric Radiation Measurement Program. **Physics Today**, 1 jan. 2003. v. 56, n. 1. Disponível em: <http://www.osti.gov/scitech/biblio/15017454>. Acesso em: 29 ago. 2016.

[3] MARTIN, S. T. et al. Introduction: Observations and Modeling of the Green Ocean Amazon (GoAmazon2014/5). Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 4 nov. 2015. v. 15, n. 21, p. 30175–30210.

[4] Atlas of Living Australia – sharing biodiversity knowledge. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <http://www.ala.org.au/>. Acesso em: 30 ago. 2016.

[5] Portal de Biodiversidade. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https:// portaldabiodiversidade. icmbio.gov .br/portal/>. Acesso em: 30 ago. 2016.

[6] DOOLEY, E. Global Biodiversity Information Facility. PMID: null PMCID: PMC1241080: Environmental Health Perspectives, nov. 2002. v. 110, n. 11, p. A669.

[7] SCOTT, G. Essential Animal Behavior. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2009.

[8] KAKISHITA, Y. *et al.* Ethological data mining: an automata-based approach to extract behavioral units and rules. **Data Mining and Knowledge Discovery**, 27 dez. 2008. v. 18, n. 3, p. 446–471.

[9] DEMŠAR, U. et al. Analysis and visualisation of movement: an interdisciplinary review. PMID: 25874114 PMCID: PMC4395897: Movement Ecology, 2015. v. 3, n. 1, p. 5.

[10] NHAT HAI, P. **Mining Object Movement Patterns from Trajectory Data**. França: *Académie de Montpellier ,* Université Montpellier, 2014. Doutorado.

[11] DODGE, S. *et al.* The environmental-data automated track annotation (Env-DATA) system: linking animal tracks with environmental data. **Movement Ecology**, 2013. v. 1, p. 3

[12] AniMOVE: animated visual analytics of movement. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <http://www.research-projects.uzh.ch/p15794.htm>. Acesso em: 30 ago. 2016.

[13] Alvares, L.O., Loy, A.M., Renso, C., Bogorny, V., 2011. An algorithm to identify avoidance behavior in moving object trajectories. J Braz Comput Soc 17, 193–203. doi:10.1007/s13173-011-0037-3

[14] CALENGE, C.; ROYER, Contributions From S. D. And M. adehabitatLT: Analysis of Animal Movements. [S.l.]: [s.n.], 2015.

[15] OLIVEIRA, M. T. P. DE. Análise comportamental de bovinos baseada em trajetórias semânticas aplicada à pecuária de precisão. 2013.

[16] SARKAR, D. et al. Analyzing Animal Movement Characteristics From Location Data: Analyzing Animal Movement. Transactions in GIS, v. 19, n. 4, p. 516–534, ago. 2015.

[17] WU, F., LEI, T.K.H., LI, Z., HAN, J., 2014. MoveMine 2.0: Mining Object Relationships from Movement Data. Proc. VLDB Endow. 7, 1613–1616. doi:10.14778/2733004.2733043

[18] HAI, P. N.; PONCELET, P.; TEISSEIRE, M. GeT_Move: An Efficient and Unifying Spatio-temporal Pattern Mining Algorithm for Moving Objects. In: HOLLMÉN, J.; KLAWONN, F.; TUCKER, A. (Org.). Advances in Intelligent Data Analysis XI. Lecture Notes in Computer Science. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2012, p. 276–288. DOI: 10.1007/978-3-642-34156-4_26.

[19] DODGE, S.; WEIBEL, R.; LAUBE, P. Exploring Movement-similarity Analysis of Moving Objects. SIGSPATIAL Special, nov. 2009. v. 1, n. 3, p. 11–16.

[20] AUNG, H. H.; TAN, K.-L. Discovery of Evolving Convoys. In: GERTZ, M.; LUDÄSCHER, B. (Org.). Scientific and Statistical Database Management. Lecture Notes in Computer Science. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2010, p. 196–213. DOI: 10.1007/978-3-642-13818-8_16.

[21] LI, Z. et al. Swarm: Mining Relaxed Temporal Moving Object Clusters. Proceedings of the VLDB Endowment, the 36th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB 2010), v. 3, n. 1, p. 723–734, 2010.

[22] PALMA, A. T. et al. A Clustering-based Approach for Discovering Interesting Places in Trajectories. New York, NY, USA: ACM, 2008. p. 863–868. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1363686.1363886>. Acesso em: 4 maio. 2016.

[23] KANG, J. H. et al. Extracting Places from Traces of Locations. New York, NY, USA: ACM, 2004. p. 110–118. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1024733.1024748>. Acesso em: 13 maio. 2016.

[24] ZHENG, Y. Trajectory Data Mining: An Overview. ACM Trans. Intell. Syst. Technol., maio. 2015. v. 6, n. 3, p. 29:1–29:41.

[25] BLEISCH, S. et al. Mining candidate causal relationships in movement patterns. International Journal of Geographical Information Science, v. 28, n. 2, p. 363–382, fev. 2014.

[26] FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. AI Magazine, 15 mar. 1996a. v. 17, n. 3, p. 37.

[27] HEY, T. The Fourth Paradigm – Data-Intensive Scientific Discovery. In: KURBANOĞLU, S. et al. (Org.). E-Science and Information Management. Communications in Computer and Information Science. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2012, p. 1–1. DOI: 10.1007/978-3-642-33299-9_1.

[28] AYANKOYA, K.; CALITZ, A.; GREYLING, J. Intrinsic Relations between Data Science, Big Data, Business Analytics and Datafication. [S.l.]: ACM Press, 2014. p. 192–198. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2664591.2664619>. Acesso em: 2 maio. 2016.

[29] FAYYAD, U. M.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. In: FAYYAD, U. M. et al. (Org.). Menlo Park, CA, USA: American Association for Artificial Intelligence, 1996b, p. 1–34

[30] THURAISINGHAM, B. Data mining: technologies, techniques, tools, and trends. 1998.

[31] MAZLACK, L. J. Considering Causality in Data Mining. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING–2008, 2008, , [S.l.] . Anais... [S.l.]: Citeseer, 2008.

[32] DODGE, S.; WEIBEL, R.; LAUTENSCHÜTZ, A.-K. Towards a taxonomy of movement patterns. **Information visualization**, 2008. v. 7, n. 3–4, p. 240–252.

[33] LAUBE, P.; IMFELD, S.; WEIBEL, R. Discovering relative motion patterns in groups of moving point objects. **International Journal of Geographical Information Science**, 2005. v. 19, n. 6, p. 639–668.

[34] ROCHA, J. A. M. R. Da. DB-SMoT: um método baseado na direção para identificação de áreas de interesse em trajetórias. 31 jan. 2010.Disponível em: <http://repositorio.ufpe.br:8080 /xmlui/handle/ 123456789/2287>. Acesso em: 20 ago. 2016

[35] SHEKHAR, S. et al. Identifying patterns in spatial information: A survey of methods. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, v. 1, n. 3, p. 193–214, 1 maio 2011.

[36] GURARIE, E. et al. What is the animal doing? Tools for exploring behavioural structure in animal movements. **Journal of Animal Ecology**, 1 jan. 2016. v. 85, n. 1, p. 69–84.

[37] ANDERSSON, M. *et al.* Reporting Leaders and Followers among Trajectories of Moving Point Objects. **GeoInformatica**, 26 out. 2007. v. 12, n. 4, p. 497–528.

[38] LUCCA SIQUEIRA, F. DE; BOGORNY, V. Discovering Chasing Behavior in Moving Object Trajectories. **Transactions in GIS**, 1 out. 2011. v. 15, n. 5, p. 667–688.

[39] KARIMI, K. A Brief Introduction to Temporality and Causality. **arXiv preprint arXiv:1007.2449**, 2010.

[40] GRANGER, C. W. J. Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. Econometrica, 1969. v. 37, n. 3, p. 424–438.

[41] LI, S. Z.; JAIN, A. (Org.). Dynamic Time Warping (DTW). Encyclopedia of Biometrics. [S.l.]: Springer US, 2009, p. 231–231. DOI: 10.1007/978-0-387-73003-5_768.

Configurando automaticamente heurísticas através da troca de recursos
Automatically configuring heuristics by resource exchange

DE CARVALHO, V. R.; SICHMAN, J. S.;
Laboratório de Técnicas Inteligentes (LTI)
Departamento de Engenharia de Computação
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP)
E-mail: vrcarvalho@usp.br, jaime.sichman@poli.usp.br

***Abstract*—Meta-heuristics are algorithms generally applied to solve problems where there is no algorithm able to solve them satisfactorily. Thus, meta-heuristics are widely applied to find solutions in several areas. However, both meta-heuristic and heuristic performance highly depends on their parameters values, which need to be carefully set. Another problem is how to define which heuristic should be chosen for a given problem. With these motivations, this work aims to reduce the difficulty in choose heuristics and parameters while the optimization problem is solved. To test the proposed approach the heuristics crossover and mutation were employed together the meta-heuristic NSGA-II to find solutions for the benchmarks WFG and DTLZ. The experiments showed that the proposed approach got competitive results compared to literature recommended configurations.**

***Keywords*— Meta-heuristic; Hyper-heuristic; Multi-objective optimization**

***Resumo*— Meta-heurísticas são algoritmos geralmente aplicados na busca de soluções para problemas onde não existam algoritmos capazes de resolvê-los . Por conta disso, meta-heurísticas são amplamente empregadas na resolução de problemas em diversas áreas. Entretanto, os desempenhos de meta-heurísticas e heurísticas dependem grandemente dos valores de seus parâmetros, que devem ser selecionados cuidadosamente. Outro problema é como determinar qual heurística deve ser escolhida para um dado problema. Com estas motivações, este trabalho busca reduzir a dificuldade existente em escolher heurísticas e parâmetros enquanto o problema de otimização é resolvido. Para testar a abordagem proposta foram empregadas as heurísticas mutação e cruzamento em conjunto com a meta-heurística NSGA-II na busca de soluções para os benchmarks WFG e DTLZ. Os experimentos mostraram que a abordagem proposta obteve resultados competitivos em relação à configurações recomendadas pela literatura.**

***Palavras-chave*— Meta-heurísticas; Hiper-heurísticas; Otimização Multi-objetivo**

I. Introdução

A. Contexto

Meta-heurísticas podem ser definidas como algoritmos que trabalham em um nível superior (*meta*) combinando um conjunto de heurísticas [1], e são geralmente aplicadas a problemas onde não existam algoritmos capazes de resolvê-los de forma satisfatória. Devido a este fato, meta-heurísticas são amplamente usadas na busca de soluções para problemas na indústria e serviços, de áreas como finanças até gerenciamento de produção e engenharia [2]. Heurísticas, por sua vez podem ser definidas como algoritmos aproximados que realizam buscas no espaço de soluções para encontrar soluções boas [1]. Normalmente, heurísticas são especializadas em resolver problemas de um dado domínio, enquanto meta-heurísticas são genéricas e adaptáveis a diversos domínios.

Meta-heurísticas podem ser classificadas considerando a quantidade de objetivos trabalhados. Meta-heurísticas mono-objetivo trabalham com apenas um objetivo, possuem como característica empregar o uso de uma função objetivo de um único valor com o propósito de representar de forma quantitativa através de um número (inteiro ou decimal) o quanto uma solução é boa. Um exemplo de problema resolvido por estas meta-heurísticas é busca do valor mínimo de uma função matemática. Meta-heurísticas multi-objetivo possuem como característica empregar um conjunto de valores objetivos. Um exemplo de problema resolvido por estas meta-heurística é a busca de soluções para a compra de um automóvel levando em consideração o preço, consumo de combustível e velocidade.

Apesar de serem algoritmos poderosos e flexíveis, o desempenho de meta-heurísticas depende grandemente dos valores de seus parâmetros de configuração, de forma que para se obter um bom desempenho, os valores dos parâmetros devem ser escolhidos cuidadosamente [3]. Alguns trabalhos possuem como foco reduzir a dificuldade existente em configurar parâmetros de (meta-)heurísticas através do controle automático de seus valores em tempo de execução. Um exemplo desta aplicação é o controle da taxa de mutação [4], [5]; taxas de cruzamento e mutação [6]; taxa de mutação, taxa de cruzamento, tamanhos da população e torneio de seleção [7]. Outro problema existente na configuração de meta-heurísticas reside no fato de que uma dada heurística pode ter melhor desempenho do que outra em diferentes domínios. Neste contexto destacam-se as hiper-heurísticas. Segundo Cowling et al. [8] hiper-heurísticas são heurísticas que escolhem heurísticas, e possuem como foco fazer que um processo de busca seja guiado de forma que seja

aplicado automaticamente a melhor heurística [9]. Dentre estes trabalhos destacam-se a *Choice Function* [8] que selecionava heurísticas com base no resultado de uma função matemática, que considerava a qualidade obtida ao longo das iterações, e o *Multi Armed Bandit* [10], um método de seleção baseado no MAB da teoria dos jogos.

Os trabalhos mencionados anteriormente são focados ou no controle de parâmetros de (meta-)heurísticas ou na escolha de qual heurística será aplicada. Porém, existem poucos trabalhos que empregam diferentes heurísticas enquanto controlam seus parâmetros. Dentre eles, destacam-se o trabalho de Maruo et al. [11], que realizou o controle das taxas de mutação e cruzamento e tamanho do torneio considerando a escolha da heurística, e o trabalho de Ren et al. [12], que implementou dois mecanismos, um mecanismo focado em qual heurística deveria ser aplicada e outro mecanismo onde a heurística selecionada escolhia quais parâmetros deveriam ser aplicados dentro de uma população de parâmetros.

Ainda existem poucos trabalhos que buscam reduzir a complexidade da configuração de (meta-)heurísticas enquanto considera um conjunto de heurísticas. Além disso, estes trabalhos são voltados para otimização mono-objetivo. Neste contexto, o presente trabalho propõe a hiper-heurística HHTR (Hiper-Heurística baseada em Troca de Recursos), uma abordagem que permite a configuração e escolha de heurísticas em tempo de execução para problemas multi-objetivo. A hiper-heurística proposta foi testada e seus resultados foram comparados aos da meta-heurística NSGA-II (*Non Dominated Sorting Genetic Algorithm II*) [13] configurada com heurísticas e parâmetros segundo a literatura.

Na Seção II a meta-heurística NSGA-II é apresentada de forma sucinta. Na Seção III a abordagem proposta é apresentada. Na Seção IV são apresentados os experimentos conduzidos, Na Seção V os resultados e na Seção VI as conclusões.

II. Non Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II)

O NSGA-II é um algoritmo genético que aplica o conceito de dominância de Pareto [14] na busca de soluções para problemas multi-objetivos. No conceito de dominância de Pareto, uma dada solução *A* no espaço de decisão de um problema multi-objetivo é superior a outra solução *B*, se e somente se, a solução *A* é tão boa quanto a solução *B*, considerando todos os objetivos (todas funções objetivo), e estritamente melhor que a solução *B* considerando pelo menos um objetivo [15].

Diferentemente de uma abordagem mono-objetivo, onde tem-se apenas uma solução final, em uma abordagem multi-objetivo tem-se um conjunto de soluções, que não se dominam, para que o tomador de decisões escolha a solução que mais atenda suas necessidades.

O NSGA-II cria uma população de indivíduos concorrentes, classifica e ordena cada indivíduo de acordo com seu nível de não dominância, aplica operadores evolutivos para criar um reservatório de indivíduos filhos, e então combina os pais e filhos antes de particionar a população em fronteiras [16]. O NSGA-II também possui como característica o emprego do valor de *Crowding Distance* para selecionar quais soluções serão adicionadas à população. O valor de *Crowding Distance* de uma determinada solução x é determinado pela distância Euclidiana da solução x de seus vizinhos. Esta métrica privilegia soluções mais espalhadas no espaço de busca, pois soluções mais dispersas possuem valores maiores de *Crowding distance*. Isto é feito pois soluções mais dispersas permitem maior exploração do espaço de busca.

III. Abordagem Proposta

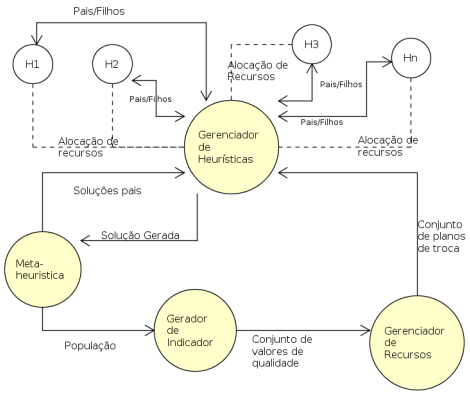


Figura 1. Fluxo da HHTR

A HHTR (Hiper-Heurística baseada em Troca de Recursos) é uma hiper-heurística que realiza o controle de parâmetros das heurísticas através da troca de recursos entre as heurísticas. Um recurso de uma heurística é composto por seus parâmetros e sua quantidade de avaliações restantes. A Figura 1 apresenta a HHTR, que possui os seguintes módulos:

- **Meta-heurística (MH)**: contém a instancia de uma meta-heurística multi-objetivo sem a especificação de suas heurísticas. Para utilizar uma heurística, a meta-heurística solicita ao *Gerenciador de heurísticas* que gere soluções, para isto a meta-heurística envia as soluções pais, verifica se as soluções geradas atendem seu critério de aceitação de novas soluções. Caso positivo, as soluções geradas são adicionadas à população corrente.
- **Gerenciador de Heurísticas (GH)**: recebe soluções pais da meta-heurística, seleciona uma de suas heurísticas e retorna a solução gerada. A heurística é selecionada aleatoriamente do conjunto de heurísticas ativas, ou seja, heurísticas que ainda possuam avaliações restantes. Este módulo também é responsável por inicializar aleatoriamente as heurísticas dentro dos limites estipulados. Isto é realizado até que as heurísticas obtenham um valor mínimo (maior que 0) de qualidade (segundo o módulo *Gerador de Indicador*). É válido ressaltar que o processo de geração de heurísticas ocorre durante a busca de soluções para o problema de otimização, e desta forma não empregam o uso de mais avaliações ou a execução de *tuning* (teste prévio de parâmetros). Este módulo também

possui como função a alocação dos recursos resultantes do plano de troca (gerado pelo módulo *Gerenciador de recursos*);

- **Gerador de Indicador (GI)**: recebe a cada geração (quando uma nova população é gerada) a população corrente. Em seguida este módulo divide a população em subpopulações separando soluções geradas por uma mesma heurística. Desta forma a qualidade de uma heurística pode ser mensurada considerando a qualidade de sua subpopulação associada. Este módulo possui como saída o vetor QIs, que contém o valor de qualidade de cada heurística, obtido segundo o indicador de qualidade utilizado.
- **Gerenciador de Recursos (GR)**: armazena a quantidade de avaliações restantes que cada heurística possui, a quantidade global de avaliações efetuadas $eval$ e a quantidade global máxima de avaliações $maxEval$, e recebe do *Gerador de Indicador* o vetor QIs. A partir disto, utiliza estas informações para gerar o plano de troca entre as heurísticas, ou seja, qual heurística deve realizar a troca, qual o tipo de troca e qual o pagamento desta troca. O Algoritmo 1 apresenta o pseudocódigo empregado pelo módulo para criar o plano de troca entre as heurísticas. O algoritmo possui uma repetição principal (Linha 4). Nesta repetição a heurística com maior valor (Linha 5) e menor valor (Linha 6) em QIs realizam algum tipo de troca. O tipo da troca é selecionado de acordo com o cálculo da Linha 7, onde $diff$ representa o quão superior a heurística com melhor valor em QIs é em relação à pior heurística. Na Linha 8 o valor do pagamento necessário para a troca é calculado. Este cálculo leva em consideração o valor $diff$, a quantidade de avaliações restantes que a pior heurística possui, e uma função exponencial que considera o percentual de progresso global. Caso $diff >= 0.75$ (Linha 9) é adicionada uma solicitação de cruzamento de heurísticas. Caso $diff >= 0.5$ (Linha 12) é adicionada uma solicitação de aprendizado de parâmetros para a heurística. Por fim, na Linha (Linha 15) o melhor e pior elementos correntes são removidos da lista QIs para que outras heurísticas possam ter seus planos de trocas criados. Os valores 0.75 e 0.5 foram obtidos empiricamente.

No cruzamento, as heurísticas são transformadas em vetores, contendo o tipo da heurística e parâmetros. Estes vetores são usados como pais no operador de cruzamento de um ponto (*OnePointCrossover*) para gerar um novo vetor. Caso haja inconsistências, como falta ou excesso de parâmetros devido à diferentes tipos de heurísticas, os elementos em excesso são removidos e em caso de falta copiados do pai que os contêm. Por fim, o vetor é retornado e atribuído à pior heurística.

No aprendizado, os parâmetros que a pior heurística ph tem em comum com a melhor heurística mh são aprendidos. Isto é feito segundo a equação $novoValor = valor_p - (valor_p - valor_m * diff)$. Neste processo o tipo da heurística e outros parâmetros são ignorados.

Algoritmo 1: Pseudocódigo do gerador de plano

```
1  Entrada: QIs; eval; maxEval
2  Saída: Plano de troca.
3  início
4      enquanto QIs ≠ ∅ faça
5          melhor = max(QIs);
6          pior = min(QIs);
7          diff = 1 − QIs_pior / QIs_melhor;
8          payment =
             avaliacoesRestantes_pior * diff * (e^(5 * eval/maxEval) − 1) / (e^5 − 1);
9          se diff >= 0.75 então
10             Adicionar solitação de cruzamento ao plano para a heurística
                 pior com preço payment;
11         fim
12         se diff >= 0.5 então
13             Adicionar solitação aprendizado ao plano com taxa diff com
                 preço payment;
14         fim
15         QIs ← remover(pior,melhor) ;
16     fim
17     retorna Plano;
18 fim
```

IV. Experimentos

Para verificar a eficiência da abordagem proposta foram realizados experimentos com os benchmarks multi-objetivo WFG [17] (WFG1-WFG9) com parâmetros segundo [18], [19] e DTLZ [20] (DTLZ1-DTLZ7) com parâmetros segundo [21], ambos amplamente empregados na literatura, totalizando assim 16 diferentes problemas de otimização. Cada problema foi executado 30 vezes para a HHTR e NSGA-II. Cada execução efetuou 6000 avaliações. Ao final, cada execução gerou uma população, e a qualidade destas populações foi obtida através dos indicadores IGD e Hypervolume. O indicador *hypervolume* computa a área (ou volume quando se trabalha com mais de 2 objetivos) do espaço de objetivos que uma fronteira de Pareto domina. O IGD (*Inverted Generated Distance*) corresponde ao somatório das distâncias Euclidianas entre a fronteira de Pareto e a população encontrada. Um valor de IGD igual a zero indica que todos os elementos gerados estão na fronteira de Pareto e eles cobrem toda a extensão do fronteira de Pareto [22]. Posteriormente a média de *hypervolume* e IGD foi obtida e o teste estatístico Kruskal-Wallis executado com significância de 5%, conforme [18].

A HHTR foi instanciada com a meta-heurística NSGA-II, as heurísticas foram definidas como a aplicação do operador de cruzamento seguido da aplicação do operador de mutação, desde que suas taxas sejam atendidas. Foram usados os operadores de cruzamento {SBXCrossover, BLXAlphaCrossover} e os operadores de mutação {PolynomialMutation, UniformMutation, NonUniformMutation}. Com relação aos parâmetros das heurísticas, as taxas (mutação e cruzamento) foram geradas aleatoriamente dentro do intervalo $0 - 1$ e as distribuições no intervalo $0 - 100$, o valor de α (BLXAlphaCrossover) foi gerado dentro do intervalo $0 - 1$. O tamanho da população foi definido como 100. O indicador de qualidade empregado no módulo *Gerador de Indicador* foi o *Hypervolume*.

O NSGA-II foi instanciado com os parâmetros da literatura [17], [21] para ambos benchmarks: tamanho de população: 100, com o cruzamento SBXCrossover (com distribuição 10 e taxa de 0.9) e a mutação PolynomialMutation (com distribuição 20 e taxa de $1/n$, onde n =quantidade de variáveis de entrada do problema).

V. Resultados

A Tabela I apresenta os resultados do experimento conduzido. Nesta tabela são apresentadas as médias de *hypervolume* e IGD para todos os 16 problemas para o NSGA-II e HHTR.

Pode-se constatar que com relação ao *hypervolume* a HHTR obteve 11 melhores médias com diferença estatística, 2 médias inferiores com equivalência estatística e 3 médias inferiores com diferença estatística. Com relação ao IGD a HHTR obteve 5 melhores médias com diferença estatística, 4 médias inferiores com equivalência estatística e 7 médias inferiores com diferença estatística. Considerando o resultados em ambas métricas, pode-se notar melhores resultados nos problemas WFG1, WFG2, WFG5, DTLZ4 e DTLZ6, piores resultados nos problemas WFG6, DTLZ3 e DTLZ7 e nenhuma melhora com diferença estatística nos problemas WFG8 e WFG9. Nos problemas WFG3, WFG4, DTLZ2 e DTLZ5 enquanto a hiper-heurística obteve melhores resultados no indicador *hypervolume* a meta-heurística obteve melhores resultados no IGD. Por fim, os problemas WFG7 e DTLZ1 a hiper-heurística apresentou melhores valores de *hypervolume*, mas foi equivalente ao NSGA-II com relação ao IGD.

Tabela I
Resultados

	Hypervolume		IGD	
	NSGAII	HHTR	NSGAII	HHTR
wfg1	6,0698E-01	**6,0768E-01**	6,5423E-04	**5,3183E-04**
wfg2	5,6069E-01	**5,6363E-01**	7,6912E-03	**4,2270E-04**
wfg3	4,4000E-01	**4,4047E-01**	**3,0072E-03**	3,0076E-03
wfg4	2,1556E-01	**2,1655E-01**	**1,8413E-04**	1,9238E-04
wfg5	1,9421E-01	**1,9464E-01**	9,7923E-04	**9,6363E-04**
wfg6	**1,8229E-01**	1,6792E-01	**1,0955E-03**	1,7696E-03
wfg7	2,0802E-01	**2,0892E-01**	**1,3031E-04**	**1,4422E-04**
wfg8	**1,6584E-01**	**1,6393E-01**	**1,8130E-03**	**1,8291E-03**
wfg9	**2,0280E-01**	**1,7512E-01**	**6,4656E-04**	**1,0703E-03**
DTLZ1	4,9266E-01	**4,9294E-01**	**2,0385E-04**	**2,0673E-04**
DTLZ2	2,0917E-01	**2,0933E-01**	**1,8913E-04**	2,0966E-04
DTLZ3	**2,0954E-01**	2,0938E-01	**2,0199E-04**	2,2262E-04
DTLZ4	1,5340E-01	**2,0938E-01**	8,5759E-03	**2,1254E-04**
DTLZ5	2,1079E-01	**2,1104E-01**	**4,5068E-04**	4,8219E-04
DTLZ6	1,9524E-01	**2,1104E-01**	1,1731E-03	**5,0268E-04**
DTLZ7	**3,0879E-01**	3,0868E-01	**8,9330E-03**	8,9331E-03

VI. Conclusão

Este trabalho apresentou uma abordagem que permite que heurísticas possam aprender seus parâmetros em conjunto enquanto o problema de otimização é executado, de forma que não seja necessária a prévia execução do *tuning* dos parâmetros. A abordagem proposta emprega um sistema de trocas de recursos entre heurísticas, que permite que heurísticas melhores troquem seus parâmetros por mais avaliações com heurísticas piores. Os experimentos conduzidos empregaram dois dos principais benchmarks existentes para otimização multi-objetivo. Os resultados mostraram que a abordagem proposta obteve bons resultados. Como trabalho futuro pretende-se empregar o uso de mais indicadores de qualidade e também considerar parâmetros da meta-heurística.

Acknowledgment

Os autores agradecem o CNPq pelo auxílio financeiro.

Referências

[1] BIANCHI, L. et al. A survey on metaheuristics for stochastic combinatorial optimization. *Natural Computing*, v. 8, n. 2, p. 239–287, 2009. ISSN 15677818.

[2] BOUSSAID, I.; LEPAGNOT, J.; SIARRY, P. A survey on optimization metaheuristics. *Information Sciences*, v. 237, p. 82 – 117, 2013.

[3] KARAFOTIAS, G.; HOOGENDOORN, M.; EIBEN, A. E. Parameter control in evolutionary algorithms: Trends and challenges. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2014.

[4] VAFAEE, F.; NELSON, P. C. An explorative and exploitative mutation scheme. In: *IEEE Congress on Evolutionary Computation*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–8. ISSN 1089-778X.

[5] BACK, T. Self-adaptation in genetic algorithms. In: *Proceedings of the First European Conference on Artificial Life*. [S.l.]: MIT Press, 1992. p. 263–271.

[6] SRINIVAS, M.; PATNAIK, L. M. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, v. 24, n. 4, p. 656–667, Apr 1994. ISSN 0018-9472.

[7] EIBEN, A. E. et al. Reinforcement learning for online control of evolutionary algorithms. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Engineering Self-organising Systems*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 151–160.

[8] COWLING, P. I.; KENDALL, G.; SOUBEIGA, E. A hyperheuristic approach to scheduling a sales summit. In: *Selected Papers from the Third International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling*. [S.l.: s.n.], 2001. p. 176–190. ISBN 3-540-42421-0.

[9] SABAR, N. et al. A dynamic multiarmed bandit-gene expression programming hyper-heuristic for combinatorial optimization problems. *IEEE Transactions on Cybernetics*, v. 45, n. 2, p. 217–228, Fevereiro 2015.

[10] FIALHO, A. *Adaptive Operator Selection for Optimization*. Tese (Doutorado) — École Doctorale d' Informatique, 2010.

[11] MARUO, M. H.; LOPES, H. S.; DELGADO, M. R. Self-adapting evolutionary parameters: Encoding aspects for combinatorial optimization problems. In: . [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2005. p. 154–165.

[12] REN, Z. et al. Hyper-Heuristics with Low Level Parameter Adaptation. *Evolutionary Computation*, MIT Press, v. 20, n. 2, p. 189–227, jun 2012.

[13] DEB, K. et al. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, v. 6, n. 2, p. 182–197, Apr 2002. ISSN 1089-778X.

[14] PARETO, V. *Manuel D Economie Politique*. [S.l.]: Ams Press, Paris, 1927.

[15] ADRA, S. F. *Improving Convergence, Diversity and Pertinency in Multiobjective Optimisation*. Tese (Doutorado) — Department of Automatic Control and Systems Engineering, The University of Sheffield, 2007.

[16] COELLO, C. *Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems*. New York: Springer, 2007. ISBN 978-0-387-36797-2.

[17] HUBAND, S. et al. A review of multiobjective test problems and a scalable test problem toolkit. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, IEEE, p. 477–506, 2006.

[18] BRADSTREET, L. et al. Use of the WFG toolkit and PISA for comparison of MOEAs. *Proceedings of the 2007 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multicriteria Decision Making, MCDM 2007*, n. 2007, p. 382–389, 2007.

[19] MAASHI, M.; ÖZCAN, E.; KENDALL, G. A multi-objective hyper-heuristic based on choice function. *Expert Systems with Applications*, Elsevier, v. 41, n. 9, p. 4475–4493, 2014.

[20] DEB, K. et al. Scalable test problems for evolutionary multiobjective optimization. In: *Evolutionary Multiobjective Optimization*. [S.l.]: Springer London, 2005. p. 105–145.

[21] VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, J.; PETROVIC, S. A mixture experiments multi-objective hyper-heuristic. *Journal of the Operational Research Society*, Palgrave Macmillan, v. 64, n. 11, p. 1664–1675, 2012.

[22] VELDHUIZEN, D. A. V.; LAMONT, G. B. *Multiobjective Evolutionary Algorithm Research: A History and Analysis*. Tese (Doutorado) — Dept. Elec. Comput. Air Force Inst., 1998.

Applying metrics to improve the shared metadata classification on social networking systems

SANTOS, B. Z.[*]; ALMEIDA JR, J. R.
[*]Laboratório de Ciências - Universidade de São Paulo
[†]Laboratório de Processamento de Sinais - Escola de Engenharia de Computação
bzsantos@gmail.com, jorgerady@usp.br

***Abstract* — The research is dedicated to the study of metadata classification engines to content on the Web in a folksonomy system. It is necessary a new vision in required for metadata classification. Some factors are critical, such as: the absence of criteria in metadata development, causing inconsistency in the classification due to the system failures. Based on these ideas, some folksonomy tools were analyzed with the objective of find some solution to the problem, and providing important contributions to the development of an improved model of metadata classification.**

***Keywords*— folksonomy; metadata; tag; insights.**

I. INTRODUCTION

The use of certain tools in digital systems for Web applications can facilitate communication and dissemination of information shared through collaboratively metadata in social media, and representing changes in user perception in the acquisition of new knowledge using the folksonomy system. Therefore, a new vision is required to classify the metadata that have aggregated content. Some factors are critical for this technology, among them: there are no criteria in the development of metadata, causing inconsistency in the classification, the absence of formal metadata reference based in taxonomy, network communication break and difficulty in finding insights in this type of system.

II. STUDY PROPOSAL

Some information sharing systems designed for Web are used as an additional tool in social networks is collaborative (1). On the one hand, it is necessary to consider that this system uses metadata receiving a content rating by many users on the network, that enhances the communication process (2). On the other, this classification of metadata is not usually made by experts, since this type of system that uses folksonomy the user indicates the content as "interesting" or still may create an individual metadata and sharing it in the network does not guarantee that the word created really represents something associated with the aggregated content to metadata. Therefore, how to resolve the classification of "popular" metadata on social networks for a better indication of use?

There is a necessary to emergence new metrics based on existing taxonomies that will allow create collaborative metadata aggregates to Web content (3), avoiding a large amount of data inconsistency randomly generated in folksonomy systems used in social networks. Furthermore, the proposed system will be able to use classification indicators of metadata that will assist the user in forming the metadata name, the social tagging process, which is a major problem in this type of system (4).

The collaborative system metadata in digital systems on Web is known as folksonomy and uses the practice of social tagging to organize and classify content (6), particularly in social networks, such as: YouTube, Flickr and Delicious (5). Some of these tools were tested, providing important considerations for understanding the practice of folksonomy, and how this social tagging process can be improved by using metric involving taxonomy (3).

Based on this scenario of social networking and classification of information on virtual systems on the Web, into which this work is focused on improving the social tagging system has several flaws, among them: inconsistent formation of metadata. It is proposed to use metric associated with taxonomies in order to generate metadata associated with words in a known sorting hierarchy, improving the process in the system.

III. CLASSIFICATION OF INFORMATION

The content rating generated by users in social networks on the Web cannot be considered taxonomy, being a disorderly practice and the word that represents the metadata within the folksonomy system may not make sense for other network users. However, the taxonomy is considered the inverse of the folksonomy, presenting a controlled vocabulary hierarchical structure (7).

The classification approach to information available on the Web in a collaborative manner is considered innovative (8), the folksonomy has characteristics of free and non-sequential classification, making it easier to use the facility and information retrieval (9).

A. Folksonomy

A folksonomy is a term created from the social tagging of practice as a process to add some Web content to the metadata named with a word that makes sense and shared on the network in virtual systems collaboratively (6).

Although the creator of folksonomy has defined as a process, there are differences between the interpretations of many authors who folksonomy consider a methodology.

Another interpretation of folksonomy: is the ability to create metadata in a disorderly manner, free texts assigned to tags (metadata) associated with the content available on the Web that can be retrieved when needed (10).

Therefore, the use of folksonomy has some advantages over other types of systems that employ metadata as a means to classify, presenting some limitations (11). The practice of social tagging the folksonomy system is free and it is possible to use different words to represent the same object.

B. Types of folksonomies

The folksonomy can be defined such as: broad and narrow, as shown in -Fig 1 (6):

- Broad folksonomy: is used in tools like Delicious and Diigo, which are available for a large number of users and groups participating.

- Folksonomy close: can be considered more reserved for individual use and used by smaller groups or reserved in a closed system (9).

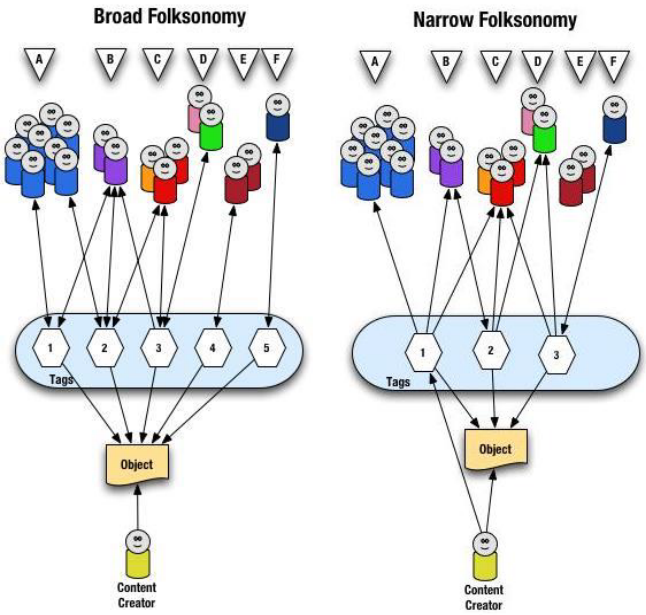


Fig. 1. Representing types of folksonomies (*types of folksonomy*).

C. Characteristics of Folksonomy

• Classification: system similar to the taxonomy, but there is not a controlled vocabulary and also has a controlled hierarchy by experts or authorities. The classification system in the folksonomy is made by tags, the user chooses freely keywords without restriction, and is also a collaborative system.

• Collaboration: tags generated Web tool can be shared; understand individual and group classification facilitates the search and retrieval of information on the Web.

• Flexibility: consists of using tags that can be edited or deleted as needed. The aggregation of one or more contents related to the object becomes easy use and handling capability.

• Identification patterns: user behavior using tools provides the use of patterns that can be identified by extracting the most widely used tags aggregated content.by extracting the most used tags aggregated to the object.

D. Application of folksonomy

Commercial applications like YouTube and Flickr using the folksonomy system to optimize the search system (2). In addition, the Google search engines adds collaborative filters that generate metadata for content recommendation system (12).

Therefore, the use of folksonomy in information systems, such as on social networks make available important metadata for business analysis. Table 1 shows listing some advantages and disadvantages in using folksonomy.

Table I. ASPECTS OF THE USE OF FOLKSONOMY

Collaborative interaction	**Advantages**	**Disadvantages**
Unlimited access to information on the Web	The user is not limited to the only material available on the platform and can access material online copyright.	Not all the material served the purpose of group participants.
Content Organization	The user selects the content according to your profile and needs.	There is no disadvantage, the user adapts according to the need.
Information retrieval	With keywords is fast and easy to find and retrieve the content.	Often content is removed or the link is no longer available.
Collaborative knowledge	All content is available to the group immediately.	This knowledge serves to even focus groups; limited to interest the same object.
Tagging	The most commonly used tags are the best that should indicate the content of what is tagging.	Not always the vocabulary of the tag is correct or in the user's language.

Performed research Data. (Survey data)

IV. INSTRUCTION SEARCH FOR USE OF METADATA NOMENCLATURE IN SOCIAL NETWORK SYSTEMS

In the first part of the research, we study the origin and the concept of folksonomy which is the system used in social networks. As a result, these studies led to different interpretations of the concept of folksonomy.

The second part of the research is related to the study of the application of folksonomy in existing commercial systems (13), among the systems studied: YouTube, Flirk, Delicius and Diigo. The research has brought important results to understand the operation and how folksonomy influence user behavior in the system.

The third part of the research is related to study a means to improve the process of formation of metadata using metrics. With the results at the beginning of the research proposed a model that uses the taxonomy social tagging process.

This research is directed to the use of technology and innovation in information systems using folksonomy systems that generate metadata aggregate the information that is shared on the network collaboratively mainly on social networks.

A. Classification Technique

The use of techniques to improve the quality of metadata could generate a better classification of tags by eliminating redundancies and incompatible words in the system database. In addition to generating correct words to generate the metadata in the social tagging process, the system may suggest a hierarchy in the formation of the word according to the taxonomy. For example, in the formation of a word is not in the hierarchy the metadata could be disposed to consider a rigid classification system.

However, the system for recommending tags that were generated by user may have a better rating that fits the existing taxonomy "Fig. 2" (11).

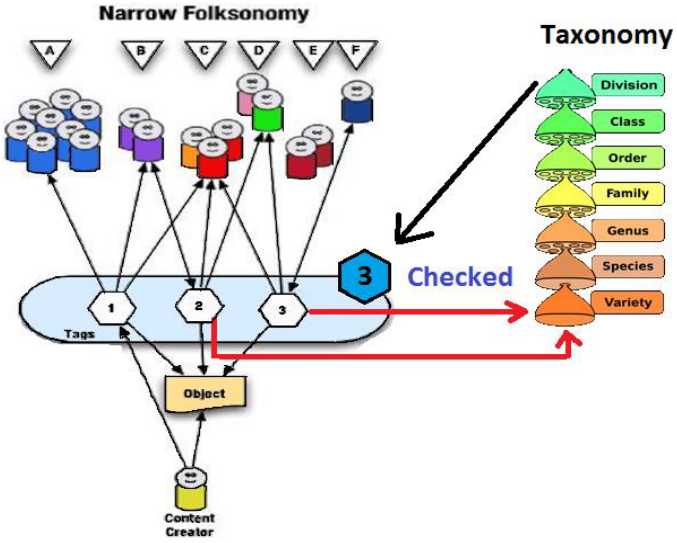


Fig. 2. Hybrid classification system (*types of folksonomy*).

V. CONCLUSION

The study proposes to resolve inconsistencies problems when generating the metadata in systems using folksonomy as in social networks. The goal is to develop a model with metric able to associate the metadata taxonomies created in word formation improving communication within the network filtering meaningless words or incomplete. The research is in early stages and some consulted references reveal the same problem of unconformity and communication breakdown due to problems in the metadata that are generated. Some systems use the Web as folksonomy collaboratively information sharing method that generates knowledge on the network and is an important tool of communication and search information. The practice of social tagging becomes dynamic to share aggregate information to the metadata accessed by another user or groups of same interest of the object.

However, this type of system generates many inconsistent metadata to be used commercially making the system less efficient, due to the large amount of repetitive data or not connected to information available on the Web. The proposal to develop a system using metrics under taxonomies limits the name to metadata reducing data inconsistency available on the network and also facilitates the extraction of data for business analysis, mainly because the metadata represent the desires and consumer thoughts that are users in social networks bringing important information to companies.

ACKNOWLEDGMENT

We thank Elias Estevao Goulart for helpful comments and conversation. This work was supported Polytechnic School of the University of São Paulo in the area of specialty in "Computer Engineering".

REFERENCES

[1] Konstas, Ioannis., STATHOPOULOS, Vassilios., JOSE, Joemon M.: On social networks and collaborative recommendation. In: Proceedings of the 32nd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, pp. 195-202 (2009)

[2] Pan, R., Xu, G., Fu, B., Dolog, P., Wang, Z., Leginus, M.: Improving recommendations by the clustering of tag neighbours. J. Converg, 3(1), (2012)

[3] Kunegis, Jérôme.: Konect: the koblenz network collection. In: Proceedings of the 22nd International Conference on World Wide Web. ACM, pp. 1343-1350, (2013).

[4] Almoqhim, Fahad., Millard, David E., Shadbolt, Nigel.: Improving on popularity as a proxy for generality when building tag hierarchies from folksonomies. In: International Conference on Social Informatics. Springer International Publishing, pp. 95-111, (2014)

[5] Shepitsen, A., Gemmell, J., Mobasher, B., Burke, R.: Personalized recommendation in social tagging systems using hierarchical clustering. In Proceedings of the 2008 ACM conference on Recommender systems, ACM, pp. 259-266, (2008)

[6] Vander Wal, T.: Folksonomy Coinage and Definition (2007), http://vanderwal.net/folksonomy.html

[7] Harper, Robert.: Practical foundations for programming languages. Cambridge University Press, (2012)

[8] Quintarelli, Emanuele.: Folksonomies: power to the people. In: INCONTRO ISKO ITALIA - UNIMIB, Milão, 2005. Papers. Milan: Universitá di Milano, (2005)

[9] Peterson, Elaine.: Beneath the metadata: Some philosophical problems with folksonomy. D-Lib Magazine, 12(11), (2006)

[10] Russell, Terrell. Contextual authority tagging: Cognitive authority through folksonomy. Unpublished manuscript. Retrieved, 11(16), (2005)

[11] Sturtz, David N.: Communal categorization: the folksonomy (2004), http://davidsturtz.com/drexel/622/communal-categorization-the-folksonomy.html

[12] Mathes, Adam.: Folksonomies-cooperative classification and communication through shared metadata. Computer Mediated Communication, 47(10), (2004)

[13] Hotho, A., Jäschke, R., Schmitz, C., Stumme, G.: BibSonomy: A social bookmark and publication sharing system. In Proceedings of the conceptual structures tool interoperability workshop at the 14th international conference on conceptual structures. 87, pp. 102, (2006)

Proposta de framework para integração de dados heterogêneos em cadeias de suprimentos agroindustriais

SILVA, R. F.; CUGNASCA, C. E.
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais
E-mail: roberto.fray.silva@gmail.com

***Abstract*—Agroindustrial supply chains are composed of all the companies related to serving a customer with food products and products derived from farming operations. Three systems are essential for decision-making in these supply chains: product identification and traceability, product monitoring, and process monitoring. The first is related to following the product lots along the supply chain, and is directly involved with the agents' capability to reduce the impact of food poisoning and contamination. The second is related to monitoring the environmental variables that influence the products quality throughout the supply chain. The last system is related to monitoring the quantitative and qualitative aspects of the different processes of production, transportation, transformation, and warehousing. These three systems generate a considerable number of heterogeneous data that will increase with the introduction of new technologies and processes, specially considering the internet of things concept. The data generated are heterogeneous in terms of context, collection period, and structure, leading to interoperability problems in the supply chains. The objective of this research project is to develop a framework for integrating these data, improving data exchange between the links of the agroindustrial supply chains. The research project is in its initial phase.**

***Keywords*— agroindustry; data; iot; interoperability; supply chain.**

I. Introdução

Uma cadeia de suprimentos (CS) pode ser caracterizada como o grupo de empresas responsáveis, direta ou indiretamente, por atender a demanda de um determinado segmento consumidor [1]. Estas empresas são denominadas agentes e os grupos de empresas responsáveis por uma atividade específica são denominados elos. Os elos mais comuns em uma CS são: produtores, distribuidores, transportadores, atacadistas, varejistas, consumidor final, dentre outros.

As CS geram uma grande quantidade de dados heterogêneos, provenientes de diferentes fontes e que são inseridos e tratados em bancos de dados de formas distintas. Observa-se também que diferentes agentes utilizam software de *Enterprise Resource Planning* (ERP) distintos, que podem ou não ser compatíveis entre si. Os sistemas que originam dados em CS podem ser divididos em três classes: identificação e rastreabilidade, monitoramento do produto e acompanhamento de processos. A existência de dados estruturados e não-estruturados gerados ao longo da cadeia aumentam a complexidade da transmissão e do processamento dos dados provenientes de diferentes agentes. No caso de CS agroindustriais, nota-se que existe pouca coordenação entre os agentes, além de existirem problemas de interoperabilidade entre as diferentes empresas, o que pode impactar negativamente em seus resultados [2][3][4][5].

O paradigma de *internet* das coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) será utilizado neste trabalho com um foco em logística e gerenciamento de CS. Este pode ser definido como a forma como as tecnologias de identificação e rastreamento de produtos e monitoramento ambiental permitem que objetos interajam entre si em um determinado ambiente, utilizando a *Internet* como meio de transmissão de informações entre os agentes da CS [3]. A implementação destas tecnologias leva à criação de uma grande quantidade de dados, que podem ter características distintas, dificultando o seu processamento [2].

Atualmente, existem diversas soluções para a implementação destas tecnologias, utilizando diferentes tipos e marcas de sensores e leitores, além de sistemas fechados que são vendidos em pacotes comerciais. Isto pode gerar um problema de incompatibilidade entre os diferentes software, o qual, no caso das CS, irá afetar diretamente os seus resultados. Para que os dados e informações possam de fato auxiliem na tomada de decisões dos agentes da CS, é necessário que estes possam ser transferidos e acessados sem problemas de compatibilidade entre as diferentes plataformas.

Duas classes de soluções foram encontradas na literatura para reduzir o problema de gestão dos dados heterogêneos:

1) Elaboração de padrões para coleta e transmissão de dados por sensores, leitores e equipamentos relacionados a monitoramento e rastreabilidade dos produtos, que seriam aplicados por fabricantes e usuários;
2) Uso de *middleware* que permitam a conversão dos diferentes dados obtidos, permitindo que os diferentes sistemas conversem entre si e com a nuvem.

Acredita-se que a solução 1 não seja viável, pois o tempo para se elaborar padrões que sejam aceitos por todos os fabricantes e usuários é alto, podendo inviabilizá-la. Trabalhos como os de [6] e [7] abordam soluções deste tipo. Um fator adicional é que os sistemas já existentes irão ter de coexistir com os novos sistemas de monitoramento e rastreabilidade, ou seja, existirão tecnologias antigas (códigos de barras, *QR codes*, *dataloggers*, dentre outros) sendo utilizadas em conjunto com as novas tecnologias. A complexidade resultante

da padronização dos dados gerados e a comunicação entre os dispositivos e a nuvem tornaria esta solução muito custosa.

A solução 2, por outro lado, permitiria o uso de diferentes tecnologias, integrando-as através do recebimento e processamento dos dados e informações gerados nos diferentes elos da cadeia. Uma desvantagem desta solução é que seria necessário conhecer os diferentes tipos de dados coletados, sua periodicidade, natureza, e como estes poderiam ser processados para gerar informações relevantes para a tomada de decisões.

Os trabalhos de [8] e [9] seguem esta segunda abordagem. Destes, somente o último pode ser aplicado às CS agroindustriais atuais, por considerar a interação entre diferentes tipos de sensores e tecnologias de identificação. Porém, este não permite a incorporação de informações provenientes de sistemas que já estão em funcionamento. Isto tornaria a sua implementação inviável em um setor que já possui sistemas de identificação e rastreamento dos produtos.

A Figura 1 ilustra as duas principais opções para se tratar o problema de heterogeneidade de dados em uma CS.

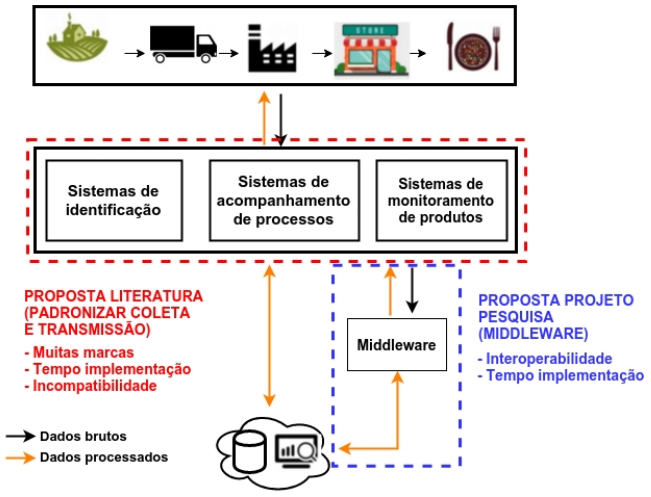


Figura 1. Os diferentes sistemas geradores de dados em uma CS e a proposta de pesquisa

O principal objetivo deste artigo é demonstrar os resultados iniciais da elaboração deste *framework* para integração de dados heterogêneos das cadeias de suprimentos agroindustriais, relacionados à identificação dos sistemas que geram dados e informações relevantes nas CS agroindustriais.

II. IoT e CS

Como foi descrito, existe a geração de uma grande quantidade de dados ao longo das CS agroindustriais. É importante, para o correto gerenciamento destes dados, que a coleta, o processamento e o armazenamento de dados sigam um *framework* que considere os diferentes tipos de equipamentos, sistemas de gerenciamento, e tipos de dados. A IoT torna-se importante neste contexto.

[2] definem coisas (do inglês *things*) como participantes ativos nos processos de geração e análise de dados e informações no sistema, que se comunicam entre si e com o ambiente no qual se encontram. No caso do presente projeto de pesquisa, estas dizem respeito basicamente às tecnologias relacionadas aos sistemas de identificação (códigos de barras, QR codes, etiquetas RFID e NFC), monitoramento (sensores e *dataloggers*) e acompanhamento de processos (ERPs e aturadores) e o hardware de comunicação.

No caso específico da logística, [3] citam o uso da IoT para fornecer informações úteis para a tomada de decisões para motoristas dos veículos de transporte; monitoramento de fatores ambientais envolvidos nos processos de transporte, como temperatura e umidade relativa dentro de um contêiner; e na elaboração de mapas em terceira dimensão para serem utilizados nas cidades, ajudando na identificação de rotas. Existe uma série de temas importantes para a aplicação de IoT no transporte de produtos e/ou pessoas: etiquetas inteligentes para o gerenciamento da logística; análises do sistema; veículos autônomos; sistemas heterogêneos com interação com outros sistemas; e logística inteligente [2].

Segundo [10], os sistemas de armazenamento de dados, dentro do conceito de IoT, devem possuir as seguintes características: capacidade para gerenciamento de grandes volumes de dados; integração entre dados estruturados e não-estruturados; e capacidade para distribuição do repositório de dados.

Estas três características serão estudadas em maior profundidade neste projeto de pesquisa, com ênfase na integração entre dados de natureza estruturada e dados de natureza não-estruturada. Porém, para entender melhor o problema proposto, é necessário entender as tecnologias que irão gerar os dados e informações a serem coletados, o que será descrito no item 4 deste trabalho.

III. Materiais e Métodos

O presente projeto de pesquisa se encontra em fase inicial, sendo que a primeira etapa deste já foi realizada. Esta diz respeito à identificação dos tipos de sistemas que geram dados heterogêneos em uma cadeia de suprimentos agroindustrial.

Para isto, foi realizado um estudo aprofundado das cadeias de suprimentos da soja e do açúcar, importantes granéis sólidos exportados pelo país. A etapa sendo conduzida no momento diz respeito a um levantamento dos requisitos dos agentes destas duas cadeias, utilizando tanto fontes primárias quanto secundárias. Após estes requisitos serem identificados, será realizado um estudo dos métodos computacionais disponíveis para se realizar o tratamento de dados, permitindo que estes sejam enviados à nuvem em diferentes formatos e contextos.

Ao longo do estudo a ser realizado, duas hipóteses serão avaliadas:

1) A integração dos dados coletados pelas diferentes fontes ao longo da CS aumentaria a disponibilização de informações entre os agentes em relação à situação atual;
2) A integração dos dados permitiria a redução do custo de rastreabilidade da CS em relação à situação atual

Ambas hipóteses serão verificadas através de simulação computacional, utilizando-se dados provenientes de fontes primárias e secundárias. Serão utilizados os software SIMUL8 (simulação de eventos discretos) [11] e Rifidi (simulação de

sistemas de identificação, focado em RFID) [12]. Os principais critérios identificados para se realizar a avaliação da primeira hipótese são: número de problemas ocorridos durante a troca de informações e os custos e tempos relacionados à sua correção. Estes serão comparados com valores que serão calculados utilizando-se o modelo de simulação em uma situação ideal. Caso valores ideiais sejam identificados na literatura, estes serão utilizados.

A avaliação da segunda hipótese será realizada utilizando-se os seguintes critérios: custos, tempos, erros ao longo da CS e atendimento aos critérios de rastreabilidade. Estes serão comparados com valores obtidos na literatura. Serão estudados também diferentes níveis de integração das informações.

IV. Resultados prévios

Esta seção descreve os principais resultados obtidos até o momento. Este encontra-se dividido em quatro seções: 4.1. Tecnologias para identificação de produtos; 4.2. Tecnologias para monitoramento de produtos; 4.3. Tecnologias para monitoramento de processos; e 4.4. Resultados esperados.

1) Tecnologias para identificação de produtos: A evolução dos métodos de controle de rastreabilidade envolveu as seguintes fases: anotações manuais, uso de planilhas eletrônicas, uso de bancos de dados, sistemas de códigos de barras, QR Codes e RFID.

Os códigos de barra 2D ou QR Codes, considerados como uma evolução da tecnologia do código de barras, foram desenvolvidos na década de 1990, e são utilizados amplamente em aplicações de logística, processamento industrial e vendas. Cada símbolo do código consiste em uma região de codificação e uma série de funções padrão, contribuindo para a localização, tamanho e inclinação do código em relação ao leitor, para facilitar a sua leitura. Esta tecnologia permite a inserção de mais informações que a de códigos de barras, porém ambas possuem um problema que torna complexo o seu uso no acompanhamento da movimentação de um produto ao longo da CS: a necessidade de uma linha de visão entre o leitor e a etiqueta a ser lida [13].

A tecnologia de RFID, por sua vez, consiste em etiquetas com informações sobre determinado produto, que são lidas automaticamente sem necessidade de contato visual entre etiqueta e leitor. Os dados são lançados em um sistema de computador, de preferência na web, e podem ser acessados por diferentes agentes [14].

A tecnologia de RFID é a única que permite a obtenção de forma automática e em tempo real de informações do produto, sem que este precise estar na linha de visão do leitor. Um fator adicional que pode auxiliar na redução do tempo de movimentação dos produtos na CS é que esta tecnologia permite a leitura de múltiplas etiquetas ao mesmo tempo.

As tecnologias para identificação de produtos permitem rastrear o produto e identificá-lo. Porém, estas tecnologias não permitem monitorar a qualidade do produto, o que é importante para evitar perdas tanto quantitativas quanto qualitativas nas CS de produtos agroindustriais. Estas tecnologias encontram-se descritas na seção seguinte.

2) Tecnologias para monitoramento de produtos: As RSSF podem ser definidas como conjuntos de sensores espalhados em um determinado ambiente e que se comunicam entre si, visando observar e monitorar um fenômeno [15]. Estas não necessitam de cabos para conectar os sensores e permitem o desenvolvimento de sistemas automáticos de monitoramento de temperatura, umidade relativa, luminosidade, pressão, dentre outras variáveis ambientais, que são importantes para monitorar a qualidade do produto. Estes sensores são acoplados a nós e conectados a gateways para o envio de informações [16][17].

Segundo [18], dois importantes problemas no uso de redes de sensores cabeadas para o monitoramento das variáveis ambientais em armazéns de grãos, e que podem ser extrapolados para outras CS de produtos agroindustriais, são a grande quantidade de cabos necessária, e o alto custo de manutenção do sistema. Desta forma, nestas CS, o uso de RSSF poderia melhorar os resultados de sistemas de monitoramento nestes ambientes. Porém, em determinados contextos, o uso de sensores cabeados pode ser uma melhor solução.

É importante notar que apenas a instalação de sensores não garante que as informações sejam disponibilizadas aos usuários em tempo suficiente para auxiliarem na tomada de decisões. Para que isto ocorra é necessário que a transmissão de informações ocorra dentro de um intervalo de tempo adequado, ou o mais próximo possível do que se considera como tempo real para o caso em questão. Em outras situações, é apenas necessário que um alerta seja enviado no momento em que uma das variáveis atingir um limite predeterminado.

Estes sistemas, por estarem conectados em rede, podem disponibilizar seus dados em bancos de dados na *Internet* em tempo real, possibilitando o disparo de alertas caso certos limites predefinidos sejam ultrapassados [17]. Esses alertas podem contribuir para a identificação de anomalias nas grandezas físicas associadas a produtos ou desvios em rotas predefinidas para a sua movimentação, em um menor tempo do que ocorre atualmente. Isto pode auxiliar na tomada de decisões por parte das empresas envolvidas na CS em questão, melhorando o seu atendimento às demandas dos consumidores no que diz respeito à rastreabilidade do produto e reduzindo as potenciais perdas quantitativas e qualitativas de produto.

3) Tecnologias para monitoramento de processos: O monitoramento de processos, definido como o conjunto de ferramentas utilizado para garantir a qualidade dos produtos e a segurança dos processos, possui três principais categorias: métodos baseados em modelos, métodos baseados em conhecimento e métodos baseados em dados [19]. Para este trabalho, será utilizado o último modelo, devido ao fato que este é o que melhor permite utilizar a grande quantidade de dados que será gerada através das tecnologias e sistemas citados.

Segundo [19], a escolha do método a ser utilizado em um caso específico depende de quatro principais características do processo: sua linearidade, sua variação ao longo do tempo, sua aderência a uma distribuição gaussiana e se este possui características de sistemas dinâmicos. No caso da CS, como diferentes métodos serão utilizados nos diferentes elos, existe a

possiblidade de que problemas de interoperabilidade ocorram, caso não se considere como os dados serão transmitidos, processados, armazenados ou visualizados.

4) Resultados esperados: Os principais resultados esperados ao final do presente projeto de pesquisa são:

1) Proposta de um *framework* para a integração de dados heterogêneos em CS agroindustriais, considerando-se as diferentes fontes de dados e informações relacionadas aos sistemas identificados;
2) Avaliação deste *framework*, visando identificar se este permite aumentar a disponibilidade de informações ao longo da CS e diminuir o custo total de rastreabilidade;
3) Identificação dos principais pontos a serem considerados na implementação do *framework* proposto, como: custos do uso da nuvem para o armazenamento e processamento dos dados; custos de comunicação; e como devem ser tratados os casos em que o agente não possui acesso contínuo à *internet*;
4) Elaboração de um modelo de simulação computacional utilizando simulação de eventos discretos que possa ser utilizado para identificar e avaliar problemas oriundos da geração de dados heterogêneos em outras CS.

O levantamento inicial dos requisitos com agentes da cadeia permitiu identificar quatro requisitos relevantes, que serão analisados com maior profundidade no decorrer da pesquisa:

1) Coleta e acesso de dados e informações pelos agentes no tempo considerado ideal para a tomada de decisões;
2) Desenvolvimento de um sistema para notificar os responsáveis do elo em questão caso anomalias ocorram;
3) Redução nos problemas de interoperabilidade entre os agentes da CS, que serão levantados em maior profundidade na parte inicial da pesquisa de campo;
4) Melhor interação com plataformas do Governo, permitindo uma maior transparência nas trocas de informações e facilitando a verificação destas por parte do Governo.

V. Conclusões

As CS agroindustriais geram uma grande quantidade de dados heterogêneos nos seus diferentes elos. Estes são provenientes de três tipos de sistemas: identificação de produtos e rastreabilidade, monitoramento de produtos, e monitoramento de processos. Neste trabalho, foi realizada a identificação de requisitos importantes para a definição de um *framework* que permita incorporar o conceito de IoT nestas CS, através da redução de problemas de interoperabilidade.

A principal limitação observada no trabalho diz respeito à falta de informações relacionada à geração de dados e aos sistemas utilizados em CS agroindustriais. Trabalhos futuros dizem respeito a: levantamento dos requisitos da cadeia de suprimentos da soja, devido ao fato de esta ser uma das cadeias agroindustriais mais importantes do país; elaboração do *framework* para integração de dados propriamente dito; elaboração de um modelo conceitual de simulação deste *framework*, utilizando simulação de eventos discretos; e realização de um estudo de caso com os dados coletados da cadeia da soja, simulando o impacto da adoção deste nos custos, tempos e problemas de interoperabilidade da cadeia.

Referências

[1] CHOPRA, S., MEINDL, P. *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*. 5th editio. ed. New Jersey: Pearson Education, 2012. 528 p.

[2] GUBBI, J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier B.V., v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013. ISSN 0167739X. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.

[3] ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, Elsevier B.V., v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. ISSN 13891286. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1389128610001568>.

[4] SILVA, R. F. *Sistema de rastreabilidade para granéis sólidos agrícolas: o caso do açúcar*. 153 p. Tese (Dissertação (Mestrado)) — Universidade de São Paulo, 2015.

[5] PANG, Z. et al. Value-centric design of the internet-of-things solution for food supply chain: Value creation, sensor portfolio and information fusion. *Information Systems Frontiers*, Springer US, v. 17, n. 2, p. 289–319, apr 2015. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10796-012-9374-9>.

[6] KIM, J.; LEE, J.-W. OpenIoT: An open service framework for the Internet of Things. In: *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*. IEEE, 2014. p. 89–93. ISBN 978-1-4799-3459-1. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6803126>.

[7] SÁNCHES LÓPEZ, T. et al. Adding sense to the Internet of Things. *Personal and Ubiquitous Computing*, Springer-Verlag, v. 16, n. 3, p. 291–308, mar 2012. ISSN 1617-4909. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00779-011-0399-8>.

[8] PARK, S.; SONG, J. Self-adaptive middleware framework for Internet of Things. In: *2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*. IEEE, 2015. p. 81–82. ISBN 978-1-4799-8751-1. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7398741>.

[9] GUANGYI XIAO et al. User Interoperability With Heterogeneous IoT Devices Through Transformation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 10, n. 2, p. 1486–1496, may 2014. ISSN 1551-3203. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6742587>.

[10] LIHONG JIANG et al. An IoT-Oriented Data Storage Framework in Cloud Computing Platform. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 10, n. 2, p. 1443–1451, may 2014. ISSN 1551-3203. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6742584>.

[11] SIMUL8 COPORATION. *SIMUL8*. 2016. Disponível em: <http://www.simul8.com/>.

[12] TRANSCENDS. *Rifidi*. 2016. Disponível em: <http://transcends.co/>.

[13] YUE LIU; JU YANG; MINGJUN LIU. Recognition of QR Code with mobile phones. In: *2008 Chinese Control and Decision Conference*. IEEE, 2008. p. 203–206. ISBN 978-1-4244-1733-9. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4597299>.

[14] SILVA, R. F.; CAMPOS, L. B.; CUGNASCA, C. E. Modelo de rastreabilidade da cadeia do vinho para exportação utilizando redes de sensores sem fio e RFID. In: *Anais do IX Congresso Brasileiro de Agroinformática*. Cuiabá: [s.n.], 2013. p. 5.

[15] GLISIC, S. *Advanced Wireless Networks*. 1st editio. ed. United Kingdom: John Wiley & Sons Publishing Company, 2006. 882 p.

[16] LEE, Y.; Feng Cheng; Ying Tat Leung. Exploring the Impact of RFID on Supply Chain Dynamics. In: *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, 2004.* IEEE. v. 2, p. 90–97. ISBN 0-7803-8786-4. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1371441>.

[17] ZHANG, K. et al. Pre-warning analysis and application in traceability systems for food production supply chains. *Expert Systems with Applications*, Elsevier Ltd, v. 38, n. 3, p. 2500–2507, 2011. ISSN 09574174. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.039>.

[18] JIA, N. et al. Design of monitor system for grain depots based on wireless sensor network. *2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2009*, p. 2318–2323, 2009.

[19] GE, Z.; SONG, Z.; GAO, F. Review of Recent Research on Data-Based Process Monitoring. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, American Chemical Society, v. 52, n. 10, p. 3543–3562, mar 2013. ISSN 0888-5885. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie302069q>.

Metodologia para Paralelizar Laços Aninhados com Processamento Heterogêneo em Sistemas Paralelos e Distribuídos

Luz, C. S. F.*; Sato, L. M.*
*Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP)
São Paulo, SP, Brazil
e-mail: cleber.luz@usp.br, liria.sato@poli.usp.br

***Abstract*—Computação paralela e distribuída vem se consolidando com uma importante técnica de processamento para alcançar bom desempenho no processamento de aplicações. Aplicações tais como processamento de imagem, análise molecular e reconhecimento de padrões demandam uma computação de alto desempenho. Aplicações com este perfil, geralmente, utiliza laços aninhados no processamento e muitas vezes, tais laços processam computações heterogêneas. Este trabalho apresenta uma solução para paralelizar laços aninhados com computações heterogêneas em sistemas paralelos e distribuídos. A solução paralela visa diminuir o tempo de processamento para aplicações que contêm loops aninhados com processamento heterogêneo, como também, realizar uma otimização dos recursos de processamento envolvidos no processamento.**

***Keywords*— Computação Paralela; Computação Distribuida; Laços Aninhados.**

I. Introduction

Aplicações tais como: processamento de imagem, análise de moléculas, reconhecimento de padrões e outros, requerem uma computação de alto desempenho no processamento. Frequentemente, aplicações com este perfil utilizam algoritmos que contêm laços aninhados para processar seus dados. Algumas aplicações podem conter computações heterogêneas em seus laços. A modelagem de distribuição de espécies é um exemplo de aplicação com este perfil.

Modelagem de distribuição de espécies é um processo computacional que combina variáveis ambientais e projeta um cenário que identifica áreas potencialmente adequadas para a ocorrência da espécie, criando um mapa de distribuição potencial [4]. O processo de modelagem aplica vários algoritmos, a fim de escolher o modelo com o melhor potencial de acerto. Cada algoritmo de modelagem fornece uma representação matemática diferente para o mesmo conjunto de dados.

A computação paralela e distribuída vem se consolidando como uma importante técnica de processamento para alcançar bom desempenho na execução da aplicações que demandam alto poder computacional. Frequentemente, técnicas de paralelismo são aplicadas em loop aninhado, afim de, diminuir o tempo de execução da aplicação [3]. No entanto, quando o algoritmo possui laços aninhados com computações heterogêneas a realização de uma paralelização poderia resultar em sub-utilização dos recursos de processamento, deixando ociosos durante algum tempo. Na revisão da literatura até o momento, não foi possível encontrar nenhum trabalho que considera as computações heterogêneas na paralelização dos laços aninhados.

Este trabalho apresenta uma solução para a paralelização de laços aninhados com computações heterogêneas em sistemas paralelos e distribuídos. A solução proposta permite diminui o tempo de processamento das aplicações apresentam computações heterogéneas dentro de laços aninhados. A solução também executa uma otimização no uso dos recursos de processamento envolvidos no processamento dos laços aninhados. A otimização visa reduzir a ociosidade causada pela presença de computações heterogêneas em laços aninhados.

A implementação da solução paralela pode ser executada em sistemas paralelos e distribuídos, tais como, um computador com vários núcleos, um *cluster* físico ou um virtual, alocados na nuvem. Na computação em nuvem, a solução paralela proposta pode resultar em um custo mais baixo na alocação de máquinas virtuais. Os recursos de processamento são ativados de acordo com o valor estabelecido pela estratégia de paralelização.

A Seção II apresenta a solução para a paralelizar laços aninhados com processamento heregoneo em sistemas distribuídos e paralelos. A Seção III apresenta os resultados alcançados com a implementação da solução proposta. Os trabalhos relacionados com este artigos são apresentados na Seção IV. A Seção V apresenta as conclusões obtidas neste trabalho.

II. Solução para paralelizar laços aninhados com processamento heterogêneo em sistemas paralelos e distribuídos

A solução proposta visa descrever uma série de procedimentos para paralelizar laços aninhados com computações heterogêneas em sistemas paralelos e distribuídos. Além de diminuir o tempo de processamento de aplicações que contêm laços aninhados com processamento heterogêneo, a solução proposta, também realiza uma otimização no uso dos recursos de processamento.

A otimização realizada pela solução proposta é necessária para diminuir a ociosidade de processamento causada pela presença de computações heterogêneas dentro dos laços aninhados. A otimização calcula a quantidade de recursos utilizados no processamento das iterações dos laços e também, realiza um escalonamento adequado entre as iterações dos laços aninhados com os recursos de processamento disponíveis. O Escalonamento é realizado visando promover um balanceamento de carga adequado entre os recursos de processamento.

A solução paralela pode ser implementada em um computador multicores, um *cluster* físico ou virtual Em um *cluster* virtual a solução proposta pode refletir em um menor custo na alocação de máquinas virtuais. São ativadas máquinas virtuais de forma a não ultrapassar o número de recursos de processamento definida pela solução paralela.

A. Estrategia de Paralelização

A estratégia de paralelização da solução consiste na realização de determinados procedimentos para paralelizar as iterações dos laços aninhados. O Algoritmo 1 ilustra 3 laços aninhados com processamentos heterogêneos. Neste algoritmo, para cada valores de *i, j* e *k* é realizada uma chamada para a função `function_x`.

Algorithm 1 Exemplo de laços aninhados com processamento heterogêneos.

```
1: for i = 0 to m do
2:     for j = 0 to n do
3:         for k = 0 to l do
4:             function_x[i,j,k]
5:         end for
6:     end for
7: end for
```

A Estratégia da solução proposta é demonstrada no Algoritmo 2

Algorithm 2 Estratégia de Paralelização.

```
1: if há loops aninhados then
2:     lineariza, obtendo um único loop.
3: else
4:     use o único loop.
5: prepara as iterações do único loop para o processamento.
6: defina a quantidade de recursos que será utilizada no
   processamento.
7: escalona as iterações do único loop para os processadores.
8: processa em paralelo as iterações do único laço.
```

A etapa de linearização é realizada pelo programador, e as etapas 6, 7 and 8 são realizadas automaticamente pela aplicação.

B. Estrutura da Aplicação Paralela

Na etapa de preparação, informações sobre as iterações do único loop são especificadas em estruturas chamadas de `task`. As informações especificadas são: nome da computação, tempo de execução e índices dos loops. A Figura 1 ilustra um exemplo de `task`.

Figura 1. Example of Task

Cada `task` é um elemento de um vetor chamado de `task_vector`. A estratégia de paralelização é baseada em um escalonamento e execução de cada elemento de `task_vector` pelos recursos de processamento. A implementação da estratégia de paralelização, é baseada em uma organização de aplicação paralela especifica. A aplicação paralela é estruturada em quatro fases: Coleta de Tempo, Calculo do número de recurso de processamento, Escalonamento e Processamento.

Na Coleta de Tempo é lido o tempo de execução das tarefas armazenadas em arquivo. Os tempos são medidos e armazenados em tempo de execução da aplicação. Na primeira execução da aplicação, são adotados valores padrões. A partir da segunda execução, são considerados os tempos de execuções armazenados em arquivo. Os tempos obtidos nesta fase são passados para as demais fases da aplicação.

Na fase de Calculo do número de recursos de processamento, calcula-se o número de recursos de processamento que melhora o desempenho da aplicação e que, não ultrapassa a quantidade de recursos disponíveis. Um número maior do que o número definido por esta fase, não iria trazer um melhor desempenho para a aplicação. O número calculado por esta fase pode ser melhorado na fase de escalonamento.

A fase de escalonamento realiza a atribuição de tarefa para os processadores. Nesta fase, são criadas listas de tarefas para cada recurso de processamento. Inicialmente, a quantidade de listas criadas é definida pelo número calculado pela fase de calculo do número de recursos de processamento. No algoritmo de escalonamento é atribuída a tarefa de maior peso para aquele recurso com a menor carga de trabalho acumulada. Todos elementos de `task_vector` são escalonados entre os recursos de processamento. Quando todos elementos de

`task_vector` forem escalonados, é verificado se o tempo mínimo de processamento foi obtido. Caso o tempo mínimo de processamento não for alcançado, é somado um no número de recursos de processamento e o escalonamento é realizado novamente. O tempo mínimo de processamento é definido como sendo o maior tempo de execução das computações heterogêneas presentes dentro dos laços aninhados.

A Figura 2 apresenta um fluxograma da estratégia de paralelização da solução paralela.

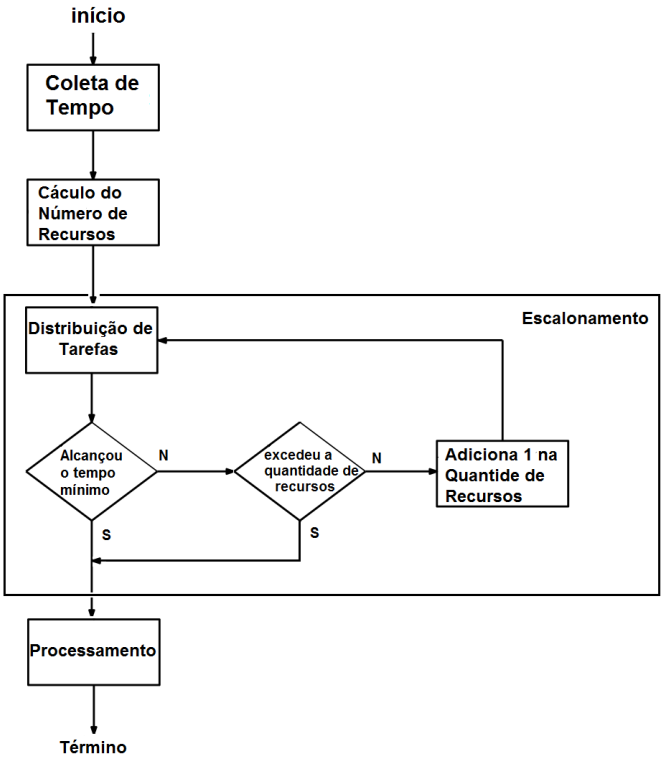


Figura 2. Fluograma da estratégia de paralelização.

III. Results

Os resultados apresentados nesta seção foram obtidos com a implementação da solução proposta em uma máquina com múltiplo núcleos. Esta possui 2 processadores Intel Xeon processors CPU E52650 de 2.00GHz, 16 GB de memória RAM e opera com sistema operacional Linux na distribuição CentOS v.6.7. Cada processador Intel Xeon CPU E52650 contêm 8 núcleos de processamento, totalizando 16 núcleos disponíveis no processamento.

A Figura 3 mostra os resultados obtidos com a implementação da solução paralela proposta. A implementação da solução proposta, foi implementada na linguagem C. Nos testes, foi utilizada a função `sleep` da linguagem C para simular execuções de tarefas computacionais. O tempo de cada tarefa computacional foi definido aleatoriamente utilizando a função `random` da linguagem C. Foram geradas 20 tarefas computacionais, onde o maior tempo foi de 7 minutos.

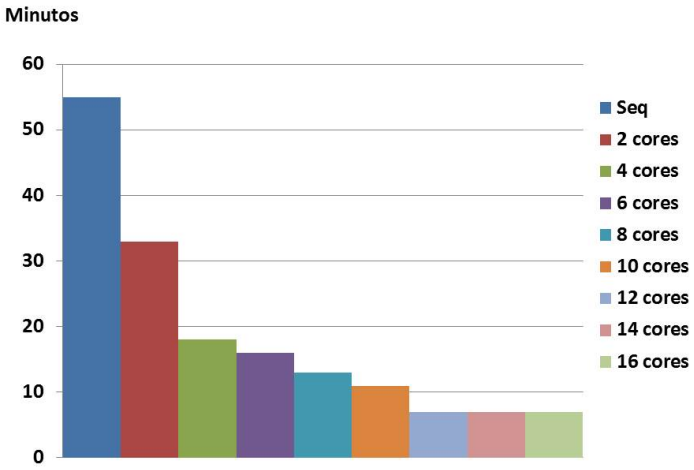


Figura 3. Resultados.

No gráfico apresentado na Figura 3 é possível perceber que o tempo de processamento sequencial das 20 tarefas foi de 55 minutos. Para este cenário, a solução proposta definiu que 12 recursos de processamento é a quantidade ideal para processar as 20 tarefas computacionais em um tempo mínimo de 7 minutos. Neste cenário, é possível concluir que, mesmo ao adicionar mais recursos de processamento, não seria possível obter um melhor desempenho, como é mostrado na execução com 14 e 16 cores. O tempo de processamento manteve-se estável ao adicionar mais recursos de processamento.

IV. Trabalhos Relacionados

Nos últimos anos, algoritmos estáticos têm sido propostos para paralelizar laços com dependências uniformes para redes com computadores heterogêneos. No entanto, a heterogeneidade e a natureza dinâmica dessas redes exigem uma solução dinâmica para os problemas de balanceamento e escalonamento. Ao mesmo tempo, muitos algoritmos de escalonamento dinâmicos têm sido propostos, entretanto, todos eles lidam com laços paralelos, ou seja, laços sem dependências. Em [5], Ionannis e Panagiotis estenderam a aplicabilidade dos algoritmos dinâmicos para apresentar um algoritmo de escalonamento que escalona tarefas com dependências de dados. O algoritmo proposto por Ionannis e Panagiotis pode ser aplicado para ambientes homogêneos ou heterogêneos. Este artigo demonstra que os resultados obtidos com algoritmos de balanceamento de carga dinâmicos são mais adequados para o escalonamento de laços aninhados com dependência uniforme em redes com computadores heterogêneos ou homogêneos. Em suma, o trabalho [5] apresenta um algoritmo de escalonamento dinâmico para laços aninhados com dependências uniformes, para serem executadas em redes com computadores heterogêneos. Em [5] há uma preocupação em escalonar laços aninhados para ambientes heterogêneos. Já o nosso trabalho

se preocupa em paralelizar e escalonar as computações heterogêneas presentes no laços aninhados, levando em conta a relação entre custo de processamento e recursos disponíveis.

Em [6] é apresentanda uma abordagem para o escalonamento de laços híbridos em *clusters* heterogêneos. A abordagem combina as vantagens dos algoritmos de escalonamento dinâmico e estático. Este artigo apresenta as seguintes contribuições: a abordagem proposta pode ser empregada para *clusters* heterogêneos ou homogêneos e a criação de uma função para estimar o desempenho de cada nó no *cluster*. Para propor essa abordagem Wen-Chung, Chao-Tung, Ping-I e Shian-Shyong se baseiaram no algoritmo descrito em [6]. A abordagem apresentada em [6] preve a utilização do algoritmo apresentado em [6] e uma função de desempenho que obtém o desempenho de cada nó no *cluster*. Com o desempenho de cada nó, o escalonamento é feito de forma a promover o balanceamento de carga entre os n nós de um *cluster*. Em síntese, o trabalho apresentado em [6] apresenta uma abordagem para escalonar laços híbridos em *cluster* com computadores heterogêneos. trabalho apresentado em [6] apresenta alguns aspectos que o nosso trabalho não se preocupa. Em [6] a abordagem proposta apenas considera o escalonamento de laços híbridos. Já em nossa proposta há uma preocupação no escalonamento das computações heterogêneas realizadas dentro de laços aninhados visando uma otimização dos recursos computacionais. Em [6] é utilizado um *cluster* com a quantidade de nós heterogêneos já estabelecidos definidos. O nosso trabalho propõem uma metodologia que irá calcular a quantidade de recursos de processamento necessários para escalonar e executar as tarefas de forma eficiente levando em conta o tempo de processamento e a quantidade de recursos disponíveis.

Em [2] é apresentada uma ferramenta para a paralelização de laços aninhados em multicomputadores com memória distribuída. Para propor essa ferramenta, é utilizada uma técnica chamada de *grouping*. Essa técnica identifica padrões de particionamento em laços aninhados com ou sem dependência de dados. A técnica de *grouping* é baseada nos conceitos de *pipeline* e de computação paralela. Com *grouping*, além de poder particionar os laços aninhados de forma eficiente é possível obter um balanceamento de carga em computação multicomputadores. A técnica *grouping* utiliza as iterações como a unidade básica para a particionar e manter as iterações dos laços aninhados juntas. Dessa forma, a estrutura interna de uma iteração não é de grande preocupação na hora de realizar a partição. A ferramenta proposta em [2] foi desenvolvida em PASCAl e possui uma interface gráfica de fácil acesso para os usuários. A saída da ferra consiste de 2 telas, sendo que uma mostra a declaração dos laços aninhados e a outra mostra a sugestão de partição dos laços aninhados Em suma, em [2] é apresentada uma ferramenta para a paralelização de laços aninhados em multicomputadores. A ferramenta incorpora a técnica *grouping* para particionar os laços aninhados com dependência de dados. O resultado do grouping é um pipeline que fornece um balanceamento na computação dos laços aninhados. O trabalho apresentado em [2] apresenta alguns aspectos que a nossa solução não considera. Em [2] os autores apenas se preocuparam em escalonar os laços aninhados, entretanto, a solução proposta no nosso trabalho se preocupa em escalonar os laços aninhados levando em consideração as computações heterogêneas realizadas dentro dos laços aninhados.

V. Conclusion

Este artigo apresenta uma solução para paralelização de laços aninhados com processamento heterogêneo em sistemas paralelos e distribuídos. A solução proposta neste artigo, também realiza uma otimização no uso dos recursos de processamento. A otimização é necessária para diminuir a ociosidade entre os recursos de processamento, causada pela heterogeneidade dos tempos de execuções das computações heterógenas presentes dentro dos laços aninhados. Até o momento, foi realizado uma implementação da solução e proposta e foram obtidos resultados sobre uma execução paralela da solução. Os resultados presentados neste artigo mostram a viabilidade da solução proposta neste artigo.

Acknowledgment

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa.

Referências

[1] V.S. SUNDERAM - PVM: A framework for parallel distributed computing *CONCURRENCY PRACIICE AND EXPERIENCE, VOL. 2(4), 315-339 (DECEMBER 1990)*

[2] Chung-Ta King and Ing-Ren Kau. - Parallelizing nested loops on multicomputers-the grouping approach. *Computer Software and Applications Conference, 1989. COMPSAC 89., Proceedings of the 13th Annual International*.

[3] Gonzalo Vera and Remo Suppi - Integration of heterogeneous and non-dedicated environments for R. 2010 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing

[4] Jennifer Miller - Species Distribution Modeling. *Volume 4, Issue 6, pages 490-509, June 2010*

[5] R., Ionannis and T., Panagiotis - Dynamic Scheduling of Nested Loops with Uniform Dependencies in Heterogeneous Networks of Workstations. *8th International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks (ISPAN'05), 2005*.

[6] S., W.,-Chung, Y., C.,-Tung, and T., Shian-Shyon - A Hybrid Parallel Scheduling Scheme on Heterogeneous PC Clusters. Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, 2005. PDCAT 2005

Sustainability and innovation metrics applied in the production chain of Brazilian *software* companies

Métricas de sustentabilidade e inovação aplicadas na cadeia produtiva das empresas de *software* brasileiras

MACHADO, M.C.*; CARVALHO, T.C.M.B.*
*Laboratório de Sustentabilidade - Escola Politécnica - USP
mmachado@hotmail.com; terezacarvalho@usp.br

Resumo — Este estudo propõe analisar a relação das métricas de sustentabilidade e de inovação aplicadas na cadeia produtiva da indústria de *software*, e como esta intersecção pode contribuir para o crescimento e desenvolvimento das micros e pequenas empresas brasileiras que atuam neste segmento. Objetivando identificar quais as métricas estabelecidas na indústria de *software* e como estas métricas podem auxiliar na criação de inovação, serão realizados levantamentos em bases de dados acadêmicos e manuais de inovação que indiquem o comportamento destas empresas mediante a mensuração de sua capacidade de inovação. Ao verificar as atividades das empresas de *software*, poderá ter-se a percepção que estas são sustentáveis, dado que seu produto é produzido, distribuído e descartado eletronicamente, todavia o ciclo de vida deste produto requer dispositivos que consomem recursos naturais como água e energia, além dos materiais utilizados em sua produção como terras raras e outros minerais, que geram impactos ao meio ambiente. Voltando-se para as necessidades de desenvolvimento da indústria de *software* brasileira e a crescente necessidade de manter a sustentabilidade nos negócios, surge o desafio de identificar de que forma os indicadores de inovação e de sustentabilidade podem contribuir para a melhoria da cadeia produtiva do setor e fomentar seu desenvolvimento e crescimento econômico, gerando postos de trabalho e contribuindo para a melhoria da vida das pessoas.

Palavras-chave— ciclo de vida do produto, desenvolvimento de software, indicadores, indústria de software, inovação, métricas, sustentabilidade, sustentável.

I. INTRODUÇÃO

A indústria de *software* traz a inovação percebida em seus produtos e serviços, possuindo uma cadeia produtiva eminentemente eletrônica, com uma distribuição cibernética e descarte eletrônicos dos produtos, que pode ser entendido como uma cadeia produtiva sustentável, entretanto a mensuração das práticas sustentáveis do segmento encontra-se em estágios iniciais, assim como a verificação dos indicadores de inovação dos produtos ainda carece de melhorias.

Avaliar os impactos dos produtos de *software* é uma tarefa complexa devido a sua natureza, como foi observado na proposta de mensuração dos indicadores de sustentabilidade do modelo conceitual eSITP (*environmental sustainable IT performance*) que utilizando-se da estrutura de indicadores do BSC (*Balanced Scorecard*) gerou um conjunto de 20 indicadores que considera os aspectos econômicos, sociais e ambientais [1].

Outros modelos foram concebidos para analisar e medir a sustentabilidade na indústria de *software*, como o *GREEN IT* [2]–[4] e *GREEN SOFTWARE* [5] onde aborda-se os impactos do uso dos recursos naturais envolvidos na infraestrutura necessária para o uso efetivo do *software*, e o modelo *GREEN COMPUTER* [2] que compreende as questões de reuso e prolongamento da vida útil do *software* com uma solução mitigadora dos impactos gerados pela constante evolução dos *softwares* e o consequente descarte dos dispositivos e/ou equipamentos que fazem uso dos aplicativos [6].

No que tange ao ciclo de desenvolvimento do produto na indústria de *software* temos a análise do *Life Cycle Analysis* (LCA) que verifica a energia utilizada em cada etapa do processo produtivo, auxiliando as empresas de tecnologia a visualizar metas sustentáveis por meio da gestão de seus produtos e insumos, criando mecanismos que fomentem o descarte adequado dos resíduos eletrônicos gerados neste ciclo [7]–[9].

A utilização de modelos de medidas para avaliação de desempenho dentro das organizações apresenta-se como uma ferramenta gerencial amplamente utilizada, todavia os resultados obtidos podem não refletir as expectativas da alta administração [10], gerando a necessidade da elaboração de métricas, que podem ser definidas como uma mensuração verificável, expressa em modelos quantitativos ou qualitativos, tendo um ponto de referência definido e também mensurável [11].

Nas empresas de *software* o uso de métricas possui vários endereçamentos, como acompanhamento do desempenho e

produtividade da equipe, análise do dimensionamento do *software*/sistema a ser desenvolvido, mecanismo de verificação da qualidade do produto gerado, aderência do sistema aos requisitos do solicitante, dentre outras métricas mais técnicas, como avaliação da quantidade de código ou capacidade da infraestrutura necessária para o processamento dos dados da aplicação desenvolvida [12], [13].

Dentre os mecanismos utilizados para auxiliar os gestores das empresas de tecnologia na árdua missão de manter a competitividade, a qualidade e os custos, sem abrir mão da inovação, destacam-se o *Capability Maturity Model* (CMM), o *Personal Software Process* (PSP), e o *Software Process Improvement* (SPI) que surgiram como mecanismos de gestão no desenvolvimento de sistemas computacionais ao mesmo tempo foram apresentados como inovações dentro da indústria de *software*.

Neste cenário de competitividade sustentável, a inovação pode ser entendida como a capacidade de modificar as regras do jogo, possibilitando as organizações que a fazem demonstrar seu diferencial competitivo, abarcando novos mercados ou preservando mercados já conquistados, e mantendo-se como líder inovadora no mercado [13]. Na indústria de *software* a inovação também agrega a melhoria da gestão e da qualidade de seus produtos, a produtividade de suas equipes, o atendimento mais preciso das necessidades atuais e futuras dos clientes, conciliando prazos, custos e inovação constante [14].

Diante da eminente necessidade de fomentar a inovação tecnológica dos produtos e serviços na indústria de *software* brasileira que participa de um mercado globalizado onde a valorização das empresas de tecnologia vem superando a de outros segmentos, a exemplo do Google, a utilização de indicadores da sustentabilidade e da capacidade de inovação da cadeia produtiva de software sugere a realização de estudos que possam dar suporte as estratégias corporativas e governamentais que promovam o desenvolvimento por meio da inovação e o crescimento econômico regional sustentável.

II. PROJETO DE PESQUISA

A. *Contextualização do Problema*

A sustentabilidade encontra-se na pauta mundial das empresas, dos governos e das entidades não governamentais há três décadas, todavia a mensuração dos indicadores de sustentabilidade surgiu 10 anos mais tarde com a primeira versão do *Global Report Initiative* (GRI) em 1997, conforme demonstrado no quadro 1. Na indústria de *software* o tema vem ganhando corpo nos últimos 15 anos, com publicações de estudos sobre a sustentabilidade na área de tecnologia impulsionado pelas inovações tecnológicas que criaram a necessidade do consumo e consequente descarte dos equipamentos eletrônicos, e pela eminente escassez das matérias primas e recursos naturais [3], [15]–[17].

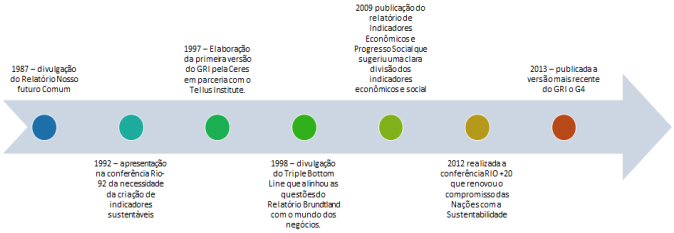


Figura 1 - Cronologia dos Indicadores da Sustentabilidade
Fonte: Machado, M.C., Análise da gestão da sustentabilidade nas empresas de software que empregam modelos de maturidade, Universidade Nove de Julho, 2016.

Em recente artigo publicado, Sikdar (2015) fez uma reflexão sobre os impactos ambientais da indústria de *software*, sugerindo que se poderia vincular a cadeia produtiva da manufatura do *hardware*, uma vez que o *software* não teria nenhuma utilidade sem este, sendo necessário a avaliação do conjunto para se analisar os reais impactos gerados pelo *software* [6].

Buscando uma nova leitura na relação entre o ciclo de vida do *software*, a sustentabilidade e a inovação, este estudo tem o propósito de analisar a sustentabilidade na indústria de *software* sob as três dimensões preconizada por Elkington, a saber: Ambiental, Econômica e Social [18], aliada as métricas de inovação que avaliam o grau de avanço da indústria [19] e ao ciclo de vida dos produtos gerados no segmento, para responder a questão de pesquisa que motiva este estudo - Qual a relação entre as métricas de sustentabilidade e de inovação na cadeia produtiva de *software* da indústria brasileira para geração de trabalho, renda e novos produtos e serviços?

B. *Objetivos*

A pesquisa tem como objetivo geral analisar a mensuração da inovação sustentável na cadeia produtiva da indústria de *software* brasileira com vistas ao desenvolvimento de um *framework* que auxilie as empresas na conquista e manutenção da competitividade dentro do mercado globalizado.

1- Objetivos Específicos

a) Levantar e analisar quais os modelos e tecnologias adota-se no processo produtivo;
b) Identificar quais os modelos de logística são praticados e qual a relação destes modelos com o produto gerado na empresa;
c) Levantar quais as práticas sustentáveis são adotadas nas empresas e como são mensuradas;
d) Identificar as relações da sustentabilidade com a cadeia produtiva na indústria de *software*;
e) Verificar quais os mecanismos de fomento da inovação e como esta inovação é qualificada;

f) Analisar os modelos de métricas de inovação existentes e como estes indicadores são utilizados na indústria de *software*;
g) Identificar as relações da inovação e da sustentabilidade aplicadas na indústria de *software*;
h) Analisar como os indicadores de inovação e sustentabilidade podem contribuir para o desenvolvimento das empresas.

C. Justificativas

A indústria de *software* está inserida em quase todos os segmentos corporativos, assim como o *software* encontra-se completamente inserido na vida das pessoas, seja no âmbito profissional, educacional ou pessoal, condição esta que denota sua importância no mundo contemporâneo, aliado a crescente urgência de identificar mecanismos de controle e mitigação dos impactos gerados pelo uso e descarte, seja por obsolescência, consumo desenfreado ou sobrevivência das empresas.

Neste cenário um estudo aprofundado que esclareça, mesmo que em pequena escala, como as empresas poderão manter suas atividades de forma sustentável e gerando inovações apresenta-se como uma questão a ser respondida.

No Brasil a indústria de *software* possui papel relevante na economia, representa por 4.408 empresas que se dedicam ao desenvolvimento e produção de *software*, segundo informação da Associação Brasileira das Empresas de *Software* (ABES,2016).

III. REVISÃO DA LITERATURA

Neste item apresenta-se os temas a serem abordados na revisão da literatura a ser utilizada para este estudo proposto.

A. Cadeia produtiva de software e Sustentabilidade

Avaliação da cadeia produtiva de software no que tange aos processos utilizados, aos produtos gerados e a logística empregada para distribuição dos produtos e serviços. Nesta avaliação serão considerados os princípios da sustentabilidade, a saber: Ambiental, Econômico e Social - que aplicados e mensurados dentro de padrões mundialmente estabelecidos permitem desenhar um quadro atualizado da cadeia produtiva sustentável.

B. Ciclo de vida do software e Inovação

Analise do ciclo de vida do software e suas relações com a inovação, observando-se quais os indicadores de inovação são considerados para que um produto tenha seu ciclo de vida descontinuado e/ou encerrado, quais os impactos foram avaliados e quais as métricas são utilizadas para medir a eficiência da inovação aplicada

C. Ciclo de vida e cadeia de produtiva versus Sustentabilidade versus Inovação

Avaliação do ciclo de vida na cadeia produtiva de software considerando-se os aspectos de sustentabilidade mensurados e os indicadores de inovação incremental ou radical utilizados na geração de novos produtos, para compor um quadro dos relacionamentos existentes e dos indicadores utilizados e quais podem emergir para avaliar a inovação sustentável na indústria de software.

D. Estudos Comparativos

O modelo conceitual proposto por MOLLA (2013) denominado de eSITP (*environmental sustainable IT performance*) agrega as dimensões da eco-sustentabilidade, da eco-governança, do eco-processo e do eco-aprendizado, adotando a estrutura de indicadores do BSC como fonte para gerar um conjunto de 20 indicadores que abrange todo o ciclo produtivo da indústria de tecnologia considerando os aspectos econômicos, sociais e ambientais [1]. Este modelo de indicadores será avaliado com o objetivo de subsidiar a elaboração do framework a ser proposto por este estudo.

IV. METODOLOGIA

A. Modelo Teórico Proposto

O modelo teórico pode ser caracterizado pela demonstração de ideias fundamentadas na teoria ou como uma interpretação de uma teoria que favorece as análises mais claras e precisas. Os modelos não são exclusivamente de natureza mecânica ou de caráter de visibilidade, eles também podem refletir um sistema ou processo e serem constituídos de poucas variáveis, e demonstrarem que as relações mais significantes são identificadas e estudadas [20].

O modelo teórico proposto para esta pesquisa utiliza os conceitos da Cadeia Produtiva e Ciclo de Vida do Produto, os Indicadores de Sustentabilidade Ambiental, Econômico e Social direcionados à indústria de software, e as Métricas de Inovação que avaliam a capacidade de inovar, procurando estabelecer uma integração entre a cadeia produtiva e a sustentabilidade e relacionando estas com a capacidade de inovação possibilitando o aprimoramento, o desenvolvimento e crescimento da indústria de software brasileira conforme demonstrado na figura 2.

B. Metodologia

Serão empregados os métodos quantitativos e qualitativos de pesquisa e suas ferramentas de coleta (*survey*, entrevistas semiestruturadas e estudo de casos múltiplos) e análise de dados (documental, conteúdo, técnicas multivariadas, uso de *software* estatístico) com forte pesquisa bibliográfica que confira subsídios aos achados [21], [22], [23], [24], [25], [26].

A coleta de dados será realizada utilizando-se pesquisa eletrônica, entrevistas semiestruturadas e análise documental das empresas que forem analisadas e que disponibilizarem

seus documentos diretamente ou indiretamente por meio de sites ou portais corporativos [27], [28], [29], [30].

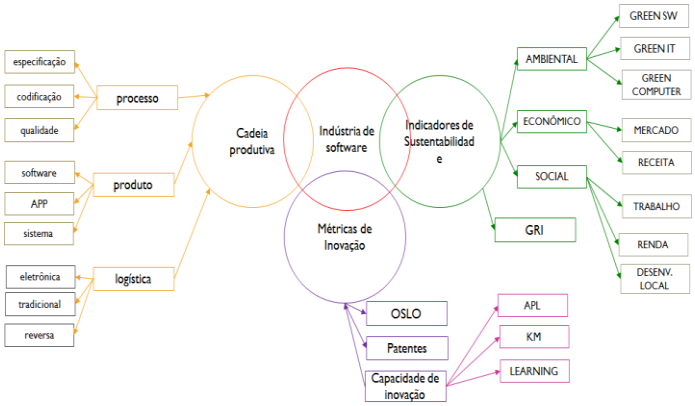


Figura 2 - Modelo teórico proposto

Fonte: Autora

REFERENCES

[1] A. Molla, "Identifying IT sustainability performance drivers: Instrument development and validation," *Inf. Syst. Front.*, vol. 15, no. 5, pp. 705–723, 2013.

[2] R. R. Harmon, H. Demirkan, N. Auseklis, and M. Reinoso, "From Green Computing to Sustainable IT: Developing a Sustainable Service Orientation," in *2010 43rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 2010, pp. 1–10.

[3] S. Murugesan and G. R. Gangadharan, "Harnessing Green It: Principles and Practices," *Harnessing Green It Princ. Pract.*, no. February, 2008..

[4] J. Ferri, R. M. De Barros, and J. D. Brancher, "Proposal for a framework focus on sustainability," *Proc. - Int. Conf. Chil. Comput. Sci. Soc. SCCC*, pp. 127–134, 2012.

[5] T. Johann, M. Dick, E. Kern, and S. Naumann, "Sustainable development, sustainable software, and sustainable software engineering: An integrated approach," *2011 International Symposium on Humanities, Science and Engineering Research*. pp. 34–39, 2011.

[6] S. K. Sikdar, "Is the software industry environmentally benign?," *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 17, pp. 821–822, 2015.

[7] S. Murugesan, "Harnessing green IT: Principles and practices," *IT Prof.*, vol. 10, no. 1, pp. 24–33, 2008.

[8] N. Rahman and S. Akhter, "Incorporating sustainability into information technology management," *Int. J. Technol. Manag. Sustain. Dev.*, vol. 9, no. 2, pp. 95–111, Nov. 2010.

[9] F. Albertao, J. Xiao, C. Tian, Y. Lu, K. Q. Zhang, and C. Liu, "Measuring the Sustainability Performance of Software Projects," *E-bus. Eng. (ICEBE), 2010 IEEE 7th Int. Conf.*, pp. 369–373, Nov. 2010..

[10] M. Franco-Santos and M. Bourne, "An examination of the literature relating to issues affecting how companies manage through measures," *Prod. Plan. Control*, vol. 16, no. 2, pp. 114–124, Mar. 2005.

[11] S. A. Melnyk, D. M. Stewart, and M. Swink, "Metrics and performance measurement in operations management: dealing with the metrics maze," *J. Oper. Manag.*, vol. 22, no. 3, pp. 209–218, Jun. 2004.

[12] A. Gopal, M. S. Krishnan, T. Mukhopadhyay, and D. R. Goldenson, "Measurement programs in software development: determinants of success," *IEEE Trans. Softw. Eng.*, vol. 28, no. 9, pp. 863–875, Sep. 2002.

[13] H. Edison, N. bin Ali, and R. Torkar, "Towards innovation measurement in the software industry," *J. Syst. Softw.*, vol. 86, no. 5, pp. 1390–1407, May 2013.

[14] I. Ivan and M. L. Despa, "Statistical Indicators for Measuring Innovation in IT Project Management," Procedia Econ. Financ., vol. 10, no. 14, pp. 167–177, 2014.

[15] J. R. Baumgartner and D. Ebner, "Corporate sustainability strategies: sustainability profiles and maturity levels," Sustain. Dev., vol. 18, no. 2, pp. 76–89, 2010.

[16] F. Berkhout and J. Hertin, "Impacts of Information and Communication Technologies on Energy Efficiency," 2001.

[17] S. Murugesan and G. R. Gangadharan, "Sustainable Information Systems and Green Metrics," Harnessing Green IT:Principles and Practices. Wiley-IEEE Press, p. 432, 2012.

[18] J. Elkington, Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business, vol. 23, no. 3. New Society Publishers, 1998.

[19] OCDE, Oslo Manual - Inglês - Terceira Edição, vol. Third edit. 2005.

[20] G. de A. Martins and C. R. Theóphilo, Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas. Atlas, 2009.

[21] R. Collis, Jill; Hussey, "Pesquisa em Administração," in Pesquisa em Administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação, 2nd ed., Porto Alegre, RS: Bookman, 2005, p. 349.

[22] J. C. Koche, Fundamentos de Metodologia Científica, Digital. Petrópolis, RJ, 2011.

[23] A. S. Godoy, "Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades," Rev. Chil. Educ. Científica, vol. 35, no. pesquisa qualitativa, pp. 57–63, 1995.

[24] J. W. Creswell, Investigação Qualitativa e Projeto de Pesquisa - 3.ed.: Escolhendo entre Cinco Abordagens, 3rd ed. Porto Alegre, RS: Penso Editora, 2014.

[25] R. K. Yin and A. Trorell, Estudo de caso: planejamento e métodos. Bookman, 2010.

[26] J. F. Hair, B. Babin, A. H. Money, and P. Samoel, Fundamentos de Métodos de Pesquisa em Administração. 2005.

[27] J. W. Creswell, "Padrões de validação e avaliação," in Investigação Qualitativa e Projeto de Pesquisa, 3rd ed., Porto Alegre, RS: Penso Editora, 2014, p. 335.

[28] M. W. Bauer and G. Gaskell, "Análise de Conteúdo Clássica: Uma Revisão," in Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático, 7th ed., Vozes, 2008, p. 516.

[29] N. K. Malhotra, Pesquisa de Marketing: Uma Orientação Aplicada, 4th ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2006.

[30] A. Bryman and D. Cramer, Quantitative Data Analysis with SPSS Release 10 for Windows: A Guide for Social Scientist. 2001.

A Proposal for an Approach to Support Sharing, Reusing and Analysis of Usability Testing Integrated Data

COLETI, T. A.[*]; CORREA, P. L. P.[*]; MORANDINI, M.[**]
[*]School of Engineering of University of Sao Paulo
[**] School of Arts, Science and Humanities of University of São Paulo
{thiagocoleti, pedro.correa, m.morandini}@usp.br

***Abstract*— Usability tests are widely performed in interactive systems to identify problems in the interaction and in the user experience. The tests are usually supported by software that provide data as images, audio, text files and other that are used to analyze user and software behavior and, case necessary, improve HCI requirements for the software. However, data created by these tools are usually analyzed just by it since each application creates data according to it needs and requirements. This paper presents a proposal of an approach to support the usability testing data sharing, reuse, integration and analysis. Probably based on metadata standards and application profile the approach aims to allow the interoperability between systems that support usability tests.**

***Keywords*— Usability testing; Application Profiles; Interoperability; Data analysis.**

I. INTRODUCTION

Usability test is a group of activities that aims to verify whether the software interface and interaction are appropriate to provide a good experience for the user [4]. These activities are considered important to support the software Human Computer Interaction (HCI) design since the designers usually does not know who the final users are and should understand how the software HCI is used and its impacts. Also, the evolution of interfaces improved the user perception about usability leading to an expectant about the HCI quality [7].

Several methods and techniques were created to support usability tests such as questionnaires, observation and verbalization [2] and many computational resources as software for filming such as Morae,[1] for verbalization an speech recognition such as ErgoSV [3], log files as Ergo-Monitor [6] and remote usability test [8] were developed in order to automate the data collection and the analysis process [4]. These software and others similar were created to provide data to support the collect and analysis of data to improvement HCI specification providing data as videos, audios, texts, numbers that are used to create qualitative and quantitative information.

However, tests' data are usually processed just by the owner application avoiding the sharing and reusing by other tools or the data proliferation that needs to be analyzed in conjunction with data from other software. It happens because the applications developed for usability test does not consider interoperability features that refer to the capacity of communication and data exchange among different systems without user interference [5].

Thus, the data analysis is performed using just a specific group of data and the comparison or the reuse of the data is hampered. Also, many groups of researchers and industries focused on HCI development could share their data to be analyzed by different designers in order to improve their HCI specifications and/or compare data about different tests and user behavior. However, this is a complex task considering that different usability tests create different data types.

A strategy based on metadata standards and Application Profile (PA) can provide an approach to allow usability test data sharing, reusing, integration and analysis. The approach will be based on the hypothesis that the uses of usability tests' data outside the system boundaries, in conjunction with data from other systems and using techniques for integrated usability testing data analysis can create and improve the ability to manage HCI requirements.

Considering this gap, this project proposes an approach to provide resources for test gathering and analyzing test data. The main contribution is the proposition of an environment where data from different software can be standardized and visualized with the same features allowing a more complex analysis and a better contribution for the improvement of software HCI.

Next section presents the bibliographic review.

II. BIBLIOGRAPHIC REVIEW

This section presents the bibliographic review about the main subjects that support this research.

A. Usability Testing

Usability Testing is a group of activities that aims to evaluate the quality of the interaction between user and the software [4]. This kind of usability evaluations works not only to inspect ergonomic problems, but it should be applied to identify and measure interaction problems and how these problems interfere in the user tasks [4].

Usability tests are usually performed with real users that emulate real or close to real situations of use. The elaboration of usability test is not easy or simple due to the reason that

[1] https://www.techsmith.com/morae.html

requires a complex infrastructure of people, computers, environment and process to be achieved [4].

Although complex, usability testing should be irreplaceable activity due to the reason that users desire usable software with good experience in use, easy to use and, mainly, an interface that allow the realization of their tasks without problems or barriers to the use [7].

Performing usability testing is not a simple task; it requires a process to ensure that this activity can provide real and appropriate data to improve HCI quality. Tasks such as: preparing a test protocol; selecting and training the participants; establishing a strategy for data collection; and establishing a data analysis approach [2].

The test protocol can be a document containing all the stages, rules and activities for the testing. With this document the evaluator can prepare the environment for the tests. The participant selection is a critical stage due to the reason that the participants will provide data for HCI analysis, so, the evaluation team should chose participants closely related with the final use of the software [2].

Usability Test Data collection process is one of the most important concerns of usability testing. This stage must provide data to create information to improve the HCI requirements and the user experience in the HCI software experience [7] and due to this reason the choice of an appropriate strategy is really important since it must really interfere in usability testing procedures, generation of data, quality of data and participant´s behavior [4].

In usability testing the use of papers for notes is traditional, but is an expensive and a difficult task for evaluator and participant. Due to this reason cameras for filming, voice recorders (verbalization), snapshot (images) of the interface and log files are example of techniques to support the data collection [2, 3, 4].

The resources presented can be used through software developed in order to support usability testing, for example: Morae [2] and ErgoSV [3] used to collect data as images and audio; ErgoMonitor [6] used to collect data as text registered in log files [4]. All these software provide data to create reports to be used as parameter for HCI specifications to improve interfaces features and to be used in future usability testing [7].

Usability tests usually provide qualitative, quantitative or both information. Qualitative reports present theories and specifications using text and arguments that can be analyzed and interpreted by readers generating more than one perspective. Quantitative results provide numbers, tables, and charts containing information about the tests. Usually, quantitative reports do not allow several interpretations. Although different approaches of results, both type of reports should be headed to HCI team to analyze and improve interfaces specifications [7].

Next section presents data about Interoperability and Application Profile.

[2] https://www.techsmith.com/morae.html

B. Interoperability and Application Profile

Data sharing between different systems is a requirement that guides the software development. Also, the data communication should work without user efforts, i.e., this ability must be deployed in the software. This feature can be performed applying the interoperability concept [5].

Interoperability is the software's ability to communicate, work seamlessly and share relevant information with meaning between different computer applications with advance preparation [5].

To accomplish the interoperability between systems the use of PA can be applied. PA is a group of rules, requirements, recommendations and relationship that allow the interoperability between systems with similar objectives [5]. The PAs are usually based on data/metadata standards such as Darwin Core (TDWG) or Dublin Core Metadata Initiative (DCMI) or Resource Description Framework (RDF). However, a PA needs to specify more detailed the concepts and definitions and presents a variety of documents that must guide it use. In some sense, a PA can result in release created based on several metadata standards [5].

The PA can also provide a group of resources such as ontology's and vocabularies related to the terms used in the data standards. Each vocabulary must be described with their meaning allowing a correctness understanding and use by software, project and each other objects that desire it [5].

An Application Profile example based on Dublin Core Metadata Initiative can be finding at [1]. The website presents details that describe the application profile for collection-level description. Information such as vocabularies and properties are explained, for example, for this PA some properties were applied to mapping collections of documents such: Title, Language, Rights, Owner and others.

Thus, Metadata Standards and PA are two components related and essential to the deployment and application of interoperability allowing different system change, share and reusing data.

Next section presents the proposed approach.

III. PROPOSED APPROACH

The proposed approach aims to provide computational resources to allow the sharing, the reuse and the analysis of usability test integrated data. Usability tests are usually supported by specific software that creates data to be analyzed just by itself, avoiding the comparison and the use by different applications.

The Figure 1 presents the proposed approach. Considering that this research is in initial stage, the evolution of the research can provide future improvements for the model.

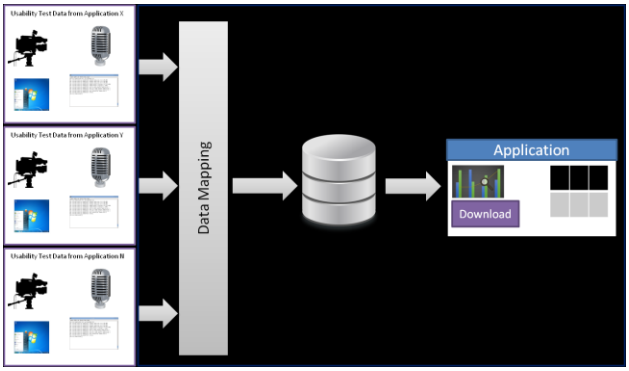


Fig. 1. Approach Proposed first Release.

The frame "Usability Test Data from…" refers to several software that can support usability testing and provide data to be analyzed. For this research we are considering just usability testing that provide data using video cameras, microphone (verbalization), snapshots and log files.

These data were chosen based on studies performed by [3, 4, 6] that proposed tools to support usability testing and user observation. However, others type of data can be included, or changed during research evolution. The software to support usability testing in some sense is not part of the approach, but it just have to provide any data to be mapped.

The main research challenge is presented in the frame named "Proposed Approach", that shows the resources that aim to support the tasks: (1) Data Mapping; (2) Mapped Data Storage; and (3) Data Visualization and Analysis.

The Data Mapping Component is considered the more complex development stage of this research due to the reason that this component will perform the data mapping (video, audio, images and others data type) to a structure provided by an PA developed to support the share, reuse and analysis of usability test integrated data. The Data Mapping process will not just adapt data from a database standard for another one, but also should apply the concept of interoperability and web semantic providing meaning to data allowing the understanding in different applications.

The database structure is the second component proposed to the approach and should be developed in order to store the data after the mapping process, i.e., the data should be ready to be reused and integrated. The choice of the best database strategy is really a challenge since it should allow the storage and recuperate data. The use Relational or No-SQL database or a combination of both is a problem to be solved. Is important to highlight that the database structure intends to be used by an application (software) that will be developed as part of this research to provide functions to share, reuse and analyze data.

The application to use the approach's resource will be developed to validate the proposed approach. This tool should be used to perform an integrated data analysis among different usability test tool data through the use of images, charts, tables, data review and other resources that could be developed. Also, this software should provide resource to download data mapped to be used in several software.

The proposed approach development is being performed in more than one stage and for each stage a result is desired to be used or used in the next stage.

Considering a great amount of usability testing approaches and software create to help this HCI development stage, a survey to identify the main data type used to collect data and generate information must be done. This survey is not a simple search due to the reason that thousand of papers related to this subject are published. Only in IEEE Xplore Digital Library[3] a basic search with the terms "Usability Test" returns about 3.000 papers.

The survey should provide data to identify which are the main data types used to collect information about user experience in the interface and how these data are used and analyzed. With these data we intend to establish the data types supported by the proposed approach and use it to apply a better mapping using the PA.

After, a study in several metadata standards such as RDF and Dublin Core will be performed in order to understand each one and based on these standards create a PA to support the interoperability between usability testing´ data. Highlighting that this research aims to provide a PA to usability test data and it can require significant adjustments or extension development for possible metadata standards.

In a third development stage considering the mapping strategy and the PA developed, a software will be developed to work with the PA allowing the data integration from different software for usability testing. This software should have resources to visualize, analyze, compare and download data based the needs of an usability evaluator.

For example, the user will make a download of data related to specific software. The data will be mapped and the user can choose if they want data from just one usability test software or data from several software. Also the user will also performs comparison and analysis using data from different test tools directly in the research application.

In order to validate this approach the follow activities are scheduled to be performed:

Select a group of website or desktop applications to evaluate their usability. Websites and desktop applications used to manage biodiversity and climate changes are examples of software to be evaluated;

Create a test protocol to establish the tests procedures to be realized by the participants and the usability criteria to be analyzed in the usability evaluation;

Perform usability evaluation and data analysis using different applications to collect data of user

[3] http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp

and interaction behavior and analyze data separately using just the resources available by the specific software;

Apply usability testing using resources to collect data: filming (video camera), verbalization (audio recorder or text note); interface snapshots and log files (text files). The data type and format will not be a requirement to the application that will support the tests since the process of standardization of these data is part of this research contribution;

Using the proposed approach, perform the data mapping from different applications in order to allow the sharing, reusing and the integrated data analysis; and

Performing a data analysis using the resources provided by the proposed approach. To accomplish it we intend to use data from different software and mapped the data using de metadata standard and the PA created in this research. The mapped data should be used to share information among systems and to generated reports using data from several tools for usability testing.

Next section presents the final considerations.

IV. FINAL CONSIDERATIONS

This paper presented the proposition of an approach to support the usability test data share, reuse and integrated data analysis. The approach is in initial stage of development and aim to provide resource to combine data and create information more consistently and complete making good requirements to improve the HCI experience in a software.

The approach development will be based on the use of metadata standards and application profiles due to the reason that these resources allow the data interoperability and so, a common data understand among different systems. The metadata standards to be use is still a challenge because is necessary to find one appropriate to work with usability testing data, but we are assuming that changes or extension must be required in choose metadata.

The validation process consists in the comparison of a information generated just by a usability test software versus information created by the proposed approach presenting how the proposed approach improve the data analysis and the HCI requirements specification.

REFERENCES

[1] http://www.ukoln.ac.uk/metadata/dcmi/collection-application-profile/ Accessed on 2016-08-20.

[2] BENYON, D. Interação humano-computador. [S.l.]: Pearson Brasil, 2011.

[3] COLETI, T.A, MORANDINI, M., CORRÊA, P. L. P AND BOSCARIOLI, C., Using Keywords to Support the Verbalization in Usability Evaluation. Proceedings of IHC´15 Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems. p. 322 – 331, 2015.

[4] CYBIS, W. A., BETIOL A. H., FAUST. R., Ergonomia e Usabilidade: Conhecimentos, Métodos e Técnicas, 2ed., Novatec, São Paulo, 2010.

[5] MALTA, M. C., Contributo Metodológico para o desenvolvimento de perfil de aplicação no contexto da Web Semântica. Braga: Universidade de Minho, 2014.

[6] MORANINI, M., Ergo-Monitor: Monitoramento da Usabilidade em Ambiente Web por Meio de Análise de Arquivos e Log, Teste de Doutorado Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistema, 2003.

[7] PREECE, J., ROGERS, Y. AND SHARP, H, Design de Interação, Além da interação homem computador. [S.l.]: Bookman, 2013.

[8] VARGAS, A., WEFFERS, H. T. G., ROCHA H. V., A method for remote and semi-automatic usability evaluation of web-based applications through users behavior analysis, 7th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research (MB'10, Eindhoven, The Netherlands, August 24-27, 2010). - New York : ACM, 2010.

A Reference Collaborative-Oriented Architecture for Structuring Information to Open Government Data

Uma Arquitetura de Referência Colaborativa para Estruturação de Dados Abertos Governamentais

CORRÊA, A. S.[*]; CORRÊA, P. L. P.*; SILVA, F. S. C.[†]
[*]Departamento de Engenharia de Computação/PCS - Universidade de São Paulo
[†]Instituto de Matemática e Estatística - Universidade de São Paulo
andreiwid@usp.br, pedro.correa@poli.usp.br, fcs@ime.usp.br

***Resumo*—O grande número de *websites* heterogêneos e sem padronização para divulgar informações sobre transparência pública é uma evidência do quão despreparados os governos se encontram a respeito do movimento denominado Dados Abertos Governamentais. Este cenário é encontrado no mundo todo, porém com evidência nas instituições onde os princípios de dados abertos ainda são novidade, sobretudo os governos locais. O Brasil, apesar de ser um dos oito países fundadores da *Open Government Partnership*, é um exemplo onde a legislação pouco cumprida e a falta de cultura de abertura dos registros públicos fazem com que recursos sejam desperdiçados na ineficaz disponibilização de documentos que dificultam obter o real benefício da transparência com dados abertos. Esta pesquisa objetiva definir uma arquitetura de referência para estruturação de dados a partir dos repositórios distribuídos caracterizados pelos *websites* de transparência. Os requisitos de qualidade da arquitetura foram identificados a partir dos problemas de disponibilização de dados em 561 *websites* municipais brasileiros. A arquitetura está sendo validada com base em seus requisitos de qualidade e por meio do esboço de sua implementação em um protótipo de software. A disseminação da arquitetura e sua instanciação permitirá à sociedade concentrar esforços na primordial atividade de crítica e consistência dos dados de transparência por possibilitar, além de outros, o processamento automatizado por máquina e o reuso dos dados para qualquer finalidade.**

Palavras-chave—Transparência; Dados Abertos Governamentais; Arquitetura de software

I. INTRODUÇÃO

O surgimento de legislação que visa garantir todo o processo de acesso às informações públicas ganha espaço nas democracias modernas e introduz uma diversidade de *websites* ou portais de transparência dedicados ao assunto [1]. Nesse contexto, a internet contribuiu enormemente por possibilitar o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) para, de um lado, satisfazer a sociedade por informação e, por outro lado, materializar o interesse dos governos em se tornar mais abertos e dialogar com a sociedade [2], [3].

Assim, o movimento denominado *Open Government Data* (OGD) emergiu e estabeleceu uma série de princípios conceituais e técnicos que visam guiar a abertura de registros públicos por intermédio do uso das TICs. Basicamente, para uma iniciativa ser considerada de acordo com os princípios de OGD, esta deve seguir requisitos para que os dados possam ser livremente usados, reutilizados e redistribuídos por qualquer um, para qualquer propósito [4].

A disponibilização de dados conforme OGD aumenta a possibilidade de análise dos registros públicos por permitir seu acesso sem restrições. Isso faz com que haja maior participação da sociedade, normalmente representada por críticos como jornalistas, economistas, cientistas políticos e outros. Desse modo, o desafio desses profissionais estaria direcionado à tarefa de crítica dos dados em si, e não ao tratamento ou processamento técnico para possibilitar sua análise.

Após iniciativas inéditas em prol de OGD introduzidas por Barack Obama no governo norte americano em 2009, houve outro importante passo em direção à abertura de registros públicos com a *Open Government Partinership* (OGP), na qual o Brasil foi um dos oito países fundadores. O principal desdobramento da participação do país na OGP foi o desenvolvimento e implementação da Lei de Acesso à Informação (LAI) [5].

Mesmo considerando estes importantes avanços, ainda há muito o que se fazer para transformar documentos em dados. Um dos principais problemas é o despreparo e o desconhecimento dos governos a respeito dos princípios de OGD. Isto se acentua no âmbito dos governos locais. Para agravar, encontra-se também disseminada na sociedade brasileira a cultura do segredo [5], que é caracterizada pelo entendimento de que quanto menos se sabe, menos se questiona.

Verifica-se, neste sentido, a proliferação de *websites* de transparência que são verdadeiros repositórios de documentos semelhantes a relatórios impressos, normalmente em PDF e HTML [6]. Assim, o acesso irrestrito aos dados fica comprometido, tendo em vista as limitações técnicas impostas por estes formatos.

Este trabalho objetiva definir uma arquitetura de referência para possibilitar a estruturação de documentos dispostos nos *websites* e repositórios de transparência existentes, com intuito de torná-los irrestritamente acessíveis para a crítica especializada sem as barreiras técnicas que impõem o tratamento e o processamento de formatos.

II. REQUISITOS DE QUALIDADE

Arquiteturas existem para construir sistemas que satisfaçam os denominados *Architecturally Significant Requirements* (ASR), os quais devem ter profundo efeito na arquitetura e satisfazer os objetivos do negócio. Os ASRs podem ser capturados de diversas formas, como a partir da interpretação do modelo de negócio, pela condução de entrevistas ou workshops com *stakeholders*, entre outros [7], [8].

Este trabalho levou em consideração os problemas de disponibilização de dados nos municípios brasileiros para identificação dos ASRs. Para isso, conduziu-se um levantamento em uma amostra de 561 *websites* municipais, a partir do método concebido pelos autores deste trabalho e detalhados em [6]. A Fig. 1 retrata os formatos preferenciais encontrados *websites* levantados e a Fig. 2 o atendimento dos requisitos técnicos para disponibilização dos dados.

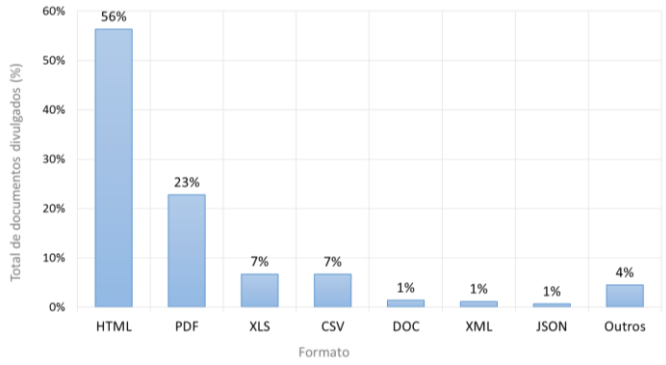


Fig. 1. Formatos preferenciais para a divulgação dos *datatsets*/documentos de transparência.

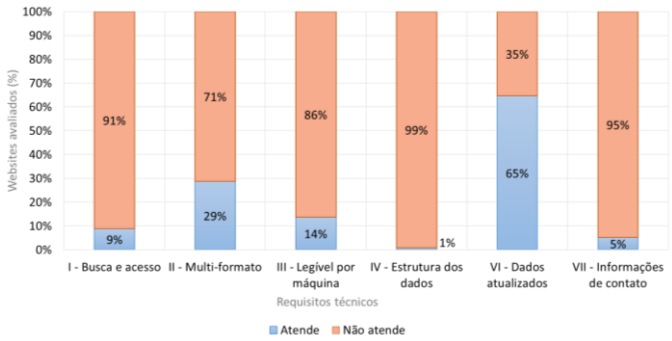


Fig. 2. Atendimento dos requisitos técnicos que os *websites* precisam atender conforme método definido em [6].

A Tabela I a seguir expressa os ASRs identificados utilizando o formato tabular da *Utility Tree* proposta por [7], [8]. Após a descrição dos ASRs, tem-se a avaliação deles com base em dois critérios que representam as dimensões "valor para o negócio" e "impacto arquitetural". A avaliação é expressa pelos valores H (*high*), M (*medium*) e L (*low*).

Para a primeira dimensão, o valor para o negócio, "H" indica que a arquitetura deve ter o requisito; "M" indica que o requisito é importante, mas não leva a falhas no projeto; "L" indica que é um requisito com pequeno valor para o negócio, porém pode não ser endereçado pela arquitetura se for necessário um grande esforço para satisfazê-lo.

Para a segunda dimensão, o impacto arquitetural, "H" indica que sua satisfação afeta profundamente a arquitetura; "M" afeta de algum modo; "L" indica pouco efeito.

Tabela I. PRINCIPAIS REQUISITOS DE QUALIDADE

Formato tabular da *Utility Tree*		
Atributo de qualidade	**Refinamento do atributo**	***Architecturally Significant Requirements* - ASRs**
Colaboração	Estruturação incremental (H, H)	O sistema permitirá que os usuários contribuam com versões incrementais com base nos próprios dados ou de outros usuários
	Operação colaborativa (H, H)	O sistema permitirá a estruturação de dados de um número não determinado de fontes por meio da operação distribuída e incremental da comunidade
	Moderação hierarquizada (H, H)	O sistema fornecerá meios para o combate ao vandalismo, moderado pela hierarquia de usuários reconhecida pelos mecanismos próprios de reputação da comunidade
	Avaliação mútua (H, H)	O sistema possibilitará a avaliação mútua das contribuições feitas pelos usuários utilizando critérios simples e objetivos para construir a reputação dos usuários
Usabilidade	Interface baseada no navegador (H, H)	Os usuários terão como interface de estruturação o navegador *web*. O navegador apresentará a fonte de dados originária e as ferramentas de trabalho por meio de *plug-ins* desenvolvidos para os principais navegadores do mercado
	Facilidade de operação (M, H)	As ferramentas de estruturação serão desenhadas para a maioria do público-alvo, sem conhecimentos na área de análise e processamento de dados
Segurança	Identificação dos usuários (H, H)	Os usuários serão identificados unicamente dentro do sistema por meio de usuário e senha, mantendo o vínculo dos artefatos gerados
	Acesso (M, H)	Os usuários poderão se auto registrar no sistema sem a intervenção de outros usuários
Extensibilidade	Novos formatos (M, M)	O sistema possibilitará estender novos métodos de extração que possibilitem o tratamento de novos formatos
Não intervenção	Manter processos de geração (H, H)	A estruturação dos dados não interferirá nos processos existentes para a produção dos dados e não exigirá que estes sejam compatíveis com dados abertos
Persistência	Trilha de registro (M, M)	O sistema registrará todas as operações realizadas pelos usuários, assim como os dados estruturados e originários
Apresentação	Acesso manual (H, H)	O sistema fornecerá interfaces manuais para obtenção dos dados, com recursos de busca avançada
	Acesso automatizado (H, H)	O sistema disponibilizará APIs para acesso por outras ferramentas a serem desenvolvidas e integradas com o sistema
Intercâmbio	Processamento por máquina (H, H)	O sistema deverá sempre considerar o formato CSV para salvaguardar os dados originados do processo de estruturação

III. DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA

A partir dos requisitos de qualidade identificados, desenvolveu-se a arquitetura de referência de quatro camadas a partir da proposta inicial de um *framework* colaborativo [9], [10] como *middleware*, localizado no contexto da arquitetura, o qual permite estruturar as informações de transparência encontradas nos repositórios distribuídos e disponibilizá-las em repositório de OGD. Importante ressaltar que para o escopo deste trabalho "estruturar" significa executar todas as atividades propostas pela arquitetura para transformar um documento em um conjunto de dados. Estas atividades estão descritas como funcionalidades primárias no processo de desenvolvimento da arquitetura. A Fig. 3 ilustra a visão geral da arquitetura.

Para o desenvolvimento da arquitetura utilizou-se o método *Attribute-Driven Desing* (ADD) proposto por [7]. Este método é o mais compreensivo e amplamente utilizado pela indústria há mais de 15 anos no desenvolvimento de arquiteturas de software [8]. O ADD sugere o ciclo de vida da arquitetura em cinco atividades sequenciais: 1-Definir requisitos arquiteturais, 2-Definir projeto arquitetural, 3-Documentar arquitetura e 4-Validar/Implementar arquitetura.

Com relação à atividade 1-Definir requisitos arquiteturais, a Tabela I mostra os resultados obtidos pelo compreensivo levantamento nos municípios brasileiros.

A atividade 2-Definir projeto arquitetural contempla os balizadores arquiteturais detalhados nas seguintes subseções:

Propósito

O propósito da arquitetura é fornecer artefatos arquiteturais para implementar um sistema colaborativo para estruturar informações em dados abertos para possibilitar o uso e reuso dos dados por qualquer um e para qualquer propósito.

Atributos de qualidade

Os atributos de qualidade são propriedades sujeitas a testes e mensuração para indicar o quanto um sistema satisfaz as necessidades dos *stakeholders*. Foram considerados os atributos de qualidade especificados na primeira coluna da Tabela I.

Funcionalidades primárias

Estas funcionalidades são a habilidade da arquitetura em desempenhar o trabalho ao qual foi projetada, que são:

- Identificar a fonte de dados em um documento;
- Extrair o conteúdo tabular em um *dataset* (conjunto de dados);
- Catalogar o *dataset* com a inclusão de metadados para descrever sua estrutura;
- Carregar o *dataset* no repositório OGD.

Interesses arquiteturais

Indicam pontos que a priori não possam expressados como requisitos de qualidades. Os interesses arquiteturais considerados são:

- A arquitetura é composta por camadas para a compartimentação de suas funções e para melhor divisão dos componentes que a compõem.
- Os *plug-ins* desenvolvidos para interfacear com o navegador devem ser compatíveis com os

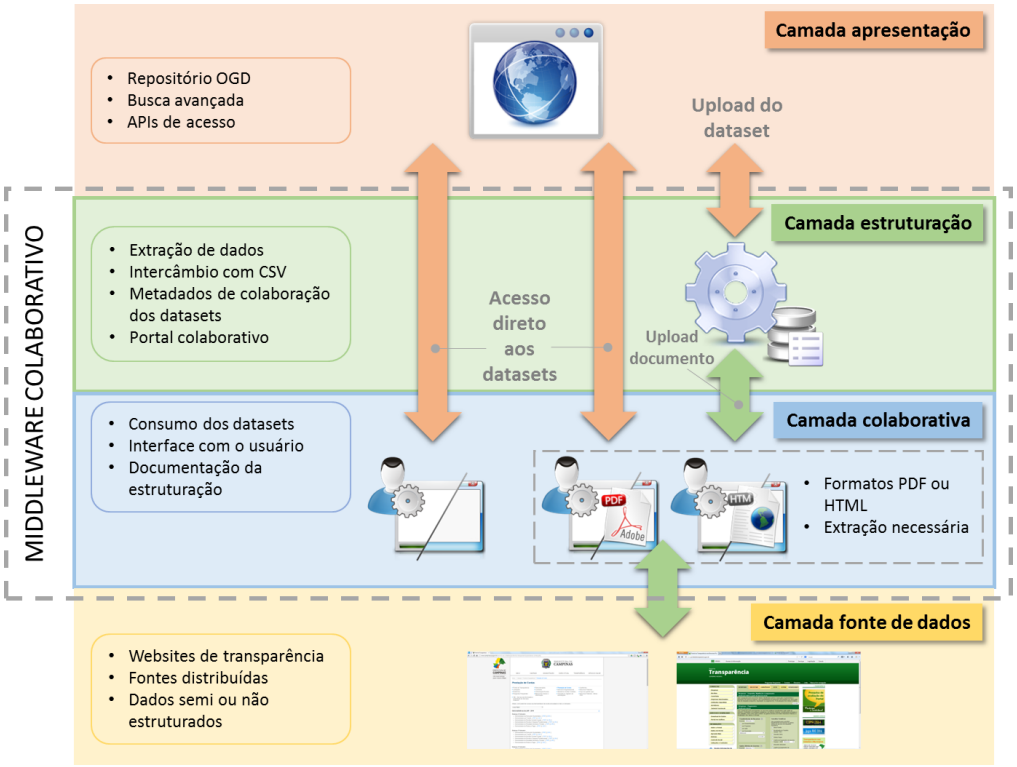


Fig. 3. Visão geral da arquitetura expondo a organização de suas camadas e suas principais funções, componentes e relações entre eles. Fonte: Autores [9], [10].

principais navegadores do mercado.

- Eventuais novas bibliotecas de extração devem se integrar ao sistema de modo a garantir alta coesão e baixo acoplamento dos módulos do sistema.
- Implementações da arquitetura e evoluções incrementais devem ser compartilhadas com a comunidade em repositório público e acessível por qualquer um.

Restrições

As restrições são decisões previamente estabelecidas as quais fazem que o projetista/implementador tenha pouco ou nenhum controle sobre elas. Para esta arquitetura, são as seguintes:

- Todas as bibliotecas, *frameworks*, *kits* de desenvolvimento, banco de dados e outros necessários para a implementação da arquitetura devem ser de código aberto e livres de licença para qualquer propósito.

Na atividade 3-Documentar arquitetura tem-se a apresentação de diagramas, desenhos, fluxos e qualquer outro artefato visual que colabore com a apresentação e o entendimento da arquitetura pelos *stakeholders* [11]. Para a arquitetura desenvolvida neste trabalho, tem-se a Fig. 3 como ilustração mais abrangente que expõe seus principais componentes e as relações entre eles.

Na Fig. 3 as camadas da arquitetura são diferenciadas pelo papel que cada uma desempenha. O *middleware* colaborativo delimita-se nas camadas de Estruturação e Colaboração. De modo geral, a camada de Estruturação é responsável por prover a extração dos dados e o repositório que registra o processo de extração para apoiar o processo colaborativo. Já a camada Colaboração disponibiliza o interfaceamento com o usuário e as ferramentas de interação com as fontes desestruturadas.

Na atividade 4-Validar/Implementar arquitetura tem-se as atividades para garantir que a arquitetura de fato atende aos propósitos que foi construída. A validação pode se dar pelo projetista, seus pares e partes externas ao processo de desenvolvimento de uma arquitetura. Para este trabalho está sendo considerado o método *Architecture Tradeoff Analysis Method* (ATAM) [7], [12] que vem sendo utilizado há mais de uma década para todos os tipos de arquitetura. Este método foi selecionado por que é indicado para validar arquiteturas que ainda não foram implementadas e possuem um grande número de *stakeholders* envolvidos em seu negócio. Na validação com ATAM faz-se um ritual com a participação de pessoas com e sem conhecimento do negócio da arquitetura com intuito de gerar vários cenários de utilização e a validação de seus atributos de qualidade previamente definidos.

IV. CONSIDERAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho buscou-se desenvolver uma arquitetura para estruturação de documentos em dados a partir de repositórios distribuídos, a princípio dispostos nos formatos PDF e HTML. A arquitetura foi desenvolvida pela identificação dos problemas de disponibilização encontrados nos *websites* municipais.

Parte-se da premissa que as informações de transparência continuarão sendo divulgadas na forma em que estão, pois o despreparo dos governos frente aos princípios de OGD demandará um tempo de seus administradores e será pautada pela evolução natural determinada pela própria sociedade. A arquitetura possibilitará a consistência dos dados, pois seu funcionamento não interferirá na geração da informação, mas tão somente na disponibilização segundo os princípios de OGD para acesso irrestrito por qualquer um e para qualquer finalidade.

Considera-se, no contexto da arquitetura, a atuação colaborativa dos interessados e entusiastas da comunidade de dados abertos. Isso significa que sua ampla utilização terá como catalisador a atuação de pessoas fora da administração pública para contribuir com a estruturação distribuída dos dados. Uma vez estruturados, serão disponibilizados em repositórios OGD para consumo de outros interessados. A característica colaborativa fornecerá mecanismos de avaliação e classificação, com intuito de formar uma rede de mediação das contribuições realizada pelos próprios contribuidores.

Como trabalho futuro, está sendo considerado o desenvolvimento de um protótipo de software que implementa a arquitetura aqui definida. Com isso, será possível verificar sua viabilidade de implementação e operação em ambiente real.

REFERÊNCIAS

[1] J. E. Relly and M. Sabharwal, "Perceptions of transparency of government policymaking: A cross-national study," *Gov. Inf. Q.*, vol. 26, no. 1, pp. 148–157, Jan. 2009.

[2] J. C. Bertot, P. T. Jaeger, and J. M. Grimes, "Using ICTs to create a culture of transparency: E-government and social media as openness and anti-corruption tools for societies," *Gov. Inf. Q.*, vol. 27, no. 3, pp. 264–271, Jul. 2010.

[3] Pew Research Center's Internet & American Life Project, "Government Online. The internet gives citizens new paths to government services and information," 27-Apr-2010. [Online]. Available: http://www.pewinternet.org/Reports/2010/Government-Online.aspx. [Accessed: 18-Nov-2014].

[4] J. Tauberer, "Open Government Data: The Book - Second Edition." 2014.

[5] CGU, *Acesso à Informação Pública: Uma introdução à Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011*. Brasília, 2011.

[6] A. S. Corrêa, P. L. P. Corrêa, and F. S. C. da Silva, "Transparency Portals Versus Open Government Data: An Assessment of Openness in Brazilian Municipalities," in *Proceedings of the 15th Annual International Conference on Digital Government Research*, New York, NY, USA, 2014, pp. 178–185.

[7] L. Bass, P. Clements, and R. Kazman, *Software Architecture in Practice*, Third. Addison-Wesley Professional, 2012.

[8] R. Kazman and H. Cervantes, *Designing Software Architectures: A Practical Approach*. Addison-Wesley Professional, 2016.

[9] A. Sheffer Correa, P. L. P. Correa, D. L. Silva, and F. Soares Correa da Silva, "Really Opened Government Data: A Collaborative Transparency at Sight," in *2014 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)*, 2014, pp. 806–807.

[10] A. S. Corrêa, P. L. P. Corrêa, and F. S. C. da Silva, "A Collaborative-oriented Middleware for Structuring Information to Open Government Data," in *Proceedings of the 16th Annual International Conference on Digital Government Research*, New York, NY, USA, 2015, pp. 43–50.

[11] P. Clements *et al.*, *Documenting Software Architectures. Views and Beyond*, Second. Addison-Wesley Professional, 2010.

[12] S. Angelov, J. J. M. Trienekens, and P. Grefen, "Towards a Method for the Evaluation of Reference Architectures: Experiences from a Case," in *Software Architecture*, R. Morrison, D. Balasubramaniam, and K. Falkner, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 225–240.

Visualização de Informação com interação multimodal aplicada ao problema do acesso e integração de dados médicos

SILVA, L. S.*†; NUNES, F. L. S.*†; NAKAMURA, R.*†
*Laboratório de Tecnologias Interativas - Interlab
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
†Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde - LApIS
Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
E-mail: {leonardosilva, fatima.nunes, ricardonakamura}@usp.br

***Abstract*—Information Visualization has become an important field of study due the large amount of available data and the lack of flexible intuitive and interactive interface for adequate interaction with them, which could allow knowledge discovery and reduce the cognitive effort needed for understanding. Temporal data can contribute with both pattern discovery and supporting decision and planning processes however, most of information visualization uses two-dimensional techniques bringing some side effects to temporal data visualization. In Medicine, the anamnesis procedure is the source of large amount of medical data and despite all the relevance and potential most of them do not support the comprehension of patient biological individuality or casual links establishment. At the same time, Virtual Reality has been widely used in Medicine especially in Scientific Information Visualization but still offering important challenges in abstract data representation like textual data. This work proposes a combination of Information Visualization and Virtual Reality techniques for temporal data visualization with the aim to analyze if the interaction in three-dimensional space can contribute for the fully exploration and use of this type of data.**

***Keywords*— Information Visualization; Temporal Data; Virtual Reality.**

***Resumo*— O maior volume de dados disponíveis em meio eletrônico tem fomentado o interesse por novas formas de Visualização de Informação que permitam manipular e explorar tais dados por meio de interfaces consideradas intuitivas e interativas. Pela possibilidade de ajudar na descoberta de padrões e apoiar processos decisórios e de planejamento, a visualização de dados temporais tem recebido grande atenção, entretanto, maior parte das técnicas não oferece meios para que os padrões sejam encontrados. O trabalho propõe combinar técnicas de Visualização de Informação e Realidade Virtual contribuindo para o estabelecimento de meios para descoberta de padrões na visualização de dados temporais. Para isso a partir de dados de anamnese, um protótipo é construído visando a realização de um experimento junto aos profissionais da área de saúde. Resultados preliminares corroboram o potencial advindo da utilização de técnicas de Realidade Virtual e a boa receptividade junto aos profissionais. Por fim, espera-se os resultados favoreçam nova formas de interação possibilitando o pleno aproveitamento das informações médicas, contribuindo com a geração e o compartilhamento de conhecimento.**

***Palavras-chave*— Visualização de Informação; Dados Temporais; Realidade Virtual.**

I. Introdução

O procedimento de anamnese é o momento em que o profissional de saúde extrai informação dos pacientes para auxiliar a composição do diagnóstico e abordagem terapêutica. Apesar de toda a riqueza de dados levantados durante o procedimento, considerável parte dos dados e informações levantadas se perdem ou são subutilizados, em função da ausência de ferramentas adequadas para registro, acesso e manipulação desses dados [1] [2].

O aumento da disponibilidade de dados médicos armazenados ocorre ao mesmo tempo em que, assim como outros campos da Ciência, a área médica tem sido desafiada a reforçar sua natureza sistêmica na busca pelo entendimento do paciente como um todo exigindo dos profissionais o estabelecimento de relações contextuais e compreensão dos nexos de casualidade existentes [3].

Assim, a Visualização de Informação (VI) emerge como um importante recurso para estabelecer a interface entre a mente humana e o poder oferecido pelos avanços tecnológicos permitindo a representação visual de dados com características abstratas e consequentemente sua compreensão e manipulação [4] [5] [6].

Na área de saúde, a VI tem sua maior presença ligada ao campo das imagens médicas, entretanto, ao considerarmos a utilização de dados médicos, que diferentemente da visualização científica não possuem representações naturais nem fisicamente óbvias, torna-se evidente o grande potencial a ser explorado [7].

Muitos dados disponíveis na área da saúde apresentam um forte aspecto temporal, sendo que a visualização de dados temporais mostra-se desafiadora uma vez que as abordagens existentes deveriam ser capazes de representar os diferentes tipos de dados temporais existentes. Contudo, a prática tem mostrado que a definição da visualização mais adequada à determinada área tem ocorrido por meio de visualizações dedicadas [8] [9].

O uso de técnicas de Realidade Virtual (RV) na área da saúde vem criando diversas possibilidades de aplicações, além

de avanços relacionados ao desenvolvimento de *hardware* e *software* [10] [11]. Apesar do enfoque dado a visualização de dados temporais com intenção de destacar os padrões existentes, poucas iniciativas oferecem meios para que esses padrões sejam encontrados. Por essa razão, este trabalho busca contribuir para o melhor aproveitamento de dados e informações médicas, favorecendo o compartilhamento e a descoberta de conhecimento técnico ou científico, aliando técnicas de VI e RV.

II. Visualização de Informação (VI)

A partir dos anos 80, com o aumento no volume e na complexidade dos dados presentes nas mais diferentes áreas, emerge um novo campo de pesquisa voltado à representação visual de dados abstratos e heterogêneos, a Visualização de Informação [12] [13] [14] [15]. Definida como sendo "o uso de representações visuais de dados abstratos, suportadas por computador e interativas para ampliar a cognição", o processo adotado na transformação de dados em uma representação visual é guiado por um modelo de referência proposto em 1999 e representado com adaptações na Figura 1 [13] [6].

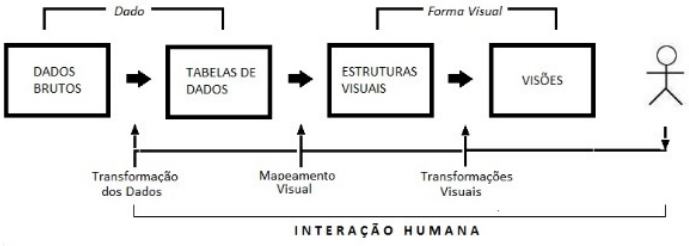


Figura 1. Processo para Geração de uma Abstração Visual, com adaptações [13].

A escolha da técnica ou mesmo combinação de técnicas de VI que podem ser utilizadas em uma aplicação é guiada em função dos requisitos e características dos dados podendo ser facilitada por meio da adoção de uma das taxonomias criadas com intuito de organizar as abordagens desenvolvidas. A Tabela I resume uma dessas taxonomias propostas, ainda que não seja considerada definitiva, é reconhecida como a mais citada e influente na área. [12].

A VI mostra-se muito presente na área médica, em especial na área de visualização de imagens, contudo, sua presença junto aos sistemas médicos apresenta grande potencial, dentre os quais pode-se destacar: *(a)* permitir a visualização de dados médicos de maneira mais intuitiva; *(b)* destacar visualmente aspectos sutis de diagnóstico, terapêutica, gerenciamento de pacientes, processos de cura, que de outra forma seriam difíceis de serem percebidos; *(c)* prevenir o processo de sobrecarga de informação, permitindo que profissionais da área médica possam lidar com grandes quantidades de informação [7].

III. Trabalhos Correlatos

Visualizar padrões de colaboração, de interações, de eventos, dentre outros objetivos, são frequentemente foco de diversas técnicas para visualização de dados temporais que têm sido propostas para uma ampla gama de análises visuais com diferentes tipos e fontes de dados. Além da busca pela compreensão sobre como essas variáveis interagem entre si permitindo identificar potenciais correlações, também há o desejo de entendimento do padrão de comportamento dessas variáveis em um determinado domínio, sempre visando o entendimento e compreensão de um conjunto de dados complexos [8].

Tabela I
Visualização de Informação – Taxonomia [12]

TIPO	DESCRIÇÃO
Tarefa (*task*)	*Visão Geral* *Zoom* *Filtro* *Detalhes sob demanda* *Relacionar* *Histórico* *Extração*
Tipo (*type*)	*1D* *2D* *3D* *Temporal* *Multidimensional* *Estrutura em árvore* *Rede*

Em [16] técnicas de visualização são aplicadas com ênfase na descoberta de padrões e evento no tempo. Eventos também são objeto do trabalho desenvolvido por [17] que busca encontrar eventos significativos propondo duas técnicas: *event clusters* e *padrões de eventos*, por meio de múltiplas séries de tempo. A visualização de dados multidimensionais, são parte importante do trabalho com dados temporais e são foco de abordagens propostas por [18] e [19], enquanto o primeiro propõe a combinação entre diversas técnicas na geração de visualizações, o segundo apresenta uma técnica para explorar dados multidimensionais.

O espaço bidimensional tem sido o escolhido para construção das representações visuais nas técnicas para visualização de dados temporais, apesar do foco na descoberta de padrões ser o principal objetivo dessas técnicas, pouco se trata sobre os meios necessários para que esses padrões sejam encontrados [20]. Dessa forma, se estabelece a questão que norteia o desenvolvimento do trabalho e que versa sobre as contribuições advindas da utilização do espaço tridimensional, em combinação com técnicas de VI e RV, com objetivo de prover meios para descoberta de padrões na visualização de dados temporais [17] [19] [20] [18].

IV. Materiais e Métodos

Como um primeiro passo na investigação sobre a combinação de técnicas de VI e RV no espaço tridimensional para a descoberta de padrões em visualização de dados temporais, foi concebido um protótipo a partir de um conjunto de informações provenientes da ficha de atendimento adotada por um hospital parceiro no desenvolvimento do trabalho. Os dados têm origem no atendimento ambulatorial realizado junto

ao Departamento de Homeopatia e se encontram tanto em formato eletrônico como em papel.

Os dados envolvidos no procedimento de anamnese podem ser classificados nas seguintes áreas: *(a)* identificação; *(b)* história clínica; *(c)* antecedentes pessoais; *(d)* antecedentes familiares; *(e)* exames e, *(f)* distúrbios da saúde.

Dentre os requisitos definidos na concepção desse protótipo inicial, pode-se destacar: avaliar a viabilidade da utilização das técnicas mencionadas; definir uma proposta de representação visual que possibilite aos profissionais envolvidos rapidamente ter acesso às informações que fazem parte da história clínica do paciente e, por fim, avaliar a receptividade da ferramenta junto aos profissionais envolvidos.

A plataforma para desenvolvimento de jogos *Unity* foi escolhida para suportar a implementação do protótipo em função das facilidades oferecidas para desenvolvimento de aplicações tridimensionais e a possibilidade de exportação para diferentes dispositivos e sistemas operacionais. De forma a alcançar o objetivo e os requisitos propostos, um conjunto de atividades foi definido e encontra-se representado na Figura 2.

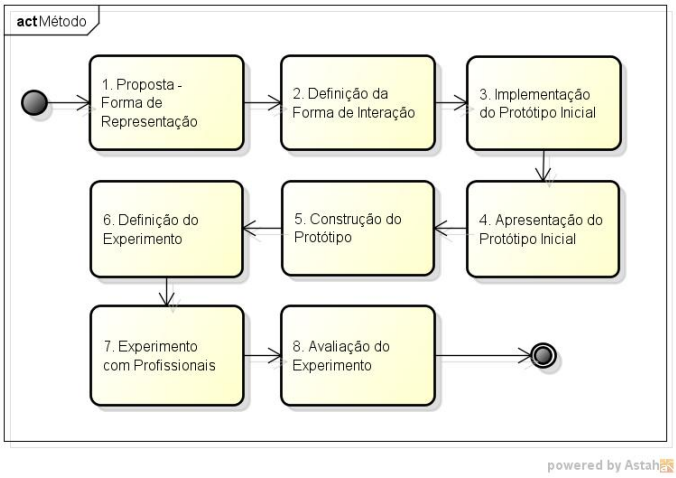


Figura 2. Diagrama de Atividades – Método Proposto

1. Proposta da forma de representação. Na busca por uma representação visual que permitisse que os dados relacionados à história clínica de um paciente fossem rapidamente visualizados favorecendo a interação, optou-se pela utilização de um esquema em forma de um cubo subdividido em quatro partes iguais, sendo que cada quadrante do cubo representaria um grupo de informação, conforme apresentado pela Figura 3.

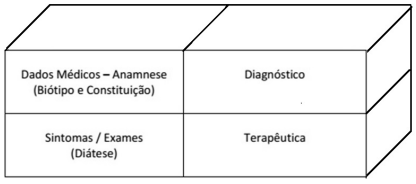


Figura 3. Esquema proposto para visualização de dados médico.

2. Definição da forma de interação. Durante a anamnese, a análise de um determinado dado médico isoladamente atua da mesma forma como um retrato fotográfico, sinalizando apenas a condição clínica do paciente naquele instante. Por essa razão, para que esse dado possa vir a ter um significado relevante faz-se necessário entender seu comportamento em função do tempo, se possível relacionando-o com outros dados.

Assim, assumindo que a representação visual em forma de Cubo 3D (Figura 3) represente os dados provenientes de um encontro entre médico e paciente, técnicas de RV são utilizadas para apresentar o resultado de diversos encontros, igualmente representados por meio de Cubos 3D, alinhados em torno de um eixo e organizados a partir do encontro mais recente para o mais antigo. Objetiva-se que os profissionais de saúde possam manipular esse conjunto de Cubos 3D livremente e de acordo com seu interesse.

3. Implementação do protótipo inicial. A Figura 4 apresenta a tela principal com a visão frontal do protótipo inicial implementado, onde é possível perceber os controles para auxiliar nas operações para movimentação básica do Cubo 3D, contudo, há possibilidade de realizar a livre movimentação da representação visual.

Figura 4. Cubo 3D – Tela Principal.

Uma vez que o Cubo 3D seja rotacionado se torna possível visualizar o comportamento relativo ao quadrante de interesse ao longo do tempo e visando aumentar o poder de representação. Um esquema de cores também está sendo considerado com intuito de sinalizar ao profissional maior ou menor necessidade de atenção às informações de um determinado quadrante. A Figura 5 apresenta a visão lateral do protótipo para o Cubo 3D.

4. Apresentação do protótipo inicial. A análise preliminar do protótipo, por parte de profissionais ligados ao hospital parceiro, permitiu confirmar o potencial para utilização da visualização de informações médicas por meio de interfaces consideradas mais interessantes do que registros em papel ou mesmo consultas em um banco de dados.

As próximas atividades a serem desenvolvidas envolvem as atividades: *(5)* construção do protótipo; *(6)* definição do experimento; *(7)* experimento com profissionais e, por fim, *(8)* avaliação do experimento.

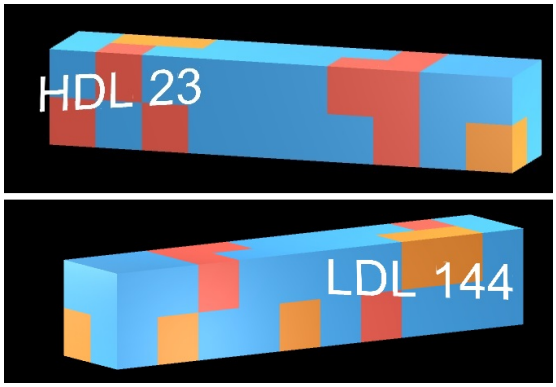


Figura 5. Cubo 3D — Visão lateral.

V. Resultados e Discussões Preliminares

A implementação do esquema de representação visual proposto (Figura 3) busca trazer impacto positivo na rotina clínica dos profissionais da área médica oferecendo uma forma de interação considerada mais *interativa*, apoiada no uso de técnicas de RV e *intuitiva*, por reduzir o esforço cognitivo necessário a descoberta de conhecimento e estabelecimento de relações entre os dados.

Destaca-se que a interação é uma característica inerente desse tipo de sistema, o suporte de técnicas de RV além de oferecer meios a superação de problemas tradicionalmente enfrentados na visualização de dados temporais, cria possibilidades para que os profissionais tenham condições de estabelecer relações a partir do entendimento da forte interrelação existente entre os dados.

Além da análise sob vários pontos de vista por meio da interação no espaço 3D, a opção pela metáfora do Cubo 3D é inspirada por resultados obtidos em diferentes áreas de conhecimento.

Assim, por meio da representação proposta, espera-se que dados e informações de grande relevância que atualmente não tem seu potencial plenamente explorados, possam vir a ser parte efetiva da rotina clínica dos profissionais de saúde, tanto apoiando os processos decisórios envolvidos como viabilizando o compartilhamento e a descoberta de conhecimento.

VI. Conclusões e Encaminhamentos

A partir do protótipo inicial proposto nesse trabalho, torna-se possível refinar as percepções iniciais sobre a combinação de técnicas de Visualização de Informação e Realidade Virtual na visualização de dados temporais, em especial dados médicos.

Dentre os impactos esperados a partir da melhoria da compreensão e a forma com que os profissionais interagem com os dados e informações, destaca-se a valorização dos aspectos sistêmicos existentes entre tais dados, permitindo a detecção de padrões e descoberta de conhecimento os chamados "*surprising outcomes*", bem como favorecer o compartilhamento de informações entre os profissionais.

Por outro lado, busca-se que as técnicas possam ser aplicadas de forma mais geral e não de maneira específica como vem ocorrendo, permitindo assim sua aplicação em problemas que possuam características bem conhecidas.

Além da submissão junto a Comissão de Ética em Pesquisa, os próximos passos exigem o refinamento do protótipo ora proposto para que seja possível a realização de experimentos com os profissionais que futuramente também possuirão um papel fundamental na validação dos resultados obtidos.

Referências

[1] HERSH, W. Health care information technology. *Jama*, American Medical Association, v. 292, n. 18, p. 2273–2274, 2004.

[2] WECHSLER, R. et al. A informatica no consultorio médico. *Jornal de Pediatria*, v. 79, p. S3 – S12, 06 2003. ISSN 0021-7557.

[3] CARRILO-JUNIOR, R. *O milagre da imperfeição: vida, saude e doença em uma visão sistêmica*. 1st. ed. São Paulo: Cultrix, 2008.

[4] GERSHON, N.; EICK, S. G.; CARD, S. Information visualization. *Interactions*, ACM, v. 5, n. 2, March/April 1998.

[5] NASCIMENTO, H. A. D.; FERREIRA, C. B. R. *Visualização de Informações - Uma Abordagem Pratica*. XXV - Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, 2005.

[6] LIU, S. et al. A survey on information visualization: Recent advances and challenges. *The Visual Computer*, Spring Berlin Heidelberg, 1994.

[7] CHITTARO, L. Information visualization and its application to medicine. *Artificial intelligence in medicine*, Elsevier, v. 22, n. 2, p. 81–88, 2001.

[8] AIGNER, W. et al. Visualizing time-oriented data—a systematic view. *Computers Graphics*, v. 31, n. 3, p. 401 – 409, 2007. ISSN 0097-8493. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0097849307000611>.

[9] MORAWA, R. et al. Combining timeline and graph visualization. In: *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*. New York, NY, USA: ACM, 2014. (ITS '14), p. 345–350. ISBN 978-1-4503-2587-5. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2669485.2669544>.

[10] NUNES, F. L. S. et al. Realidade virtual para sáude no brasil: Conceitos, desafios e oportunidades. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, v. 27, n. 4, 2011.

[11] BERTI, C. B. et al. Information visualization: using virtual reality techniques in the three-dimensional representation of data from a medical images database. *VRCAI*, ACM, 2004.

[12] SHNEIDERMAN, B. The eyes have it: a task by data type taxonomy for information visualizations. In: *Visual Languages, 1996. Proceedings., IEEE Symposium on*. [S.l.: s.n.], 1996. p. 336–343. ISSN 1049-2615.

[13] CARD, S.; MACKINLAY, J.; SHNEIDERMAN, B. *Readings in Information Visualization using Vision to Think*. 1st. ed. EUA: Morgan Kaufmann, 1999.

[14] GERSHON, N.; EICK, S. G. Guest editors introduction: Information visualization. *IEEE Computer Graphics and Applications*, IEEE, v. 17, n. 4, July/August 1997.

[15] PROKOSCH, H. U.; GANSLANDT, T. Perspectives for medical informatics - reusing the electronic medical record for clinical research. *Methods of Information in Medicine*, Schattauer, v. 48, n. 1, p. 38 – 44, 2009. ISSN 0026-1270.

[16] ERTEN, C. et al. Exploring the computing literature using temporal graph visualization. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICS AND PHOTONICS. *Electronic Imaging 2004*. [S.l.], 2004. p. 45–56.

[17] SCHAEFER, M. et al. *Visual pattern discovery in timed event data*. 2011. 78680K-78680K-12 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1117/12.871870>.

[18] KOVALERCHUK, B. *Visualization of multidimensional data with collocated paired coordinates and general line coordinates*. 2013. 90170I-90170I-15 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2042427>.

[19] CRAIG, P.; ROA-SEïLER, N. *A combined multidimensional scaling and hierarchical clustering view for the exploratory analysis of multidimensional data*. 2013. 86540T-86540T-8 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2005403>.

[20] GOUSIE, M. B.; GRADY, J.; BRANAGAN, M. *Visualizing trends and clusters in ranked time-series data*. 2013. 90170F-90170F-12 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2037038>.

Discrete Event Systems Modeling using Adaptive Petri Nets
Modelagem de Sistemas a Eventos Discretos utilizando Redes de Petri Adaptativas

GUIBU, H. I.*; NETO, J. J.†
*IFSP - Instituto Federal de São Paulo
†EPUSP -Escola Politécnica da USP
E-mail: higuibu@usp.br,higuibu@ifsp.edu.br, jjneto@gmail.com

***Abstract*—Petri Nets are a family of mathematical and graphical tools used in modeling, analysis and simulation of Discrete Event Systems. Adaptive Petri net is a formulation using a conventional Petri net as the subjacent device and an adaptive layer that allows the dynamic inclusion or removal of Places, Transitions, Arcs and Tokens, for the purpose of increasing the expressiveness of Discrete Event Systems Models. A Multimedia System is a particular case of Discrete Event System, in which the challenge to its modeling is from the synchronization of different media without user intervention to the interaction between the parts of a distributed system. This paper presents the modeling of a Multimedia System from two distinct forms of expansion of conventional Petri nets, which are the Adaptive Petri net and Reconfigurable Petri Net, comparing the solutions in terms of ease of modeling and characteristics of the final model produced. Compared to conventional Petri Nets, Adaptive Petri net avoids the exponential increase in the graph size, which makes it desirable their application in control of flexible manufacturing systems and control of mobile robots.**

***Keywords*— Adaptive Petri Nets;Reconfigurable Petri Nets; Discrete Event Systems.**

***Resumo*— As redes de Petri são uma família de ferramentas matemáticas e gráficas utilizadas na modelagem, análise e simulação de sistemas a eventos discretos. A rede de Petri Adaptativa é uma formulação que utiliza uma rede de Petri convencional como dispositivo subjacente e uma camada adaptativa que possibilita a inclusão ou a remoção dinâmica de lugares, transições, arcos e fichas, com a finalidade de proporcionar uma forma de aumentar a expressividade dos modelos de Sistemas a Eventos Discretos. Um sistema multimídia é um caso particular de sistema a eventos discretos, no qual o desafio para sua modelagem vai desde a sincronização das diversas mídias sem a intervenção do usuário até a interação entre as partes de um sistema distribuído. Neste trabalho, apresentamos a modelagem de um sistema multimídia a partir de duas formas distintas de ampliação das redes de Petri convencionais, que são a rede de Petri Adaptativa e a rede de Petri Reconfigurável, comparando as soluções em termos de facilidade de modelagem e das características do modelo final produzido. Em relação às redes de Petri convencionais, a rede de Petri Adaptativa evita o aumento exponencial do tamanho do grafo, o que torna desejável sua aplicação no controle de sistemas de manufatura flexível e no controle de robôs móveis.**

***Palavras-chave*— Redes de Petri Adaptativas; Redes de Petri Reconfiguráveis; Sistemas a Eventos Discretos.**

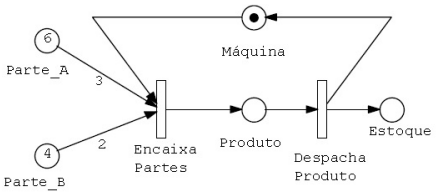


Figura 1. Rede de Petri em forma de grafo.

I. INTRODUÇÃO

As redes de Petri (RdP) foram criadas por Carl Petri na década de 60 para modelar a comunicação entre autômatos que, nesta época, englobavam também os Sistemas a Eventos Discretos (SED).

Formalmente, uma rede de Petri é uma quádrupla RdP = [P,T,I,O] onde P é um conjunto finito de lugares; T é um conjunto finito de transições; I:(P x T) $\rightarrow$ N é a aplicação de entrada, onde N é o conjunto dos números naturais; O:(T x P) $\rightarrow$ N é a aplicação de saída, onde N é o conjunto dos números naturais.

Uma rede marcada é uma dupla RM= [RdP,M] , onde RdP é uma rede de Petri e M é um conjunto com a mesma dimensão de P tal que M(p) contém o número de marcas ou fichas do lugar p. No instante inicial, M representa a marcação inicial da RM e vai variando ao longo do tempo na medida em que as transições vão se sucedendo.

Além da forma matricial indicada na definição formal as redes de Petri, é possível interpretar as redes de Petri como um grafo com dois tipos de nós interligados por arcos que apresenta um comportamento dinâmico, e também como um sistema de regras do tipo "condição $\rightarrow$ ação" que representam uma base de conhecimento.

A Figura 1 apresenta uma rede de Petri em forma de um grafo, no qual os círculos são os "Lugares", os retângulos são as "Transições". Os "Lugares" e as "Transições" constituem os nós do grafo e eles são interligados através dos arcos orientados.

Cada lugar do grafo está associado a uma quantidade de fichas ou marcas que indicam sua condição em um dado instante do tempo. Cada arco também possui um valor associado que indica a quantidade de fichas consumidas ou produzidas por uma transição. Na falta de um número associado ao arco, o valor de fichas considerado é 1. Por convenção, quando a quantidade de fichas for superior a três, é utilizada a representação numérica no interior dos lugares.

II. Redes de Petri Adaptativas e Reconfiguráveis

Diversas extensões das Redes de Petri foram desenvolvidas com o objetivo de simplificar a modelagem de Sistemas a Eventos Discretos, inclusive para ambientes distribuídos. Entretanto, a maioria das extensões não foi projetada para modelar sistemas que se modificam durante sua operação. Uma vertente das extensões das Redes de Petri que procura atacar o problema da modelagem de sistemas que se modificam durante sua operação é constituída pelas Redes de Petri Auto-modificáveis [1], pelas Redes de Petri Reconfiguráveis via reescrita de grafos [2], pelas Redes de Petri Reconfiguráveis via mecanismo modificador[3]], pelas Redes de Petri Adaptativas [4], pelas Redes de Petri Difusas e Adaptativas [5]. Cada uma destas extensões possui características próprias, mas compartilham o fato de poderem modificar, durante a execução, as regras de disparo das transições ou a topologia da rede.

A. Redes de Petri Reconfiguráveis

Com o mesmo nome, a mesma sigla, mas de origens diversas, encontramos na literatura as Redes de Petri Reconfiguráveis (Reconfigurable Petri Nets - RPN) introduzidos em [3] e em [2].

O trabalho de Llorens e Oliver é uma evolução do trabalho de Badouel e Oliver [4] e combina as técnicas das gramáticas de grafos com a ideia de Rede de Petri Auto-Modificável de Valk, criando um sistema de reescrita da rede. Neste trabalho, Llorens e Oliver demonstraram a equivalência entre as RPN e as PN em termos de propriedades e também que as RPN são equivalentes às máquinas de Turing quanto ao poder de expressão.

O trabalho de Guan e Lim se origina em seus esforços em aperfeiçoar o controle e o sincronismo de sistemas multimídia. Partindo do trabalho de Little e Ghaffoor [5],no qual foi proposta a rede OCPN (Object Composition Petri Net), Guan et al. propuseram DOCPN (Distributed OCPN) [6], criando uma rede com prioridades. Mais tarde, Guan e Lim propõem a EP-net (Enhanced Priorized Petri Net), para finalmente chegarem na RPN (Reconfigurable Petri Net) que descrevemos sucintamente a seguir.

A Figura 2 mostra a divisão da Rede de Petri Reconfigurável com duas camadas, uma camada de controle e uma camada de apresentação. A camada de controle consiste principalmente de modificadores, que são "Lugares Especiais"capazes de modificarem a estrutura da camada de apresentação de forma dinâmica, durante o funcionamento da mesma. As funções dos modificadores englobam a criação, a eliminação de Arcos,

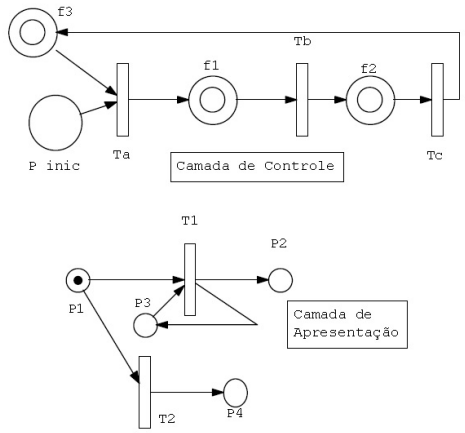


Figura 2. Rede de Petri Reconfigurável (RPN) -Modelo de Guan.

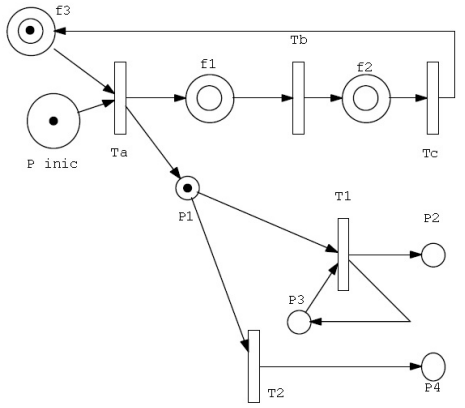


Figura 3. Self-Reconfigurable Petri Net (S-RPN).

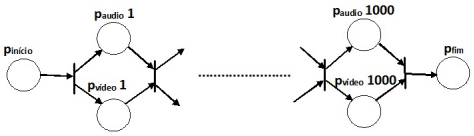


Figura 4. Sincronização Labial com OCPN.

Lugares, Transições e Marcas, e a habilitação, a desabilitação e a reversão de Arcos da camada de apresentação.

No mesmo artigo, Guan e Lim apresentam uma sub-classe das RPN, as Redes de Petri Auto-Reconfiguráveis (S-RPN Self-Reconfigurable Petri Nets), ilustrada na Figura 3, e demonstraram que esta sub-classe também possui o poder de modelagem das máquinas de Turing.

Um exemplo significativo do poder da RPN na redução dos modelos pode ser observado nas figuras 4 e 5. Na tarefa de sincronização labial de áudio e vídeo, o modelo OCPN exige um bloco por quadro, enquanto que o modelo RPN consegue recriar o bloco básico a cada quadro.

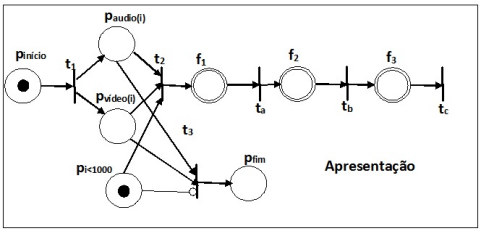


Figura 5. Sincronização Labial com S-RPN.

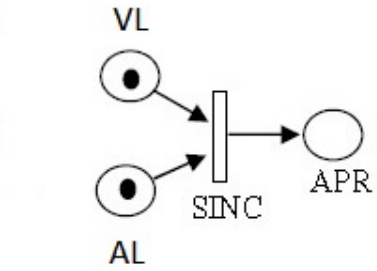


Figura 6. Sincronização de áudio e vídeo (Camolesi).

```
B: F( L1, T1)
{
  ? L1 -> T1
  - L1 -> T1
  + OP -> DOWN
  + BUF -> T1
  + DOWN -> BUF
}
```

Figura 7. Função Adaptativa B.

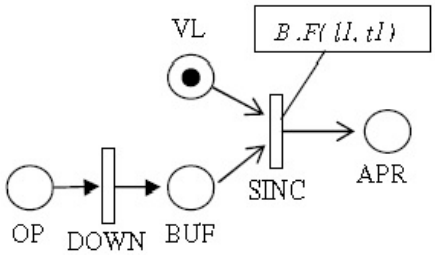


Figura 8. Resultado após execução da Função Adaptativa B.

B. Redes de Petri Adaptativas

Da mesma forma que ocorreu com as Redes de Petri Reconfiguráveis, dois trabalhos distintos apresentaram formalmente as Redes de Petri Adaptativas (Adaptive Petri Nets - APN). No primeiro trabalho, Camolesi [7] estende a Rede de Petri utilizando a metodologia definida por Neto [8] para Dispositivos Adaptativos Dirigidos por Regras e apresenta uma aplicação na modelagem de sistemas telemáticos. No segundo trabalho, Ding et al. [9] definem uma Rede de Petri que incorpora a capacidade de aprendizado das Redes Neurais Artificiais aos blocos de Transição para modelar Sistemas de Software Auto-adaptivos e apresentam uma aplicaição em Sistemas de Manufatura englobando suas relações com clientes e fornecedores.

Na Figura 6 o áudio Local (AL) e o Vídeo Local (VL) são sincronizados pela Transição SINC produzindo a apresentação APR. No exemplo de Camolesi, a Transição SINC possui uma função adaptativa associada que, após executada, modifica a rede para a configuração observada na Figura 8.

No exemplo da função adaptativa da Figura 7 observa-se três tipos de ações adaptativas, a saber, a Consulta (?), a Eliminação (-) e a Adição, modificando o comportamento da Rede de Petri durante sua execução.

Comparando as estratégias empregadas por Guan et al. e Camolesi para modificação da rede, identificamos os "Lugares Modificadores"de Guan com as funções adaptativas de Camolesi, mas os produtos finais de ambos podem ser considerados equivalentes.

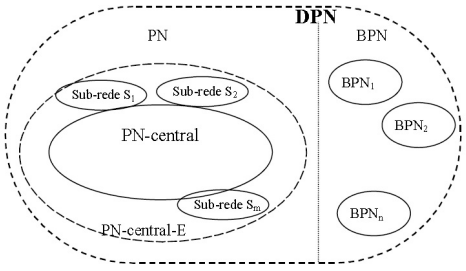


Figura 9. Estrutura de integração de Redes de Petri (Riascos 2002).

C. Sistemas de Manufatura Flexível e Sistemas Mecatrônicos

Diversos trabalhos exploram o emprego das Redes de Petri em Sistemas de Manufatura [10], mas as Redes de Petri Auto-Modificáveis, em virtude de suas características, têm sido utilizadas na Manufatura Flexível, na modelagem de tratamento de falhas e nos procedimentos de manutenção [11], [12],[13].

Riascos [12] e Sasaki [13] utilizaram a Rede de Petri Auto-Modificável de Valk cuja única característica modificável é o peso de seus arcos [1].

Na Figura 9 observa-se o esquema adotado por Riascos para compor a sua DPN (Rede de Petri Distribuída).Neste trabalho, as sub-redes são acrescentadas à Rede de Petri central para tratamento de falhas a partir dos diagnósticos fornecidos pela Rede de Petri BPN (Behavior Petri Nets).

Para possibilitar esta inclusão, Riascos utiliza a Rede de Petri Auto-Modificável de Valk.

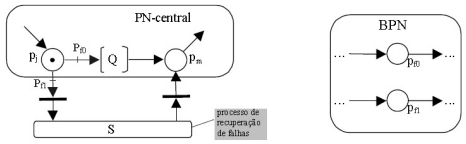


Figura 10. Adição de uma sub-rede à rede central.

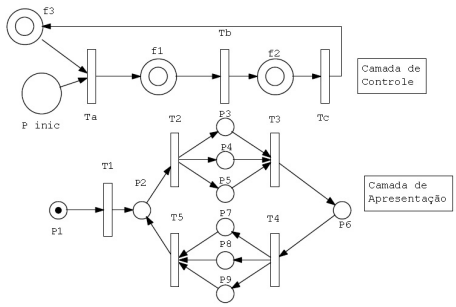


Figura 11. Controle de Movimento Adaptativo.

Com uma alteração na Rede de Petri Reconfigurável de Guan, obtemos uma atualização do esquema de recuperação de erros e que também pode ser utilizado na modelagem de Sistemas Mecatrônicos e Sistemas de Manufatura Flexível.

No Sistema de Manufatura Flexível, diversas células de produção são combinadas de diversas formas para produzir diferentes tipos produtos. Nesse caso, a reconfiguração do controlador de modo a se adequar ao esquema adotado em um certo momento é um procedimento desejável [11].

Em relação aos Sistemas Mecatrônicos, diversos autores têm utilizado Redes de Petri para coordenar tais dispositivos [14], [15].

Uma deficência típica nos controles aparece quando os diversos dispositivos precisam lidar com ambientes que se modificam no tempo, como no caso de robôs caminhando em um terreno irregular.

Uma possível solução é a adoção das irregularidades do terreno ou ambiente como sendo falhas na movimentação e tratar estas irregularidades da mesma forma que são tratados os erros nos Sistemas de Manufatura Flexível.

Na Figura 11 observa-se na "Camada de Apresentação"uma Rede de Petri regular, simétrica, representando a sequência de movimentação das pernas de um robô aranha de seis patas que pressupõe um terreno homogêneo e plano.A camada de controle é capaz de alterar a camada de apresentação, para tratar dos casos em que a Rede de Petri original não é capaz de lidar.

III. Conclusão

As diversas extensões de redes de Petri que possibilitam modificações dinâmicas em suas estruturas ou regras de operação constituem um importante ferramental na modelagem de Sistemas a Eventos Discretos, principalmente aqueles que estão sujeitos a mudanças em seu ambiente.

As redes de Petri Reconfiguráveis nos moldes definidos por Guan et al com ampliações no seu conjunto de Funções Adaptativas ou "Lugares Modificadores"objetivando atender às especificidades de sistemas a eventos discretos , em particular, de Sistemas Mecatrônicos, e as redes de Petri Adaptativas definidas por Camolesi, combinadas em uma nova versão de rede de Petri Adaptativa capaz de alterar tanto a topologia como as rotinas associadas às transções ,vão propiciar uma unificação nos métodos de modelagem e de controle para tais sistemas.

Referências

[1] VALK, R. Self-modifying nets, a natural extension of petri nets. *Lecture NotesLecture Notes in Com, vol. 62, pp. 464-476*, 1978.

[2] LLORENS M. ; OLIVER, J. Structural and dynamic changes in concurrent systems: Reconfigurable petri nets. *IEEE Trans. Comput., vol. 53, no. 9, pp.1147*, 2004.

[3] GUAN S. U. ; LIM, S. S. Modeling adaptable multimedia and self-modifying protocol execution. *Future Generation Computing Systems, vol. 20, no 1, pp. 123,143*, 2004.

[4] BADOUEL E. ; OLIVER, J. *Reconfigurable Nets, a Class of High Level Petri Nets Supporting Dynamic Changes wiwith Workflow Systems*. [S.l.], 1998.

[5] LITTLE T. D. C.; GHAFOOR, A. Synchronization and storage mmodel for multimemul objects. *IEEE J. Selected Areas Comm., pp. 413,427, Apr. 1990.*, 1990.

[6] GUAN S. U. ; YU, H. Y.; YANG, J.-S. A prioritized petri net model and its application in distributed multimedia systems. *IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTERS, VOL. 47, NO. 4, APRIL 1998*, 1998.

[7] CAMOLESI, A. R. *Proposta de um Gerador de Ambientes para a Modelagem de Aplicações usando Tecnologia Adaptativa*. Tese (Doutorado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

[8] NETO, J. J. Adaptive rule-driven devices - general formulation and case study. *Proc. 2001 Lecture Notes in Computer Science. Watson, B.W. and Wood, D. (Eds.): Implementation and Proc. 2001 Lecture Notes in Computer Science. Watson, B.W. and Wood, D. (Eds.): Implementation andApplication of Automata 6th International Conf., Springer-Verlag, Vol.2494, pp. 234-250.*, 2001.

[9] DING Z.; ZHOU, Y.; ZHOU, M. Modeling self-adaptive software systems with learning petri nets. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS: SYSTEMS, VOL. 46, NO. 4, APRIL 2016*, 2016.

[10] MIYAGI, P. E. *Controle de Sistemas de Eventos Discretos - Aplicação em Automação Industrial*. Tese (Doutorado) — Escola Politécnica da USP, 1993.

[11] LI, J. . D. X. Z. . M. Z. D. Automatic reconfiguration of petri net controllers for reconfigurable manufacturnig systems with an improved net rewriting systems-based approach. *IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING VOL. 6, NO.1, JANUARY 2009*, 2009.

[12] RIASCOS, L. A. M. *Metodologia para Detecção e Tratamento de Falhas em Sistemas de Manufatura através de Redes de Petri*. Tese (Doutorado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

[13] SASAKI, E. M. *Aplicação de Redes de Petri Auto-Modificáveis em Sistemas de Manufatura*. Dissertação (Mestrado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996.

[14] TIEMIN, Z. G. Z. H. W. J. L. Petri-net-based coordination motion control for legged robot. *Systems, Man and Cybernetics, 2003. IEEE International Conference on*, 2003.

[15] KARAKURT TOGA; DURDU, A.; DURSUN, E. H. Petri-net based control of six legged spider robot. *Advanced Robotics (ICAR), 2015 International Conference on*, 2015.

Batch Reinforcement Learning technique to control Gene Regulatory Networks
Técnica de Aprendizado por Reforço em Lote para controlar Redes de Regulação Gênica

Nishida, C. E. H. *; Costa, A. H. R.*
*Escola Politécnica - Universidade de São Paulo
E-mail: {cyntiaeico, anna.reali}@usp.br

***Abstract*—A gene regulatory network model (GRN) allows to simulate intervention strategies to change the dynamics of the biological system in the long run. Such strategies can be implemented by treatments that are able to modify the network as intended. Each gene can take on a set of values, such as 'on' and 'off', and each instance of the set of genes is known as state. Due to the exponential number of states, methods have emerged for reducing the computational complexity of intervention. However its inference and storage have exponential complexity in terms of the number of genes, hampering its use in large networks. An alternative is to use batch reinforcement learning algorithms, in which an autonomous system, without knowing the network setting, find a policy rule to controle the behavior of the network from time samples. Thus, this research aims to propose a new method batch reinforcement learning that can affect the gene activity profile as well as the optimal techniques, despite having no information on the dynamic model of the network.**

***Keywords*— Batch Reinforcement Learning, Gene Regulatory Networks, Markov Decision Process.**

***Resumo*— A modelagem de uma rede de regulação gênica permite simular estratégias de controle para alterar o comportamento do sistema biológico no longo prazo. Tais estratégias de controle podem ser executadas por tratamentos que consigam modificar a rede da forma pretendida. Cada gene pode assumir um conjunto de valores, como ligado e desligado, e cada instância do conjunto de genes é conhecida como estado. Devido a quantidade exponencial de estados, surgiram métodos para reduzir a complexidade da intervenção, porém a inferência e armazenamento do modelo possuem complexidade exponencial, tornando a sua utilização inviável para redes grandes. Uma alternativa é a utilização de algoritmos de aprendizado por reforço em lote, nos quais um sistema autônomo, sem conhecer a rede de regulação, encontrará uma regra de controle para modificar o comportamento da rede a partir de amostras temporais. Assim, essa pesquisa pretende propor um novo método de aprendizado por reforço em lote que consiga afetar o comportamento genético tão bem quanto as técnicas dependentes de modelo, apesar de não possuir informações sobre o modelo dinâmico da rede.**

***Palavras-chave*— Aprendizado por Reforço em lote, Redes de Regulação Gênica, Processo de Decisão de Markov.**

I. Introdução

Rede de Regulação Gênica (GRN - Gene Regulatory Network) é um modelo que descreve as interações entre os genes no genoma, possibilitando compreender o comportamento do sistema biológico. Esse comportamento é capturado principalmente por um conjunto de estados que formam um ciclo que será percorrido indefinidamente [1], no entanto certos ciclos podem estar associados a doenças que espera-se tratar. Por exemplo, no caso do melanoma, o gene WNT5A é um forte indicador da agressividade do tumor [2], pois a sua capacidade de entrar em metástase aumenta quando esse gene passa a produzir uma grande quantidade de proteínas [3]. Em outras palavras, o gene está em um ciclo de produção que requer a sua constante ativação, por isso é importante encontrar um procedimento para mante-lo desligado. Isso pode ser feito por meio de simulações na GRN, onde é possível encontrar quais ações devem ser executadas em determinado momento para controlar a rede [4].

Uma vez que a inferência da GRN possui um elevado custo computacional [5], métodos de controle que consigam gerar políticas efetivas sem o conhecimento prévio do modelo tornam-se alternativas relevantes. Uma possibilidade é aplicar técnicas de aprendizado por reforço (RL - Reinforcement Learning), nas quais um sistema autônomo aprende o que fazer em cada situação de um ambiente desconhecido de forma a maximizar um sinal numérico de recompensa [6]. Dentre os métodos de RL, o RL em lote (BRL - Batch Reinforcement Learning) é especialmente vantajoso para trabalhar com GRN, pois nesse caso o sistema pode utilizar um conjunto de observações previamente realizadas para aprender uma regra de atuação, conhecida como política. A primeira técnica de BRL aplicada no controle de GRN foi proposta em [7], onde os autores empregaram o algoritmo Fitted Q-Iteration usando a expressão gênica como característica da função de aproximação paramétrica, cujos parâmetros obtêm-se aplicando regressão por mínimos quadrados.

O trabalho de [7] mostrou que as técnicas de BRL possuem grande potencial para serem utilizadas no controle de GRN. Esses resultados motivam essa pesquisa que visa propor um novo método BRL que permita o aprendizado de políticas com o intuito de controlar GRNs sem a construção prévia do modelo. A contribuição esperada deste trabalho é a consolidação da utilização de RL para intervenção de GRN, aprimoramento das técnicas do estado da arte de modo que a solução encontrada seja biologicamente consistente e consiga

alterar o comportamento da rede da forma pretendida.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte forma: Trabalhos relacionados são descritos na seção II. Na seção III os conceitos básicos são descritos. Já as seções IV e V abordam, respectivamente, os objetivos desta pesquisa e os resultados parciais. E, por fim, a seção VI descreve os trabalhos futuros.

II. Trabalhos Relacionados

Em [8], os autores propuseram a primeira técnica independente de modelo para controlar uma GRN, a qual calcula a média dos tempos que leva para transitar entre estados desejados e indesejados, e depois seleciona a ação com o tempo mais apropriado ao objetivo. Por ser uma técnica gulosa, pode escolher ações com um menor valor a longo prazo. Já [5] propuseram aplicar uma técnica de aprendizado por reforço denominada Q-Learning com um simulador para emular as interações com o ambiente. Diferentemente do presente trabalho, ambas as técnicas armazenam o valor exato de cada par estado/ação, pois não utilizam uma função de aproximação para representar esses valores. Além de facilitar a utilização em grandes redes, a função de aproximação também atribui um valor a pares estados/ações ainda não visitados, agilizando a convergência da solução.

O trabalho mais similar à nossa proposta talvez seja o proposto por [7], no qual utilizou-se o algoritmo de BRL Fitted Q-Iteration com aproximação por mínimos quadrados (LSFQI) [9] para gerar uma política diretamente dos dados temporais. Neste trabalho, cada gene da amostra define uma característica do algoritmo de aproximação paramétrico, o qual obtém os parâmetros que minimizem o erro quadrático entre o valor alvo e o resultado da aproximação. [7] não utilizou representação fatorada que possibilita a função de aproximação fazer uma análise de vizinhança mais eficaz.

III. Conceitos Fundamentais

A. Redes de Regulação Gênica

Os genes no genoma formam uma rede de interações conhecida como GRN, onde cada gene pode ser ativado ou inibido por um conjunto de genes. Em outras palavras, o valor de cada gene é determinado por uma função denominada preditora, cuja saída depende dos valores atuais dos genes preditores. Além disso, como a célula possui um comportamento naturalmente estocástico, a GRN pode ser modelada com mais de uma função preditora por gene, assim como pode-se considerar a possibilidade de ruídos acontecerem. Em termos de GRN, o ruído faz com que um gene receba um valor diferente do determinado pela função, permitindo a modelagem de influências externas como a temperatura.

Para inferir a GRN, são utilizadas amostras da expressão gênica que medem em valores contínuos o nível de atividade de cada gene analisado. Desta forma, para utilizar modelos discretos, como em [10] e [4], é necessário discretizar os dados previamente. Este trabalho focará em modelos binários, entre suas principais vantagens está o manuseio de fenômenos essenciais e por necessitar de uma quantidade de dados que as modelagens contínuas, além de ser uma das modelagens mais utilizadas para o estudo de controle em GRN [11].

Nos modelos binários, cada possível combinação dos valores dos genes é chamada de estado, que pode ser representado por um vetor com n elementos que varia de $00..0$ até $11...1$. Esse vetor pode ser mapeado em seu equivalente decimal, tomando valores do intervalo $[1, 2^n]$ [12]. O estado como número decimal simplifica a representação, assim como facilita a manipulação dos dados.

As amostras representam estados captados na medição e, nas amostras temporais, também indicam possíveis regras de transição do estado atual para o próximo. Os algoritmos de inferência buscam encontrar as regras de transição de estados que conseguem explicas as amostras disponíveis, ou seja, quais e como os preditores influênciam o valor de cada gene. Dentre os algoritmos disponíveis para modelos binários vale mencionar o Best-Fit Extensions [13], onde cada gene pode ter dois valores, 1 para ativo e 0 para inibido, e o valor devolvido será aquele com a maior quantidade de acertos. Assim, dados n genes e uma quantidade máxima k de preditores, o algoritmo verifica quantas predições corretas das $\binom{n}{k}$ combinações de preditores foram feitas para as saídas 0 e 1 de cada gene, então retorna os preditores e saída com mais acertos. Após determinar as funções de predição, pode-se gerar a matriz de probabilidades de transição de estados que determina a probabilidade de um estado transitar para outro. No caso de modelos binários a matriz conterá 2^n estados por 2^n, e ao considerar ruído todas as probabilidades são maiores do que zero. Assim, todo o processo possui complexidade computacional exponencial na quantidade n de genes, o que dificulta a sua aplicação para grandes GRNs.

B. Controle de Redes de Regulação Gênica

O controle de GRN por controle externo é baseado em alterar o valor de determinados genes, denominados genes de controle. Para isso, são aplicadas ações da forma $a = 1$ para alterar o seu valor, ou $a = 0$ para mantê-lo [14], os quais representam a aplicação ou não de remédios. A melhor política informará quando o gene de controle deve ser alterado para aumentar a probabilidade de afastar a rede de ciclos biologicamente prejudiciais [6].

O controle de GRN pode ser modelado como um MDP, formalmente descrito pela quádrupla $\langle S, A, T, R\rangle$ [15], no qual S é o conjunto de possíveis estados; A é o conjunto de ações disponíveis para executar; T é a função de transição $T : (S, A, S) \rightarrow [0, 1]$ e R é a função de recompensa $R : (S, A, S) \rightarrow \mathbb{R}$. A função T especificada por $T\left(s^t, a^t, s^{t+1}\right)$ indica a probabilidade de transitar do estado atual s^t para o estado s^{t+1}, após aplicar a ação a no tempo t. O problema central do MDP é encontrar uma política π de atuação, ou seja, especificar qual ação $\pi(s)$ deverá ser escolhida quando o processo estiver no estado s a fim de maximizar a recompensa esperada.

No caso do controle de GRN, em vez de uma função de recompensa é utilizada uma função de custo a ser minimizada. Assim, o custo esperado pode ser utilizado como um critério

de comparação entre soluções, o qual representa o custo de seguir a política π:

$$E\left[C(\pi)\right] = \sum_{s}\sum_{s\prime} p(s)p(s\prime|s,\pi(s))custo(s,\pi(s),s\prime).$$

C. Aprendizado por Reforço em Lote

A aprendizagem por reforço (RL) é definida como um paradigma de aprendizado tradicionalmente modelado como um MDP [6]. No RL, um sistema aprende por meio de interações com o ambiente, quais ações o levarão a alcançar o objetivo desejado. Uma forma de resolver o MDP por meio de RL é com o algoritmo Q-Learning [16]. Este algoritmo avalia a qualidade de cada par estado-ação definida na função Q, de acordo com o valor esperado de recompensas a longo prazo. Conforme o sistema atua no ambiente, o Q-Learning atualiza o valor da função $Q_{t+1}(s^t, a^t) \leftarrow r^t + \gamma \max_a Q_t(s^{t+1}, a^t)$, de forma incremental com as recompensas recebidas a cada passo. γ é um fator de desconto $(0 < \gamma < 1)$ que codifica o horizonte em que recompensas são relevantes e também assegura que a soma das recompensas recebidas é finita.

Contudo, no controle de GRN não existe interação com o ambiente, e sim um conjunto de amostras (lote) dessas interações. Para esses casos, uma ramificação do RL conhecida como aprendizado por reforço em lote (BRL) é mais indicada, pois visa encontrar a melhor política possível de um conjunto de experiências $\mathscr{F} = \left\{(s^t, a^t, r^t, s^{t+1})\right\}$ fornecido a priori [17]. Um dos mais utilizados métodos de BRL é o Fitted Q-Iteration (FQI) [18], que pode ser considerado a versão em lote do Q-Learning. O algoritmo FQI, aproxima $Q(s,a)$ iterativamente utilizando técnicas de regressão supervisionada em um conjunto de treinamento $\mathcal{TS} = \{(s^t, a^t, \bar{q}(s^t, a^t))\}$, onde $\bar{q}(s^t, a^t)$ representa a atualização de $Q(s^t, a^t)$ da experiência (s^t, a^t, r^t, s^{t+1}).

IV. Objetivo

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um algoritmo de BRL para controlar a GRN a partir de um conjunto de amostras de expressão gênica temporal. Espera-se que a política gerada pelo algoritmo seja capaz de afastar ciclos biologicamente prejudiciais tão bem quanto os métodos dependentes de modelo.

V. Resultados Parciais

Como foi dito anteriormente, cada estado de uma GRN representa uma expressão gênica e em geral considera-se o seu equivalente em decimal, entretanto essa representação enfraquece a percepção de similaridade entre expressões. Por exemplo, a distância entre 2 e 34 não indica que eles são similares, e possuem apenas um gene de diferença (000010 e 100010). Em outras palavras, a sua distância numérica sempre será maior ou igual a distância de Hamming entre dois estados. Além disso, a noção de vizinhança, ponto importante para funções de aproximação, é prejudicada. Levando isso em consideração, modificou-se o algoritmo FQI para aplicar o conceito de MDP Fatorado [19], o qual decompõe os estados em um conjunto de fatores para representar o modelo de forma mais compacta.

No MDP Fatorado, o conjunto de estados é descrito como uma variável aleatória fatorada $\mathbf{s} = \{s_1, .., s_n\}$, onde cada s_i toma valores do seu domínio $Dom(s_i)$. Assim, cada estado é formado por n genes $\mathbf{s} = \{x_1, .., x_n\}$, onde $Dom(x_i) \in \{0, 1\}$. Desta forma, o conjunto de experiências $\mathscr{F} = \left\{(x_1^t, .., x_n^t, a^t, r^t, x_1^{t+1}, .., x_n^{t+1})\right\}$ passa a conter o estado fatorado e $\bar{q}^h(x_1^t, .., x_n^t, a)$ é atualizado por:

$$\bar{q}^h(x_1^t, ..., x_n^t, a)) = r^t + \gamma max_a \bar{Q}^{h-1}(x_1^{t+1}, ..., x_n^{t+1}, a).$$

O FQI Fatorado utiliza o conjunto de fatores diretamente no FQI para controlar a GRN, desta forma, o algoritmo de aproximação consegue explorar a noção de vizinhança e possivelmente encontrar relações entre os genes. No caso da aproximação por árvore, a sua altura será menor na abordagem fatora, conforme evidenciado na imagem 1. Afinal ela está limitada pela quantidade de genes e isso fará com que a predição seja mais rápida que na abordagem tradicional.

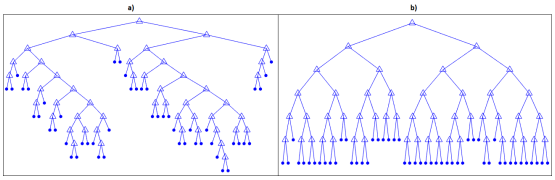


Figura 1. Altura das árvores de regressão geradas pelos algoritmos: a) FQI b) FQI Fatorado

A. Experimentos

Para avaliar a eficiência e eficácia do método proposto, foram feitos dois experimentos com GRNs geradas artificialmente pelo pacote Matlab disponível em [20]. Tendo o modelo gerado no simulador, pode-se avaliar a qualidade de cada algoritmo RL ao comparar a sua solução com o ótimo fornecido pelo modelo.

As tuplas de experiências são transições de estados obtidas pelo modelo, no qual dado um estado s^t e ação a^t aleatoriamente escolhida, simula-se um passo no tempo para obter o novo estado s^{t+1}. Além disso, os algoritmos independentes de modelo processaram os mesmos conjuntos de experiências, evitando assim, diferenças nos resultados devido a diferentes entradas. No caso dos algoritmos FQI e FQI Fatorado, utilizou-se regressão por árvore [21], entre suas vantagens está a sua flexibilidade em modelar funções com forma não conhecida a priori, seleção automática de atributos e fácil interpretação.

A fim de comparar a qualidade dos resultados dos métodos de BRL em relação à quantidade de amostras disponíveis, foram realizados dois experimentos. O primeiro mediu o desvio padrão de $E\left[C(\pi)\right]$ nos 200 testes realizados por conjunto de amostras, cujo tamanho variava de 50 a 1000 tuplas de experiências. O segundo com cinco testes para conjuntos com tamanho de 100 a 4000 experiências.

O resultado do primeiro experimento, apresentado na figura 2, mostra os desvios padrões dos custos dos 200 testes realizados para diferentes tamanhos de conjuntos de experiências. Pode-se notar que o custo melhora conforme o conjunto aumenta, em outras palavras, o controle é mais eficaz quando mais experiências estão disponíveis para treinamento. O fato do desvio padrão diminuir indica resultados mais estáveis aos diferentes conjuntos de treinamento, pois tornam-se cada vez mais representativos em relação à distribuição real.

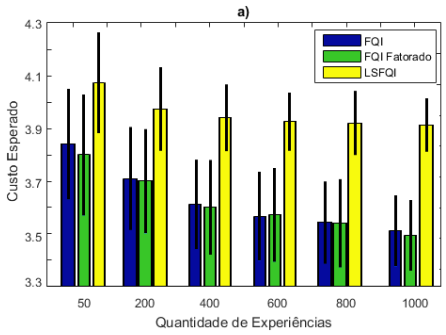


Figura 2. Tendência com o aumento do conjunto de treinamento.

O resultado do segundo experimento, apresentado na figura 3, mostra claramente que $E[C(\pi)]$ fica mais próximo do ótimo quando o conjunto de treinamento é maior. Pode-se notar que para esta GRN, o valor de $E[C(\pi)]$ praticamente estabiliza a partir do tamanho 2500 e tem apenas pequenas variações relativas ao quanto o conjunto de dados representa a distribuição real.

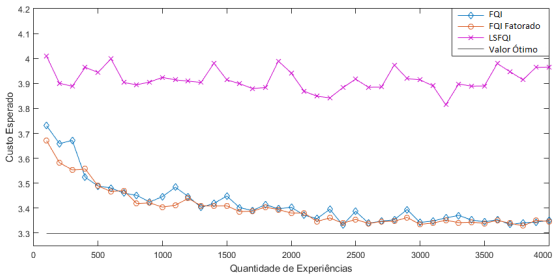


Figura 3. Tendência de $E[C(\pi)]$ para conjuntos de treinamento de 100 a 4000 amostras.

VI. Trabalhos Futuros

Os testes comprovaram que os algoritmos de BRL chegam próximo do custo ótimo quando o conjunto de treinamento é grande. Entre eles, o FQI Fatorado obteve os melhores resultados, demonstrando que a noção de similaridade entre expressões gênicas é um ponto importante.

Na sequência desta pesquisa, pretende-se investigar se ao aplicar outros algoritmos de regressão como Support Vector Machines [22] e redes neurais artificiais, a solução do algoritmo FQI Fatorado obtém bons resultados. E então aplicar o algoritmo em amostras gênicas reais para verificar o seu comportamento.

Agradecimentos

Agradecemos à Capes e ao CNPq (Processo n°: 311608/2014-0) pelo auxílio

Referências

[1] JONG, H. de. Modeling and simulation of genetic regulatory systems: a literature review. *Journal of computational biology : a journal of computational molecular cell biology*, v. 9, n. 1, p. 67–103, 2002. ISSN 1066-5277. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1089/10665270252833208>.

[2] BITTNER, M. et al. Molecular classification of cutaneous malignant melanoma by gene expression profiling. *Nature*, v. 406, p. 536–540, 2000.

[3] WEERARATNA, A. T. et al. Wnt5a signaling directly affects cell motility and invasion of metastatic melanoma. *Cancer cell*, Elsevier, v. 1, n. 3, p. 279–288, 2002.

[4] SHMULEVICH, I. et al. Probabilistic boolean networks: a rule-based uncertainty model for gene regulatory networks. *Bioinformatics*, v. 18, n. 2, p. 261–274, 2002.

[5] FARYABI, B.; DATTA, A.; DOUGHERTY, E. On approximate stochastic control in genetic regulatory networks. *Systems Biology, IET*, v. 1, n. 6, p. 361–368, November 2007. ISSN 1751-8849.

[6] SUTTON, R. S.; BARTO, A. G. *Introduction to Reinforcement Learning*. 1st. ed. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1998. ISBN 0262193981.

[7] SIRIN, U.; POLAT, F.; ALHAJJ, R. Employing batch reinforcement learning to control gene regulation without explicitly constructing gene regulatory networks. In: *Proceedings of the Twenty-Third International Joint Conference on Artificial Intelligence*. [S.l.]: AAAI Press, 2013. (IJCAI '13), p. 2042–2048. ISBN 978-1-57735-633-2.

[8] VAHEDI, G. et al. Intervention in gene regulatory networks via a stationary mean-first-passage-time control policy. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, v. 55, n. 10, p. 2319–2331, Oct 2008. ISSN 0018-9294.

[9] BUSONIU, L. et al. *Reinforcement learning and dynamic programming using function approximators*. [S.l.]: CRC press, 2010. v. 39.

[10] KAUFFMAN, S. A. Metabolic stability and epigenesis in randomly constructed genetic nets. *Journal of theoretical biology*, Elsevier, v. 22, n. 3, p. 437–467, 1969.

[11] YOUSEFI, M.; DATTA, A.; DOUGHERTY, E. Optimal intervention strategies for therapeutic methods with fixed-length duration of drug effectiveness. *Signal Processing, IEEE Transactions on*, v. 60, n. 9, p. 4930–4944, Sept 2012. ISSN 1053-587X.

[12] PAL, R.; DATTA, A.; DOUGHERTY, E. Optimal infinite horizon control for probabilistic boolean networks. In: *American Control Conference, 2006*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 6 pp.–.

[13] SHMULEVICH, I. et al. Inference of genetic regulatory networks via best-fit extensions. In: *Computational and Statistical Approaches to Genomics*. [S.l.]: Springer, 2003. p. 197–210.

[14] SHMULEVICH, I.; DOUGHERTY, E. R. *Probabilistic Boolean networks: the modeling and control of gene regulatory networks*. [S.l.]: siam, 2010.

[15] PUTERMAN, M. L. *Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming*. 1st. ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2005. ISBN 0471619779.

[16] WATKINS, C. J.; DAYAN, P. Q-learning. *Machine learning*, Springer, v. 8, n. 3-4, p. 279–292, 1992.

[17] LANGE, S.; GABEL, T.; RIEDMILLER, M. Batch reinforcement learning. In: WIERING, M.; OTTERLO, M. van (Ed.). *Reinforcement Learning*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2011, (Adaptation, Learning, and Optimization, v. 12). p. 45–73. ISBN 978-3-642-27644-6.

[18] ERNST, D.; GEURTS, P.; WEHENKEL, L. Tree-based batch mode reinforcement learning. In: *Journal of Machine Learning Research*. [S.l.: s.n.], 2005. p. 503–556.

[19] BOUTILIER, C.; DEARDEN, R.; GOLDSZMIDT, M. Stochastic dynamic programming with factored representations. *Artificial Intelligence*, Elsevier, v. 121, n. 1, p. 49–107, 2000.

[20] YOUSEFI, M. R.; DOUGHERTY, E. R. Intervention in gene regulatory networks with maximal phenotype alteration. *Bioinformatics*, Oxford Univ Press, v. 29, n. 14, p. 1758–1767, 2013.

[21] BREIMAN, L. et al. *Classification and regression trees*. [S.l.]: CRC press, 1984.

[22] VAPNIK, V. N. The nature of statistical learning theory. Springer-Verlag New York, Inc., 1995.

Legal guidelines for privacy engineering
Diretrizes legais para a engenharia da privacidade

KERR, V. K. S.[*]; SPINA, E.[*]
[*]Laboratório Knoma - Universidade de São Paulo
{verakerr, spina}@usp.br

***Abstract*— The improvements, advancements and the increasing use of Information and Communication Technology in all fields of human activity as well as the advent of the Internet have represented a significant change in our society, particularly regarding data privacy. However, the rules governing data protection are based almost exclusively on legal issues not facing the technical questions involved, resulting in data protection laws which effectiveness is unsatisfying. Thus, we seek to analyze the technical issues involved in data protection in the digital environment and propose a way to regulate the matter harmonizing the two systems involved: the legal and the technical systems.**

***Keywords*— Systems architecture; Data protection; Information security; Privacy engineering.**

***Resumo*— O aprimoramento, o avanço e a crescente utilização da Tecnologia da Informação e Comunicação em todos os campos da atividade humana bem como o advento da Internet têm representado uma mudança significativa na sociedade, notadamente no que diz respeito à privacidade de dados. Entretanto, as normas que regulam a proteção de dados fundam-se quase que exclusivamente em pressupostos jurídicas não enfrentando as questões técnicas envolvidas, resultando em leis de proteção de dados com insatisfatória efetividade. Dessa forma, procurou-se analisar as questões técnicas envolvidas na proteção de dados no ambiente digital, e propor uma forma de se regular a matéria harmonizando os dois sistemas envolvidos: o jurídico e o técnico.**

***Palavras-chave*— Arquitetura de sistemas; Proteção de dados; Segurança da Informação; Engenharia da privacidade.**

I. INTRODUÇÃO

Vive-se, em âmbito nacional, importante momento do ponto de vista regulatório concernente à sociedade da informação. Isto porque, recentemente foi aprovado o Marco Civil da Internet, Lei nº 12.965, de 23 de abril de 2014, em vigor desde junho de 2014, bem como sua regulamentação veiculada pelo Decreto nº 8.771, de 11 de maio de 2016.

Considerado a Constituição da Rede, o referido marco legal regula o uso da Internet no Brasil, por meio da previsão de princípios, garantias, direitos e deveres do internauta, bem como a determinação de diretrizes para a atuação do Estado. Apresenta ainda um conjunto de normas que busca tutelar a titularidade do cidadão em relação aos seus dados pessoais veiculados pela Internet. Estabelece que as informações que o internauta fornece para acessar um site, um blog ou mesmo uma rede social permanecem sob sua titularidade e não das empresas prestadoras desses serviços de acesso. Tal fato busca permitir que o cidadão exerça controle sobre seus dados, vedando o mau uso, ou o uso não autorizado de suas informações. O aludido marco regulatório estabelece normas que protegem a privacidade, desde a guarda e tratamento dos registros pessoais ou comunicações por sites ou empresas que prestem serviços de acesso à Internet, assim como em relação à forma pela qual tais informações devem ser fornecidas a terceiros. Posteriormente, a regulamentação do Marco Civil veio estabelecer os padrões de segurança para a guarda desses registros.

Neste contexto regulatório há também o Projeto de Lei de Proteção de Dados Pessoais. O mencionado projeto trata de forma específica do controle a ser exercido pelo cidadão sobre o uso de seus dados por terceiros quer seja o governo ou empresas privadas. Disciplina o tratamento que será dado a esses dados, buscando garantir e proteger a dignidade e os direitos fundamentais da pessoa humana, particularmente quanto à liberdade, igualdade e privacidade pessoal e familiar. Há ainda a preocupação de que a proteção de dados no Brasil seja regida pelo consentimento e uso legítimo dos mesmos, tendo como suporte um padrão mínimo de segurança e privacidade.

Diante desse cenário, vários desafios evidenciam-se:

1. Equilibrar a proteção da privacidade, direito constitucionalmente tutelado, com os interesses econômicos diretamente ligados à tecnologia, em especial ao processamento de dados, base de muitas atividades relacionadas à nova economia;

2. As regras de boas práticas referentes ao tratamento a ser dispensado aos dados pessoais não devem ser apenas recomendações de boas práticas tecnológicas, mas devem ser veiculadas por normas de natureza cogente, impondo o seu comando aos respectivos destinatários;

3. As normas cogentes acima mencionadas devem compor tratados internacionais cuja vigência atinja o maior número de Estados soberanos considerando a ubiquidade da Internet;

4. As referidas regras devem alinhar-se ao estado da técnica considerando o constante avanço tecnológico.

Entretanto, o desafio maior que se apresenta é a tutela dos dados pessoais não somente do ponto de vista jurídico mas também do ponto de vista técnico considerando tratar-se de informações em formato digital, a partir de fontes eletrônicas.

II. A TUTELA DA PRIVACIDADE

A visão de que a privacidade deveria ser entendida como a possibilidade de o indivíduo ter meios de exercitar o controle seletivo do acesso às informações sobre si e estar ciente das consequências potenciais de exercitar esse controle [3] trata-se de abordagem limitada, pois considera o ambiente meramente físico. A invasão da privacidade baseia-se em informações recentes, referentes a uma pessoa em particular, obtidas por fontes humanas de rastreabilidade.

Na atualidade, as informações a respeito das atividades das pessoas estão armazenadas por um período mais longo de tempo e disponíveis a partir de múltiplas fontes eletrônicas, sendo que a violação da privacidade pode ocorrer inclusive indiretamente [8]. Como resultado, o acesso às informações pessoais está não apenas sob o controle de uma pessoa mas também sob o uso indesejado por terceiros. Os engenheiros são os primeiros responsáveis por garantir que os usuários possam exercer o controle imediato do acesso a seus dados pessoais. Eles são responsáveis por minimizar riscos futuros à privacidade pela proteção dos dados após não mais estarem debaixo do controle direto dos usuários [9].

Todos os sistemas de informação executam uma ou mais das seguintes tarefas: transferência de dados, armazenamento de dados e processamento de dados. Cada uma dessas atividades gera preocupações quanto à proteção de dados pessoais. Entretanto, o seu impacto sobre a privacidade varia dependendo de como essas tarefas são executadas [5], que tipos de dados estão envolvidos, quem é o usuário dos dados [1] [2] e em quais das três esferas elas ocorrem.

A transferência de dados pode ocorrer em três níveis:

a) os dados podem ser transferidos a partir do sistema do usuário para um provedor de serviços;

b) após a transferência inicial os recipientes podem compartilhar dados dentro das suas próprias organizações;

c) o dado pode ser transferido para parceiros externos, sendo que parceiros externos são qualquer recipiente de dados fora dos limites organizacionais do parceiro de interação direta do usuário.

O primeiro tipo de transferência envolve a esfera do usuário. Nesse ponto os engenheiros têm que garantir uma transição de dados do usuário controlada para o recipiente selecionado. A transferência pode ser ou não consentida. Quanto ao armazenamento de dados, esse geralmente ocorre no computador da entidade coletora de dados. Os dados podem ser armazenados em bases, registros de transação ou arquivos de *logs* em servidores primários e fitas de backup. Garantir que os dados armazenados estejam adequadamente protegidos de acesso não autorizado é responsabilidade fundamental da engenharia. A lei sobre privacidade, em alguns países, determina que os engenheiros garantam transparência e algum grau de controle sobre dados pessoais armazenados em sistemas computacionais [8].

A proteção de dados tornou-se inclusive uma preocupação quanto às aplicações locais de armazenamento em sistema pessoal do usuário, algumas vezes sem a percepção dele próprio. Exemplos: editor de texto armazena metadados pessoais em documentos para descrever a criação de um documento e o histórico de alterações do documento; navegadores da web armazenam o histórico de navegação do usuário e ainda guardam o conteúdo de navegação [4].

O processamento de dados refere-se a qualquer uso ou transformação de dados. É geralmente feito fora da esfera de influência do usuário. O processamento de dados geralmente é uma parte necessária de um serviço contratado pelo usuário. Normalmente, enquadram-se no uso secundário dos dados pessoais que pode não ser da ciência do usuário. Por exemplo, as companhias podem agrupar clientes em segmentos baseados nas suas compras ou podem fornecer seus e-mails para fazer parte de banco de dados ligados ao marketing personalizado. Tal uso secundário pode ocorrer com ou sem o envolvimento explícito dos usuários [7].

Providências precisam ser tomadas para garantir que os terceiros protejam os dados que recebem e não os usem para propósitos privados sem a anuência de seus proprietários. Existe uma lista crescente de quebra de privacidade e de incidentes de sua violação devido à negligência por parte de terceiros, provedores de serviços [8].

III. A TUTELA DA PRIVACIDADE POR MEIO DE POLÍTICAS DE PRIVACIDADE OU PELA ARQUITETURA DE SISTEMAS

Políticas de privacidade enfocam a implementação de notificação e escolha do usuário. Esses sistemas devem integrar a notificação e mecanismos de acesso com o fim de tornar seus usuários conscientes dos riscos da privacidade e ainda oferecer a eles escolha para exercer o controle sobre a sua informação pessoal, conforme demonstrado na figura 1.

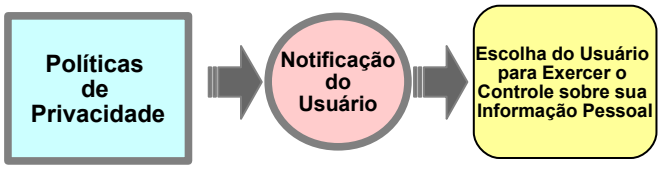


Fig. 1. Esquema relativo à tutela da privacidade por meio de políticas de privacidade.

A proteção da privacidade por meio da arquitetura, segundo a figura 2, trata-se de sistema automatizado visto que não emprega técnica baseada em políticas de privacidade. Nesse modelo, a proteção da privacidade é tecnicamente imposta pelo sistema. Desta forma, minimiza a coleta de dados pessoais identificáveis e enfatiza a anonimização no processamento e armazenamento de dados [8].

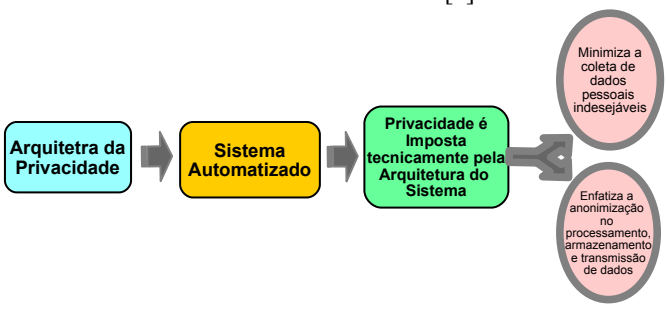


Fig. 2. Esquema relativo à tutela da privacidade por meio da arquitetura de sistemas.

Dessa forma, os engenheiros serão, cada vez mais, os responsáveis pela integração de soluções envolvendo a proteção da privacidade dentro dos sistemas que estão construindo ou mantendo. Isto porque, os princípios que norteiam a proteção de dados precisam ser traduzidos em requisitos técnicos a serem impostos aos usuários pelo próprio sistema. [XX]

Entretanto, o grande desafio é como a engenharia vai integrar e traduzir os princípios relacionados à proteção da privacidade em requisitos técnicos a nortear o desenho da arquitetura do sistema.

A privacidade tutelada pela arquitetura permite a inserção de diretrizes legais que atuam como requisitos na construção do sistema. Somente dessa forma é possível normatizar a engenharia da privacidade harmonizando os dois sistemas, o jurídico e o técnico.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente artigo pretendeu-se apresentar a questão da proteção dos dados pessoais no Brasil e os desafios que envolvem essa temática.

Relatou-se a ausência de previsão legal específica que regule a matéria bem como o desafio de se buscar a tutela dos dados pessoais não somente no âmbito jurídico mas também no âmbito técnico.

Analisou-se a tutela da privacidade pela ótica das políticas de privacidade e pela arquitetura de sistemas, constatando-se que os engenheiros detêm o controle da privacidade ao elaborar a arquitetura dos sistemas que dão suporte aos dados digitais.

Entende-se, portanto, que para que a tutela da privacidade seja efetiva, deve-se buscar harmonizar os sistemas jurídico e técnico, por meio do estabelecimento de diretrizes legais que atuem como requisitos na construção da arquitetura de sistemas relacionados aos dados de natureza digital.

AGRADECIMENTOS

Este artigo teve o apoio, em parte, do Centro de Estudos Sociedade e Tecnologia – CEST, da Universidade de São Paulo.

REFERÊNCIAS

[1] ADAMS A., SASSE A. Taming the Wolf in Sheep's Clothing: Privacy in Multimedia Communications, Proc. Seventh ACM Int'l Multimedia Conf., 1999.

[2] ADAMS A., SASSE A., Privacy in Multimedia Communications: Protecting Users, Not Just Data, People and Computers XV—Interaction without Frontiers, J. Blandford, J. Vanderdonkt, and P. Gray, eds., pp. 49-64, Springer, 2001.

[3] ALTMAN, I. The environment and Social Behavior: Privacy, Personal Space, Territory, Crowding. Brookes/Cole, 1975.

[4] BYERS S., Information Leakage Caused by Hidden Data in Published Documents, IEEE Security & Privacy, vol. 2, no. 2, pp. 23-27, 2004.

[5] CRANOR L.F. I Didn't Buy It for Myself. Designing Personalized User Experiences in E-Commerce. C.-M. Karat, J.O. Blom, and J. Karat, eds., Kluwer Academic Publishers, 2004.

[6] CRANOR L.F. Privacy Policies and Privacy Preferences. Security and Usability: Designing Secure Systems that People Can Use. L. Cranor and S. Garfinkel, eds., 2005.

[7] DIRECTIVE 95/46/EC of the European Parliament and of the Council of 24 October 1995 on the Protection of Individuals with Regard to the Processing of Personal Data and on the Free Movement of Such Data J. European Communities, v. 281, n. 31, 1995.

[8] DONG, X. et al. Secure sensitive data sharing on a big data platform. Disponível em: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7040516 Acesso em: 19 ago 2015.

[9] DOTY, N. Reviewing for Privacy in Internet and Web Standard-Setting. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?queryText=Reviewing%20for%20Privacy%20in%20Internet%20and%20Web%20Standard-Setting>. Acesso em 22 ago. 2015.

[10] GURSES, S. Privacy and Security: Can You Engineer Privacy? The challenges and potential approaches to applying privacy research in engineering practice. Communications Of The ACM, v. 57, No. 8, Aug. 2014.

[11] LEONARDI, M. Tutela da privacidade na Internet. São Paulo: Saraiva, 2012.

[12] LIU, L., Requirements Engineering for Security, Privacy and Services in Cloud Environments Stefanos Gritzalis. Published online: 3 July 2013 Springer-Verlag, London 2013.

[13] SPIEKERMANN S.; CRANOR F. Engineering Privacy. IEEE Transactions on Software Engineering, v. 35, n. 1, pp.37-82, Jan-Fev 2009.

[14] SOLOVE D.J. A Taxonomy of Privacy Univ. of Pennsylvania Law Rev., v. 154, 2005.

[15] ZANDI, I. Science and engineering in the age of systems, presented at What is System Engineering? Sept 19 2000. In: International Council on System Engineering (INCOSE). Disponível em: <http://www.incose.org/delvalley/Zandi_Paper.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2013.

Model of Food Conservation System Based on IoT-A and Adaptive Decision Table

Modelo de um Sistema de Conservação de Alimentos Baseado na IoT-A e Tabela de Decisão Adaptativa

KAWANO, B. R.*; CUGNASCA, C. E. *
*Laboratório de Automação Agrícola (LAA) – Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
bruno.kawano@usp.br; carlos.cugnasca@poli.usp.br

***Abstract*—Agricultural products in supply chain are essential for the development of the Brazilian economy. Among the main products exported by Brazil are perishable agricultural products, especially fruits. The traceability of agricultural products is a consumer demand in developed countries and for the harvesting, storage, transportation and delivery of information related to products and processes that have been submitted. Current systems do not allow the traceability and control of perishable food transport conditions are constraining factors to the quality of food transported. This paper proposes the use of control and adaptive technology tools, through Decision Table Adaptive in order to obtain a more efficient system control of food transport conditions. As a result of this study, I propose a model that allows monitoring of variables such as carb gas, oxygen gas, temperature, relative humidity and ethylene gas content during transport and storage of perishable agricultural products in order to extend the lifetime useful food. Furthermore, it presents elements for the construction of an adaptive decision table to control the environmental conditions for food preservation. Thus, increasing the competitiveness of the agricultural supply chain is expected, as well as meet consumer demands.**

***Keywords*— Adaptivity; Food Preservation; Control; food transport.**

***Resumo*—Cadeias de suprimentos de produtos agrícolas são essenciais para o desenvolvimento da economia brasileira. Entre os principais produtos exportados pelo Brasil são produtos agrícolas perecíveis, principalmente as frutas. A rastreabilidade dos produtos agrícolas é uma exigência dos consumidores nos países desenvolvidos e em relação à colheita, armazenamento, transporte e fornecimento de informações relacionadas a produtos e processos a que foram submetidos. Os sistemas atuais não permitem a rastreabilidade e o controle das condições de transporte de alimentos perecíveis são fatores restritivos à qualidade dos alimentos transportados. Este trabalho propõe a utilização de ferramentas de controle e tecnologia adaptativa, por meio da Tabela de Decisão Adaptativa a fim de se obter um sistema mais eficiente de controle das condições de transporte de alimentos. Como resultado deste estudo, propõe-se um modelo que permita monitoramento de variáveis como teor de gás carbônico, gás oxigênio, temperatura, umidade relativa e teor de gás etileno durante o transporte e armazenamento de produtos agrícolas perecíveis de modo a prolongar o tempo de vida útil dos alimentos. Além disso, apresentam-se elementos para a construção de uma tabela de decisão adaptativa para controlar as condições ambientais para a preservação de alimentos. Assim, o aumento da competitividade da cadeia de suprimentos agrícolas é esperado, bem como atender às demandas do consumidor.**

***Palavras-chave*— Adaptatividade; conservação de alimentos; controle; transporte de alimentos.**

I. INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) traz um novo paradigma, recente que considera a conectividade de objetos do dia a dia em qualquer momento e em qualquer lugar [1]. Esse termo foi usado inicialmente por Kevin Ashton em uma apresentação feita em 1999 na gestão de cadeia de suprimentos com conexão à Internet [2].

A ideia básica da IoT é a presença generalizada de coisas ou objetos em torno das pessoas que, através de um esquema único de endereçamento, são capazes de interagir uns com os outros e cooperar com seus vizinhos para alcançar objetivos comuns [3]. Segundo [4], ela abrangerá de 50 a 100 bilhões de dispositivos até 2020.

Este cenário considera não apenas as comunicações máquina-a-máquina (*Machine-to-Machine* – M2M), que poderá levar esse número potencial de objetos interconectados para 100 trilhões neste mesmo período [5]. A IoT considera a nomeação de todos os objetos que a ela encontra-se ligada, o que levará, segundo [6], a uma necessidade de intenso tráfego e transmissão de dados, o que será um objeto de estudos relevante.

Considerando a área de conservação de alimentos, envolvendo uma câmara fria, este artigo se baseou no modelo de arquitetura de referência para IoT, denominado IoT-A. Este modelo é apresentado por [7] e se baseia nos pré-requisitos conceituais e práticos da IoT como, por exemplo, escalabilidade, segurança, privacidade, interoperabilidade, no entanto esta arquitetura segue uma abordagem de visões e perspectivas que endereça os aspectos que são detalhados no sub-item II.

Neste contexto, buscou-se inserir neste trabalho tópicos e elementos de Tecnologia Adaptativa, [8,9]. A Tecnologia Adaptativa é relevante para se compreender o conceito de adaptatividade. Este termo é utilizado para representar uma característica de um dispositivo que tem a capacidade de alterar sua própria estrutura interna de forma autônoma, sem que haja a interferência externa.

Nesta mesma pesquisa [9], autor define um dispositivo adaptativo no qual detecta situações em que são necessárias ações de mudança de um determinado estado para outro estado mais estável ou desejado pré-programado, no caso deste projeto, o estado desejado é o da faixa desejada para que a variável permaneça ao longo do tempo.

Assim, o dispositivo tem a capacidade de reagir a mudanças necessárias para o devido funcionamento de um sistema, segundo variáveis de interesse. Neste trabalho as condições ambientais de uma câmara fria destinada à conservação de alimentos que foram consideradas são: temperatura do ar; umidade relativa; teor de gás carbônico; teor de gás oxigênio; teor de gás etileno (gás indicative da maturação); carga térmica inicial dos alimentos.

Indo ao encontro da interação dessas variáveis, apresenta-se aqui a proposta de um modelo de um sistema de conservação de alimentos, possuindo como base o Sistema Monitorar® [10], desenvolvido por meio de uma iniciativa junto com o PIPE da Fapesp (2012/50461-1) visando à rastreabilidade desse processo, que conjuga diversas tecnologias: o monitoramento contínuo de variáveis diversas, com capacidade de fornecer histórico de informações relevantes ao longo das cadeias de suprimentos no agronegócio por meio da web, e tecnologias adaptativas, que permitam estratégias de operação dos sistemas de refrigeração adaptáveis ao contexto, isto é, a cada tipo de produto e condições ambientais (internas e externas).

Assim, para o monitoramento e controle das variáveis ambientais no momento do transporte de produtos agrícolas serão considerados elementos adaptativos, para serem utilizados em uma Tabela de Decisão Adaptativa (TDA) como forma de suporte e controle automático das definições dos níveis das variáveis de controle ambiental da câmara fria. No estágio atual do trabalho, tem-se realizado as simulações necessárias para obtenção e análise dos resultados, a partir dos quais será possível apresentar resultados mais expressivos.

II. Rastreabilidade e Segurança Alimentar dos Alimentos

O tema deste trabalho está envolvido na questão da rastreabilidade e segurança alimentos dos alimentos. A rastreabilidade pode ser definida como o acompanhamento e monitoramento do produto ao longo de todos os elos da cadeia, permitindo a identificação de pontos críticos de controle de qualidade.

A Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (HACCP - Hazard Analysis and Critical Control Points na sigla em inglês) é então utilizada para se definir quais ações devem ser tomadas para evitar futuros problemas de qualidade. Caso estes ocorram, é possível chegar à fonte do problema e tratá-lo para evitar que eles ocorram novamente. A definição de rastreabilidade [11] é a habilidade de rastrear o histórico, o processamento e os locais por onde um produto passou por meio de identificações gravadas em um sistema.

Segundo [12], a aplicação do conceito de rastreabilidade possibilita um controle de todas as etapas de uma cadeia de suprimentos, fornecendo insumos para uma melhor análise e gestão de riscos da cadeia como um todo. A tecnologia de informação é essencial para que os objetivos da rastreabilidade sejam devidamente cumpridos, que segundo [13] descreve que ela permite uma simplificação na operacionalização das etapas de coleta, transmissão, armazenamento e acesso às informações relacionadas aos produtos e processos.

III. Materiais e Métodos

Este trabalho encontra-se em fase de desenvolvimento, mais precisamente na etapa de simulação do modelo adaptativo, e está sendo trabalhada a arquitetura do sistema com base no modelo IoT-A e no Sistema Monitorar, cujo protótipo encontra-se na instalado e operando na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Já foi realizado o levantamento, por meio de revisão de literatura, todas as informações relativas às condições de conservação de cada tipo de alimento a ser armazenado, para dessa forma serem inseridas as regras nas linhas das funções adaptativas, tais como as que definem limites superiores e inferiores para as variáves. Ao final serão executadas as ações adaptativas no software por meio de programação no *software Matlab* de acordo com o comportamento e mudanças nas condições do ambiente de armazenamento.

IV. Resultados Prévios e Etapas Futuras

Até o momento, criou-se um modelo de arquitetura, Figura 1, do sistema, para a etapa de acompanhamento dos fatores ambientais na produção agrícola no campo, conforme trabalho publicado [3]. Além disso, pretende-se coletar dados de umidade e temperatura dentro de um compartimento de transporte de cargas agrícolas, como um baú de um caminhão ou contêiner.

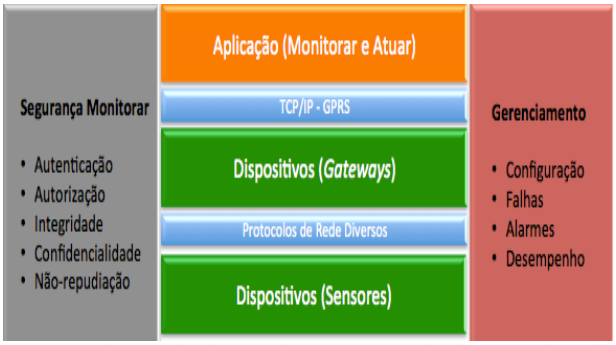


Figura 1: Arquitetura do sistema de conservação de alimentos baseado no modelo de referência IoT-A.
Fonte: Elaborado pelos autores

Em relação aos elementos adaptativos da TDA, elaborou-se um modelo, Figura 2, em que no campo das Linhas de Funções Adaptativas há os elementos de funções adaptativas como os nomes das funções, parâmetros, variáveis e geradores das funções adaptativas, tais como as que definem quais serão os valores para os limites superiores e inferiores, acima e abaixo dos quais as variáveis não poderão ultrapassar.

Já no campo das Ações Adaptativas a Serem Executadas, são inseridos os valores dos parâmetros, geradores e variáveis necessários para a execução do sistema. Neste trabalho, será considerado apenas o levantamento de algumas funções e ações adaptativas que poderão alimentar a TDA.

Independentemente do alimento considerado, fatores passíveis de controle são relevantes para a conservação de alimentos em câmaras frias, tais como:

Temperatura do ar;
Umidade relativa;
Teor de gás carbônico;
Teor de gás oxigênio;
Teor de gás etileno (gás indicativo da maturação);
Carga térmica inicial dos alimentos.

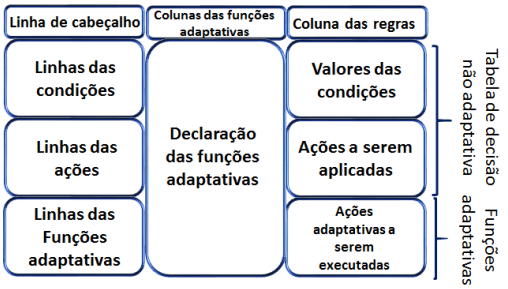


Figura 2: Elementos da tabela de decisão básica e adaptativa.
Fonte: Adaptado de [9].

A partir da Figura 2 então, pode-se conceber o modelo adaptativo seguindo os requisitos e critérios das variáveis e restrições a serem estabelecidas.

Neste contexto, buscou-se inserir neste trabalho tópicos e elementos de Tecnologia Adaptativa, [15] e [16]. A Tecnologia Adaptativa é relevante para se compreender o conceito de adaptatividade. Este termo é utilizado para representar uma característica de um dispositivo que tem a capacidade de alterar sua própria estrutura interna de forma autônoma, sem que haja a interferência externa.

Em [16] o mesmo autor define um dispositivo adaptativo no qual detecta situações em que são necessárias ações de mudança de um determinado estado para outro estado mais estável ou desejado. Assim, o dispositivo tem a capacidade de reagir a mudanças necessárias para o devido funcionamento de um sistema, segundo variáveis de interesse.

Assim, pode ser apresentado o conceito de Autômato Adaptativo (AA) que, segundo [16], é uma máquina de estados em que diversas alterações são estabelecidas de forma sucessiva, resultantes da aplicação de ações adaptativas associadas às regras de transições executadas pelo autômato.

Então, os estados e as transições podem ser ou incorporados ou eliminados ao autômato devido a cada passo executado quando da análise de entrada. Dessa forma, pode-se dizer que um AA, basicamente, pode ser constituído de um dispositivo convencional (não adaptativo) ou por um conjunto de mecanismos adaptativos que são responsáveis pelo ajuste automático do sistema, ao estado desejado que ele deva permanecer.

No caso deste trabalho, deseja-se que o estado a ser mantido seja o das condições das variáveis de controle do ambiente de conservação, a fim de se evitar o mínimo de perdas relacionadas às questões que envolvem qualidade, que consequentemente envolvem perdas econômicas.

Os resultados parciais baseiam-se na obtenção do levantamento dos dados da revisão bibliográfica, bem como das informações relativas às faixas ideais de conservação da manga e outros frutos, bem como a modelagem dos requisitos.

A partir de então, será realizada a conclusão das definições das funções adaptativas a fim de que se possa iniciar as simulações no software *Adaptools*, bem com os ajustes necessários.

Ressalta-se que esse modelo, embora será simulado com os dados da manga, pode ser extrapolado para outros produtos agrícolas perecíveis, tanto frutas, como verduras, até mesmo carnes e flores, cujos transportes também são realizados pela cadeia do frio.

De acordo com a bibliografia levantada, observou-se que há potencial de aplicação da tecnologia adaptativa por meio do dispositivo adaptativo Tabela de Decisão Adaptativa no modelo a ser desenvolvido. No entanto, notou-se que poucos trabalhos na literatura abordam a aplicação da tecnologia adaptativa na área agrícola e de conservação de

alimentos, demonstrando que há um potencial de desenvolvimento de estudos nessa linha de pesquisa.

Alguns levantamentos realizados até o momento estão sendo base para o desenvolvimento desta pesquisa como na Figura 3 e Tabela 1, que apresenta o comportamento das variáveis na unidade de conservação bem como quais são as faixas de temperatura de armazenamento ideais para os respectivos produtos, devendo assim, o sistema manter dentro desta faixa ideias das variáveis, caso ela atinja um valor inferior ou superior, igualmente prejudiciais à qualidade do produto.

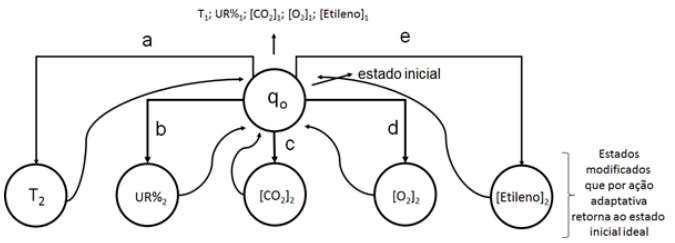


Figura 3 – Representação do comportamento esperado dos autômatos adaptativos no projeto.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, o sistema poderia ser configurado para controlar os limites mínimos de temperatura dos intervalos apresentados a partir dos quais um alerta poderia ser acionado permitindo ao sistema reconhecer automaticamente a necessidade de manutenção da temperatura dentro dos níveis ideais.

Tabela 1 - Pontos de congelamento e intervalos de temperatura de armazenamento ideais para diversos frutos.

Fruto	Pontos de Congelamento (°C)	Temperatura de Armazenamento (°C)
Abacate	-0,3	4,5 a 13,0
Banana	-0,7	13,0 a 14,0
Berinjela	-0,8	8,0 a 12,0
Caqui	-2,1	-1,0
Figo	-2,4	-0,5 a 0,0
Limão	-1,4	12,0 a 14,0
Laranja	-1,2	3,0 a 9,0
Maçã	-1,5	-1,0 a 4,0
Manga	-0,9	13,0
Pepino	-0,5	10,0 a 13,0
Pêssego	-0,9	-0,5 a 0,0

Fonte: Adaptado de [17].

V. CONCLUSÕES

Considerando-se o modelo proposto, há potencial de inovação e aplicação do sistema de conservação de alimentos baseado na arquitetura de referência IoT-A. Esses elementos se sustentam devido à abordagem simultânea da aplicação das tecnologias adaptativas e conceitos de IoT às cadeias produtivas do agronegócio, mais particularmente à etapa de armazenamento de produtos.

Como continuidade do projeto, pretende-se desenvolver todos os elementos da TDA a fim de que seja concluída a simulação adaptativa do sistema, desenvolvendo-se para tal, um algoritmo específico para esta tarefa de tomada de decisão de controle das condições ambientais em uma câmara fria de conservação de alimentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), auxílio nº 161109/2013 e 485847/2013-2. Revista IEEE América Latina, v. 14, p. 3199-3207, 2016.

REFERÊNCIAS

[1] ITU Report. The Internet of Things. International Telecommunication Union, 2005.
[2] ASHOTN, K. That 'Internet of Things' Things in the real world, things matter more than ideas. Disponível em : http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986. Junho 2009.
[3] GIUSTO, D.; IERA, A.; MORABITO, G.; ATZORI, L. The Internet of Things, Springer, 2010.
[4] SOUNDMAEKER, H. Vision and challenges for realising the Internet of Things. EUR-OP, 2010
[5] CROSSE-ETP. Vision Document. Disponível em <http://www.future-internet.eu/fileadmin/documents/reports/Cross-ETPs_FI_Vision_Document_v1_0.pdf>.
[6] ELKHDR, M.; SHAHRESTANI, S.; CHEUNG, H. The Internet of Things: Vision & Challenges. Proceeding of the IEEE Tencon Spring 2013 Conference. IEEE, February 17, 2013.
[7] JOACHIN, W.; WALEWSKI, S. Internet of Things Architecture IoT-A. Deliverable D1.4. Converged archictural reference model for the IoT, v.2.0, 2012.
[8] TCHEMRA, A. H. Tabela de decisão adaptativa na tomada de decisão multicritério. Tese apresentada na Universidade de São Paulo, 2009.
[9] JOSÉ NETO, J. Um levantamento da evolução da adaptatividade e da tecnologias adaptativa. Revista IEEE, América Latina, v. 5, p. 496-505, 2007.
[10] MARE, R. M.; LUIZ, M. C.; CUGNASCA, C. E. Visible Light Communication Applied to Intelligent Transport Systems: an Overview. Revista IEEE América Latina, v. 14, p. 3199-3207, 2016.
[11] JURAN, J.; GODOFREY, A. B. Quality Handbook. Republished McGraw-Hill, 1999.
[12] GIUSTO, D.; IERA, A.; MORABITO, G.; ATZORI, L. The Internet of Things, Springer, 2010.
[13] MACHADO, J.G.C.F.; NANTES, J.F.D. A visão institucional do processo de rastreabilidade da carne Bovina. In: Congresso Luso-Brasileiro de Tecnologias de informação e comunicação na agropecuária, 1, Santarém, Portugal. Associação Portuguesa para o Desenvolvimento das Tecnologias de Informação e Comunicação na Agricultura, Proceedings, 2004.
[14] KALOXYLOS, A.; EIGENMANN, R.; TEYE, F.; POLITOPOULOU, Z.; WOLFERT, S.; SHRANK, C.; DILLINGER, M.; LAMPROPOULOU, I.; ANTONIOU, E.; PESONEN, L.; NICOLE, H.; THOMAS, F.; ALONISTIOTI, N.; KORMENTZAS, G. Farm management systems and the Future Internet era. Computers and Electronics in Agriculture, 89, 130–144, 2012.
[15] TCHEMRA, A. H. Tabela de decisão adaptativa na tomada de decisão multicritério. Escola Politécnica - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009. Tese (Doutorado).
[16] JOSE NETO, J. Um levantamento da evolução da adaptatividade e da tecnologia adaptativa. Revista IEEE América Latina, v. 5, p. 496-505, 2007.
[17] WALTER, E. H. Bioquímica e Fisiologia do Desenvolvimento e Pós-colheita de Frutas e Hortaliças. Universidade Federal do Pampa, 1 ed., 2010.

Redes de Sensores sem Fio: Proposta de um Método de Roteamento Adaptativo com Base em Tabela Hash

MIGUEL, S. D.; HIRAKAWA , A. R.
Universidade de São Paulo
Laboratório de Sistemas Abertos - Escola de Engenharia de Computação
danilomiguel@usp.br, andre.hirakawa@poli.usp.br

***Resumo*— O protocolo de roteamento é de grande importância para redes de sensores sem fio, pois o desempenho da rede depende diretamente da eficiência desse protocolo. Este trabalho objetiva otimizar o consumo de energia considerando aspectos tais como, congestionamentos, colisões e perda de dados, que podem ocasionar no aumento no atraso da transmissão que implicam em menor confiabilidade da transmissão e podem impactar no tempo de vida útil da rede, fator dependente do consumo de energia. O objetivo é alcançar um melhor balanceamento da distribuição de carga entre os nós no processo de roteamento. Para isso são utilizados conceitos de tabelas hash distribuídas que proporcionam recursos para acelerar o balanceamento de carga na rede sem o efeito da escalabilidade do tamanho da rede.**

Palavras-chave— Tabela hash distribuída; protocolo de roteamento; Redes de sensores sem fio.

I. INTRODUÇÃO

Redes de sensores sem fio (RSSF) é um tipo especifico de rede na qual os nós (sensores) possuem a capacidade de se comunicar com os sensores vizinhos, tendo como principal aplicação a monitoração de algum fenômeno. Uma das características positivas da RSSF é a sua capacidade de cobrir a área observada, de forma distribuída, para a detecção e o envio dos dados coletados pelos nós sensores [1]. Dessa forma, as RSSFs podem prover aos seres humanos uma maior percepção do ambiente. A estrutura típica de um nó em uma RSSF é apresentada na figura1.

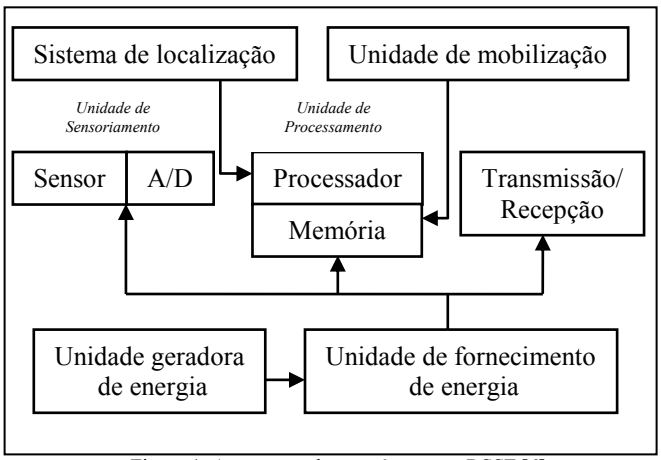


Figura 1. A estrutura de um nó em uma RSSF [6].

Em uma RSSF, o protocolo de roteamento é de extrema importância para prover a efetividade da transmissão de dados , pois é um fator chave que determina o consumo de energia dos nós que compõe uma RSSF [2]. Os sensores são alimentados por baterias e a economia relacionada ao consumo de energia pode proporcionar um maior tempo de vida útil para as RSSFs. Dessa forma uma série de trabalhos vem concentrando seus esforços com objetivo de maximizar o tempo de vida útil das RSSF [1] [3] [4] [5].

Baseando-se nas análises das literaturas citadas, as quais apresentam novas técnicas para reduzir o consumo de energia, aumentando assim o tempo de vida útil das RSSFs, este trabalho visa otimizar o consumo de energia levando em consideração a redução de congestionamentos e colisões causados na rede durante a transmissão. Esse artigo está estruturado da seguinte forma: seção II, o problema, seção III, Trabalhos Relacionados, seção IV, Tabela Hash Distribuída seção IV, a proposta e seção V Conclusão.

II. O PROBLEMA

As tecnologias de RSSFs têm sido aplicadas em diferentes areas de conhecimento, principalmente com o objetivo de monitorar de algum fenômeno. Apesar da existência de uma serie de trabalhos de pesquisa, as RSSFs ainda apresentam uma serie de desafios, tais como otimização do consumo de energia, tolerância a falhas, segurança e escalabilidade da rede. A otimização do consumo de energia continua sendo o desafio mais importante, uma vez que o tempo de vida útil de uma RSSF depende da quantidade de energia que a bateria armazena [8].

III. TRABALHOS RELACIONADOS

Uma adaptação do algoritmo *"ant routing"* for RSSF é apresentado [9]. Parâmetros como o padrão do trafego e as restrições relacionadas aos dispositivos são considerados. O protocolo utilizado para a definição da rota na rede foi alterado com o objetivo de aumentar a eficiência do consumo de energia. Os resultados apresentados nas simulações mostram que o algoritmo proposto, uma adaptação do algoritmo convencional *ant routing* para redes de sensores sem fio, aumenta o tempo de vida útil da rede quando comparado com o algoritmo tradicional.

Uma nova abordagem para auxiliar o processo de roteamento para RSSF baseado na tabela hash é apresentada em [6]. Um algoritmo que visa reduzir o consumo de energia, no qual cada nó é responsável pelos recursos existentes na rede e armazena informações em um índice relacionado ao custo de transmissão é a base da proposta. Resultados obtidos de simulações foram comparados junto a outros três algoritmos, mostrando a eficiência do algoritmo proposto.

Com objetivo de aumentar o tempo de vida útil das RSSF, um novo protocolo de roteamento é apresentado em [5]. O consumo de energia é minimizado por meio do balanceamento de carga entre todos os nós da rede. Resultados obtidos de simulações mostram que, em relação a outros protocolos estudados, o protocolo proposto apresenta melhor desempenho.

IV. TABELA HASH DISTRIBUÍDA

A tabela hash distribuída funciona de forma semelhante à tabela hash tradicional, no sentido de que associa cada valor da tabela para uma chave única que representa a situação de uma rota na RSSF [6]. A diferença é que a tabela hash distribuída funciona de forma descentralizada em que cada nó armazena parte da tabela que representa a rede. Cada nó da tabela possui um único identificador e as chaves que representam a atuação de cada nó são resultado dos produtos das funções hash utilizadas para balancear a distribuição da carga por toda a rede. Descrição detalhadas sobre as funções hash podem ser vistas em [10].

O processo para determinar uma rota se inicia pela consulta à tabela hash utilizando a chave identificadora proveniente da posição do nó na rede. Primeiramente o nó aplica a função hash, e subsequentemente, encaminha a consulta para o nó com o identificador mais próximo da chave [8]. A figura 2 exemplifica este processo.

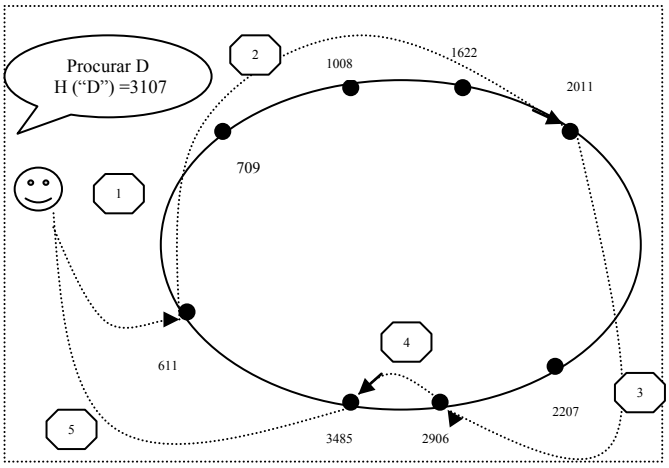


Figura2. Sistema da tabela distribuída [8].

Assim, o problema do roteamento da rede pode ser convertido em procurar os nós que contém a informação referente ao recurso requerido [6].

V. PROPOSTA

Nas tabelas hash, a função hash permite balancear a distribuição de cargas por toda a rede, de modo que, se a função hash é mal escolhida, pode ocasionar um aumento no número de colisões na rede. Portanto, o método de configuração das chaves para o estabelecimento de rotas e a minimização de colisões é necessário. Entretanto, a topologia de uma RSSF é alterada de acordo com as condições ambientais e pela condição de alimentação de energia dos nós, o que dificulta o estabelecimento das chaves na tabela hash. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar um método que baseado na função hash distribuída minimize as colisões e a perda de dados durante a transmissão, proporcionando maior confiabilidade para a comunicação.

VI. CONCLUSÃO

Acredita-se que através do conhecimento adquirido com estudo da estrutura de implementação das tabelas hash distribuídas, seja possível definir um método adaptativo baseado na função hash e que possibilite um melhor balanceamento de carga entre os nós de forma dinâmica, considerando questões como, a quantidade de energia em cada nó e a potência do sinal de recepção de cada nó, reduzindo assim, colisões, congestionamentos e a perda de dados durante a transmissão.

REFERÊNCIAS

[1] Keskin M. Emre, Altinel I. Kuban, Aras Necati, Ersoy Cem, Wireless sensor network lifetime maximization by optimal sensor deployment, activity scheduling, data routing and sink mobility, Ad Hoc Networks, 2014, p. 18-36.

[2] Hu Yifan, Ding Yongsheng, Hao Kuangrong, Ren Lihong, Han Hua, An immune orthogonal learning particle swarm optimisation algorithm for routing recovery of wireless sensor networks with mobile sink, International Journal of Systems Science, 2014, p. 337-350.

[3] Zhang H.C., Wen X., Mo, D.H., A geographical-based secure routingprotocol with lifetime optimization for wireless sensor networks, WIT Transactions on Information and Communication Technologies, 2014, p. 691-698.

[4] Mahapatra A, Anand K, Agrawal DP, QoS and energy aware routing for real-time traffic in wireless sensor networks, Computer Communications, 2006, p. 437-445.

[5] M Liu., J. Cao., G.Chen, An energy-aware routing protocol in wireless sensor networks, Sensors, 2009, p.445-462.

[6] CHEN YAN, Distributed hash table based routing algorithm for wireless sensor networks, 2014 Fifth international Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications(ISDEA),2014, p.430-433.

[7] Wehrle, K., Gtz, S., & Rieche, S. (2005). Distributed Hash tables. In R. Steinmetz, K. Wehrle (Eds.), Peer-to-Peer systems and applications p. 79-93. Berlin, Heidelberg: Springer.

[8] Fersi Ghofrane, Louati Wassef, Ben Jemaa Maher, Distributed Hash table-based routing and data management in wireless sensor networks: a survey,Wireless Networks, 2013, p. 219-236.

[9] Kadri Benamar, Feham Mohammed, Mhammed Abdellah, Efficient and secured ant routing algorithm for wireless sensor networks, International Journal of Network Security, 2014, p. 149-156.

[10] Secure Hash Standart, FIPS Publication 180-2, 2001, p.1-76.

Multiple Model SLAM: An Approach to Large-Scale Environments

Eduardo Alves*; Anna Helena Reali Costa*;
*Intelligent techniques Laboratory - School of Electrical and Computer Engineering

E-mail: {esalves,anna.reali}@usp.br

***Abstract*—The problem of getting mobile robots autonomously from place to place has been subject to extensive research. To face this problem, the robot is required to answer three basic questions Where am I?, Where am I going? and How do I get there?. SLAM (the acronym of Simultaneous Localization and Mapping) intends to find an answer to the question Where am I? by filling up an autonomously built map. So, for SLAM the robot has to deal with two strongly dependent processes: mapping its sorroundings and finding its location within the map. The biggest challenge in finding an answer to the SLAM problem comes from the interdependence of localization and mapping processes and the proposed solutions have to deal, mostly, with consistency issues (in a stochastic approach) and time/space requirements with large scale environments. This work proposes a probabilistic framework for the SLAM problem based on multiple model (MM) systems where different local models are applied under different observation conditions. Our divide-and-conquer strategy splits the environment in several subregions and attaches a local measurement model to each one. In this sense, the SLAM can be treated as a multiple model estimation problem involving both continuous and discrete variables. In this SLAM formulation, the continuous-valued variables are composed by a set of poses in the robot path, each of them representing a local reference frame. On the other hand, the discrete-valued variable denotes which subregion the robot takes its measurements. In this framework, the subregion identification in the robot's path is an inherent process and in a large scale environment the robot would have to manage only a subset of the data stored in a long term operation reducing much of the computational burden. We aim to compare our solution with other similar approaches like submap matching and smoothing SLAM algorithms.**

***Keywords*— SLAM; Autonomous navigation; Multiple model systems;Estimation theory**

I. Introduction

For autonomous navigation, a mobile robot has to face two strongly dependent problems: mapping its sorroundings and finding its relative location within the map. This is the well-known Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) problem. The biggest challenge in finding an answer to the SLAM problem comes from the interdependence of localization and mapping processes [1] and the solutions in this area has to deal, mostly, with consistency issues (in a stochastic approach) and time/space requirements with large-scale environments [2].

For quite some time, it was recognized that probabilistic solutions to the SLAM problem based on standard extended Kalman filters (EKF) algorithms can produce overconfident estimates (i.e. the computed covariances are smaller than the actual covariances) which is the main cause of the inconsistency [3]. Even though many improvements (see [4] and references there in) limitations still remain: its quadratic computational complexity and a dense covariance matrix [5] that make EKF impractical to use in a long-term operation or to solve large-scale SLAM problems [6]. An alternative solution to deal with computational issues are the extended information filter (EIF) based algorithms [7][8] that rely on sparsification methods of the information matrix (inverse covariance) to achieve efficient and scalable SLAM. Although some progress in computational complexity the issue of inconsistency remained unresolved [2].

Recently, to deal with consistency issues, a number of researchers have proposed the so-called PF-SLAM (particle filter based SLAM algorithms). Montemerlo et al. with FastSLAM [9] and Grisetti et al. with the improved grid mapping [10] algorithms have reached good results, but the performance of the PF based solutions is highly dependent on the number of particles and on the resampling process which tends to eliminate particles with low weights. This is referred to as particle depletion problem [11].

Other two groups of SLAM methods have received great attention: graph-based (GraphSLAM) [12][13] and submap matching [14][15] algorithms. These two groups fall into a more general class of methods namely smoothing approaches that address the problem of full SLAM, meaning to estimate the full trajectory of the robot from the full set of measurements [1]. In a stochastic background, the smoothing approaches consist in to preserve previous measurements and use them to update the entirely robot's path.

The GraphSLAM algorithms use a graph data structure known as pose graph that rely on efficient least-square error minimization techniques setting them up to the state-of-the-art approaches with respect to speed and accuracy [16]. However, this graph representation algorithms can fail catastrophically in presence of ambiguities in data association decisions (loop closure detection) [17]. Much work has been done to reach robust graph optimization methods that can cope with erroneous loop closure detection (see [18] for most recent solutions).

Submap matching is also a smoothing approache that have demonstrated good solutions to deal with long-term operation, computational complexity and data association issues for autonomous navigation [19]. This class of algorithms lies on get together local sensor data into independent maps of limited size and set up their origins as poses to the graph [20].

Despite getting a sparse graph structure and more efficient optimization steps there is a trade-off: the algorithm must handle the graph of submaps, in other words, deciding when to create a new submap, when to reenter an old submap, and how to represent different hypotheses about the topological relationships between them [19].

The main distinguished aspect of our approach is the formulation of the SLAM problem as a multiple model (MM) system where different local models are applied under different observation conditions [21]. We follow a divide-and-conquer strategy splitting the environment in several subregions and attaching a local measurement model to each one. In a probabilistic approach, we aim to frame the SLAM within a hybrid estimation problem involving both continuous and discrete variables. In this SLAM formulation the continuous-valued variables are composed by a set of poses in the robot path, each of them representing a local reference frame. On the other hand, the discrete-valued variable denotes which subregion the robot makes its measurements.

We aim to analyze our approach with respect to benchmarking requirements [22], concerning uncertainty, memory space and computation time, which an ideal solution should meet. We also aim to compare our solution with existing approaches in the light of these requirements.

II. Background

A. Bayesian Approach to SLAM

In a probabilistic framework, the full SLAM problem can be solved by finding the following posterior probability:

$$p(\mathbf{x}_{1:t}, \mathbf{m} | \mathbf{u}_{0:t-1}, \mathbf{y}_{1:t}) \tag{1}$$

That is, given a sequence of exteroceptive measurements (environment information) $\mathbf{y}_{1:t} = \mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \ldots, \mathbf{y}_t$ up to time instant t, and a sequence of actions (robot's movement information) $\mathbf{u}_{0:t-1} = \mathbf{u}_0, \mathbf{u}_1, \ldots, \mathbf{u}_{t-1}$, determining a sequence of robot's poses $\mathbf{x}_{1:t} = \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \ldots, \mathbf{x}_t$ that describe the robot's trajectory along with a map, $\mathbf{m}$, of the environment. For the most part, the robot's pose vector is composed by the 2D position and orientation of the robot w.r.t some arbitrary reference, the vector of observations embody exteroceptive sensor measurements and the actions denote proprioceptive encoder measurements. Estimating this full posterior is the gold standard of SLAM and captures all there is to be known about the map and the traversed robot's path. [23]. In practice, the computation of this full posterior is usually infeasible, mainly because of the high dimensionality of the parameter space. Indeed, most of SLAM algorithms can build maps with tens of thousands features or more, especially when the robot is moving in a large scale environment. To overcome this issue, practical SLAM solutions must rely on some kind of aproximations. Other commom assumption to reduce the computational burden is the Markov independence assumption (meaning static world).

This conditional independence can be expressed graphically as we show in Figure 1. In this figure, horizontal

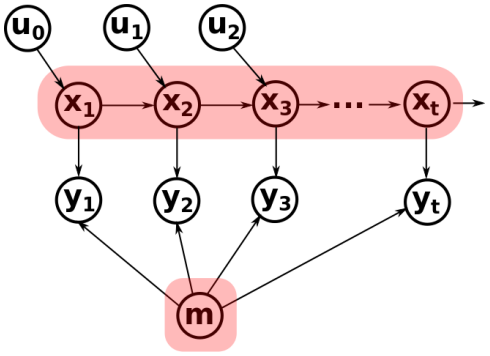


Fig. 1. Dynamic Bayesian Network model for the full SLAM.

arrows represent action updates by which a transition function $p(\mathbf{x}_t | \mathbf{x}_{t-1}, \mathbf{u}_{t-1})$ applied to the proprioceptive encoder measurements and prior belief state gives a new belief state representation of the robot's belief about its current pose. The vertical arrows denote perception updates and represent the application of some observation function $p(\mathbf{y}_t | \mathbf{x}_t, \mathbf{m})$ taking into account the mobile robot's current pose and the stored map. So, the belief state updated by previous actions can be refined. Therefore, also the map can be updated with the new sensor readings.

The posterior represented in (1) should be integrated over all possible states, which results in a recursive formula:

$$\begin{aligned} p(\mathbf{x}_{1:t}, \mathbf{m} | \mathbf{u}_{0:t-1}, \mathbf{y}_{1:t}) = \eta \cdot \underbrace{p(\mathbf{y}_t | \mathbf{x}_t, \mathbf{m})}_{\textbf{sensor model}} \\ \int \Big(\underbrace{p(\mathbf{x}_t | \mathbf{x}_{t-1}, \mathbf{u}_{t-1})}_{\textbf{motion model}} \\ \times \underbrace{p(\mathbf{x}_{1:t-1}, \mathbf{m} | \mathbf{u}_{0:t-2}, \mathbf{y}_{1:t-1})}_{\textbf{prior distribution}} \Big) dx_{1:t-1} \end{aligned} \tag{2}$$

where η is a scaling factor that makes $p(\mathbf{x}_{1:t}, \mathbf{m} | \mathbf{u}_{0:t-1}, \mathbf{y}_{1:t})$ sums up to unit.

The formulation stated in Equation 2 denotes a Bayesian approach to the SLAM problem and many probabilistic SLAM algorithms must adress the following points [24]: *How is the prior distribution represented? How is the posterior distribution calculated?* The method used to deal with the first issue, leads to different schemes to the second one.

B. Multiple Model Systems

In a multiple model (MM) approach, it is assumed that the system obeys one of a finite number of models. Such systems involve both continuous and discrete variables. The system model is allowed to change during the observation process. The true unknown system model can vary with time, but still is assumed to be one of a known model set,

$$M_t \in \mathbb{M} \triangleq \{M_1, \ldots, M_r\}. \tag{3}$$

The probability of a jump from one model to another is governed by a Markov chain with Transition Probability Matrix (TPM) given by,

$$\Pi = \{\pi_{i,j}\}, \;\; \pi_{i,j} = \Pr\{M_t = j | M_{t-1} = i\}, \;\; i,j \in \mathbb{M}. \quad (4)$$

It is not difficult to see that at time instant t, r^t different model sequences are possible, $S_t^l = \{M_1^{l_1}, \ldots, M_t^{l_t}\}$, with $l_t \in \{1, \ldots, r\}$ and $l = 1, \ldots, r^t$.

Following a Bayesian approach, one must find the posterior density probability $p(\mathbf{x}_t, S_t^l | \mathbf{z}_t)$, where $\mathbf{x}_t$ is the continuous-value state at time instant t and S_t^l is a discrete-value set of variables denoting the sequence of models the system has traversed up to time instant t. $\mathbf{z}_t$ is the vector of measurements acquired by onboard robot's sensors at time t. This posterior can also be expressed as following,

$$p(\mathbf{x}_t, S_t^l | \mathbf{z}_t) = p(\mathbf{x}_t | S_t^l, \mathbf{z}_t) \Pr(S_t^l | \mathbf{z}_t) \quad (5)$$

Taking the marginal density we get,

$$p(\mathbf{x}_t | \mathbf{z}_t) = \sum_{n=1}^{r} p(\mathbf{x}_t | S_t^l, \mathbf{z}_t) \Pr(S_t^l | \mathbf{z}_t) \quad (6)$$

that is a weighted sums of normal densities [25] and the weights are given by the probabilities of the model sequence.

So, in a multiple model approach, a bank of r^t filters are used to estimate the system's state vector along with the probabilities of the model sequences. This full hypotheses estimation involves a number of model sequences that is exponential in the number of time steps. Typically, the number of possible model sequences becomes too large to track after a few time steps. Approximation schemes adress this exponential growth by merging similar model sequences or pruning unlikely ones [26].

III. MM SLAM

Classical SLAM algorithms deal with the problem to find both the robot's pose and the map elements as the robot explores its workspace. In contrast to localization task in a known environment, for SLAM, the map is not assumed to be precisely known and must be created by an uncertain robot's pose over time. So, in addition to proceed robot's position updates, the map is also updated and a SLAM algorithm has to ensure a complete propagation of the all correlated uncertainties [27]. Following the results demonstrated in [28], the explicit computation and storage of map-to-pose cross-covariance information is the main cause that leads the algorithm to diverge.

The SLAM formulation proposed in this work follows a latest line of research in this area in order to reconstruct the trajectory performed by the robot [29], [30]. Therefore, all the sensor readings are stored and direct related to a pose in the robot's path. In contrast to classical feature mapping algorithms, map features are treated as parameters of the dynamical system according to which the robots state evolves. This way, the proposed algorithm avoids explicit computation and storage of feature-to-feature and feature-to-state covariance information.

As we briefly stated in the introduction, we aim to reframe the SLAM problem following a multiple model (MM) system approach. In this section we will describe the modeling and formulation aspects of our approach.

A. State Space Modeling

The state vector consists of the current pose of the robot, as well as a set of previous poses representing the traversed path. Thus, the state vector can be written as follows:

$$\mathbf{X}_t = \left(\mathbf{x}_t^T, \mathbf{x}_{1,t}^T, \mathbf{x}_{2,t}^T, \ldots, \mathbf{x}_{n,t}^T\right)^T \quad (7)$$

where $\mathbf{x}_t^T$ is the current robot's pose and $\mathbf{x}_{i,t}^T$ denotes some previous robot's poses. Here $i = 1, \ldots, n$. Also, $\mathbf{x}_{i,t}^T$ represents a local reference frame attached for each subregion Ω_i.

In a MM estimation approach, assume $S_t^l = \{s_1^{l_1}, \ldots, s_t^{l_t}\}$ as a sequence of subregions traversed by the robot up to time t with $l = 1, \ldots, n^t$ and $l_t \in \{1, \ldots, n\}$. So, the complete state vector can be made up by continuous-value variables (robot's poses) and discrete-value variables denoting some sequence of subregions covered by the robot,

$$\mathbb{X}_t = \begin{pmatrix} \mathbf{X}_t \\ S_t^l \end{pmatrix}.$$

B. Observation Model

In our approach, the observation model plays a key role. In fact, the sensor function explicitly depends on which region of the path the robot is taking its measurements, so the observation model has the following form:

$$\mathbf{y}_t = h_{S_t^l}(\mathbf{X}_t) + v_t \quad (8)$$

where S_t^l denotes one possible subregion sequence traversed by the robot, $v_t \sim N(0, \mathbf{R}_t)$ represents measurement noise and observation function $h_{S_t^l}$ can be write as,

$$h_{S_t^l} = h(\mathbf{x}_t, \mathbf{x}_{i,t}, E_i) \quad (9)$$

where $\mathbf{E}_i$ represents exteroceptive data set related to the robot's pose in the subregion Ω_i.

Briefly, all sensor data can be represented by the following groups:

- $\mathbf{P}_{i,i-1}$: proprioceptive sensor readings between $\mathbf{x}_{i-1}$ e $\mathbf{x}_i$;
- $\mathbf{E}_i$: exteroceptive sensor readings related to $\mathbf{x}_i$;
- $\mathbf{U}_t$: proprioceptive sensor readings at time instant t;
- $\mathbf{D}_t$: exteroceptive sensor readings at time instant t;

Figure 2 shows a schematic of the system emphasizing each subregion and stored datasets.

IV. Ongoing Work

For now, we are working in some partitioning methods taking into account structural information contained in a map of the environment. Any strategy should have the following requisites:

- To be dense enough so that ambiguities are minimized.

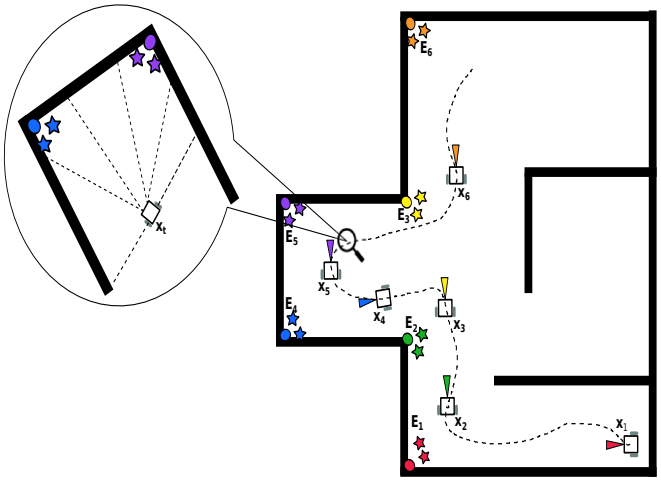


Fig. 2. Traversed path and sensor data set.

- To be wide enough so that the total number of partitions is not prohibitive for real time computations.
- To be autonomous, meaning withou human supervision

Besides that, we are studying how to apply suitable estimation algorithm to the multiple model SLAM proposed in this work. There are many practical algorithms like the generalized pseudo-Bayesian (GPB) and interacting multiple model (IMM). We also aim to analyze some modification in these algorithms to deal with computational complexity issues.

REFERENCES

[1] SAEEDI, S. et al. Multiple-robot simultaneous localization and mapping: A review. *Journal of Field Robotics*, Wiley Online Library, v. 33, n. 1, p. 3–46, 2016.

[2] DISSANAYAKE, G. et al. A review of recent developments in simultaneous localization and mapping. In: *6th IEEE International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 477–482.

[3] HUANG, S.; DISSANAYAKE, G. Convergence and consistency analysis for extended Kalman filter based SLAM. *IEEE Transactions on Robotics*, v. 23, n. 5, p. 1036–1049, 2007.

[4] HUANG, G. P.; MOURIKIS, A. I.; ROUMELIOTIS, S. I. Observability-based rules for designing consistent EKF SLAM estimators. *The International Journal of Robotics Research*, SAGE Publications, v. 29, n. 5, p. 502–528, 2010.

[5] GUIVANT, J. E.; NEBOT, E. M. Optimization of the simultaneous localization and map-building algorithm for real-time implementation. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, v. 17, n. 3, p. 242–257, 2001.

[6] BAILEY, T.; DURRANT-WHYTE, H. Simultaneous localization and mapping (SLAM): Part II. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, v. 13, n. 3, p. 108–117, 2006.

[7] WALTER, M. R.; EUSTICE, R. M.; LEONARD, J. J. Exactly sparse extended information filters for feature-based SLAM. *The International Journal of Robotics Research*, SAGE Publications, v. 26, n. 4, p. 335–359, 2007.

[8] WANG, Z.; HUANG, S.; DISSANAYAKE, G. D-SLAM: Decoupled localization and mapping for autonomous robots. In: *Robotics Research*. [S.l.]: Springer, 2007. p. 203–213.

[9] THRUN, S. et al. Fastslam: An efficient solution to the simultaneous localization and mapping problem with unknown data association. *Journal of Machine Learning Research*, v. 4, n. 3, p. 380–407, 2004.

[10] GRISETTI, G.; STACHNISS, C.; BURGARD, W. Improved techniques for grid mapping with rao-blackwellized particle filters. *IEEE Transactions on Robotics*, v. 23, n. 1, p. 34–46, 2007.

[11] KWAK, N.; KIM, G.-W.; LEE, B.-H. A new compensation technique based on analysis of resampling process in FastSLAM. *Robotica*, Cambridge Univ Press, v. 26, n. 02, p. 205–217, 2008.

[12] KAESS, M.; RANGANATHAN, A.; DELLAERT, F. iSAM: Incremental smoothing and mapping. *IEEE Transactions on Robotics*, v. 24, n. 6, p. 1365–1378, 2008.

[13] KÜMMERLE, R. et al. g2o: A general framework for graph optimization. In: *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 3607–3613.

[14] BLANCO, J.-L.; GONZÁLEZ, J.; FERNÁNDEZ-MADRIGAL, J.-A. Subjective local maps for hybrid metric-topological SLAM. *Robotics and Autonomous Systems*, Elsevier, v. 57, n. 1, p. 64–74, 2009.

[15] MAFFEI, R. et al. Segmented DP-SLAM. In: *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 31–36.

[16] GRISETTI, G. et al. A tutorial on graph-based SLAM. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, v. 2, n. 4, p. 31–43, 2010.

[17] OLSON, E.; AGARWAL, P. Inference on networks of mixtures for robust robot mapping. *The International Journal of Robotics Research*, SAGE Publications, v. 32, n. 7, p. 826–840, 2013.

[18] PFINGSTHORN, M.; BIRK, A. Generalized graph SLAM: Solving local and global ambiguities through multimodal and hyperedge constraints. *The International Journal of Robotics Research*, v. 35, n. 6, p. 601–630, 2016.

[19] FAIRFIELD, N.; WETTERGREEN, D.; KANTOR, G. Segmented SLAM in three-dimensional environments. *Journal of Field Robotics*, Wiley Online Library, v. 27, n. 1, p. 85–103, 2010.

[20] BRAND, C. et al. Submap matching for stereo-vision based indoor/outdoor SLAM. In: *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 5670–5677.

[21] MURRAY-SMITH, R.; JOHANSEN, T. *Multiple model approaches to nonlinear modelling and control*. [S.l.]: CRC press, 1997.

[22] FRESE, U. A discussion of simultaneous localization and mapping. *Autonomous Robots*, v. 20, n. 1, p. 25–42, 2006.

[23] THRUN, S.; BURGARD, W.; FOX, D. *Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*. [S.l.]: The MIT Press, 2005.

[24] FERNNDEZ-MADRIGAL, J.-A.; CLARACO, J. L. B. *Simultaneous Localization and Mapping for Mobile Robots: Introduction and Methods*. 1st. ed. Hershey, PA, USA: IGI Global, 2012.

[25] GUNDLICH, B.; TEUNISSEN, P. Multiple models — fixed, switching, interacting. In: _____. *V Hotine-Marussi Symposium on Mathematical Geodesy*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 129–136.

[26] HOFBAUR, M. W.; WILLIAMS, B. C. Hybrid estimation of complex systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, v. 34, n. 5, p. 2178–2191, Oct 2004. ISSN 1083-4419.

[27] DURRANT-WHYTE, H.; BAILEY, T. Simultaneous localisation and mapping (slam): Part i the essential algorithms. *IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION MAGAZINE*, v. 2, p. 2006, 2006.

[28] JULIER, S. J.; UHLMANN, J. K. A counter example to the theory of simultaneous localization and map building. p. 4238–4243, maio 2001.

[29] THRUN, S.; MONTEMERLO, M. The GraphSLAM algorithm with applications to large-scale mapping of urban structures. *International Journal on Robotics Research*, v. 25, n. 5/6, p. 403–430, 2005.

[30] SELVATICI, A. H. P.; COSTA, A. H. R. Fast loopy belief propagation for topological sam. In: *International Conference on Intelligent Robots and Systems*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 664–669.

Agile Methods Adherence to Software Quality Model CMMI Focusing in Software Documentation and Knowledge Management

Aderência dos Métodos Ágeis ao Modelo de Qualidade de Software CMMI com Foco na Documentação de Software e na Gestão do Conhecimento

KAWAMOTO, S.; ALMEIDA JR, J. R.
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais
Universidade de São Paulo, Escola Politécnica,
São Paulo, SP – Brasil
{sandrak, jorgerady}@usp.br

***Abstract*—Agile software development methods introduced a new approach for software development compared to traditional methods and they have become increasingly popular. While traditional methods focus on disciplined processes and rigid practices, agile methods emphasizes on individuals, communication and product. CMMI (Capability Maturity Model Integration) was introduced as a process improvement model in traditional methods and many organizations rely on process maturity models to improve their own processes and their product quality. A question that arises is if there is compatibility between agile practices and CMMI and what gaps are between them, mainly about software documentation and knowledge management.**

***Keywords*— Agile methods; CMMI; software documentation; knowledge management.**

***Resumo*—Os métodos de desenvolvimento de software ágeis introduziram uma nova abordagem para o desenvolvimento de software em comparação com os métodos tradicionais e têm se tornado muito popular nos últimos anos. Enquanto os métodos tradicionais focam em processos disciplinados e práticas rígidas, métodos ágeis enfatizam os indivíduos, a comunicação e a entrega do produto. O CMMI (*Capability Maturity Model Integration* – Modelo Integrado de Maturidade e de Capacidade) surgiu como um modelo de melhoria do processo nos métodos tradicionais e muitas organizações confiam em modelos de maturidade de processo para melhorar os seus processos e a qualidade de seus produtos. Uma questão que surge é se existe compatibilidade entre as práticas ágeis e as diretrizes do CMMI e quais as lacunas que os separam, principalmente sobre a questão da documentação de software e gestão do conhecimento.**

***Palavras-chave*— Métodos ágeis; CMMI; documentação de software; gestão do conhecimento.**

I. INTRODUÇÃO

Indicadores de maturidade organizacional, como o CMMI (*Capability Maturity Model Integration*), têm se tornado cada vez mais importantes para o desenvolvimento de software [1]. Clientes e organizações que desenvolvem projetos distribuídos geralmente levam esses indicadores em consideração na escolha de fornecedores, pois estas avaliações e auditorias servem como um sinal de maturidade do processo.

Ao mesmo tempo, a utilização de métodos ágeis continua ganhando espaço. Sua utilização é também encontrada em projetos grandes [2] e também projetos terceirizados e distribuídos [3] [4].

O grande desafio é descobrir se essas ideias, a princípio antagônicas, podem conviver harmoniosamente e que lacunas as separam, focando na questão da documentação de software.

II. MOTIVAÇÃO E OBJETIVO

Segundo [5], um processo de software bem estabelecido, compreendido e controlado auxilia os desenvolvedores a obter um produto final com qualidade. Com o objetivo de melhorar, tanto a qualidade de seus produtos de software, quanto a produtividade do desenvolvimento de software, cada vez mais as empresas estão percebendo a importância da existência de um processo de software formalizado e investindo na melhoria desse processo [6]. Métodos baseados no Modelo de Maturidade e de Capacidade (CMM) prometem previsibilidade, estabilidade e segurança.

Por outro lado, as metodologias ágeis prometem alta satisfação do cliente, baixo índice de erros, tempo de desenvolvimento mais rápido e uma solução para a rápida mudança de requisitos.

A Fig. 1 mostra as vantagens destas duas abordagens. A questão que surge é quais as lacunas que existem entre métodos ágeis e CMMI e se é possível conviverem em um mesmo projeto, apesar de possuírem focos distintos.

Fig. 1. CMMI e Métodos ágeis - vantagens

O objetivo deste artigo é realizar uma análise das metodologias ágeis de software, verificando sua aderência ao modelo de qualidade de software CMMI. Para cada área de processo do CMMI, determinou-se se o modelo de desenvolvimento ágil apresenta práticas ou diretrizes para a sua aplicação.

III. Métodos Ágeis

A abordagem ágil para desenvolvimento de software tem despertado muito interesse em grandes organizações de todo o mundo. Há uma tendência para o desenvolvimento ágil de aplicações, devido ao ritmo acelerado de mudanças na tecnologia da informação, pressões por constantes inovações e concorrência acirrada no mundo dos negócios [7].

Com o objetivo de melhorar o desenvolvimento de software e divulgar os chamados Métodos Ágeis de Desenvolvimento de Software, em 2001, Kent Beck, Mike Beedle, John Kern, Robert C. Martin, dentre outros, criaram o Manifesto para Desenvolvimento Ágil de Software, tendo como prioridade, "satisfazer o cliente através da entrega contínua e adiantada de software com valor agregado". Este documento serviu de base para que outros especialistas criassem métodos considerados ágeis, voltados para o desenvolvimento de software, tais como: *Extremming Programming* (XP), *Scrum*, *Crystal Methods*, *Dynamic Systems Development Method* (DSDM) e *Feature-Driven Development* (FDD).

Não se deve confundir agilidade com desorganização ou falta de profissionalismo. Na verdade, ser ágil, ao contrário do que parece, exige um alto grau de disciplina e organização. O termo agilidade quer dizer a habilidade de criar e responder às mudanças, buscando a obtenção de lucro em um ambiente de negócios turbulento [8]. De maneira semelhante, [9] afirmam que apesar de aparentemente as metodologias ágeis parecerem que seguem práticas de desenvolvimento sem planejamento e sem disciplina, estas metodologias enfatizam uma mínima, mas suficiente, quantidade de planejamento dentro de cada iteração.

Os processos ágeis caracterizam-se por serem incrementais, cooperativos, diretos e adaptativos [10]. Incremental se refere às pequenas versões e ciclos rápidos de desenvolvimento. Cooperativo quer dizer próximo ao cliente e interação entre os desenvolvedores. Direto significa que o método por si só é fácil de aprender e de modificar e que é suficientemente documentado. Finalmente, adaptativo refere-se à habilidade de acomodar mudanças de última hora no projeto. A Fig. 2 mostra as principais características dos processos ágeis.

A abordagem ágil é fortemente a favor da comunicação humana e colaboração ao invés de atividades repetidas e definidas como mecanismo para desenvolver software de qualidade [11]. A conclusão que os autores chegam é que, na prática, a dificuldade que muitas organizações enfrentam com a abordagem ágil reside na mudança cultural necessária para convencer a gerência dos benefícios e a viabilidade no contexto de pressão de mercado global e práticas regulatórias.

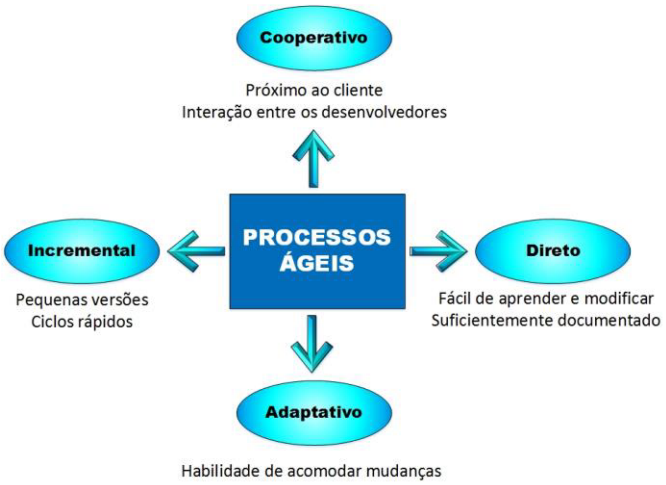


Fig. 2. Características dos Processos Ágeis, baseado em [10]

IV. Qualidade de Software – CMMI

O CMMI e seu predecessor CMM, em suas várias versões, tem o foco na melhoria do processo, atuando como um indicador de maturidade organizacional [12]. O Software Engineering Institute da Universidade de Carnegie Mellon desenvolveu o CMM como um modelo para construir capacidade organizacional [13].

O CMMI para desenvolvimento [5] descreve 22 áreas de processo. Uma área de processo é um conjunto de práticas relacionadas a uma área que, quando implementado, satisfaz a um conjunto de metas consideradas importantes para realizar melhorias naquela área.

Essas áreas de processo são organizadas em quatro categorias: Gerenciamento de Processos, Gerenciamento de Projeto, Engenharia e Suporte. Essas categorias enfatizam como as áreas de processo existentes se relacionam. Uma vez selecionadas as áreas de processos, deve-se selecionar também quanto se deseja que os processos associados àquelas áreas de processo amadureçam, isto é, selecionar o nível de capacidade apropriado [5].

V. Aderência dos Métodos Ágeis ao CMMI

Projetos bem-sucedidos necessitam tanto de agilidade como de disciplina [14]. Disciplina sem agilidade leva a burocracia e estagnação. Agilidade sem disciplina leva a um entusiasmo sem controle e sem resultados.

Vários trabalhos realizaram a análise sobre compatibilidade entre CMMI e métodos ágeis e a grande maioria acredita que os conceitos, a princípio antagônicos, podem conviver harmoniosamente [1][12][15][16][17][18]. Em [19], os autores apresentam uma revisão sistemática da literatura sobre CMMI e métodos ágeis. Uma das conclusões deste trabalho é que as metodologias ágeis sozinhas não foram suficientes para se obter o nível de qualidade desejado. Foi necessária a utilização de outras práticas. Salientam também a importância da documentação e evidências, necessárias para o modelo formal de melhoria do processo.

Alguns modelos de referência foram propostos com a finalidade de assegurar a qualidade de projetos ágeis. O AgileQA-RM foi construído tendo como base os modelos de maturidade CMMI e o MPS.BR [20]. O "Agile Maturity Model" [21] é um modelo de maturidade composto por cinco níveis: inicial, explorado, definido, melhorado e suportado. Entretanto, não se observa uma grande adesão aos modelos propostos, nem na academia e nem na indústria. Além disso, em nenhum deles foi encontrado o foco na documentação e gerenciamento do conhecimento.

A análise de aderência dos Métodos ágeis às áreas de processo do CMMI foi realizada com base em pesquisas sobre o assunto e também confrontando as características das duas abordagens.

Para essa análise, utilizou-se a seguinte nomenclatura:

[S] Suportado: com pouco ou nenhum esforço é possível atender os objetivos da área de processo com as práticas do desenvolvimento ágil;

[P] Parcialmente suportado: é necessário realizar adaptações ou melhorias ao método ágil para atender os objetivos da área de processo;

[N] Não suportado: as práticas do método ágil não oferecem suporte à área de processo do CMMI.

A análise é realizada por categorias do CMMI (Gerenciamento de Processos, Gerenciamento de Projeto, Engenharia e Suporte). A Fig. 3 mostra o resultado desta análise. Na coluna "Suporte" é apresentada a conclusão sobre a aderência e justificativas.

Na categoria "Gerenciamento de Processo" observa-se que a maioria das áreas de processo não são suportadas e as demais são parcialmente suportadas. Na verdade, há diretrizes e práticas relacionadas a estas áreas de processo, mas elas são voltadas ao produto e ao projeto e não para a organização.

As áreas de processo da categoria "Gerenciamento de Projeto" são quase todas atendidas, através de práticas como reuniões semanais, proximidade do cliente e projeto e desenvolvimento por iterações curtas. As lacunas aparecem por conta da falta de foco nas estatísticas do projeto, recomendações formais de gestão de riscos e contrato com fornecedores.

Categoria	Área de Processo	Suporte
Gerenciamento de Processo	Definição dos Processos da Organização (OPD)	[P] Há definição dos processos, mas com foco nos projetos e não na organização
	Foco nos Processos da Organização (OPF)	[N] O foco é no produto
	Gestão do Desempenho da Organização (OPM)	[N] Há apenas gerenciamento do desempenho dos projetos
	Desempenho dos Processos da Organização (OPP)	[N] Não há uma avaliação quantitativa do desempenho dos processos da organização
	Treinamento na Organização (OT)	[P] O treinamento ocorre apenas nos projetos
Gerenciamento de Projeto	Gestão Integrada de Projeto (IPM)	[S] A gestão é realizada por meio das reuniões semanais, da intensa comunicação e proximidade com o cliente
	Monitoramento e Controle de Projeto (PMC)	[S] O monitoramento é realizado diariamente e é efetuado por ciclos de desenvolvimento.
	Planejamento de Projeto (PP)	[S] O planejamento do projeto é efetuado por iterações
	Gestão Quantitativa de Projeto (QPM)	[N] Não há foco nas estatísticas do projeto
	Gestão de Requisitos (REQM)	[P] A gestão de requisitos é realizada através de intensa comunicação entre os integrantes da equipe e o cliente. Entretanto, não oferece práticas para rastreabilidade bidirecional dos requisitos
	Gestão de Riscos (RSKM)	[P] Não há recomendação explícita de como realizar a gestão de riscos
	Gestão de Contrato com Fornecedores (SAM)	[N] Não aborda o contrato com fornecedores
Engenharia	Integração de Produto (PI)	[S] Integração através da montagem progressiva dos seus componentes
	Desenvolvimento de Requisitos (RD)	[S] Realizado através de técnicas como proximidade com o ciente, programação em pares e entregas rápidas
	Solução Técnica (TS)	[S] Há diretrizes para o projeto, desenvolvimento e implementação de soluções para os requisitos
	Validação (VAL)	[S] Realizada pelo cliente a cada iteração
	Verificação (VER)	[S] Programação e revisão em pares e *Test-Driven Development* em iterações curtas
Suporte	Análise e Resolução de Causas (CAR)	[N] Foco é no produto e projeto atual
	Gestão de Configuração (CM)	[S] Intensa comunicação da equipe de desenvolvimento e proximidade com o cliente
	Análise e Tomada de Decisões (DAR)	[N] Não há diretrizes para a análise e tomada de decisões de maneira formal
	Medição e Análise (MA)	[N] O foco é no produto e na entrega
	Garantia da Qualidade de Processo e Produto (PPQA)	[P] Há técnicas para avaliação dos produtos de trabalho, mas sem foco nos processos

Fig. 3. Aderência das práticas ágeis às áreas de processo do CMMI

Na categoria "Engenharia", todas as áreas de processo são atendidas. O desenvolvimento, validação, verificação e

integração do produto são realizados em iterações curtas, com participação ativa do cliente e utilizando técnicas como programação em pares, entregas rápidas e *Test-Driven Development* (primeiro escreve-se o teste e depois o código fonte).

Finalmente, na categoria "Suporte", as áreas de processo Análise e Resolução de Causas, Análise e Tomada de Decisões e Medição e Análise não são suportadas, pois nos métodos ágeis, o foco é o produto, projeto e rápida entrega. A área Garantia da Qualidade é parcialmente suportada, pois apesar de haver técnicas para avaliação dos produtos de trabalho, não há foco nos processos.

VI. Resultados e Trabalhos Futuros

A análise das áreas de processo do CMMI não atendidas pelos métodos ágeis mostra as lacunas entre eles. É possível verificar quais as áreas demandariam maior esforço para atenderem às diretrizes do CMMI.

Observa-se uma grande lacuna nas áreas de processos com objetivos voltados à organização, incluindo avaliações quantitativas. Isso se deve ao foco dos métodos ágeis no produto e projeto atual. Para que seja possível aplicar melhorias no processo voltado à organização, é necessário incluir práticas que suportem estas tomadas de decisão.

Embora sejam encontrados alguns modelos de maturidade para os métodos ágeis, não há evidência de trabalhos que foram amplamente aceitos e consolidados na academia ou nas empresas.

Como trabalho futuro, será definida uma metodologia de desenvolvimento de software ágil contemplando as áreas de processo do CMMI não satisfeitas pelas práticas ágeis, focando a documentação e a gestão do conhecimento. Espera-se apresentar práticas e diretrizes aliando os pontos positivos desses dois mundos.

Agradecimentos

Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq que financia esta pesquisa (Processo no. 2012-7/141053).

Referências

[1] FRITZSCHE, M.; KEIL, P. (2007). **Agile Methods and CMMI: Compatibility or Conflict?** e-Informatica Software Engineering, vol 1(1), 9–26.

[2] COCKBURN, A.; HIGHSMITH, J. **Agile Software Development: The People Factor**. IEEE Computer, 34(11):131–133, 2001.

[3] FOWLER, M. (2003) **Using an Agile Software Process with Offshore Development.** Acesso em janeiro 2016. **D**isponível em http://www.martinfowler.com/articles/agileOffshore.html.

[4] SANGWAN, R. S.; MASTICOLA, S. P. **Model-Driven Rapid Application Development: A Framework for Agile Development in Outsourced Environments**. Technical report, Siemens Corporate Research, 2004.

[5] CMMI-DEV V1.3 - **CMMI for Developmen**t - Version 1.3, CMU/SEI-2010-TR-033. Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute (SEI), November 2010. Disponível em http://www.sei.cmu.edu/reports/10tr033.pdf. Acesso em dezembro de 2015.

[6] PINO, F. J.; GARCÍA, F.; PIATTINI, M., 2008. **Software process improvement in small and medium software enterprises: a systematic review**. *Software Quality Journal* 16, 2 (June 2008), 237-261.

[7] BOEHM B. **A view of 20th and 21st century software engineering**. In *Proceedings of the 28th international conference on Software engineering* (ICSE '06). ACM, New York, NY, USA, 12-29, 2006.

[8] HIGHSMITH, J. **Agile Project Management: Creating Innovative Products**. Addison-Wesley Professional; Edição: 2nd ed. (Julho de 2009).

[9] MESO, P.; JAIN, R. **Agile software development: adaptive systems principles and best practices**. Information Systems Management, 23 (2006), pp. 19–30

[10] ABRAHAMSSON, P.; KOSKELA, J. **Extreme programming: a survey of empirical data from a controlled case study**, *Empirical Software Engineering, 2004. ISESE '04. Proceedings. 2004 International Symposium on*, 2004, pp. 73-82.

[11] LYCETT, M; MACREDIE, R. D.; PATEL C.; PAUL R. J. 2003. **Migrating Agile Methods to Standardized Development Practice**. *Computer* 36, 6 (June 2003), 79-85.

[12] GANDOMANI, T. J.; HAZURAZULZALIL. **Compatibility of Agile Software Development Methods and CMMI**. Indian Journal of Science and Technology, [S.l.], p. 5089-5094, aug. 2013. ISSN 0974 - 5645.

[13] PAULK, M. C. **Extreme programming from a CMM perspective**, in *IEEE Software*, vol. 18, no. 6, pp. 19-26, Nov/Dec 2001. URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=965798&isnumber=20852

[14] BOEHM, B.; TURNER, R. **Balancing Agility and Discipline: A Guide for the Perplexed.** Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA. 2003.

[15] GLAZER, H.; DALTON, J.; ANDERSON, D.; KONRAD, M.; SHRUM, S. **CMMI or Agile: Why Not Embrace Both!**. CMU/SEI-2008-TN-003. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University. 2008. Acesso: 03/03/2016. Disponível em: http://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?AssetID=8533.

[16] OMRAN, A. **AGILE CMMI from SMEs perspective**, *Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, 2008. ICTTA 2008. 3rd International Conference on*, Damascus, 2008, pp. 1-8.

[17] TURNER, R.; JAIN, A. 2002. **Agile Meets CMMI: Culture Clash or Common Cause?**. In *Proceedings of the Second XP Universe and First Agile Universe Conference on Extreme Programming and Agile Methods - XP/Agile Universe 2002*, Don Wells and Laurie A. Williams (Eds.). Springer-Verlag, London, UK, UK, 153-165.

[18] MARÇAL, A. S. C.; SOARES, F. S. F.; BELCHIOR, A. D. 2007. **Mapping CMMI Project Management Process Areas to SCRUM Practices**. In *Proceedings of the 31st IEEE Software Engineering Workshop* (SEW '07). IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 13-22.

[19] SILVA, F. S.; SOARES, F. S. F.; PERES, A. L.; AZEVEDO, I. M.; VASCONCELOS, A. P. L. F.; KAMEI, F. K.; MEIRA, S. R. L. **Using CMMI together with agile software development: A systematic review**, Information and Software Technology, Volume 58, February 2015, Pages 20-43, ISSN 0950-5849.

[20] SILVA, F. S.; SOARES, F. S. F.; PERES, A. L.; AZEVEDO, I. M.; PINTO, P. P.; MEIRA, S. R. L. **A Reference Model for Agile Quality Assurance: Combining Agile Methodologies and Maturity Models**, *Quality of Information and Communications Technology (QUATIC), 2014 9th International Conference on the*, Guimaraes, 2014, pp. 139-144.

[21] PATEL, C.; RAMACHANDRAN, M. **Agile maturity model (AMM): A Software Process Improvement framework for agile software development practices**. International Journal of Software Engineering, IJSE 2009; 2(1): S. 3–28.

A Process of Classification for Open Educational Resources based on Provenance Information

Um Processo de Classificação para Recursos Educacionais Abertos com base em Procedencia da Informação

SHEUNEMANN, S.S. [*] ; BRANDAO, A.A.F[†].
[*]Laboratório de Informática na Educação – Instituto de Matemática e Estatística – Universidade de São Paulo
[†]Laboratório de Técnicas Inteligentes - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
silviass@ime.usp.br, anarosa.brandao@poli.usp.br

***Abstract*—This paper describes a proposal for a Classification Process for Open Educational Resources (OER) based on Provenance information. This process aims to provide a structured set of activities to be executed in order to classify OER concerning their provenance. As a result of applying such a process, we intend to establish some quality criteria for OER selection. Therefore, by using such criteria we may define an architecture to support OER classification, selection, retrieval and recommendation.**

Key-words—Architecture, OER, Provenance Information

***Resumo*—Este artigo descreve uma proposta de um Processo de Classificação para Recursos Educacionais Abertos com base em Procedência da Informação. Este processo tem por objetivo fornecer uma visão como um conjunto estruturado de atividades disponível em fases, a serem aplicadas sistematicamente, para obter critérios de classificação de qualidade. Espera-se que este processo seja o passo inicial para a construção de um modelo que possibilite a classificação, recuperação e recomendação dos REA, permitindo que sejam uma realidade na educação brasileira, servindo como suporte para a obtenção de conhecimento de uma forma economicamente viável.**

Palavras-chave—Arquitetura, REA, Procedência da Informação.

I. INTRODUÇÃO

O sistema educacional brasileiro tem problemas de origens histórica, oriundas da falta de planejamento, que tornaram a tarefa de eliminar as desigualdades e melhorar a educação brasileira bastante desafiadora. Uma solução para diminuir as desigualdades e melhorar os indicadores educacionais é construir formas de colaboração entre sistemas de ensino [Santos 2013-1; MEC/SASE, 2014; Carmo et al., 2015].

Dentro deste cenário, o Governo Federal projetou algumas metas, com o intuito de melhorar a oferta e a qualidade da educação. Entretanto, existe uma questão crítica de financiamento, onde, o investimento atual, vindo de um percentual do Produto Interno Bruto [PIB] não corresponde a recursos suficientes para oferecer melhorias na educação [MEC/SASE, 2014]. Desta maneira, um dos problemas mais expressivos da educação atual é o custo atribuído aos processos subjacentes, dentre eles a elaboração, manutenção e atualização de materiais didáticos, tanto na educação presencial, quanto na educação à distância. [Carmo et al., 2015; Junior e Freitas, 2015].

Os Recursos Educacionais Abertos [REA] surgem como uma forma de universalização do acesso ao conhecimento, de modo economicamente viável, fomentando a politica de colaboração educacional e poupando custos de educação. Os REA são materiais de apoio ao ensino - aprendizagem, dispostos em qualquer mídia, que estejam sob domínio público ou licenciados de maneira aberta, permitindo que sejam utilizados ou adaptados por terceiros [Hylén, 2008; Camilleri et al., 2014; Santos, 2013-1, Santos et al., 2015, Soares e Ferreira, 2012, Santos, 2013-1].

Entretanto, existem muitas questões críticas em torno da qualidade dos REA. Segundo Stuurman [2012], existe um risco de perda financeira e por isto, há uma grande resistência ao uso dos REA. Santana et al. [2012] defendem que o grande potencial dos REA é possibilitar que qualquer individuo seja autor do seu próprio conteúdo, todavia, Hylén [2008] e Stuurman [2012] defendem que este quesito deve ser avaliado com o intuito de priorizar a qualidade dos materiais produzidos. Independente do tipo de material, REA ou não, existe uma grande dificuldade de estabelecer critérios de seleção de materiais para cursos presenciais e à distância estabelecer critérios de seleção de materiais para cursos presenciais e à distância é uma tarefa difícil [Tomaél et al., 2001, Camilleri et al., 2014; REA, 2016; Kawachi, 2013]. Uma das formas de garantir a confiabilidade aos dos REA consiste em assegurar a procedência do conteúdo educacional digital produzido de forma aberta, descrevendo as origens e sua história através de seu ciclo de vida, de modo a auxiliar os usuários finais a julgar se os resultados são confiáveis ou não [Halpin, 2009; Cheney et al., 2009]. Este trabalho tem por objetivo propor o COER@Prov (Classification for Open Educational Resources based on Provenance), um processo para classificar REA tendo como

base sua procedência. A partir dos resultados da execução do processo espera-se definir critérios que apoiem ferramentas para seleção, recuperação e recomendação de REA.

Com o intuito de atender ao objetivo proposto, usamos a linguagem BPMN [OMG, 2016] para descrever o processo, apresentado na seção seguinte. Por se tratar de um trabalho em andamento, a descrição da execução do processo não é apresentada.

II. COER@PROV

O processo COER@Prov é composto de quatro atividades, conforme mostra a Figura 1. A primeira atividade do processo foi definida tendo como base que REA são disponibilizados na Web e, portanto, devem satisfazer critérios de qualidade para conteúdo Web. A seguir, consideramos REA e padrões para descrição de Objetos de Aprendizagem para identificar critérios de qualidade oriundos da literatura, bem como informações relacionadas à procedência destes materiais educacionais. Ao final, combinamos as informações de ambos para estabelecer critérios de classificação para REA com base em procedência. A seguir descrevemos detalhadamente cada atividade.

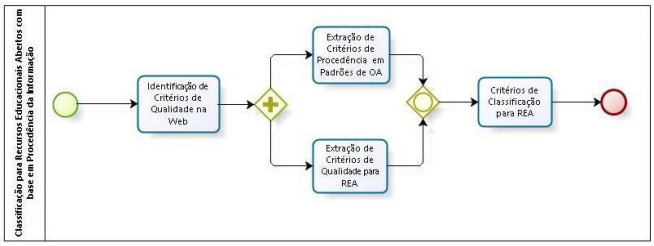


Fig 1. Descrição das atividades do Processo COER@Prov

A condução da atividade de identificação de critérios de qualidade na Web deu-se a partir da World Wide Web Consortium [W3C], que engloba uma comunidade cujo papel é desenvolver padrões abertos que assegurem o crescimento da Web. Assim, esta atividade consistiu na leitura do relatório técnico sobre boas práticas para descrição de dados na Web tendo em vista a qualidade [W3C, 2016]. Este documento contém o vocabulário a ser usado para dados disponibilizados na Web, na forma de namespaces e numa hierarquia de classes. O resultado desta atividade é a identificação de termos que relacionam procedência e qualidade de dados na Web, em especial no que se refere à qualidade e procedência de metadados.

A condução da atividade de extração de critérios de procedência em padrões para descrição de Objetos de Aprendizagem (OA) deu-se a partir dos padrões Dublin Core (DC) [DCMI, 2016], LOM [IMS, 2016] e OBAA [OBAA, 2016]. A escolha pelo uso de OA deu-se a partir da verificação de padrões de metadados ja consolidados e tambem por observar que OA estão disponíveis na Web, alem disso, OA abertos são considerados REA. A partir do estudo dos padrões observou-se que OBAA estendeu LOM e engloba parte do Dublin Core relativo à descrição de conteúdo educacional. Assim, utilizando o vocabulário sobre procedência e qualidade de dados na Web, é feita a seleção dos metadados oriundos do OBAA que, de alguma forma, estão relacionados à procedência do OA. Como resultado desta atividade obtemos um refinamento da forma de descrição de OA tendo em vista sua procedência, que nos permite estabelecer critérios de procedência para OA.

A condução da atividade de extração de critérios de qualidade para REA é um pouco mais complexa, tendo em vista que, envolve uma busca na literatura, análise de recomendações do Ministério da Educação [MEC] e uma analogia com dados abertos na Web [Isotani e Bittencourt, 2015]. A partir das informações colhidas serão extraídos critérios de qualidade para REA que servirão, juntamente com os resultados da atividade de extração de critérios de procedência de OA, para definir critérios para classificação de REA com base na sua procedência.

Assim, através deste processo, parâmetros importantes serão definidos, e servirão como base para mensuração da qualidade, possibilitando o desenvolvimento de um modelo cujo objetivo seja classificar, recuperar e recomendar o uso de REA. Acredita-se que uma ferramenta que implemente este modelo poderá melhorar a utilização de REA, poupando custos educacionais e permitindo uma educação de qualidade e acessível para todos.

III. TRABALHOS FUTUROS

A descrição da execução do COER@Prov será apresentada como trabalho futuro, composta do detalhamento de cada tarefa. Com o término desta fase, espera-se que a construção de uma classificação seja obtida, a partir da mensuração de critérios de procedência para obter níveis de classificação. Estes níveis serão determinados através de análise semântica e disponibilizados a partir da construção de uma ontologia.

AGRADECIMENTOS

Instituto de Matemática e Estatística (IME-USP) e Laboratório de Informática na Educação (LINE).

REFERÊNCIAS

[1] Camilleri, A.F., Ehlers, U.F, Pawlowski, J. State of the Art Review of Quality Issues related to Open Educational Resources [OER]. Joint Research Center, European Comission. JRC Scientific and Plicy Reports, Report EUR 26624, EN, Spain, ISSN 1831-9424 – Online European Union, 2014.

[2] Carmo, E.F., Chagas, J.A., Filho, D.B. Discutinfo políticas públicas de acesso ao ensino superior. Revista Educação. V.10, n.1, Ser Educacional, UnG.

[3] Cheney, J., Chiticariu, L., Tan, W.C. Provenance in Databases: Why, How, and Where. Foudantions and Treeds in Databases. Vol 1., n.4, issn 379-474, DOI: 10.1561/1900000006. Now – the essence of knowledge, Califórnia, CA – EUA.

[4] Dublin Core Metadata Initiative Innovation. Acesso em: 02/02/2016 Disponível em: <http://dublincore.org/specifications/>

Identify applicable sponsor/s here. If no sponsors, delete this text box (*sponsors*).

[5] Halpin, H. Provenance: The Missing Component of the Semantic Web for Privacy and Trust. First Workshop on Trust and Privacy on the Social and Semantic Web [SPOT 2009], Heraklion, Greece, June 1, 2009.

[6] Hylén, J. Giving Knowledge for free – The Emergence of Open Educational Resources. Education & Development. Spandanews. Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], v.2, 2008.

[7] IMS Learning Global Consortium. Acesso em: 20/02/2016 Disponível em: < https://www.imsglobal.org/metadata/index.html>

[8] Isotani, S. e Bittencourt, I.I.. Dados Abertos Conectados, Novatec, São Paulo, 2015.

[9] Ministério da Educação e Secretaria de Articulação com Sistemas de Ensino. Plano Nacional de Desenvolvimento – Planejando a Próxima Década – Conhecendo as 20 metas do Plano Nacional de Educação. MEC, 2014.

[10] OBAA - Padrão de Metadados de Objetos de Aprendizagem. Acesso em: 20/01/2016. Disponível em: < http://www.portalobaa.org/>.

[11] [OMG] Object Management Group BPMN Specifications (OMG-BPMN). Acesso em 01/06/2016. Disponível em: <www.omg.org/spec/BPMN/2.0/>

[12] Santana, B., Rossini, C., Preto, N.L. Recursos Educacionais Abertos: Práticas Colaborativas e Políticas Públicas. São Paulo, Salvador, 2012. Casa da Cultura Digital.

[13] Santos, A. I. Recursos Educacionais Abertos no Brasil – O estado da arte, desafios e perspectivas para o desenvolvimento e inovação. Tradução DB comunicação – São Paulo, Comitê Gestor de Internet no Brasil. São Paulo, 2013.

[14] Santos, L.A, Fonseca, L.C.C., Jesus, R.S, Silva, F.C. Um modelo de Arquitetura para Gerenciar a Criação de Recursos Educacionais Abertos em Núcleos de EaD. CBIE-LACLO, 2015. Anais dos Workshops do IV Congresso Brasileiro de Informática na Educação [CBIE, 2015].

[15] Soares, L., Ferreira, M.A.T. O estímulo à prática colaborativa: O impacto da Web 2.0 na gestão do conhecimento organizacional. Tendências da Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação. V.8, n.1, Jan/jun. 2015.

[16] Stuurman, S., Eekelen, M.V., heeren, B. A new method for sustainable development of Open Educational Resources. CSERC. Conference'12. 10-11, September, Wrolaw, Poland, 2012.

[17] Stuurman, Sylvia; Eekelen, Marco Van; Heeren, Bastiaan. A new method for sustainable development of Open Educational Resources. CSERC Conference'12, 10-11 September, Wrolaw, Poland, 2012.

[18] Tomaél, M. et al. Avaliação de Fontes de informação na Internet: critérios de qualidade. Informação e Sociedade, João Pessoa, v.11, n.2, p-13-35, 2001.

[19] World Wide Web Consortium. Acesso em: 30/05/2016. Disponível em:]https://www.w3.org/TR/vocab-dqvprov-o/.

Using Data Prediction Techniques to Reduce Data Transmissions in the IoT

DIAS, G. M.*; BELLALTA, B.*; OECHSNER, S.*; MARGI, C. B.†

*Department of Information and Communication Technologies
Universitat Pompeu Fabra
Barcelona, Spain
{gabriel.martins, boris.bellalta, simon.oechsner}@upf.edu

†Escola Politécnica
Universidade de São Paulo
São Paulo, Brazil
cintia@usp.br

***Abstract*—Part of the data in the Internet of Things (IoT) will be generated by wireless sensor nodes organized in Wireless Sensor Networks (WSNs). However, wireless sensor nodes are mainly designed to have low costs, which implies constrained memory and energy supplies, and does not permit the streaming of measured data at high data rates. Despite that, modern uses of WSNs rely on the knowledge acquired by sensor nodes to trigger reactions in other systems and sensed data has become critical to avoid economic–and living–losses. Therefore, it is important to optimize data transmissions in WSNs to support not only a higher number of wireless sensor nodes but also a higher diversity of sensed parameters.**

The thesis "Prediction-Based Strategies for Reducing Data Transmissions in the IoT" extends a paradigm that exploits WSNs to the utmost: data that can be predicted does not have to be transmitted. Indeed, the strategies investigated in this thesis can impact the present and the future of the IoT.

For current WSNs, we designed and implemented a self-managing WSN architecture that adopts a standardized communication to integrate WSNs into data analysis services in the cloud. With the help of the cloud, we simulated and tested a Reinforcement Learning algorithm that adjusts the sensor nodes' sampling intervals according to the changes observed in the environment.

For the future generations of WSNs, we designed a theoretical model for characterizing the number of transmissions in WSNs, which can estimate the efficiency of prediction-based data reduction methods. Coming generations of WSNs will be supported by our model to adopt prediction algorithms and maintain strict control over the quality of the reported data without being harmed by the adoption of a higher number of sensor nodes; hence, collaborating to the IoT's growth.

***Keywords*— wireless sensor networks, data science, internet of things, artificial intelligence.**

I. Introduction

According to Gartner [1], the number of interconnected devices in the IoT will triple in the next few years, reaching 20.8 billion in 2020. Cameras, accelerometers, thermometers, barometers, fire detectors and air quality monitors are only some examples of sensors that can be found in wireless sensor nodes used to monitor environments and track objects.

Indeed, wireless sensor nodes are taken into account in Gartner's estimates as they are also considered "Things" that form the IoT. However, in practice, wireless sensor nodes communicate only among themselves in WSNs to report sensed data to Gateways (GWs). A typical GW consists in a wireless sensor node connected to a workstation (e.g., via USB) with Internet access; hence, usually, GWs can interact with remote systems that compute, analyze and extract valuable information from the collected datasets. On the other hand, ordinary wireless sensor nodes can neither process high complexity algorithms nor communicate directly with other Internet devices without the help of the GWs, due to their constrained computing power and hardware limitations.

Thanks to this limited communication between sensor nodes and the external world, the WSNs' growth can be described by the increasing number of wireless sensor nodes measuring and reporting data to GWs, and by the diversity of data types transmitted in WSNs. Modern applications of WSNs do not simply monitor changes in the environment anymore; they also trigger reactions to these changes. For example, in agriculture, sensed data can be used to apply pesticides after detecting that the number of insects exceeded a certain threshold [2]. Such a threshold, in turn, may vary according to the season or get affected by temperature and relative humidity changes during the days. In these applications, sensor nodes may need a high number of transmissions to communicate the number of insects, temperature, and relative humidity. If the WSN cannot handle all transmissions that sensor nodes make, it will collapse and end up in significant economic losses.

In other cases, losses can go beyond the ecological and economic ambits. For example, structural health monitoring for aircraft can include engine control systems that rely on enhanced data analysis to detect accidents, and report unexplained phenomena to people responsible for maintaining their safety and healthy conditions [3]. Extended data analysis require, in comparison to the simplest monitoring tasks, more parameters and a higher amount of informative data. Therefore, in these cases, more sensor nodes transmitting higher amounts of data might collapse the WSN and provoke accidents resulting in losses of lives.

These situations help us to understand that WSNs are data-oriented networks, i.e., the data that sensor nodes can produce is their most valuable asset [4]. Hence, as typical wireless sensor nodes have computing power constraints and are mainly supplied by capacity-constrained batteries, most

of the works about WSNs focus on optimizing their energy consumption [5]. In fact, efforts to reduce energy consumption in WSNs provide efficient solutions at different levels, such as routing schemes [6], and data compression [7]. Fortunately, there are promising advances in energy supply methods for sensor nodes, including energy harvesting [8] and wireless power transfer [9]. These techniques facilitate the design of scalable methods to refill sensor nodes' batteries. Therefore, also considering the recent discoveries regarding batteries that could be charged hundreds of thousands of times without losing capacity [10], wireless sensor nodes' energy constraint may be–sooner or later–overcome.

Meanwhile, although energy limitations tend to disappear, the medium access has been named as one of the key challenges in the next generations of wireless networks, due to the increase in the number of wireless devices and traffic profiles [11]. In other words, the access to the data produced by neighboring sensor nodes might remain as an issue in the next generations of WSNs. Hence, if the number of sensor data transmissions follows the growth in the number of devices, the IoT will not be able to support all wireless communications. De facto, this situation raises a dilemma in WSNs because attempting to deliver more of their most valuable asset can, in fact, reduce their throughput. In conclusion, the spectrum scarcity is a candidate for becoming the greatest obstacle in the WSNs' growth thanks to the number of interconnected devices and data produced.

To workaround such a limitation, it would be necessary a deep improvement in the wireless sensor nodes' architecture, which would include new radio antennas, more powerful microcontroller units, and extended memory capacities. On the other hand, the resulting costs of the new hardware might not be compatible with the mass adoption of sensor nodes.

Given that, an interesting question to ask, and which was addressed in the thesis "Prediction-Based Strategies for Reducing Data Transmissions in the IoT" [12], is:

Could we build *smart* WSNs that optimize their transmissions?

To answer this question, we must investigate other problems beforehand. First, what does a WSN need to become *smart* and *optimize itself*? Second, how can sensor *data transmissions* be *optimized*?

To become smart and optimize itself, a WSN needs enough knowledge about the environment, which can be produced by other systems (including other WSNs). To obtain this information directly, sensor nodes might be programmed to access data from other devices external to their WSNs, such as other sensor nodes, cloud servers, and smartphones. This option, however, is not feasible in practice, because it would require a standard data interchange format for measurements, extra computing time in sensor nodes and occasionally new hardware to overhear the medium. Moreover, sensor nodes would need other sources of knowledge to verify the trust of their neighbors' data. In fact, all of these problems have already been addressed in Internet applications and are not compatible with WSNs' purposes.

An alternative solution to make a WSN optimize itself is to rely on GWs, exploiting their Internet connection and the fact that they do have neither critical computational, power nor communication limitations [13]. GWs can access external information from several sources and provide direct access to WSNs' managers, who may intervene in the actions taken in the WSNs.

To optimize the number of transmissions in a WSN, it is important to observe the frequency of data generation and the data length. Using distributed mechanisms, a WSN can update its routing tables and reduce the overall number of transmissions, or adopt self-organization schemes to find clusters and avoid long-distance transmissions [14]. At this moment, there are several mechanisms to improve WSNs' transmissions and, even though there is no *one-size-fits-all* solution, many combinations have been tested and extended to work properly in several scenarios, such as the B-MAC [15], and the Collection Tree Protocols (CTPs) [16].

It is important to highlight, however, that the effort to find the best routing algorithm that can successfully coordinate the medium access is worthless if the data transmitted by the sensor nodes does not convey knowledge to the WSNs' managers. It is not only important to use sensor nodes to generate relevant knowledge, but it is also critical to maintain such a relevance during the WSNs' operation. The relevance of the knowledge acquired by sensor nodes depends mainly on the frequency that the data is generated and transmitted, and it can be wasted due to long delays in the delivery process.

Nonetheless, in fact, data aggregation and data compression are examples of techniques that do not consider the most typical characteristics of WSNs: (i) differently from traditional (cabled and wireless) networks, WSNs are asymmetric, i.e., the computing power of sensor nodes is extremely smaller than that of workstations and servers used for data processing; and (ii) data collected and transmitted by sensor nodes may be predicted using basic algorithms. For instance, using such algorithms, GWs can rely on several sources of knowledge to estimate the data measured by sensor nodes. Meanwhile, sensor nodes can compute the same estimations, verify locally if the GW's predictions are accurate, and transmit their measurements only in cases when predictions fail. Therefore, adopting data prediction in WSNs can optimize transmissions in a way that neither data compression nor data aggregation can: eliminating the necessity of communicating the data.

In this work, we concentrated our efforts to overcome the paradigm of using sensor networks to measure and transmit as much raw data as possible. Our goal was to optimize the data analysis while taking into account the typical limitations of WSNs. Thus, we focused on using data predictions as a means of reducing the number of transmissions without affecting the quality of the measurements made by sensor nodes. To achieve our goal, we relied on the WSNs' asymmetric capacities: sensor nodes are closer to the data's sources, and GWs can communicate with cloud services that compute complex

algorithms for data analysis.

II. Objectives

The primary objective of this work was to facilitate the optimization of sensor networks at the application layer. To achieve this goal, we investigated scalable optimization methods that rely upon: (i) tools that facilitate sensor data acquisition, storage, and management; and (ii) statistical methods and models for data analysis.

These optimization methods provided means for expanding WSNs both in the number of sensor nodes and applications, besides facilitating the inter-WSNs communication. To achieve that, we must provide a sufficiently solid basis on which future applications can rely to create more complex systems that interact with the environment and manage themselves. To achieve our primary goal, we also accomplished other steps during the research process:

1) Investigate the state of the art and collect information about how data prediction has been incorporated into WSNs.
2) Evaluate in practice the benefits that cloud services give to WSNs, extending sensor nodes' computational power and incorporating WSNs into self-managing environments.
3) Explore algorithms for predictions under the constraints observed in current wireless sensor nodes, and study their adoption in next generations of WSNs, considering their intrinsic hardware evolution.
4) Design a model for characterizing the number of transmissions in sensor networks, such that it will provide reliable estimations about the efficiency of prediction-based data reduction methods.

III. Contributions

The main contribution of this thesis is the integration of mechanisms for fine-tuning WSNs with the most powerful Artificial Intelligence (AI) techniques. This connection can empower WSNs with cloud services, improve the quality of their data, and open space for new business opportunities. For the current WSNs, we focused on a self-managing architecture that supports existing frameworks and technologies used in sensor nodes. For future generations of WSNs, we deliver a theoretical analysis about the use of data prediction, considering sensor nodes' hardware evolution and sensor data quality.

We began proposing a self-managing WSN architecture that integrates cloud computing, data analysis, and sensor networks. In the real implementation, we adopted a standardized communication for reporting sensed data and communicating remote decisions. Results showed that the interconnection of remote components did not imply a significant overhead and is feasible in practice.

As existing wireless sensor nodes have strict memory and computing power constraints, our first contributions–for existing technologies–avoid extra computation in sensor nodes. Using an Reinforcement Learning (RL) technique called Q-Learning, we designed a mechanism to adjust the sensor nodes' sampling intervals according to the changes observed in the environment. Finally, we described our simulations and discussed the experimental results of this mechanism on the self-managing architecture proposed beforehand.

After observing the real benefits of a Simple Prediction Scheme (SPS), we analyzed the accuracy that the current state-of-the-art algorithms for predictions have when applied to sensed data. We showed that adopting sophisticated algorithms in sensor nodes makes Dual Prediction Schemes (DPSs) promising: using these algorithms in our simulations, we observed that it was possible to reduce the number of transmissions without reducing the quality of the measurements provided by WSNs in different sensor applications.

Foreseeing the sensor nodes' hardware evolution and new algorithms for predictions, we designed a WSN transmission model. It can be used to plan WSNs, considering their sensor nodes' hardware capabilities and configuration parameters, such as transmission ranges and sampling rates. Based on this model, we made a theoretical study to observe how the number of transmissions was affected by the predictions' accuracy and the correlation between data collected by neighbor sensor nodes. Our analysis showed that adopting a prediction-based and a data aggregation scheme could reduce the number of transmissions by up to nearly 92%.

IV. Conclusion

The IoT is experiencing an exponential growth in the number of interconnected devices, sensors, and amount of produced data. Two factors can disrupt such an expansion: sensor nodes' energy availability and the wireless medium access. There is enough evidence to believe that sensor nodes' energy consumption can be–at least partially–overcome. Meanwhile, the wireless medium access is pointed out as a problem for the next generations of wireless networks.

To overcome the latter problem (and possibly minimize the former one), we focused on the potential benefits of adopting prediction-based strategies to reduce the number of data transmissions in WSNs. Finally, we conclude that data that can be predicted does not have to be transmitted and that prediction-based strategies can reduce the number of data transmissions in WSNs using the state-of-the-art technologies of wireless sensor nodes and data prediction algorithms.

To reach this conclusion, we first aimed at maximizing the impact of the latest advances in Data Science on the WSNs. Since there is no consensus about how to compute, analyze or publish data collected by WSNs, we designed a platform–Data Analytics for Sensors Dashboard (DAS-Dashboard)–that fits the main Data Science principles concerning sensed data: its collection; description; storage; maintenance; discovery; visualization; and analysis. This affinity with the Data Science principles serves as a starting point for a future set of standards and solutions that aim to incorporate Data Science techniques in WSN and IoT scenarios.

Furthermore, centered on the DAS-Dashboard, we designed a self-managing architecture that incorporates WSNs into IoT environments. The resulting *smart* WSNs can exploit the

power of AI techniques and sensor nodes' proximity to data's sources to self-manage their transmissions efficiently. From now, similarly to the procedure taken in our experiments, any person can deploy a WSN and host their data server, allowing remote users to visualize collected data and to outsource the optimization of their WSNs to external systems. The proposed self-managing architecture will permit new business models focused on sensor data, once it provides WSNs' managers the means to optimize their WSNs simply by choosing among their preferred prediction scheme (single or dual) and a cloud service that makes reliable predictions and recommendations for their applications.

For future generations of wireless sensor nodes and AI techniques, we provided a theoretical contribution. We experimented state-of-the-art prediction methods and designed a WSN transmission model that takes into account the hardware evolution and the consequent use of high complexity algorithms for predictions. The proposed model provides the necessary tools for designing new WSNs, considering the number of sensor nodes, their coverage, the periodicity of their transmissions and the predictions' accuracy. Most important, the mathematical analysis of this model provides us a reliable foundation to adopt prediction-based strategies in future WSNs, besides showing that predictions can extend the improvements provided by data aggregation schemes.

Overall, the work presented in the thesis "Prediction-Based Strategies for Reducing Data Transmissions in the IoT" can be extended to incorporate other prediction methods and data reduction mechanisms in the self-managing architecture proposed. Future research in the field of WSNs and IoT can focus on prediction algorithms and computational power to improve their accuracy, which will permit the improvement of the *smart* WSNs' operations. Moreover, the model used to estimate the number of transmissions can be validated, in practice, with alternative scenarios and applications. For instance, focusing on finding a network configuration that minimizes the energy consumption in a WSN.

In the long-term, servers used to control WSNs will be able to forecast weather, predict human behavior and infer objects' positions. Hence, most of the data about the environment will be generated without the need of transmitting measurements from sensors; and WSNs will be only necessary to fix few inevitable mistakes and inform a small number of unexpected variations. Therefore, it will be critical to rely on the statistical theory and self-managing architectures that can control other machines, react to the environments' evolution and interact with living beings; and the thesis gives significant steps in these two directions.

Acknowledgment

This work has been partially supported by the Catalan Government through the project SGR-2014-1173 and by the European Union through the project FP7-SME-2013-605073-ENTOMATIC. Part of this research was developed at the Department of Computer Engineering and Digital Systems in the Polytechnic School of the University of São Paulo under the coordination of Dr. Cintia B. Margi.

References

[1] GARTNER. *Gartner Says 6.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2016, Up 30 Percent From 2015*. 2015. Disponível em: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3165317>.

[2] JURDAK, R. et al. Autonomous surveillance for biosecurity. *Trends in Biotechnology*, Elsevier Ltd, v. 33, n. 4, p. 201–207, abr. 2015. ISSN 18793096. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.01.003>.

[3] MCCORRIE, D. J. et al. Predictive data reduction in wireless sensor networks using selective filtering for engine monitoring. In: _____. *Wireless Sensor and Mobile Ad-Hoc Networks: Vehicular and Space Applications*. New York, NY: Springer New York, 2015. p. 129–148. ISBN 978-1-4939-2468-4. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-2468-4_6>.

[4] STANKOVIC, J. A. Research challenges for wireless sensor networks. *ACM SIGBED Review*, v. 1, n. 2, p. 9–12, jul. 2004. ISSN 15513688. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1121780>.

[5] ANASTASI, G. et al. Energy conservation in wireless sensor networks: A survey. *Ad Hoc Networks*, Elsevier B.V., v. 7, n. 3, p. 537–568, maio 2009. ISSN 15708705. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1570870508000954>.

[6] NURCHIS, M. et al. A self-adaptive routing paradigm for wireless mesh networks based on reinforcement learning. *Proceedings of the 14th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems - MSWiM '11*, p. 197, 2011. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2068897.2068932>.

[7] YIN, Y. et al. An Efficient Data Compression Model Based on Spatial Clustering and Principal Component Analysis in Wireless Sensor Networks. *Sensors (Basel, Switzerland)*, v. 15, n. 8, p. 19443–65, jan. 2015. ISSN 1424-8220. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26262622>.

[8] SUDEVALAYAM, S.; KULKARNI, P. Energy harvesting sensor nodes: Survey and implications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, v. 13, n. 3, p. 443–461, 2011. ISSN 1553877X. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/ abs_all.jsp?arnumber=5522465>.

[9] XIE, L. et al. Wireless Power Transfer and Applications to Sensor Networks. *IEEE Wireless Communications*, n. August, p. 140–145, 2013. ISSN 1536-1284. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6590061>.

[10] Le Thai, M. et al. 100k Cycles and Beyond: Extraordinary Cycle Stability for MnO 2 Nanowires Imparted by a Gel Electrolyte. *ACS Energy Letters*, p. 57–63, 2016. ISSN 2380-8195. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/acsenergylett.6b00029>.

[11] BELLALTA, B. et al. Next generation IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks: Current status, future directions and open challenges. *Computer Communications*, Elsevier B.V., v. 000, p. 1–25, nov. 2015. ISSN 01403664. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140366415003874>.

[12] DIAS, G. M.; BELLALTA, B.; OECHSNER, S. *Prediction-Based Strategies for Reducing Data Transmissions in the IoT*. Tese (Doutorado) — Pompeu Fabra University, 2016. Disponível em: <http://gmdias.com/MartinsDias_Thesis.pdf>.

[13] DIAS, G. M. Performance optimization of wsns using external information. In: *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2013 IEEE 14th International Symposium and Workshops on a*. [s.n.], 2013. p. 1–2. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1607.03408>.

[14] ABBASI, A. A.; YOUNIS, M. A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks. *Computer Communications*, v. 30, n. 14-15, p. 2826–2841, out. 2007. ISSN 01403664. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/ S0140366407002162>.

[15] POLASTRE, J.; HILL, J.; CULLER, D. Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks. *Proceedings of the 2nd ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '04)*, ACM Press, New York, New York, USA, p. 95–107, 2004. ISSN 08858985. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1031508>.

[16] GNAWALI, O. et al. Collection tree protocol. ACM, New York, NY, USA, p. 1–14, 2009. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1644038.1644040>.

Comunicações de Publicações

Impact of Immersive Technology Applied in Computer Graphics Learning

MOREIRA, P. M.*; TORI, R.*; OLIVEIRA, E. C.*
*Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais ˜
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) ˜
Caixa Postal 61548 – 05508-010 – Sao Paulo – SP – Brazil

{paulomuggler,elencollaco}@gmail.com, tori@acm.org

***Abstract*—In this paper we describe an application of immersive technology to a specific learning context. In this case, a Virtual Reality environment was created for the purpose of delivering lesson content in a Computer Graphics module for students of engineering and architecture courses. The virtual environment was designed to demonstrate lighting model algorithms and aspects of 3D rendering techniques. An experiment was carried out in which students were divided into two groups that viewed the same lesson content: experimental and control group. In this pilot study we describe the application in details and discuss preliminary results based on analysis of the participants perceptions collected through presence questionnaire. Our results revealed that the experimental group showed higher levels of presence and involvement compared with the control group.**

Keywords—virtual reality; education; immersion; presence.

REFERENCE

1. Ruthenbeck, G. S. and Reynolds, K. J. (2015). Virtual reality for medical training: the state-of-the-art. Journal of Simulation, 9(1):16–26.
2. Bhagat, K. K., Liou, W.-K., and Chang, C.-Y. (2016). A cost-effective interactive 3d virtual reality system applied to military live firing training. Virtual Reality, 20(2):127–140.
3. Jauregi, K., Canto, S., de Graaff, R., Koenraad, T., and Moonen, M. (2011). Verbal interaction in second life: towards a pedagogic framework for task design. Computer Assisted Language Learning, 24(1):77–101.
4. Slater, M., Steed, A., and Usoh, M. (2013). Being there together: Experiments on presence in virtual environments (1990s). Technical report, Technical Report, Department of Computer Science, University College London, UK.
5. IJsselsteijn, W. A., de Kort, Y. A. W., and Haans, A. (2006). Is this my hand i see before me? the rubber hand illusion in reality, virtual reality, and mixed reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 15(4):455–464.
6. Regenbrecht, H., Franz, E. A., McGregor, G., Dixon, B. G., and Hoermann, S. (2011). Beyond the looking glass: Fooling the brain with the augmented mirror box. Presence, 20(6):559–576.
7. Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., Estrada, V., Freeman, A., and Hall, C. (2016). NMC Horizon Report: 2016 Higher Education Edition. Austin, Texas: The New Media Consortium.
8. Slater, M. (1999). Measuring presence: A response to the witmer and singer presence questionnaire. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 8(5):560–565.
9. McMahan, A. (2003). Immersion, engagement and presence. The video game theory reader, 67:86.
10. Wang, Y. F., Petrina, S., and Feng, F. (2016). Village virtual immersive language learning and gaming environment: Immersion and presence. British Journal of Educational Technology.
11. Lombard, M., Ditton, T., and Weinstein, L. (2009). Measuring presence: the temple presence inventory. In Proceedings of the 12th Annual International Workshop on Presence, pages 1–15.
12. Tu, C.-H. (2002). The measurement of social presence in an online learning environment. International Journal on E-learning, 1(2):34–45.
13. Tu, C.-H. and McIsaac, M. (2002). The relationship of social presence and interaction in online classes. The American journal of distance education, 16(3):131–150.
14. Sung, E. and Mayer, R. E. (2012). Five facets of social presence in online distance education. Computers in Human Behavior, 28(5):1738–1747.
15. Horzum, M. B. (2015). Interaction, structure, social presence, and satisfaction in online learning. Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education, 11(3):505–512.
16. North, M. M. (2014). Distance learning immersive environments: Sense of presence exploration. Journal of Visual Languages & Computing, 25(6):1040–1041.
17. Sanchez-Vives, M. V. and Slater, M. (2005). From presence to consciousness through virtual reality. Nature Reviews Neuroscience, 6(4):332–339.
18. MacIsaac, D. et al. (2015). Google cardboard: A virtual reality headset for 10. The Physics Teacher, 53(2):125–125.
19. Watt, A. H. and Watt, A. (2000). 3D computer graphics, volume 2. Addison-Wesley Reading.
20. Schubert, T., Friedmann, F., and Regenbrecht, H. (2001). The experience of presence: Factor analytic insights. Presence, 10(3):266–281.

A process for text recognition of generic identification documents over cloud computing

VALIENTE,R. ; SADAIKE, M. T ; GUTIÉRREZ, J. C.; SORIANO, D. F.; BRESSAN, G. ; RUGGIERO, W.
Laboratory of Computer Architecture and Networks, Escola Politénica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brazil
{rvaliente, msadaike, jmenendez, dsoriano ,gbressan, wilson}@larc.usp.br

***Abstract*— A process for accurate text recognition of generic identification documents (ID) over cloud computing is presented. It consists of two steps, first, a smartphone camera takes a picture of the ID, which is sent to a cloud server; second, the image is processed by the server and the results are sent back to the smartphone. In the cloud server, image rectification, text detections and word recognition methods are combined to extract all non-manuscript information from the ID. Rectification is based on an improved Hough Transform and the text detection approach consists of a contrast-enhanced Maximally Stable Extremal Region (MSER), using heuristics constraints to remove non-text regions. Experimental results demonstrate several advantages in the proposed process.**

Keywords— image rectification, text recognition, cloud computing, OCR, ID.

REFERENCE

[1] R. Valiente, M. T. Sadaike, J. C. Gutiérrez, D. F. Soriano, G. Bressan, and W. V. Ruggiero, "A process for text recognition of generic identification documents over cloud computing," in *Proceedings of the International Conference on Image Processing, Computer Vision, and Pattern Recognition (IPCV)*, 2016, p. 142.

Visible Light Communication Applied to Intelligent Transport Systems: an Overview

Comunicação por Luz Visível Aplicada aos Sistemas Inteligentes de Transporte: Visão Geral

MARÈ, R. M.[*]; MARTE, C. L. [†]; CUGNASCA, C. E. [*]
[*]Laboratório de Automação Agrícola – Departamento de Engenharia de Computação
[†]Laboratório de Geoprocessamento – Departamento de Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
renata.mare@usp.br, {claudio.marte, carlos.cugnasca}@poli.usp.br

***Abstract*—The growing use of mobile devices, besides contexts as the Internet of Things, are demanding all the efforts to provide wireless communications alternatives. Optical wireless communication is posing as a promising complementary technology to radio frequency, especially due to considerable deployments in solid-state lighting technology and its adoption in many domains. Light-emitting diodes can be used to promote visible light communication indoors and outdoors and in this case, there are many opportunities to be explored regarding intelligent transport systems, since they have been used in public lighting, traffic lights and vehicles. This article aims at presenting an overview of the applications in intelligent transport systems that are being proposed or developed around the world, allowing the communication between vehicles and infrastructure through visible light. This technology has the potential to provide a significant contribution to the communication demands in the intelligent transport system scenario.**

***Keywords*— visible light communication; intelligent transport systems; V2X; I2V; wireless communications.**

***Resumo*—A crescente utilização de dispositivos móveis, além de contextos como a Internet das Coisas, estão exigindo todos os esforços para fornecer alternativas de comunicações sem fio. A comunicação óptica sem fio apresenta-se como uma tecnologia promissora, complementar à radiofrequência, especialmente devido às consideráveis implantações da tecnologia de iluminação de estado sólido e a sua adoção em inúmeros domínios. Os diodos emissores de luz podem ser usados para promover a comunicação de luz visível, em ambientes internos e externos e, neste caso, há muitas oportunidades a serem exploradas em sistemas inteligentes de transporte, uma vez que aqueles têm sido empregados na iluminação pública, semáforos e veículos. Este artigo visa apresentar uma visão geral das aplicações em sistemas inteligentes de transporte que estão sendo propostos ou desenvolvidos em todo o mundo, permitindo a comunicação entre veículos e infraestrutura por meio da luz visível. Esta tecnologia tem o potencial para prover uma contribuição significativa para as demandas de comunicação no cenário dos sistemas inteligentes de transporte.**

***Palavras-chave*— comunicação por luz visível; sistemas inteligentes de transporte; V2X; I2V; comunicações sem fio.**

REFERENCE

[1] MARÈ, R. M.; MARTE, C. L.; CUGNASCA, C. E. Visible Light Communication Applied to Intelligent Transport Systems: an Overview. *IEEE Latin America Transactions*. n. 7, p. 3199-3207, July, 2016.

A Provenance-Based Approach for Reusing Biodiversity Data Products

SILVA, D. L.[*]; BATISTA, A. F.[*]; BORBA, C.[*]; CORREA, A.[*]; GARCIA, S.[*]; CORRÊA, P.L.P.[*]
[*]Escola Politécnica - Universidade de São Paulo
{daniellins, andrefmb, cleverton.borba, andreiwid, suelane, pedro.correa}@usp.br

***Abstract*—In the last decade, several advances have been made in the publication and sharing of biodiversity data. The adoption of metadata standards and communication protocols has enabled improvements in interoperability between systems and distributed databases. However, to reuse these available data for experiments and decision-making processes, scientists need additional information about the data origins to enable its evaluation and traceability. In this paper, we propose an approach for managing provenance metadata through a computational architecture based on services and web standards. We demonstrate the application of our approach and show its practical usefulness by evaluating this architecture to manage provenance metadata generated during an ecological niche modeling. The results of our experiment show that this approach is effective in collecting and managing the provenance metadata of data products and their processes, storing these metadata in a standardized way and allowing their discovery and retrieval through the Web.**

***Keywords*— Data Provenance, Computational Architecture, Biodiversity Informatics, Reusability.**

REFERENCE

[1] SILVA, D. L.; BATISTA, A. F.; BORBA, C.; CORREA, A.; GARCIA, S.; CORRÊA, P.L.P. A Provenance-Based Approach for Reusing Biodiversity Data Products. *The 15th International Conference on Information & Knowledge Engineering (IKE-16)*, Las Vegas, USA, Jul, 2016.

Visual Analytics improving Data Understandability in IoT Projects: An Overview of the U.S. DOE ARM Program Data Science Tools

BATISTA, A. F. M[*]; CORRÊA, P. L. P.[*]; PALANISAMY, G.[†], FONTES, S. G[*]
[*]Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP) – São Paulo - Brasil
[†]Environmental Sciences Division – Oak Ridge National Laboratory (ORNL) – Tennessee - EUA
{andrefmb, pedro.correa, suelane}@usp.br, palanisamyg@ornl.gov

Abstract—**The IoT advancement generates a massive volume and a variety of data at unprecedented velocity. There is a need to interpret and to convert such data into valuable information, enabling the discovery of knowledge as well as the development of new technologies and data products. From the Data Science research field, Visual Analytics (VA) techniques seek to support in the analysis and understanding of large datasets using statistical techniques and data mining, aided by visualization techniques. This paper demonstrates how VA techniques can be applied in Data Science projects enabling users to reason over a dataset generated by IoT devices, what we call as Data Understandability. A practical case is presented in order to provide an overview of the data management procedures and how a set of Visual Analytics tools developed in the context of The U.S. Department of Energy Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Program are helping users to visualize and analyze the collected data from a climate sensor network spread throughout the world**.

Keywords— ***Data Science, Visual Analytics, Data Understandability,***

REFERENCE

[1] BATISTA, A. F. M.; Correa, P. L. P ; PALANISAMY, G. . Visual Analytics improving Data Understandability in IoT Projects: An Overview of the U.S. DOE ARM Program Data Science Tools. In: 2016 IEEE 13th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, 2016, Brasilia. Proceedings of the 2016 IEEE 13th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems. Brasilia: IEEE Computer Society, 2016. p. 349-354.

IEEE 802.15.4e TSCH mode performance analysis

Renan C. A. Alves and Cintia B. Margi
University of São Paulo – Computer Engineering
São Paulo, Brazil
Email: {renanalves, cintia}@usp.br

***Abstract*—Multiplexing data transmission in time and frequency is an alternative to medium contention in wireless networks. The IEEE 802.15.4e standard, and its Time Slotted Channel Hopping (TSCH) mode in particular, provides such possibility in the context of constrained devices, for instance wireless sensor networks. We analyze the performance of TSCH leveraging from a real implementation in emulated environment, assessing latency, delivery ratio and time to associate.**

***Keywords*— Wireless sensor networks; Performance analysis; IEEE 802.15.4e.**

REFERENCE

[1] ALVES, R. C. A.; MARGI, C. B. IEEE 802.15.4e TSCH mode performance analysis. *2016 IEEE 13th IEEE International Conference on Mobile Ad hoc and Sensor Systems* (MASS). Brasilia, Brazil, Oct, 2016.

Biologically-inspired Neural Network for Walking Stabilization of Humanoid Robots

CASTRO, G. B.[*]; TAMURA, K.[†]; KAWAMURA, A.[†]; HIRAKAWA, A. R.[*]
[*]SmartLab, Departamento de Engenharia da Computação - Universidade de São Paulo
[†]Kawalab, Departamento de Engenharia Elétrica e da Computação - Yokohama National University
guilherme.barros.castro@usp.br, tamura-kazuya-tv@ynu.jp, kawamura@ynu.ac.jp, arhiraka@usp.br

***Abstract*— In order to accomplish desired tasks, humanoid robots may have to deal with unpredicted disturbances, generated by objects, people and even ground imperfections. In some of these cases, foot placement is critical and cannot be changed. Furthermore, the robot has to conduct the actions planned meanwhile stabilizing its walking motion. Therefore, we propose a Biologically-inspired Neural Network to stabilize the walking motion of humanoid robots by ankle joint control, which minimally affects the current movements of the robot. The neural network proposed has a low computational time and can be used as a module of other control methods. This approach was evaluated with Webots simulator, presenting improvements in the compensation of an external force in regard to its magnitude and duration.**

***Keywords*— Biologically-inspired Neural Network; complex dynamic systems; humanoid robots; walking stabilization.**

REFERENCE

[1] CASTRO, G. B.; TAMURA, K.; KAWAMURA, A.; HIRAKAWA, A. R. Biologically-inspired Neural Network for Walking Stabilization of Humanoid Robots. Submitted to *International Conference on Agents and Artificial Intelligence*. 2016.

Duty Cycle Based Energy Management Tool for Wireless Sensor Networks

(Full paper presentend in SBrT 2016)

Gustavo A. Núñez Segura; Cintia B. Margi
Computer Engineering, University of São Paulo, São Paulo, Brazil
E-mail: gnunez@larc.usp.br, cintia@usp.br

***Abstract*—Wireless Sensor Networks are a valuable technology to support many applications, including smart cities and Internet of Things. Energy is a key resource for these devices, since they are usually battery operated. We propose a duty cycle based energy management tool that enables a better control of the duty cycle period according to the node energy availability, thus increasing the network lifetime. We present three different scenarios with three different configurations to show in what conditions the tool gets the best results. The tool was programmed for ContikiOS and the simulations were conducted with Cooja Simulator**

***Keywords*— wireless sensor networks; energy management, duty cycle.**

REFERENCE

[1] Dunkels, A. 2011. The ContikiMAC Radio Duty Cycling Protocol - Core. SICS Technical Report T2011:13.

[2] Dunkels, A., Grnvall, B., Voigt, T. (2004, November). Contiki-a lightweight and flexible operating system for tiny networked sensors. In Local Computer Networks, 2004. 29th Annual IEEE International Conference on (pp. 455-462). IEEE.

[3] Dunkels, A., Osterlind, F., Tsiftes, N., He, Z. (2007, June). Software-based on-line energy estimation for sensor nodes. In Proceedings of the 4th workshop on Embedded networked sensors (pp. 28-32). ACM.

[4] Chen, F., Guo, L., Chen, C. (2012). A Survey on Energy Management in the Wireless Sensor Networks. IERI Procedia, 3, 60-66.

[5] David Culler, Deborah Estrin, and Mani Srivastava. 2004. Guest Editors' Introduction: Overview of Sensor Networks. Computer 37, 8 (August 2004), 41-49.

[6] de Almeida Oliveira, T., Godoy, E. P. ZigBee Wireless Dynamic Sensor Networks: Feasibility Analysis and Implementation Guide.

[7] Datasheet, T. Available Online: http://www.memsic.com/userfiles/files/Datasheets/WSN/telosb_datasheet.pdf (accessed on 5 april 2016).

[8] F. Osterlind, A. Dunkels, J. Eriksson, N. Finne and T. Voigt. Cross-Level Sensor Network Simulation with COOJA. Proceedings. 2006 31st IEEE Conference on Local Computer Networks, Tampa, FL, 2006, pp. 641-648. doi: 10.1109/LCN.2006.322172

[9] Gaddour, O., Kouba, A. (2012). RPL in a nutshell: A survey. Computer Networks, 56(14), 3163-3178.

[10] Islam, K. (2010). Energy aware techniques for certain problems in Wireless Sensor Networks (Doctoral dissertation, Queen's University).

[11] Kovatsch, M., Duquennoy, S., Dunkels, A. (2011, October). A low-power CoAP for Contiki. In Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS), 2011 IEEE 8th International Conference on (pp. 855-860). IEEE.

[12] Lopez, M., Sabater, J. M., Daemitabalvandani, M., Gomez, J. M., Carmona, M., Herms, A. (2013, July). Software management of power consumption in WSN based on duty cycle algorithms. In EUROCON, 2013 IEEE (pp. 399-406). IEEE.

[13] Margi, C. B., De Oliveira, B. T., De Sousa, G. T., Simplicio Jr, M. A., Barreto, P. S., Carvalho, T. C., Gold, R. (2010, August). Impact of operating systems on wireless sensor networks (security) applications and testbeds. In Computer Communications and Networks (ICCCN), 2010 Proceedings of 19th International Conference on (pp. 1-6). IEEE.

[14] Pereira, A. H., Margi, C. B. (2012, November). Energy management for wireless sensor networks. In Proceedings of the 10th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems (pp. 329-330). ACM.

[15] Prayati, A., Antonopoulos, C., Stoyanova, T., Koulamas, C., Papadopoulos, G. (2010). A modeling approach on the TelosB WSN platform power consumption. Journal of Systems and Software, 83(8), 1355-1363.

[16] Qiu, L., I-Kai, K,. Salcic, Z. (December 2015). Dynamic Duty Cycle-Based Wireless Sensor Network for Underground Pipeline Monitoring. In Conference on Sensing Tecnhology, 2015 (pp 116-121). IEEE.

[17] Youssef, M. F., Elsayed, K. M., Zahran, A. H. (2014, March). Adaptive radio duty cycling in ContikiMAC: Proposal and analysis. In Internet of Things (WF-IoT), 2014 IEEE World Forum on (pp. 491-495). IEEE.

[18] Zhang, Y., Feng, C. H., Demirkol, I., Heinzelman, W. B. (2010, December). Energy-efficient duty cycle assignment for receiver-based convergecast in wireless sensor networks. In Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), 2010 IEEE (pp. 1-5). IEEE.

[19] Zhe, J., Shunjie, X., Guoqiang, W., Li, H. (2009, September). Cluster reconstruction strategy based on energy prediction mechanism in wireless sensor networks. In Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom'09. 5th International Conference on (pp. 1-4). IEEE.

[20] 802.15.4-2011 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks–Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). 2011.

[21] Hill, J., Szewczyk, R., Woo, A., Hollar, S., Culler, D., Pister, K. (2000, November). System architecture directions for networked sensors. In ACM SIGOPS operating systems review (Vol. 34, No. 5, pp. 93-104). ACM.

Using Keywords to Support the Verbalization in Usability Evaluation

COLETI, T. A. [*]; MORANDINI, M. [**]; CORRÊA, P. L. P.[*]; SILVA, D. L. [*]; BOSCARIOLI, C.[†]
[*] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
[**] Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo
[†] Universidade Estadual do Oeste do Paraná
{thiagocoleti, pedro.correa, m.morandini, daniel.lins}@usp.br, clodis.boscarioli@unioeste.br

Abstract*—Usability evaluation is a group of systematic activities that should be performed by software developers in order to identify usability problems. A widely used strategy to evaluate usability is known as User Observation and aims to analyze whether the interaction capability provided by the software is appropriated or not. Techniques, such as, Verbalization is widely used to support the evaluations based on observations due to the reason that it provides data about the quality of user interaction. In order to automate the usability evaluation test and to minimize the evaluation time, we developed a tool named ErgoSV, which is based on the verbalization technique and is capable of automatically recognize words defined in a keyword list. ErgoSV also collects, analyzes and provides relevant information about the usability test, such as: a list of pronounced words, pronounced words counter, interfaces (set of screens / video) spoken at the moment of the pronunciation and the exact time moment of pronunciation. Some usability evaluations were conducted with applications from diverse domains and showed the effectiveness of utilizing keywords to perform usability evaluation based on verbalization technique.

.

***Keywords*— Verbalization, Keywords, Usability Evaluation, Usability**

REFERENCE

[1] COLETI, T. A.; MORANDINI, M. ; CORRÊA, P. L. P.; SILVA, D. L.; BOSCARIOLI, C. Using Keywords to Support the Verbalization in Usability Evaluation. *Proceedings of IHC'15 Brazilian Symposium on Human Factos in Computing System.* p. 322-331, Salvador, Bahia, Brasil, 2015.

A Survey for Monitoring the Users´ Profile and Information Technology Needs in Information Systems

COLETI, T. A. [*]; MORANDINI, M. [**]; CORRÊA, P. L. P.[*]
[*] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
[**] Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo
{thiagocoleti, pedro.correa, m.morandini }@usp.br,

Abstract*— The biodiversity monitoring activities are considered as meaningful to ensure a great worldwide environment. In Brazil, a biodiversity monitoring program is being performed and due to this reason Information Systems are needed to support the collect, storage, management and delivery of data. The Information System´s users are usually environmental analysts that perform several administrative and technical tasks. Thus, to know this user is essential to develop a appropriate software interaction that allow them to fully perform their task with satisfaction. This paper presents a survey performed in Conservation Units in order to collect data from users that present their tasks and so produce a user´s profile to be used as parameters in the interaction development process. This survey was performed after in loco visits in some units and the final data were used to support the development of the first release of the proposed software interface.

.

***Keywords*— Biodiversity, User Profile, Human Computer Interaction**

REFERENCE

[1] COLETI, T. A.; MORANDINI, M. ; CORRÊA, P. L. P. A Survey for Monitoring Users´Profile and Information Technology Needs in Biodiversity Information Systems. *Proceedings of HCII 2016 DUXU 2016, Part II, LNCS 9747.* p. 549-559, DOI: 10.1007/978-3-319-40355-7_52 Toronto, Canada, 2016.

A Conceptual Middleware for Adaptive Sanctioning in Normative Multi-Agent Systems

DE LIMA, I. C. A.*†; NARDIN, L. G.‡; SICHMAN, J. S.†
*Instituto de Matemática e Estatística (IME)
Universidade de São Paulo

†Laboratório de Técnicas Inteligentes (LTI) – Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

‡Center for Modeling Complex Interactions (CMCI)
University of Idaho

E-mail: igorcadelima@usp.br, gnardin@uidaho.edu, jaime.sichman@usp.br

***Abstract*—The use of the normative approach to govern Multi-agent Systems has been motivated by the increasing interest in balancing between agents' autonomy and global system control. In Normative Multi-agent Systems (NMAS), despite the existence of norms specifying the rules of how agents ought or ought not to behave, agents have the autonomy to decide whether or not to act in compliance with them. A suitable way to govern agents is using sanction-based enforcement mechanisms. These mechanisms provide agents with a certain level of autonomy while controlling them through the application of sanctions. Here we present a conceptual middleware that makes use of an adaptive sanctioning enforcement model to improve the level of norm compliance in NMAS by enabling agents to choose among several categories of sanctions.**

***Keywords*— Multi-agent System, Normative Multi-Agent System, Sanctioning mechanism, Norm enforcement.**

REFERENCE

[1] DE LIMA, I. C. A; NARDIN, L. G; SICHMAN, J. S. A Conceptual Middleware for Adaptive Sanctioning in Normative Multi-Agent Systems. *Anais do X Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e apliCaes* (WESAAC). p. 141-146, May, 2016.

MSGRANUL: CORRELATION-BASED GRANULOMETRY AND MSER APPLIED TO BACTERIA COUNTING
MSGRANUL: GRANULOMETRIA BASEADA EM CORRELAÇÃO E MSER APLICADA À CONTAGEM DE COLÔNIAS DE BACTÉRIAS

SILVA, J. M. J.*; BALIAN, S. C.†; KIM, H. Y.*
*Escola Politécnica - Universidade de São Paulo
†Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - Universidade de São Paulo
E-mail: {joe.ms.junior, hae.kim}@usp.br, balian@usp.br

***Abstract*—Counting colonies of bacteria has wide application in the field of biological sciences. This practice can provide important information for different purposes, however, it is a repetitive and laborious task that requires skilled worker. Several researchers have tried to automatize this task. In this paper, a new approach is proposed to count colonies, called MSGranul. We will present its theory and foundation, evaluate its performance on a set of 19 images containing bacteria *Staphylococcus aureus* and compare its performance with OpenCFU, an open source software developed for this task.**

***Keywords*— Bacterial colonies; granulometry; MSER; computer vision; pattern recognition; automatic counting.**

***Resumo*— Contar colônias de bactérias tem vasta aplicação no campo das ciências biológicas. Esta prática pode fornecer importantes informações com diferentes finalidades, contudo, trata-se de uma tarefa repetitiva e trabalhosa que requer mão de obra especializada. Vários pesquisadores têm procurado automatizar essa tarefa. Neste artigo, será proposta uma nova abordagem para contar colônias, chamada de MSGranul. Apresentaremos sua teoria e fundamento, avaliaremos seu desempenho em 19 imagens contendo bactérias *Staphylococcus aureus* e compararemos o seu desempenho com o OpenCFU, um software de código aberto desenvolvido para essa tarefa.**

***Palavras-chave*— Colônia de bactérias; granulometria; MSER; visão computacional; reconhecimento de padrões; contagem automática.**

REFERENCE

[1] ARAÚJO, S. A. D.; PESSOTA, J. H.; KIM, H. Y. Beans quality inspection using correlation-based granulometry. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Elsevier, v. 40, p. 84–94, 2015.

[2] ARTHUR, D.; VASSILVITSKII, S. k-means++: The advantages of careful seeding. In: SOCIETY FOR INDUSTRIAL AND APPLIED MATHEMATICS. *Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*. [S.l.], 2007. p. 1027–1035.

[3] CAI, Z. et al. Optimized digital counting colonies of clonogenic assays using imagej software and customized macros: comparison with manual counting. *International journal of radiation biology*, Taylor & Francis, v. 87, n. 11, p. 1135–1146, 2011.

[4] CHIANG, P.-J. et al. Automated counting of bacterial colonies by image analysis. *Journal of microbiological methods*, Elsevier, v. 108, p. 74–82, 2015.

[5] CLARKE, M. L. et al. Low-cost, high-throughput, automated counting of bacterial colonies. *Cytometry Part A*, Wiley Online Library, v. 77, n. 8, p. 790–797, 2010.

[6] DOUGHERTY, E. R.; NEWELL, J. T.; PELZ, J. B. Morphological texture-based maximum-likelihood pixel classification based on local granulometric moments. *Pattern Recognition*, Elsevier, v. 25, n. 10, p. 1181–1198, 1992.

[7] FERRARI, A.; LOMBARDI, S.; SIGNORONI, A. Bacterial colony counting by convolutional neural networks. In: IEEE. *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*. [S.l.], 2015. p. 7458–7461.

[8] GEISSMANN, Q. Opencfu, a new free and open-source software to count cell colonies and other circular objects. *PloS one*, Public Library of Science, v. 8, n. 2, p. e54072, 2013.

[9] KIM, H. Y. et al. Correlation-based multi-shape granulometry with application in porous silicon nanomaterial characterization. *Journal of Porous Materials*, Springer, v. 20, n. 2, p. 375–385, 2013.

[10] MAERZ, N. H.; PALANGIO, T. C.; FRANKLIN, J. A. Wipfrag image based granulometry system. In: AA BALKEMA. *Proceedings of the FRAGBLAST 5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Montreal, Quebec, Canada*. [S.l.], 1996. p. 91–99.

[11] MATAS, J. et al. Robust wide-baseline stereo from maximally stable extremal regions. *Image and vision computing*, Elsevier, v. 22, n. 10, p. 761–767, 2004.

[12] MUKHERJEE, D. P. et al. Bacterial colony counting using distance transform. *International journal of bio-medical computing*, Elsevier, v. 38, n. 2, p. 131–140, 1995.

[13] NISTÉR, D.; STEWÉNIUS, H. Linear time maximally stable extremal regions. In: SPRINGER. *European Conference on Computer Vision*. [S.l.], 2008. p. 183–196.

[14] OPENCFU. *OpenCFU Count your Colonies*. 2016. http://www.opencfu.sourceforge.net/.

[15] KNUTH, D. *Knuth: Computers and Typesetting*. Disponível em: <http://www-cs-faculty.stanford.edu/ uno/abcde.html>.

[16] YOON, S.-C.; LAWRENCE, K. C.; PARK, B. Automatic counting and classification of bacterial colonies using hyperspectral imaging. *Food and Bioprocess Technology*, Springer, v. 8, n. 10, p. 2047–2065, 2015.

Índice - Autores

AGARIE JR, C. 88
ALMEIDA JR, J. R. 57, 143, 192
ALMEIDA, T. R. M. 13
ALVES, E. 188
ALVES, R. C. A. 209
AVEGLIANO, P. 100

BALIAN, S. C. 215
BARRETO, P. S. L. M. 104
BATISTA, A. F. 207
BATISTA, A. F. M. 208
BELLALTA, B. 199
BERGAMASCO, L. C. C. 96
BERTANI, R. M. 30
BERTASSI, E. 80
BONINI, R. C. 74
BORBA, C. 207
BOSCARIOLI, C. 212
BRANDÃO, A. A. F. 1, 107, 123, 196
BRESSAN, G. 9, 17, 205

CAMARGO JR, J. B. 46, 51
CARVALHO, T. C. M. B. 42, 60, 155
CASALS, A. 1
CASTRO, G. B. 210
CHIGAMI, L. 84
COLETI, T. A. 159, 212, 213
COMINETTI, E. L. 64
CORREA, A. 207
CORRÊA, A. S. 163
CORRÊA, P. L. P. 135, 159, 163, 207, 208, 212, 213
COSTA, A. H. R. 30, 74, 92, 111, 119, 175, 188
CUGNASCA, C. E. 115, 147, 182, 206

DE CARVALHO, V. R. 139
DE LIMA, I. C. A. 214
DIAS, G. M. 199

FONTES, S. G. 135, 208

GARCIA, S. 207
GIMENES, A. L. V. 42
GLATT, R. 111
GOMI, E. S. 68, 71, 88
GONZALEZ, A. L. 34
GONZÁLEZ, R. I. R. 51
GUIBU, H. I. 171

GUTIÉRREZ, J. C. 205

HERNANDEZ, M. P. 84
HIRAKAWA, A. R. 186, 210

JACOMINI, R. S. 119
JALBUT, A. 23

KAWAMOTO, S. 192
KAWAMURA, A. 210
KAWANO, B. R. 182
KERR, V. K. S. 179
KIM, H. Y. 215
KOPP, S. 84

LUDESCHER, L. G. 78
LUQUE, L. 107
LUZ, C. S. F. 151

MACHADO, M. C. 155
MARÈ, R. M. 206
MARGI, C. B. 199, 209, 211
MARTE, C. L. 206
MARTINS-JR, D. C. 119
MIGUEL, S. D. 186
MORANDINI, M. 159, 212, 213
MOREIRA, P. M. 204

NAKAMURA, R. 55, 131, 167
NARDIN, L. G. 214
NASCIMENTO, V. T. 42
NETO, J. J. 171
NISHIDA, C. E. H. 175
NUNES, F. L. S. 96, 167

OECHSNER, S. 199
OLIVEIRA BRANDÃO, L. 107
OLIVEIRA, E. C. 204
OLIVEIRA, G. O. 68

PALANISAMY, G. 208
PATRÍCIO, N. S. 127
PITUBA, J. L. 55
POL, F. 71

REIS, E. R. 26
RICARDINI, J. E. 104
ROCHA, R. L. A. 5, 34, 131
ROCHA, V. 123
RUGGIERO, W. 205

SADAIKE, M. T. 9, 205
SANTOS JÚNIOR, M. R. 115
SANTOS, B. Z. 143
SANTOS, I. M. 115
SATO, L. M. 151
SBAMPATO, F. V. 60
SEGURA, G. A. N. 211
SHEUNEMANN, S. S. 196
SICHMAN, J. S. 23, 26, 78, 100, 139, 214
SILVA, A. M. 34
SILVA, D. L. 207, 212
SILVA, F. L. 92
SILVA, F. S. C. 163
SILVA, J. M. J. 215
SILVA, L. S. 167
SILVA, R. F. 147
SILVA, T. A. 46
SILVEIRA, R. M. 38, 84
SIMPLICIO JR, M. A. 13, 64
SOFIATO, B. 5
SORIANO, D. F. 205
SPINA, E. 80, 127, 179
STANZANI, S. L. 135

TABUTI, L. M. 131
TAMURA, K. 210
TANCREDI MOLINA, C. B. S. 57
TORI, R. 204

VALIENTE, R. 17, 205

WEBER, C. E. 38