



Marcelo Ferreira Moreno

**Gerenciamento de recursos dirigido por modelos
Adaptabilidade e Interoperabilidade
no suporte a QoS fim-a-fim**

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio.

Orientador: Luiz Fernando Gomes Soares

Rio de Janeiro

Abril de 2008



Marcelo Ferreira Moreno

**Gerenciamento de recursos dirigido por modelos
Adaptabilidade e Interoperabilidade
no suporte a QoS fim-a-fim**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Luiz Fernando Gomes Soares

Orientador
PUC-Rio

Prof. Sérgio Colcher

PUC-Rio

Prof. Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira

PUC-Rio

Prof. José Ferreira de Rezende

UFRJ

Prof. Antônio Augusto Frölich

UFSC

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador(a) Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 08 de abril de 2008

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

Marcelo Ferreira Moreno

Graduado em Informática pela UFV, onde desenvolveu projetos na área de inteligência artificial, manipulando redes neurais multicamadas. Obteve título de Mestre em Informática em 2002 pela PUC-Rio, concentrando seus estudos em provisão de QoS em sistemas operacionais. Desde 2001 integra o grupo de pesquisadores do Lab. TeleMídia da PUC-Rio, onde participou de diversos projetos em redes de computadores, sistemas operacionais e aplicações multimídia distribuídas. Atualmente, é Coordenador Técnico do mesmo Laboratório, gerenciando projetos na área de TV Digital, mais especificamente em middleware e sistemas operacionais.

Ficha Catalográfica

Moreno, Marcelo Ferreira

Gerenciamento de recursos dirigido por modelos: adaptabilidade e interoperabilidade no suporte a QoS fim-a-fim / Marcelo Ferreira Moreno ; orientador: Luiz Fernando Gomes Soares. – 2008.

165 f. : il. ; 30 cm

Tese (Doutorado em Informática)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia.

1. Informática - Teses. 2. Gerenciamento de recursos. 3. Qualidade de serviço. 4. Desenvolvimento dirigido por modelos. 5. Adaptabilidade. 6. Interoperabilidade. 7. Linguagem de domínio específico. 8. Redes de computadores. 8. Sistemas operacionais. 9. QoS. 10. DSL. I. Soares, Luiz Fernando Gomes. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

*A Lorenza, pelo amor, dedicação
e compreensão incondicionais e eternos.*

*A Wander e Jas, pelo berço e caráter
que formaram o ser humano que sou.*

*A Patricia e Marcio, pelo companheirismo
de uma verdadeira família.*

*A Moisés e Do Carmo, por todo apoio
e incentivo por mais essa jornada.*

A Sofia, pelo exemplo de luta pela vida.

*E a Deus, por entrelaçar e
iluminar nossos caminhos.*

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Luiz Fernando Gomes Soares, agradeço sua disposição, incentivo e sabedoria fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Ao Doutor, agradeço por me instigar constantemente, por desafiar o que eu pensava ser meus limites, e por tornar nosso trabalho um ambiente de crescimento humano. Ao amigo LF, obrigado pelo apoio de sempre, e por permitir que nossos objetivos pessoais sejam sua prioridade, estejam eles dentro ou fora da PUC.

Ao Marcio, agradeço pelo apoio e parceria dentro do Laboratório, e por revelar em meu irmão caçula meu melhor companheiro de trabalho. Ao Sassá, muito obrigado pela disposição e vontade de sempre ajudar, como um verdadeiro faz-tudo dentro do TeleMídia. Agradeço a ele, também, pela rápida prototipação da ferramenta *Plat*, apresentada como parte deste trabalho. A Carlos e Sérgio, agradeço por me ouvirem e por contribuírem significativamente em meu trabalho. Obrigado ao Romualdo, Álvaro e todos os demais membros do Laboratório TeleMídia, por tornarem nosso ambiente de trabalho um agradável convívio familiar. Aos membros que passaram pelas nossas bancadas e que hoje estão em outras empreitadas, agradeço pela mesma amizade e pela formação do que hoje é a nossa segunda casa.

Aos funcionários da PUC-Rio, em especial os membros do Departamento de Informática, obrigado pelas rápidas e eficientes respostas às minhas questões acadêmicas e aos impasses resolvidos. A todos os professores do Departamento, agradeço pelas orientações, sabedoria e amizade mantidos por todos esses anos.

Ao CNPq, agradeço pelo apoio financeiro e pela ajuda no custeio de material bibliográfico e de consumo por todo o desenvolvimento desta tese.

Resumo

Moreno, Marcelo Ferreira; Soares, Luiz F. G. **Gerenciamento de recursos dirigido por modelos: Adaptabilidade e Interoperabilidade no suporte a QoS fim-a-fim.** Rio de Janeiro, 2008. 165p. Tese de Doutorado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A evolução das técnicas de codificação de mídias contínuas vem tornando cada vez mais difundido o uso de aplicações multimídia distribuídas. Esse tipo de aplicação possui requisitos de desempenho que devem ser atendidos de modo fim-a-fim, funcionalidade somente alcançada se mecanismos de provisão de qualidade de serviço (QoS) forem aplicados a todos os subsistemas participantes do serviço. Esses mecanismos buscam proporcionar algum controle no compartilhamento dos recursos distribuídos, mas a heterogeneidade de recursos e plataformas torna tal gerenciamento uma tarefa muito complexa. A uniformização do acesso aos recursos representa um ponto-chave na solução do problema, ao oferecer abstrações independentes de plataforma e que possam representar não somente um recurso qualquer, mas também a distribuição deles. Deve-se considerar, ainda, a evolução contínua das aplicações, que gera demanda por mecanismos adaptáveis, e a participação de múltiplos atores, que gera demanda por ambientes cooperativos de configuração e manutenção de recursos. O presente trabalho propõe uma técnica de gerenciamento de recursos com suporte a QoS fim-a-fim denominada MDRM (gerenciamento de recursos dirigido por modelos), inspirada nos processos e conceitos de MDSD (desenvolvimento de software dirigido por modelos). Particularmente, MDRM inclui a especificação de um meta modelo próprio, denominado Árvores de Recursos Virtuais (VRT), responsável por oferecer as abstrações necessárias para o preenchimento dos requisitos de uniformização, interoperabilidade, adaptabilidade e cooperação na construção de modelos de gerenciamento de recursos. Os modelos de gerenciamento de recursos são instâncias do meta modelo especificados por meio de uma linguagem de domínio específico (DSL), chamada Pan. Pan é capaz de expressar o formalismo de VRT em código independente de plataforma, oferecendo uma notação de fácil

assimilação pelos atores possivelmente presentes em ambientes distribuídos em geral. MDRM prevê, ainda, o projeto de ambientes de modelagem compostos por ferramentas que auxiliam os processos de validação, transformação e implantação de modelos de gerenciamento de recursos. Os construtos da linguagem Pan permitem que as mesmas ferramentas sejam também usadas na manutenção de modelos já instanciados, de forma que ações de adaptação possam ser prontamente refletidas nas plataformas envolvidas. Um framework para suporte a MDRM em sistemas operacionais de propósito geral também é apresentado, no intuito de exemplificar como os conceitos do meta modelo VRT devem ser espelhados internamente às plataformas-alvo.

Palavras-chave

Gerenciamento de recursos; qualidade de serviço; desenvolvimento dirigido por modelos; adaptabilidade; interoperabilidade; linguagem de domínio específico; redes de computadores; sistemas operacionais; QoS; DSL

Abstract

Moreno, Marcelo Ferreira; Soares, Luiz F. G. (Advisor). **Model-driven resource management: Adaptability and interoperability on end-to-end QoS support.** Rio de Janeiro, 2008. 165p. DSc. Thesis - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The evolution of codification techniques for continuous media is making distributed multimedia applications even more popular. This kind of application has performance requirements that must be met in an end-to-end fashion, which can be achieved only if quality-of-service (QoS) provisioning mechanisms are applied on each participant subsystem. These mechanisms try to provide some control on distributed resource sharing, but the heterogeneity of resources and platforms turns management into a very complex task. Uniformization of resource access plays a key role to solve the problem, as it provides platform-independent abstractions that can represent not only a given resource, but also the distribution of them. It is also important to consider the continuous evolution of applications, which creates a demand for adaptable mechanisms, and the participation of multiple actors, which creates a demand for cooperative environments for resource configuration and maintenance. This work proposes a technique for resource management with end-to-end QoS support called MDRM (model-driven resource management), inspired on MDSD's (model-driven software development) concepts and processes. Particularly, MDRM includes the specification of its own meta model, called Virtual Resource Trees (VRT), which provides the abstractions needed to address uniformization, interoperability, adaptability and cooperation requirements on building resource management models. Resource management models are instances of the meta model specified using a domain-specific language (DSL) called Pan. Pan is able to express the formalism of VRT as platform-independent code, providing an easy to learn notation for any actors possibly present on general distributed environments. MDRM also considers the design of modeling environments composed of tools that help on validation, transformation and deployment of resource management models. The constructs of the Pan language allow the same tools to be used for

maintenance of models already instantiated, and thus adaptation actions can be promptly propagated to concerned platforms. A framework for MDRM support on general-purpose operating systems is also presented to illustrate how the concepts of the VRT meta model must be mirrored internally in target platforms.

Keywords

Resource management; quality of service; model-driven development; adaptability; interoperability; domain-specific language; computer networks; operating systems; QoS; DSL

Sumário

1	Introdução	14
1.1.	Objetivos e organização da Tese	17
2	Gerenciamento de Recursos Dirigido por Modelos (MDRM)	20
2.1.	Histórico do Laboratório TeleMídia	21
2.2.	Aspectos de projeto no gerenciamento de recursos com QoS	23
2.3.	Desenvolvimento de Software Dirigido por Modelos	29
2.4.	Gerenciamento de Recursos Dirigido por Modelos	35
2.4.1.	Adaptação dos conceitos	38
2.5.	Trabalhos Relacionados	41
3	Árvores de Recursos Virtuais (VRT): Um meta modelo para MDRM	49
3.1.	O conceito básico de Recurso Virtual	49
3.2.	O conceito básico de Árvores de Recursos Virtuais	52
3.3.	Árvore de Recursos Virtuais Primitiva	56
3.4.	Floresta de Recursos Virtuais	57
3.5.	Árvore de Recursos Virtuais Composta	58
3.6.	Operações de manutenção de modelos VRT	62
4	Pan: Uma linguagem de domínio específico (DSL) para VRT	66
4.1.	Introdução à linguagem Pan	67
4.2.	Descrição da Linguagem Pan	70
4.2.1.	Descrevendo modelos de gerenciamento de recursos em Pan	74
4.2.2.	Descrevendo manutenções de modelos em Pan	87
4.2.3.	Descrevendo documentos de resposta a manutenções	93
4.2.4.	Descrevendo documentos de relatório de compatibilidade	96
4.2.5.	Construindo parâmetros e categorias de serviço	98
4.2.6.	Construindo regras de controle de acesso	102
4.2.7.	Construindo regras de classificação	104

5 Arquitetura da Cadeia de Modelagem de MDRM	108
5.1. Visão Geral	108
5.2. Subdomínios	110
5.3. Ferramenta de modelagem Pan	113
5.4. Validadores	116
5.5. Transformadores	117
5.6. Implantadores, repositórios e plataformas	118
6 O Framework VRT-FS	120
6.1. VRTs Primitivas	122
6.2. Florestas	126
6.3. VRTs Compostas	127
6.4. VRT-FS Linux	129
7 Conclusão	136
7.1. Contribuições da Tese	137
7.2. Trabalhos Futuros	139
8 Referências bibliográficas	142
Anexo I – Schema XML da linguagem Pan	150
Anexo II – Regras Schematron da linguagem Pan	157

Lista de figuras

Figura 1 – Gerenciamento de recursos com abstrações multiníveis.	27
Figura 2 – Arquitetura Dirigida por Modelos (MDA)	32
Figura 3 – Desenvolvimento de Software Dirigido por Modelos (MDSD)	35
Figura 4 – Gerenciamento de Recursos Dirigido por Modelos (MDRM)	40
Figura 5 – Recurso Virtual e suas estratégias de gerenciamento	51
Figura 6 – Árvore de Recursos Virtuais	54
Figura 7 – Exemplos de Árvores de Recursos Virtuais Primitivas	56
Figura 8 – Exemplo de Árvore de Recursos Virtuais Composta	60
Figura 9 – Orquestração coordenada ao meta modelo VRT	61
Figura 10 – Diagrama de classes UML para o meta modelo VRT	62
Figura 11 – Visão geral da cadeia de modelagem de MDRM	108
Figura 12 – Ciclo de vida de um documento de modelo Pan	110
Figura 13 – Ciclo de vida de um documento de manutenção Pan	110
Figura 14 – Tela capturada do protótipo Plat	115
Figura 15 – Validação ativa na visão textual	117
Figura 16 – Estrutura de primeiro nível de VRT-FS	122
Figura 17 – Estrutura típica do diretório <code>/vrt/primitive</code>	122
Figura 18 – Estrutura típica do diretório <code>/vrt/forest</code>	126
Figura 19 – Estrutura típica de do diretório <code>/vrt/composite</code>	128
Figura 20 – Arquitetura de VRT-FS em Linux	130

Lista de quadros

Quadro 1 – Aspectos de projeto no gerenciamento de recursos	29
Quadro 2 – Disposição geral dos diferentes tipos de documentos Pan	70
Quadro 3 – Exemplo de modelo descrito em Pan - Somente florestas	79
Quadro 4 – Exemplo de modelo descrito em Pan - IntServ	87
Quadro 5 – Exemplo de documento de manutenção de modelos	93
Quadro 6 – Exemplo de documento de resposta a manutenções	96
Quadro 7 – Exemplo de documento de relatório de compatibilidade	98