

Bruno de Castro Bahia Alvarenga Soares

**Um método e um framework para o
planejamento empírico de sistemas
multiagentes auto-organizáveis**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio

Orientador: Prof. Carlos José Pereira de Lucena

Rio de Janeiro
Agosto de 2009



Bruno de Castro Bahia Alvarenga Soares

**Um método e um framework para o
planejamento empírico de sistemas
multiagentes auto-organizáveis**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Carlos José Pereira de Lucena

Orientador
PUC-Rio

Prof. Arndt von Staa

PUC-Rio

Prof. Ruy Luiz Milidiú

PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 07 de Agosto de 2009

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Bruno de Castro Bahia Alvarenga Soares

Graduou-se com honras em Ciência da Computação pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, PUC-Minas (Belo Horizonte, Brasil), em 2006. Trabalhou com redes neurais e análise formal de conceitos durante projeto de Iniciação Científica, sendo premiado no 13o. Seminário de Iniciação Científica (PUC-Minas, 2005). No início de 2007 iniciou o curso de mestrado em Informática, ao mesmo tempo em que se especializou no desenvolvimento de software para dispositivos móveis, prestando serviços para empresas brasileiras e do exterior.

Ficha Catalográfica

Soares, Bruno de Castro Bahia Alvarenga

Um método e um framework para o planejamento empírico de sistemas multiagentes auto-organizáveis / Bruno de Castro Bahia Alvarenga Soares; orientador: Carlos José Pereira de Lucena. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2009.

v., 77 f: il. ; 30 cm

1. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Tese. 2. sistemas multi-agentes. 3. computação autônoma. 4. auto-organização. 5. verificação. 6. comportamento emergente. I. Lucena, Carlos José Pereira de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Agradecimentos

Os últimos dois anos e meio foram uma loucura. Eu, recém-formado, fui seduzido pela avaliação 7 (não se engane, a escala não vai até 10 – 7 é o que há de melhor) que a CAPES atribuíra para o programa de mestrado em Informática da PUC-Rio. Mal sabia eu que o caminho seria árduo, afinal, uma boa avaliação não vem à toa – é fruto de um esforço contínuo de todo o corpo docente e discente para manter e melhorar a qualidade do programa e isso, logicamente, implica em um nível de exigência maior por parte dos professores com relação aos alunos.

Hoje, ao final dessa longa jornada, vejo que valeu à pena. Não apenas pelo título que virá, mas pela vivência que estes anos me trouxeram. A experiência de morar só me fez crescer como pessoa. Os contatos que fiz já me trazem frutos valiosos. Muito do que sou e tenho hoje é resultado das decisões que tomei. E não me arrependo!

Agradeço especialmente à Maíra. Sem dúvida alguma, este trabalho também é resultado da sua dedicação e compromisso. Sem a sua ajuda (e pressão), talvez eu jamais chegasse a escrever estas linhas. Obrigado por todos os minutos do seu tempo. Admiro a sua competência e torço muito pelo seu sucesso!

Também deixo meu agradecimento ao professor Lucena – que sempre esteve disponível para me auxiliar e orientar – e à todos os professores e colegas da PUC-Rio, de quem recebi ensinamentos valiosos.

Finalmente, não posso deixar de mencionar o apoio que sempre tive da minha família; meu pai, Narciso, minha mãe, Beth, meu irmão, Leandro, e minha noiva, a quem carinhosamente chamo de Ninha. Esta, talvez, quem mais tenha sentido e vivido as minhas angústias e dúvidas. Mas nós passamos por tudo. E continuaremos juntos, sempre! Dedico à vocês, família querida, mais esta conquista!

Muito obrigado!

Resumo

Soares, Bruno de Castro Bahia Alvarenga; Lucena, Carlos José Pereira de. **Um método e um framework para o planejamento empírico de sistemas multiagentes auto-organizáveis**. Rio de Janeiro, 2009. 77p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Arquitetos de *software* têm optado cada vez mais por utilizar estratégias auto-organizáveis para o projeto de sistemas descentralizados dinâmicos e adaptativos, capazes de executar sem a interferência do usuário, administrador ou de outros sistemas. Esse processo de auto-organização muitas vezes resulta em comportamentos emergentes imprevistos, resultantes da interação entre os agentes do sistema. Comportamentos emergentes podem ser tanto benéficos quanto prejudiciais à execução e organização do sistema. Por esse motivo, um sistema multiagente auto-organizável só será utilizado em domínios de problema que envolvam qualquer tipo de risco – tais como indústrias, hospitais, equipamentos militares, etc. – se houver a possibilidade de garantir que ele será capaz de cumprir os seus objetivos de projeto. Entretanto, essa garantia não é simples de ser obtida, uma vez que é impossível mapear todas as possibilidades de comportamento de um sistema modelado através da interação de agentes. Algumas abordagens já foram propostas, mas suas aplicações normalmente são extremamente complexas. Portanto, este trabalho apresenta um novo método para a verificação experimental de sistemas multiagentes auto-organizáveis, evoluindo a técnica empírica de verificação proposta por Kevrekidis e complementando-a através de uma abordagem autônoma integrada à simplicidade da verificação dos planejadores em tempo-real. Como resultado, apresenta-se um *framework* para o projeto, verificação e simulação de sistemas multiagentes.

Palavras-chave

sistemas multi-agentes; computação autônoma; auto-organização; verificação; comportamento emergente;

Abstract

Soares, Bruno de Castro Bahia Alvarenga; Lucena, Carlos José Pereira de (Advisor). **A method and a framework for empirical planning of self-organizing systems**. Rio de Janeiro, 2009. 77p. MsC. Dissertation — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Software architects have been recently adopting self-organizing strategies to design dynamic and adaptive decentralized systems capable of executing without interference from the user, from the administrator or from other systems. This self-organization process usually results in unpredicted emergent behaviors resulting from the interaction between the agents. Emergent behaviors can be beneficial or harmful to the system execution and organization. Because of this, multiagent systems will only be adopted into domains that involve risk – like industries, hospitals, military equipments, etc. – if one can guarantee that it will be able to fulfill its design goals. However, it is not easy to guarantee this, since it is impossible to map all the possible behaviors of a system modeled through agent interaction. Some approaches have already been proposed, but their use is usually extremely complex. Therefore, this work presents a new method for the experimental verification of self-organizing multiagent systems, evolving the empiric verification technique proposed by Kevrekidis and complementing it through an autonomic approach linked to the simplicity of the verification through online planners. As a result, a framework for designing, verifying and simulating multiagent systems is presented.

Keywords

multi-agent systems; autonomic computing; self-organization; verification; emergent behavior;

Sumário

1	Introdução	9
1.1	Definição do Problema	11
1.2	Objetivos	12
1.3	Contribuições	13
1.4	Visão geral	14
2	Fundamentação teórica	16
2.1	Computação autônoma	16
2.2	Sistemas multiagentes	18
2.3	Comportamento emergente	22
3	Trabalhos Relacionados	24
3.1	Análise macroscópica livre de equações	24
3.2	Verificação autônoma via planejador	26
4	Arquitetura da solução	29
4.1	Método	29
4.2	Framework	33
4.3	Aplicação do método (instanciação do <i>framework</i>)	45
5	Estudo de caso: Sistema de transporte automatizado de cargas	51
5.1	Definição	51
5.2	Modelagem	55
5.3	Verificação	59
5.4	Experimentos	64
6	Conclusões	72
	Referências Bibliográficas	75

Lista de figuras

2.1	Estrutura interna de um elemento autônômico (Kephart, 2003)	18
3.1	Métodos tradicionais vs. análise macroscópica livre de equações (De Wolf, 2007)	25
4.1	Esboço do método de verificação autônômico	32
4.2	Diagrama de classes: Subsistema central	36
4.3	Diagrama de classes: Subsistema de verificação	39
4.4	Algoritmo implementado pelo subsistema de verificação	42
4.5	Diagrama de sequência: Processo de verificação (fluxo 1)	43
4.6	Diagrama de sequência: Processo de verificação (fluxo 2)	44
4.7	Comportamento das formigas frente à introdução de obstáculos no percurso (Dorigo, 1996)	46
4.8	Modelagem multiagente de uma colônia de formigas	47
5.1	Diagrama de estados: Veículo de transporte automatizado	54
5.2	Diagrama de classes: Sistema de transporte automatizado de cargas	58
5.3	Algoritmo de busca heurística LRTA* (Sadikov, 2008)	64
5.4	Faixa de confiabilidade de valores do critério de Chauvenet (MSCP, 2009)	66
5.5	Trecho de um relatório de verificação	67
5.6	Gráfico: Número de veículos vs. <i>Throughput</i>	70
5.7	Gráfico: Número de veículos vs. Quantidade de ações executadas	71
6.1	Interface gráfica para observação e controle da simulação	73