

**Hana Karina Salles Rubinsztein**

**Suporte à Adaptação de Conteúdo  
Sensível a Contexto para  
Dispositivos Móveis em Sistemas  
Publish/Subscribe**

**TESE DE DOUTORADO**

**DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA**  
Programa de Pós-graduação em Informática

Rio de Janeiro  
Setembro de 2007

**Hana Karina Salles Rubinsztein**

**Suporte à Adaptação de Conteúdo Sensível a  
Contexto para Dispositivos Móveis em  
Sistemas Publish/Subscribe**

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática  
do Departamento de Informática da PUC-Rio como requisito  
parcial para obtenção do título de Doutor em Informática

Orientador: Prof. Markus Endler

Rio de Janeiro  
Setembro de 2007



**Hana Karina Salles Rubinsztein**

**Suporte à Adaptação de Conteúdo Sensível a  
Contexto para Dispositivos Móveis em  
Sistemas Publish/Subscribe**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção Do título de Doutor em Informática. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Markus Endler**

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. Francisco José da Silva e Silva**

Departamento de Informática – UFMA

**Prof. Orlando Gomes Loques**

Departamento de Ciência da Computação - UFF

**Prof. Luiz Fernando Gomes Soares**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Marco Antônio Casanova**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Noemi Rodriguez**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 14 de Setembro de 2007

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

### **Hana Karina Salles Rubinsztejn**

Graduou-se em Ciência da Computação na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) em 1999 e obteve o título de Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em 2001, na área de redes de computadores e sistemas distribuídos. Tem sólidos conhecimentos em redes de computadores e computação móvel. Trabalhou no CPqD com sistemas de informação geoespacial para gerenciamento de redes telecomunicações, e também atuou como pesquisadora do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel). Atualmente é docente da UFMS.

#### Ficha Catalográfica

Rubinsztejn, Hana Karina Salles

Suporte à Adaptação de Conteúdo Sensível a Contexto para Dispositivos Móveis em Sistemas Publish/Subscribe / Hana Karina Salles Rubinsztejn; orientador: Markus Endler. — 2007.

180 f: il. ; 29,7 cm

Tese (Doutorado em Informática) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Computação Móvel. 3. Percepção de Contexto. 4. Adaptação de Conteúdo. 5. Comunicação Publish/Subscribe. I. Endler, Markus. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Aos meus pais e marido

## Agradecimentos

Ao professor Markus Endler pelas palavras de apoio e incentivo, e por sua amizade. Agradeço especialmente a oportunidade de sua orientação neste trabalho.

À minha família, por toda a confiança e apoio incondicionais, que em muito me ajudaram a concluir este trabalho.

Aos colegas do LAC – Vagner, Ricardo, Viterbo, Gustavo, Fernando – pelos momentos agradáveis de convivência dentro e fora da PUC, e por suas valiosas sugestões no decorrer deste trabalho.

Aos meus colegas da PUC–Rio, quem me fizeram adorar esse lugar, em especial, Silvana, Valéria, Renato, Bruno.

Ao meu marido, Fred, pela compreensão, paciência e amor.

Ao meu amigos, em especial Rogério, que de uma forma ou de outra me estimularam ou auxiliaram.

Ao CEPEL.

Ao CNPq e à PUC–Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

E sobretudo à Deus.

## Resumo

Rubinsztejn, Hana Karina Salles ; Endler,Markus. **Suporte à Adaptação de Conteúdo Sensível a Contexto para Dispositivos Móveis em Sistemas Publish/Subscribe**. Rio de Janeiro, 2007. 180p. Tese de Doutorado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Serviços para disseminação de informações (serviços *push*) têm sido amplamente utilizados, em particular para aplicações envolvendo usuários móveis. Estes serviços geralmente atendem a dispositivos com recursos bem diferenciados e em contextos de execução (conectividade sem fio, reserva de energia, etc.) distintos, fazendo necessário adaptar o conteúdo difundido dinamicamente e individualmente para cada cliente. Uma vez que muitas adaptações de conteúdo envolvem operações custosas e demandam alto poder de processamento, estas não devem ser realizadas nos clientes móveis. Por outro lado, executar as adaptações para cada cliente móvel no servidor, torna-se pouco eficiente e escalável. Assim, em tais serviços, é comum utilizar-se *proxies* dedicados às adaptações de conteúdo (de acordo com o contexto) dos clientes. Comunicação assíncrona, como publish/-subscribe, é considerada por muitos como a mais apropriada para este tipo de serviço. Por outro lado, sistemas para adaptação de conteúdo sensível a contexto não dão suporte a este tipo de comunicação, até porque a adaptação precisa ser individual e, portanto, conflita com o paradigma de comunicação um-para-muitos. Neste trabalho apresentamos uma arquitetura para sistemas publish/subscribe, com adaptação sensível a contexto, que utiliza um algoritmo que otimiza a adaptação de conteúdo para grandes conjuntos de clientes destinatários de uma difusão.

## Palavras-chave

Computação Móvel. Percepção de Contexto. Adaptação de Conteúdo. Comunicação Publish/Subscribe.

## Abstract

Rubinsztejn, Hana Karina Salles ; Endler,Markus. **Context-based Content Adaptation for Publish/Subscribe Systems** . Rio de Janeiro, 2007. 180p. PhD Thesis — Departament of Mathematics, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Services for information dissemination (“push” services) are being widely used, in particular for applications involving mobile users. These services generally serve devices with different resources and with distinct execution contexts (wireless connectivity, energy source, etc.), making it necessary to adapt disseminated content individual and dynamically for each client. Since many content adaptations involve costly operations and demand high processing power, these should not be executed at the mobile clients. On the other hand, it is neither efficient nor scalable to execute the adaptations for each mobile client at the server. Thus, in such services, it is common to use proxies dedicated to content adaptations (based on the context) of clients. Asynchronous communication, such as publish/-subscribe, is considered the most appropriate form of communication for this type of service. On the other hand, systems for context-aware content adaptation do not support this type of communication. In this thesis we present an architecture for publish/subscribe systems with context-aware content adaptation, that uses an algorithm that optimizes the content adaptation for large sets of clients.

## Keywords

Mobile Computing. Context Awareness. Content Adaptation. Publish/Subscribe.



## Sumário

1	Introdução	<b>15</b>
1.1	Cenário de aplicação	17
1.2	Objetivos	18
1.3	Contribuições	19
1.4	Estrutura da tese	20
2	Conceitos Preliminares	<b>22</b>
2.1	Adaptação	22
2.2	Ciência de Contexto	25
2.3	Comunicação Publish/Subscribe	29
2.4	MoCA	34
2.5	Resumo	38
3	Trabalhos Relacionados	<b>39</b>
3.1	Sistemas com adaptação de conteúdo para clientes móveis	39
3.2	Sistemas Push	45
3.3	Resumo	47
4	Arquitetura para Adaptação de Conteúdo em Sistemas Publish/Subscribe	<b>49</b>
4.1	Requisitos	49
4.2	Arquitetura Proposta	51
4.3	Algoritmos de Gerência de Execução de Adaptações	63
4.4	Resumo e Conclusões	82
5	Implementação do ProxyFramework	<b>85</b>
5.1	Visão Geral do ProxyFramework	86
5.2	Passos para utilização do ProxyFramework	91
5.3	Resumo e Conclusões	100
6	Avaliação do Sistema	<b>101</b>
6.1	Avaliação de Desempenho	101
6.2	Avaliação Qualitativa	126
6.3	Resumo e Conclusões	130
7	Conclusão	<b>133</b>
7.1	Contribuições	133
7.2	Trabalhos Futuros	136
	Referências Bibliográficas	<b>140</b>
A	Extensão MoCA para CC/PP UAprof	<b>154</b>
B	Especificação UML do ProxyFramework	<b>158</b>
B.1	Diagramas de Classes	158
B.2	Diagramas de seqüência	166

C	Instanciação do ProxyFramework	171
C.1	Criando uma instância do ProxyFramework	171
C.2	Biblioteca de Adaptadores de Imagens	172
C.3	Estratégia de ordenação	174
D	Questionário de Avaliação Qualitativa	178

## Lista de figuras

2.1	Modelo de interação publish/subscribe	30
2.2	Registro de interesse em um sistema Pub/Sub baseado em conteúdo e um evento que o satisfaz.	32
2.3	Arquitetura MoCA	35
2.4	Obtenção de contexto no CIS	36
4.1	Arquitetura para sistemas Pub/Sub com adaptação sensível a contexto	51
4.2	Interação com middleware Pub/Sub	54
4.3	Interação entre componentes da arquitetura	59
4.4	Passo 1 do algoritmo	73
4.5	Passo 2 do algoritmo	74
4.6	Envio de mensagem a um grupo Pub/Sub	74
5.1	Proxy para adaptação de conteúdo	85
5.2	Arquitetura Proxy Framework	87
5.3	Fluxo lógico das mensagens no ProxyFramework	90
5.4	Exemplo de Arquivo de Configuração do Proxy.	96
6.1	Esquema de execução dos testes.	103
6.2	Tempo de sobrecarga e de adaptação para Crop Center	104
6.3	Tempo de serviço médio para o algoritmo força bruta, aplicando 1 adaptação	106
6.4	Sobrecarga do algoritmo força bruta enviando mensagem de 50kB	107
6.5	Tempo serviço para algoritmo com grupos	108
6.6	Overhead puro para algoritmo com grupos (sem adaptação)	110
6.7	Tempo de Serviço: 5 situações 20% de clientes por estado 1 adaptação	111
6.8	Sobrecarga mínima, média e máxima para mensagem de 250kB, em sistema com 5 situações de contexto	112
6.9	Distribuição de clientes que necessitam de 0 a 5 adaptações de acordo com o fator de quebra de grupo.	115
6.10	Tempo médio de serviço de acordo com o fator de quebra.	116
6.11	Grupos criados em função do fator de quebra.	117
6.12	Tempo médio de serviço por número de adaptações - 500 clientes	119
6.13	Tempo médio de serviço do algoritmo força bruta	120
6.14	Tempo de serviço por número de adaptações - algoritmo força bruta - 500 clientes	121
6.15	Tempo médio de serviço do algoritmo ingênuo	122
6.16	Tempo de serviço por número de adaptações - algoritmo ingênuo - 500 clientes	123
6.17	Total de grupos criados para 5, 7 e 10 situações de contexto.	125
6.18	Comparação tempo de serviço médio para 5, 7 e 10 situações de contexto	126
6.19	Aplicação exemplo	128

B.1	Diagrama de classes - proxy	159
B.2	Diagrama de classes - proxy.development	160
B.3	Diagrama de classes - proxy.receivers	161
B.4	Diagram de classes - proxy.action	162
B.5	Diagrama de classes - proxy.cache	162
B.6	Diagrama de classes: proxy.action.adapters	163
B.7	Diagrama de classes - proxy.states	164
B.8	Diagrama de classes - proxy.states.filter	165
B.9	Diagrama de classe - proxy.communication	166
B.10	Diagrama de seqüência - Inicialização	167
B.11	Diagrama de seqüência - cadastro de clientes	168
B.12	Diagrama de seqüência - registro de clientrs no CIS	169
B.13	Diagrama de seqüência - envio de mensagem	170

## Lista de tabelas

2.1	Tipos de mídia e adaptações de conteúdo relacionadas	23
2.2	Modelos de Contexto	28
2.3	Informações de contexto fornecidas pelo CIS	37
3.1	Resumo comparativo dos projetos	48
4.1	Seqüências $A_{C_k}$ para o exemplo	73
6.1	Custo de adaptação	104
6.2	Avaliação dos usuários	129
6.3	Métricas das aplicações desenvolvidas com uso do ProxyFramework	130

## Abreviaturas e Siglas

AP	Access Point ou Ponto de Acesso
BARWAN	Bay Area Research Wireless Access Network
CAP	Content Adaptation Pipeline
CARISMA	Context-Aware Reflective mIddleware System for Mo- bile Applications
CC/PP	Composite Capabilities/Preference Profiles
CIS	Context Information Service - MoCA
CoPS	Context Privacy Service - MoCA
CS	Configuration Service - MoCA
CSCP	Comprehensive Structured Context Profiles
DCAF	Distributed Content Adaptation Framework
DS	Discovery Service - MoCA
ECI	Event-based Communication Interface - MoCA
JMS	Java Messaging Service
LIS	Location Information Service - MoCA
MARCH	Mobile Aware Server Architecture
MIME	Multipurpose Internet Mail Extensions
MobiPADS	Mobile Platform for Actively Deployable Service
Mobiware	Mobiware programmable mobile network layer
MoCA	Mobile Collaboration Architecture
Monitor	Monitor Deamon - MoCA
PACE	Pervasive, Autonomic, Context-aware Environments
ProxyFramework	Proxy Framework - MoCA
Pub/Sub	Comunicação Publish/Subscribe
RAPIDware	Component-Based Development of Adaptable and De- pendable Middleware
RDF	Resource Description Framework [1]
RF	Sinal de rádio frequência de um AP da rede Wifi
RuleML	Rule Markup Language
Monitor Simulator	Monitor Simulator Application - MoCA.
SRM	Symbolic Region Manager - MoCA
TACC	Transformation, Aggregation, Caching, Customization (camada, parte do projeto BARWAN)
UAProf	User Agent Profile [2], definido pela Open Mobile Ali- ance [3]
UML	Unified Modeling Language
UPS	Universal Profiling Schema [4]
URICA	Context-Aware URICA (Usage-aware Interactive Con- tent Adaptation)
XML	eXtensible Markup Language
WBI	Web Intermediaries
WML	Wireless Markup Language

$A$	Conjunto de adaptadores disponíveis.
$A_C$	Conjunto de seqüências $A_{c_k}$ para todos os clientes.
$A_{c_k}$	Seqüência de adaptadores a serem aplicados a uma mensagem transmitida ao cliente $c_k$ .
$A_{S_i}$	Seqüência de adaptadores ativados pela situação de contexto $s_i$ .
$B_{a_j}$	Conjunto de atributos de contexto utilizado pelo adaptador $a_j$ .
$B_{a_j, c_k}$	Conjunto de valores correntes dos atributos de contexto $B_{a_j}$ para o cliente $c_k$ .
$C$	Conjunto de clientes para o qual a mensagem está endereçada.
$E_c$	Estado de todas as condições de contexto de um cliente $c$ no momento da chegada da mensagem ao sistema.
$E_{c_k}$	Estado das situações de contexto de cada cliente $c_k$ .
$G_{B, S_i}$	Conjunto de grupos $G_{B_{a_j}, S_i}$ .
$G_{B_{a_j}, S_i}$	Grupo de clientes com a situação $s_i$ ativa e cujos valores dos atributos de contexto $B_{a_j}$ são iguais, quando $a_j$ é um adaptador parametrizado.
$G_C$	Grupo de clientes.
$G_{S_i}$	Grupo de clientes com estado ativo para situação de contexto $s_i$ .
$G_{\neg S_i}$	Grupo de clientes com condição de contexto $s_i$ inativa.
$PA_{s_i}$	Subconjunto de $A_{S_i}$ , composto pelos adaptadores parametrizados ativados pela situação de contexto $s_i$ .
$Pr$	<i>Prefixos</i> , i.e, adaptações comuns nas seqüências $A_{c_k}$ .
$S$	Seqüência de situações (ou condições) de contexto de interesse.
$a$	Adaptador ou uma adaptação.
$b$	Atributo de contexto.
$c$	Cliente, ou índice de cliente.
$d$	Número de adaptadores disponíveis, $d =  A  = \sum  A_{S_i} $ .
$e_{s_i}$	Estado da situação de contexto $s_i$ .
$e_{c_k, s_i}$	Estado da situação de contexto $s_i$ com relação ao contexto do cliente $c_k$ em determinado momento.
$g$	Fator de divisão de grupos, ou seja, a porcentagem de clientes com estado ativo para cada situação de contexto.
$i$	Índice da situação de contexto avaliada.
$k$	Número de clientes, $k =  C $ .
$n$	Número de condições de contexto de interesse, $n =  S $ .
$s_i$	Situação (ou condição) de contexto $i$ pertencente à seqüência $S$ .
$t_a$	Tipo do adaptador $a$ : parametrizado ou não parametrizado.