



Alexandre Mele

**Um Framework para Simulação
de Redes Móveis Ad Hoc**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Markus Endler

Rio de Janeiro, dezembro de 2002



Alexandre Mele

Um Framework para Simulação de Redes Móveis Ad Hoc

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

Prof. Markus Endler

Orientador

Departamento de Informática - PUC-Rio

Prof. Sérgio Colcher

Departamento de Informática - PUC-Rio

Prof. José Ferreira de Rezende

COPPE - UFRJ

Prof. Ney Dumont

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 30 de 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.

Alexandre Mele

Graduou-se em Matemática - Modalidade Informática - na Uerj (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) em 1993. Foi professor na graduação em Informática da Uerj (1994) e no curso de Tecnólogo em Processamento de Dados da Faculdade Carioca (1995-1998), nas áreas de Arquitetura de Computadores, Sistemas Operacionais e Linguagens de Programação (Assembly 8086/8088). Desde 1996 vem trabalhando como consultor na área de Redes de Computadores.

Ficha Catalográfica

Mele, Alexandre

Um framework para simulação de redes móveis Ad Hoc / Alexandre Mele; orientador: Markus Endler. - Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Informática, 2002.

[12], 97 f. : il. ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática - Teses. 2. Simulação. 3. Redes móveis Ad Hoc. 4. Framework. 5. Protocolos de roteamento. 6. Protocolos de acesso ao meio. I. Endler, Markus. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Para minha mulher Elaine e para meus pais,
Vitorio e Regina, pelo amor, apoio e incentivo.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Markus Endler, pelos ensinamentos, incentivo, paciência, confiança e parceria para a realização deste trabalho.

À PUC-Rio, pela bolsa de isenção concedida, com a qual facilitou muito o meu estudo nesta instituição.

Ao pessoal do meu trabalho, pela compreensão e companheirismo. Em especial para a minha equipe do Núcleo Superior de Estudos Governamentais (Elaine Zancanela de Oliveira e Carla Dias), e para meus clientes do Departamento de Informática do Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro (Diretor Marcos José da Hora Faria e Gerente Marcia Cardoso de Carvalho Tujal).

Ao Professor Nery Machado Filho (in memoriam), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pela amizade, ensinamentos, incentivo, apoio e confiança.

Aos amigos Alésio Leoni Pfeifer, Luciana dos Santos Lima e Marcelo Ferreira Moreno, com os quais eu iniciei o mestrado, e compartilhamos muitos momentos juntos.

Aos amigos e colegas da PUC-Rio, em especial ao pessoal do Laboratório TeleMídia, pelo apoio e ajuda.

Aos Professores Sérgio Colcher e José Ferreira de Rezende, por aceitarem o convite para participar da Comissão Examinadora desta dissertação.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Informática e do CETUC da PUC-Rio, pelos ensinamentos e pela ajuda.

À Deus, pela presença em todos os momentos.

Resumo

Mele, Alexandre. **Um Framework para Simulação de Redes Móveis Ad Hoc**. Rio de Janeiro, 2002. 109p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Uma rede móvel ad hoc consiste de uma coleção de dispositivos computacionais portáteis, equipados com uma interface de comunicação sem fio, com uma distribuição arbitrária e dinâmica no espaço, e onde cada host também serve de roteador para os demais hosts, descobrindo e mantendo rotas multi-hop entre os hosts. De uma forma geral, os protocolos para redes móveis ad hoc são mais complexos do que os protocolos para as redes fixas, devido à várias características destas redes, como por exemplo, a topologia dinâmica, a interferência mútua, o acesso compartilhado e a largura de banda restrita dos enlaces sem fio, bem como a operação com energia restrita e menor quantidade de recursos disponíveis nos hosts móveis.

Um grande foco da pesquisa em redes móveis ad hoc tem sido o desenvolvimento, a análise e a comparação de protocolos de roteamento. Por isto, existe a demanda por ambientes para a prototipação rápida, a simulação e a depuração de protocolos de roteamento (e de outras camadas) para este tipo de redes. Preferencialmente estes ambientes devem ser flexíveis, ser simples de usar, e permitir definir vários níveis de abstrações para descrever as características físicas da rede móvel, tais como o padrão de mobilidade, os enlaces sem fio, consumo de energia, etc.

Esta dissertação trata do projeto e implementação de um framework para a simulação de redes móveis ad hoc que visa facilitar a criação de ambientes para prototipação, teste, análise de desempenho e complexidade de protocolos para este tipo de redes.

Palavras-chave

Simulação; Redes Móveis Ad Hoc; Framework; Protocolos de Roteamento; Protocolos de Acesso ao Meio.

Abstract

Mele, Alexandre. **A Framework for Simulation of Mobile Ad Hoc Networks**. Rio de Janeiro, 2002. 109p. MSc. Dissertation - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A mobile ad hoc network consists of a set of portable computational devices, equipped with a wireless communication interface, that are randomly and dynamically distributed in space, and where each host serves as a router for the other hosts by discovering and maintaining multi-hop routes among the hosts. In general, protocols for mobile ad hoc networks are more complex than equivalent protocols for static networks, due to several properties of such networks, such as its dynamic topology, the mutual interference, concurrent access and smaller communication bandwidth of the wireless links, as well as, operation with restricted amount of energy, and scarce resources of the mobile devices.

A main focus of research in mobile ad hoc networks has been the development, analysis and comparison of routing protocols for such networks. Therefore, there is some demand for environments that facilitate the rapid prototyping, the simulation and the debugging of protocols at the network and other layers for such networks. These environments should preferably be flexible, easy to use, and allow for the definition of different levels of abstractions for modeling the main characteristics of the mobile network, such as the pattern of mobility, the wireless links, the energy consumption, etc.

This thesis describes the design and implementation of a framework for the simulation of mobile ad hoc networks, which aims at supporting the development of concrete simulation environments for prototyping, testing and doing the complexity and performance analysis of protocols for such networks.

Keywords

Simulation; Mobile Ad Hoc Networks; Framework; Routing Protocols; Medium Access Protocols.

Sumário

1	Introdução	13
1.1.	Redes Móveis Ad Hoc	14
1.2.	Objetivos	15
1.3.	Organização da Dissertação	15
2	Trabalhos Relacionados	17
2.1.	ns	17
2.2.	GloMoSim	18
2.3.	MobiCS	19
2.4.	Outros Simuladores	22
3	Descrição do Framework	24
3.1.	Requisitos	26
3.2.	Os Pacotes: Uma Visão Geral	27
3.2.1.	Nós da Rede (Pacote <code>nodes</code>)	29
3.2.2.	Sistema de Comunicação (Pacote <code>commsys</code>)	32
3.2.3.	Simulação (Pacote <code>simulation</code>)	34
3.2.4.	Utilitário (Pacote <code>util</code>)	36
3.3.	O Simulador	37
3.3.1.	Os Eventos de Simulação	37
3.3.2.	A Classe <code>Simulator</code>	39
3.3.3.	O Escalonador	42
3.3.4.	A Simulação	43
3.4.	Modelos de Simulação	46
3.4.1.	Modelo de Mobilidade	46
3.4.2.	Modelo de Energia	49
3.4.3.	Modelo de Conectividade do Canal	52
3.5.	Suporte à Geração de <i>Trace</i>	54

4 Programação de Protocolos	58
4.1. A Classe <code>Protocol</code>	58
4.2. O Tratamento de Eventos nos Protocolos	61
4.3. A Camada Física	62
4.3.1. A Transmissão no Meio Físico	63
4.3.2. Uma Implementação do <code>Physical</code>	64
4.4. A Subcamada MAC	65
4.5. A Camada de Rede	66
4.5.1. Principais Interações entre os Componentes	67
4.5.2. Uma Possível Implementação como Protocolo do MobiCS2	69
5 Exemplo de Uso do MobiCS2	70
5.1. A Interface da SDU de um Protocolo	70
5.2. Interface de Rede	70
5.3. Conversão de Endereços	72
5.4. A Classe <code>WiFiNode</code>	74
5.5. Implementação do Protocolo de Roteamento DSR	76
5.6. Geração de Tráfego para a Simulação	80
5.7. Exemplo de uma Simulação	82
6 Conclusão	85
6.1. Contribuições	85
6.2. Trabalhos Futuros	86
7 Referências Bibliográficas	88
8 Apêndice – Protocolos de Roteamento para MANET	92
8.1. Introdução	92
8.1.1. Classificação	93
8.2. Orientado a tabela	93
8.2.1. Destination-Sequenced Distance-Vector Routing Algorithm (DSDV)	93
8.2.2. Global State Routing (GSR)	94
8.2.3. Fisheye State Routing (FSR)	96

8.2.4. Hierarchical State Routing (HSR)	97
8.2.5. Zone-based Hierarchical Link State Routing Protocol (ZHLS)	99
8.3. Sob demanda	99
8.3.1. Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV)	100
8.3.2. Dynamic Source Routing (DSR)	102
8.3.3. Cluster Based Routing Protocol (CBRP)	105
8.3.4. Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA)	106

Lista de figuras

Figura 1 – Implementação de Protocolos e Simulações a partir do MobiCS	22
Figura 2 – O Framework MobiCS2	28
Figura 3 – Diagrama de Classes do Pacote <code>nodes</code>	30
Figura 4 – Diagrama de Classes das Principais Classes do Pacote <code>commsys</code>	34
Figura 5 – Diagrama de Classes das Principais Classes do Pacote <code>simulation</code>	35
Figura 6 – Esquema de um Script de Simulação Determinística	45
Figura 7 – Diagrama de Classes do modelo de mobilidade <i>Random Way-Point</i>	49
Figura 8 – Exemplo de Suporte à Geração de <i>Trace</i> para a Classe <code>MobilityModel</code>	55
Figura 9 – Exemplo de Informação de <i>Trace</i> Gerada pela Classe <code>RandomWayPoint</code>	56
Figura 10 – Diagrama dos componentes de um protocolo de roteamento para MANET	66
Figura 11 – Relação entre o <code>Arp</code> e os demais protocolos	73
Figura 12 – Conexões da interface de rede (<code>NetIf</code>) com os demais protocolos	76
Figura 13 – Implementação da simulação <code>FirstSimulation</code>	84
Figura 14 – Precisão da informação no FSR	97
Figura 15 – Um exemplo de <i>clustering</i> no HSR	98
Figura 16 – Descobrimto de rota no AODV	101
Figura 17 – Criação do registro de rota no DSR	104
Figura 18 – Criação de rota no TORA (os números entre parênteses são: nível de referência e altura)	108
Figura 19 – Restabelecimento da rota devido uma falha no enlace 5-7. O novo nível de referência é o nó 5	109

Lista de tabelas

Tabela 1 – Camadas de Protocolos do GloMoSim

19