COPPE/UFRJ

ESTUDO DO TEMPO DE ACESSO AO MEIO EM REDES EM MALHA SEM FIO

Jorge Luiz Silva Peixoto

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Sistemas e Computação.

Orientadores: Luís Felipe Magalhães de Moraes
Marcial Porto Fernandez

Rio de Janeiro
Setembro de 2009

ESTUDO DO TEMPO DE ACESSO AO MEIO
EM REDES EM MALHA SEM FIO

Jorge Luiz Silva Peixoto

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

Prof. Luís Felipe Magalhães de Moraes, Ph. D.

Prof. Marcial Porto Fernandez, Dr.

Prof. Claudio Luis de Amorim, Ph. D.

Prof. Márcio Portes de Albuquerque, Dr.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO DE 2009

Peixoto, Jorge Luiz Silva

Estudo do Tempo de Acesso ao Meio em Redes em Malha sem Fio/Jorge Luiz Silva Peixoto. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

XV, 86 p.: il.; 29,7cm.

Orientadores: Luís Felipe Magalhães de Moraes

Marcial Porto Fernandez

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, 2009.

Referências Bibliográficas: p. 63 – 72.

1. Redes em Malha sem Fio. 2. IEEE 802.11e. 3. Tempo de Acesso ao Meio. I. Moraes, Luís Felipe Magalhães de *et al.*. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação. III. Título.

Aos meus pais, Edmar e Marli; a minha namorada, Marianna; a minha amiga, Juliana e; ao meu irmão mais velho, Henrique.

Agradecimentos

A Deus por ter me dado saúde e força para concluir este trabalho.

Ao professor Luís Felipe pelos seus ensinamentos, orientação acadêmica e confiança.

Ao professor Marcial Fernandez por sua dedicação, disponibilidade, presteza e orientação acadêmica.

Ao meu orientador de graduação, professor Marcos Negreiros, que me incentivou a fazer mestrado na COPPE.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Redes de Alta Velocidade (RAVEL) pelos momentos de companheirismo, estudo e alegria. Em especial ao Beto, Paulo, Bruno, Rafael Bezerra, Rafael Fernandes, Tiago e Júlio.

Aos colegas e amigos da UECE que participaram indiretamente da elaboração desta dissertação. Em especial a Juliana, Marcos, Acélio, Jeandro e Lisse.

À Armina por suas palavras de incentivo e motivação.

Ao SERPRO pela liberação de tempo parcial para o desenvolvimento deste trabalho de pós-graduação.

Aos meus colegas de trabalho do SERPRO: Cadu, pela parceria nos trabalhos de simulação; e minha ex-chefe, Socorro Alves, pelo seu apoio e compreensão.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ESTUDO DO TEMPO DE ACESSO AO MEIO EM REDES EM MALHA SEM FIO

Jorge Luiz Silva Peixoto

Setembro/2009

Orientadores: Luís Felipe Magalhães de Moraes
Marcial Porto Fernandez

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

As Redes Locais sem Fio baseadas no padrão IEEE 802.11 podem operar em dois modos: infraestruturado e ad hoc. No modo infraestruturado, as estações sem fio se comunicam por intermédio do Ponto de Acesso. No modo *ad hoc*, as estações sem fio se comunicam diretamente ou por múltiplos saltos, dependendo da distância entre elas. As Redes em Malha sem Fio, exploradas nesta dissertação, são basicamente uma mistura entre os modos infraestruturado e ad hoc. São compostas por nós sem fio do tipo cliente e roteador. Os roteadores são dispostos em locais fixos conectados à rede elétrica formando uma malha ou tronco sem fio e cumprem o papel fundamental de rotear pacotes. Os nós do tipo cliente usam essa malha para estabelecerem comunicação entre si e, principalmente, com a rede cabeada (para isso, pelo menos um roteador sem fio deve estar conectado à rede cabeada). Em particular, essas redes sem fio multissaltos baseadas no padrão IEEE 802.11 resultam em baixo desempenho e, em alguns casos, inanição de recursos para nós clientes que estão a alguns saltos de distância da rede cabeada. O mecanismo proposto nesta dissertação visa minimizar esse problema causado pela exaustão do recurso *tempo de acesso ao meio*, provendo uma utilização justa do recurso compartilhado entre os nós roteadores. Ao final, através de experimentos de simulações, verifica-se a eficácia do mecanismo.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

STUDY OF MEDIUM ACCESS TIME IN WIRELESS MESH NETWORKS

Jorge Luiz Silva Peixoto

September/2009

Advisors: Luís Felipe Magalhães de Moraes
Marcial Porto Fernandez

Department: Systems Engineering and Computer Science

Wireless Local Area Network based on IEEE 802.11 standard operates in two modes: infrastructured and ad hoc. On infrastructure mode, wireless stations communicate themselves through Access Point. On ad hoc mode, wireless stations communicate themselves either straightly or by multiple hops, depending on the distance among them. Wireless Mesh Networks, covered in this dissertation, are essentially a mix between infrastructured and ad hoc modes. These networks are composed by client and router nodes. Wireless routers are located in steady position connected to electricity network forming a mesh or wireless backhaul and play a fundamental role for the maintenance of connectivity of the network: routing packets. The client nodes use this mesh to establish communication themselves and, mainly, to wired network (at least one wireless router should be connect to wired network). In particular, these multihop wireless networks based on IEEE 802.11 standard results in poor performance and, in some cases, starvation of resources to the clients that are some hops from wired network. The objective of proposed mechanism is to minimize this problem caused by starvation of the access medium time resource and to provide a fair application of the shared resource among routers. At the end, through simulation experiments, we verify the efficiency of the mechanism.

Sumário

Lista de Figuras x

Lista de Tabelas xii

Lista de Abreviaturas xiii

1 Introdução 1

1.1 Motivação e Problema 2

1.2 Objetivo 4

1.3 Contribuições 4

1.4 Organização do texto 5

2 Fundamentação teórica 6

2.1 Padrão IEEE 802.11 6

2.1.1 Topologias 8

2.1.2 Controle de Acesso ao Meio, Camada MAC 10

2.2 Adendo QoS ao padrão IEEE 802.11 16

2.2.1 EDCA (*Enhanced Distribution Coordinate Access* – Acesso Aprimorado de Coordenação Distribuída) 17

2.2.2 HCF *Controlled Channel Access* (HCCA – Acesso de Canal Controlado do HCF) 19

2.3 Redes em malha sem fio 19

2.3.1 Arquitetura de rede 21

2.3.2 Padronização 23

2.4 Equidade em redes sem fio multissaltos 26

3 Mecanismo de priorização **30**

3.1 Visão Geral 30

3.2 Suposições 31

3.3 Solução Ótima 32

3.4 Mecanismo de Priorização 33

4 Estudo de caso: implementação do mecanismo em NS-2 **35**

4.1 Plataformas de simulação 35

4.2 NS-2 36

4.3 IEEE 802.11 MAC no NS-2 38

4.4 Suporte EDCA para NS-2.28 41

4.4.1 Implementação do EDCA para NS-2.28 por TKN 42

4.5 Adaptações no TKN EDCA 47

5 Resultados de simulação **48**

5.1 Materiais 48

5.2 Cenário 49

5.3 Resultados 51

5.4 Outros cenários 56

5.4.1 Em linha 56

5.4.2 Estrela 58

6 Conclusão **60**

6.1 Trabalhos futuros 61

Referências Bibliográficas **63**

A Código Tcl de simulação **73**

Lista de Figuras

1.1 Desproporção do número de fluxo encaminhado por nó roteador. . . . 3

2.1 IEEE 802.11 e o modelo OSI. 7

2.2 Logomarca Wi-Fi. 7

2.3 Um grupo de nós formando duas redes *ad hoc*: IBSS 1 e IBSS 2. Em redes *ad hoc*, nós formam células chamadas IBSS (*Independent Basic Service Set*). 8

2.4 Um BSS infraestruturado. 9

2.5 ESS formado pelos BSS 1 e BSS 2. 10

2.6 Problema do terminal escondido. C transmiste para B. A, que está escondido (em relação a C), transmite para B causando uma colisão em B. 11

2.7 Problema do terminal exposto. C transmite para D. B, que está exposto (em relação a C), tentar transmitir para A, mas sente o canal ocupado, adiando a transmissão. 12

2.8 RTS/CTS em funcionamento. 13

2.9 Exemplo do funcionamento do IEEE 802.11 DCF com RTS/CTS habilitado. Dois quadro *Data* são transmitidos logo após o meio ficar livre. 14

2.10 Relação de espaçamento entre quadro do IEEE 802.11e. 16

2.11 A estação ganha acesso ao meio uma vez e envia dados enquanto o TXOPLimit não expirar. 17

2.12 A figura mostra as quatro instâncias da função de coordenação EDCA de uma estação. 18

2.13 Topologia de rede WAN composta por quatro roteadores. 19

2.14 Classificação das redes sem fio multissaltos. 20
2.15 RMSF de arquitetura hierárquica, onde os nós A, B, C, D e E são do tipo roteador e 1, 2, 3, 4, 5 e 6, do tipo cliente. A e B fazem interface com RSMF e a Internet. 22
2.16 A figura mostra uma RMSF de arquitetura plana. Os nós A, B e C agem ora como cliente, ora como roteador, enquanto 1, 2 e 3 agem apenas como cliente. 23
2.17 A figura mostra uma RMSF de arquitetura híbrida formada pela combinação de uma RMSF de arquitetura hierárquica, uma rede WiMAX, Wi-Fi e uma rede de celular GSM. 24

3.1 Solução ótima. Nós clientes estariam *virtualmente* a um salto de distância do roteador de borda. 32
3.2 Esquematização da alocação de recurso. 34

4.1 Arquitetura do NS-2. 37
4.2 Simulação em NS-2. 38
4.3 Comunicação entre camadas de rede no NS-2. 39

5.1 Cenário da RMSF simulada no NS-2. 49
5.2 Vazão em Mbps por fluxo. 52
5.3 Vazão e oportunidades de transmissão por nó. 53
5.4 Descarte de pacotes devido a fila cheia. 55
5.5 Descarte de pacotes devido a colisão. 55
5.6 Cada nó cliente (5, 4, 3, 2 e 1) gera um fluxo destinado ao nó A. . . . 56
5.7 Vazão em Mbps por fluxo. 57
5.8 Vazão e oportunidades de transmissão e por nó. 57
5.9 Relação entre as métricas Oportunidades de transmissão (sem asterisco) e Vazão (com asterisco). 58
5.10 Topologia em estrela. Os nós 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 geram fluxos destinados a A. 59
5.11 Vazão em Mbps por fluxo. 59
5.12 Vazão e oportunidades de transmissão e por nó. 59

Lista de Tabelas

1.1 Exemplos de padrões de rede sem fio. 2

4.1 Parâmetros padrão de priorização. 43

5.1 Principais parâmetros de simulação. 50

5.2 Parâmetros de simulação estendidos. 51

Lista de Abreviaturas

AIFS	Arbitration Inter-Frame Space, p. 18
BSS	Basic Service Set, p. 8
CA	Categoria de Acesso, p. 17
CBR	Constante Bit Rate, p. 49
CFB	Contention Free Period, p. 15
CP	Contention Period, p. 15
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, p. 10
CTS	Clear-to-Send, p. 12
DAB	Digital Audio Broadcasting, p. 1
DCF	Distributed Coordination Function, p. 12
DIFS	DCF Interframe Space, p. 13
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum, p. 6
EDCA	Enhanced Distribution Coordinate Access, p. 16
ESS	Extended Service Set, p. 9
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum, p. 6
GNU	GNU is not Unix, p. 48
GPS	Global Positioning System, p. 1
GSM	Global System for Mobile Communication, p. 1

HCCA	HCF Controlled Channel Access, p. 16
HCF	Hybrid Coordination Function, p. 16
HC	*Hybrid Coordinator* – Coordenador Híbrido, p. 19
HWMP	Hybrid Wireless Mesh Protocol, p. 25
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, p. 2
JC	Janela de Contenção, p. 13
LLC	Logical Link Control, p. 6
MAC	Medium Access Control, p. 6
MAP	Mesh Access Point, p. 24
MPP	Mesh Portal, p. 24
MP	Mesh Point, p. 23
MSDU	MAC Service Data Unit, p. 12
NAV	Network Allocation Vector, p. 12
NS-2	Network Simulator 2, p. 36
OSI	Open Systems Interconection, p. 6
PA	Ponto de Acesso, p. 1
PCF	Point Coordination Function, p. 12
PC	Point Coordinator, p. 15
PDA	Personal Digital Assistant, p. 1
PIFS	PCF Interframe Space, p. 15
RM-AODV	Radio Metric Ad Hoc On Demand Distance Vector, p. 25
RMSF	Redes em Malha sem Fio, p. 2
RTS	Request-to-Send, p. 12

SIFS	Short Interframe Space, p. 13
SSID	Service Set Identifier, p. 8
STP	Spanning Tree Protocol, p. 25
TCP	Transmission Control Protocol, p. 49
TG	Task Group, p. 6
TXOP	Transmission Opportunity, p. 16
UDP	User Datagram Protocol, p. 49
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance, p. 7
WLAN	Wireless Local Area Network, p. 1
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network, p. 2
WMN	Wireless Mesh Network, p. 2
WPAN	Wireless Personal Area Network, p. 2
WWAN	Wireless World Area Network, p. 2