PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO

José Antonio Casemiro Neto

Roteamento Baseado em Localização em Redes Ad Hoc

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521298/CA

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Marco Antonio Grivet Mattoso Maia

Rio de Janeiro

Setembro de 2007

José Antonio Casemiro Neto

Roteamento Baseado em Localização em Redes Ad Hoc

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

Dr. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia
Orientador
Centro de Estudos em Telecomunicações/PUC-Rio

Dr. Rodolfo Sabóia Lima de Souza
Centro de Estudos em Telecomunicações/PUC-Rio

Dr. Marcelo Roberto Baptista Pereira Luis Jimenez
Centro de Estudos em Telecomunicações/PUC-Rio

Dr. Luis Alencar Reis Silva Mello
Centro de Estudos em Telecomunicações/PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 12 de setembro de 2007

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521298/CA

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

José Antonio Casemiro Neto

Graduou-se em Engenharia Elétrica ênfase Eletrônica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2005.

Ficha Catalográfica

Casemiro Neto, José Antonio

Roteamento baseado em localização em redes ad hoc / José Antonio Casemiro Neto ; orientador: Marco Antonio Grivet Mattoso Maia. – Rio de Janeiro: PUC–Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2007.

100 f. : il. (col.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Incluí referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Roteamento. 3. Localização. 4. Terminode. 5. Redes ad-hoc. I. Maia, Marco Antonio Grivet Mattoso. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521298/CA

Agradecimentos

Ao professor Marco Antonio Grivet Mattoso Maia, pela orientação, ajuda e paciência, necessários para a conclusão desse trabalho.

À minha família e amigos, pelo incentivo e apoio sempre necessários.

À PUC-Rio e seus funcionários, e ao CNPq, por propiciar mais alguns anos valiosos de estudo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521298/CA

Resumo

Casemiro Neto, José Antonio; Maia, Marco Antonio Grivet Mattoso. **Roteamento Baseado em Localização em Redes Ad Hoc.** Rio de Janeiro, 2007. 100p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Um avanço importante gerado pela tecnologia de TV digital é a possibilidade de interatividade com os usuários, realizada por meio do assim chamado canal de retorno. As redes ad hoc têm um grande potencial para atender esse tipo de serviço, pois podem ser empregadas em diversas áreas geográficas e idealmente de forma independente de infra-estrutura. Isso diminui o seu custo e propícia o aumento da velocidade de implantação deste tipo de rede. Uma das principais questões técnicas a serem resolvidas no contexto das redes móveis ad hoc é a necessidade de algoritmos eficientes para a realização do roteamento dos pacotes. O projeto Terminodes, desenvolvido pelo Instituto Federal de Tecnologia da Suíça, desenvolveu um protocolo de roteamento que utiliza a informação de localização. Este método de roteamento é freqüentemente proposto como um meio para prover escalabilidade em redes ad hoc distribuídas sobre áreas geográficas extensas. O roteamento baseado em localização é difícil quando há áreas de exclusão na topologia da rede e os nós são móveis ou freqüentemente desconectados para fins de economia de bateria. Portanto, a investigação da robustez do protocolo para esses casos é fundamental para avaliar seu uso em redes que podem servir como canal de retorno de TV digital.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521298/CA

Palavras-chave

Roteamento, localização, terminode, redes ad-hoc

Abstract

Casemiro Neto, José Antonio; Maia, Marco Antonio Grivet Mattoso. **Location Based Routing in Ad-Hoc Networks.** Rio de Janeiro, 2007. 100p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

An important advance generated by the technology of digital TV is the possibility of interactivity with the users, what is done by means of the return channel. The mobile ad hoc networks have a great potential to provide this type of service, because it can ideally be used in diverse geographic areas and independent of any infrastructure. This minimizes the costs and the time needed to implement the network for this canal. One of the main questions techniques in the context of the mobile ad hoc networks is the necessity of efficient routing algorithms. The Terminodes project, developed by the Federal Institute of Technology of Switzerland, developed a routing protocol that is based in location information. This routing method frequently is a way to provide scalability in large ad hoc networks. The routing based on location is difficult when it has areas of exclusion in the topology of the network and the nodes are mobile or they are frequently disconnected to save battery. Therefore, assess the robustness of the protocol for these cases is basic to evaluate its use in networks for the digital TV return channel.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521298/CA

Keywords

routing, terminode, location, ad-hoc networks

Sumário

1 Introdução 13
1.1. Redes ad hoc 13
1.2. Motivação 14
1.3. Objetivo 16
1.4. Organização do trabalho 18

2 Redes Ad-hoc – Projeto terminode 19
2.1. Roteamento em redes ad hoc 19
2.2. Projeto Terminode 22
2.2.1. Os terminodes 23
2.2.2. Gerência de Mobilidade 25
2.2.3. Sistema de Posicionamento GPS-Free 28
2.2.4. Sistema de incentivo para cooperação 30
2.2.5. Protocolo de roteamento terminode 32

3 Problemas abordados nesse trabalho e Implementação 52
3.1. Restricted random waypoint 53
3.2. Problemas abordados nesse trabalho 55
3.2.1. Ativação e desativação aleatória de terminodes 56
3.2.2. Áreas de exclusão de terminodes 58
3.2.3. Erros de localização 58
3.3. Método de simulação 59
3.3.1. Método para comutação dos terminodes 60
3.3.2. Determinação de áreas de desertos de terminodes 62
3.3.3. Erros no serviço de localização 69

4 Simulação e Resultados 71
4.1. Parâmetros comuns de simulação 71
4.2. Comparação com outros protocolos de roteamento 74

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521298/CA

4.3. Robustez aos erros de localização 77
4.4. Ativação e desativação aleatória de terminodes 78
4.5. Áreas de exclusão de terminodes 81

5 Conclusão 85
5.1. Trabalhos futuros 87

6 Referências Bibliográficas 89

Apêndice A GloMoSim 92

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521298/CA

Lista de figuras

Figura 1 – exemplos de aplicação de redes ad hoc. 13
Figura 2 – exemplo do roteamento terminode. 25
Figura 3 – exemplo da atualização e requisição da posição de um terminode. 27
Figura 4 – Sistema de coordenadas local do terminode i. 29
Figura 5 – grupo de referência de localização. 30
Figura 6 – exemplo de troca de nuglets por serviço. 32
Figura 7 – exemplo do roteamento utilizando GPF. 35
Figura 8 – Exemplo de topologia onde o método simplificado GPF não funciona. 37
Figura 9 – regra da mão direita. 37
Figura 10 – construção do grafo RNG. 38
Figura 11 – encaminhando um pacote pelo modo perímetro. 39
Figura 12 – Roteamento utilizando AGPF. 40
Figura 13 – cálculo de posição para o uso do RLF. 42
Figura 14 – exemplo da utilização do modo tabu. 50
Figura 15 – restricted random waypoint. 54
Figura 16 – Situação onde pode ocorrer perda de rotas se um terminode desligar. 57
Figura 17 – novo modelo de mobilidade. 63
Figura 18 – algoritmo básico de contorno do deserto. 66
Figura 19 – situação mais complexa para o contorno do deserto. 67
Figura 20 – Comparação da fração de pacotes entregues com sucesso entre o protocolo de roteamento terminode e outros protocolos. 75
Figura 21 – Comparação do atraso médio de transmissão dos pacotes entre o protocolo de roteamento terminode e outros protocolos. 76
Figura 22 – Fração de pacotes entregues com sucesso com erro no sistema de localização. 77
Figura 23 – atraso médio de transmissão dos pacotes com erro no sistema de localização. 78

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521298/CA

Figura 24 – Fração de pacotes entregues com sucesso com terminodes ligando e desligando em tempo aleatório. 80
Figura 25 – Fração atraso médio de transmissão dos pacotes com terminodes ligando e desligando em tempo aleatório. 81
Figura 26 – comparação da fração de pacotes entregues com sucesso entre os modelos de mobilidade *deserts* e *restricted randon waypoint.* 82
Figura 27 – comparação do atraso médio de transmissão dos pacotes entre os modelos de mobilidade *deserts* e *restricted randon waypoint.* 82
Figura 28 – Fração de pacotes entregues com sucesso com uma área de exclusão dentro da cidade 1. 83
Figura 29 – Atraso médio de transmissão dos pacotes com uma área de exclusão dentro da cidade 1. 84

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521298/CA

Lista de tabelas

Tabela 1 – alguns campos do pacote usados pelo protocolo de roteamento terminode. 43
Tabela 2 – campos utilizadas na busca em modo tabu. 48
Tabela 3 – parâmetros de projeto do novo método de mobilidade. 65
Tabela 4 – parâmetros configuráveis do novo método de mobilidade. 65
Tabela 5 – parâmetros gerais para o simulador. 72
Tabela 6 – parâmetros do protocolo de roteamento. 72
Tabela 7 – valores dos parâmetros do método de mobilidade. 73
Tabela 8 – valores dos parâmetros configuráveis do método de mobilidade. 74
Tabela 9 – ciclo de trabalho dos terminodes. 79

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521298/CA

SIGLAS

AGPF *Anchored Geodesic Packet Forwarding*

AODV *Ad Hoc On-Demand Distance Vector*

API *Application Programming Interface*

CBR *Constant bit rate*

EUI *End-system Unique Identifier*

FADP *Friend Assisted Path Discovery*

GG *Gabriel Graph*

GloMoSim *Global Mobile Information System Simulator*

GMPD *Geographical Map-Based Path Discovery .*

GPF *Geodesic Packet Forwarding*

GPS *Global Positioning System*

IETF *Internet Engineering Task Force*

LAR *Location-Aided Routing*

LCS *local coordinate system*

LDA *location-dependent address*

LRG *location reference group*

MANET *Mobile Ad Hoc Networks*

NCS *network coordinate system*

OSI *Open Systems Interconnection*

PCN *personal communications network*

PDA *Personal digital assistant*

PLC - *power line communications*

RLF *Restricted Local Flooding*

RNG *Relative Neighborhood Graph*

SPA *Self Position Algorithm*

TLR *terminode local routing*

TOA – *time of arrival*

TRR *terminode remote routing*

VHR *virtual home region*

WLAN *Wireless* LAN

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0521298/CA