

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Informática

**Modelo para Handover Vertical Suave entre as Redes WIMAX e
UMTS Utilizando IP Móvel e IEEE 802.21**

Werley Pereira dos Santos

Belo Horizonte
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Werley Pereira dos Santos

**Modelo para Handover Vertical Suave entre as Redes WIMAX e
UMTS Utilizando IP Móvel e IEEE 802.21**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Informática.

Belo Horizonte
2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

S237e Santos, Werley Pereira dos
Modelo para Handover Vertical Suave entre as redes WIMAX e UMTS utilizando IP Móvel e IEEE 802.21. / Werley Pereira dos Santos. – Belo Horizonte, 2009.
127f. : il.

Orientadora: Fátima de Lima Procópio Duarte Figueiredo.
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de pós-graduação em Informática.
Bibliografia.

1. Redes de computadores – Teses. 2. Análise de redes (Planejamento). 3. Telefonia pela Internet I. Valente, Marco Túlio de Oliveira. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. III. Título

CDU: 681.3.01:621.39



PUC Minas
Programa de Pós-graduação em Informática

FOLHA DE APROVAÇÃO

“Modelo para Handover Vertical Suave entre as Redes WIMAX e UMTS Utilizando IP Móvel e IEEE802.21”

Werley Pereira dos Santos

Dissertação defendida e aprovada pela seguinte banca examinadora:

Prof. Fátima de Lima Procópio Duarte Figueiredo - Orientadora (PUC Minas)
Doutora em Ciência da Computação - UFMG

Prof. Antônio Alfredo Ferreira Loureiro - (UFMG)
Doutor em Ciência da Computação – University of British Columbia

Prof. Hugo Bastos de Paula - (PUC Minas)
Doutor em Engenharia Elétrica - UFMG

Prof. Raquel Aparecida de Freitas Mini - (PUC Minas)
Doutora em Ciência da Computação - UFMG

Belo Horizonte, 02 de abril de 2009.

Dedico,

À Deus por toda benção que me foi concedida em cada passo da minha vida.

Aos meus pais, Geraldo e Jô, pelo incentivo, pelas orações, por não medirem esforços para minha felicidade e por acreditarem na minha vitória mesmo quando eu não acreditei.

À minha irmã Jeane e meu sobrinho Yuri pelo apoio e amizade.

À minha amada namorada, Hérica, pela paciência, apoio, companheirismo e carinho.

Agradecimentos

Um dos grandes prazeres de escrever um trabalho como este é reconhecer os esforços das muitas pessoas que contribuíram de alguma forma para a sua produção. Enumerar todas essas pessoas não é tarefa fácil, já que, foram tantas as pessoas que ao longo de minha vida ajudaram-me a chegar ao final de mais essa jornada. Assim, gostaria de registrar aqui, de forma sucinta, os meus mais sinceros agradecimentos e minha gratidão a todos os meus amigos, colegas, ex-professores e a todas as pessoas que passaram por minha vida e que de alguma forma contribuíram para que eu me tornasse a pessoa que sou.

Em especial, gostaria de agradecer a minha orientadora, professora Fátima de Lima Procópio, que tornou possível a realização deste trabalho através de seus ensinamentos, dedicação e esforço.

Destaco ainda, meu grande amigo Marcelo Aquino, a quem sou eternamente grato pelo incentivo, pela ajuda e pelas diversas vezes em que abriu mão de suas prioridades em função do meu estudo.

Resumo

Há alguns anos, existe uma forte tendência de pesquisas com o objetivo de integrar as redes de telefonia celular, Wi-Fi e WIMAX. Uma nova geração de redes conhecida como *Next Generation Network* (NGN) se baseia nessa integração.

Apesar do intenso estudo e de várias propostas de integração já terem sido apresentadas por pesquisadores do mundo inteiro, até o momento da elaboração deste trabalho só foram encontradas propostas que apresentam resultados de análise de comportamento para integração entre as redes Wi-Fi e UMTS. Para a integração entre as redes WIMAX e UMTS há na literatura uma proposta de um modelo teórico que utiliza o IP móvel.

O padrão IEEE 802.21 apresenta uma proposta de um *framework* denominado *Media Independent Handover* (MIH), capaz de oferecer serviços para inicialização e execução do procedimento de *handover*.

O principal objetivo deste trabalho foi propor um modelo de *handover* vertical entre as redes WIMAX e UMTS utilizando o IP móvel e o *Media Independent Handover*. Para avaliar o modelo, simulações foram desenvolvidas na ferramenta *Network Simulator version 2* (NS-2) com a elaboração de cenários das redes WIMAX e UMTS integrados. Os resultados mostraram que o modelo proposto garante o *handover* vertical suave. Algumas medidas foram apresentadas para ilustrar o desempenho das diferentes classes de serviços nas duas redes, distribuídas antes e após o procedimento de *handover*.

Abstract

There are some years that researches are conducted to find cellular networks, Wi-Fi and WIMAX integration solution. There is a new networks generation known as Next Generation Network (NGN) is based on this integration.

Although this intense study and various integration proposals have already been presented by researchers on worldwide, until the elaboration moment of this work just proposals that present behavior result analysis to Wi-Fi and UMTS integration. To the WIMAX and UMTS integration there is in the literature a theoretical model proposal that uses the mobile IP.

The IEEE 802.21 specification presents a framework proposal named Media Independent Handover (MIH) that offers services to initialization and execution of the handover procedure.

The main goal of this work is to propose a vertical handover model to WIMAX and UMTS using mobile IP and Media Independent Handover. To evaluate the model, simulations were developed using the Network Simulator tool version 2 (NS-2) and WIMAX and UMTS integrated scenarios were constructed. The results showed that the proposed model assures a soft vertical handover. Some metrics were presented to illustrate the performance of different services classes over both networks, distributed before and after the handover procedure.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE ABREVIACÕES	XI
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 MOTIVAÇÃO.....	15
1.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	18
1.3 TRABALHO PROPOSTO	19
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	20
CAPÍTULO 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 FUNDAMENTOS DAS REDES WIM AX	21
2.1.1 <i>Características da Rede WIMAX</i>	22
2.1.2 <i>Arquitetura da Rede WIMAX</i>	24
2.1.3 <i>Gerenciamento de Mobilidade da Rede WIMAX</i>	27
2.2 FUNDAMENTOS DAS REDES UMTS	29
2.2.1 <i>Características da Rede UMTS</i>	30
2.2.2 <i>Arquitetura da Rede UMTS</i>	32
2.2.3 <i>Gerenciamento de Sessão e Mobilidade da Rede UMTS</i>	36
2.3 FUNDAMENTOS DO IP MÓVEL.....	42
2.3.1 <i>Arquitetura do IP Móvel</i>	42
2.3.2 <i>Funcionamento do IP Móvel</i>	44
2.3.3 <i>Versões e Extensões do IP Móvel</i>	45
CAPÍTULO 3 TRABALHOS RELACIONADOS.....	48
3.1 MODELO DE INTEGRAÇÃO NGUYEN-VUONG	48
3.1.1 <i>Introdução</i>	48
3.1.2 <i>Descrição da Arquitetura</i>	48
3.1.3 <i>Procedimento de Handover</i>	50
3.1.4 <i>Análise do Modelo</i>	56
3.2 PROPOSTA DE PADRONIZAÇÃO IEEE 802.21	57
3.2.1 <i>Introdução</i>	57
3.2.2 <i>O padrão 802.21</i>	59
3.2.3 <i>Arquitetura MIH</i>	60
3.2.4 <i>Modelo de Referência MIH</i>	68
3.2.5 <i>Protocolo MIH</i>	70
3.2.6 <i>Análise da Proposta</i>	71
CAPÍTULO 4 MODELO DE INTEGRAÇÃO PROPOSTO.....	72
4.1 INTRODUÇÃO	72

4.2	DESCRIÇÃO DA ARQUITETURA DE REDES INTEGRADAS	73
4.3	PROCEDIMENTO DE HANDOVER	75
4.3.1	<i>Handover WIMAX para UMTS</i>	76
4.3.2	<i>Handover UMTS para WIMAX</i>	80
4.4	ANÁLISE DO MODELO.....	84
CAPÍTULO 5 SIMULAÇÕES, RESULTADOS E ANÁLISES.....		86
5.1	INTRODUÇÃO	86
5.2	ALTERAÇÕES DOS MÓDULOS E TOPOLOGIA SIMULADA	87
5.3	RESULTADOS E ANÁLISES	90
5.3.1	<i>Vazão média</i>	91
5.3.2	<i>Atraso médio</i>	93
5.3.3	<i>Variação do atraso médio</i>	96
5.4	CONCLUSÕES	99
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....		100
6.1	CONCLUSÕES	100
6.2	TRABALHOS FUTUROS	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		103
ANEXO A ARQUIVOS DE SIMULAÇÃO DO HANDOVER		108
A.1	ARQUIVO HANDOVER_VERTICAL.TCL.....	108
A.2	ARQUIVO DE CENÁRIO UMTS_WIMAX.TCL	121
A.3	ARQUIVO DE CENÁRIO WIMAX_UMTS.TCL	122
A.4	ARQUIVO DE TRÁFEGO CONVERSATIONAL.TCL	123
A.5	ARQUIVO DE TRÁFEGO BACKGROUND.TCL.....	123
A.6	ARQUIVO DE TRÁFEGO INTERACTIVE.TCL	124
A.7	ARQUIVO DE TRÁFEGO STREAMING.TCL	125

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Classificação e exemplificação de redes sem fio.....	17
Figura 2.1 – Topologia ponto-multiponto da rede WIMAX.....	25
Figura 2.2 – Topologia em malha da rede WIMAX.....	26
Figura 2.3 – Modelo de referência WIMAX com ASA-Server.	27
Figura 2.4 – Hard Handover na rede WIMAX.....	28
Figura 2.5 – Fast Base Station Switching na rede WIMAX.	28
Figura 2.6 – Macro Diversity Handover na rede WIMAX.	29
Figura 2.7 – Arquitetura da Rede UMTS.....	33
Figura 2.8 – Diagrama de estado do equipamento do usuário na rede UMTS.....	37
Figura 2.9 – Soft handover na rede UMTS.	39
Figura 2.10 – Soft handover na rede UMTS com RNCs distintos.	40
Figura 2.11 – Softer handover na rede UMTS.	41
Figura 2.12 – Roteamento de datagramas no IP-Móvel.....	45
Figura 3.1 – Áreas de cobertura UMTS-WLAN e UMTS-WIMAX.....	49
Figura 3.2 – Procedimento de Handover WIMAX-UTRAN.	53
Figura 3.3 – Procedimento de Handover UTRAN-WIMAX.	55
Figura 3.4 – Cenário de mobilidade com a Generic Link Layer.	58
Figura 3.5 – Cenário de mobilidade com o Media Independent Handover.	60
Figura 3.6 – Arquitetura Media Independent Handover Function.	61
Figura 3.7 – Modelo de funcionamento do MIES.	62
Figura 3.8 – Modelo de funcionamento do MICS.	64
Figura 3.9 – Formato de mensagem TLV.	67
Figura 3.10 – Modelo de Referência do MIH.	68
Figura 3.11 – Modelo de Referência de Múltiplas Redes de Acesso.	69
Figura 3.12 – Frame MIH.	70
Figura 4.1 – Visão geral dos elementos do cenário de integração.	73
Figura 4.2 – Composição do móvel distribuída em camadas.....	75
Figura 4.3 – Procedimento de Handover WIMAX-UMTS.....	80
Figura 4.4 – Procedimento de Handover UMTS-WIMAX.....	84
Figura 5.1 – Modelo de topologia simulado.....	88
Figura 5.2 – Vazão Média no Handover UMTS-WIMAX.	92
Figura 5.3 – Vazão Média no Handover WIMAX-UMTS.	93
Figura 5.4 – Atraso Médio no Handover UMTS-WIMAX.....	94
Figura 5.5 – Atraso Médio no Handover WIMAX-UMTS.....	95
Figura 5.6 – Variação do Atraso Médio no Handover UMTS-WIMAX.....	97
Figura 5.7 – Variação do Atraso Médio no Handover WIMAX-UMTS.....	98

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Comparativo de versões do padrão 802.16.	24
Tabela 2.2 – Taxas de transmissão de dados por ambiente de operação.	31
Tabela 3.1 – Eventos de enlace e MIH.	62
Tabela 3.2 – Comandos de MIH e enlace.	64
Tabela 3.3 – Tipos de elementos de informações suportados.	67
Tabela 3.4 – Primitivas dos pontos de acesso de serviços gerenciais.....	69
Tabela 5.1 – Características principais do equipamento de simulação.....	86
Tabela 5.2 – Configurações de tráfego das simulações.	88
Tabela 5.3 – Configurações de enlaces das simulações.....	89

Lista de Abreviações

1G	Primeira Geração
2G	Segunda Geração
2.5G	Segunda Geração e Meia
3G	Terceira Geração
3GPP	<i>3G Partnership Project</i>
3GPP-2	<i>3G Partnership Project - 2</i>
4G	Quarta Geração
AAA	<i>Authorization Authentication and Accounting</i>
AAL5	<i>ATM Adaptation Layer 5</i>
AAS	<i>Adaptive Antenna Systems</i>
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
ALCAP	<i>Access Link Control Application Part Protocol</i>
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
APN	<i>Access Point Name</i>
ASA-Server	<i>Authentication and Service Authorization Server</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BE	<i>Best Effort</i>
BMC	<i>Broadcast Multicast Control</i>
BS	<i>Base Station</i>
BWA	<i>Broadband Wireless Access</i>
CBC	<i>Cipher-Block Chaining</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CID	<i>Connection Identifier</i>
CKSN	<i>Ciphering Key Sequence Number</i>
CN	<i>Core Network</i>
CoA	<i>Care-of-Address</i>
CPS	<i>Common Part Sublayer</i>
CS	<i>Convergence Sublayer</i>
D-AMPS	<i>Digital AMPS</i>
DCS-1800	<i>Digital Cellular System 1800 MHz</i>
DES	<i>Data Encryption Standard</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
EAP	<i>Extensible Authentication Protocol</i>
EDGE	<i>Enhanced Data for Global Evolution</i>
ERB	Estação Rádio Base

ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
EURANE	<i>Enhanced UMTS Radio Access Network Extensions</i>
FA	<i>Foreign Agent</i>
FBSS	<i>Fast Base Station Switching</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
F-HMIPv6	<i>Fast Handover for HMIPv6</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
GHz	<i>Giga Hertz</i>
GLL	<i>Generic Link Layer</i>
GMM	<i>GPRS Mobile Manager</i>
GMSC	<i>Gateway Mobile Switching Center</i>
GoIP	<i>Game over IP</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GSN	<i>GPRS Support Nodes</i>
GTP	<i>GPRS Tunneling Protocol</i>
GTP-C	<i>GTP Control Plane</i>
GTP-U	<i>GTP User Plane</i>
HA	<i>Home Agent</i>
HHO	<i>Hard Handover</i>
HiperACCESS	<i>High Performance Radio Access</i>
HiperMAN	<i>High Performance Radio Metropolitan Area Network</i>
HLR	<i>Home Location Register</i>
HMIPv6	<i>Hierarchical MIPv6</i>
HN	<i>Home Network</i>
HSCSD	<i>High Speed Circuit Switched Data</i>
HTTP	<i>Hyper Text Transfer Protocol</i>
IE	<i>Information Elements</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IMT-2000	<i>International Mobile Telecommunications 2000</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IS-95	<i>Interim Standard 95</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
L1	<i>Layer 1</i>
L2	<i>Layer 2</i>
LCoA	<i>Local Care-of-address</i>
LOS	<i>Line-Of-Sight</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MAP	<i>Mobility Anchor Point</i>

Mbps	Milhões de bits por segundo
MDHO	<i>Macro Diversity Handover</i>
MICS	<i>Media Independent Command Service</i>
MIES	<i>Media Independent Event Service</i>
MIH	<i>Media Independent Handover</i>
MIHF	<i>MIH Function</i>
MIS	<i>Media Independent Information Service</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
MIP	<i>Mobile IP</i>
MIPv4	<i>MIP version 4</i>
MIPv6	<i>MIP version 6</i>
MN	<i>Mobile Node</i>
MS	<i>Mobile Subscriber</i>
MSC	<i>Mobile Switching Center</i>
MSS	<i>Mobile Satellite Service</i>
NGN	<i>Next Generation Network</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
NLOS	<i>Non-Line-Of-Sight</i>
NMT	<i>Nordic Mobile Telephone</i>
NRTPS	<i>Non Real Time Polling Service</i>
NS-2	<i>Network Simulator version 2</i>
NSAPI	<i>Network Service Access Point Identifier</i>
NTT	<i>Nippon Telephone & Telegraph</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OFDMA	<i>OFDM Access</i>
OTCL	<i>Object Tool Command Language</i>
PCS-1900	<i>Personal Communication System 1900 MHz</i>
PDCP	<i>Packet Data Convergence Protocol</i>
PDN	<i>Packet Data Network</i>
PDP	<i>Packet Data Protocol</i>
PDU	<i>Packet Data Unit</i>
PHS	<i>Packet Header Suppression</i>
PHY	<i>Physical</i>
PMP	<i>Point-To-Multipoint</i>
PPP	<i>Point to Point Protocol</i>
PrRtAdv	<i>Proxy Router Advertisement</i>
OS	<i>Packet Switched</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RAI	<i>Routing Area Identifier</i>

RAN	<i>Radio Access Network</i>
RANAP	<i>RAN Application Part</i>
RCoA	<i>Regional CoA</i>
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
RED	<i>Random Early Detection</i>
RLC	<i>Radio Link Control</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
RNGREQ	<i>Ranging Request</i>
RNGRSP	<i>Ranging Response</i>
RNS	<i>Radio Network Subsystems</i>
RRC	<i>Radio Resource Control</i>
RTPS	<i>Real Time Polling Service</i>
RtSolPr	<i>Router Solicitation for Proxy Advertisement</i>
SAP	<i>Service Access Point</i>
SCCP	<i>Signaling Connection Control Part</i>
SDU	<i>Service Data Unit</i>
SFID	<i>Service Follow Identifier</i>
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>
SHO	<i>Soft Handover</i>
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i>
SM	<i>Session Management</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SOFDMA	<i>Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
SS	<i>Subscriber Station</i>
TACS	<i>Total Access Communication System</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TD-CDMA	<i>Time Division CDMA</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexed</i>
TD-SCDMA	<i>Time Division Synchronous CDMA</i>
TLV	<i>Type-Length-Value</i>
TNCP	<i>Transport Network Control Plane</i>
TS	<i>Technical Specification</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UGS	<i>Unsolicited Grant Service</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
USIM	<i>Universal Subscriber Identity Module</i>
UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
VLR	<i>Visitor Location Register</i>
VoIP	<i>Voice over IP</i>
W-CDMA	<i>Wideband CDMA</i>

Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WIMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

O crescimento da comunicação nos últimos anos e a demanda por flexibilidade e mobilidade no cotidiano das pessoas proporcionou um grande aumento na utilização de tecnologias de comunicação voltadas para redes sem fio. Essas redes possuem frequências, taxas de transmissão e capacidades de cobertura variáveis. Suas aplicabilidades abrangem ambientes pessoais (*Wireless Personal Area Network* – WPAN), como o *Bluetooth*, publicado pelo *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) sob o código IEEE 802.15.1. Passam por ambientes de redes locais (*Wireless Local Area Network* – WLAN), como o *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) representado pelos protocolos da série IEEE 802.11. E por fim, chegam a áreas metropolitanas (*Wireless Metropolitan Area Network* – WMAN) e de longa distância (*Wireless Wide Area Network* – WWAN), como as redes *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WIMAX) e de telefonia celular, respectivamente.

O *Bluetooth* pode ser encontrado em diversos dispositivos, tais como, celulares, mouses e teclados, devido ao baixo custo de sua tecnologia. A versão 2.0 do *Bluetooth* atua em uma frequência de 2.4 GHz, sendo capaz de cobrir uma área de até 100 m e de alcançar taxas de transmissões de até 3 Mbps [Fourty et al., 2005].

As redes Wi-Fi são facilmente encontradas em empresas, aeroportos, hotéis, centros de conferências e ambientes onde as redes cabeadas não podem ser implantadas, como em centros históricos. Apesar das várias versões e extensões publicadas, as mais utilizadas comercialmente são as versões 802.11a, 802.11b e 802.11g, que atuam num espectro de frequência entre 2.4 a 5.0 GHz, com área de cobertura de até 100 m e taxa de transmissão de dados de 5 até 54 Mbps [Schweitzer et al., 2005].

O padrão WIMAX, IEEE 802.16, foi publicado em junho de 2004 e é baseado no modelo de referência *Open System Interconnection* (OSI), porém, re-especifica a camada física e a camada de enlace, incluindo uma interface aérea para acesso sem fio à banda larga (*Broadband Wireless Access* – BWA) ponto-multiponto. As redes WIMAX são capazes de cobrir áreas que podem chegar a 50 Km e possuem taxas de transmissão de até 100 Mbps. Tipicamente, elas oferecem os mesmos serviços das redes tradicionais de banda larga. Contudo, as aplicações do tipo voz sobre IP (*Voice over IP* – VoIP) são as mais cotadas para esse padrão [Jindal et al., 2005].

As redes celulares, ou sistemas de telefonia móvel, tiveram diversas melhorias implementadas ao longo de sua história. Classificadas por Vulic et al. (2006) como redes de longa distância geograficamente distribuída, a primeira geração (1G) do sistema de telefonia celular era analógica e as operadoras ofereciam somente o serviço de voz. Contudo, nos meados dos anos 80, a massificação dos dispositivos móveis, devido ao barateamento dos equipamentos e a expansão das redes celulares, fizeram com que serviços digitais, tais como, o acesso à Internet, pudessem ser agregados aos dispositivos móveis, fazendo surgir a segunda geração (2G) dos equipamentos móveis [Bresil, 2004].

Apesar da sofisticação da telefonia móvel 2G, as taxas de transmissão de dados de apenas 14,4 Kbps, através de sistemas como o *Global System for Mobile Communications* (GSM), eram insatisfatórias e acabaram fomentando a busca dos fabricantes e operadoras por obter soluções que pudessem suportar maiores taxas de transmissão de dados. Isso levou à criação de padrões de geração intermediária (2.5G), como por exemplo, o *General Packet Radio Service* (GPRS) com taxas de até 172 Kbps e, mais recentemente, de padrões da terceira geração (3G) como o *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS), com taxas máximas de 2 Mbps e que podem ser expandidos para até 10 Mbps [Vulic et al., 2006].

A Figura 1.1 ilustra a abrangência e a classificação das redes sem fio. Nessa figura são sintetizadas as características dos padrões e tecnologias mencionados acima como forma de exemplificar cada classe ilustrada.

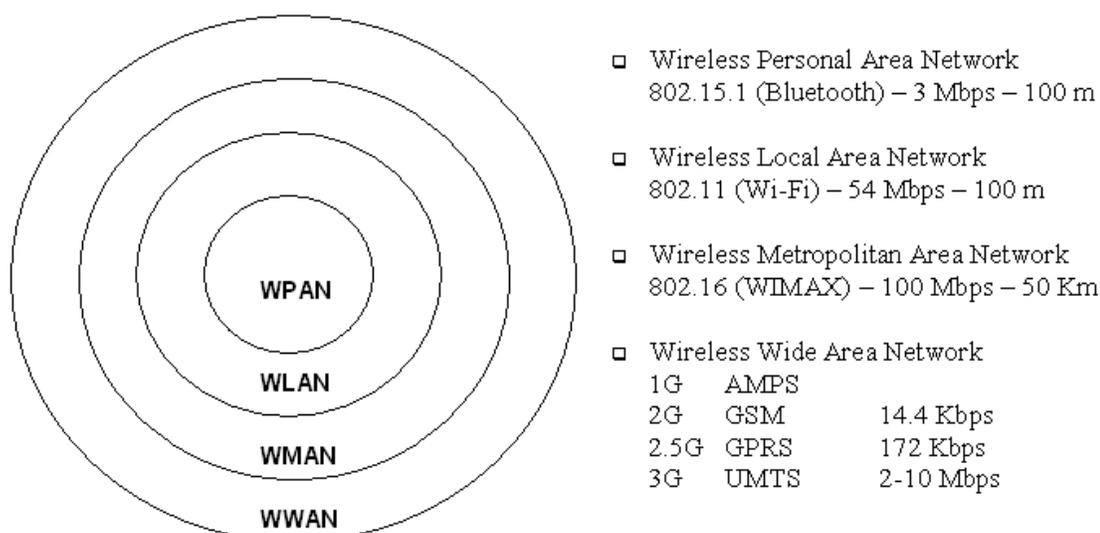


Figura 1.1 – Classificação e exemplificação de redes sem fio.

Fonte: Brasil, 2004.

Analisando-se o contexto evolutivo das redes de telefonia celular, mesmo com todo o esforço dos fabricantes e operadoras, percebe-se que as taxas oferecidas pelos padrões existentes ainda são pequenas se comparadas às taxas oferecidas pelas WLANs e WMANs. De acordo com Nguyen-Vuong et al. (2006), o sistema UMTS é capaz de oferecer alta mobilidade e larga área de cobertura. Contudo, suas taxas de dados não são suficientes para satisfazer aplicações com dados intensos e elevada carga de serviço.

Diante disso, há alguns anos, existe uma forte tendência de pesquisas com objetivo de integrar as redes de telefonia móvel com outras redes, podendo dessa forma, extrair benefícios das características específicas de cada delas, como taxas de transmissão e áreas de cobertura, além de manter a infraestrutura existente. Essas pesquisas vêm apontando para uma nova geração de redes denominada de *Next Generation Network* (NGN) [Kibria et al., 2005]

Prover ao usuário o deslocamento de um ponto de acesso para outro dentro de uma mesma rede sem queda de conexão, sem perda de sessão/dados e com continuidade dos serviços, ou seja, um *handover* horizontal suave, é um grande desafio vivenciado por operadoras de telefonia móvel. Pensar, então, em um cenário de redes integradas, onde o usuário possa se deslocar entre pontos de acesso de redes com tecnologias heterogêneas e com garantia de continuidade de conexão, sessão e serviços, ou seja, promover um *handover* vertical suave, torna-se um desafio ainda maior. Entretanto, esse desafio tem sido um grande atrativo para fabricantes/operadoras na captação de milhares de clientes. Permitir, por

exemplo, que um usuário, que esteja assistindo a uma partida de futebol em seu equipamento móvel, consiga se deslocar para diversos pontos da cidade ou até mesmo fora dela sem perda de conexão, mesmo não estando mais na área de cobertura de sua rede de origem, é algo formidável [Silva et al., 2008].

1.2 Descrição do Problema

Apesar do intenso estudo e de várias propostas a respeito de integração entre redes sem fio terem sido apresentadas por pesquisadores do mundo inteiro, ainda há questões em aberto. As propostas descritas em [Kibria et al., 2005], [Makaya e Pierre, 2005], [Ivanek, 2007], [Chen et al., 2007] e [Bresil, 2004] apresentam resultados de análise de comportamento dirigidos para a integração entre as redes Wi-Fi e UMTS utilizando modelos matemáticos.

De acordo com Nguyen-Vuong et al. (2006), o surgimento do padrão WIMAX, que fornece acesso às redes sem fio com taxas de transmissão e áreas de cobertura maiores que os das redes WLAN, tem mudado o foco dos estudos, fazendo surgir diversas discussões sobre a integração entre as redes WIMAX e UMTS. Capaz de oferecer melhor uso das vantagens de ambas as tecnologias, essa integração proporciona às operadoras de telefonia móvel usufruir da alta velocidade e do baixo custo do WIMAX. Além disso, a tecnologia WIMAX pode ser um complemento para o UMTS em termos de coberturas geográficas e qualidade do serviço (*Quality of Service* – QoS). Dessa forma, muitas comunidades de pesquisa, órgãos de padronização, fabricantes e operadoras se sentem atraídos pela possibilidade de integrar as tecnologias WIMAX e UMTS.

Diante da grande importância dada aos estudos a respeito de redes integradas, uma proposta de padronização de integração entre redes sem fio, denominada *Media Independent Handover* (MIH), vem sendo especificado pelo IEEE sob a nomenclatura IEEE 802.21 [Stein, 2006]. Baseada no modelo de referência *Generic Link Layer* (GLL) apresentado em [Sachs, 2003], essa proposta tem como objetivo descrever um *framework* contendo métodos e procedimentos que facilite o processo de *handover*, tanto para redes com tecnologias homogêneas quanto heterogêneas.

Focado no interesse em se integrar as tecnologias WIMAX e UMTS, Nguyen-Vuong et al. (2006) propõe um modelo teórico de integração entre essas redes utilizando o IP Móvel.

Esse modelo, contudo, não considera a proposta de padronização IEEE 802.21 e, segundo o autor, não foi testado nem simulado para avaliação.

A realização de experimentos de integração entre diferentes redes em ambientes reais pode ser muito difícil, complexa e ter custos elevados. O processo de integração requer total colaboração entre as operadoras dessas redes, disponibilizando suas infraestruturas para estudos e experimentações, o que, na prática, nem sempre é possível. Diante dessa dificuldade, a utilização de um ambiente de simulação, torna-se uma alternativa atraente para viabilizar estudos de comportamento de redes integradas.

Torna-se, então, relevante criar um modelo de integração entre as redes WIMAX e UMTS que considere a proposta de padronização IEEE 802.21 e que seja reproduzido e avaliado em um ambiente de simulação. Dessa forma, será possível prover estudos e análises a partir de resultados que imitam, na totalidade ou em parte, as propriedades e comportamentos dessa integração em uma escala menor, permitindo sua utilização para avaliar projetos reais de integração.

1.3 Trabalho Proposto

Este trabalho apresenta um modelo de integração entre as redes WIMAX e UMTS baseado no modelo de integração definido por Nguyen-Vuong et al. (2006) e na proposta de padronização de integração que vem sendo especificada pelo IEEE [Gupta, 2006]. Ambos são descritos no Capítulo 3. Para avaliação do modelo de integração entre as redes WIMAX e UMTS, foi desenvolvido um ambiente simulado. Dessa forma, é possível se analisar a eficiência do modelo proposto e a interoperabilidade dos serviços oferecidos em ambas as redes em relação à garantia de um *handover* vertical suave.

Como principais contribuições, destaca-se, o modelo de integração entre as redes WIMAX e UMTS e o ambiente de simulação. Através da avaliação de comportamento da integração e ajustes no modelo, análises de viabilidade da oferta de novos serviços e avaliação de qualidade de serviço poderão ser propostas, visando-se um maior grau de satisfação aos clientes de operadoras de telefonia celular.

As simulações foram desenvolvidas na ferramenta *Network Simulator version 2 (NS-2)*, já bastante conhecida e utilizada no meio acadêmico [Saunders, 2004], com a utilização dos

módulos WIMAX e MIH providos por [NIST, 2008] e do módulo UMTS provido por [EURANE, 2008]. A utilização dessa ferramenta permite, não só para os autores da pesquisa, mas também para outros, a reprodução da simulação para comprovar os resultados obtidos, a correção de possíveis erros e a continuidade em trabalhos futuros.

1.4 Organização do Texto

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: o Capítulo 2 aborda a revisão de literatura, onde são apresentadas as tecnologias envolvidas na proposta de integração, WIMAX e UMTS e o protocolo IP Móvel (*Mobile IP – MIP*), utilizado como componente chave nas simulações para gerenciar questões de mobilidade do usuário. O Capítulo 3 descreve os trabalhos relacionados. O Capítulo 4 aborda o modelo de integração WIMAX-UMTS proposto. O Capítulo 5 apresenta as simulações, resultados e análises. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões finais e os trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Fundamentos das Redes WIMAX

As redes WIMAX foram projetadas para prover acesso sem fio aos serviços de Internet banda larga em regiões metropolitanas. Atuando como uma alternativa às tradicionais redes cabeadas, com desempenho equivalente, o WIMAX vem sendo desenvolvido com base no padrão IEEE 802.16, cuja proposta engloba menores custos de infraestrutura e de implantação, baixa latência, segurança avançada e tratamento de requisitos de Qualidade de Serviço (*Quality of Service – QoS*) [Schweitzer et al., 2005].

De acordo com Viale e Pirelli (2005), as redes WIMAX podem também ser desenvolvidas de modo a serem compatíveis com os padrões *High Performance Radio Access* (HiperACCESS) e *High Performance Radio Metropolitan Area Network* (HiperMAN), descritos pelo *International Telecommunication Union* (ITU) e pela *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), respectivamente. Dessa forma, o WIMAX pode ser definido como uma tecnologia em equilíbrio global. Dentre as empresas envolvidas em seu desenvolvimento, a Intel e a Nokia são, atualmente, as que lideram o maior grupo de pesquisa WIMAX, denominado WIMAX Fórum.

Esta subseção tem como objetivo apresentar as redes WIMAX. A seguir serão abordadas suas características, sua arquitetura e o gerenciamento de sessão e mobilidade de seus usuários.

2.1.1 Características da Rede WIMAX

O grupo IEEE responsável pelo desenvolvimento do padrão 802.16, foi formado em 1998 e seu foco inicial foi o desenvolvimento de uma rede de banda larga sem fio ponto-multiponto baseada na comunicação por linha de visada direta (*Line-Of-Sight – LOS*), onde o receptor deveria estar visível ao emissor. Descrito para operar na faixa de frequência entre 10 a 66GHz e com Multiplexação por Divisão de Tempo (*Time Division Multiplexed – TDM*) na camada *Media Access Control* (MAC), a primeira versão do padrão foi concluída em dezembro de 2001 [Lima et al., 2006].

Posteriormente, algumas otimizações foram introduzidas ao padrão. Incluíram-se normas para assegurar a interoperabilidade entre os fabricantes, ausência de visada direta (*Non-Line-Of-Sight – NLOS*), onde o receptor não precisaria mais estar visível ao emissor. Além disso, incluiu-se a operação na faixa de frequência de 2 a 11GHz, Multiplexação por Divisão de Frequência Ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM*) na camada Física (*Physical – PHY*) e suporte a Múltiplos Acessos por Divisão Ortogonal de Frequência (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access – OFDMA*) na camada MAC. Esse processo permite a subdivisão do canal em vários subcanais sem que haja interferência entre si, de forma que a taxa completa de transmissão de uma portadora simples é quebrada em taxas menores de múltiplas portadoras [IEEE, 2005].

Como consequência dessas otimizações, diversas versões do padrão foram geradas, como a 802.16a, 802.16b, 802.16c e por fim, em 2004, a versão 802.16d, chamada IEEE 802.16-2004. A versão IEEE 802.16-2004 substituiu todas as versões anteriores e serviu como base para a primeira solução WIMAX. Essa solução era direcionada apenas para aplicações fixas, sem mobilidade do usuário entre as antenas transmissoras, daí o nome, WIMAX fixo [Schweitzer et al., 2005].

Em 2005, o grupo IEEE concluiu e aprovou a versão do padrão denominada IEEE 802.16e, que acrescentou ao padrão IEEE 802.16-2004 apoio à mobilidade entre suas antenas transmissoras. O IEEE 802.16e, referido como WIMAX móvel, constitui a base para a solução WIMAX nômade e para aplicações móveis. Além disso, a nova versão do padrão introduziu suporte ao *Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (SOFDMA), uma variação do OFDMA que reserva um número variável de portadoras, suporte para múltiplas entradas e saídas (*Multiple Input Multiple Output – MIMO*) e sistema de antenas

adaptativas (*Adaptive Antenna Systems – AAS*), que será descrito mais adiante. Outros fatores, como a economia de energia dos equipamentos móveis, aspectos de segurança e taxa de transferência foram melhorados sensivelmente na versão IEEE 802.16e [Galvão, 2006].

O sistema de antenas adaptativas das redes WIMAX (AAS), é uma característica bastante interessante da camada física. Nesse sistema as antenas têm a capacidade de alterar dinamicamente entre três esquemas de modulação, dependendo da distancia em que o usuário se encontra da antena transmissora. Para usuários mais próximos, onde o sinal é mais forte, utiliza-se a modulação 64 *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) que envia 6bit/símbolo, fazendo com que se alcance uma taxa máxima de 100Mbps. Para usuários intermediários, utiliza-se a modulação 16QAM que tem maior imunidade a interferência e envia 4bit/símbolo com uma taxa máxima de 75Mbps. Já para os usuários mais distantes, utiliza-se a modulação *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) que envia 2bit/símbolo oferecendo uma taxa máxima de 50Mbps [Miquelin, 2006].

Para garantia da qualidade dos serviços foram incorporadas, já à versão 802.16-2004, definições e tratamentos para requisitos de QoS em quatro classes: (i) *Unsolicited Grant Service* (UGS) que trata os serviços de tráfego em tempo real com taxa de bits constantes, como o VoIP; (ii) *Real Time Polling Service* (RTPS) que trata serviços de tráfego em tempo real com taxa de bits variável. As transmissões de vídeos conferência, por exemplo, utilizam esse recurso; (iii) *Non Real Time Polling Service* (NRTPS) que trata serviços de tráfego em tempo não real com taxa de bits variável, utilizado para tráfegos em tempo não real, com pacotes de tamanhos variáveis como, por exemplo, em alguns tipos de vídeos; e (iv) *Best Effort* (BE) que significa melhor esforço. Nesse recurso, as estações de clientes solicitam largura de banda em *slots* variáveis ou em alguma oportunidade de transmissão [Schweitzer et al., 2005].

Quanto ao aspecto de segurança, as redes WIMAX possuem um robusto tratamento definido a partir de sua versão 802.16-2004. Seu sistema de segurança garante um forte suporte de criptografia através da utilização do padrão de criptografia avançada (*Advanced Encryption Standard – AES*). Além disso, o WIMAX possui um reforçado protocolo de privacidade e gerenciamento de chaves oferecendo uma arquitetura de autenticação bastante flexível, baseada no *Extensible Authentication Protocol* (EAP), que habilita uma variedade de credenciais para o usuário, como nome, senha, certificado digital e *smartcard* [Galvão, 2006].

A fim de oferecer uma visão geral das redes WIMAX, segue um resumo das principais características. A Tabela 2.1 apresenta esse resumo como efeito comparativo entre as diferentes versões do padrão 802.16 [Galvão, 2006].

Tabela 2.1 – Comparativo de versões do padrão 802.16.

Fonte: Dados da pesquisa, adaptado de [Galvão, 2006].

Característica	802.16-2004	802.16-e
Espectro	2 a 11 GHz	2 a 6 GHz
Canal de propagação	NLOS	NLOS
Taxa de transmissão	Até 100 Mbps	Até 15 Mbps
Multiplexação	OFDM, OFDMA	OFDM, OFDMA, SOFDMA
Modulação	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Mobilidade	Fixo	Móvel
Largura de canal	Selecionável entre 1,25 e 20 MHz	Selecionável entre 1,25 e 20 MHz
Raio da célula	Típico 5 a 8 km Máximo de 50 km	Típico 1,5 a 5 km

2.1.2 Arquitetura da Rede WIMAX

A arquitetura das redes WIMAX suporta dois tipos de topologias, a ponto-multiponto (*point-to-multipoint* – PMP) e em malha (*mesh*). Em ambos os tipos, a arquitetura é composta por Estações Base (*Base Stations* – BS) e por Estações Assinantes (*Subscriber Stations* – SS). As Estações Base são as antenas de transmissão. Elas são fixas e formadas por feixes largos com vários setores dispostos para fornecer uma abrangência de 360 graus. Suas principais finalidades são a coleta de dados dentro das células e o encaminhamento desses dados às Estações Assinantes. Como funções adicionais inclui-se gerenciamento de micromobilidade, como ativação de *handoff*, gerenciamento de recursos de rádio, aplicação de políticas de qualidade de serviços, classificação de tráfego, proxy *Dynamic Host Configuration Protocol* (DHCP), gestão de chave de autenticação e gestão de sessão. As Estações Assinantes são as responsáveis por prover, aos clientes, o acesso às redes WIMAX. Elas podem ser móveis, como os terminais móveis dos usuários, ou fixas, como estações de uma sub-rede, seja pública, doméstica, privada, corporativa ou outra. A frequência de operação das redes WIMAX, tanto nas Estações Base quanto nas Estações Assinantes, é flexível e autoconfigurável. Isso garante adequação à legislação aplicada em cada país e a otimização de rotas, eliminando nós defeituosos ou percursos congestionados [Schweitzer et al., 2005].

Na topologia ponto-multiponto não há comunicação nem conexão entre as Estações Assinantes. Apenas as Estações Base são interconectadas, sendo possível fazê-lo, tanto por tecnologia sem fio quanto por cabeamento óptico ou algo similar. Nessa topologia a rede se comporta semelhante a uma rede infraestruturada, ou seja, os dados são trafegados apenas das Estações Base para as Estações Clientes e vice-versa. Além das Estações Base e Estações Assinantes, podem ser inseridos outros elementos, como repetidores, para propagar a transmissão dos sinais até longas distâncias e cobrir uma área maior entre as Estações Base. Nessa topologia não são necessários equipamentos como roteadores e comutadores entre as Estações Assinantes. Contudo, existem limitações quanto ao número de clientes que podem ser atendidos devido a limitações de linhas visadas de cada Estação Base. A Figura 2.1 ilustra a interação dos elementos da topologia ponto-multiponto. Nesse exemplo é possível observar que a rede WIMAX está conectada aos *Hot-Spots* de redes WiFi, ou seja, as Estações Assinantes são na verdade sub-redes que fornecem acesso ao clientes finais.

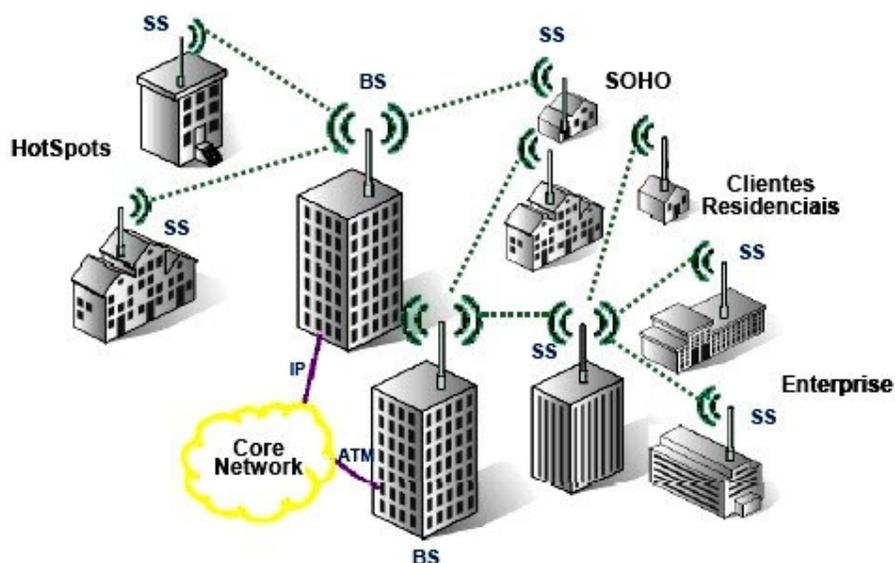


Figura 2.1 – Topologia ponto-multiponto da rede WIMAX.

Fonte: [Figueiredo, 2006].

Na topologia em malha são mantidas as mesmas funcionalidades da topologia ponto-multiponto. Entretanto, é permitido que haja comunicação entre as Estações Assinantes. Assim, as Estações Assinantes podem funcionar como nós repetidores, possibilitando aumentar o número de clientes sem precisar aumentar o número de Estações Base. A principal vantagem dessa topologia é a redução no custo de infraestrutura, pois, apesar de ser necessário adicionar equipamentos roteadores entre as Estações Assinantes, economiza-se em

relação à quantidade de Estações Base, que é um elemento de custo mais elevado. A Figura 2.2 ilustra a interação dos elementos da topologia em malha. Nesse exemplo é possível se observar que as Estações Assinantes são sub-redes privadas que comunicam entre si, atuando ainda, como nós repetidores.

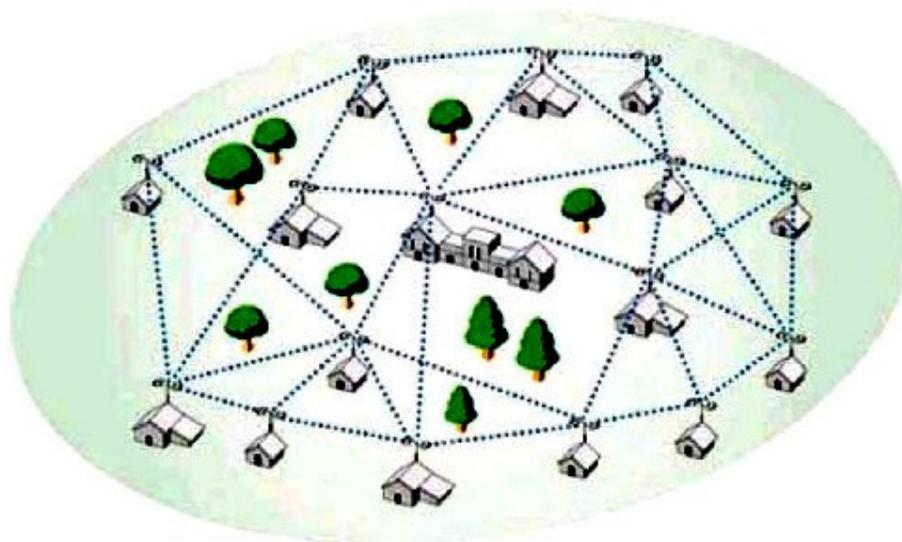


Figura 2.2 – Topologia em malha da rede WIMAX.

Fonte: [Figueiredo, 2006].

Para assegurar os procedimentos de autenticação, autorização e contabilidade (*Authorization Authentication and Accounting – AAA*), gerenciamento de assinantes e outros, o padrão IEEE 802.16 descreve que um elemento, denominado Servidor de Serviço de Autorização e Autenticação (*Authentication and Service Authorization Server – ASA-Server*), poderá ser incluído na arquitetura WIMAX. Esse elemento pode, inclusive, garantir que diferentes operadoras possam coabitar suas redes em uma mesma área geográfica. A Figura 2.3 ilustra um modelo de referência para interação dos elementos da arquitetura WIMAX com o ASA-Server. Nesse exemplo são incluídas: a interface U, que representa a interface de comunicação da Estação Assinante com a Estação Base, a interface IB, que representa a interface de comunicação entre as Estações Base e a interface A, que representa a interface de comunicação das Estações Base com o ASA-Server [IEEE, 2005].

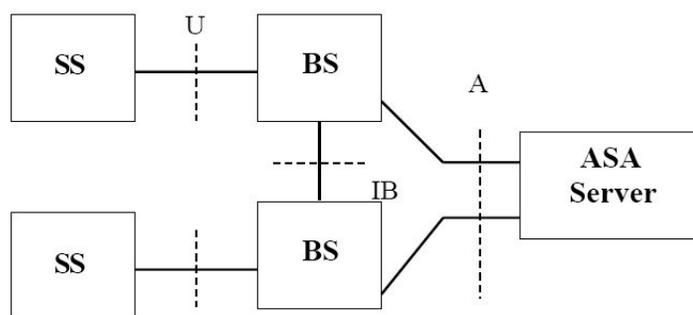


Figura 2.3 – Modelo de referência WIMAX com ASA-Server.

Fonte: [IEEE, 2005].

2.1.3 Gerenciamento de Mobilidade da Rede WIMAX

O mecanismo de gerenciamento de mobilidade em uma rede WIMAX tem como principal objetivo a promoção de continuidade dos serviços oferecidos aos usuários entre suas Estações Base. Ele é oferecido apenas na versão móvel da rede WIMAX, IEEE 802.16e. Baseado na gerência de mobilidade do IP Móvel (*Mobile IP – MIP*), descrito na subseção 2.2, que é tradicionalmente utilizada em redes totalmente IP, a rede WIMAX suporta três tipos diferentes de handover, o *Hard Handover (HHO)*, o *Fast Base Station Switching (FBSS)* e o *Macro Diversity Handover (MDHO)*. Desses o *Hard Handover* é obrigatório e os demais são opcionais [Becvar e Zelenka, 2006].

No *Hard Handover* a conexão entre a Estação Base corrente e a Estação Assinante é rompida antes que seja estabelecida uma conexão a Estação Base alvo. Esse tipo de *handover* ocorre quando a potência de sinal de uma Estação Base vizinha excede a potência de sinal emitida pela Estação Base corrente. Dessa forma, não é possível identificar quando a Estação Assinante está próxima de realizar o processo de *handover*. Assim, perdas de pacotes são muito comuns de acontecerem. A Figura 2.4 ilustra o *Hard Handover* onde há sobreposição de potência de sinal da Estação Base 1 em relação à Estação Base 2.

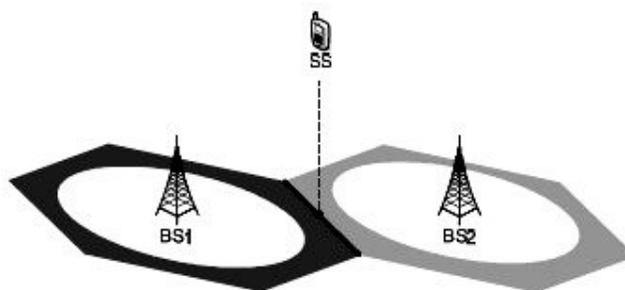


Figura 2.4 –Hard Handover na rede WIMAX.

Fonte: Adaptado de [Becvar e Zelenka, 2006].

No *Fast Base Station Switching* a Estação Assinante mantém uma conexão válida simultaneamente com mais de uma Estação Base. A Estação Assinante armazena uma lista das Estações Base envolvidas, chamada *Active Set* e monitora continuamente essa lista, mantendo uma identificação válida da conexão com cada uma das Estações Base. A comunicação fim-a-fim é realizada apenas com uma das Estações Base eleita como Estação Base âncora (*anchor BS*). Quando a Estação Assinante decide trocar de uma Estação Base para outra, não é necessário conectar-se a Estação Base alvo. A Estação Assinante simplesmente ativa o canal de *uplink* e *downlink* com a Estação Base alvo. A Figura 2.5 ilustra o *Fast Base Station Switching* onde são apresentadas a Estação Assinante, as Estações Base ativas e a comunicação com a Estação Base âncora.

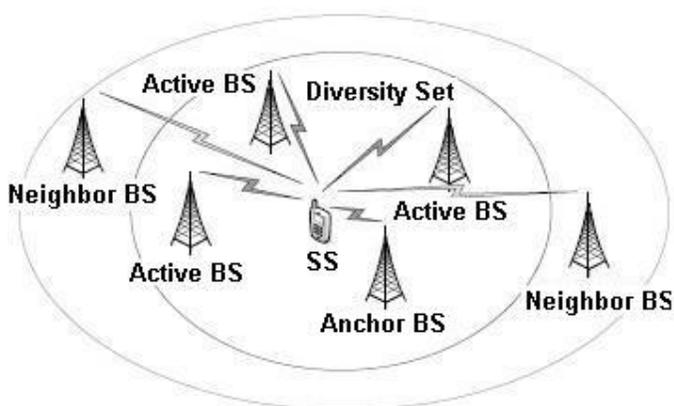


Figura 2.5 – Fast Base Station Switching na rede WIMAX.

Fonte: Adaptado de [Becvar e Zelenka, 2006].

O *Macro Diversity Handover* é similar ao *Fast Base Station Switching*. Entretanto, a comunicação fim-a-fim é feita com todas as Estações Base ativas do *Active Set*. No

procedimento de *downlink*, as múltiplas cópias de dados recebidas pela Estação Assinante são descartadas e/ou agrupadas. No procedimento de *uplink* é selecionado o melhor canal de *uplink* para que a Estação Assinante envie os dados. A Figura 2.6 ilustra a comunicação no *Macro Diversity Handover*. Nessa figura, é possível se observar que a Estação Assinante mantém conexões ativas com varias Estações Base.

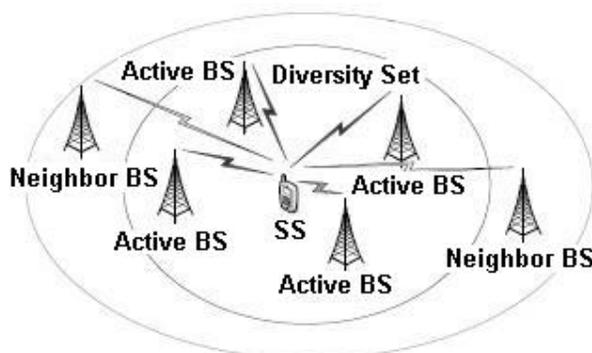


Figura 2.6 – Macro Diversity Handover na rede WIMAX.

Fonte: Adaptado de [Becvar e Zelenka, 2006].

Analisando esses procedimentos de *handover* é possível se perceber que, tanto o *Fast Base Station Switching* quanto o *Macro Diversity Handover* oferecem uma performance superior ao *Hard Handover*. Contudo, ambos requerem que as Estações Base estejam sincronizadas, utilizando a mesma frequência de portadora. Além disso, há um aumento considerável no tráfego das informações, principalmente no caso do *Macro Diversity Handover*.

2.2 Fundamentos das Redes UMTS

Os sistemas de telefonia celular possuem grande importância no mundo moderno. As diversas melhorias implementadas ao longo de sua história, conforme já mencionado, contextualizam uma evolução dividida em várias gerações. Inicialmente sistemas analógicos, como *Advanced Mobile Phone System* (AMPS), *Total Access Communication System* (TACS), *Nippon Telephone & Telegraph* (NTT) e *Nordic Mobile Telephone* (NMT), constituíam a primeira geração (1G), onde apenas os serviços de voz eram oferecidos. Os

sistemas digitais foram denominados sistemas de segunda geração (2G), podendo ser citados o *Digital AMPS (D-AMPS)*, o *Global System for Mobile Communications (GSM)*, o *Interim Standard 95 (IS-95)*, o *Digital Cellular System 1800 MHz (DCS-1800)*, o *Personal Communication System 1900 MHz (PCS-1900)* e o *Code Division Multiple Access (CDMA)*. Em seguida surgiram os sistemas como *General Packet Radio Service (GPRS)*, *High Speed Circuit Switched Data (HSCSD)*, *CDMA-2000-1x* e *Enhanced Data for Global Evolution (EDGE)* que pertencem a uma geração tida como intermediária (2.5G). Por fim, chegou a terceira geração (3G), quem vem sendo recentemente comercializada no mercado brasileiro [Storck, 2007].

Apoiados no projeto de redes de terceira geração da *International Telecommunication Union (ITU)*, denominado *International Mobile Telecommunications 2000 (IMT-2000)*, vários sistemas foram definidos com o objetivo de alcançar altas taxas na transferência de dados, cobertura total e *roaming* internacional. Dentre esses sistemas, podem ser citados o *Wideband CDMA (W-CDMA)*, o *Time Division CDMA (TD-CDMA)*, o *Time Division Synchronous CDMA (TD-SCDMA)* e os mais difundidos, *CDMA-2000*, desenvolvido pelo grupo *3G Partnership Project - 2 (3GPP-2)* e adotado como padrão americano, e o *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)*, padrão europeu desenvolvido pelo grupo *3G Partnership Project (3GPP)* e adotado também pelo Brasil.

As principais diferenças envolvidas entre o *CDMA-2000* e o *UMTS* se devem a interesses políticos e questões de compatibilidade com os padrões já existentes. No caso, o *CDMA-2000* é compatível com o sistema americano *IS-95*, enquanto o *UMTS* é considerado um sucessor do *GPRS*, sistema utilizado na Europa, no Brasil e em todo mundo [Storck, 2007], [Straccialano, 2008].

Esta subseção tem como objetivo apresentar o padrão *UMTS*. A seguir serão abordados suas características, sua arquitetura e o gerenciamento de sessão e mobilidade de seus usuários.

2.2.1 Características da Rede UMTS

O padrão *UMTS* possui uma rede de núcleo compatível com a tecnologia *GPRS* e em conformidade com os princípios do projeto *IMT-2000*. A primeira especificação do padrão

UMTS foi publicada em 1999 e recebeu o nome de *Release 99*. Essa especificação define as questões relacionadas à camada de transporte da rede UMTS. Desde então, outras *releases* foram publicadas introduzindo novos conceitos e características à rede, como a *Release 5*, que especifica uma arquitetura de rede fim-a-fim baseada no protocolo IP. A *Release 6* que introduz características para aumentar a capacidade e o desempenho da rede, principalmente através da tecnologia HSDPA. E a mais recente, *Release 7*, que apresenta melhorias e inclui novas especificações na tecnologia HSDPA, tais como *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), conectividade contínua, Jogos sobre IP (*Game over IP – GoIP*) e otimizações para serviços de tempo real [Pereira-Ricardo, 2001].

Além disso, várias especificações técnicas (*Technical Specification – TS*) foram publicadas pelo grupo 3GPP para redes UMTS [3GPP, 2008]. Dentre elas, temos, a TS 23.110, que especifica serviços e funções. A TS 25.301, que especifica protocolos da interface de rádio. A TS 25.321, que especifica protocolos de controle de acesso ao meio. A TS 25.322, que especifica o *Radio Link Control* (RLC). A TS 25.323, que especifica o protocolo da convergência de dados do pacote. A TS 25.324, que especifica o *Broadcast/Multicast Control* (BMC). A TS 25.331, que especifica controle de recurso de rádio. E por fim, as especificações TS 21.101, TS 25.401, TS 25.410, TS 25.411, TS 25.413, TS 25.420, TS 25.423, TS 25.430 e TS 25.433 que descrevem a *UMTS Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN) e suas interfaces.

Capazes de oferecer os tradicionais serviços de telefonia móvel, como voz, *Short Message Service* (SMS), identificador de chamadas, chamadas em espera, conferências e outros, as redes UMTS herdaram muitas características das redes GPRS. Contudo, incluem características próprias bastante significativas, como o suporte para tráfego de dados em tempo real, padrões de qualidade de serviço e utilização das tecnologias W-CDMA e TD-CDMA em sua interface aérea, ao invés da TDMA. Também suportam, cobertura total, *roaming* internacional e taxas de transferência de dados que variam de acordo com o ambiente de operação e a velocidade do terminal móvel [Straccialano, 2008]. A Tabela 2.2 apresenta essas taxas.

Tabela 2.2 – Taxas de transmissão de dados por ambiente de operação.

Fonte: [Straccialano, 2008].

Ambiente	Velocidade do Terminal móvel	Taxa máxima de transmissão
Rural outdoor	250 km/h	144 kbps
Urbano/Suburbano outdoor	150 km/h	384 kbps
Indoor/Outdoor curto alcance	10 km/h	2 Mbps

Para garantia da qualidade do serviço e compatibilidade entre operadoras, apesar das redes UMTS permitirem serviços diferenciados conforme as estratégias de cada operadora, os serviços de voz, fax, SMS e chamadas de emergência foram padronizados. Além disso, quatro classes de QoS foram predefinidas com objetivo de classificar cada um dos serviços prestados. Essas classes são: (i) *Conversational*, para serviços como voz, vídeo, chamadas e serviços interativos tempo real; (ii) *Streaming*, para serviços do tipo multimídia, vídeo sob demanda e *webcast*; (iii) *Interactive*, para navegação na Internet, jogos em rede, acesso a aplicativos na WEB; (iv) *Background* para serviços como e-mail, SMS e *downloads* [3GPP, 2006] e [Straccialano, 2008].

2.2.2 Arquitetura da Rede UMTS

A arquitetura de uma rede UMTS consiste basicamente na interação de três grandes domínios: (i) Equipamento do Usuário (*User Equipment – UE*) que permite ao usuário conectar-se a rede UMTS; (ii) Rede Terrestre de Acesso à Rádio do UMTS (*UMTS Terrestrial Radio Access Network – UTRAN*) que fornece para o Equipamento do Usuário o método de acesso à interface aérea e; (iii) Rede de Núcleo (*Core Network – CN*) que suporta os serviços de comutação de circuitos e pacotes, além de conter o banco de dados e funções de gerenciamento, roteamento e tráfego da rede [3GPP, 2007]. A Figura 2.7 ilustra a arquitetura da rede UMTS. Seus elementos e funções são descritos logo a seguir.

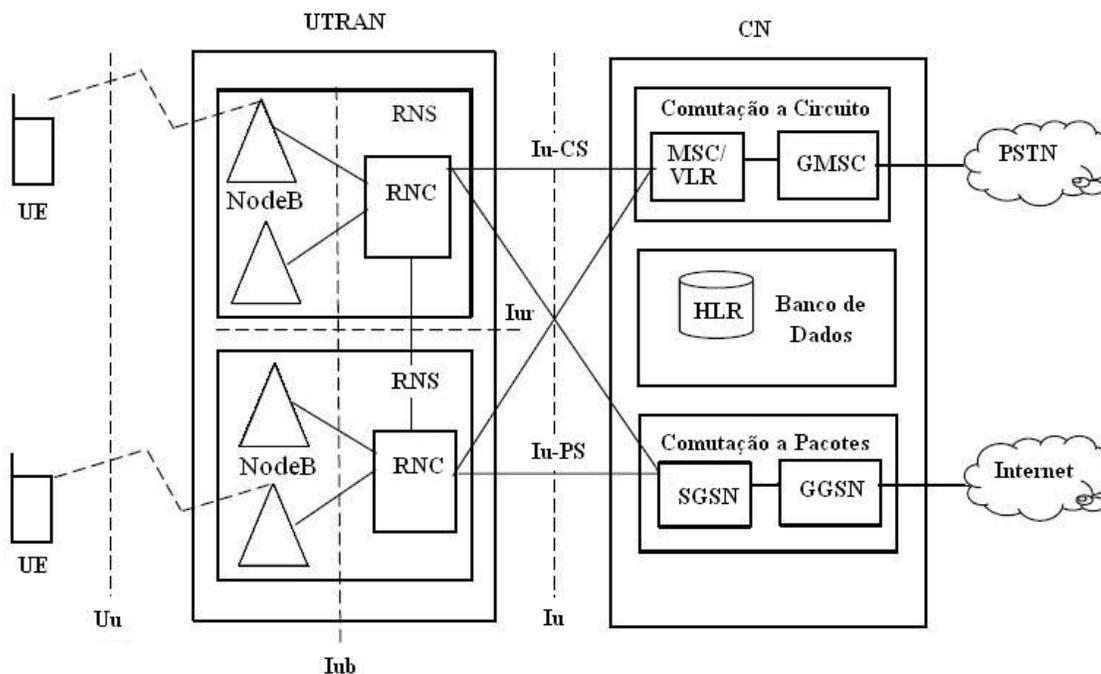


Figura 2.7 – Arquitetura da Rede UMTS.

Fonte: Adaptado de [Storck, 2007].

O equipamento do usuário, ilustrado na Figura 2.7, é o domínio que contempla não apenas a interface de interação humana, mas também, o *Universal Subscriber Identity Module* (USIM). Um cartão de memória que contém informações responsáveis pela autenticação, identificação, armazenamento de aplicações e configurações do usuário. O USIM armazena informações que correspondem à identificação do país, da operadora, e do cliente na rede [3GPP, 2007], [Straccialano, 2008].

A UTRAN agrupa os componentes necessários para prover a interação do equipamento com a interface aérea da rede UMTS. Dentre esses componentes temos: (i) NodeB, conhecido também como Estação Rádio Base (ERB), é a antena de rádio da rede UMTS. Ela é responsável por converter, transmitir e receber dados dos equipamentos dos usuários, realizando tarefas como correção de erros, adaptação de taxa, modulação e envio de relatórios de medição ao Controlador de Rede de Rádio (*Radio Network Controller – RNC*); (ii) RNC responsável pelo gerenciamento dos recursos de rádio dos NodeBs, da sinalização da interface aérea, do processamento e da multiplexação/demultiplexação de dados na comutação de circuitos e pacotes. Dentre suas funções está o controle de congestionamento, *Soft handover* (SHO), monitoramento e desempenho do subsistema da rede de rádio; (iii) *Radio Network Subsystems* (RNS) é composto pelo conjunto formado por RNCs e NodeBs.

Responsável pelo roteamento das informações do usuário e controle, sendo um ponto de acesso de todos os serviços oferecidos para a rede de núcleo [3GPP, 2007].

A Rede de Núcleo (CN), conforme ilustrada na Figura 2.7, também agrupa vários componentes. Sua estrutura tem como base o aproveitamento da planta GSM/GPRS já instalada e suas atribuições envolvem o fornecimento de funções de gerência e conectividade da rede UMTS com as redes de domínio externo, como a Internet e as redes de telefonia pública (*Public Switched Telephone Network – PSTN*). Seus componentes são divididos em três subdomínios: comutação por circuitos, comutação por pacotes e banco de dados [3GPP, 2007].

O subdomínio que provê comutação por circuitos é composto por três elementos: o *Mobile Switching Center* (MSC), o *Visitor Location Register* (VLR) e o *Gateway Mobile Switching Center* (GMSC). O MSC é a central telefônica do sistema celular. Ele é responsável basicamente pelo estabelecimento e controle de chamadas, atualização da localização do assinante em diferentes registros de localização, atualização dos dados do assinante, funções que provêem segurança como autenticação e tarifação, encaminhamento das mensagens curtas para os terminais, sinalização, *paging*, e *handover*. O VLR é um banco de dados provisório. Ele contém todas as informações relacionadas aos terminais móveis que se encontram dentro da área de atuação do MSC. Esse registro temporário de dados é necessário devido à mobilidade dos terminais. A todo o momento diversos terminais que são originários de outros MSCs podem entrar na área de atuação de um MSC vizinho. Para que este terminal seja reconhecido no sistema, todos os seus dados devem ser passados para o novo MSC controlador, sendo armazenados no banco de dados provisório. O GMSC, por sua vez, tem a função de interconectar a rede UMTS com as outras redes de telefonia existentes [Silva, 2004].

O subdomínio que prove comutação por pacotes é composto por nós que oferecem suporte a arquitetura GPRS existente, denominados de *GPRS Support Nodes* (GSN). Em geral, os GSNs possuem as mesmas responsabilidades providas pelos elementos de comutação por circuitos. Porém, o encaminhamento e roteamento de dados integram o equipamento do usuário com redes externas de pacotes de dados, denominadas *Packet Data Network* (PDN), como, por exemplo, a Internet. Para isso, temos dois elementos, o *Serving GPRS Support Node* (SGSN) e o *Gateway GPRS Support Node* (GGSN) [Silva, 2004].

O SGSN é uma interface entre a rede de núcleo e a UTRAN que tem funções semelhantes ao MSC. Suas responsabilidades incluem a localização de unidades móveis e o desempenho de funções de segurança, controle de acesso, gerenciamento de mobilidade,

gerenciamento de enlaces lógicos, estabelecimento de sessão, cobrança, qualidade de serviço, *handover*, *paging* e verificação de registro de usuários. O SGSN é considerado também como um roteador de ingresso [Storck, 2007], [Duarte-Figueiredo, 2004] e [Silva, 2004].

O GGSN, por sua vez, é um nó equivalente ao GMSC. Ele é o responsável pela interface entre a rede de núcleo e redes de pacote externas (PDNs). Dentre suas funções, o GGSN é responsável por converter os pacotes de dados provenientes do SGSN para o formato apropriado do protocolo de pacote de dados (*Packet Data Protocol – PDP*) da rede externa, por exemplo, IP ou X.25, e enviá-los para a rede externa correspondente. Na outra direção, ao chegar os pacotes provenientes da rede externa, o GGSN é responsável por converter esses pacotes no formato reconhecido pela rede UMTS e encaminhá-los ao SGSN que está servindo ao usuário móvel. Além do roteamento dos pacotes, o GGSN é responsável pelo gerenciamento da conexão, localização, autenticação, contabilidade dos pacotes transmitidos e atribuição de endereços IPs dinâmicos para transmissão de dados das unidades móveis à rede externa IP. O GGSN é considerado também como um roteador de egresso [Storck, 2007], [Duarte-Figueiredo, 2004] e [Silva, 2004].

O subdomínio banco de dados, ilustrado na Figura 2.7, estabelece funções de registro de informações para ambas as divisões da Rede de Núcleo, pacotes e circuitos. Esse subdomínio é composto por um único elemento denominado *Home Location Register (HLR)*. O HLR é uma base de dados utilizada para armazenar e gerenciar dados permanentes dos assinantes, como perfil, localização, situação, ponto de acesso e outros. Junto a essas informações são armazenadas as chaves de identidade para cada usuário, provendo mecanismos de autenticação e de segurança na comunicação entre o terminal móvel e a estação rádio de acesso [Straccialano, 2008] [Silva, 2004].

A rede UMTS estabelece, ainda, diversas interfaces que são responsáveis por prover a comunicação entre os seus elementos. Para comunicação entre o equipamento do usuário (UE) e o NodeB é utilizada a Interface Uu. Para comunicação entre o RNC e o NodeB é utilizada a Interface Iub. Para comunicação entre os RNCs é utilizada a Interface Iur. Por fim, para comunicação entre o RNC e o CN são utilizadas as Interfaces Iu-CS (*Circuit Switched*), quando a comutação for por circuito, e Iu-PS (*Packet Switched*), quando a comutação for por pacotes. Na rede UMTS, apesar de se manter a estrutura de comutação por circuito, o modo predominante de comunicação é a comutação por pacotes [Storck, 2007].

2.2.3 Gerenciamento de Sessão e Mobilidade da Rede UMTS

Uma das características herdadas pela rede UMTS de sua antecessora, GPRS, é o gerenciamento de sessão e conectividade do usuário baseado no estado em que o equipamento do usuário se encontra na rede. Esse estado pode assumir três valores: *Idle*, *Ready* ou *Standby* [Ribeiro e Abrão, 2003]. O estado *Idle* indica o estado normal do equipamento em uma rede GSM. O equipamento recebe, então, um *paging* de comutação por circuito e se comporta como um telefone GSM, pronto para receber e fazer chamadas. O estado *Ready* indica que o equipamento está conectado à rede UMTS e o procedimento denominado *attach* foi executado. O *attach* faz parte da gerência de mobilidade do GPRS (*GPRS Mobile Manager – GMM*). Esse procedimento é sempre iniciado pelo equipamento do usuário. Dependendo dos valores usados no equipamento do usuário, a conexão GPRS pode ser executada todas as vezes que o telefone for ligado ou ser iniciada manualmente pelo usuário. A requisição de *attach* é feita diretamente ao SGSN, de forma transparente para a Estação Rádio Base. O equipamento do usuário notifica o SGSN passando sua identidade, sua antiga área de roteamento (*Routing Area Identifier – RAI*), a classe, o número seqüencial da chave de cifragem (*Ciphering Key Sequence Number – CKSN*) e tipo de conexão desejada (GPRS, GSM ou ambos). O SGSN, após receber a requisição, informa ao HLR se houve alguma mudança na RAI. Se o tipo de conexão desejado for GPRS e GSM, o SGSN também atualiza a localização com o VLR. Nesse instante, o equipamento do usuário apesar de conectado à rede, não pode ainda transmitir e receber dados. Para que isso ocorra, o equipamento precisa ativar uma sessão de comunicação, usando o procedimento de ativação de contexto de PDP, que será descrito mais adiante. O estado *Ready* é supervisionado por um temporizador que, ao expirar, muda o estado do equipamento para *Standby*. No estado *Standby* o equipamento está conectado à rede UMTS, contudo, não há transmissão de dados. Se um pacote de dados chegar para o equipamento, a rede envia um *paging* e o procedimento de ativação de contexto PDP é executado, retornando o equipamento para o estado *Ready* [Duarte-Figueiredo, 2004]. A Figura 2.8 ilustra o diagrama de estado do equipamento do usuário na rede UMTS/GPRS.

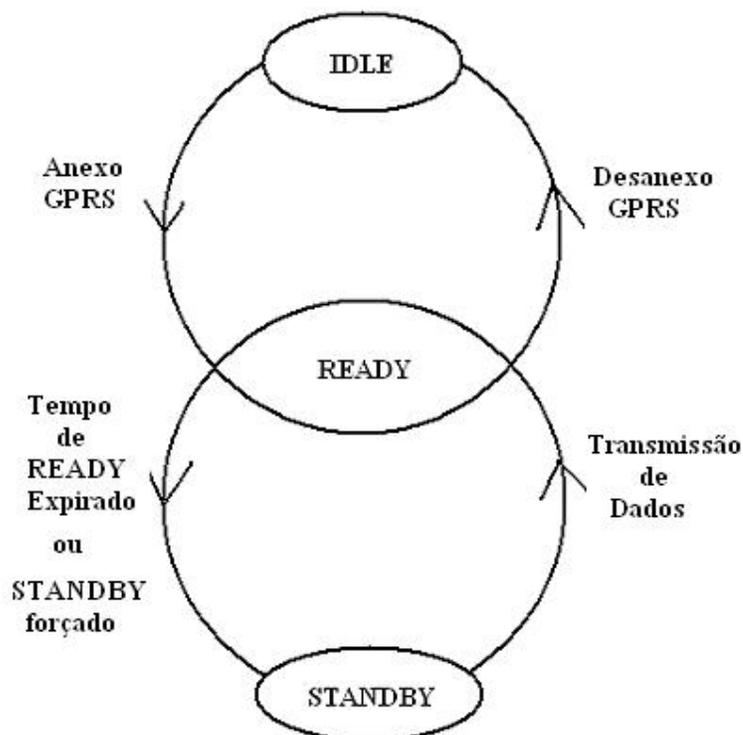


Figura 2.8 – Diagrama de estado do equipamento do usuário na rede UMTS.

Fonte: Adaptado de [Duarte-Figueiredo, 2004].

Durante o procedimento de ativação de contexto de PDP, o equipamento do usuário fornece um endereço IP estático ou solicita um endereço temporário à rede. Ele também especifica um nome de ponto de acesso (*Access Point Name – APN*) com o qual se comunicar, por exemplo, um endereço Internet ou um provedor de serviço Internet. A unidade móvel solicita a qualidade de serviço (QoS) desejada e um identificador de ponto de acesso de serviço da rede (*Network Service Access Point Identifier – NSAPI*). Como o equipamento do usuário pode estabelecer múltiplas sessões de contexto de PDP para diferentes aplicações, o NSAPI é usado para identificar os pacotes de dados de uma aplicação específica. Após receber as informações do equipamento do usuário, o SGSN determina qual o GGSN que está conectado ao APN e redireciona a solicitação. O SGSN também fornece uma QoS negociada, com base nas informações da assinatura do usuário e na disponibilidade dos serviços. Se o equipamento do usuário tiver um endereço IP estático, o GGSN será conectado diretamente à unidade móvel no ponto de acesso desejado. Caso contrário, ele obterá um endereço IP temporário da APN. O GGSN também fornece alguns identificadores da transação para a comunicação de dados entre o GGSN e o SGSN. Assim que o procedimento de comunicação e ativação no GGSN tiver sido concluído corretamente, as informações apropriadas da

transferência de dados serão enviadas ao equipamento do usuário. Maiores detalhes do procedimento de ativação de contexto PDP podem ser vistos em [Duarte-Figueiredo, 2004].

A gerência da mobilidade, por sua vez, difere-se do núcleo GSM/GPRS, base para a rede UMTS, onde apenas um tipo de *handover* era tratado. Denominado simplesmente por *handover*, acontecia quando, ao transitar em uma área de cobertura da rede GSM/GPRS, o equipamento do usuário passava de uma Estação Rádio Base para outra. Na rede UMTS, porém, três diferentes tipos de *handover* são introduzidos para controlar a carga do sistema, resolver aos problemas da cobertura e oferecer uma qualidade de serviço satisfatória. São o *Soft Handover*, *Softer Handover* e o *Hard Handover* [3GPP, 2009]. Sendo que os dois primeiros são específicos da tecnologia W-CDMA, utilizada na interface área do UMTS [Ghadialy, 2004].

O *Soft Handover* ocorre quando o equipamento móvel está na zona de interseção de duas células servidas por distintos NodeBs. Ele permite que o equipamento mantenha várias ligações de rádio ativas, ao mesmo tempo, durante a comunicação com a rede UMTS. Assim, os *links* de rádio são adicionados e removidos de forma a que o equipamento do usuário sempre mantenha pelo menos um *link* com a UTRAN. Este procedimento permite que o usuário possa ser servido pelo NodeB que oferecer condições mais eficientes de tráfego, assim como, menor interferência, menor consumo de energia para transmissão e outros. Ele pode, no entanto, também ser realizado por outras razões, como a sobrecarga de usuários no NodeB e/ou na célula [3GPP, 2009], [Ghadialy, 2004]. A Figura 2.9 ilustra o procedimento do *Soft Handover*. Nessa figura pode se observar que o equipamento móvel mantém dois *links* de rádio ativos, simultaneamente, com dois diferentes NodeBs.

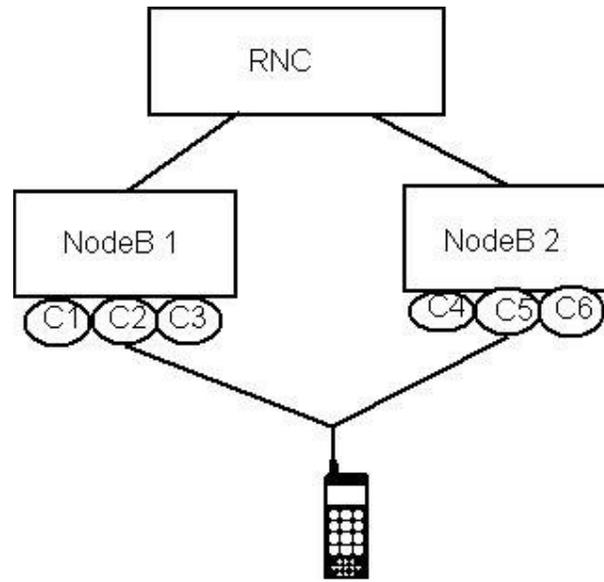


Figura 2.9 – Soft handover na rede UMTS.

Fonte: [Ghadialy, 2004].

Pode existir, ainda, um procedimento de *handover* mais complexo no *Soft Handover*. Ocorre quando o equipamento móvel está na zona de interseção de duas células servidas por distintos NodeBs que, por sua vez, são servidos por distintos RNCs. Nesse caso, é necessário que seja estabelecida uma conexão entre esses respectivos RNCs. Assim, quando o usuário estabelecer sua conexão com o novo NodeB os dados poderão ser transferidos da RNC 1 para a RNC 2 [3GPP, 2009], [Ghadialy, 2004]. A Figura 2.10 ilustra o procedimento do *Soft Handover* com RNCs distintos. Nessa figura o equipamento móvel está realizando o procedimento de *Soft Handover* entre as células C6 e C7 que pertencem, respectivamente, ao NodeB2 e ao NodeB3. Esses NodeBs que pertencem à diferentes RNCs que, por sua vez, estão conectados através da interface Iur.

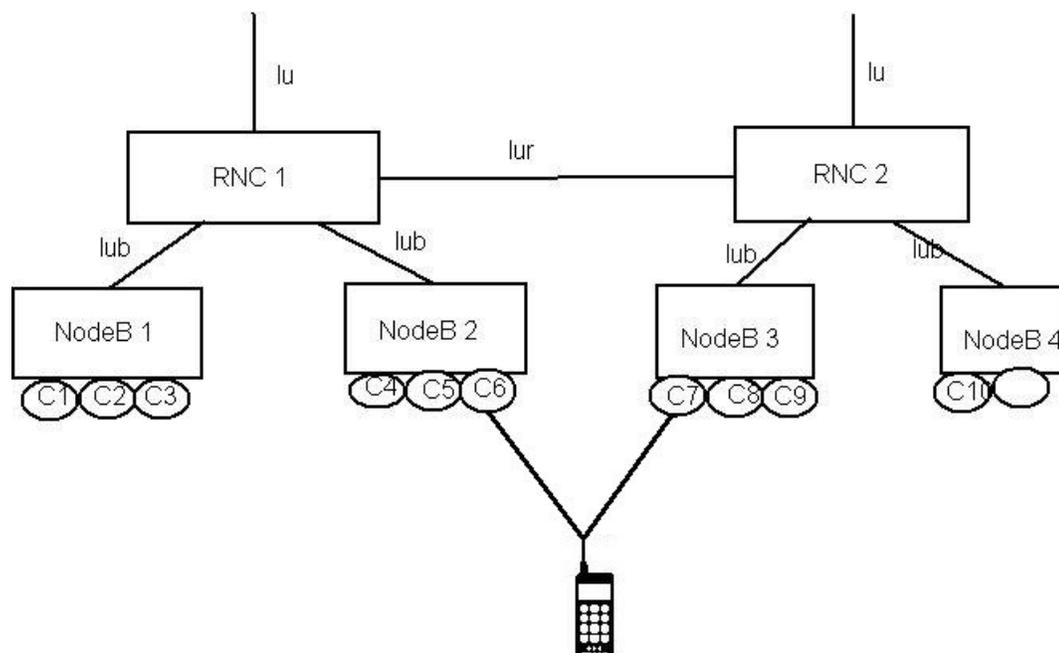


Figura 2.10 – Soft handover na rede UMTS com RNCs distintos.

Fonte: [Ghadialy, 2004].

O *Softer Handover* é um processo especial de *handover*. As ligações de rádio que são adicionadas e removidas pertencem à mesma Estação Rádio Base e não implicam transmissões no interior da rede. O *Softer Handover* é uma situação que ocorre quando o equipamento móvel está na zona de interseção de duas células servidas pelo mesmo Node. Dessa forma, o NodeB realiza a troca das células re-configurando setores e portadoras utilizadas para controle das transmissões de dados do equipamento do usuário [3GPP, 2009], [Ghadialy, 2004]. A Figura 2.11 ilustra o procedimento do *Softer Handover*. Nessa figura o equipamento móvel está realizando o procedimento de *Softer Handover* entre as células C1 e C2 do NodeB o qual ela está se comunicando.

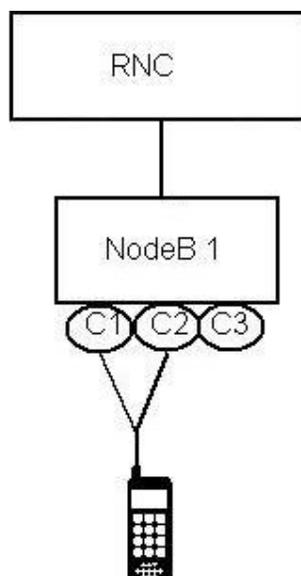


Figura 2.11 – Softer handover na rede UMTS.

Fonte: [Ghadialy, 2004].

O *Hard Handover* é frequentemente utilizado nas redes GSM. Trata-se de uma mudança na frequência de transmissão. O procedimento ocorre quando o usuário encontra-se em uma área onde o espectro de frequência da transmissão original não está mais disponível e é necessário criar um *link* em outro espectro de frequência. Nesse tipo de *handover* é comum que o *link* de rádio seja rompido antes que um novo *link* tenha sido criado. Para evitar o rompimento do *link* é necessário se efetuar constantes medições de outras frequências enquanto o *link* ainda está ativo. Dois métodos podem ser utilizados para se efetuar essas medições, o duplo receptor e o modo comprimido. O método do duplo receptor indica se o receptor possui diversidade de antenas para captar e mensurar as frequências. Isso, torna mais dispendioso, porém, faz com que a operação seja mais simples de ser realizada. O modo comprimido indica que a informação de mensuração é comprimida em determinados instantes de tempo entre as transmissões. Nesse método, o *hardware* do receptor é mais simples por possuir apenas uma antena, logo, é mais barato. Contudo, torna a operação é mais complexa de ser realizada já que é necessário compartilhar o *slot* de transmissão com as demais informações.

2.3 Fundamentos do IP Móvel

Gerir a mobilidade do usuário no procedimento de mudança de ponto de acesso é algo complexo como já mencionado anteriormente. Gerenciar o tratamento, parametrização e configuração de diferentes endereços IPs, assim como o redirecionamento de pacotes de dados remetidos à um usuário não mais pertencente a rede de origem, são questões de mobilidade importantes no procedimento de *handover*. Diante de cenários como esse, um protocolo, denominado IP Móvel (*Mobile IP* – MIP), foi proposto pelo *Internet Engineering Task Force* (IETF) [Perkins, 2002]. O principal objetivo do MIP é evitar que conexões, cuja parametrização atrelada ao endereço IP do móvel local, sejam quebradas no evento de uma movimentação do usuário, tanto entre redes com tecnologia de acesso homogêneas quanto para redes com tecnologia de acesso heterogêneas [Johnson et al., 2004].

Esta subseção tem como objetivo apresentar o protocolo de gerenciamento de mobilidade IP Móvel. Serão abordadas a seguir: a arquitetura, o funcionamento, as versões e as extensões desse protocolo.

2.3.1 Arquitetura do IP Móvel

Para definir as características básicas de arquitetura e o funcionamento do protocolo MIP, algumas suposições devem ser feitas sobre a infra-estrutura de rede: (i) Nada é modificado na atribuição do endereço IP; (ii) O protocolo assume que os dispositivos móveis não modificarão de ponto de acesso mais de uma vez por segundo; (iii) O protocolo assume que os datagramas IP são roteados baseando-se no endereço de destino e não no endereço de origem. Feitas essas suposições, três entidades funcionais básicas são definidas no MIP [Perkins, 2002]:

- *Mobile Node* – MN: Representa um terminal que pode mudar seu ponto de conexão quando migra de uma rede ou sub-rede para outra. Pode mudar de localização sem modificar seu endereço IP de origem, mantendo assim, todas as comunicações em andamento com outros nós utilizando o endereço IP de sua rede de origem;

- *Home Agent* – HA: Roteador de acesso da rede de origem (*Home Network* – HN) do Nó Móvel. É responsável pelo envio correto dos datagramas aos dispositivos e mantém informações locais sobre o mesmo.
- *Foreign Agent* – FA: Roteador da rede visitada pelo Nó Móvel. É responsável pelo roteamento dos datagramas enviados/recebidos pelo mesmo, quando registrado nessa rede.

Como o IP Móvel é uma extensão do protocolo IP, são herdados todos os mecanismos e características de atribuição de endereços, assim como, a descoberta dos endereços de rede através das máscaras de sub-rede, hierarquia, etc. Dessa forma, é necessário manter o endereço IP inalterado, evitando a perda de pacotes em conexões do tipo TCP. Ao mesmo tempo, se faz necessário modificar esse endereço IP a cada mudança de Ponto de Acesso, mantendo o roteamento correto dos pacotes. Obviamente, essas duas questões são mutuamente excludentes. Para resolver esta questão, o protocolo MIP foi desenvolvido permitindo que os dispositivos móveis possam ser configurados com dois endereços IPs: *Home Address* e *Care-of-Address* (CoA). O *Home Address* é o endereço IP obtido na rede de origem do dispositivo. Esse é o "verdadeiro" endereço IP do dispositivo móvel, que permanece inalterado independente da localização do dispositivo. Já o *Care-of-Address* é o endereço utilizado para encaminhar os pacotes ao dispositivo móvel na área visitada. Além disso, um foi implementando método de associação entre esses dois endereços, *Home Address* e *Care-of-Address*, denominado *binding*, a fim de permitir que os protocolos da camada OSI, acima da camada de rede, não diferenciem uma comunicação móvel de uma utilizando cabos de rede. Dessa forma, é cumprido um dos principais quesitos do protocolo proposto: transparência para as camadas superiores [Perkins, 2002], [Johnson et al., 2004] e [Martins et al., 2003].

Para possibilitar a implementação do *binding*, o *Home Agent* e o *Foreign Agent* mantém cada um, uma tabela de relacionamento entre os endereços. No *Home Agent* a tabela é chamada de *Mobility Binding List*. Nela, consta o tempo de vida (*LifeTime*) do relacionamento estabelecido, o que fornece os parâmetros necessários para que o *Home Agent* encaminhe os pacotes corretamente para o dispositivo móvel, onde quer que ele esteja. No *Foreign Agent* a tabela chama-se *Visitor List*. Nessa tabela, o *Foreign Agent* mantém informações do dispositivo visitante, como o *Home Address*, o endereço IP do *Home Agent* e o endereço MAC do dispositivo móvel. Consta também o tempo de vida (*LifeTime*) associado a esse relacionamento [Perkins, 2002].

2.3.2 Funcionamento do IP Móvel

Segundo Oliveira et al., (2005) existem duas situações que devem ser consideradas para funcionamento do IP Móvel: uma quando o nó móvel está na rede de origem e outra quando o nó móvel está em uma dada rede estrangeira. No primeiro caso, o relacionamento entre o nó móvel e o *Home Agent* é o mesmo de uma sub-rede comum, ou seja, nenhuma funcionalidade móvel é necessária. No segundo caso, se o nó móvel estiver localizado em uma rede estrangeira, é necessário que primeiro ele determine realmente que está se movendo de uma rede para a outra. Para isso, o Nó Móvel executa um procedimento de descoberta de agentes, denominado *Agent Discovery*. Esse procedimento é dividido em duas etapas de trocas de mensagens, onde, primeiro, o nó móvel envia uma mensagem de *Agent Solicitation*, solicitando um agente e, havendo a presença do *Foreign Agent*, este responde através de uma mensagem de *Agent Advertisement*. Dessa forma, o nó móvel pode então se registrar ao *Foreign Agent*, trocando mensagens de *Registration Request* e *Registration Response*, e obter um endereço IP secundário para tratamento, o *Care-of-address*.

Após esse procedimento, o *Home Agent* é notificado da movimentação do nó móvel pelo *Foreign Agent* ou pelo próprio nó móvel. Assim, ambos, *Home Agent* e *Foreign Agent* criam suas respectivas tabelas de relacionamentos. Daí por diante, o nó móvel já está pronto para receber e enviar dados na rede visitante através do *Foreign Agent*. Os datagramas destinados para o nó móvel em sua rede de origem são interceptados pelo *Home Agent*. O *Home Agent*, munido de sua tabela de mobilidade (*Mobility Binding List*), encapsula os dados no endereço de tratamento (*Care-of-address*) do nó móvel e encaminha-os ao *Foreign Agent*, esse procedimento é chamado de tunelamento (*tunneling*). Ao chegar no *Foreign Agent*, também munido de sua tabela de visitantes (*Visitor List*), os dados são desencapsulados e entregues para o nó móvel. Quando os dados têm sentido inverso, ou seja, partem do nó móvel em direção a sua rede de origem, caso o *Foreign Agent* tenha um *link* direto do destinatário, os dados poderão ser entregues por meio de um roteamento padrão. Caso contrário, o procedimento para entrega acontece também por mecanismo de tunelamento, porém, em sentido contrário [Perkins, 2002], [Martins et al., 2003] e [Oliveira et al., 2005]. A Figura 2.12

ilustra o roteamento de datagramas para um nó móvel fora de sua rede de origem. Nela pode-se observar um cenário onde o nó móvel encontra-se conectado em uma rede estrangeira.

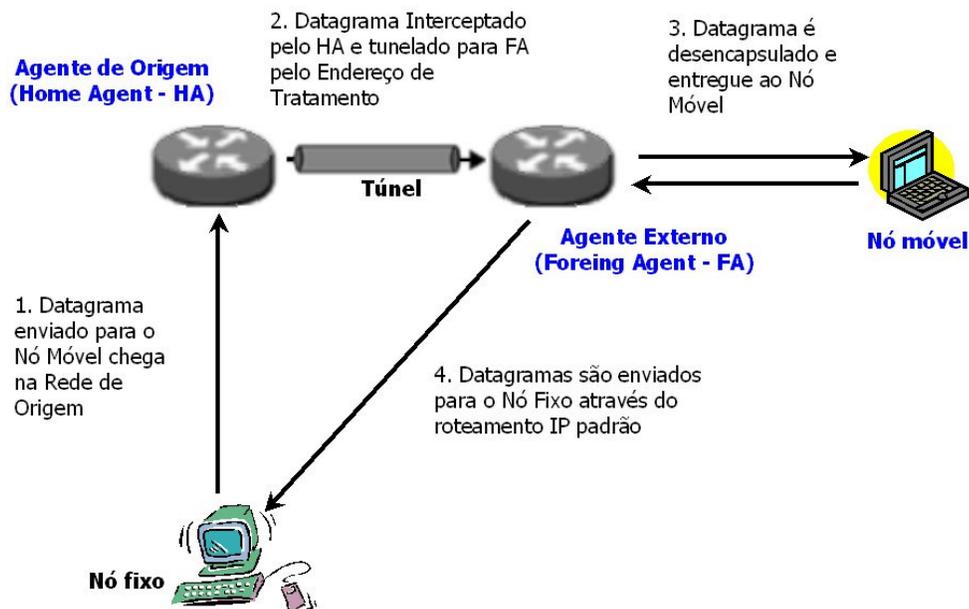


Figura 2.12 – Roteamento de datagramas no IP-Móvel.

Fonte: [Oliveira et al., 2005].

2.3.3 Versões e Extensões do IP Móvel

Atualmente, duas versões do IP Móvel estão disponíveis: MIPv4 e MIPv6. As principais diferenças entre essas versões envolvem [Martins et al., 2003] e [Oliveira et al., 2005]:

- Capacidade de endereçamento: No MIPv6, cada endereço é determinado por 128 bits, contra 32 bits do MIPv4;
- Formato do cabeçalho: No MIPv6, alguns campos de cabeçalho do MIPv4 foram descartados ou se tornaram opcionais para simplificar o processamento dos pacotes mais comuns e diminuir o *overhead*;
- Suporte para campos opcionais e extensões: No MIPv6, os campos opcionais possuem menos restrições quanto ao seu tamanho, há maior flexibilidade para

a introdução de novas extensões no futuro, o encaminhamento de pacotes é simplificado e pode ser diferenciado a cada *hop* (salto);

- Capacidade para identificação de fluxo: No MIPv6, o remetente dos pacotes pode identificar o fluxo de pacotes para um determinado destino (*unicast* ou *multicast*). É possível também que o remetente solicite tratamento especial desse fluxo por parte do roteador, como QoS diferenciado e serviço de tempo real. No MIPv4, esse tipo de funcionalidade é implementado em roteadores e *switches*.

A fim de minimizar a latência do *handover* e reduzir o atraso e a perda de datagramas durante essa operação, otimizações e extensões do protocolo MIP vêm sendo propostas na literatura. Podendo ser destacadas como mais citadas o *Hierarchical Mobile IPv6* (HMIPv6) [Koodli, 2005] e o *Fast Handover for Hierarchical MIPv6* (F-HMIPv6) [Jung et al., 2005].

O *Hierarchical Mobile* tem como objetivo principal minimizar o tempo de efetivação de registro do endereço de tratamento (*Care-of-address*). Essa operação é lenta, pois envolve a troca de mensagens de sinalização com componentes fora da nova rede visitante, em particular, com o *Home Agent* e com o nó o qual o equipamento móvel se comunica (*Correspondent Node* – CN). Para minimizar essa latência, o esquema de *handover* hierárquico divide a mobilidade em duas categorias: (i) micromobilidade (geralmente intradomínio) e (ii) macromobilidade (geralmente interdomínio). O elemento central desse esquema é a entidade conceitual chamada de *Mobility Anchor Point* (MAP), que define um domínio MAP formado por uma ou mais redes. A movimentação de um nó móvel entre redes de um mesmo domínio MAP determina uma micromobilidade, e a movimentação do nó móvel entre redes de domínios MAP diferentes determina uma macromobilidade. Para gerir a mobilidade, o HMIPv6 define que o nó móvel crie um relacionamento (*binding*) do seu *Local Care-of-address* local (LCoA) com o endereço na subrede do MAP, conhecido como *Regional Care-of-address* (RCoA). Isso faz com que o MAP trabalhe como um *Home Agent* local, onde os pacotes destinados ao nó móvel são interceptados, encapsulados e encaminhados para o LCoA através do MAP. Dessa forma, quando ocorre uma micromobilidade, apenas o registro do novo LCoA é feito junto ao MAP com uma mensagem de *Binding Update*. Já no caso de uma macromobilidade, o RCoA do novo MAP precisa ser registrado no *Home Agent* e nos nós CNs os quais o nó móvel se comunica. Além disso, um novo procedimento de *binding* precisa ser realizado [Koodli, 2005] e [Nagamuta, 2006].

O *Fast Handover* se baseia no *Hierarchical Mobile* e tem como principal objetivo minimizar o tempo de mudança de ponto de acesso, agilizando o procedimento de *handover* através da detecção antecipada de uma migração do nó móvel. O *Fast Handover* supõe a possibilidade de interação com a camada de enlace a fim de “descobrir” pontos de acesso que são potenciais candidatos a se tornarem o novo ponto de acesso ao qual o nó móvel irá se conectar após o *handover*. Isto permite que a nova Estação Base seja notificada (através da antiga Estação Base) antes que o *handover* ocorra de fato. A descoberta de novos pontos de acesso depende de mecanismos de varredura da rede onde é feita uma constante medição dos sinais emitidos pelas Estações Base e, através disso, é possível analisar a qualidade do sinal e identificar a iminência de um *handover*. Quando isso ocorre, é feita uma sinalização da camada de enlace para a camada de rede através de um evento (*L2 trigger*). As informações sobre os pontos de acesso disponíveis são embutidas em mensagens *Proxy Router Advertisement* (PrRtAdv).

Um *handover* pode ser iniciado pelo nó móvel ou pela rede (Estação Base). No caso de *handover* iniciado pelo nó móvel, este envia uma mensagem *Router Solicitation for Proxy Advertisement* (RtSolPr) para a atual Estação Base a fim de pedir informações sobre pontos de acesso disponíveis na nova estação e realizar um registro diretamente junto à nova Estação Base. Neste caso, não há garantia de que o ponto de acesso candidato está de fato disponível. Se isso ocorrer é preciso selecionar um novo ponto de acesso e isso pode causar alguma latência no *handover*.

No caso de *handover* iniciado pela rede, o nó móvel faz o registro na nova Estação Base através da atual Estação Base. Isso garante a disponibilidade de um ponto de acesso na nova Estação Base e o tunelamento de pacotes da atual Estação Base para a nova Estação Base. Quando o nó móvel se conecta no novo ponto de acesso, este já começa a receber os pacotes re-encaminhados pela antiga Estação Base. Isso também causa um atraso no recebimento de pacotes [Koodli, 2005] e [Nagamuta, 2006].

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

3.1 Modelo de Integração Nguyen-Vuong

3.1.1 Introdução

O trabalho apresentado por Nguyen-Vuong et al. (2006) tem como objetivo propor uma arquitetura de integração entre as redes WIMAX e UMTS. Nessa arquitetura, a solução de integração descrita é baseada nos cenários de integração UMTS-WLAN propostos pela 3GPP [3GPP, 2003]. Dessa forma, o modelo de integração de Nguyen-Vuong et al. (2006) visa oferecer suporte à continuidade dos serviços disponibilizados nas duas redes, minimizando aspectos como perda de dados e tempo de interrupção dos serviços. Isso garante que a passagem de uma rede para outra seja menos perceptível para usuário, ou seja, garantia de um *handover* suave.

Esta subseção tem como objetivo apresentar o modelo de integração proposto por Nguyen-Vuong et al. (2006). Serão abordadas a seguir: a arquitetura, os procedimentos de *handover* WIMAX-UMTS e UMTS-WIMAX e por fim uma análise conclusiva do modelo.

3.1.2 Descrição da Arquitetura

Para descrever sua proposta, Nguyen-Vuong et al. (2006) faz inicialmente uma análise do procedimento de *handover*, que é o principal aspecto das integrações entre UMTS-WLAN

e UMTS-WIMAX. Em uma integração UMTS-WLAN, os pontos de acesso WLAN formam as chamadas micro-células dentro de uma macro-célula UMTS. Dessa forma, toda área coberta pelas WLANs também é coberta pelo UMTS. Assim, a mobilidade entre UMTS e WLAN pode ser referida como um *handover* sobreposto, uma vez que, ao se conectar em uma rede WLAN, o assinante móvel (*Mobile Subscriber – MS*) é capaz de manter o contexto do protocolo de dados do pacote (*Packet Data Protocol – PDP*) do UMTS para reativá-lo posteriormente.

Na mobilidade entre WIMAX e UMTS, além das áreas de interseção, podem existir áreas cobertas apenas pelo UMTS e outras cobertas apenas pelo WIMAX. Assim, o assinante móvel pode conectar-se a somente uma rede de cada vez. Conseqüentemente, o *handover* entre UMTS-WIMAX deve ser feito de forma abrupta. A Figura 3.1 ilustra um exemplo de áreas de cobertura UMTS-WLAN e UMTS-WIMAX.

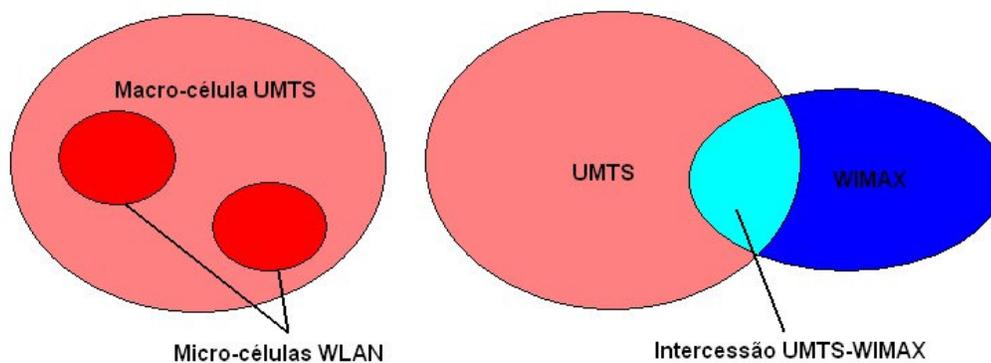


Figura 3.1 – Áreas de cobertura UMTS-WLAN e UMTS-WIMAX.

Fonte: Dados da pesquisa de Nguyen-Vuong et al. (2006).

A fim de permitir a mobilidade entre duas redes de acesso WIMAX e UMTS, a solução proposta baseia-se na utilização de um protocolo comum para promover a integração entre as duas tecnologias. Dessa forma, seria possível minimizar as mudanças na infraestrutura existente e a solução poderia ser praticável em curto prazo. Assim, o componente mestre utilizado para suportar a gerência da mobilidade na arquitetura proposta, ignorando as heterogeneidades das redes, é o IP móvel. Além disso, o trabalho baseia-se também, na utilização da versão móvel do WIMAX (IEEE 802.16e).

3.1.3 Procedimento de Handover

Nguyen-Vuong et al. (2006) descreve que a movimentação do usuário entre as redes integradas envolve dois cenários de *handover*: *Handover* WIMAX para UMTS e *Handover* UMTS para WIMAX. Em ambos os cenários, o procedimento consiste, basicamente, em uma preparação do equipamento móvel para conectar-se à rede alvo antes que a conexão com a rede corrente seja desfeita. Além disso, é descrito um procedimento comum para a redução da perda de pacotes, onde, os pacotes são armazenados temporariamente durante o processo de *handover* até que a conexão com a rede alvo seja restabelecida e o equipamento móvel possa recebê-los.

No primeiro cenário descrito por Nguyen-Vuong et al. (2006), que envolve o procedimento de *handover* do WIMAX para a UMTS, o equipamento do usuário está conectado em uma rede WIMAX e passa a ser atendido por uma rede UMTS. Ao entrar na zona de interseção, o equipamento do usuário realiza uma mensuração da qualidade de sinal da rede UMTS. Caso as condições para o *handover* vertical sejam satisfatórias, a decisão de *handover* é tomada. A rede UMTS é notificada pela rede WIMAX através de mensagens de requisição de *handover*. O equipamento realiza a conexão com a rede UMTS através da UTRAN. O IP móvel registra a movimentação do equipamento na rede de origem (WIMAX) e um novo contexto PDP (*Packet Data Protocol*) é ativado entre o GGSN e o equipamento do usuário. Para detalhar esse cenário, são definidas treze etapas que descrevem passo a passo, desde a mensuração até a ativação do contexto. São elas:

1. A Estação Base WIMAX (*WIMAX Base Station* – WIMAX-BS) emite periodicamente ao equipamento do usuário (*User Equipment* – UE) uma mensagem, informando a topologia vizinha, como NodeBs (UMTS) e outras Estações Base. Alternativamente, o equipamento pode fazer uma varredura dos canais para descobrir a topologia vizinha.
2. Baseado na topologia informada, o equipamento do usuário executa o procedimento de mensuração de sinal, onde deverá ser avaliada a degradação da qualidade do sinal atual ou na necessidade de comutar entre tecnologias de acesso para suportar exigências mais elevadas de qualidade de serviço ou de custo.

3. Após a etapa da medida, o equipamento do usuário deverá emitir um relatório de mensuração a Estação Base corrente. O relatório deve conter o nível da qualidade do sinal de cada NodeB (UMTS) candidato à comutação.
4. A Estação Base inicia o procedimento de *handover*, notificando ao UMTS alvo através de uma mensagem de pedido de *handover* (*HO Request*). O *Packet Data Gateway* (PDG/FA) executará um pedido de *Domain Name Service* (DNS) para saber os endereços de *Gateway GPRS Support Node* (GGSN) que servem de Pontos de Acesso (*Access Point Name* – APN) ao equipamento do usuário. O PDG, então, seleciona um GGSN na lista resultante do pedido de DNS e o encaminha o pedido de *handover*. Se o PDG não receber resposta alguma do GGSN após certo tempo, outro GGSN será selecionado para pedido de *handover*.
5. O GGSN redireciona a mensagem do pedido de *handover* ao *Service GPRS Support Node* (SGSN) que serve ao NodeB candidato. Para poder recobrar o endereço de SGSN que serve um NodeB específico, é assumido que o servidor de DNS ou o *Home Location Register* (HLR) armazene essa informação de roteamento.
6. O Controlador da Rede de Rádio (*Radio Network Control* – RNC) da rede UMTS alvo estabelece recursos de portadora, incluindo os recursos de rádio, para o equipamento do usuário. Essa etapa verifica se o NodeB candidato pode aceitar o *handover* do equipamento com a qualidade de serviço requerida.
7. O NodeB que suportar o *handover* do equipamento emitirá uma mensagem da sustentação de *handover* a Estação Base WIMAX. É assumido que a Estação Base WIMAX é quem contém a função da decisão do *handover*.
8. A partir das mensagens recebidas de sustentação de *handover*, a Estação Base seleciona o melhor NodeB para atender à solicitação e retorna um comando de *handover* (comando HO) ao equipamento do usuário. Essa mensagem deve incluir o alvo (NodeB) recomendado e toda a informação necessária para o equipamento ajustar-se a uma conexão nova. A troca dessas informações pode requerer uma grande quantidade de informação, adicionando mais latência ao *handover*. Para reduzir essa latência, um mecanismo de pré-configuração pode ser implementado. Uma chave que corresponda a um conjunto predefinido de parâmetros da UTRAN poderá ser introduzida no comando do *handover*. O equipamento deve, contudo, fazer antes um

- download* desse conjunto de parâmetros. Durante a conexão provisória, o equipamento pode re-configurar a conexão em uma apropriada.
9. A Estação Base WIMAX emite ao PDG/FA da rede UMTS uma confirmação de *handover* que inclui o identificador do NodeB alvo. Nesse momento, os recursos alocados na rede WIMAX são, então, liberados.
 10. Após receber a mensagem da confirmação do *handover*, o PDG/FA (UMTS) emite uma mensagem de atualização do IP móvel (*Mobile IP – MIP*) ao *Home Agent* (HA) da rede WIMAX para notificar a movimentação do equipamento. O HA então pára de emitir os pacotes do Equipamento e armazena em seu *buffer* os pacotes até receber o registro de IP móvel da rede UMTS alvo.
 11. O equipamento do usuário executa o procedimento de conexão GPRS à rede de UTRAN. Esse procedimento consiste em acessar o SGSN, fazer autenticação, autorização e contabilidade (*Authentication, Authorization and Accounting – AAA*) e atualizar o posicionamento.
 12. Após ter executado com sucesso a conexão GPRS, o Equipamento começa ativação de contexto PDP, onde o equipamento informa seu endereço IP remoto, que é seu endereço *home global*, ao GGSN.
 13. Depois que a conexão é estabelecida entre a rede UMTS e o equipamento, o PDG/FA executa o registro do IP móvel com o *Home Agent* (WIMAX) incluindo o endereço IP remoto e seu *care-of-address* (endereço de GGSN/FA). Os dados serão então transmitidos ao equipamento através do NodeB e o procedimento de *handover* é finalizado.

A Figura 3.2 ilustra as treze etapas acima definidas para o procedimento de *handover* do WIMAX para a UTRAN.

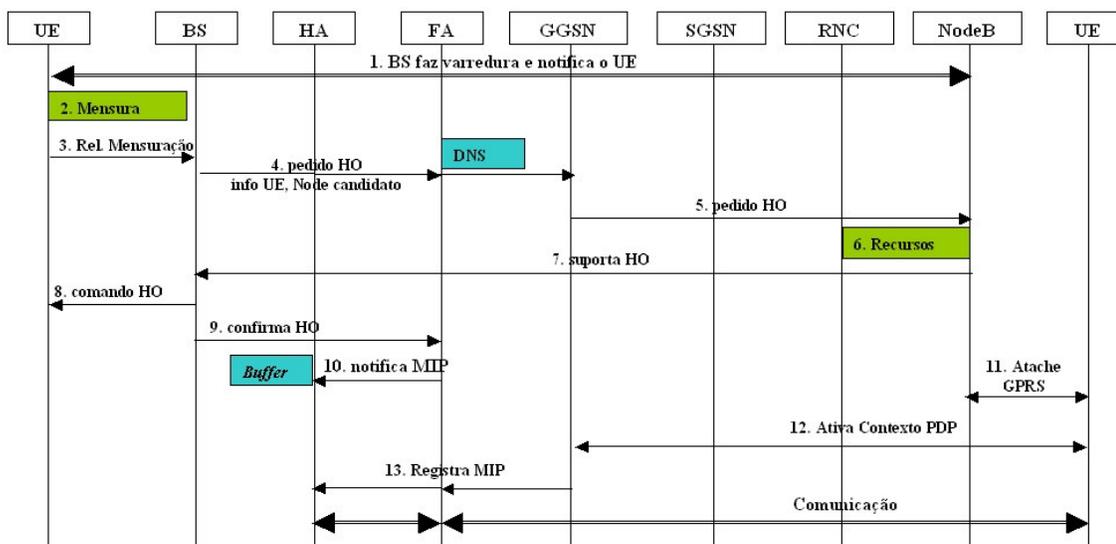


Figura 3.2 – Procedimento de Handover WIMAX-UTRAN.

Fonte: Nguyen-Vuong et al., 2006.

No segundo cenário, que envolve o procedimento de *handover* do UMTS para o WIMAX, o equipamento do usuário está conectado em uma rede UMTS e passa a ser atendido por uma rede WIMAX. Ao entrar na zona de interseção o equipamento do usuário realiza uma mensuração da qualidade de sinal da rede WIMAX. Caso as condições para o *handover* vertical sejam satisfatórias, a decisão de *handover* é tomada. A rede WIMAX é notificada pela rede UMTS através de mensagens de requisição de *handover*. O equipamento realiza a conexão com a rede WIMAX. O IP móvel registra a movimentação do equipamento na rede de origem (UMTS) e a comunicação já pode ser restabelecida pelo equipamento do usuário através da rede WIMAX. Para detalhar esse cenário, são definidas quinze etapas que descrevem passo a passo, desde a mensuração até o restabelecimento da comunicação. São elas:

1. A UTRAN é responsável pela detecção da necessidade de *handover* e pela emissão de mensagem de mensuração de sinal ao equipamento do usuário. Essa mensagem contém informações sobre células WIMAX vizinhas, padrão de compressão e outros. Alternativamente, o equipamento do usuário pode fazer uma varredura dos canais para descobrir a topologia vizinha.
2. Para mensurar a qualidade do sinal, o equipamento deve entrar no modo de compressão de cada uma das células WIMAX vizinhas e verificar a qualidade de sinal descrita em seu preâmbulo.

3. Após o período da medida, o equipamento emite o relatório da medida à rede. O relatório deve conter os parâmetros que indicam o sinal nível da qualidade das Estações Base WIMAX vizinhas.
4. O Controlador da Rede de Rádio (*Radio Network Control* – RNC) inicia o procedimento do *handover* notificando os potenciais alvos BS-WIMAX onde o equipamento poderá fazer o *handover*. Uma mensagem de pedido de *handover* será emitida ao GGSN, incluindo informações de Estações Base candidatas, QoS requerido de aplicações atuais do equipamento e outros. O GGSN executa o pedido do DNS para saber os endereços dos PDGs que servem ao Ponto de Acesso (*Access Point Name* – APN) atual do equipamento. O GGSN seleciona um PDG na lista resultante do pedido DNS e emite a mensagem do pedido de *handover*. Se o GGSN não receber resposta alguma do PDG após certo tempo, emitirá o pedido de *handover* a outro PDG na lista. A mensagem do pedido de *handover* será transmitida então às potenciais Estações Base baseando-se na informação de roteamento no PDG. Essa etapa verifica se a Estação Base alvo pode aceitar o *handover* do Equipamento com a qualidade de serviço requerida.
5. As Estações Base que suportarem o *handover* do Equipamento retornam uma mensagem de sustentação de *handover* ao RNC.
6. O RNC seleciona a melhor Estação Base alvo dentre as estações suportáveis e emite um comando de *handover* ao equipamento do usuário. Essa mensagem inclui toda a informação requerida para o equipamento ajustar-se à conexão com a Estação selecionada.
7. Em seguida, que o RNC emite à confirmação de *handover* ao *Foreign Agent* (WIMAX) da Estação Base selecionada. O equipamento do usuário é desconectado da rede UMTS e inicia-se o *setup* para a conexão com a Estação alvo.
8. Após receber a confirmação de *handover*, o *Foreign Agent* (WIMAX) emite uma mensagem de atualização de IP móvel ao *Home Agent* (UMTS) para notificar o movimento do equipamento. O *Home Agent*, então, pára de emitir os pacotes ao equipamento e armazena em seu *buffer* os pacotes até receber o registro de IP móvel da rede WIMAX alvo.
9. Baseada nas informações incluídas na mensagem do pedido de *handover*, a Estação Base oferece um canal de *uplink* ao equipamento.

10. O equipamento inicia a conexão trocando mensagens de *Ranging Request* (RNGREQ) / *Ranging Response* (RNGRSP) com a Estação Base alvo.
11. No WIMAX, o equipamento executa o pedido de um novo endereço IP local ao *Dynamic Host Configuration Protocol* (DHCP). Com esse procedimento, o *Foreign Agent* (WIMAX) saberá também o endereço do *Home Agent* (UMTS) que serve para o registro do IP móvel na etapa seguinte.
12. O equipamento do usuário executa o registro do IP móvel para associar o endereço local do equipamento com seu *care-of-address*.
13. O equipamento do usuário executa a resolução do DNS para o endereço PDG selecionado pelo GGSN durante a etapa de pedido de suporte de *handover*.
14. O equipamento do usuário estabelece então um túnel fim-a-fim com o PDG selecionado.
15. O PDG executa o registro do IP móvel com o *Home Agent* (UMTS) assim que for notificado o endereço IP remoto do equipamento. Os pacotes dos dados serão transmitidos ao equipamento do usuário através da rede WIMAX. O procedimento do *handover* é terminado.

A Figura 3.3 ilustra as quinze etapas acima definidas para o procedimento de *handover* da UTRAN para o WIMAX.

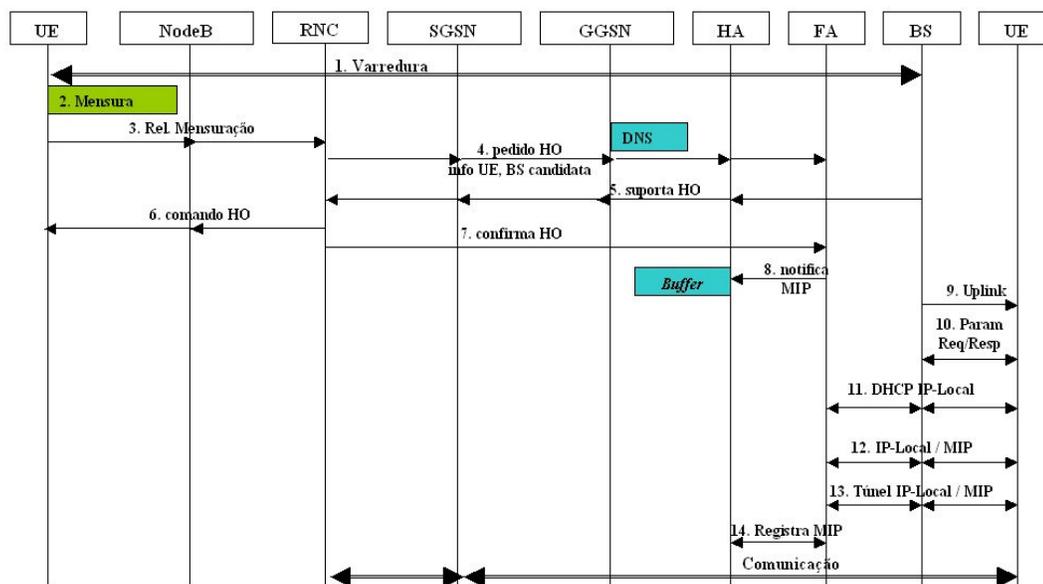


Figura 3.3 – Procedimento de Handover UTRAN-WIMAX.

Fonte: Nguyen-Vuong et al., 2006.

3.1.4 *Análise do Modelo*

O modelo de integração UMTS-WIMAX proposto por Nguyen-Vuong et al. (2006) se baseia na utilização do IP móvel na camada de rede, o que garante a compatibilidade em ambas as redes, assim como a gerência de mobilidade. Além disso, a proposta não requer muitas mudanças nas infraestruturas existentes das redes o que é uma grande vantagem.

Os procedimentos de *handover* definidos são capazes de reduzir a perda de pacotes e o tempo de interrupção durante a troca da comunicação. Contudo, a etapa de notificação de movimento do assinante descreve a necessidade de troca de mensagens entre os *Packet Data Gateways* (PDGs) e os *Gateway GPRS Support Nodes* (GGSNs), assim, caso o assinante conecte-se a múltiplos pontos de acesso, a fase de preparação do *handover* pode ser mais complexa.

Outro fator importante, que deve ser bem analisado, se refere à etapa de varredura realizada pelo equipamento móvel na descoberta da topologia vizinha. Essa etapa considera que existe total cooperação entre as operadoras de redes UMTS e WIMAX. O que não é a melhor opção, uma vez que, na prática, nem sempre é verdade.

Analisando ainda a questão de cooperação entre as operadoras, pode ser apontada uma falha bastante grave encontrada no modelo, que se refere à etapa de iniciação do procedimento de *handover*. Em ambos os cenários, a rede corrente é a responsável por iniciar esse procedimento e não o equipamento do usuário. Dessa forma, caso as redes WIMAX e UMTS sejam de operadoras distintas, pode não ser interessante para a operadora da rede corrente que o usuário faça um *handover* para outra rede. Um exemplo disso é, o fator custo de transmissão, onde o custo de transmissão no ponto de acesso corrente pode ser maior que o custo de transmissão em um ponto de acesso de outra rede. Assim, esse seria um fator que não entraria na política de *handover* da operadora, já que seria interessante apenas para o usuário.

3.2 Proposta de Padronização IEEE 802.21

3.2.1 Introdução

Promover um *handover* vertical, de forma transparente, exige o fornecimento de inúmeras informações sobre a rede às camadas superiores da pilha de protocolos. Essas informações devem independe de padrões e tecnologias, e ainda, serem capazes de identificar fatores que implicam na política de mobilidade. Dentre esse fatores podem ser citados: (i) o limite de cobertura do ponto de acesso corrente é atingido, exigindo-se a necessidade de mudança do ponto de acesso; (ii) a largura de banda disponível no ponto de acesso corrente é inferior a largura de banda disponível em outro ponto de acesso na mesma área de cobertura; (iii) o consumo de energia para comunicação com o ponto de acesso corrente é superior ao consumo de energia para comunicação com outro ponto de acesso na mesma área de cobertura; (iv) o custo de transmissão no ponto de acesso corrente é maior que o custo de transmissão em outro ponto de acesso na mesma área de cobertura [Silva et al., 2008] e [Lampropoulos et al., 2008].

Para tratar os diversos cenários de *handover* vertical, um modelo de referência, denominado *Generic Link Layer* (GLL) [Sachs, 2003], foi inicialmente proposto a fim de descrever funções genéricas à camada de enlace/rede e, dessa forma, fornecer suporte a troca de informações com as camadas superiores para auxiliar nas decisões de gerência de mobilidade. A proposta do modelo seria disponibilizar essas funções através de um *framework*, podendo assim, ser configurado para qualquer tipo de rede, independentemente de questões tecnológicas. O modelo enumera três passos a serem seguidos para se obter um *handover* eficiente: (i) o contexto de transmissão da GLL deve ser transferido de um antigo ponto de acesso para o novo ponto de acesso durante o *handover*; (ii) a GLL deve ser reconfigurada para a nova tecnologia de acesso via rádio; (iii) a transmissão dos dados remanescentes do contexto de transmissão da antiga GLL deve ser feita através do novo enlace de rádio para o receptor, onde os datagramas das camadas superiores serão reconstruídos.

A Figura 3.4 ilustra um cenário de mobilidade entre duas redes de acesso via rádio (*Radio Access Network* – RAN) A e B, onde o terminal móvel se desloca da rede A para a

rede B. Cada uma das redes possui pontos de acesso com suporte a GLL. O terminal móvel, também com suporte a GLL, possui duas interfaces de rede via rádio, PHY A e PHY B, compatíveis com a RAN A e a RAN B, respectivamente. Nessa figura, é possível identificar as três etapas propostas no modelo para o procedimento de *handover*. Quando o terminal móvel entra na área de interseção entre as duas redes, o passo 1 é executado, assim, a rede de origem, no caso a rede A, transfere o contexto de transmissão de dados para a rede destino, no caso a rede B. Em seguida, o passo 2 é executado, ou seja, a rede B executa o procedimento de reconfiguração do terminal móvel, adequando as propriedades da interface que seja compatível com a nova tecnologia, no caso a interface PHY B. Por fim, o passo 3, que se refere a finalização do contexto com a rede de origem, é executado. Dessa forma, os dados remanescentes do contexto antigo são transmitidos para o terminal móvel através do novo contexto e a comunicação é restabelecida por meio da nova rede [Sachs, 2003].

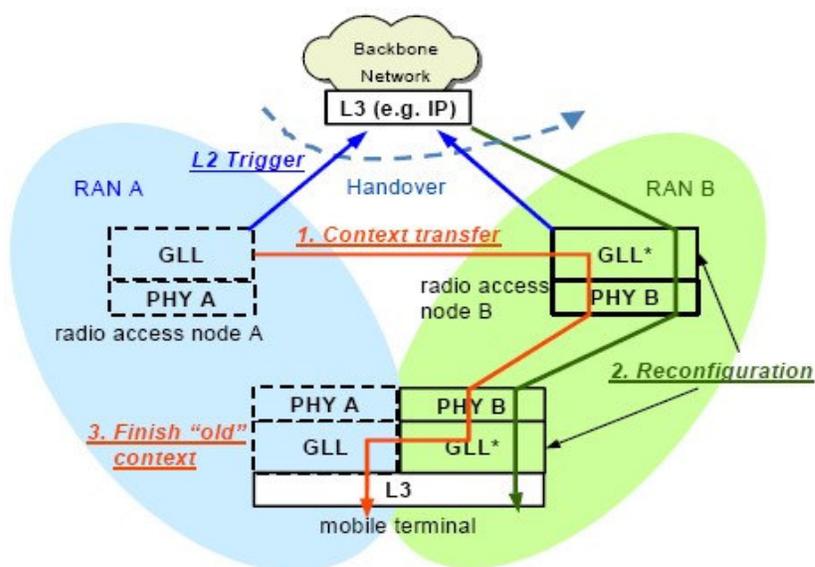


Figura 3.4 – Cenário de mobilidade com a Generic Link Layer.

Fonte: [Sachs, 2003].

Baseando-se nesse modelo de referência e nas lacunas deixadas por ele, como por exemplo, a necessidade de determinar a forma como a GLL deve ser configurada para interagir com as características de enlace e com as propriedades da tecnologia de acesso ao meio [Silva et al., 2008] e [Sachs, 2003]; o IEEE criou um grupo de trabalho com o objetivo de padronizar o modelo e atender as necessidades em aberto. Assim, um novo padrão denominado *Media Independent Handover* (MIH) vem sendo especificado pelo IEEE sob a

nomenclatura IEEE 802.21, que por sua vez, encontra-se ainda, em formato *draft*, ou seja, está em processo de construção [Stein, 2006].

Esta subseção tem como objetivo apresentar a proposta de padronização de integração entre redes apresentada pela IEEE [Gupta, 2006]. Serão abordados os objetivos, a arquitetura, o modelo de referência, o protocolo de comunicação e também uma análise do padrão 802.21.

3.2.2 O padrão 802.21

A proposta do padrão 802.21 é descrever um *framework*, conforme definido no modelo GLL, contendo métodos e procedimentos que facilitem o *handover* entre redes com tecnologias homogêneas e, principalmente, entre redes com tecnologias heterogêneas, ou seja, transparência no *handover* horizontal e vertical. Esses métodos e procedimentos visam fazer uso de informações reunidas a partir do equipamento móvel e da infra-estrutura da rede, auxiliando, assim, na determinação e inicialização do *handover*. Além disso, como o padrão 802.21 presa a independência da tecnologia aplicada à rede, em sua proposta não há distinção entre redes cabeadas e redes sem fio. Dessa forma, o *framework* poderia ser utilizado em todos os padrões da série 802, incluindo o *Ethernet* (802.3), além, obviamente, das redes de telefonia celular. Tendo como premissa, para isso, que o equipamento móvel seja capaz de oferecer múltiplas interfaces de conexão [Stein, 2006] e [Gupta, 2006].

A Figura 3.5 ilustra um cenário de mobilidade com redes de vários tipos, inclusive cabeada. O usuário, munido de um equipamento móvel com múltiplas interfaces, sai de sua mesa de escritório, onde estava conectado à Internet através de uma rede local cabeada (*Ethernet* – 802.3), mantém se conectado através de uma rede sem fio local (Wi-Fi - 802.11) e por fim, ao se retirar do prédio, passa a ser atendido por uma rede sem fio metropolitana (WIMAX – 802.16) [Gupta, 2006].

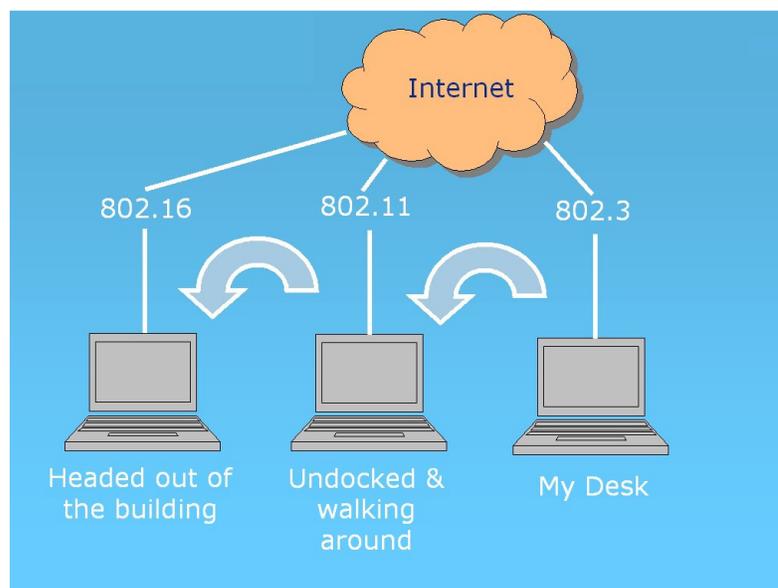


Figura 3.5 – Cenário de mobilidade com o Media Independent Handover.

Fonte: [Gupta, 2006].

3.2.3 Arquitetura MIH

Questões relacionadas à performance e decisões sobre *handover* não são tratadas pelo padrão IEEE 802.21. Dessa forma, algoritmos e políticas para tal, devem ser implementadas por cada fabricante. Além disso, os processos de descoberta de redes vizinhas e seleção de enlace são de responsabilidade do nó móvel, assim como as questões de segurança são de responsabilidade das camadas superiores. O padrão simplesmente oferece uma funcionalidade denominada *MIH Function* (MIHF), capaz de fornecer informações e serviços para auxiliar nas tomadas de decisões dentro das etapas de inicialização, preparação e execução do procedimento de *handover* [Stein, 2006] e [Gupta, 2006].

Essa funcionalidade fica posicionada entre as camadas L2 (Rede) e L3 (Transporte) e permite que o MIH possa se comunicar com vários protocolos IPs. Como exemplos, podem ser citados o Protocolo de Inicialização de Sessão (*Session Initiation Protocol – SIP*), o IP Móvel (*Mobile IP – MIP*), além dos protocolos *DiffServ* e *IntServ* para tratamento de Qualidade de Serviço (*Quality of Service – QoS*) e outros. Os serviços oferecidos pela funcionalidade são: (i) Serviço de Eventos, através do *Media Independent Event Service* (MIES); (ii) Serviço de Comandos, através do *Media Independent Command Service* (MICS);

e (iii) Serviço de Informação, através do *Media Independent Information Service* (MIIS). A Figura 3.6 ilustra a arquitetura do MIHF [Stein, 2006].

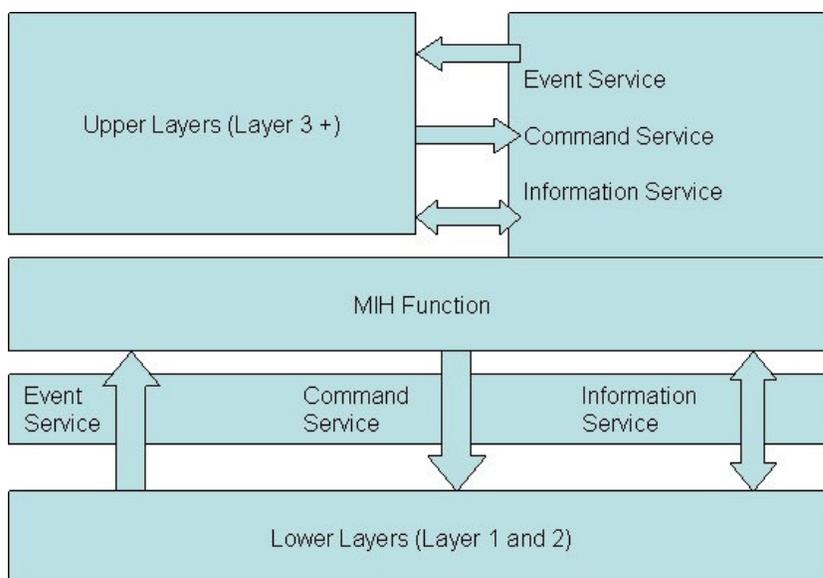


Figura 3.6 – Arquitetura Media Independent Handover Function.

Fonte: [Stein, 2006].

3.2.3.1 Media Independent Event Service

O *Media Independent Event Service* (MIES) permite que as camadas superiores sejam notificadas de eventos ocorridos no enlace. O modelo de eventos, conforme ilustra a Figura 3.7, trabalha de acordo com um procedimento de registro/notificação, atuando tanto em eventos locais, ou seja, aqueles que ocorrem dentro do cliente, quanto em eventos remotos, ou seja, aqueles que ocorrem em outros elementos da rede. Nesse procedimento, a *MIH Function* deve registrar-se na camada de enlace. Assim, todas as ocorrências de eventos da camada serão notificadas a ela através dos eventos de enlace (*Link Events*); e as camadas superiores, locais e/ou remotos, interessadas em tais eventos devem registrar-se na *MIH Function*, que criará um relatório e notificará a todas as entidades registradas a ela através dos eventos de MIH (*MIH Events*) [Stein, 2006] e [Lampropoulos et al., 2008].

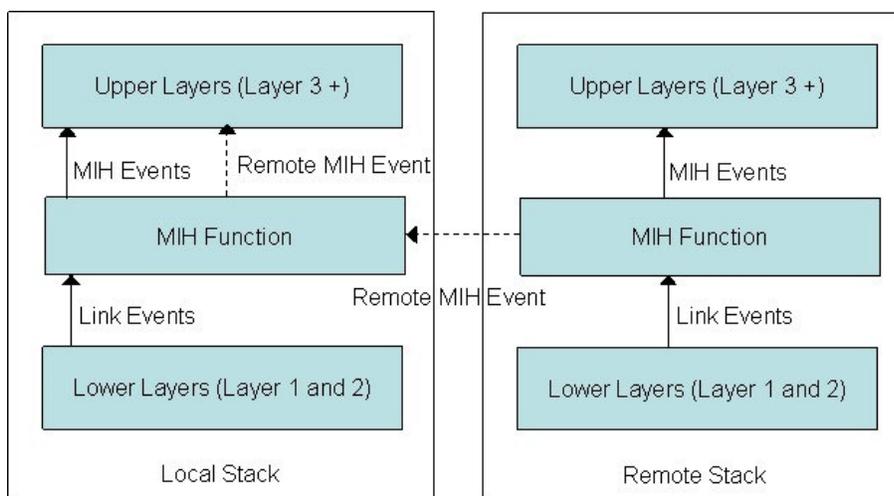


Figura 3.7 – Modelo de funcionamento do MIES.

Fonte: [Stein, 2006].

Os eventos de enlace e eventos de MIH são classificados em seis categorias: administrativa, mudança de estado, parâmetros de enlace, pré-indicativa, sincronismo de enlace e transmissão de enlace. A Tabela 3.1 lista tais eventos, suas classificações, descrições, local de ocorrência e direção.

Tabela 3.1 – Eventos de enlace e MIH.

Fonte: [Stein, 2006].

No.	Classificação	Nome	Descrição	Ocorrência	Direção
Link Events					
1	Mudança de Estado	Link Up	Conexão L2 está estabelecida e o link está disponível para uso	-	-
2	Mudança de Estado	Link Down	Conexão L2 foi quebrada e o link não está disponível para uso	-	-
3	Pré-indicativo	Link Going Down	Condições do link estão degradando e perda de conexão é iminente	-	-
4	Mudança de Estado	Link Detected	Novo link foi detectado	-	-
5	Parâmetros de enlace	Link Parameters Change	Mudança de Parâmetros do enlace	-	-
6	Administrativo	Link Event Rollback	Link anterior precisa ser refeito	-	-

7	Transmissão de enlace	Link SDU Transmit Status	Indica transmissão de estado de todos os segmentos PDUs	-	-
8	Sincronismo de enlace	Link Handover Imminent	<i>Handover L2</i> é iminente baseado nas mudanças de condições do link	-	-
9	Sincronismo de enlace	Link Handover Complete	<i>Handover L2</i> para novo Ponto de Acesso foi concluído	-	-
MIH Events					
1	Mudança de Estado	MIH Link Up	Conexão L2 está estabelecida e o link está disponível para uso	L, R	C => R R => R
2	Mudança de Estado	MIH Link Down	Conexão L2 foi quebrada e o link não está disponível para uso	L, R	C => R R => R
3	Pré-indicativo	MIH Link Going Down	Condições do link estão degradando e perda de conexão é iminente	L, R	C => R R => R R => C
4	Mudança de Estado	MIH Link Detected	Novo link foi detectado	L, R	C => R R => R
5	Parâmetros de enlace	MIH Link Parameters Report	Mudança de Parâmetros do enlace precisam ser reportadas	L, R	C => R R => R R => C
6	Administrativo	MIH Link Event Rollback	Link anterior precisa ser refeito	L, R	C => R R => R R => C
7	Transmissão de enlace	MIH Link SDU Transmit Status	Indica transmissão de estado de todos os segmentos PDUs	L	-
8	Sincronismo de enlace	MIH Link Handover Imminent	<i>Handover L2</i> é iminente baseado nas mudanças de condições do link	L, R	C => R R => R R => C
9	Sincronismo de enlace	MIH Link Handover Complete	<i>Handover L2</i> para novo Ponto de Acesso foi concluído	L, R	C => R R => R R => C
Legenda de Local de Ocorrência					
L = Local R = Remoto					
Legenda de Direção					
C => R = Cliente para Rede R => C = Rede para Cliente R => R = Rede para Rede					

3.2.3.2 Media Independent Command Service

O *Media Independent Command Service* (MICS) possibilita que às camadas superiores enviem comandos para camadas mais baixas, apoiando o controle de mobilidade e as decisões de *handover*. Os comandos providos pelo MIH (*MIH Commands*), assim como os eventos, podem ser locais ou remotos e são originados a partir das camadas superiores em direção ao *MIH Function*. Na *MIH Function*, tais comandos são transformados em comandos de enlace (*Link Commands*) e seguem para as camadas inferiores e/ou para uma pilha remota. A Figura 3.8 ilustra o modelo de funcionamento do *Media Independent Command Service* [Stein, 2006] e [Lampropoulos et al., 2008].

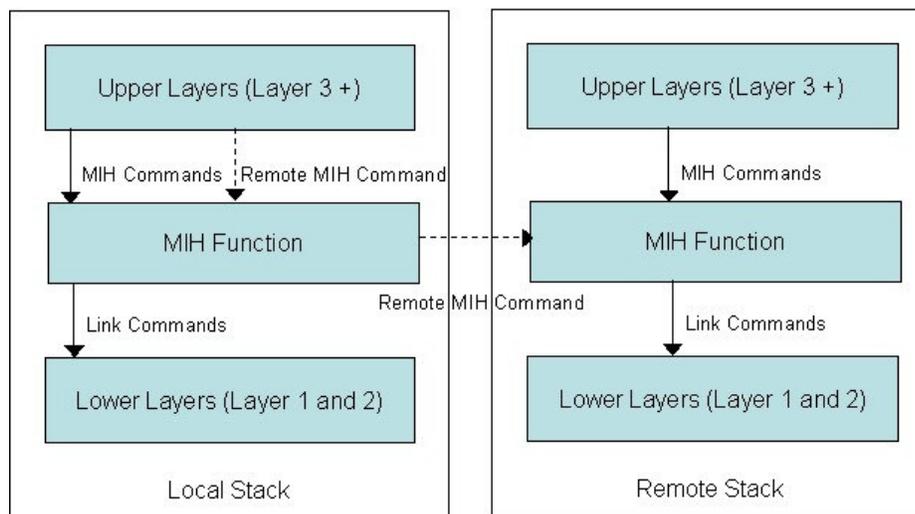


Figura 3.8 – Modelo de funcionamento do MICS.

Fonte: [Stein, 2006].

Os comandos de enlace, diferentemente dos comandos do MIH, são específicos da rede de acesso em uso, ou seja, ocorrem localmente. A Tabela 3.2 lista os comandos MIH e de enlace, suas respectivas descrições, locais de ocorrência e direções.

Tabela 3.2 – Comandos de MIH e enlace.

Fonte: [Stein, 2006].

No.	Nome	Descrição	Ocorrência	Direção

MIH Commands				
1	MIH Get Status	Obtém status do link	L, R	R => C
2	MIH Switch	Altera o link como especificado	L, R	R => C
3	MIH Configure	Configura um link	L, R	R => C
4	MIH Configure Thresholds	Configura o limiar para os eventos de link	L, R	R => C
5	MIH Scan	Varre um link	L, R	R => C
6	MIH Handover Initiate	Cliente ou Rede pode iniciar um <i>handover</i> , assim, envia-se uma lista de redes sugeridas e Pontos de Acesso associados.	L, R	R => C C => R
7	MIH Handover Prepare	Este comando é enviado pela entidade MIHF corrente para a entidade MIHF alvo para permitir a consulta de recursos e preparação para o handover	L, R	R => R
8	MIH Handover Commit	Neste caso o cliente ou a rede se compromete em fazer o <i>handover</i> e enviar uma lista de redes selecionadas e os Pontos de Acesso associados	L, R	R => C C => R
9	MIH Handover Complete	Notificação de novo servidor MIHF para o MIHF anterior, indicando a conclusão do handover e qualquer pendência pacotes podem agora ser remetida para o novo MIHF	L, R	R => C C => R
10	MIH Network Address Information	Enviado do servidor MIHF corrente para o servidor MIHF alvo para reconfigurar o endereço de rede para o cliente	L, R	R => R
Link Commands				
1	Link Configure Thresholds	Configura a limiar para vários eventos da camada de enlace, como Link Going Down	-	-
Legenda de Local de Ocorrência				
L = Local R = Remoto				
Legenda de Direção				
C => R = Cliente para Rede R => C = Rede para Cliente R => R = Rede para Rede				

3.2.3.3 Media Independent Information Service

O *Media Independent Information Service* (MIIS) provê mecanismos para se obter informações inerentes à área geográfica da rede e informações que sejam necessárias para o *handover*, como mapa da vizinhança, informações sobre a camada de enlace e tipos de serviços disponíveis. O MIIS oferece um mecanismo de pergunta e resposta, formando uma espécie de via de mão-dupla, onde todas as camadas podem compartilhar Elementos de Informação (*Information Elements – IE*) que auxiliem na tomada de decisão do *handover*. Essas informações devem ser suficientes para atender pelo menos quatro pontos importantes [Stein, 2006] e [Lampropoulos et al., 2008]:

1. O acesso aos mapas de vizinhança das redes numa área geográfica pode ser obtido de qualquer entidade da rede. Onde, por exemplo, as antenas transmissoras de uma rede WIMAX conhecem as torres celulares e vice-versa;
2. Podem ser acessados parâmetros estáticos da camada de enlace, como suporte ao QoS e redes restritas;
3. Relatórios devem ser utilizados para melhorar a eficiência, como o fornecimento de informações sobre os canais utilizados pelos Pontos de Acesso (*Point of Attachment – PoA*), evitando, assim, a varredura de canais;
4. Características específicas dos fornecedores podem ser informadas, como identificação de redes prioritárias e divulgação de identificadores de rede.

Esses elementos são transmitidos em um formato de mensagens chamado *Type-Length-Value* (TLV). Formato *default*, ilustrado na Figura 3.9. Eles são divididos em cinco grupos: Informações Gerais (ex: operadores da área), Rede de Acesso (ex: custo, segurança, QoS), Informações sobre o PoA (ex: localização, taxa de dados, canais), Serviços de Camadas Superiores (ex: informação sobre a subrede) e Outras Informações (ex: específicas do fornecedor).

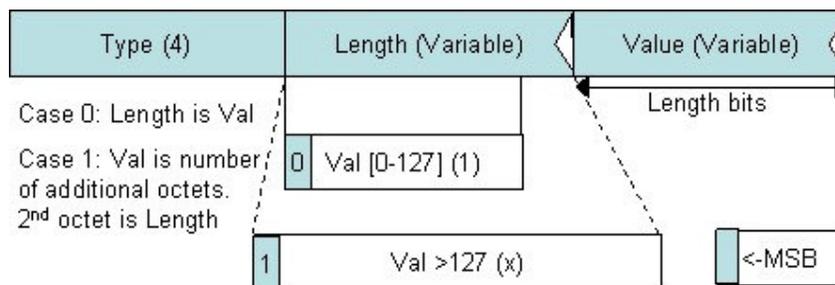


Figura 3.9 – Formato de mensagem TLV.

Fonte: [Stein, 2006].

O MIIS é utilizado basicamente para transferência rápida de dados e com pouquíssima complexidade de decodificação. Além do formato TLV, outro formato pode ser utilizado para transferência de relatórios, o *Resource Description Framework* (RDF), representado pelo *Extensible Markup Language* (XML). A Tabela 3.3 lista os tipos de Elementos de Informações suportados e seus respectivos *ranges*.

Tabela 3.3 – Tipos de elementos de informações suportados.

Fonte: [Stein, 2006].

Range	Descrição	Comentários
0x00000000	Reservado	-
0x00000001 - 0x000000FF	Reservado para 802.21	Especificações de cabeçalho de IEs do 802.21.
00000100 - 0x1FFFFFFF	Reservado para 802.21	Especificações de IEs do 802.21
0x2 (16 bit OUI) (14 bit)	Especificado pelo fabricante	Definições básicas de IEs do fabricante 16 bit OUI: Vendor Id 14 bit ID:
0x30 (8 bit Working Group identifier) (16 bit WG specific ID of IEs)	Reservado para diferentes redes de trabalho	Reservado para diferentes tipos de redes como 802.11, 802.16 etc., e especificações para handover em redes heterogêneas.
0x31 (24 bit ID)	Reservado para IETF	Reservado para protocolos do IETF e outras IEs de camadas superiores.
0x32 (24 bits)	Reservado para área de berço	Pode ser usado para desenvolvimento e testes. Não deve ser usado em <i>releases</i> de produtos.
0x33000000 - 0xFFFFFFFF	Reservado	Para uso futuro.

3.2.4 Modelo de Referência MIH

O IEEE propõe um modelo de referência a ser utilizado na implementação do MIH. Conforme ilustrado pela Figura 3.10, o modelo especifica três pontos de acesso aos serviços (*Service Access Point – SAP*) para permitir a comunicação entre as camadas adjacentes. São eles: (i) MIH_SAP, para acesso das camadas superiores às camadas inferiores e ao *MIH Function*; (ii) MIH_LINK_SAP, para conectar o *MIH Function* e as camadas inferiores; e (iii) MIH_NMS_SAP, para funções de gerenciamento.

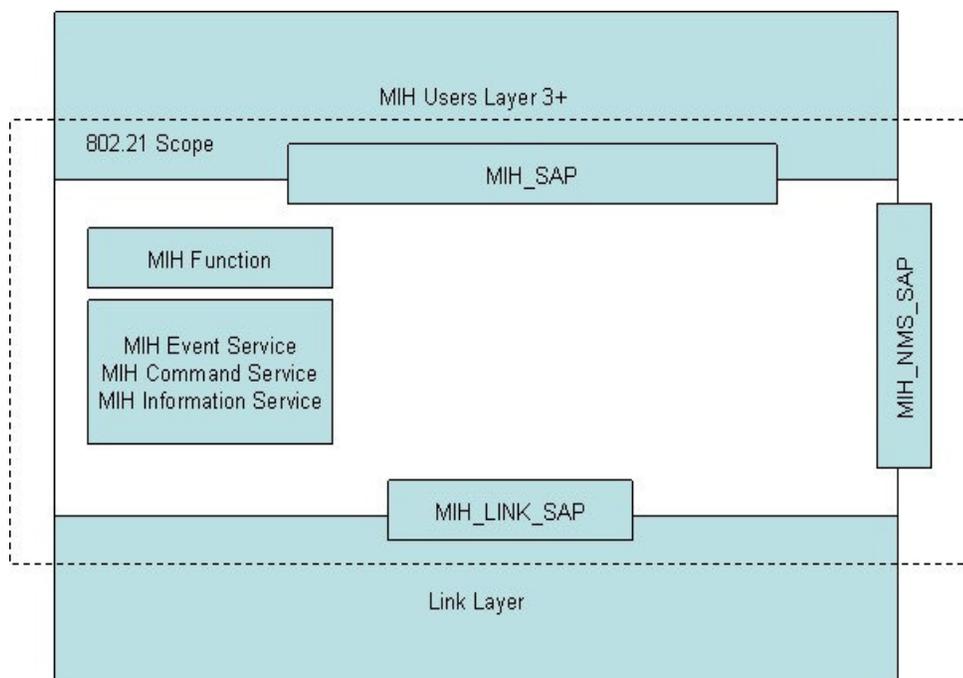


Figura 3.10 – Modelo de Referência do MIH.

Fonte: [Stein, 2006].

No caso de múltiplas tecnologias de rede envolvidas, cada uma, baseando-se no modelo de referência, deve interagir diretamente com o *MIH Function* através de seu próprio SAP. Obviamente, podem ser necessárias adequações nos SAPs das tecnologias, podendo ser definidas como emendas às respectivas especificações, conforme descrito por [Stein, 2006]. Contudo, essencialmente, todas suportam o *MIH Function*. A Figura 3.11 exemplifica a integração de múltiplas tecnologias de acesso, onde são ilustrados seus respectivos SAPs. Para as redes *Ethernet* (802.3), por exemplo, o LSAP pode ser utilizado para dados e o

MIH_SME_SAP para a gerência. O Wi-Fi (802.11) possui o LLC_SAP para dados e o MLME_SAP para gerência. O WIMAX (802.16) possui C_SAP e CS_SAP para dados e M_SAP para gerência. Já os padrões 3GPP/3GPP2 serão necessários serem adaptados para suportar o MIH, assim, um ponto de acesso definido como MIH_3GLNK_SAP representa a implementação de um SAP para padrões como GSM, UMTS, ALC, PPP, LTE / SAE e toda tecnologia de telefonia móvel.

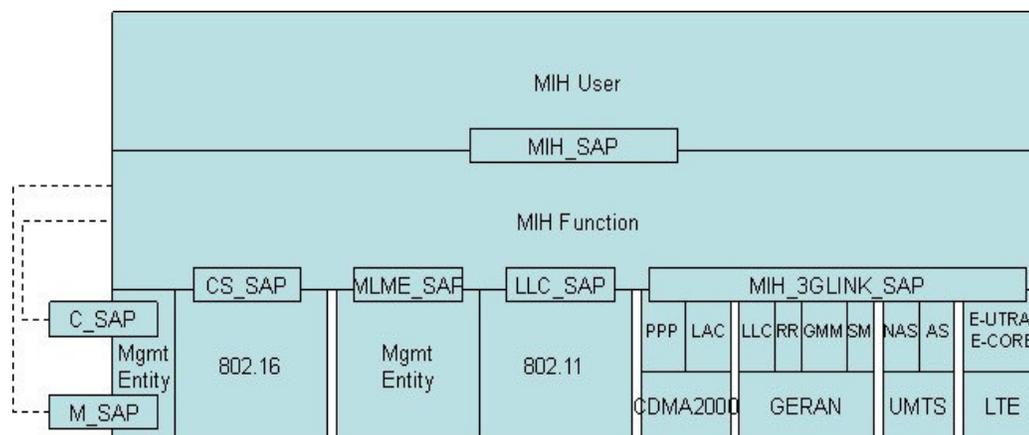


Figura 3.11 – Modelo de Referência de Múltiplas Redes de Acesso.

Fonte: [Stein, 2006].

O IEEE especifica ainda, algumas primitivas para pontos de acesso aos serviços gerenciais. A Tabela 3.4 descreve cada uma dessas primitivas.

Tabela 3.4 – Primitivas dos pontos de acesso de serviços gerenciais.

Fonte: [Stein, 2006].

No.	Primitiva	Categoria do Serviço	Descrição
1	Initialize	Gerencia o Sistema	Inicializa o MIH Function
2	Reset	Gerencia o Sistema	Reseta o MIH Function
3	Install link	Gerencia o Sistema	Informa o MIH Function que um novo link para um nó móvel foi criado na rede. A interface deve ser ligada e configurada
4	Remove link	Gerencia o Sistema	Informa o MIH Function que um link para um nó móvel foi rompido na rede. A interface deve ser desligada.

3.2.5 Protocolo MIH

A comunicação entre camadas adjacentes ocorre através dos SAPs conforme descrito na seção anterior. Contudo, como já também salientado, podem ocorrer envio de relatórios, informações e comandos para outras entidades da rede através da comunicação remota. Assim, o IEEE propõe um protocolo que possibilite esse tipo de comunicação, denominado Protocolo MIH.

O Protocolo MIH utiliza o meio físico para envio de dados a outras entidades, encapsulando esses dados em *frames* MIH, conforme ilustra a Figura 3.12, e enviando no formato de mensagem TLV. O formato definido para o *frame* é composto basicamente de duas partes, onde os dois primeiros octetos correspondem a primeira parte e é responsável por manter informações de cabeçalho, como versão do *frame* e identificação da transação. A segunda parte, formada pelos dois últimos octetos, é responsável por manter a mensagem, gerindo tanto informações de identificação da mensagem como a carga de dados propriamente dita.

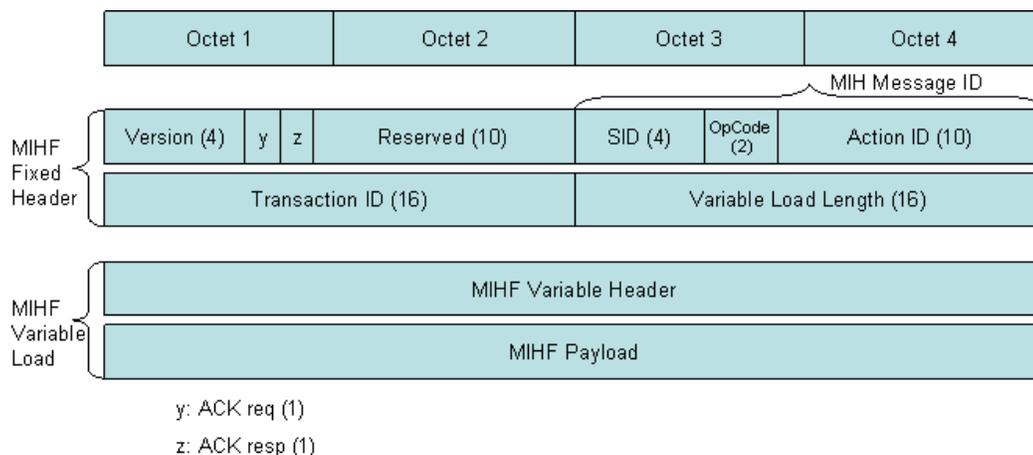


Figura 3.12 – Frame MIH.

Fonte: [Stein, 2006].

3.2.6 *Análise da Proposta*

A proposta para padronização do procedimento de *handover* apresentada pela IEEE oferece uma boa solução de redes integradas. As funcionalidades especificadas para o *MIH Function* (MIHF) oferecem apoio para resolver os desafios envolvidos no *handover* entre redes homogêneas e, principalmente, no *handover* entre redes heterogêneas.

Com o serviço de troca de informações através do *Media Independent Information Service* (MIIS), o equipamento móvel é capaz de selecionar o ponto de acesso mais apropriado, dentre os pontos de acesso candidatos. Como as informações relativas a custo e qualidade de serviço nos pontos de acesso candidatos podem ser obtidas, custos e perdas de qualidade podem ser minimizados.

Com os eventos disponíveis pelo *Media Independent Event Service* (MIES) e os serviços de comandos providos pelo *Media Independent Command Service* (MICS) é possível auxiliar a política de *handover* a detectar e determinar o melhor momento para executá-lo.

Promover os serviços relacionados acima, viabiliza a comunicação entre as camadas rede e enlace, fazendo com que seja possível integrar as responsabilidades de cada uma dessas camadas. Assim, cooperam reciprocamente a gerência de mobilidade, provida pela camada de rede e a gerência do meio físico, provida pela camada de enlace.

O principal problema identificado na especificação do MIH diz respeito à troca de informações entre as entidades distintas. Possibilitar a comunicação entre os diversos elementos da rede pode acarretar em um grande aumento de fluxo de dados na rede (*overflow*). Além disso, o estado atual da proposta é outro problema. A mesma encontra-se em formato *Draft* e muitas mudanças podem ocorrer até que a proposta seja finalizada. Assim, produtos que suportem esse padrão ainda levarão muito tempo para chegar ao mercado.

Capítulo 4

Modelo de Integração Proposto

4.1 Introdução

A proposta apresentada por Nguyen-Vuong et al. (2006) se baseia na mobilidade e, como mencionado, utiliza o IP móvel para gerir essa mobilidade e promover a integração entre as redes WIMAX e UMTS. O IP móvel, por si só, abrange apenas a camada de rede e depende de uma contextualização de eventos ocorridos na rede, como por exemplo, eventos de descoberta de topologia, notificações de movimentação, pedidos de *handover* e outros. Esses eventos são descritos com demasiada abstração pelo modelo de Nguyen-Vuong et al. (2006) deixando abertas questões relevantes de implementação. Isso o torna menos eficaz quando se deseja avaliar o modelo a partir de resultados de simulações.

Outro fator, também mencionado sobre o modelo de Nguyen-Vuong et al. (2006), deixa evidente que é considerada total colaboração entre as operadoras, tanto para a descoberta de topologia quanto para a iniciação do procedimento de *handover*. Esse pré-suposto torna-se um fator crítico para o modelo, comprometendo sua eficácia.

O modelo de integração proposto neste trabalho considera não só a mobilidade, mas também a gerência do meio físico. Assim, a solução baseia-se na utilização do modelo de Nguyen-Vuong et al. (2006) atrelado à proposta de padronização IEEE 802.21 [Stein, 2006], especificando de forma detalhada a contextualização dos eventos ocorridos na rede e formas de interação desses eventos com os vários elementos da rede. Além disso, são considerados mecanismos que permitam maior autonomia do usuário em relação às redes, minimizando a dependência de colaboração entre as operadoras.

Este capítulo tem como objetivo apresentar o modelo proposto de integração entre as redes WIMAX e UMTS através do *Media Independent Handover*. A seguir, será abordada a

arquitetura, os procedimentos de *handover* WIMAX-UMTS e UMTS-WIMAX e, por fim, uma análise conclusiva do modelo.

4.2 Descrição da Arquitetura de Redes Integradas

Para prover um modelo de integração entre as redes WIMAX e UMTS por meio do *Media Independent Handover*, deve-se, inicialmente, ser feita uma análise do cenário de mobilidade a ser atendido e, através dessa análise, definir uma visão geral dos elementos que compõem o modelo proposto. Para isso, é utilizado como base, o cenário de mobilidade definido na *Generic Link Layer* (GLL) em [Sachs, 2003], onde é possível identificar os três elementos básicos da arquitetura de redes integradas: o nó móvel (*Mobile Node* – MN), a rede UMTS e a rede WIMAX. Além desses, outros dois elementos foram adicionados no modelo proposto: um *backbone*, denominado BackboneMIP, e um servidor WEB. A Figura 4.1 apresenta uma visão geral dos elementos que compõem o cenário de integração modelado.

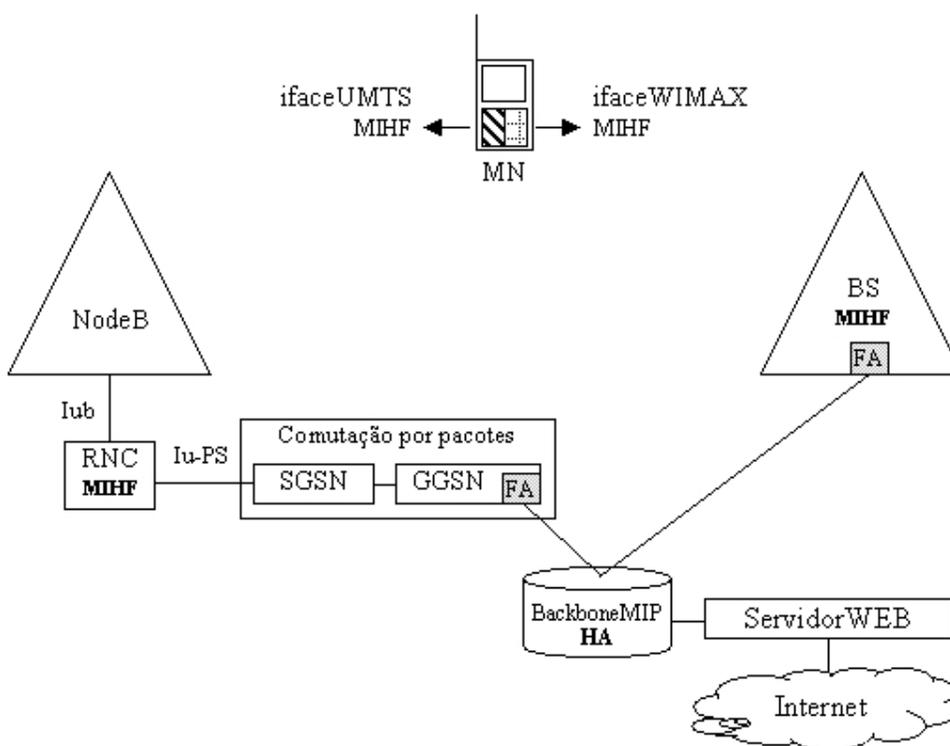


Figura 4.1 – Visão geral dos elementos do cenário de integração.

Na Figura 4.1 observa-se ilustrado um modelo de nó móvel composto por duas interfaces de conexão. Cada uma dessas interfaces é provida de uma *MIH Function* (MIHF), sendo uma compatível com a rede UMTS e outra com a rede WIMAX. Dessa forma, tem-se um nó capaz de exercer dois papéis, um como elemento da rede UMTS, através da ifaceUMTS, conhecido anteriormente como *User Equipment* (UE), e outro, como elemento da rede WIMAX, através da ifaceWIMAX, conhecido anteriormente como *Subscriber Station* (SS).

A rede UMTS, mostrada na visão geral, é simplificada e são ilustrados apenas os componentes que provêm à comutação por pacotes, SGSN e GGSN. O *MIH Function* é adicionado ao Controlador (RNC). Componente este, mais apropriado para atender às necessidades inerentes à configuração e funcionamento da *MIH Function*. Uma vez que ele é o responsável pelo gerenciamento dos recursos de rádio do NodeB, sinalização da interface aérea, processamento de chamadas e outros. Ao GGSN foram adicionadas as funcionalidades inerentes ao *Foreign Agent* (FA). Essas funcionalidades são utilizadas pela rede UMTS, quando for essa a rede visitante do nó móvel.

Na rede WIMAX a *MIH Function* é adicionada a Estação Base (*Base Station* – BS). Além disso, foram adicionadas, também, as funcionalidades do *Foreign Agent* (FA). Essas funcionalidades são utilizadas pela rede WIMAX, quando for essa a rede visitante do nó móvel.

O BackboneMIP é o elemento responsável pelo roteamento correto dos pacotes. Ele tem a função de gerenciar a mobilidade do usuário, tanto na rede de origem quando na rede visitante. Portanto, o IP móvel (*Mobile IP* – MIP) é atrelado a esse elemento. Dessa forma, ele age como um *Home Agent* (HA), às vezes para a rede UMTS e às vezes para a rede WIMAX, dependendo, obviamente, de qual delas é a rede de origem.

O servidor WEB, por sua vez, representa o nó com o qual o nó móvel se comunica. A esse elemento compete atender às requisições do nó móvel solicitadas ao mundo externo (Internet).

Além das interfaces de conexão e *MIH Functions* atreladas ao nó móvel, como já mencionado, é necessário ainda, que sejam incluídas funcionalidades para gerir a aplicação corrente, a mobilidade, a conectividade e principalmente, o *handover*, através de políticas de *handover* configuradas localmente. A gestão do *handover* pelo nó móvel faz com que a responsabilidade de iniciação de *handover* seja retirada da rede que, como já foi dito, é um fator crítico no modelo de Nguyen-Vuong et al. (2006).

Diante disso, tem-se um modelo de nó móvel composto por inúmeras camadas. A Figura 4.2 ilustra essas camadas e como elas são distribuídas no nó. Nessa figura, pode-se observar uma macro-camada, denominada Gerência, que representa as funcionalidades gerenciais do nó móvel, incluindo a parte que cabe às definições de política de *handover*. Além disso, existe uma camada intermediária, denominada Interfaces de Conexão, onde estão representadas as interfaces ifaceUMTS e ifaceWIMAX, cada qual com sua respectiva *MIH Function* (MIHF). Cada MIHF, por sua vez, provê serviços de eventos (MIES), comandos (MICS) e de informação (MIIS). Por fim, temos uma camada final, denominada Camada Física, que representa as conexões físicas de cada uma das interfaces, sendo uma para a rede UMTS, pela *Physical UMTS* (PHY UMTS) e uma para a rede WIMAX, pela *Physical WIMAX* (PHY WIMAX).

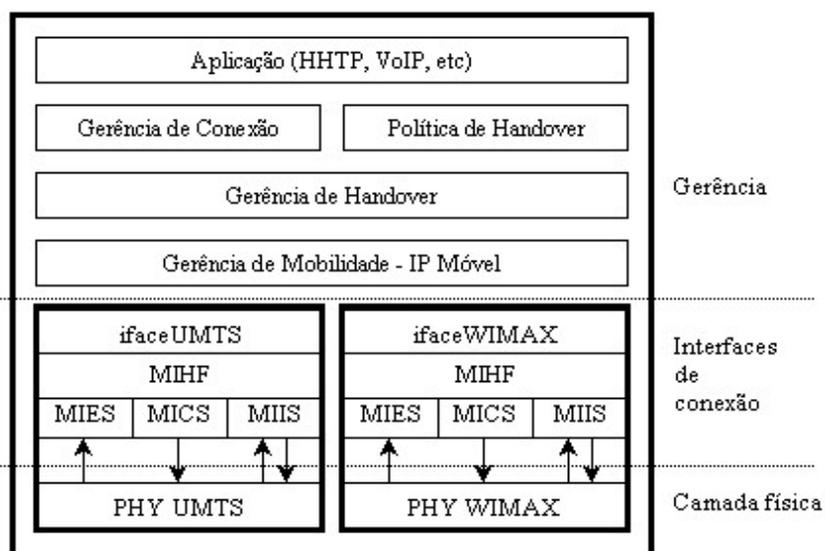


Figura 4.2 – Composição do nó móvel distribuída em camadas.

4.3 Procedimento de Handover

O modelo de integração aqui proposto, assim como no modelo de Nguyen-Vuong et al. (2006), envolve dois cenários de *handover*: *Handover WIMAX para UMTS* e *Handover UMTS para WIMAX*. Partindo do pré-suposto que o nó móvel encontra-se em operação na rede de origem, é premissa que o procedimento de registro de eventos do *MIH Function* tenha

ocorrido tanto local, para ambas as interfaces, quanto remoto, ou seja, para os demais elementos da rede de origem. Dessa forma, os eventos ocorridos no enlace do nó móvel podem ser reportados às camadas superiores locais e remotas. Essa etapa pode ser provida pelo padrão IEEE 802.21 através do evento *MIH Event Register* do *Media Independent Event Service*.

A partir dessa premissa, o procedimento de *handover* passa a se consistir em três macro-etapas, que são aquelas já definidas pela proposta IEEE [Stein, 2006]: inicialização, preparação e execução do procedimento de *handover*. Além disso, o procedimento comum definido por Nguyen-Vuong et al. (2006) para redução de perda de pacotes, é mantido. Assim, os pacotes são armazenados, temporariamente, durante o processo de *handover* até que a conexão com a rede alvo seja restabelecida e o equipamento móvel possa recebê-los.

4.3.1 Handover WIMAX para UMTS

No primeiro cenário, que envolve o procedimento de *handover* do WIMAX para o UMTS, o equipamento do usuário está conectado a uma rede WIMAX e passa a ser atendido por uma rede UMTS. Ao entrar na zona de intercessão, o equipamento do usuário realiza uma mensuração da qualidade de sinal da rede UMTS. Caso as condições que atendam às políticas de *handover* estabelecidas pelo equipamento sejam satisfatórias, a decisão de *handover* é tomada e o equipamento informa o início do procedimento à sua rede de origem, no caso a rede WIMAX. A rede UMTS, que é a rede visitante, é notificada pela rede WIMAX através de comandos de requisição e resposta providos pelo *Media Independent Command Service*. Durante essa etapa, notificações MIP, que indicam a movimentação do equipamento, são realizadas. Assim, os pacotes são retidos em *buffer*, para evitar a perda de dados. Após a finalização da conexão do equipamento com a rede UMTS, o equipamento notifica a finalização do *handover*. A comunicação é restabelecida e os dados mantidos em *buffer* são encaminhados ao equipamento pela rede UMTS.

Para detalhar esse cenário, são definidos dezesseis passos que descrevem desde a mensuração até a finalização do *handover* WIMAX para UMTS. São eles:

1. O nó móvel faz periodicamente uma varredura dos canais, enviando para rede a mensagem *MIH_Get_Information_REQ*, para obter informações da

topologia vizinha. Ambas as interfaces podem ser utilizadas (ifaceWIMAX e ifaceUMTS). Dessa forma, é possível obter informações tanto de NodeBs (UMTS) quanto de outras Estações Base (WIMAX). O nó móvel também pode ser “forçado” a executar esse procedimento, caso receba de sua rede de origem uma notificação do evento *MIH_Link_Going_Down*. Esse evento indica a degradação do sinal e eminência de rompimento do *link*. Alternativamente, pode haver um repositório contendo as informações da topologia, o que evita o processo de varredura.

2. O nó móvel executa um processo de mensuração onde são avaliadas as informações recebidas da rede (*MIH_Get_Information_RESP*), juntamente com as condições atuais do *link* corrente. Por meio de consultas às políticas de *handover* configuradas, a decisão de *handover* vertical é tomada com passagem para a rede UMTS.
3. O nó móvel seleciona os NodeBs que podem lhe servir e envia essa lista juntamente com o comando *MIH_Handover_Initiate* para sua Estação Base. São informados as redes sugeridas (UMTS), os pontos de acesso (NodeBs) e o Controlador de Rede (RNC) associado. O comando notifica a iniciação do *handover* à rede corrente.
4. A Estação Base seleciona um NodeB na lista recebida e envia o comando *MIH_Handover_Prepare_REQ* para o RNC associado a ele. O comando deve conter os dados do nó móvel e a qualidade de serviço requerida. Esse comando permite a consulta de recursos e a preparação para o *handover*. Se a Estação Base não receber resposta alguma do RNC após certo tempo, emite o comando a outro RNC da lista.
5. O RNC verifica se o NodeB alvo suporta a configuração de *link* requerida e quais outros NodeBs associados a ele também podem atender à solicitação. O RNC, então, retorna uma resposta (*MIH_Handover_Prepare_RESP*) indicando os parâmetros apropriados para iniciar a configuração do novo *link*. Dentre esses parâmetros, é informado o NodeB que melhor pode atender ao nó móvel. Nessa etapa, o RNC pode alocar recursos para o nó móvel e iniciar a construção da sua tabela de visitantes (*Visitor Location Register – VLR*). Essa tabela servirá como tabela de visitantes MIP (*Visitor List*) para o *Foreign Agent* (GGSN/FA) e, caso sua construção não seja finalizada após certo tempo (*LifeTime*), os recursos serão desalocados.

6. A Estação Base, após receber a resposta do RNC, executa um procedimento de DNS para descobrir o endereço do BackboneMIP (*Home Agent*) que serve como ponto de acesso WIMAX do nó móvel e envia uma notificação MIP para ele. Essa notificação informa a movimentação do nó móvel e o GGSN/FA (*Foreign Agent*) da rede UMTS alvo.
7. O BackboneMIP, ao receber a notificação, inicia o procedimento MIP de criação da tabela de mobilidade (*Mobility Binding List*) do *Home Agent*. A partir de então, os dados deixam de ser encaminhados ao nó móvel e são armazenados em *buffer*, até que o registro do endereço de tratamento (*Care-of-address*) seja recebido. Caso a construção da tabela não seja finalizada após certo tempo (*LifeTime*), os dados armazenados voltam a ser encaminhados para o *home address*.
8. A Estação Base envia o comando *MIH_Configure* para o nó móvel indicando os parâmetros para configuração do novo *link* com o RNC que respondeu o pedido de preparação de *handover*.
9. O nó móvel, ao receber o comando de configuração, dispara o evento *MIH_Link_Down* para a Estação Base, indicando o rompimento do *link* corrente. Nessa etapa, os recursos disponibilizados para o nó móvel ainda não são desalocados. Isso garante uma janela de tolerância a falhas. Caso o evento *MIH_Link_Event_Rollback* seja disparado por algum dos elementos da rede o nó móvel ainda poderá desfazer o procedimento de *handover* e retomar os recursos alocados em sua rede de origem.
10. O nó móvel, baseado nas informações incluídas no comando de configuração de *link*, inicia o procedimento de conexão GPRS com a rede UMTS, trocando mensagens de autenticação, autorização e contabilidade (*Authentication, Authorization and Accounting – AAA*). Como o RNC já havia pré-alocado recursos para o nó móvel, essa etapa pode requerer apenas uma mensagem de confirmação, diminuindo a latência.
11. Após o registro GPRS, o nó móvel executa o procedimento de ativação de contexto PDP junto à rede UMTS e recebe do GGSN um endereço de IP local. Esse endereço de IP é usado como *Care-of-address* e é associado à interface de conexão com a rede UMTS (ifaceUMTS).
12. O nó móvel dispara o evento *MIH_Link_Up* para o RNC, indicando que a conexão UMTS está estabelecida e o *link* está disponível para uso.

13. O nó móvel envia o comando *MIH_Handover_Complete* para o RNC, indicando que o procedimento de *handover* foi concluído e qualquer pendência de pacotes do endereço IP antigo (*home address*) pode, agora, ser remetida para o novo endereço IP (*Care-of-address*). O procedimento de criação da tabela de visitantes (*Visitor Location Register – VLR*) é finalizado e o tempo de vida da tabela (*LifeTime*) é reiniciado.
14. O RNC executa um procedimento de DNS para descobrir o endereço do GGSN (*Foreign Agent*) que servirá de ponto de acesso UMTS para o nó móvel. O RNC, então, envia o comando *MIH_Network_Address_Information* para a rede WIMAX (Estação Base) informando que o endereço IP antigo (*home address*) deve ser reconfigurado para o novo endereço IP (*Care-of-address*) e qual o ponto de acesso (GGSN/FA) será utilizado.
15. A Estação Base envia ao BackboneMIP (*Home Agent*) uma notificação MIP para registro do *Care-of-address*. Nesse momento, os recursos disponibilizados para o nó móvel na rede WIMAX já podem ser desalocados. Isso finaliza a janela de tolerância a falhas iniciada no passo 9.
16. O BackboneMIP, ao receber a notificação, finaliza o procedimento MIP de criação da tabela de mobilidade (*Mobility Binding List*) do *Home Agent* e o tempo de vida da tabela (*LifeTime*) é reiniciado. A partir de então, os dados armazenados em *buffer* podem ser encaminhados para o endereço de tratamento (*Care-of-address*), por meio de tunelamento (*tunneling*). A comunicação é restabelecida.

A Figura 4.3 ilustra os dezesseis passos acima definidos para o procedimento de *handover* do WIMAX para o UMTS.

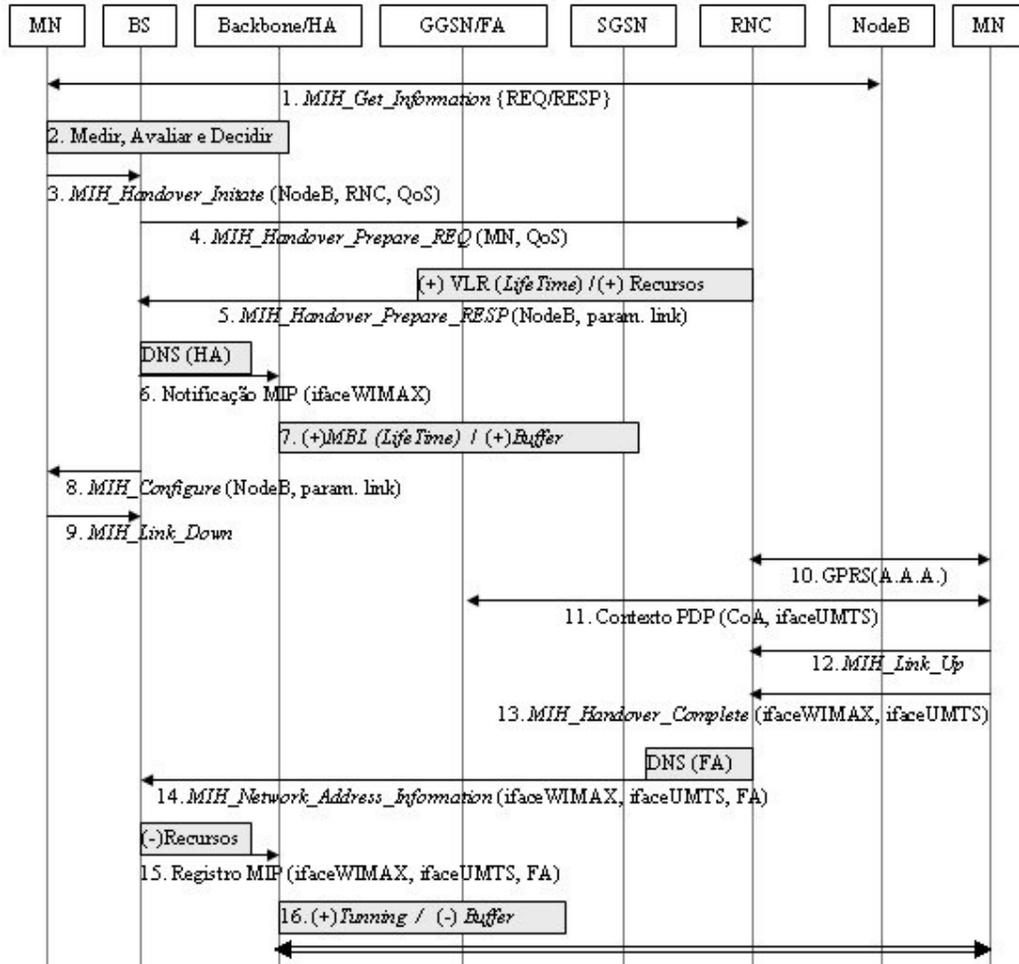


Figura 4.3 – Procedimento de Handover WIMAX-UMTS.

4.3.2 Handover UMTS para WIMAX

No segundo cenário, que envolve o procedimento de *handover* do UMTS para o WIMAX, o equipamento do usuário está conectado a uma rede UMTS e passa a ser atendido por uma rede WIMAX. Ao entrar na zona de intercessão, o equipamento do usuário realiza uma mensuração da qualidade de sinal da rede WIMAX. Caso as condições que atendam as políticas de *handover* estabelecidas pelo equipamento sejam satisfatórias, a decisão de *handover* é tomada e o equipamento informa o início do procedimento à sua rede de origem, no caso a rede UMTS. A rede WIMAX, que é a rede visitante, é notificada pela rede UMTS através de comandos de requisição e resposta providos pelo *Media Independent Command*

Service. Durante essa etapa, notificações MIP, que indicam a movimentação do equipamento, são realizadas. Assim, os pacotes são retidos em *buffer* para evitar a perda de dados. Após a finalização da conexão do equipamento com a rede WIMAX, o equipamento notifica a finalização do *handover*. A comunicação é restabelecida e os dados mantidos em *buffer* são encaminhados ao equipamento pela rede WIMAX.

Apesar da grande similaridade entre os procedimentos de *handover* WIMAX-UMTS e UMTS-WIMAX, as particularidades relacionadas à rede UMTS, principalmente envolvendo a gerência de mobilidade provida pelo IP móvel, fazem necessário descrever de forma detalhada esse cenário. Assim, são definidos dezessete passos que descrevem desde a mensuração até a finalização do *handover* UMTS para WIMAX. São eles:

1. O nó móvel faz periodicamente uma varredura dos canais, enviando para a rede a mensagem *MIH_Get_Information_REQ*, para obter informações da topologia vizinha. Ambas as interfaces podem ser utilizadas (ifaceWIMAX e ifaceUMTS). Dessa forma, é possível obter informações tanto de Estações Base (WIMAX) quanto de outros NodeBs (UMTS). O nó móvel também pode ser “forçado” a executar esse procedimento, caso receba de sua rede de origem uma notificação do evento *MIH_Link_Going_Down*. Esse evento que indica a degradação do sinal e eminência de rompimento do *link*. Alternativamente, pode haver um repositório contendo as informações da topologia, o que evita o processo de varredura.
2. O nó móvel executa um processo de mensuração onde são avaliadas as informações recebidas da rede (*MIH_Get_Information_RESP*) juntamente com as condições atuais do *link* corrente. Por meio de consultas às políticas de *handover* configuradas, a decisão de *handover* vertical é tomada com passagem para a rede WIMAX.
3. O nó móvel seleciona as Estações Base que podem lhe servir e envia essa listagem juntamente com o comando *MIH_Handover_Initiate_REQ* para o RNC. São informados as redes sugeridas (WIMAX) e pontos de acesso associados (Estações Base). O comando notifica a iniciação do *handover* à rede corrente.
4. O RNC seleciona uma Estação Base na lista recebida e envia para ela o comando *MIH_Handover_Prepare_REQ*, contendo os dados do nó móvel e a qualidade de serviço requerida. Esse comando permite a consulta de recursos e a preparação para o *handover*. Se o RNC não receber resposta alguma da

Estação Base após certo tempo, emite o comando a outra Estação Base da lista.

5. A Estação Base que suportar a configuração de *link* requerida retorna uma resposta (*MIH_Handover_Prepare_RESP*), indicando os parâmetros apropriados para iniciar a configuração do novo *link*. Nessa etapa, a Estação Base (*Foreign Agent*) já pode alocar recursos para o nó móvel e iniciar a construção da sua tabela de visitantes MIP (*Visitor List*). Caso a construção da tabela não finalizada após certo tempo (*LifeTime*), os recursos serão desalocados.
6. O RNC, após receber a resposta da Estação Base, envia uma notificação MIP para o GGSN indicando a movimentação do nó móvel e informando a Estação Base alvo (*Foreign Agent*). O GGSN executa um procedimento de DNS para descobrir o endereço do BackboneMIP (*Home Agent*) que serve como ponto de acesso UMTS do nó móvel e encaminha a notificação para ele.
7. O BackboneMIP, ao receber a notificação, inicia o procedimento MIP de criação da tabela de mobilidade (*Mobility Binding List*) do *Home Agent*. A partir de então, os dados deixam de ser encaminhados ao nó móvel e são armazenados em *buffer*, até que o registro do endereço de tratamento (*Care-of-address*) seja recebido. Caso a construção da tabela não seja finalizada após certo tempo (*LifeTime*), os dados armazenados voltam a ser encaminhados para o *home address*.
8. O RNC envia o comando *MIH_Configure* para o nó móvel indicando os parâmetros para configuração do novo *link* com a Estação Base que respondeu ao pedido de preparação de *handover*.
9. O nó móvel, ao receber o comando de configuração, dispara o evento *MIH_Link_Down* para o RNC indicando o rompimento do *link* corrente. Nessa etapa, os recursos disponibilizados para o nó móvel ainda não são desalocados. Isso garante uma janela de tolerância a falhas. Caso o evento *MIH_Link_Event_Rollback* seja disparado por algum dos elementos da rede o nó móvel ainda poderá desfazer o procedimento de *handover* e retomar os recursos alocados em sua rede de origem.
10. Baseado nas informações incluídas no comando de configuração de *link*, o nó móvel inicia o procedimento de conexão com a Estação Base, trocando mensagens de *Registration Request* e *Registration Response*.

11. A Estação Base, como já havia pré-allocado recursos para o nó móvel, disponibiliza o canal de *uplink* e *downlink* para o nó.
12. A Estação Base, disponibiliza um endereço de IP local para o nó móvel que será usado como *Care-of-address*. Esse endereço de IP é associado à interface de conexão com a rede WIMAX (ifaceWIMAX).
13. O nó móvel dispara o evento *MIH_Link_Up* para a Estação Base, indicando que a conexão WIMAX está estabelecida e o *link* está disponível para uso.
14. O nó móvel envia o comando *MIH_Handover_Complete* para a Estação Base, indicando que o procedimento de *handover* foi concluído e qualquer pendência de pacotes do endereço IP antigo (*home address*) pode, agora, ser remetida para o novo endereço IP (*Care-of-address*). O procedimento de criação da tabela de visitantes MIP (*Visitor List*) é finalizado e o tempo de vida da tabela (*LifeTime*) é reiniciado.
15. A Estação Base envia o comando *MIH_Network_Address_Information* para a rede UMTS (RNC) informando que o endereço IP antigo (*home address*) deve ser reconfigurado para o novo endereço IP (*Care-of-address*).
16. O RNC envia uma notificação de registro MIP para o GGSN informando o registro do *Care-of-address*. Nesse momento os recursos disponibilizados para o nó móvel na rede UMTS já podem ser desalocados. Isso finaliza a janela de tolerância a falhas iniciada no passo 9. O GGSN encaminha a notificação de registro MIP ao BackboneMIP (*Home Agent*) que serve ao endereço IP antigo (*home address*).
17. O BackboneMIP, ao receber a notificação, finaliza o procedimento MIP de criação da tabela de mobilidade (*Mobility Binding List*) e o tempo de vida da tabela (*LifeTime*) é reiniciado. A partir de então, os dados armazenados em *buffer* podem ser encaminhados para endereço de tratamento (*Care-of-address*) por meio de tunelamento (*tunneling*). A comunicação é restabelecida.

A Figura 4.4 ilustra os dezessete passos acima definidos para o procedimento de *handover* do UMTS para o WIMAX.

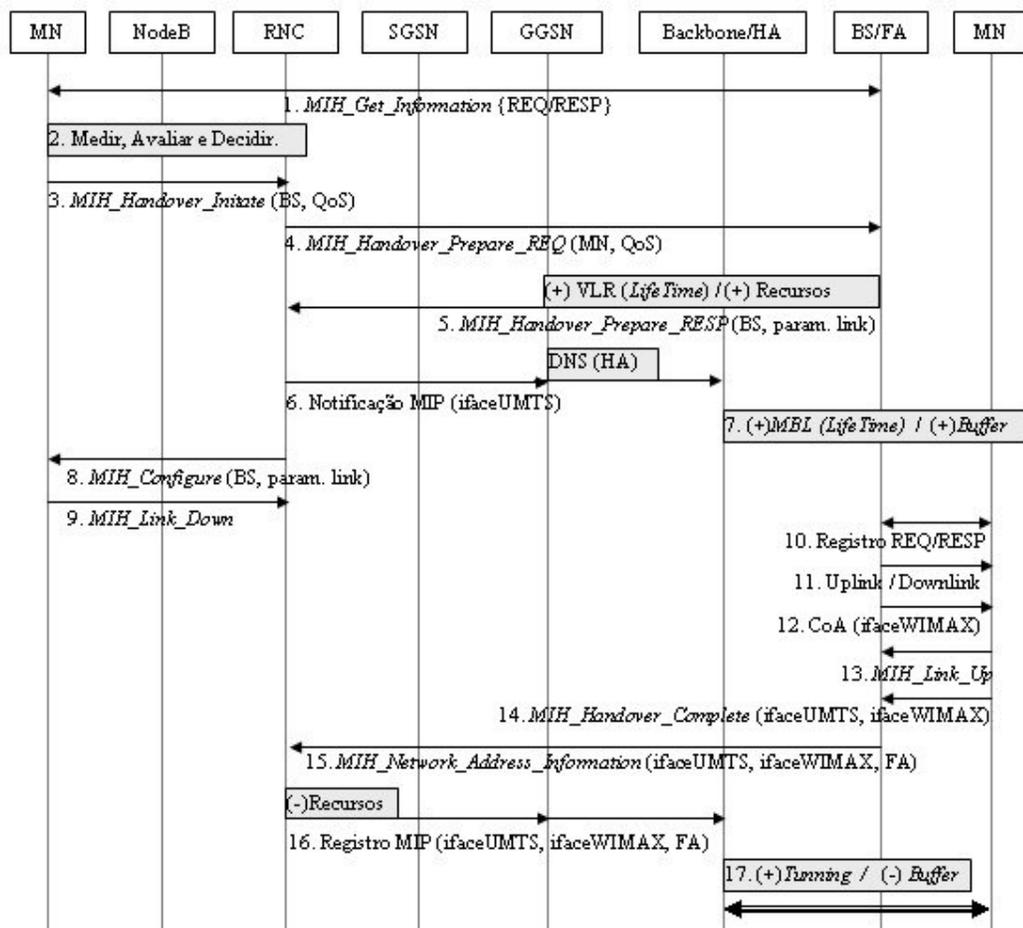


Figura 4.4 – Procedimento de Handover UMTS-WIMAX.

4.4 Análise do Modelo

O modelo de integração WIMAX-UMTS aqui proposto se baseia não só na mobilidade gerida a partir do IP móvel, mas também, nos eventos ocorridos na rede como um todo e na forma como esses eventos interagem com os vários elementos da rede. Isso garante um modelo com maior riqueza de detalhes para questões de implementação, o que viabiliza a criação de simulações e geração de resultados avaliativos, tornando-o mais eficaz do que o modelo apresentado por Nguyen-Vuong et al. (2006). Além disso, a proposta considera a utilização do *Media Independent Handover* como forma de garantir conformidade com as normas de padronização de *handover* descritas no IEEE 802.21 [Gupta, 2006].

Como mecanismo de maior autonomia para o usuário, o modelo sugere a utilização de um equipamento composto por duas interfaces de conexão, cada qual compatível com uma rede. É atribuída, também, ao equipamento, a responsabilidade pela tomada de decisão do *handover* e pela iniciação do procedimento. Todos esses fatores minimizam a dependência que o usuário tem da rede e, também, minimizam os problemas de necessidade de colaboração entre as operadoras. Isso garante maior robustez se comparado ao modelo apresentado por Nguyen-Vuong et al. (2006).

A proposta implementa ainda, uma janela de tolerância a falhas, que consiste em manter alocados os recursos do equipamento em sua rede de origem até a finalização do procedimento de *handover*. Isso pode ser visto entre os passos 9 e 15 do procedimento de *handover* WIMAX-UMTS e entre os passos 9 e 16 do procedimento de *handover* UMTS-WIMAX. Dessa forma é possível desfazer o procedimento de *handover* caso algum elemento da rede dispare o evento *MIH_Link_Event_Rollback* indicando que o *link* anterior precisa ser refeito.

Por fim, a elaboração do modelo levou em consideração ainda, as restrições de direcionamento de fluxo dos comandos e eventos ocorridos na rede. Essas restrições incluem não só definições de origem e destino do fluxo, mas também, o conteúdo que os acompanha.

Capítulo 5

Simulações, Resultados e Análises

5.1 Introdução

Neste capítulo, são apresentados o modelo de simulação e os cenários simulados, assim como resultados das simulações. Os cenários apresentados ilustram os procedimentos de *handover* WIMAX-UMTS e UMTS-WIMAX. Para cada um desses cenários, foram feitas análises do procedimento de *handover* e do desempenho dos serviços prestados pelas redes, antes, durante e após a execução do *handover*.

As simulações foram desenvolvidas utilizando-se a ferramenta *Network Simulator 2* (NS-2), versão 2.30. O NS-2 é uma ferramenta desenvolvida pela Universidade de Berkeley e utiliza as linguagens C++ e *Object-oriented Tool Command Language* (OTCL) para simular aspectos gerais do funcionamento de uma rede [Saunders, 2004].

Para a rede UMTS, foi adotado o módulo disponibilizado por [EURANE, 2008]. Para a rede WIMAX e para o *MIH Function* foram adotados os módulos disponibilizados por [NIST, 2008]. O módulo que provê as funcionalidades do IP móvel faz parte do núcleo da versão NS-2 utilizada.

Para o processo de simulação e obtenção de resultados utilizou-se, como equipamento de simulação, um computador pessoal do tipo portátil (*laptop*). A Tabela 5.1 apresenta as principais características desse equipamento.

Tabela 5.1 – Características principais do equipamento de simulação.

Característica	Valor
Modelo do processador	Intel Celeron M
Quantidade de processadores	1
Frequência de operação	1.6 GHz
Memória principal	2 GB
Memória secundária	120 GB

Sistema operacional	Ubuntu 6.0
---------------------	------------

5.2 Alterações dos módulos e topologia simulada

Devido à utilização de módulos do NS-2 disponibilizados por distintas fontes, foram necessárias várias modificações em cada um desses módulos, principalmente no módulo *MIH Function*, explicado anteriormente. As funcionalidades inerentes à inicialização, notificação, parametrização e conclusão do *handover* foram reescritas e/ou adaptadas para se tornarem compatíveis com o modelo proposto.

Dentre todas essas modificações, a inicialização é a funcionalidade cuja adaptação deve ser destacada, uma vez que a decisão de *handover* no modelo proposto é de responsabilidade do nó móvel. Dessa forma, a funcionalidade passa a ser incorporada ao TCL e sua chamada passa de automática para manual. Isso garante que, mesmo estando em uma zona de intercessão, o nó móvel permanece conectado à rede de origem até que a decisão de *handover* seja tomada pelo nó móvel. Essa adaptação pode ser visualizada no Anexo A que contém os *scripts* dos arquivos simulados.

O modelo de topologia utilizado nas simulações segue a estrutura de redes integradas proposta no Capítulo 4, onde é apresentada a visão geral dos elementos do cenário de integração. Observando a Figura 5.1, que ilustra o modelo de topologia simulado, é possível visualizar os componentes de cada uma das redes envolvidas e os enlaces entre esses elementos. Os elementos do modelo são descritos logo em seqüência.

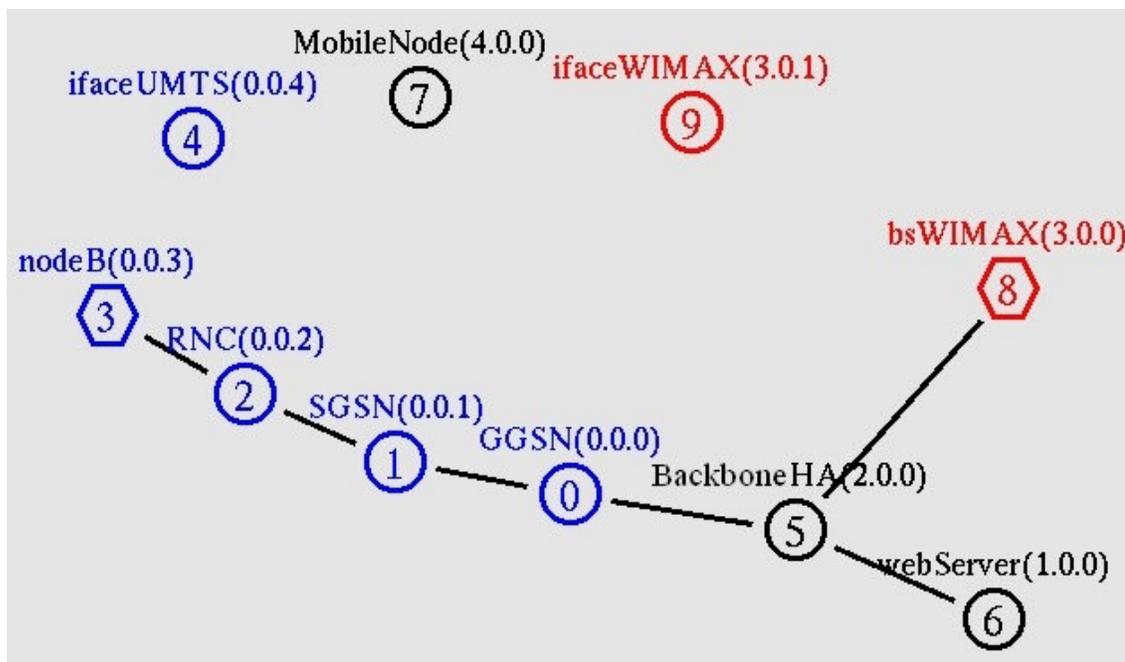


Figura 5.1 – Modelo de topologia simulado.

A rede UMTS é representada na Figura 5.1 pelo conjunto dos nós NodeB, RNC, SGSN e GGSN. A rede WIMAX é representada pelo nó bsWIMAX e o equipamento do usuário é representado pelos nós ifaceUMTS, ifaceWIMAX e MobileNode. Nesse último, estão acoplados os agentes de recepção para os tráfegos UDP e TCP. Na topologia simulada, existem ainda, o nó BackboneHA, responsável pelo roteamento correto dos pacotes e o webServer, nó onde estão acoplados os agentes de transmissão e as aplicações. Os tipos de tráfego simulados representam as quatro classes de QoS definidas pelo 3GPP [3GPP, 2006]. Assim, os serviços foram definidos como *conversational*, *interactive*, *streaming*, e *background*, seguindo essa ordem de prioridade. Os três primeiros serviços são considerados serviços de tempo real e o último como serviço de tempo não real. Em relação às taxas, intervalo, protocolos e aplicações mapeadas, a Tabela 5.2 apresenta os valores definidos para cada serviço. Essas configurações foram baseadas nas taxas descritas em [3GPP, 2006].

Tabela 5.2 – Configurações de tráfego das simulações.

Serviço	Valor definido
<i>Conversational</i>	Agente: TCP Aplicação: CBR Taxa de transmissão: 12Kb Intervalo de transmissão: 0.05s

<i>Interactive</i>	Agente: UDP Aplicação: CBR Taxa de transmissão: 384Kb Intervalo de transmissão: 0.05s
<i>Streaming</i>	Agente: UDP Aplicação: VBR Taxa de transmissão: 768Kb Intervalo de transmissão: 0.05s
<i>Background</i>	Agente: TCP Aplicação: FTP Taxa de transmissão: 144Kb Intervalo de transmissão: 0.05s

Para garantir o transporte fim-a-fim na topologia modelada, foram criados vários enlaces entre os elementos da rede. A Tabela 5.3 apresenta cada um desses enlaces e suas respectivas configurações.

Tabela 5.3 – Configurações de enlaces das simulações.

Elementos envolvidos	Configurações do Enlace
ifaceUMTS e NodeB	Duplex-Link Bandwidth: 2 Mbit Link Delay: 0,4 ms Buffer Type: DropTail(FIFO) Buffer Length: 1500
NodeB e RNC	Setup-Iub Uplink Bandwidth: 622 Mbit Downlink Bandwidth: 622Mbit Uplink Link Delay: 0,2 ms Downlink Link Delay:0,2 ms Buffer Type: DropTail (FIFO) Buffer Length: 500
RNC e SGSN	Duplex-Link Bandwidth: 622 Mbit Link Delay: 0,4 ms Buffer Type: DropTail(FIFO) Buffer Length: 1500
SGSN e GGSN	Duplex-Link Bandwidth: 622 Mbit Link Delay: 10 ms Buffer Type: DropTail (FIFO) Buffer Length: 500

BackboneHA e GGSN	Duplex-Link Bandwidth: 100 Mbit Link Delay: 15 ms Buffer Type: DropTail (FIFO) Buffer Length: 1500
BackboneHA e BS	Duplex-Link Bandwidth: 100 Mbit Link Delay: 15 ms Buffer Type: DropTail (FIFO) Buffer Length: 1500
ifaceWIMAX e BS	Duplex-Link Bandwidth: 15 Mbit Link Delay: 0,4 ms Buffer Type: DropTail(FIFO) Buffer Length: 1500
BackboneHA e webServer	Duplex-Link Bandwidth: 10 Mbit Link Delay: 5 ms Buffer Type: DropTail (FIFO) Buffer Length: 1500

Para análise e avaliação dos resultados, cada um dos quatro serviços mapeados (*conversational, streaming, interactive e background*) foi executando, em separado, 33 vezes em cada um dos dois cenários definidos no modelo proposto: *handover* WIMAX-UMTS e *handover* UMTS-WIMAX. Dessa forma, totalizam-se 264 simulações. O tempo de funcionamento da rede foi estipulado em 60 segundos para cada das simulações. O controle de mobilidade e decisão de *handover* foi definido pelo tempo, sendo que a decisão de *handover* é tomada quando a simulação atinge 50% do seu tempo total. A média de tempo para finalização de cada uma das 33 vezes em que as simulações foram executadas, levou aproximadamente 17 minutos. Os resultados apresentados representam a média aritmética de cada uma dessas 33 repetições.

5.3 Resultados e Análises

As simulações foram realizadas com o objetivo de se avaliar o modelo proposto. Para o ambiente de simulação, descrito acima, foram realizados dois tipos de análises de resultados: análise de garantia do processo de *handover* suave e análise do desempenho do

usuário nas duas redes, antes, durante e após a execução *handover*. Na primeira análise observou-se que as conexões foram mantidas nos dois sentidos de *handover*: UMTS para WIMAX e WIMAX para UMTS. Identificou-se, ainda, a não ocorrência de perda de pacotes. Constatando-se, assim, a continuidade dos serviços e, portanto, a garantia de *handover* vertical suave em ambos os sentidos. Na segunda análise, foram avaliados as medidas de desempenho vazão média, atraso médio e variação de atraso médio, todas em ambos os sentidos. Essas medidas são descritas a seguir, juntamente com seus resultados e análises. O intervalo de confiança definido para validação dos resultados foi de 95%. Assim, as medidas são acompanhadas ainda da média, do desvio padrão, do intervalo de confiança e dos limites inferior e superior de cada um dos serviços analisados.

5.3.1 Vazão média

Para uma melhor visualização dos resultados gráficos a vazão foi agrupada em períodos de um segundo. Portanto, os índices representam a média de vazão obtida a cada segundo. A Figura 5.2 e a Figura 5.3 representam, respectivamente, os gráficos de vazão média obtida em Mbps nos procedimentos de *handover*: UMTS-WIMAX e WIMAX-UMTS.

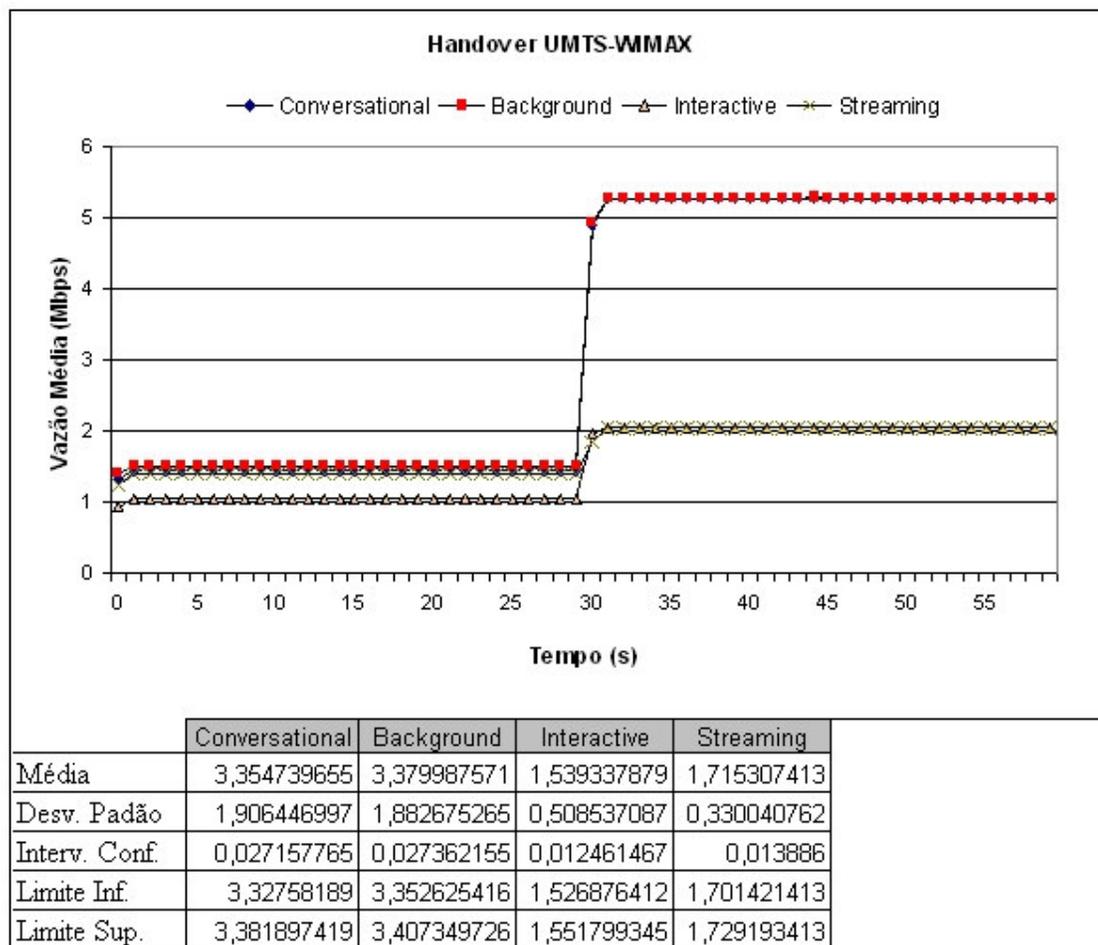


Figura 5.2 – Vazão Média no Handover UMTS-WIMAX.

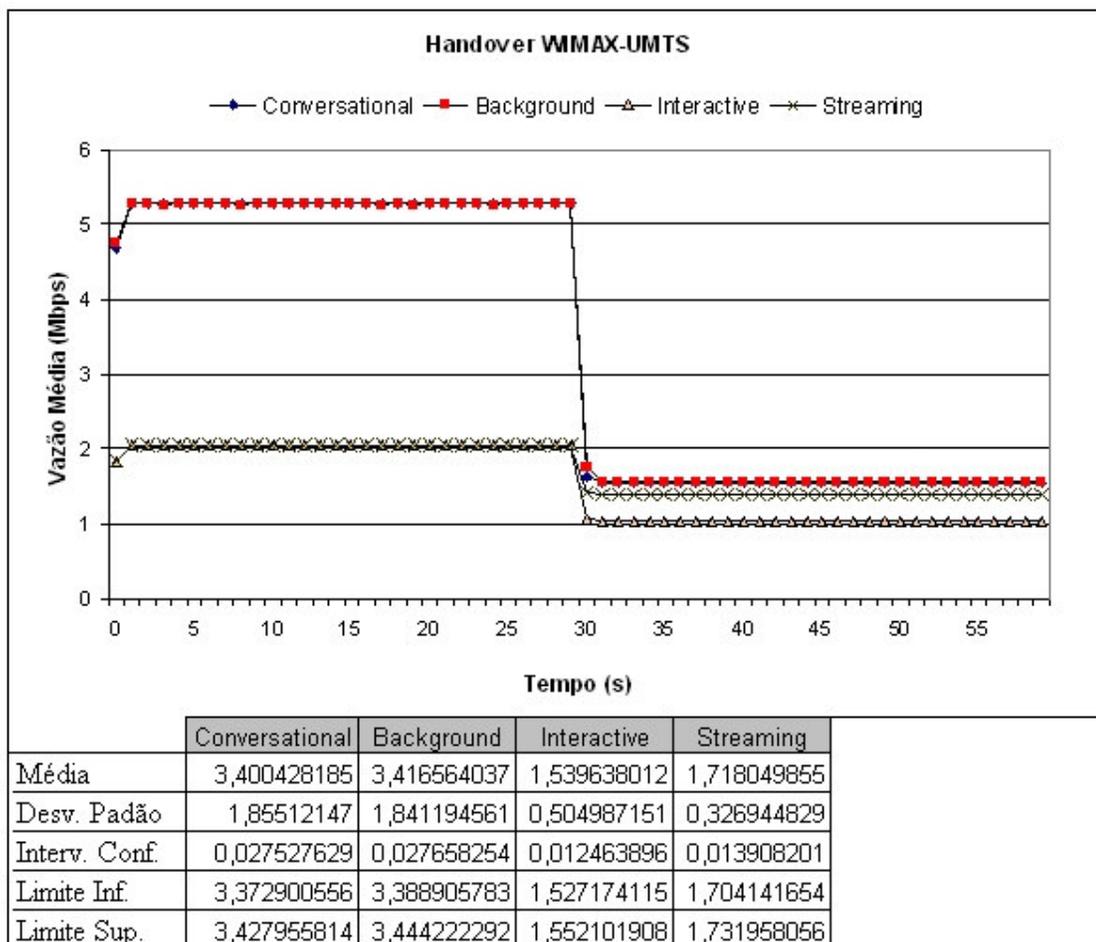


Figura 5.3 – Vazão Média no Handover WIMAX-UMTS.

Como é possível se observar, em ambos os gráficos, ilustrados na Figura 5.2 e na Figura 5.3, a vazão tem uma distorção significativa no instante 30 s. Isso ocorre, pois esse é o instante de mudança de rede, ou seja, a ocorrência do *handover* vertical. Em geral, a vazão se mantém estável em cada rede, para ambos os cenários, durante o período em que o usuário encontra-se conectado em cada uma delas. Contudo, como esperado, a vazão tem maior índice no momento em que o usuário encontra-se conectado à rede WIMAX. Esse fato se deve às limitações de taxa de transmissão de dados oferecida pela rede UMTS. Nas simulações realizadas, essa taxa não chega a 2 Mbps.

5.3.2 Atraso médio

Para avaliação dos resultados, as análises foram feitas sobre a média de atraso de todos os pacotes enviados em cada instante de tempo. Para uma melhor visualização dos resultados gráficos, esse atraso foi agrupado em períodos de um segundo. Portanto, os índices representam a média de atraso obtida a cada segundo. A Figura 5.4 e a Figura 5.5 representam, respectivamente, os gráficos de atraso médio, em segundos, obtido nos procedimentos de *handover*: UMTS-WIMAX e WIMAX-UMTS.

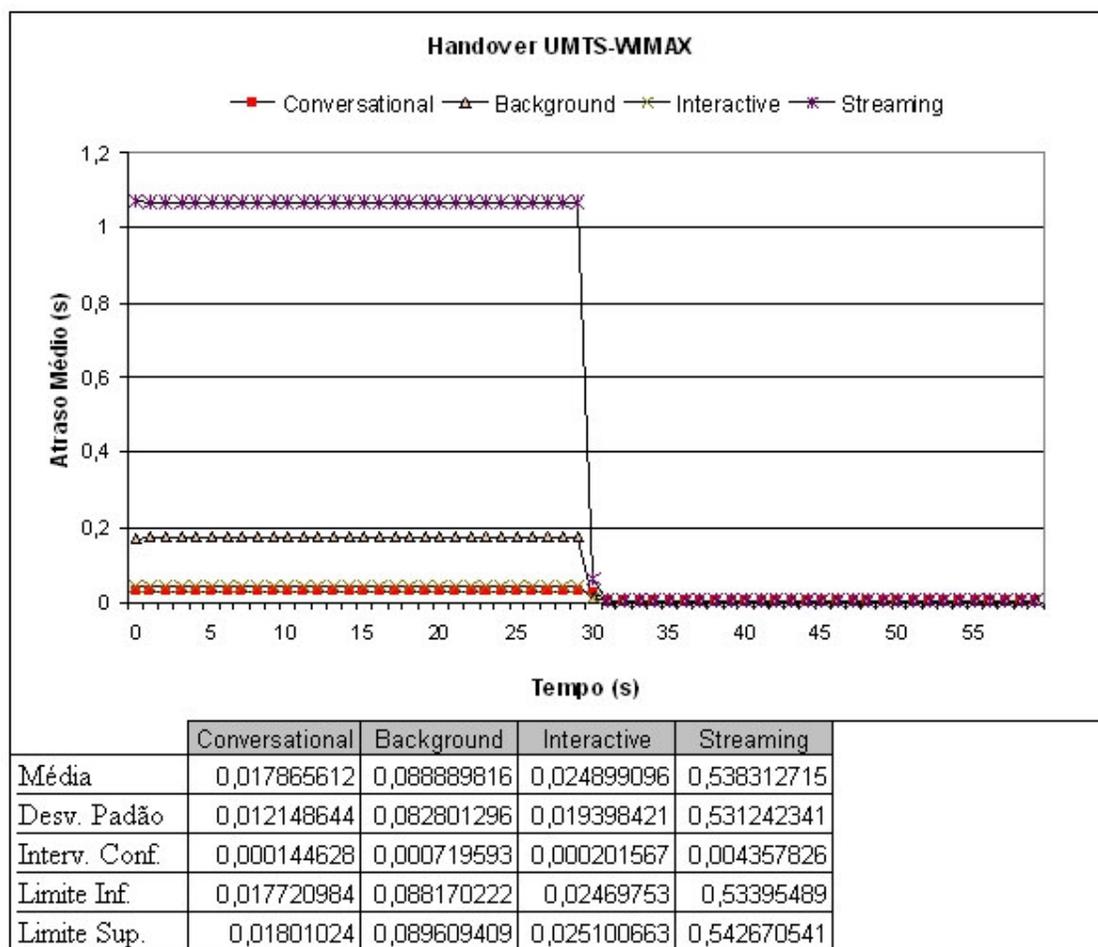


Figura 5.4 – Atraso Médio no Handover UMTS-WIMAX.

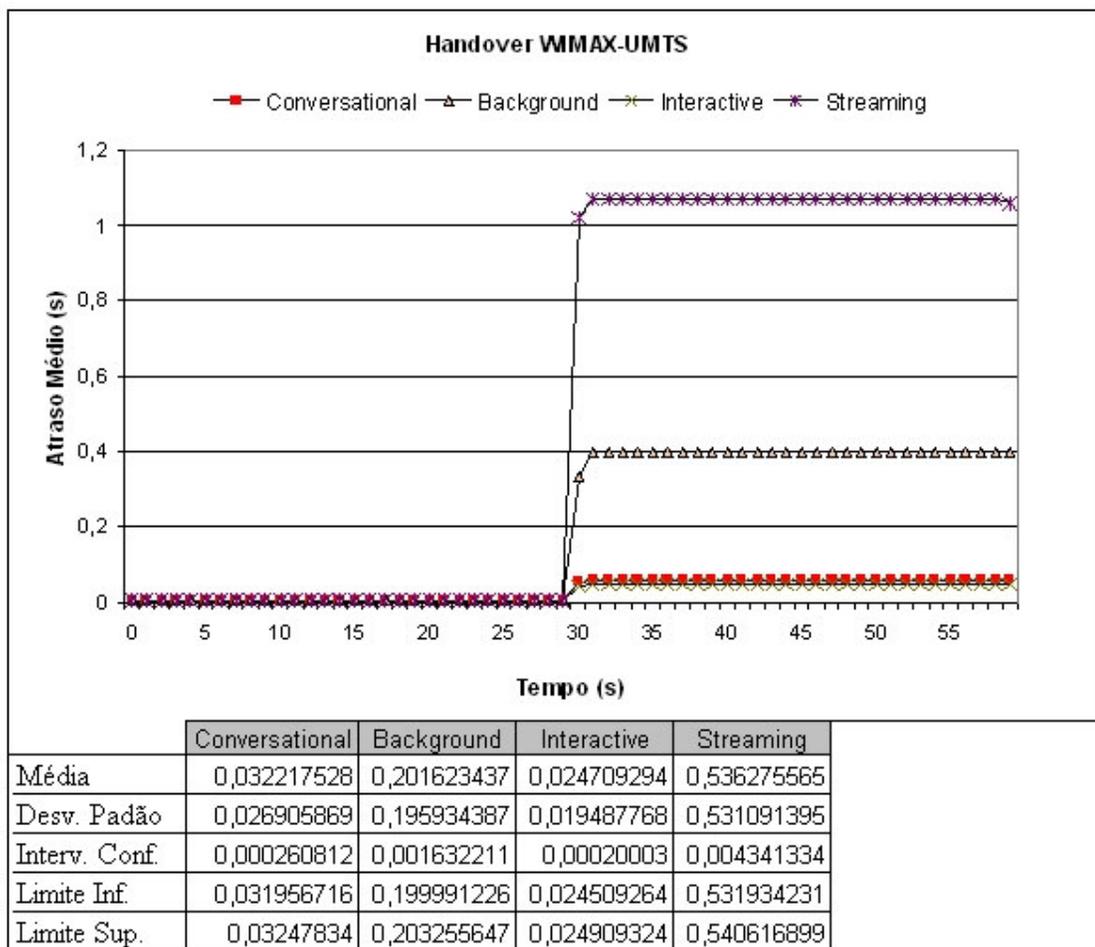


Figura 5.5 – Atraso Médio no Handover WIMAX-UMTS.

Como é possível se observar, em ambos os gráficos, ilustrados na Figura 5.4 e na Figura 5.5, o atraso médio, assim como a vazão, tem uma distorção significativa no instante 30 s. Isso também ocorre no atraso médio, pois, esse é o instante de mudança de rede, ou seja, a ocorrência do *handover* vertical. Em geral, é possível perceber que o atraso médio é superior no momento em que o equipamento móvel está sendo servido pela rede UMTS em relação ao momento em que o equipamento está sendo servido pela rede WIMAX. Isso acontece porque, ao chegar no NodeB, os pacotes devem ser fragmentados em vários quadros de menor tamanho para serem enviados pela interface aérea UMTS ao equipamento móvel. Essa fragmentação afeta diretamente o tempo de entrega do pacote como um todo, causando um maior atraso na rede UMTS.

Outro fato interessante é o atraso médio dos serviços *background* e *streaming*. A média de atraso é maior para esses serviços, pois, no caso do *background*, a rede UMTS o caracteriza como um serviço de baixa prioridade. Porém, no caso do *streaming*, por ser um

serviço utilizado para o tráfego de pacotes maiores, como vídeo, exige-se maior fragmentação dos dados. Isso é um ponto de atenção para as operadoras já que, um dos serviços a serem oferecidos pelas redes UMTS é o serviço de vídeos-chamada.

5.3.3 Variação do atraso médio

A variação do atraso, também conhecida como *jitter*, indica uma variação no retardo da entrega de dados em uma rede, ou seja, pode ser definido como a medida de variação do atraso entre os pacotes sucessivos de dados. Para avaliação dos resultados, as análises foram feitas sobre a variação do atraso médio de todos os pacotes enviados em cada instante de tempo. Para uma melhor visualização dos resultados gráficos, esse atraso foi agrupado em períodos de um segundo. Portanto, os índices representam a média da variação de atraso obtida a cada segundo. A Figura 5.6 e a Figura 5.7 representam, respectivamente, os gráficos da variação do atraso médio obtida em segundos nos procedimentos de handover: UMTS-WIMAX e WIMAX-UMTS.

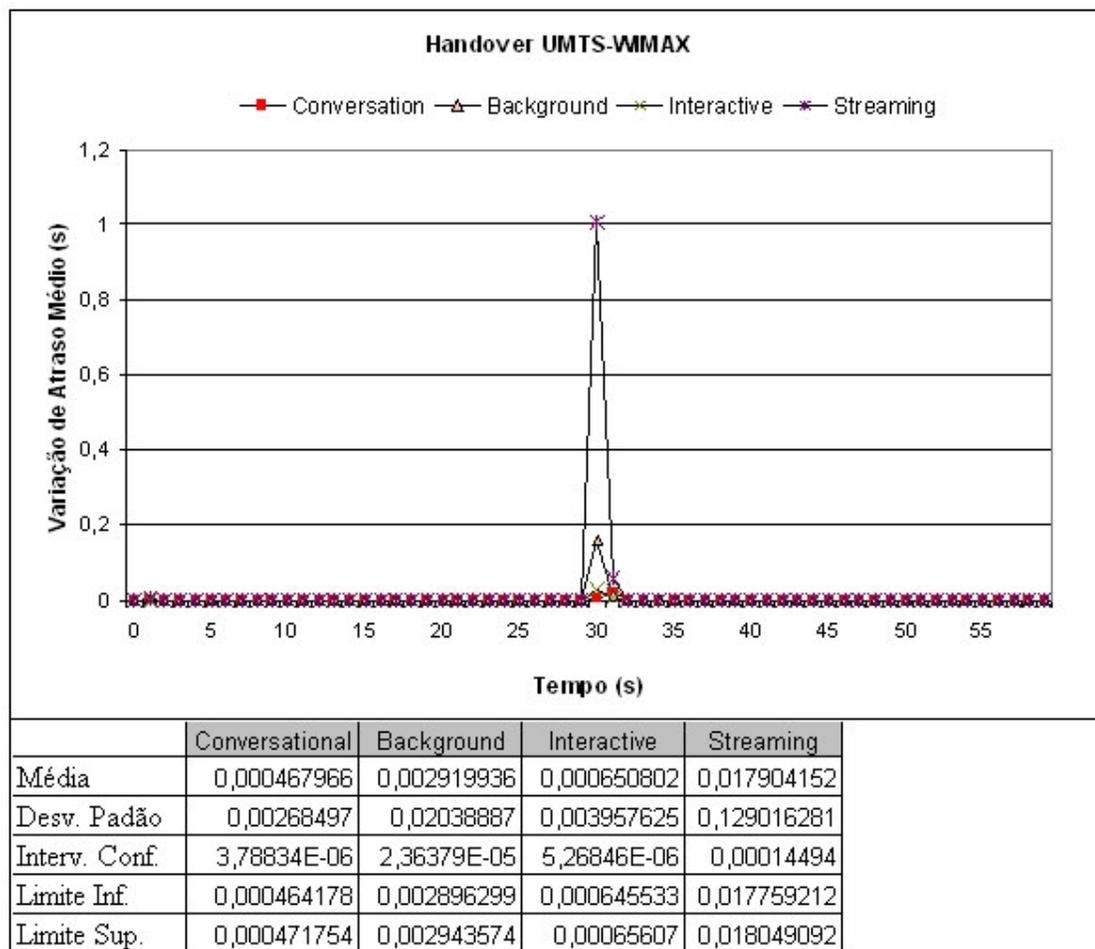


Figura 5.6 – Variação do Atraso Médio no Handover UMTS-WIMAX.

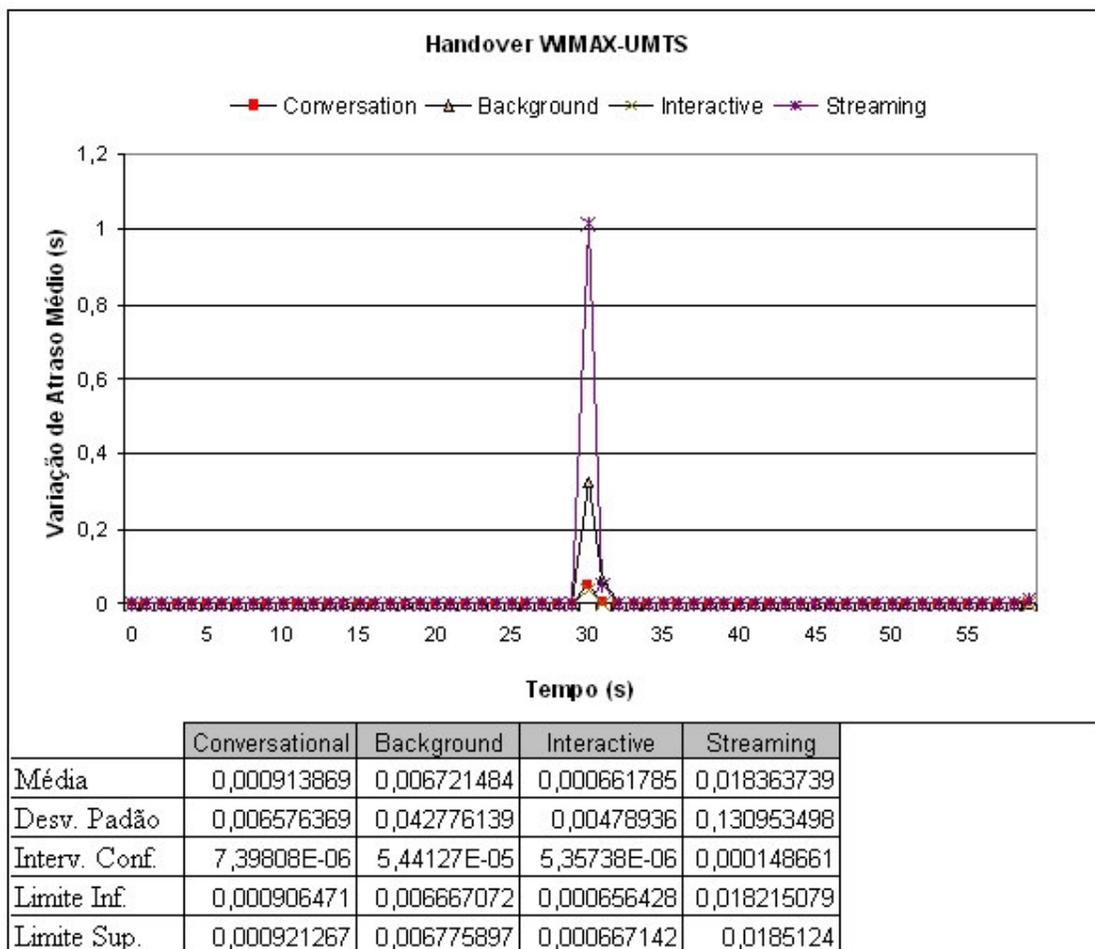


Figura 5.7 – Variação do Atraso Médio no Handover WIMAX-UMTS.

Como é possível se observar, em ambos os gráficos, ilustrados na Figura 5.6 e na Figura 5.7, a variação do atraso médio, assim como nas as medidas de desempenho anteriores, vazão média e atraso médio, tem uma distorção significativa no instante 30 s. Isso ocorre porque esse é o instante de mudança de rede, ou seja, a ocorrência do *handover* vertical. Na execução do *handover*, os dados ficam mantidos em *buffer* até que o equipamento móvel se conecte na rede visitante e esteja pronto para receber esses pacotes. Assim, há um aumento de atraso na entrega dos dados. Essa ocorrência garante que os pacotes de dados não sejam perdidos no momento do *handover*.

Além da ocorrência manifestada pelo procedimento de *handover*, percebe-se uma variação mais acentuada no atraso médio apresentada pela Figura 5.6, no início da transmissão e pela Figura 5.7, no final da transmissão. Ambas ocorrem quando o usuário encontra-se na rede UMTS. Esse tipo de variação normalmente acontece devido a atrasos de processamento das filas, fragmentação de quadros, correção de erros e outros. As causas são

variadas e dependem diretamente da carga em cada um dos nós no instante em que o pacote passa por eles.

5.4 Conclusões

Através dos resultados, comprovou-se que o procedimento de *handover* ocorreu de forma suave em ambos os cenários, não havendo perda de conexão. Além disso, o procedimento de redução de perda de pacotes atuou de forma eficaz, evitando-se completamente a perda de pacotes. Como desvantagem, esse procedimento implica em ocorrência significativa de variação do atraso, pois os pacotes ficam armazenados temporariamente durante o processo de *handover*, até que a conexão com a rede alvo seja restabelecida e o equipamento móvel possa recebê-los.

Como já era esperado, a rede WIMAX demonstrou medidas de desempenho melhores que a rede UMTS. Entretanto, variáveis como custo de transmissão, consumo de energia e outros, não são considerados na decisão de *handover*. Quando se fala em ambientes reais, essa decisão irá depender de vários fatores além do desempenho da rede, do tipo de serviço que está sendo utilizado e quais os quesitos de qualidade são requeridos.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalhos Futuros

Este capítulo apresenta as conclusões deste trabalho, destacando suas principais contribuições. Trabalhos futuros, também são apresentados neste capítulo.

6.1 Conclusões

Como principal contribuição deste trabalho, foi proposto um modelo de integração WIMAX-UMTS que se baseia na mobilidade gerida a partir do IP móvel, na proposta de Nguyen-Vuong et al. (2006) e nos eventos ocorridos na rede e na forma como esses eventos interagem com os vários elementos da rede. Além disso, o modelo considera a utilização do *Media Independent Handover*, em conformidade com as normas de padronização de descritas pelo IEEE 802.21 [Gupta, 2006]. Nesse modelo, foram tratados dois cenários de *handover*: *Handover* WIMAX para UMTS e *Handover* UMTS para WIMAX. Em ambos os cenários, o procedimento consiste, basicamente, em uma preparação do equipamento móvel para conectar-se à rede alvo antes que a conexão com a rede corrente seja desfeita. Durante esse processo, os pacotes são armazenados, temporariamente, até que a conexão com a rede alvo seja restabelecida e o equipamento móvel possa recebê-los. Isso garante redução na perda de pacotes durante o procedimento de *handover*.

O modelo proposto sugeriu, ainda, a utilização de um equipamento móvel composto por duas interfaces de conexão, cada qual compatível com uma rede, e definiu que a responsabilidade pela tomada de decisão do *handover* e pela iniciação do procedimento deve ser atribuída ao equipamento. Esses fatores atuam como mecanismo de maior autonomia para o usuário, minimizando a dependência que o usuário tem da rede e os problemas de necessidade de colaboração entre as operadoras. Assim, caso as redes WIMAX e UMTS

sejam de operadoras distintas, mesmo que não seja interessante para a operadora da rede corrente que o usuário faça um *handover* para outra rede, essa será uma decisão a ser tomada pelo mesmo.

As simulações realizadas foram implementadas com base no modelo proposto e foram desenvolvidas utilizando-se a ferramenta *Network Simulator version 2 (NS-2)*, versão 2.30. Os cenários de *handover* foram implementados e, para cada cenário, foram realizados dois tipos de análises de resultados: análise de garantia do processo de *handover* suave e análise do desempenho do usuário nas duas redes, antes, durante e após a execução *handover*. Na primeira análise observou-se que as conexões foram mantidas nos dois sentidos de *handover*: UMTS para WIMAX e WIMAX para UMTS. Identificou-se, ainda, a não ocorrência de perda de pacotes. Constatou-se, assim, a continuidade dos serviços e, portanto, a garantia de *handover* vertical suave em ambos os sentidos. Na segunda análise, foram avaliados as medidas de desempenho vazão média, atraso médio e variação de atraso médio, todas em ambos os sentidos. Em todas essas medidas de desempenho foi identificada uma distorção significativa no instante 30 s. Essa distorção ocorreu em todas as análises, pois, esse é o instante de mudança de rede, ou seja, a execução do *handover* vertical. A vazão média obtida apresentou-se maior quando o equipamento móvel estava sendo atendido pela rede WIMAX como era esperado. No caso do atraso médio, os valores obtidos foram muito superiores no momento em que o equipamento móvel estava sendo servido pela rede UMTS em relação ao momento em que o equipamento estava sendo servido pela rede WIMAX. Isso acontece porque, ao chegar ao NodeB, os pacotes devem ser fragmentados em vários quadros de menor tamanho para serem enviados pela interface aérea UMTS ao equipamento móvel. Essa fragmentação afeta diretamente o tempo de entrega do pacote como um todo, causando um maior atraso na rede UMTS. Na variação de atraso médio, por sua vez, a distorção ocorreu porque os dados permaneceram em *buffer* durante o procedimento de *handover* até que o equipamento móvel esteja pronto para recebê-los através da rede visitante. Assim, há um aumento de atraso na entrega dos dados durante a execução do *handover*. Apesar disso, essa ocorrência garante que os pacotes de dados não sejam perdidos no momento do *handover*.

Apesar de a rede WIMAX apresentar medidas de desempenho melhores que as da rede UMTS, variáveis como custo de transmissão, consumo de energia e outros, não são considerados na decisão de *handover*. Quando se fala em ambientes reais, essa decisão irá depender de vários fatores além do desempenho da rede, do tipo de serviço que está sendo utilizado e quais os quesitos de qualidade são requeridos.

Como o modelo proposto sugere que a decisão de *handover* seja de responsabilidade do equipamento móvel, ao se ofertar novos serviços, ou mesmo para os serviços já existentes, cabe às operadoras avaliarem se o tipo de serviço não terá impacto na demanda por solicitações de *handover*. Assim, alguns serviços devem ser vistos com mais atenção, como é o caso de serviços do tipo *streaming*, como vídeos-chamada, por exemplo, que demonstrou uma elevada taxa de atraso médio na rede UMTS.

6.2 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, há diversos caminhos que podem ser explorados a partir deste trabalho. Dentre ele, podem ser destacadas as seguintes linhas de pesquisa:

- Implementação e análise do gerenciamento de mobilidade hierárquico e/ou rápido do MIPv6 (HMIPv6 / F-HMIPv6) para minimizar a troca de mensagens de sinalização na efetivação de registro do endereço de tratamento (*Care-of-address*), assim como também, minimizar o tempo de mudança de ponto de acesso. Isso poderá reduzir o tempo em que os pacotes permanecem em *buffer* durante o procedimento de *handover* e conseqüentemente o pico de variação de atraso médio será menor.
- Implementação de um repositório que contenha informações sobre a topologia da rede. Isso poderá evitar o processo de varredura da rede em busca dessas informações e conseqüentemente diminuirá o fluxo de informações na rede.
- Implementação de uma arquitetura de QoS em redes integradas, baseada nas políticas definidas para ambas as redes.
- Extensão da proposta abrangendo outros padrões de redes sem fio como *Bluetooth* e Wi-Fi.

Referências Bibliográficas

[3GPP, 2003] 3GPP TS 22.934. **Feasibility study on 3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking.** *3rd Generation Partnership Project*. TS 22.934 v.6.2.0 Setembro, 2003.

[3GPP, 2006] 3GPP TS 23.107. **Quality of Service (QoS) concept and architecture (release 6).** *3rd Generation Partnership Project*. TS 23.107 v6.4.0. Julho, 2006.

[3GPP, 2007] 3GPP TS 25.401. **Technical Specification Group Radio Access Network: UTRAN overall description.** *3rd Generation Partnership Project*. TS 25.401 v.7.4.0. Julho, 2007.

[3GPP, 2008] 3GPP TS 23.101. **Technical Specification Group Services and System Aspects: General UMTS Architecture.** *3rd Generation Partnership Project*. TS 23.101 v.8.0.0 Dezembro, 2008.

[3GPP, 2009] 3GPP TS 23.009. **Technical Specification Group Core Network: Handover Procedures.** *3rd Generation Partnership Project*. TS 23.009 v.8.0.1. Janeiro, 2009.

[Becvar e Zelenka, 2006] BECVAR, Z. e ZELENKA, J. **Handovers in the Mobile WIMAX.** Praha, República da Tchecoslováquia. *Czech Technical University*, 2006. Disponível em <http://fireworks.intranet.gr/publications/Fireworks_6CTUPB008a.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2009.

[Bresil, 2004] BRESIL, Roberto. **Integração entre Redes Locais sem Fio (WLANs) e Redes de Sistemas Celulares.** 2004. 120f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – *Universidade Estadual de Campinas*. Campinas – SP.

[Chen et al. 2007] CHEN, Hsiao-Hwa., GUIZANI, M. e MOHR, W. **Evolution toward 4G wireless networking.** In: Network, IEEE 2007. Kaohsiung. *Sun Yat-Sen University*, p. 4-5. Vol 21, Cap1. Fevereiro, 2007.

[Duarte-Figueiredo, 2004] DUARTE FIGUEIREDO, Fátima de Lima Procópio. **DiffMobil – Uma Arquitetura de Qualidade de Serviço fim-a-fim em Redes GPRS.** 2004. 106f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – *Universidade Federal de Minas Gerais*. Belo Horizonte – MG.

[EURANE, 2008] EURANE - Enhanced UMTS Radio Access Network Extensions for ns-2. Disponível em <<http://eurane.ti-wmc.nl/eurane/>>. Acesso em: 30 out. 2008.

[Figueiredo, 2006] FIGUEIREDO, Fabrício L. **Fundamentos da tecnologia WIMAX.** *Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações – CPqD*. 2006. Disponível em

<http://www.cpqd.com.br/file.upload/sas1437_tecnologia_wimax_port_v02.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2007.

[Galvão, 2006] GALVÃO, Stephano R. **Avaliação da Tecnologia WIMAX**. 2006, 57f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Telecomunicações). *Universidade Regional de Blumenau*. Blumenau – SC. Julho, 2006.

[Ghadialy, 2004] GHADIALY, Zahid. **UMTS Tutorial: Handover principle and concepts**. *3G4G Wireless Resource Center*. 2004. Disponível em <http://www.3g4g.co.uk/Tutorial/ZG/zg_handover.html>. Acesso em: 22 jan. 2009.

[Gupta, 2006] GUPTA, V. **IEEE 802.21 Media Independent Handover - IEEE P802.21 Tutorial**. In: at IEEE 802.21 session #15, 17 de Julho de 2006. San Diego, CA. *IEEE DCN: 21-06-0706-00-0000*. Julho, 2006.

[IEEE, 2005] IEEE P802.16e/D6. **Draft IEEE Standard for Local and metropolitan area networks: Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands**. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. Fevereiro, 2005.

[Ivanek, 2007] IVANEK, F. **Convergence and Competition on the Way Toward 4G: Where are We Going?**. In: Radio and Wireless Symposium, IEEE 2007. Califórnia. *Stanford University*, p 9-11. Abril, 2007.

[Jaseemuddin, 2003] JASEEMUDDIN, M. **An architecture for integrating UMTS and 802.11 WLAN networks**. In: International Symposium of Computers and Communication, 8, 2003, Toronto, Canadá. **Computers and Communication**. Vancouver, Canadá: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, p.716-723, Setembro, 2003.

[Jindal et al., 2005] JINDAL, S., JINDAL, A. e GUPTA, N. **Grouping WIMAX, 3G and Wi-Fi for Wireless Broadband**. In: The First IEEE and IFIP International Conference in Central Asia, 1, 2005. **Internet, 2005**. *IEEE Computer Society*, p. 5–10, Setembro, 2005.

[Johnson et al., 2004] JOHNSON, D., PERKINS, C. e ARKKO, J. **Mobility Support in IPv6**. In: Request for Comments 3775, Junho, 2004. *Internet Engineering Task Force*. Disponível em <<http://rfc.sunsite.dk/rfc/rfc3775.html>>. Acesso em: 24 out. 2008.

[Jung et al., 2005] JUNG, H., SOLIMAN, H., KOH, Seok J. e LEE, Jae Y. **Fast Handover for Hierarchical MIPv6 (F-HMIPv6)**. In: Request for Comments 3669, Outubro, 2005. *Internet Engineering Task Force*. Disponível em <<http://tools.ietf.org/html/draft-jung-mobopts-fhmipv6-00>>. Acesso em: 24 set. 2008.

[Kibria et al., 2005] KIBRIA, M.R. MIRCHANDANI V. e JAMALIPOUR, A. **A consolidated architecture for 4G/B3G networks**. In: Wireless Communications and Networking Conference, 4, 2005, NSW, Australia. School of Electric & Information Engineer, Sydney University, p. 2406- 2411 Vol. 4, Março, 2005

[Koodli, 2005] KOODLI, R. **Fast Handovers for Mobile IPv6**. In: Request for Comments 4068, Julho, 2005. *Internet Engineering Task Force*. Disponível em <<http://www.ietf.org/rfc/rfc4068.txt>>. Acesso em: 24 set. 2008.

[Lampropoulos et al., 2008] LAMPROPOULOS, G., SALKINTZIS, A.K. e PASSAS, N. **Media Independent Handover for Seamless Service Provision in Heterogeneous Networks**. In: Communications Magazine, IEEE, 2008. Atenas, Grécia. *University of Athens*, p. 64-71. Janeiro, 2008.

[Lima et al., 2004] LIMA, Luciana S., SOARES, Luiz Fernando G. e ENDLER, M. **WIMAX: Padrão IEEE 802.16 para Banda Larga Sem Fio**. 2004. Monografia (conclusão do curso) – *Pontifícia Universidade Católica do Rio De Janeiro*. Rio de Janeiro – RJ.

[Makaya e Pierre, 2005] MAKAYA, C. e PIERRE, S. **An Interworking Architecture for Heterogeneous IP Wireless Networks**. In: Wireless and Mobile Communications, 2007. Third International Conference. Montreal, Canadá. *Escole Polytechnique de Montreal*, p. 16-22. Março, 2007.

[Marques, 2006] MARQUES, André L.S. **Simulação de Redes WIMAX Usando NS-2**. 2006. 61f. Monografia (Bacharelado em Sistemas de Informação) – *Universidade Federal de Minas Gerais*. Belo Horizonte – MG.

[Martins et al., 2003] MARTINS, L., BARBOSA, A. e BARBOSA, M. **Redes móveis baseadas nos protocolos IPv4 e IPv6 - uma visão geral do MIP e MIPv6**. In: Boletim bimestral sobre tecnologia de redes. ISSN 1518-597414, abril 2003. *Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações*. Disponível em <<http://www.rnp.br/newsgen/0301/mip.html>>. Acesso em: 30 set. 2008.

[Miquelin, 2006] MIQUELIN, Walter L. **Análise Comparativa entre Tecnologias de Transmissão de Dados sem Fio**. 2006, 65f. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação). *Faculdade de Jaguariúna*. Jaguariúna – SP. Outubro, 2006.

[Nagamuta, 2006] NAGMUTA, V. **Um Arcabouço para Composição, Teste e Simulação de Protocolos de Handover Suave**. Abril, 2006. 162f. Tese (Doutorado em Ciências) – *Universidade de São Paulo*. São Paulo – SP.

[Nguyen-Vuong et al., 2006] NGUYEN-VUONG, Q.-T., FIAT, L. e AGOULMINE, N. **An Architecture for UMTS-WIMAX Interworking**. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON BROADBAND CONVERGENCE NETWORK, 1, 2006, Vancouver, Canadá. **Broadband Convergence Network**. Vancouver, Canadá: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, p.1-10, Abril, 2006.

[NIST, 2008] NIST - National Institute of Standards and Technology. Disponível em <<http://www.nist.gov/index.html>>. Acesso em: 30 out. 2008.

[Oliveira et al., 2005] OLIVEIRA, Adriano V., LEONES, Maykon P. e ÁLVIA, Souza Renner. **Estudo da Telefonia Móvel Celular e sua aplicação para Tráfego de Dados**. 2005. 105f. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação) – *Universidade Católica de Goiás*. Goiânia – GO.

[Pereira-Ricardo, 2001] RICARDO, Manuel A. **UMTS - Universal Mobile Telecommunication System: Sistemas de 3ª Geração**. 2001. 36f. Curso (Comunicações

Móveis) – *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*. Porto, Portugal. Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~mricardo/01_02/sco/umts.pdf>. Acesso em: 22 Jan. 2009.

[Perkins, 2002] PERKINS, C. **IP Mobility Support for IPv4**. In: Request for Comments 3344, Agosto, 2002. *Internet Engineering Task Force*. Disponível em <<http://www.ietf.org/rfc/rfc3344.txt>>. Acesso em: 24 set. 2008.

[Peternelli, 2008] PETERNELLI, Luiz A. **Intervalos de Confiança**. *Departamento de Informática - Universidade Federal de Viçosa*. 2008. Disponível em <<http://www.dpi.ufv.br/disciplinas/inf162/materiais/CAPITULO7.v1.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2009.

[Ribeiro e Abrão, 2003] RIBEIRO, Karinne S. e ABRÃO, Roberta A. **Avaliação dos Padrões GSM e CDMA como Soluções na Migração para Sistemas 3-G**. 2003. Monografia (Bacharel em Engenharia de Computação) – *Universidade Federal de Goiás*. Goiania – GO.

[Sachs, 2003] SACHS, J. **A Generic Link Layer for Future Generation Wireless Networking**. In: Communications, IEEE International Conference 2003. Herzogenrath, Germany. *Ericsson Eurolab Deutsschland GmbH*, p 11-15. Março, 2003.

[Saunders, 2004] SAUNDERS, J. **Seamless Roaming Between Wireless Networks**. 2004. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – *University of Portsmouth Computing & Mathematics Area*. Portsmouth, Hampshire, UK.

[Shweitzer et al., 2005] SCHWEITZER, C. M., SAKURAGUI, R. R., CARVALHO, T. C. e VENTURINI, Y. R. **Tecnologias de redes sem fio: WPANs, WLANs e WMANs desafios de segurança, vulnerabilidades e soluções**. In: SIMPÓSIO SEGURANÇA EM INFORMÁTICA, 7, 2005, São José dos Campos. **Anais do Simpósio Segurança em Informática**. São José dos Campos – SP: *Instituto Tecnológico de Aeronáutica*, p. 1-36, Novembro, 2005.

[Silva, 2004] SILVA, Hugo Ricardo M. **Estimação de Tráfego 3G**. 2004. 124f. Monografia (licenciatura em Engenharia de Sistemas de Telecomunicações e Eletrônica) – *Instituto Superior de Engenharia de Lisboa*. Lisboa, Portugal.

[Silva et al. 2008] SILVA, Anderson O., ENDLER, M., e COLCHER, S. **Otimização do Handover na Camada de Rede (L3) utilizando o Media Independent Handover (MIH)**. 2008, 82f. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação). *Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro – RJ. Junho, 2008.

[Stein, 2006] STEIN, J. **Survey of 802.21 Media Independent Handover Services**. 2006, based on *Draft IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Independent Handover Services*, IEEE P802.21/D01.00, Março, 2006. Disponível em <<http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/handover/index.html>>. Acesso em: 24 set. 2008.

[Storck, 2007] STORCK, Carlos R. **CAC-RD: Controle de Admissão de Chamadas para Redes UMTS**. Junho, 2007. 87. Dissertação (Mestrado em Informática) – *Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais*. Belo Horizonte – MG.

[Straccialano, 2008] STRACCIALANO, André L. **Segurança em redes 3G - UMTS**. In: Boletim bimestral sobre tecnologia de redes. Agosto, 2008. *Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações*. Disponível em <<http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/artigos/Seguranca-UMTS-Geral.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2008.

[Viale e Pirelli, 2005] VIALE, P. e PIRELLI, A. **How to implement WIMAX in a mobile network**. 2005. *Siemens Mobile Communications S.p.A.*. Milão, Itália. Disponível em <<http://whitepapers.silicon.com/publisher/39019671/cisco-systems.htm>>. Acesso em: 10 set. 2008.

[Vulic et al., 2006] Vulic, N., Groot, S. H. e Niemegeers, I. **A Framework for Integration of Different WLAN Technologies at UMTS Radio Access Level**. In: Pervasive Computing and Communications Workshops, 4, 2006, Washington, DC, USA. Annual IEEE International Conference. *IEEE Computer Society*, p. 6–12, Março, 2006.

Anexo A

Arquivos de Simulação do Handover

Neste anexo são apresentados os arquivos de configurações, TCLs, utilizados para a realização das simulações. A seguir, estão contemplados: o arquivo *handover_vertical.tcl*, que é o arquivo principal, responsável pela chamada e execução da simulação; o arquivo *umts_wimax.tcl*, que representa o cenário de *handover* UMTS para WIMAX; o arquivo *wimax_umts.tcl*, que representa o cenário de *handover* WIMAX para UMTS; e os arquivos *conversational.tcl*, *background.tcl*, *interactive.tcl* e *streaming.tcl*, que representam, respectivamente os tráfegos *conversational*, *background*, *interactive* e *streaming*. Para que as simulações sejam executadas, deve se, ainda, criar a seguinte estrutura de diretórios, sem acentuação:

- Diretório raiz, chamado **integracao**, onde fica armazenada o arquivo *handover_vertical.tcl*;
- Subdiretório dentro do diretório **integracao**, chamado **cenarios**, onde ficam armazenados os arquivos *umts_wimax.tcl* e *wimax_umts.tcl*;
- Subdiretório dentro do diretório **integracao**, chamado **trafechos**, onde ficam armazenados os arquivos *Conversational.tcl*, *background.tcl*, *interactive.tcl* e *streaming.tcl*;
- Subdiretório dentro do diretório **integracao**, chamado **resultados**, onde serão gerados e armazenados os arquivos de resultados das simulações;

A.1 Arquivo *handover_vertical.tcl*

```
# *****
# PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
```

```

# Departamento de Ciência da Computação
#
# UM MODELO PARA HANDOVER VERTICAL ENTRE AS REDES WIMAX
# E UMTS UTILIZANDO IP MÓVEL E MEDIA INDEPENDENT HANDOVER
#
# Autor: Werley Pereira dos Santos
# Local: Belo Horizonte
# Ano.: 2009
#
# Arquivo.: handover_vertical.tcl
# Descrição: Arquivo de configurações do handover vertical
#
# *****

# *****
# Checa se houve passagem de parâmetros
#
# *****
if {$argc != 2} {
    puts ""
    puts "Numero de parâmetros invalido!"
    puts "Informe o cenário de handover (wimax_umts ou umts_wimax)"
    puts "Informe o tipo de tráfego (voice, interactive, streaming ou background)"
    puts ""
    exit 1
}

# *****
# Declaração de variáveis globais e criação do objeto simulador
# *****
global ns
set ns [new Simulator]

# *****
# Configurando valores do vetor de valores
# *****
set val(cenario)          [lindex $argv 0]          ;# Cenário de handover
set val(trafego)          "trafechos/[lindex $argv 1].tcl" ;# Tipo de tráfego
set val(fcenario)         "cenarios/$val(cenario).tcl" ;# Arquivo de cenário

set val(fttrace) "resultados/$val(cenario)_[lindex $argv 1].tr" ;# Arquivo trace
set val(fnam) "resultados/$val(cenario)_[lindex $argv 1].nam" ;# Arquivo nam
set val(fresult) "resultados/$val(cenario)_[lindex $argv 1].txt" ;# Arquivo de resultados

set val(traffic_on)       000.01                    ;# Início do tráfego
set val(traffic_off)      600.99                    ;# Fim do tráfego
set val(simulation_off)   601.00                    ;# Fim da simulação

```

```

set val(move_on)          010          ;# Início de movimentação
set val(move_off)        100          ;# Fim de movimentação
set val(move_speed)      002          ;# Velocidade de movimentação m/s

set val(x)               150          ;# Dimensão da topologia, X = largura
set val(y)               150          ;# Dimensão da topologia, Y = altura
set val(z)               150          ;# Dimensão da topologia, Z = profundidade

# Pаметros para rede wireless
set val(chan)            Channel/WirelessChannel ;# Tipo de canal
set val(prop)            Propagation/TwoRayGround ;# Modelo de propagação
set val(netif)           Phy/WirelessPhy/OFDM ;# Interface de rede
set val(mac)             Mac/802_16 ;# Camada MAC 802.16
set val(ifq)             Queue/DropTail/PriQueue ;# Tipo de fila
set val(ll)              LL ;# Camada de link
set val(ant)             Antenna/OmniAntenna ;# Modelo da antena
set val(ifqlen)          50 ;# Maximo de pacotes na fila
set val(adhocRouting)    DSDV ;# Protocolo de roteamento
set val(umtsRouting)     "" ;# Reseta a configuracao de roteamento do
UMTS
set val(rxPower)         0.175 ;# Potencia de recepção do nó móvel
set val(txPower)         0.175 ;# Potencia de transmissão do nó móvel
set val(energyModel)     EnergyModel ;# Modelo de energia do nó móvel
set val(initialEnergy)   100 ;# Energia inicial do nó móvel
set val(tp)              0.002 ;# Potencia consumida a cada transmissão
do nó móvel

# *****
# Configurando variaveis para Debug's
# *****
set debugTCL_           1

Mac/802_16 set debug_   1

Agent/ND set debug_     1
Agent/MIH set debug_    1
Agent/MIHUser/IFMNGMT set debug_ 1
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover1 set debug_ 1

# *****
# Configurando frequencia de RA na Estação Base
# *****
Agent/ND set minRtrAdvInterval_ 200
Agent/ND set maxRtrAdvInterval_ 600
Agent/ND set router_lifetime_ 1800
Agent/ND set minDelayBetweenRA_ 0.03
Agent/ND set maxRADelay_ 0

# *****

```

```

# Ajustando atributos para hierarquia de roteamento (necessario para roteamento das
# Estações Base (WIMAX e UMTS) e números de nós
# *****
$ns node-config      -addressType hierarchical

AddrParams set domain_num_ 5                ;# Número de domínios
AddrParams set cluster_num_ {1 1 1 1}      ;# Número de cluster's em cada domínio
AddrParams set nodes_num_ {5 1 1 2 1}     ;# Número de nós em cada cluster

# 3 => UMTS (GGSN, SGSN, RNC, nodeB)
# 1 => Backbone
# 1 => Servidor Web
# 2 => bsWIMAX
# 1 => Equipamento Móvel (mobileNode, ifaceUMTS, ifaceWIMAX)

# Seto o array de nós com a quantidade total de nós
create-god 10

# *****
# Criacao da topologia e arquivos de log
# *****
$ns use-newtrace

set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "Topologia criada"
}

set tf [open $val(ftrace) w]
$ns trace-all $tf
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "Arquivo $val(ftrace) criado"
}

set nf [open $val(fnam) w]
#$ns namtrace-all-wireless $nf $val(x) $val(y)
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "Arquivo $val(fnam) criado"
}

# *****
# Criando a topologia da rede UMTS
# *****
#UMTS/RLC/AM    set payload_ 128
#UMTS/RLC/UMHS set payload_ 128
#UMTS/RLC/UM    set payload_ 128
#UMTS/RLC/AMHS set payload_ 128
#Agent/TCP      set tcpip_base_hdr_size_ 128

```

```

# Parametros de configuração UMTS
$ns set hsdSchEnabled_1 addr
$ns set hsdSch_rlc_set_0
$ns set hsdSch_rlc_nif_0

# GGSN
set ggsn [$ns node 0.0.0]
$ggsn color "blue"
$ns at 0 "$ggsn label GGSN([$ggsn node-addr])"
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "GGSN: tcl=$ggsn; id=[$ggsn id]; addr=[$ggsn node-addr]"
}

# SGSN
set sgsn [$ns node 0.0.1]
$sgsn color "blue"
$ns at 0 "$sgsn label SGSN([$sgsn node-addr])"
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "SGSN: tcl=$sgsn; id=[$sgsn id]; addr=[$sgsn node-addr]"
}

# RNC
$ns node-config -UmtsNodeType rnc
set rnc [$ns create-Umtsnode 0.0.2]
$rnc color "blue"
$ns at 0 "$rnc label RNC([$rnc node-addr])"
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "RNC: tcl=$rnc; id=[$rnc id]; addr=[$rnc node-addr]"
}

# nodeB - Estação Rádio Base do UMTS
$ns node-config -UmtsNodeType bs \
    -downlinkBW 384kbs \
    -downlinkTTI 10ms \
    -uplinkBW 384kbs \
    -uplinkTTI 10ms \
    -hs_downlinkTTI 2ms \
    -hs_downlinkBW 384kbs

set nodeB [$ns create-Umtsnode 0.0.3]
$nodeB shape "hexagon"
$nodeB color "blue"
$ns at 0 "$nodeB label nodeB([$nodeB node-addr])"
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "nodeB: tcl=$nodeB; id=[$nodeB id]; addr=[$nodeB node-addr]"
}

# ifaceUMTS - Interface de conexao com a rede UMTS
$ns node-config -UmtsNodeType ue \

```

```

                                -baseStation $nodeB \
                                -radioNetworkController $rnc

set ifaceUMTS [$ns create-Umtsnode 0.0.4]
$ifaceUMTS color "blue"
$ns at 0 "$ifaceUMTS label ifaceUMTS([$ifaceUMTS node-addr])"
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "ifaceUMTS: tcl=$ifaceUMTS; id=[$ifaceUMTS id]; addr=[$ifaceUMTS node-addr]"
}

# Configurando o link entre GGSN, SGSN, RNC e nodeB
#$ns setup-Iub          $nodeB      $rnc  5Mbit 5Mbit 5ms 5ms DummyDropTail
$ns setup-Iub          $nodeB      $rnc  622Mbit 622Mbit 0.2ms 0.2ms DummyDropTail
500
$ns duplex-link        $rnc          $sgsn 622Mbit 00.4ms DropTail 1500
$ns duplex-link        $sgsn $ggsn 622Mbit 10.0ms DropTail 500

# Configurando orientação
$ns duplex-link-op $rnc $nodeB orient left-up

if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "Link: nodeB(addr=[$nodeB node-addr]) <=> RNC(addr=[$rnc node-addr])"
    puts "Link: RNC(addr=[$rnc node-addr]) <=> SGSN(addr=[$sgsn node-addr])"
    puts "Link: SGSN(addr=[$sgsn node-addr]) <=> GGSN(addr=[$ggsn node-addr])"
}

# Configurando o gateway
$rnc add-gateway $sgsn
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "Gateway: RNC(addr=[$rnc node-addr]) <=> SGSN(addr=[$sgsn node-addr])"
}

# *****
# Configurando o Backbone
# *****
# Backbone
set router [$ns node 2.0.0]
$ns at 0 "$router label BackboneHA([$router node-addr])"
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "Backbone: tcl=$router; id=[$router id]; addr=[$router node-addr]"
}

# Configurando o link entre o Backbone e a rede UMTS
$ns duplex-link          $router $ggsn 100MBit 15ms DropTail 1500
$ns duplex-link-op      $router $ggsn orient left
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "Link: Backbone(addr=[$router node-addr]) <=> GGSN(addr=[$ggsn node-addr])"
}

```

```

# *****
# Configurando o servidor WEB
# *****
set webServer [$ns node 1.0.0]
$ns at 0 "$webServer label webServer([$webServer node-addr])"
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "webServer: tcl=$webServer; id=[$webServer id]; addr=[$webServer node-addr]"
}

# Configurando o link entre o Backbone e o webServer
$ns duplex-link          $router $webServer 10MBit 5ms DropTail 1500
$ns duplex-link-op      $router $webServer orient down
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "Link: Backbone(addr=[$router node-addr]) <=> webServer(addr=[$webServer
node-addr])"
}
# *****
# Criando o Nó Móvel (MobileNode - MN)
# *****
$ns node-config          -multiIf ON          ;# Aceita multiplas interfaces
set mobileNode           [$ns node 4.0.0]    ;#
$ns node-config          -multiIf OFF        ;# reseta o atributo
$ns at 0 "$mobileNode label MobileNode([$mobileNode node-addr])"
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "MobileNode: tcl=$mobileNode; id=[$mobileNode id]; addr=[$mobileNode node-
addr]"
}

# *****
# Define global simulation parameters
# *****
# Seed the default RNG
global defaultRNG
$defaultRNG seed 0

#Argumentos de Leitura
set seed                  5555
Mac/802_16 set scan_iteration_ 2
set use_going_down       1

if {$use_going_down == 1} {
    Mac/802_16 set lgd_factor_ 2.1
} else {
    Mac/802_16 set lgd_factor_ 1.0
}
Mac/802_16 set scan_duration_ 50
Mac/802_16 set interleaving_interval_ 40

Mac/802_16 set dcd_interval_ 5 ;#max 10s
Mac/802_16 set ucd_interval_ 5 ;#max 10s

```

```

set default_modulation      OFDM_16QAM_3_4      ;#OFDM_BPSK_1_2
set contention_size         5                    ;#for initial ranging and bw
Mac/802_16 set t21_timeout_ 0.02                ;#max 10s, to replace the
timer for looking at preamble
Mac/802_16 set client_timeout_ $val(simulation_off)

# *****
# Criando a topologia da rede WIMAX
# *****
# Parametros de area de cobertura (50 metros - irreal, apenas para teste)
Phy/WirelessPhy set Pt_      0.0134
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 5.25089e-10
Phy/WirelessPhy set freq_    2412e+6

# bsWIMAX - Estação Rádio Base do WIMAX
$ns node-config      -adhocRouting $val(adhocRouting) \
                    -llType $val(ll) \
                    -macType $val(mac)/BS \
                    -channel [new $val(chan)] \
                    -ifqType $val(ifq) \
                    -ifqLen $val(ifqlen) \
                    -antType $val(ant) \
                    -propType $val(prop) \
                    -phyType $val(netif) \
                    -topoInstance $topo \
                    -wiredRouting ON \
                    -agentTrace ON \
                    -routerTrace ON \
                    -macTrace OFF \
                    -movementTrace ON

set bsWIMAX [$ns node 3.0.0]
$bsWIMAX random-motion 0
$bsWIMAX shape "hexagon"
$bsWIMAX color "orange"
$ns at 0 "$bsWIMAX label bsWIMAX([$bsWIMAX node-addr])"

set clas [new SDUClassifier/Dest]
[$bsWIMAX set mac_(0)] add-classifier $clas

# Agenda
set bs_sched [new WimaxScheduler/BS]
[$bsWIMAX set mac_(0)] set-scheduler $bs_sched
[$bsWIMAX set mac_(0)] set-channel 0

#Fix: add MOB_SCN handler
set wimaxctrl [new Agent/WimaxCtrl]
$wimaxctrl set-mac [$bsWIMAX set mac_(0)]
$ns attach-agent $bsWIMAX $wimaxctrl

```

```

if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "bsWIMAX: tcl=$bsWIMAX; id=[$bsWIMAX id]; addr=[$bsWIMAX node-
addr]"
}

# ifaceWIMAX - Interface de conexao com a rede WIMAX
$ns node-config      -macType $val(mac)/SS \
                    -wiredRouting OFF \
                    -agentTrace ON \
                    -routerTrace ON \
                    -macTrace OFF \
                    -movementTrace ON
# \
                    -energyModel $val(energyModel) \
                    -rxPower $val(rxPower) \
                    -txPower $val(txPower) \
                    -initialEnergy $val(initialEnergy) \
                    -transmissionPower $val(tp) \

set ifaceWIMAX [$ns node 3.0.1]
$ifaceWIMAX random-motion 0
$ifaceWIMAX base-station [AddrParams addr2id [$bsWIMAX node-addr]]
$ifaceWIMAX color "orange"
$ns at 0 "$ifaceWIMAX color orange"
$ns at 0 "$ifaceWIMAX label ifaceWIMAX([$ifaceWIMAX node-addr])"

set clas [new SDUClassifier/Dest]
[$ifaceWIMAX set mac_(0)] add-classifier $clas

set ss_sched [new WimaxScheduler/SS]
[$ifaceWIMAX set mac_(0)] set-scheduler $ss_sched
[$ifaceWIMAX set mac_(0)] set-channel 0

if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "ifaceWIMAX: tcl=$ifaceWIMAX; id=[$ifaceWIMAX id];
addr=[$ifaceWIMAX node-addr]"
}

# Configurando o link entre o Backbone e a rede WIMAX
$ns duplex-link      $router $bsWIMAX 100MBit 15ms DropTail 1500
$ns duplex-link-op   $router $bsWIMAX orient right-up
if {$debugTCL_ == 1} {
    puts "Link: Backbone-bsWIMAX(addr=[$router node-addr]) <=>
bsWIMAX(addr=[$bsWIMAX node-addr])"
}
# *****
# Configurando o Equipamento do Usuário (MN)
# #
# *****

```

```

# Adicionando interfaces ao MobileNode
$mobileNode add-interface-node $ifaceWIMAX
$mobileNode add-interface-node $ifaceUMTS
if { $debugTCL_ == 1 } {
    puts "Associada ifaceUMTS([$ifaceUMTS node-addr]) ao
MobileNode([$mobileNode node-addr])"
    puts "Associada ifaceWIMAX([$ifaceWIMAX node-addr]) ao
MobileNode([$mobileNode node-addr])"
}

# *****
# Configura o ND, o MIH e a gerência de handover
#
# ND (Neighbor Discovery) para descoberta da topologia vizinha
# MIH (Media Independent Handover)
# *****

# Rede UMTS - O modulo ND é adicionado ao RNC e não ao NodeB
set nd_rncUMTS [$rnc install-nd]
$nd_rncUMTS set-router TRUE
$nd_rncUMTS router-lifetime 1800
$nd_rncUMTS enable-broadcast FALSE
$nd_rncUMTS add-ra-target [$ifaceUMTS node-addr] ; # No UMTS não há broadcast

# ifaceUMTS
set nd_ifaceUMTS [$ifaceUMTS install-nd]

# Rede WIMAX
set nd_bsWIMAX [$bsWIMAX install-nd]
$nd_bsWIMAX set-router TRUE
$nd_bsWIMAX router-lifetime 1800

# ifaceWIMAX
set nd_ifaceWIMAX [$ifaceWIMAX install-nd]

# Configura o módulo a gerência de Handover no Equipamento
set handover [new Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover1]
$mobileNode install-ifmanager $handover
$nd_ifaceWIMAX set-ifmanager $handover
$nd_ifaceUMTS set-ifmanager $handover

#
set ifmgmt_cn [$webServer install-default-ifmanager]

# Instala o MIH no ModileNode
set mih [$mobileNode install-mih]

# Cria uma conexão entre o MIH e a gerência de handover
$handover connect-mih $mih

```

```

# Instala o MIH na bsWIMAX
set mih_bs [$bsWIMAX install-mih]
set tmp_bs [$bsWIMAX set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih_bs
$mih_bs add-mac $tmp_bs

# *****
# Carrega e configura o arquivo de tráfego definido como parametro
# *****
source $val(trafego)

$ns color 1 Blue

if {$debugTCL_ == 1} {
    #puts "Transmissor => Agente: id=$agenteTrans => Aplicacao: id=$aplicTrans"
}
# Informa que o agente receptor apenas "escuta"
$agenteRec listen
if {$debugTCL_ == 1} {
    #puts "Agente Transmissor(id=$agenteTrans) conectado ao Agente
Receptor(id=$agenteRec)"
    puts "Tráfego configurado: $val(trafego)"
}

# *****
# Carrega o arquivo de cenário de handover definido como parametro
# *****
source $val(fcenario)

# *****
# Configurando o mecanismo de admissão do UMTS
# *****
# Tipo de registro no UMTS
$ns node-config      -lType UMTS/RLC/AM \
                    -downlinkBW 384kbs \
                    -uplinkBW 384kbs \
                    -downlinkTTI 20ms \
                    -uplinkTTI 20ms \
                    -hs_downlinkTTI 2ms \
                    -hs_downlinkBW 384kbs

#set dch0 [$ns create-dch $ifaceUMTS $agenteTrans];      # MobileNode transmite
set dch0 [$ns create-dch $ifaceUMTS $agenteRec];         # MobileNode recebe
$ns attach-dch $ifaceUMTS $handover $dch0
$ns attach-dch $ifaceUMTS $nd_ifaceUMTS $dch0

# *****
# Agora o MIH pode ser registrado em todos os MAC's
# *****

```

```

# Na ifaceUMTS usando DCH o MAC é 2 (0 e 1 para RACH e FACH respectivamente)
set mac_ifaceUMTS [$ifaceUMTS set mac_(2)]
$mac_ifaceUMTS mih $mih
$mih add-mac $mac_ifaceUMTS

# Na ifaceWIMAX
set mac_ifaceWIMAX [$ifaceWIMAX set mac_(0)]
$mac_ifaceWIMAX mih $mih
$mih add-mac $mac_ifaceWIMAX

# Associa as MAC's das iface's à gerência de handover para conhecer quem envia o RS
$handover nd_mac $nd_ifaceWIMAX $mac_ifaceWIMAX
$handover nd_mac $nd_ifaceUMTS $mac_ifaceUMTS

# *****
# Definindo o procedimento de geracao de resultados
# *****
proc geraLog { } {
    global ns val

    set entrada [open $val(fttrace) r]
    set saida [open $val(fresult) w]

    puts $saida "status\ttempo\ttipoPct\tbytePct\tidPct"

    set linha [gets $entrada]
    while { ![eof $entrada] } {
        set status [lindex $linha 0]

        if { $status != "v" } {
            set tempo [string map -nocase { . , } [lindex $linha 1]]
            set tipoPct [lindex $linha 4]
            set bytePct [lindex $linha 5]
            set idPct [lindex $linha 11]

            if { $tipoPct == "AM_Bitmap_ack" } {
                set idPct "-1"
            }

            if { $tempo == "-t" } {
                set tempo [string map -nocase { . , } [lindex $linha 2]]
                set tipoPct [lindex $linha 34]
                set bytePct [lindex $linha 36]
                set idPct [lindex $linha 40]

                #if { $idPct == "" } {
                #    set idPct "-1"
                #}

            }

            puts $saida "$status\t$tempo\t$tipoPct\t$bytePct\t$idPct"
        }
    }
}

```

```

        }
        set linha [gets $entrada]
    }
    close $entrada
    close $saida
}

# *****
# Definindo o procedimento de finalização da simulação
# *****
proc finish {} {
    global ns tf nf debugTCL_ val

    # Fechando arquivos Trace e NAM
    close $tf
    close $nf

    #exec nam $val(fnam)
    geraLog
    exit 0

    if {$debugTCL_ == 1} {
        puts "Fim de simulacao."
    }
}

# *****
# Configurando agenda de execução
# *****
$ns at 0 "$ns trace-annotate \"Cenario: $val(fcenario)\""
$ns at 0 "$ns trace-annotate \"Trafego: $val(trafego)\""

# Início e fim de tráfego
$ns at $val(traffic_on) "$aplicTrans start"
$ns at $val(traffic_off) "$aplicTrans stop"

# Chamada do procedimento de inicialização de handover definido dentro de cada cenário
$ns at [expr ($val(traffic_off) - $val(traffic_on)) / 2] "init_handover"

# Finaliza a simulação
$ns at $val(simulation_off) "finish"

# Executa a simulação
$ns run

```

A.2 Arquivo de cenário umts_wimax.tcl

```

#####
# PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
# Departamento de Ciência da Computação
#
# UM MODELO PARA HANDOVER VERTICAL ENTRE AS REDES WIMAX
# E UMTS UTILIZANDO IP MÓVEL E MEDIA INDEPENDENT HANDOVER
#
# Autor: Werley Pereira dos Santos
# Local: Belo Horizonte
# Ano.: 2009
#
# Descrição: Arquivo de configurações do cenário de handover
#            vertical UMTS_WIMAX
#
#####

# Adiciona fluxo via interface UMTS
$mobileNode attach-agent $agenteRec $ifaceUMTS
$handover add-flow $agenteRec $agenteTrans $ifaceUMTS 1 ;#2000.

# Conecta os agentes via interface UMTS
$mobileNode connect-agent $agenteRec $agenteTrans $ifaceUMTS

# *****
# Definindo o procedimento de iniciação de handover
# *****
# UMTS para WIMAX
proc init_handover {} {
    global ns debugTCL_ nd_ifaceWIMAX nd_bsWIMAX

    if {$debugTCL_ == 1} {
        puts "Iniciando o procedimento de handover para a rede WIMAX"
    }
    $ns trace-annotate "Iniciando o procedimento de handover para a rede WIMAX"

    # Seta tipo de handover
    Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover1 set case_ 2

    # Inicializa o link WIMAX
    $nd_bsWIMAX start-ra
    $nd_ifaceWIMAX send-rs
}

```

A.3 Arquivo de cenário wimax_umts.tcl

```

# *****
# PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
# Departamento de Ciência da Computação
#
# UM MODELO PARA HANDOVER VERTICAL ENTRE AS REDES WIMAX
# E UMTS UTILIZANDO IP MÓVEL E MEDIA INDEPENDENT HANDOVER
#
# Autor: Werley Pereira dos Santos
# Local: Belo Horizonte
# Ano.: 2009
#
# Arquivo.: wimax_umts.tcl
# Descrição: Arquivo de configurações do cenário de handover
#            vertical WIMAX_UMTS
#
# *****

# Adiciona fluxo via interface WIMAX
$mobileNode attach-agent $agenteRec $ifaceWIMAX
$handover add-flow $agenteRec $agenteTrans $ifaceWIMAX 1 ;#2000.

# Conecta os agentes via interface WIMAX
$mobileNode connect-agent $agenteRec $agenteTrans $ifaceWIMAX

# *****
# Definindo o procedimento de iniciação de handover
# *****
# WIMAX para UMTS
proc init_handover {} {
    global ns debugTCL_ handover mobileNode agenteRec agenteTrans ifaceWIMAX
    ifaceUMTS

    if {$debugTCL_ == 1} {
        puts "Iniciando o procedimento de handover para a rede UMTS"
    }
    $ns trace-annotate "Iniciando o procedimento de handover para a rede UMTS"

    # Seta tipo de handover
    Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover1 set case_ 2

    # Inicializa o link UMTS
    [eval $ifaceUMTS set mac_(2)] connect-link

    # Remove o fluxo de dados existente para ifaceWIMAX
    $handover delete-flow $agenteRec $agenteTrans

```

```

    # Atribui novo fluxo de dados para ifaceUMTS
    $handover add-flow $agenteRec $agenteTrans $ifaceUMTS 2 ;#2000.
}

```

A.4 Arquivo de tráfego conversational.tcl

```

# *****
# PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
# Departamento de Ciência da Computação
#
# UM MODELO PARA HANDOVER VERTICAL ENTRE AS REDES WIMAX
# E UMTS UTILIZANDO IP MÓVEL E MEDIA INDEPENDENT HANDOVER
#
# Autor: Werley Pereira dos Santos
# Local: Belo Horizonte
# Ano.: 2009
#
# Arquivo.: conversational.tcl
# Descrição: Arquivo de configurações do tráfego de handover
#            vertical CONVERSATIONAL
#
# *****

```

```

# Transmissor: Agente e Aplicacao
set agenteTrans [new Agent/TCP]
$agenteTrans set class_ 1
$ns attach-agent $webServer $agenteTrans

```

```

set aplicTrans [new Application/Traffic/CBR]
$aplicTrans set rate_ 12Kb
$aplicTrans set interval_ 0.05
$aplicTrans attach-agent $agenteTrans

```

```

# Receptor: Agente
set agenteRec [new Agent/TCPSink]

```

A.5 Arquivo de tráfego background.tcl

```

# *****
# PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
# Departamento de Ciência da Computação
#
# UM MODELO PARA HANDOVER VERTICAL ENTRE AS REDES WIMAX
# E UMTS UTILIZANDO IP MÓVEL E MEDIA INDEPENDENT HANDOVER
#
# Autor: Werley Pereira dos Santos
# Local: Belo Horizonte
# Ano..: 2009
#
# Arquivo..: background.tcl
# Descrição: Arquivo de configurações do tráfego de handover
#            vertical BACKGROUND
#
# *****

```

```

# Transmissor: Agente e Aplicacao
set agenteTrans [new Agent/TCP]
$agenteTrans set class_ 1
$ns attach-agent $webServer $agenteTrans

```

```

set aplicTrans [new Application/FTP]
$aplicTrans set rate_ 144Kb
$aplicTrans set interval_ 0.05
$aplicTrans attach-agent $agenteTrans

```

```

# Receptor: Agente
set agenteRec [new Agent/TCPSink]

```

A.6 Arquivo de tráfego interactive.tcl

```

# *****
# PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
# Departamento de Ciência da Computação
#
# UM MODELO PARA HANDOVER VERTICAL ENTRE AS REDES WIMAX
# E UMTS UTILIZANDO IP MÓVEL E MEDIA INDEPENDENT HANDOVER
#
# Autor: Werley Pereira dos Santos
# Local: Belo Horizonte
# Ano..: 2009
#
# Arquivo..: interactive.tcl

```

```
# Descrição: Arquivo de configurações do tráfego de handover
#           vertical INTERACTIVE
#
# *****
```

```
# Transmissor: Agente e Aplicacao
set agenteTrans [new Agent/UDP]
$agenteTrans set class_ 1
$ns attach-agent $webServer $agenteTrans
```

```
set aplicTrans [new Application/Traffic/CBR]
$aplicTrans set rate_ 384Kb
$aplicTrans set interval_ 0.05
$aplicTrans attach-agent $agenteTrans
```

```
# Receptor: Agente
set agenteRec [new Agent/Null]
```

A.7 Arquivo de tráfego streaming.tcl

```
# *****
# PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
# Departamento de Ciência da Computação
#
# UM MODELO PARA HANDOVER VERTICAL ENTRE AS REDES WIMAX
# E UMTS UTILIZANDO IP MÓVEL E MEDIA INDEPENDENT HANDOVER
#
# Autor: Werley Pereira dos Santos
# Local: Belo Horizonte
# Ano.: 2009
#
# Arquivo.: streaming.tcl
# Descrição: Arquivo de configurações do tráfego de handover
#           vertical STREAMING
#
# *****
```

```
# Transmissor: Agente e Aplicacao
set agenteTrans [new Agent/UDP]
$agenteTrans set class_ 1
$ns attach-agent $webServer $agenteTrans
```

```
set aplicTrans [new Application/Traffic/VBR]
```

```
$aplicTrans set rate_ 768Kb  
$aplicTrans set interval_ 0.05  
$aplicTrans attach-agent $agenteTrans
```

```
# Receptor: Agente  
set agenteRec [new Agent/Null]
```

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)