

Otávio Rezende da Silva

**Uma Arquitetura para Sistemas Multi-
Agentes Baseada em Espaços de Tuplas
Reflexivos**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Informática

Rio de Janeiro, dezembro de 2002



Otavio Rezende da Silva

**Uma Arquitetura para Sistemas Multi-Agentes
Baseada em Espaços de Tuplas Reflexivos**

Orientador: Carlos José Pereira de Lucena

Rio de Janeiro
Dezembro de 2002

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

Otávio Rezende da Silva

Otávio Rezende da Silva é Engenheiro de Computação, formado pela PUC-Rio. Realizou parte dos seus estudos de Graduação na Ecole Centrale des Arts et Manufactures, em Paris - França. Trabalhou durante três anos no Laboratório de Engenharia de Software (LES) do Departamento de Informática da PUC-Rio. Desenvolveu trabalhos de pesquisa e desenvolvimento nas áreas de Comércio Eletrônico, Sistemas Multi-Agentes, Informática para a Saúde e Integração de Sistemas.

Ficha Catalográfica

Silva, Otávio Rezende

Uma Arquitetura para Sistemas Multi-Agentes Baseada em Espaços de Tuplas Reflexivos/ Otávio Rezende da Silva; orientador: Carlos José Pereira de Lucena. Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Informática, 2002

v. 78 fl.:il. ; 29,7 cm

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

Incluí referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Engenharia de Software. 3. Arquitetura de Software. 3. Sistemas Multi-Agentes. 4. Reflexão Computacional. I. Lucena, Carlos J. P. (Carlos José Pereira). II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. III. Título.

Para meus pais, Luiz Otávio Campos
da Silva e Valeria Rezende da Silva

Agradecimentos

Ao professor Carlos Lucena, pelos conselhos, ajuda, incentivo e confiança;

Ao colega, e amigo, Alessandro Garcia, cuja colaboração foi imprescindível durante a realização desta dissertação;

Aos professores Markus Endler e Arndt von Staa pela colaboração e comentários fornecidos desde a defesa da proposta até a conclusão desta dissertação;

Aos colegas dos Grupos Soc+Agents e TecComm, pela colaboração, parceria e companheirismo;

Aos amigos Chicão, Daniel e Cristiano que sempre estiveram próximos durante todo o trabalho envolvido na elaboração dissertação;

À Vera, que sempre esteve disposta a ajudar na resolução de qualquer problema;

À Capes e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos durante o Mestrado;

Ao professor Julio César Leite, pelo apoio e ensinamentos;

À minha família, em especial aos meus avós e meus irmãos, que sempre me incentivaram durante todo o Mestrado;

Aos demais colegas e professores do Departamento de Informática da PUC-Rio.

Resumo

Silva, Otavio Rezende; Lucena, Carlos José. **Uma Arquitetura para Sistemas Multi-Agentes Baseada em Espaços de Tuplas Reflexivos**. Rio de Janeiro, 2002. 78p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A tecnologia de software está passando por uma transição de arquiteturas monolíticas e coesas para arquiteturas compostas por agentes e sistemas multi-agentes semi-autônomos e heterogêneos. Estas arquiteturas são marcadas pela existência de propriedades adicionais no nível do sistema, como comunicação, coordenação, mobilidade, adaptabilidade e persistência. No entanto, o gerenciamento e controle destas propriedades e dos diferentes agentes de software não é uma tarefa simples e exige uma abordagem mais sofisticada desde a fase arquitetural deste tipo de sistema. Neste contexto, neste trabalho, propomos a definição de um padrão arquitetural, denominado *Reflective Blackboard*. Este padrão é o resultado da composição de dois outros padrões arquiteturais bem conhecidos: o padrão *Blackboard* e o padrão *Reflection*. Através da utilização do padrão, uma melhor separação de responsabilidades é atingida pelo tratamento separado, por meio de técnicas de reflexão computacional, das diferentes estratégias de controle incorporadas no sistema. De forma complementar à definição do padrão foi desenvolvida uma infra-estrutura para o desenvolvimento de sistemas multi-agentes que utilizam a arquitetura proposta pelo padrão apresentado. Esta infra-estrutura, além de funcionar como uma implementação do padrão *Reflective Blackboard*, provê suporte a diferentes propriedades do nível do sistema como mobilidade, comunicação, coordenação e persistência. A utilização do padrão e da infra-estrutura desenvolvida foi aplicada em uma aplicação de Marketplace com o objetivo de validar os conceitos propostos.

Palavras-chave

Sistemas multi-agentes; arquitetura de software; padrões arquiteturais; espaços de tuplas; reflexão computacional.

Abstract

Silva, Otavio Rezende; Lucena, Carlos José. **A Reflective Tuple-space-Based Architecture for the development of Multi-Agent Systems**. Rio de Janeiro, 2002. 78p. MSc. Dissertation - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Software technology is undergoing a transition from monolithic architectures, constructed according to a single overall design, into open architectures composed of conglomerates of collaborative, heterogeneous, and independently designed agents and multi-agent systems (MAS). These architectures are driven by additional system-wide properties, such as communication, coordination, adaptability, mobility and persistence. However, controlling these properties and managing different application agents is not an easy task, requiring a more sophisticated software architectural approach. In this context, we propose the Reflective Blackboard architectural pattern, which is the result of the composition of the other well-known architectural patterns: the Blackboard pattern and the Reflection pattern. The pattern allows a better separation of concerns, supporting the separate handling of control strategies, by means of the computational reflection technique. An infrastructure, which implements the proposed pattern and provides support to multiple system-level properties, such as mobility, communication, coordination and persistence, was also developed. The Reflective Blackboard pattern was applied together with this infrastructure to the development of a Marketplace application in order to validate the concepts proposed in this work.

Keywords

Muti-agent systems; software architecture; architectural patterns; tuple-spaces; computational reflection.

Sumário

1	Introdução.....	10
2	Conceitos Básicos.....	15
2.1	Agentes de Software.....	15
2.2	Espaços de Tuplas	19
2.3	Reflexão Computacional	20
3	O Padrão Arquitetural Reflective Blackboard.....	23
3.1	Exemplo de Motivação.....	23
3.2	Problema.....	26
3.3	Solução	28
3.4	Estrutura	29
3.5	Dinâmica.....	31
3.6	Conseqüências	35
3.7	Usos Conhecidos	36
3.8	Padrões Relacionados	38
3.9	Questões de Implementação	39
4	T-Rex.....	42
4.1	Visão Geral	42
4.1.1	Mapeamento do Padrão Reflective Blackboard	42
4.1.2	Ambientes de T-Rex	46
4.1.3	Agentes de Software em T-Rex.....	48
4.2	Tratamento de Propriedades Inter-Agentes	49
4.2.1	Mobilidade.....	49
4.2.2	Comunicação	52
4.2.3	Persistência	55
4.2.4	Coordenação	56
4.3	Utilizando T-Rex: Um Exemplo	57
4.4	Uma Aplicação de T-Rex: Marketplace	60
4.4.1	Os Agentes da Aplicação.....	61
4.4.2	Implementando a Aplicação com T-Rex	64
4.5	Trabalhos Relacionados.....	66
4.5.1	MARS.....	66
4.5.2	TSpaces.....	67
4.5.3	Aglets.....	68
5	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	69
5.1	Conclusões.....	69
5.2	Contribuições.....	70
5.3	Trabalhos Futuros	71
6	Referências Bibliográficas.....	73
Apêndice I – Código Fonte das Meta-Tuplas e Reações Presentes no Marketplace Implementado		77

Lista de Figuras

Figura 1 - Exemplo de motivação ilustrado.....	24
Figura 2 - A Composição dos Padrões Blackboard e Reflection.....	26
Figura 3 - Estrutura do padrão Reflective Blackboard	30
Figura 4 - Dinâmica geral do padrão Reflective Blackboard	31
Figura 5 - Dinâmica da estratégia de atualização de ponteiros	33
Figura 6 - Dinâmica da estratégia de encaminhamento de mensagens ..	34
Figura 7 - Padrões Relacionados	38
Figura 8 - A interface Reaction e algumas de suas implementações	43
Figura 9 - Diagrama de seqüência para a leitura de um dado em T-Rex.....	45
Figura 10 - Os Ambientes de T-Rex.....	49
Figura 11 - Gerenciadores de propriedades.....	41
Figura 12 - Diagrama de seqüência para a transferência de um agente (mobilidade).....	52
Figura 13 - Diagrama de seqüência para a persistência de um agente....	56
Figura 14 - Diagrama de atividades para o agente comprador.....	63