

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
FACULDADE NATALENSE PARA O DESENVOLVIMENTO DO RIO GRANDE DO
NORTE
CURSO DE BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

PAULO CÉSAR CARVALHO DE MEDEIROS

A EVOLUÇÃO DA REDE DE DADOS DA TELEFONIA MÓVEL

NATAL, RIO GRANDE DO NORTE.

2009

PAULO CÉSAR CARVALHO DE MEDEIROS

A EVOLUÇÃO DA REDE DE DADOS DA TELEFONIA MÓVEL

Monografia apresentada como exigência do Curso de Sistemas de Informação da Faculdade Natalense para o Desenvolvimento do Rio Grande do Norte para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Gleydson de A. F. Lima

NATAL, RIO GRANDE DO NORTE.

2009

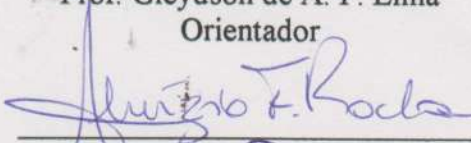
LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
FACULDADE NATALENSE PARA O DESENVOLVIMENTO DO RIO GRANDE DO
NORTE
CURSO DE BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

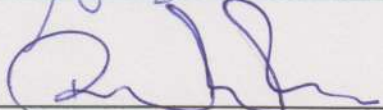
PAULO CÉSAR CARVALHO DE MEDEIROS

A EVOLUÇÃO DA REDE DE DADOS DA TELEFONIA MÓVEL

Projeto de Monografia apresentada e aprovada em ____ de ____ de 2009, pela banca
examinadora composta pelos seguintes membros

Prof. Gleydson de A. F. Lima
Orientador





Natal/RN, ____ de ____ de 2009.

AGRADECIMENTO

A Deus, pela sua graça, que me deu oportunidade para que fosse possível chegar ao ponto em que estou; aos meus pais que com muito custo e esforço me tornou uma pessoa que sou, hoje, habilitada a concluir este curso; quero também agradecer a minha noiva, Ana Karla por todos os momentos me incentivando e apoiando nos momentos difíceis da vida. Ao corpo docente da Faculdade que repassou seus conhecimentos. Obrigado a todos.

RESUMO

Com a rápida evolução e desenvolvimento das redes de comunicação móvel, é esperado que os sistemas móveis de quarta geração (4G) sejam lançados no ano de 2010 comercialmente. Os sistemas móveis 4G focam integrar transparentemente as tecnologias wireless existentes incluindo GSM (Global System for Mobile Communications), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), CDMA2000 (Code Division Multiple Access versão 2000), wireless LAN e Bluetooth. Eles suportarão serviços abrangentes e personalizados, fornecendo desempenho de sistema estável e qualidade de serviço. Para isso, diferentes técnicas de gerenciamento de mobilidade têm sido propostas durante os anos. Entretanto, muitas destas técnicas compartilham um surpreendente e significativo número de similaridades. Esta monografia analisa e avalia as mais importantes técnicas de gerenciamento de mobilidade, apontando as diferenças e similaridades, e propõe uma arquitetura para usar alguma dessas técnicas de gerenciamento aplicada a 4G. Para macromobilidade, são considerados o Mobile IP (MIP) e o Session Initiation Protocol (SIP); para micromobilidade, são descritos e analisados vários protocolos como: Cellular IP (CIP), Handoff-Aware Wireless Access internet infrastructure (HAWAII), Hierarchical Mobile IP (HMIP), Telecommunication Enhanced Mobile IP (TeleMIP) e Intra-Domain Mobility Management Protocol (IDMP).

Palavras-chave: wireless; quarta geração; 4G; macromobilidade; MIP; SIP; micromobilidade;

ABSTRACT

With the rapid evolution and development of mobile communication networks, it is expected that the mobile fourth generation (4G) to be launched in the year 2010 commercial. 4G mobile systems focus on seamlessly integrating the existing wireless technologies including GSM (Global System for Mobile Communications), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), CDMA2000 (Code Division Multiple Access version 2000), wireless LAN and Bluetooth. 4G systems will support comprehensive and personalized services, providing stable system performance and quality service. Therefore, different mobility management techniques have been proposed over the years. However, many of these techniques share a surprisingly high number of similarities. This dissertation analyzes and evaluates the most relevant mobility management techniques, pointing out differences and similarities, and proposes an architecture that uses one of these mobility management techniques applied to 4G. For macromobility are considered Mobile IP (MIP) and the Session Initiation Protocol (SIP); for micromobility are described and analyzed several protocols such as: Cellular IP (CIP), Handoff-Aware Wireless Access internet infrastructure (HAWAII), Hierarchical Mobile IP (HMIP), Telecommunication Enhanced Mobile IP (TeleMIP) and Intra-Domain Mobility Management Protocol (IDMP).

Keywords: wireless; fourth generation; 4G; macromobility; MIP; SIP; micromobility;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Geral.....	13
2.2 Específicos.....	13
3 JUSTIFICATIVA.....	14
4 EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	15
4.1 Primeira Geração (1G).....	15
4.2 Segunda Geração (2G).....	16
4.3 Terceira Geração (3G).....	17
4.4 Quarta Geração (4G).....	18
4.4.1 Introdução.....	18
4.4.2 Redes Móveis de Quarta Geração (4G).....	19
5 INTERNET MÓVEL.....	20
5.1 Introdução.....	20
5.2 Protocolos de Macromobilidade.....	21
5.2.1 Mobile IP versão 4 (MIPv4)	21
5.2.2 Mobile IP versão 6 (MIPv6)	23
5.2.3 Session Initiation Protocol (SIP).....	23
5.3 Protocolos de Micromobilidade.....	25
5.3.1 Cellular IP	26
5.3.1.1 Roteamento	28
5.3.1.2 Handoff	29
5.3.1.3 Paging	30
5.3.2 Handoff-Aware Wireless Access internet infrastructure.....	30
5.3.3 Hierarchical Mobile IP	32
5.3.4 Telecommunication Enhanced Mobile IP	33
5.3.4.1 Elementos do TeleMIP	34
5.3.4.2 Arquitetura do TeleMIP	35
5.3.5 Intra-Domain Mobility Management Protocol	36
5.3.5.1 Protocolo Base	36
5.3.5.2 Redirecionamento de Pacote Básico e Suporte à Mobilidade.....	37
6 AVALIAÇÃO DOS PROTOCOLOS	39
6.1 Critério de Avaliação.....	39
6.2 Similaridades, Diferenças e Avaliação.....	41
6.2.1 Cellular IP.....	41
6.2.2 Handoff-Aware Wireless Access internet infrastructure	44
6.2.3 Hierarchical Mobile IP	46
6.2.4 Telecommunication Enhanced Mobile IP.....	48
6.2.5 Intra-Domain Mobility Management Protocol	49
6.3 Conclusão dos Protocolos	51
7 CONCLUSÃO	54
8 REFERÊNCIAS.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - ÁRVORE DAS TECNOLOGIAS DE REDES MÓVEIS.....	15
FIGURA 2- ARQUITETURA 4G.....	19
FIGURA 3 - COMPONENTES DO MOBILE IP VERSÃO 4.....	21
FIGURA 4 - USUÁRIO REGISTRA OS TERMINAIS DE CASA E DO ESCRITÓRIO.....	24
FIGURA 5 - USUÁRIO B SOLICITA COMUNICAÇÃO COM USUÁRIO A VIA SERVIDOR PROXY.....	25
FIGURA 6 - ARQUITETURA DE UMA REDE CELLULAR IP.....	27
FIGURA 7 - ROTEAMENTO NO CIP.....	29
FIGURA 8 - ARQUITETURA DO HAWAII.....	31
FIGURA 9 - ARQUITETURA DA REDEHMIP.....	33
FIGURA 10 - ARQUITETURA FUNCIONAL DO TELEMIP.....	35
FIGURA 11 - ELEMENTOS LÓGICOS E ARQUITETURA DO IDMP.....	37
FIGURA 12 - FLUXO DE MENSAGEM DURANTE A ATUALIZAÇÃO DE LOCALIZAÇÃO INTRA-DOMÍNIO INICIAL.....	38
FIGURA 13 - CHAMADA DE FLUXO DURANTE MOVIMENTOS INTRA-DOMÍNIOS SUBSEQÜENTES.....	39
FIGURA 14 - MOVIMENTO INTRA-DOMÍNIO EM UMA HIERARQUIA DE REDE MULTI-NÍVEL.....	40
FIGURA 15 - ARQUITETURA DO CELLULAR IP.....	44
FIGURA 16 - ARQUITETURA DO HAWAII.....	45
FIGURA 17 - ARQUITETURA HIERARQUICAL MOBILE IP.....	47
FIGURA 18 - ARQUITETURA TELEMIP.....	48
FIGURA 19 - ARQUITETURA IDMP.....	50

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

1G – Primeira Geração
2G – Segunda Geração
3G – Terceira Geração
3GPP – Third Generation Partnership Project
3GPP2 – Third Generation Partnership Project 2
4G – Quarta Geração
AAA – Authentication, Authorization, Accounting)
ANSI - American National Standards Institute
BS – Base Station
CATT – Chinese Academy of Telecommunications Technology
CCoA – Co-Located Care-of-Address
CDMA2000 – Code Division Multiple Access versão 2000
CDMAOne – Code Division Multiple Access versão 1
CIP – Cellular IP
CSD – Cuit-Switch Data
D-AMPS – Digital Advanced Mobile Phone System
DCoA – Domain Care-Of Address
DMA – Dynamic Mobility Agent
DNS – Domain Name System
DR – Domain Router
DRR – Domain Root Router
EDGE – Enhanced Data rates for Global Evolution
EV – Evolution
EV-DO – Evolution-Data Optimized xii
EV-DV – Evolution-Data and Voice
FA – Foreing Agent
FOMA – Freedom of Mobile Multimedia Access
Gbps – Gigabits por segundo
GPRS – General Packet Radio Service
GSM – Global System for Mobile Communications
HA – Home Agent
HAP – Home Access Point
HAWAII – Handoff-Aware Wireless Access internet infrastructure
HDR – High Data Rate
HMIP – Hierarchical Mobile IP
HSCSD – High Speed Cuit-Switch Data
iDEN – Integrated Digital Enhanced Network
IDMP – Intra-Domain Mobility Management Protocol

IETF - Internet Engineering Task Force
inter-DA - Inter Domínios Administrativos
intra-DA - Intra Domínios Administrativos
IP - Internet Protocol
IR - Internal Router
MA - Mobile Agent
MIP - Mobile IP
PC - Paging Caches
PDC - Personal Digital Cellular
RAN - Radio Access Network
RC - Routing Caches xiii
RFA - Regional Foreign Agent
RR - Root Router
RTT - Radio Transmission Technology
SA - Subnet Agent
SIP - Session Initiation Protocol
SMS - Short Message Service
SR - Station Radio
TCoA - Throughway Care-Of Address
TCP - Transmission Control Protocol
TDMA - Time Division Multiple Access
TD-SCDMA - Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access
TeleMIP - Telecommunication Enhanced Mobile IP
TIA - Telecommunications Industry Association
UA - User Agent
UDP - User Datagram Protocol
UMTS - Universal Mobile Telecommunications System
URL - Universal Resource Locator
USIM - Universal Subscriber Identity Module
VoIP - Voice over Internet Protocol
W-CDMA - Wideband Code Division Multiple Access
Wi-Fi - Wireless Fidelity
WLAN - Wireless Local Area Network

1 INTRODUÇÃO

Na década passada um fenômeno muito importante teve impacto direto para as telecomunicações foi o crescimento paralelo da internet e serviços telefônicos aliados à crescente demanda por dispositivos móveis e soluções de redes sem fio. Isto foi um dos pilares para que fosse criada a oportunidade de oferecer serviços integrado, através de redes sem fio móvel.

Atualmente, vários serviços, tais como m-commerce e m-banking, já estão disponíveis para os usuários de sistemas celulares. No entanto, a movimentação global independente do sistema utilizado e a comodidade de utilização dos serviços pessoais de cada usuário de forma transparente e independente de localização ainda não podem ser atendidas com as soluções implementadas atualmente.

Um dos motivos que dificulta a adoção das funções de mobilidade em redes tradicionais, está no fato de que os protocolos de endereçamento projetados levam em consideração que os terminais estariam sempre fixos a sua rede de origem. Em particular, no caso de protocolos da camada de rede como os utilizados na arquitetura TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), a mudança de rede ocasiona a perda de conexão ou então exige uma forma de roteamento bastante complexa. Isso também pode levar a perdas de pacotes ou ao congestionamento da rede, visto que, para participar de uma nova rede, é necessário utilizar um novo endereço IP.

Este problema está relacionado com o handoff, processo de transferir chamadas ou dados de um canal conectado em uma rede para outra, em outras palavras, quando usando uma antena em uma determinada localidade, sai dela para utilizar outra antena em outra localidade. A criação da 4G quer acabar com este problema pois utilizará a arquitetura ALL-IP, assim a sinalização proprietária de cada tecnologia vai ser unida na camada IP fazendo com que seja possível a integração de todas as redes.

Devido às características do protocolo TCP, responsável pela manutenção da comunicação fim-a-fim entre dois terminais, as conexões são perdidas quando há mudança no endereçamento de uma delas.

O IP Móvel é uma proposta para o gerenciamento de mobilidade apresentada pela IETF (Internet Engineering Task Force), sendo uma extensão do IP. Essa proposta permite a um terminal móvel ser localizado mesmo que esteja visitando uma outra rede, mantendo o seu endereço IP de origem.

Baseadas na proposta do IP Móvel, surgiram algumas propostas tais como CIP, HMIP, TeleMIP, IDMP e HAWAII, voltadas para o deslocamento do móvel dentro de uma determinada área de abrangência. Essas propostas introduziram os conceitos de micromobilidade e macromobilidade no mundo IP. O deslocamento dentro de uma área de abrangência pequena, restrita a uma única rede como, por exemplo, o campus de uma universidade, é chamado de micromobilidade. Nessa área, o tráfego de dados relativo ao terminal móvel é gerenciado localmente, sem a necessidade de passar pela rede de origem e sem a necessidade de registros, enquanto houver deslocamento apenas naquela região. Macromobilidade envolve uma região maior e corresponde a uma área de migração entre áreas de micromobilidade como, por exemplo, o deslocamento em uma região metropolitana.

Assim, esta monografia analisa e avalia teoricamente as mais importantes técnicas de gerenciamento de mobilidade, apontando as diferenças e similaridades entre elas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisa e avaliar teoricamente as mais importantes técnicas de gerenciamento de mobilidade, apontando as diferenças e similaridades entre elas das redes móveis de Quarta Geração (4G).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação e análise dos protocolos de micromobilidade para assim ser proposta uma arquitetura que melhor aproveitasse o gerenciamento de mobilidade.

Para a elaboração da proposta foi realizada uma análise sobre as técnicas de gerenciamento de mobilidade mais relevantes, usando como base alguns critérios de avaliação, fornecendo suas principais características.

As pesquisas realizadas sobre micromobilidade, as análises sobre seus protocolos e a proposta de uma arquitetura para redes 4G, são as principais contribuições deste trabalho. Ele contribui de forma direta para os alunos, como material para estudos, e para a instituição, como material relacionado ao gerenciamento de mobilidade e, principalmente, como material de 4G.

3 JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa tem como objetivo geral documentar informações relevantes sobre a tecnologia de redes móveis da quarta geração, partindo da idéia de melhor entender sobre a tecnologia que está sendo utilizada e o seu funcionamento no geral podendo mostrar a grande evolução com o passar do tempo, no Brasil se encontra poucos matérias na língua oficial do mesmo e por isso o trabalho pode auxiliar no estudo mais aprofundado do assunto como pesquisas mais avançada na área de redes móveis.

4 EVOLUÇÃO HISTÓRICA

As comunicações móveis têm representado um importante papel no cenário de desenvolvimento tecnológico global. Os sistemas de redes móveis colaboram de forma decisiva para reduzir a distância tecnológica que existe entre os países desenvolvidos e aqueles em desenvolvimento e isso representa uma liberdade oferecendo ao usuário banda larga, tendo acesso a informações de diversos veículos de comunicação, vídeo conferência, entretenimento, multimídia. A seguir na Figura 1 podemos ver a evolução cronológica das tecnologias de redes móveis.

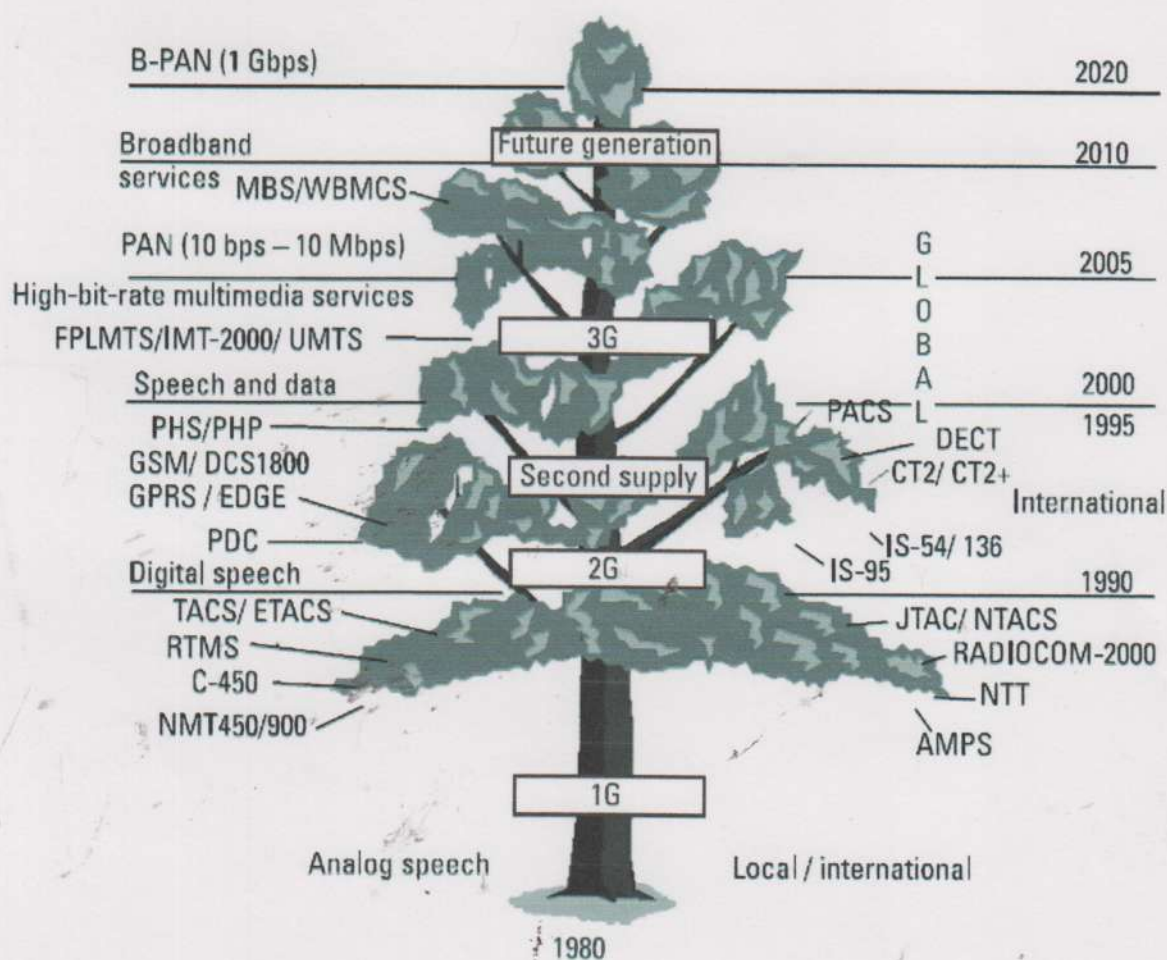


Figura 1 - Árvore das tecnologias de redes móveis

4.1 PRIMEIRA GERAÇÃO (1G)

Na primeira geração de sistemas móveis, na década de 80, os celulares eram analógicos, cada país desenvolvia sua tecnologia, ou seja, não havia um padrão e assim o uso era limitado a certos países sem a possibilidade de alargamento na rede.

4.2 SEGUNDA GERAÇÃO (2G)

Com a demanda de novos usuários, o sistema de telefonia analógico foi rapidamente evoluído. Novos sistemas com novas tecnologias seriam necessários. Assim surgiu a segunda geração, 2G, com sinal agora digital, e modulado na RF. O sinal digital é modulado e ainda transportado sobre rede com tecnologia comutada a circuito, assim como no 1G. Algumas vantagens imediatas do sistema 2G sobre o 1G foram: a acomodação de maior número de usuários em uma mesma faixa de frequência, possibilidade de conferência entre usuários e sistema de mensagens voice mail.

Existem vários tipos de tecnologias que foram criados como o GSM, iDEN, D-AMPS, CDMAOne, TDMA e PDC, essas tecnologias serão explicados a seguir.

GSM (Global System for Mobile Communications): Foi formado em 1982 pelo CEPT (Conférence Européenne des Postes et des Télécommunications) para desenvolver um sistema digital de celular Pan-Europeu. No GSM até oito usuários podem compartilhar um canal de rádio de 20kHz alocando um slot por vez para cada um deles. Ele funciona nas frequências 900 e 1800MHz menos na América do Norte que usa 1900MHz. Desde o seu início ele oferece serviço de SMS (Short Message Service) que tinha o tamanho máximo de 160 caracteres, transmissão de dados usando CSD (Circuit-Switch Data – tecnologia tradicional usada para a troca de dados) que atinge velocidade de 14.4 kb/s, sendo que essa velocidade foi melhorada depois com o uso do HSCSD (High Speed Circuit-Switch Data) que chega a velocidade de 57.6 kb/s.

iDEN (Integrated Digital Enhanced Network): É uma tecnologia de comunicação móvel, desenvolvida pela Motorola, que fornece ao seus usuários os benefícios de um rádio bloqueado e um telefone celular. iDEN coloca mais usuários em um dado espaço espectral, comparado aos sistemas celulares analógicos, por usar o TDMA. Até seis canais de comunicações compartilham um espaço de 25kHz.

D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System) ou IS-52 e IS-136: Usa os canais AMPS existentes e permite uma transmissão plana entre sistemas analógicos e digitais na mesma área. Sua capacidade foi aumentada acima do desenho analógico anterior por dividir cada par de canal de 30kHz em três slots de tempo e comprimindo digitalmente os dados de voz, rendendo assim três vezes a capacidade de chamada em uma única célula.

CDMA (Code Division Multiple Access): É derivado de tecnologia militar, tendo sido usado por muito tempo. Na década de 80, os militares descartaram essa tecnologia e com isso ela foi testada em aplicações de telefonia celular. O CDMA foi aprovado em 1993 pela

TIA (Telecommunications Industry Association). Hoje o CDMA^a é chamado de CDMAOne para se diferenciar do sistema CDMA do 3G. Com o CDMAOne até 64 usuários podem compartilhar o mesmo canal de 1.25 MHz. Funciona nas frequências de 850 e 1900 MHz. Como o GSM, a primeira versão do CDMA transferia dados a 14.4 kb/s. Com uma simples alteração, adicionando sete códigos suplementares no código fundamental, é possível aumentar a taxa para 64 kb/s.

TDMA (Time Division Multiple Access): Usa um sistema de celular analógico, como o AMPS (Advanced Mobile Phone Service) onde um simples usuário usa um canal de 30kHz. O TDMA foi criado para coexistir com o AMPS dividindo o canal de 30kHz em três canais, fazendo com que três usuários compartilhem um canal alocando um slot por vez para cada um deles.

PDC (Personal Digital Cellular): É uma variação do TDMA apenas para os japoneses que funciona nas frequências de 800 e 1500MHz. Mas por sua saturação forçou a operadora japonesa de telefonia celular, NTT DoCoMo a trocá-la rapidamente pelo sistema 3G.

4.3 TERCEIRA GERAÇÃO (3G)

As redes móveis 3G é a terceira geração de padrões e tecnologias de telefonia móvel. As tecnologias 3G foram desenvolvidas por organismos de padronização que congregam operadoras, fabricantes e entidades de padronização regionais, entre outros. O objetivo era executar um projeto específico criado pela União Internacional de Telecomunicações (UIT), na época denominada Programa IMT-2000.

Os sistemas 3G surgiram da necessidade de mais capacidade, novas frequências e altas taxas de transmissão. Alguns padrões foram propostos no 3G como: W-CDMA (UMTS e FOMA), CDMA2000 e TD-SCDMA. Explicados a seguir.

FOMA (Freedom of Mobile Multimedia Access): É o nome comercial para os serviços 3G que estão sendo oferecidos pela operadora japonesa de telefonia celular NTT DoCoMo. Ele foi o primeiro serviço W-CDMA 3G no mundo e é compatível com o padrão UMTS através de link de rádio bem como através de troca de cartão USIM.

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System): É uma tecnologia que usa o W-CDMA como padrão e é padronizada segundo a 3GPP, foi dividida em versões sendo a última, a quinta, que introduziu o transporte baseado em IP sem o rádio de acesso de rede.

CDMA2000: Trabalha usando a padronização que está sendo feita pelo 3GPP2 seguindo as seguintes versões: O CDMA2000 1x, que é a evolução do CDMAOne e que suporta transferência de dados a velocidades de até 144 kb/s; o CDMA2000 1xRTT (Radio Transmission technology) é a camada básica do CDMA2000 e suporta transferência de dados a velocidade de até 144kbit/s; o CDMA2000 1xEV (Evolution) é o CDMA2000 1x com High Data Rate (HDR – Alta Taxa de Dado) separados em duas fases: CDMA2000 1xEV-DO (Evolution-Data Optimized) que introduz uma nova interface, suporta altas transferência de dados e pode prover velocidades de até 2.4 Mbit/s download e 1.8 Mbit/s de upload, e CDMA2000 1xEV-DV (Evolution-Data and Voice) que introduzirá uma tecnologia de rádio, uma arquitetura baseada em IP e promete velocidades de até 3.1 Mbit/s; o CDMA2000 3x que utiliza um par de canal de radio de 3.75MHz para alcançar taxas de dados maiores ainda. A versão 3X do CDMA2000 ainda não foi lançada e nem está em desenvolvimento.

TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access): É um padrão 3G nas telecomunicações móveis, sendo estudado na China pela Chinese Academy of Telecommunications Technology (CATT), Datang e Siemens AG, em uma tentativa para desenvolver tecnologia nacional e não ser “dependente das tecnologias ocidentais”.

4.4 QUARTA GERAÇÃO (4G)

4.4.1 INTRODUÇÃO

O 4G, ou quarta geração de serviços móveis, é o nome dado para o sucessor do 3G terá tecnologias que permitirão o próximo nível de serviços móveis, visando trazer novas aplicações para o ramo e promover redução de custos.

Para Glisic S. (2006) a maior expectativa a partir da quarta geração (4G), é que a rede de comunicação sem fio seja capaz de lidar com altas taxas de dados que será na faixa de 1Gbits Wlan e 100Mbits em redes celulares. O usuário terá uma grande gama de mobilidade podendo ser capaz de restabelecer a diferentes redes até mesmo dentro de uma mesma sessão.

Para Dias, K. L., Cavalcanti, D. A. T., Cordeiro, C. M., Costa, J. C. W. A. (2006). Um dos principais objetivos da próxima geração de sistemas heterogêneos, usualmente chamada de redes 4G(Quarta Geração), é proporcionar sempre a melhor conectividade aos usuários móveis. Enquanto alguns se referem às redes 4G simplesmente como a próxima geração de interface aérea das atuais redes móveis celulares que suportará taxas elevadas de

transmissão de dados, as visões mais aceitas vão além de uma interface aérea avançada. Uma das principais visões aceitas de 4G envolve sistemas que integram tecnologias e redes sem fio heterogêneas para prover conectividade transparente aos usuários.

Conforme Mitola, (2005) com o avanço acelerado das tecnologias, podemos prever que os ambientes das futuras redes certamente serão heterogêneos em termos de infraestrutura e aplicações. A disponibilidade de uma gama de tecnologias de rede sem fio e a integração com a Internet permitirão usar equipamentos com múltiplas interfaces ou dispositivos sem fio baseado na tecnologia SDR (*Software Defined Radio*).

O 4G será baseada em IP, refletindo as características da internet. Haverá uma grande diferença no modo como este novo sistema funcionará, aproximando celulares dos computadores. Porém para o usuário a grande diferença se dará na gama de novas aplicações que poderão se utilizar destas novas tecnologias, descrita mais adiante e exemplificada com a Figura 2 a seguir.

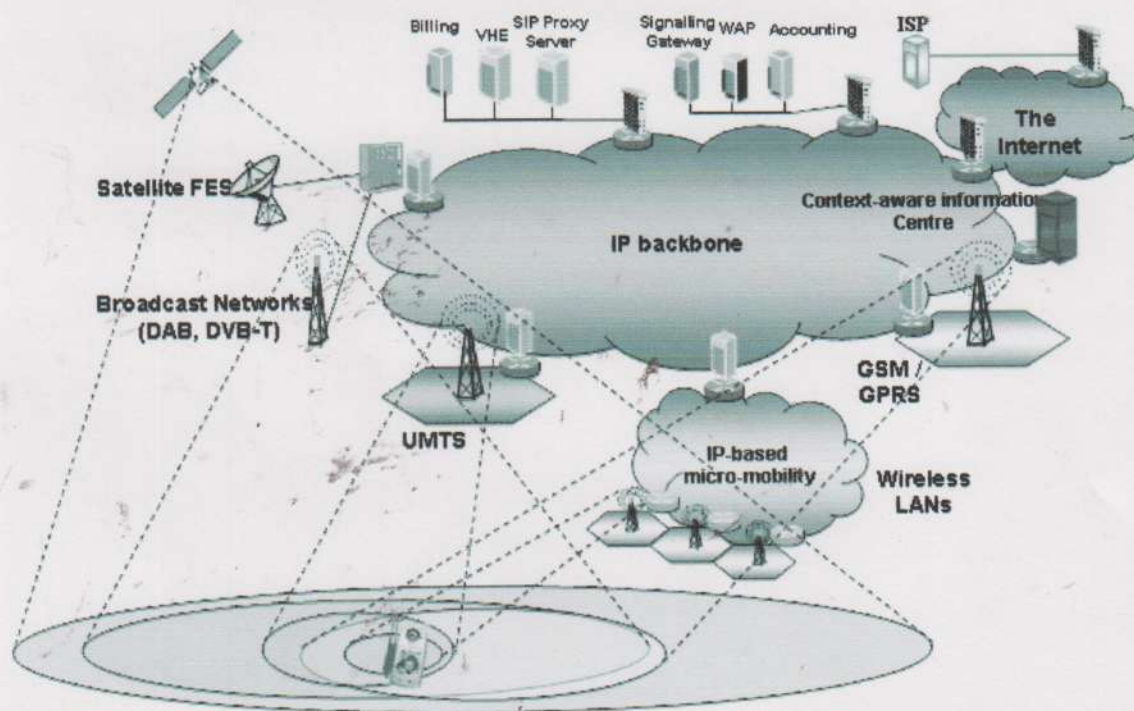


Figura 2 – Arquitetura 4G

4.4.2 REDES MÓVEIS DE QUARTA GERAÇÃO (4G)

A evolução de 3G para 4G está, basicamente, relacionada à qualidade dos serviços oferecidos (exemplo: vídeo, som e jogos interativos), graças a grande largura de banda, mais sofisticação associado com uma larga quantidade de informações e aumento na

personalização. Compatibilidade com outras redes, fará com que os dados cheguem a velocidades extremamente altas. Isso pedirá uma conexão “always-on”, ou seja, que os celulares estejam sempre on-line. É esperado um impacto muito grande na capacidade das redes pois exigirá muito processamento das mesmas. A infra-estrutura será bem mais distribuída que nos desenvolvimentos atuais, facilitando a introdução de uma nova fonte de tráfego local. Transmissão máquina-a-máquina envolverá apenas dois tipos básicos de equipamentos: sensores (que medirão parâmetros) e tags (que serão equipamentos de leitura e escrita).

A tecnologia 4G descreve duas idéias diferentes porém que se sobrepõem:

1. A tecnologia 4G prepara se para ser o futuro padrão dos dispositivos wireless. A principal companhia de serviços wireless NTT DoCoMo está testando comunicação 4G a 100Mbps enquanto se move, e 1 Gbps quando parado. NTT DoCoMo planeja lançar a primeira rede comercial em 2010. Apesar dos dispositivos wireless atuais quase nunca utilizarem as capacidades completas do 3G, existe uma postura que se você fornece o canal de processamento então os serviços para ele seguirão.

2. Redes pervasivas. Um conceito até o momento hipotético onde o usuário pode estar conectado simultaneamente a várias tecnologias de acesso wireless e pode transparentemente se mover entre elas. Estas tecnologias podem ser Wi-Fi, UMTS, EDGE ou qualquer outra tecnologia de acesso que poderá vir.

Falando sobre dimensões, um simples cálculo mostra a ordem de magnitude. O alvo do projeto em termos de performance de rádio deve conseguir uma capacidade de escalonamento de 50 para 500 bit/s (incluindo capacidade em lugares fechados). Como forma de comparação, a melhor performance esperada no 3G é por volta de 10bit/s, assim, a tecnologia 4G seria no mínimo 50x mais abrangente que a sua antecessora. Nenhuma tecnologia atual é capaz de chegar a essa performance.

5 INTERNET MÓVEL

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão distinguidos os dois conceitos de mobilidade, micromobilidade e macromobilidade, comentando e explicando seus principais protocolos.

O deslocamento dentro de uma área de abrangência pequena, restrita a uma única rede como, por exemplo, o campus de uma universidade, é chamado de micromobilidade.

Macromobilidade envolve uma região maior e corresponde a uma área de migração entre áreas de micromobilidade como, por exemplo, o deslocamento em uma região metropolitana.

Os protocolos de micromobilidade são elaborados para gerenciar a mobilidade dentro de um domínio administrativo (intra-DA), enquanto os protocolos de macromobilidade são desenvolvidos para gerenciar a mobilidade entre domínios administrativos (inter-DA).

5.2 PROTOCOLOS DE MACROMOBILIDADE

A seguir será detalhado o funcionamento dos protocolos de macromobilidade Mobile IP e Session Initiation Protocol (SIP). Embora o funcionamento destes dois protocolos seja bastante parecido, é importante salientar, de antemão, que a diferença fundamental entre eles é que o primeiro atua na camada de rede, enquanto o segundo, na camada de aplicação.

5.2.1 MOBILE IP VERSÃO 4 (MIPv4)

O MIPv4 é um protocolo definido pelo IETF e foi desenvolvido para que os nós móveis pudessem mover-se de uma sub-rede IP a outra. Ele é tão apropriado para mobilidade através de meios de comunicação homogênea, como para mobilidade, através de meios de comunicação heterogênea. Isto é, o MIP facilita o movimento dos nós de um segmento Ethernet para outro, assim como acomoda estes movimentos de um segmento Ethernet a uma rede wireless, enquanto o endereço IP destes nós permanece o mesmo.

O protocolo MIPv4 introduz três novas entidades em sua arquitetura: o mobile node (dispositivo móvel), o home agent (agente domiciliário) e o foreign agent (agente estrangeiro). A Figura 3 apresenta as entidades do MIPv4.

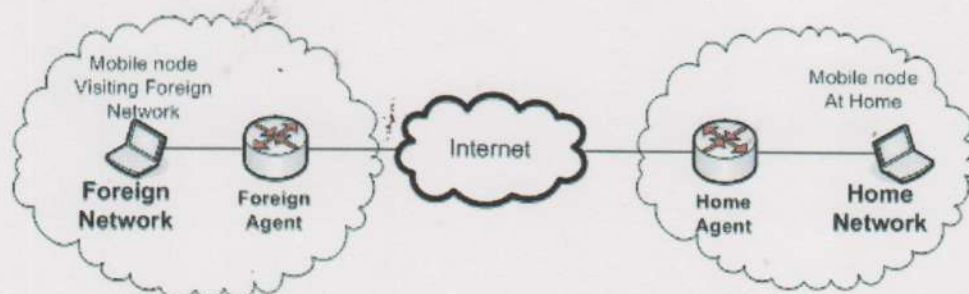


Figura 3 - Componentes do Mobile IP Versão 4

Mobile Node (nó móvel): Uma máquina ou roteador que muda seu ponto de conexão (point of attachment) de uma rede ou sub-rede para outra. Um nó móvel pode mudar sua localização sem mudar seu endereço IP; ele pode continuar a se comunicar com outros nós na Internet em qualquer lugar usando seu endereço IP (constante), assumindo a conexão ao ponto de conexão disponível.

Home Agent (Agente Domiciliar): Um roteador em uma rede local de um nó móvel que faz o trabalho de colocar os datagramas em um túnel para entregar ao nó móvel quando ele está em outra rede e manter informação sobre a localização atual deste nó móvel. Outra função do HA é capturar os pacotes enviados por um dispositivo que esteja realizando comunicação com o nó móvel, denominado Correspondent Node (CN), e encaminha-los ao local onde se encontra o nó móvel que está fora de sua Home Network.

Foreign Agent (Agente Estrangeiro): Um roteador na rede visitada pelo nó móvel que provê serviços de roteamento a este nó enquanto estiver registrado. O agente estrangeiro tira os datagramas do túnel e os entrega ao nó móvel, que foram colocados no túnel pelo agente local deste nó móvel. Para datagramas enviados por um nó móvel, o agente estrangeiro pode servir como um roteador padrão para nós móveis registrados.

Ao nó móvel é dado um endereço IP na rede local. Este endereço local é administrado da mesma forma que um endereço IP "permanente" quando dado a um host estacionário. Quando longe de sua rede, um endereço é associado ao nó móvel e reflete o atual ponto de conexão (point of attachment) deste nó móvel. A este tipo de endereço é dado o nome de "care-of address".

O funcionamento do MIP consiste das seguintes atividades principais: descoberta de agentes, registro e tunelamento.

A descoberta de agentes se inicia quando o nó móvel chega em uma rede estrangeira (ou rede visitada). O nó móvel capta anúncios dos agentes que podem servi-lo como Agentes Estrangeiros. Se quiser, o nó móvel pode enviar uma requisição de registro na tentativa de encontrar um agente disponível. Uma vez obtido o endereço IP que será utilizado naquela rede, o nó móvel tenta fazer o registro com o seu HA. Isso pode ser feito diretamente, no caso de ser um Co-located Care-of Address, ou através do FA, caso o endereço utilizado pertença a este FA.

Após as fases de descoberta e registro detalhadas anteriormente, uma entrada para o novo endereço do nó móvel é inserida na tabela de rotas do HA e todos os pacotes que forem endereçados ao nó móvel serão recebidos através de um túnel mantido entre o HA e o detentor do Care-of Address (que pode ser o FA ou o próprio nó móvel). Os dados são

encapsulados, por exemplo, dentro de outro pacote IP destinado ao Care-of Address. Assim, serão roteados através da rede até o final do túnel.

5.2.2 MOBILE IP VERSÃO 6 (MIPv6)

O protocolo Mobile IP versão 6 (MIPv6) foi projetado para fornecer suporte à mobilidade em redes IPv6. Apesar das semelhanças com o MIPv4, o MIPv6 possui características adicionais voltadas para redes IPv6.

A principal mudança é consequência do maior número de endereços IP fornecido pelo IPv6. Com esse número maior de IPs, todos os MNs podem usar um co-located care-of-address (CCoA). Uma outra característica é a ausência de Foreign Agents nas redes visitadas. Isso é possível graças às novas características de descoberta de vizinhança, auto-configuração de endereço e a capacidade dos roteadores enviarem mensagens de anúncio de roteador do IPv6. Além disso, a otimização de rota é agora parte integrante do protocolo MIPv6. As mensagens de binding updates são enviadas diretamente pelos MNs aos CNs, retirando essa funcionalidade do HA.

Também não é mais necessário realizar o tunelamento reverso, visto que o home address e o care-of-address do nó móvel são indicados nos pacotes enviados para um CN, diferente do MIPv4 que usava apenas o home address. Isso permite que um nó móvel use seu CoA como o endereço de origem no cabeçalho IP do pacote e possa consequentemente atravessar os filtros de entrada da rede sendo visitada.

5.2.3 SESSION INITIATION PROTOCOL (SIP)

O Session Initiation Protocol (SIP) é um protocolo de gerenciamento de mobilidade, desenvolvido pelo IETF, capaz de fornecer mobilidade pessoal e mobilidade de terminal. Como mostrado no Capítulo 5.2, a mobilidade pessoal permite a transferência de uma comunicação em andamento de um dispositivo para outro. Um exemplo desse tipo de mobilidade no SIP é a transferência de uma comunicação que está sendo realizada em um celular para um projetor, que fornecerá a imagem obtida da outra parte comunicante. Por sua vez, a mobilidade de terminal permite a mudança de domínio administrativo sem perder a comunicação com a rede, graças ao gerenciamento de mobilidade realizado pelo SIP. Um exemplo de mobilidade de terminal ocorre quando um usuário muda de um domínio administrativo para outro.

Para o funcionamento do SIP é necessária a presença de agentes de usuários (UA) nos dispositivos do usuário. Os usuários do SIP devem ser identificados através de SIP URLs (uma URL que especifica o SIP como protocolo), que lembram o formato de endereço de e-mail.

A Figura 4 apresenta o processo de registro no SIP para o usuário A.

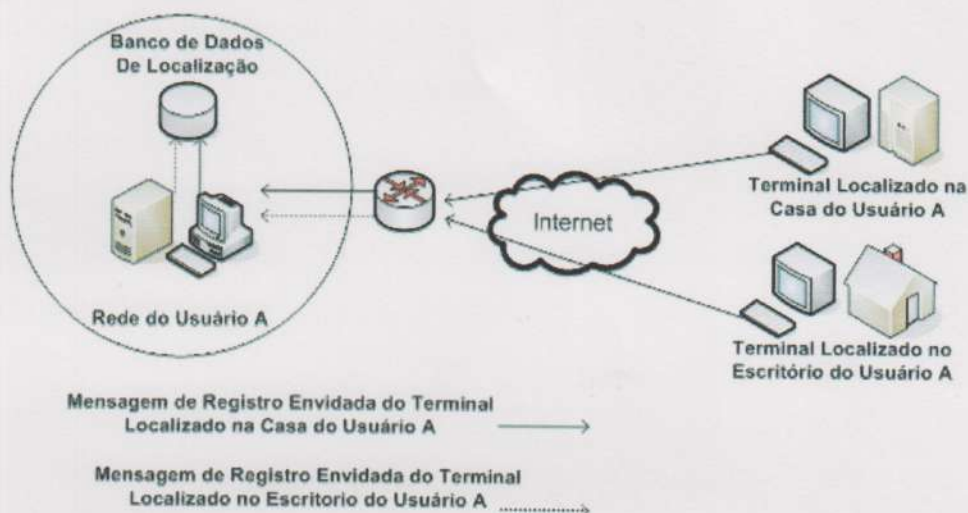


Figura 4 - Usuário registra os terminais de casa e do escritório

Em cada domínio há um servidor de registro SIP, que possui um endereço IP estático e é facilmente acessível por servidores DNS (que traduz o nome de um nó no seu endereço IP, e vice-versa). Esse servidor SIP intercepta as mensagens de registro e atualiza a informação de localização do dispositivo. A mensagem de registro possui o SIP URL, o endereço IP atual que se encontra o usuário, o número da porta e o protocolo de transporte que está sendo utilizado no dispositivo (TCP), visto que SIP funciona independente do protocolo de transporte. Outros campos adicionais da mensagem de registro são possíveis, como o tempo de validade do pedido de registro, que tradicionalmente é uma hora. O servidor de registro autentica o usuário e cria o mapeamento entre o URL SIP e o endereço de rede no banco de dados de localização.

Através do SIP URL, o usuário pode ser contactado independente da sua localização atual e o endereço IP utilizado. Entretanto, apenas conhecendo o SIP URL não é suficiente para rotear uma mensagem para um usuário. Também é necessário um servidor proxy ou um servidor de redirecionamento.

O servidor proxy é o responsável pelo mapeamento da URL para o endereço IP atual utilizando o servidor de registro. Após o mapeamento, o proxy encaminha a mensagem

recebida para o endereço IP obtido. O servidor de redirecionamento é menos freqüente na arquitetura SIP e tem função similar ao servidor de DNS. Através dele, um usuário A pode solicitar a localização de um usuário B e receber uma lista de endereços. Após isso, o usuário A realiza toda comunicação diretamente com o usuário B.

Uma possibilidade do uso do SIP é o mapeamento de uma SIP URL para vários endereços IPs. Para visualizar essa facilidade do SIP, a Figura 4 ilustra um cenário, onde um usuário A está atualmente trabalhando em dois terminais, cada um com um UA, e que teve o endereço IP registrado junto ao servidor de localização.

Na Figura 5, se um usuário B desejar contactar o usuário A, ele envia uma mensagem de solicitação de comunicação ao proxy, especificando o URL SIP do usuário A. O proxy descobre que o usuário A está registrado para dois endereços de terminal e envia uma cópia da mensagem para cada um desses endereços. O usuário A envia uma resposta de solicitação de um dos terminais para o proxy, e este por sua vez retorna a resposta do UA do usuário A para o usuário B.

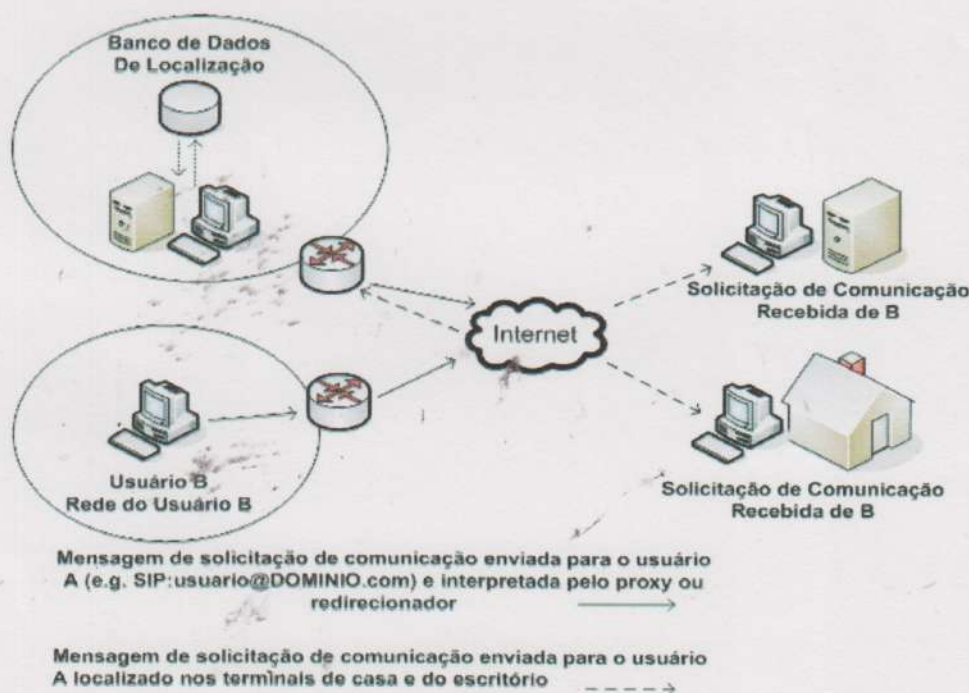


Figura 5 - Usuário B solicita comunicação com Usuário A via servidor Proxy

5.3 PROTOCOLOS DE MICROMOBILIDADE

Os pacotes endereçados para um nó móvel são entregues, através do MIP, utilizando o roteamento IP tradicional para um endereço temporário atribuído a esse nó em seu ponto de acesso atual. Isso oferece um esquema simples e escalável para a mobilidade global. No

entanto, MIP não oferece suporte transparente à mobilidade, devido à necessidade do nó móvel atualizar o registro de localização em seu HA toda vez que mudar de ponto de ligação a Internet. Isso implica em longos períodos de espera no processo de registro e grande carga de sinalização na Internet, além de alta taxa de perda de datagramas, principalmente quando o nó móvel estiver distante do seu HA.

Com a intenção de possibilitar handoffs rápidos e suaves, algo que não é possível no MIP, foram idealizados protocolos de mobilidade adequados para áreas geográficas restritas, denominados protocolos de micromobilidade, em contraste com os protocolos de macromobilidade (MIP e SIP), que gerenciam a mobilidade global e foram apresentados anteriormente. Os protocolos de micromobilidade gerenciam a movimentação localmente, conseqüentemente, os problemas com altos atrasos, perda de pacotes e sobrecarga da Internet são minimizados. Dessa forma, aplicações que seriam inviáveis em um ambiente com os problemas de altos atrasos e perda de pacotes podem ser utilizadas, como por exemplo, voz sobre IP e videoconferência.

Os protocolos de micromobilidade, Cellular IP, HMIP, TeleMIP, IDMP, HAWAII serão descritos nas subseções seguintes.

5.3.1 CELLULAR IP

Cellular IP (CIP) é um protocolo de micromobilidade proposto pela Columbia University e pela Ericsson baseado no paradigma IP, herdando os seguintes princípios dos sistemas celulares para gerenciamento de mobilidade: conectividade passiva, paging e controle de rápido handoff. Nas subseções a seguir são detalhado os processos de roteamento, handoff, fast handoff e paging do Cellular IP, bem como a conectividade passiva que será considerada parte integrante do processo de paging.

A arquitetura da rede celular IP é composta por Mobile Node (nó móvel), base station (BS), roteadores internos (IR) e gateway (GW), como mostra a Figura 6. A seguir apresentaremos a arquitetura da rede CIP, bem como a forma como ela se comunica com outras redes.

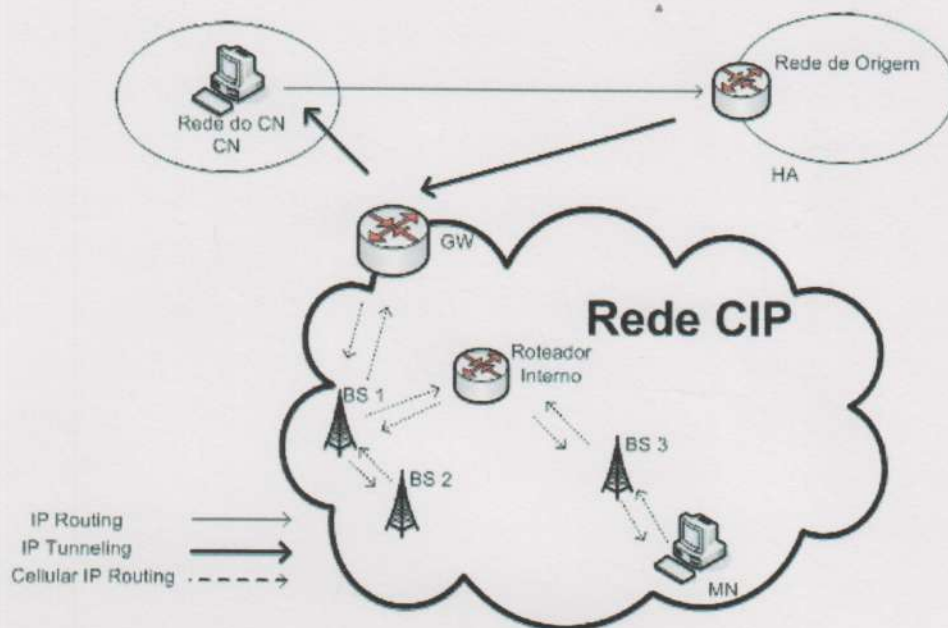


Figura 6 - Arquitetura de uma rede Cellular IP

Os MNs são os dispositivos móveis que utilizam os serviços e recursos da rede CIP; já as estações base, além de atuarem como pontos de acesso wireless para os nós móveis, também realizam funções relacionadas ao roteamento de pacotes IP; os roteadores internos são responsáveis unicamente pelo roteamento CIP; por fim, os gateways (também conhecidos como roteadores de borda) conectam as redes CIP à Internet. Eles têm um papel fundamental na rede CIP, pois recebem, desencapsulam e enviam os pacotes para a estação base onde se encontra o nó móvel visitante. Dentro de uma rede CIP, o nó móvel é identificado através de seu Home Address e os pacotes são roteados sem tunelamento ou conversão de endereço. Os pacotes enviados para um host externo à rede CIP são primeiramente roteados para o gateway e em seguida enviados para o host de destino.

A comunicação da rede CIP com outras é feita através do protocolo MIP. Para isso, eles utilizam o endereço IP do gateway como seu endereço *care-of-address*. Dessa forma, assumindo que a rede CIP utilizará a versão 4 do MIP para a comunicação externa e que não existe nenhuma otimização de rota no protocolo MIP, um pacote direcionado para o nó móvel que se encontra dentro da rede CIP será primeiramente encaminhado para seu *Home Agent*, onde é tunelado para o gateway. O *Home Agent* armazena o *care-of-address* do gateway, como sendo o *care-of-address* do nó móvel.

Na rede *cellular IP*, por questões de otimização, o gerenciamento de localização e o suporte ao *handoff* são integrados ao roteamento. Para minimizar as mensagens de controle, pacotes de dados transmitidos pelos MNs são usados para informar a localização dos mesmos.

5.3.1.1 ROTEAMENTO

No CIP, todos os pacotes gerados pelos MNs e destinados a qualquer *host* (interno ou externo à rede CIP) devem passar pelo *gateway* e só então serem entregues ao seu destino. Assim, toda *base station* e todo roteador interno devem possuir a informação de qual interface de saída deve enviar os pacotes recebidos pelos MNs a fim de alcançar o *gateway*. Essa informação é obtida através de mensagens de *beacon* enviadas periodicamente pelos *gateways* para toda a rede de acesso do CIP.

No momento em que os pacotes passam pelos nós da em direção ao *gateway*, é armazenado um registro que mapeia o endereço IP do nó móvel emissor e a interface de entrada na qual foi recebido o pacote. A coleção desses registros é denominada de routing cache. Dessa forma, ao receber um pacote endereçado a um nó móvel, o nó consulta na sua tabela o mapeamento referente ao endereço IP do destino do pacote e retorna a respectiva interface de saída. Esse processo é realizado até que o nó móvel seja alcançado pela BS num processo salto-a-salto. Esse mapeamento continua válido por um período de tempo, denominado *route-timeout*, e sua validade é renovada a cada pacote recebido na mesma interface de entrada emitida pelo nó móvel em questão.

Quando não possuir dados a serem enviados, o nó móvel pode enviar pacotes de *route-update* para o *gateway* a fim de manter atualizado o mapeamento existente em todos os nós da rota.

Esses pacotes são enviados em um intervalo regular de tempo, denominado *route-update-time*, e não deixam a rede de acesso Cellular IP.

A Figura 7 ilustra o caminho seguido por um pacote de dados enviado por um nó móvel com destino a um CN na Internet. Uma rede CIP possui um conjunto de células (representadas por hexágonos na ilustração) e cada célula possui uma ou mais base stations. O nó móvel em questão se encontra na célula 5, e está acessando a rede através da base station 6 (BS6). A sequência percorrida pelo pacote até chegar ao *gateway* é a seguinte: BS 6, roteador interno, BS2 e BS1.

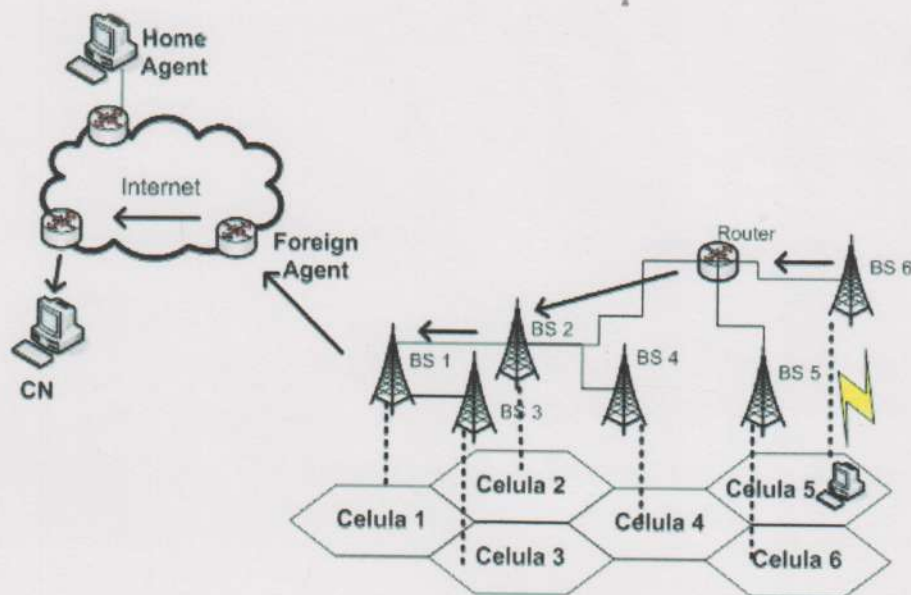


Figura 7 - Roteamento no CIP

5.3.1.2 HANDOFF

Handoff é a movimentação de um dispositivo móvel entre pontos de acesso de uma rede (base stations). No CIP, a solicitação de handoff é feita pelo nó móvel e é direcionada a BS que possui a maior potência de sinal das mensagens de beacon emitidas. No CIP existem dois tipos de handoff: o hard handoff e o semisoft handoff.

No hard handoff, ao receber uma mensagem de beacon enviada por uma BS com um sinal mais forte do que a atual, o nó móvel envia um pacote de route-update para a nova BS e passa a utilizá-la. Isso cria um mapeamento routing cache nos nós pertencentes à rota entre o nó móvel e o gateway. O mapeamento associado à BS anterior não é desfeito automaticamente, ele é mantido até que expire o route-update time. Durante o tempo de latência de handoff, que é o tempo gasto entre o handoff e a chegada do primeiro pacote através da nova rota, pacotes direcionados para o nó móvel podem, entretanto, ser enviados para a rota anterior e conseqüentemente serem perdidos. Essa característica do hard handoff implica em uma solução de gerenciamento de mobilidade simples, que suporta um handoff rápido, a um preço de perda em potencial de alguns pacotes.

No semi-soft handoff, ao receber um beacon de uma BS com sinal mais forte que a atual, o nó móvel envia para a nova BS um pacote de route-update, mas continua a receber pacotes pela BS antiga. Dessa forma, o nó móvel possuirá dois pontos de acessos à rede, o que minimiza a perda de pacotes durante o handoff. No entanto, durante o período em que o nó móvel possui comunicação com as duas BS (denominado semi-soft delay), será consumido

o dobro de recursos da rede. Após o semi-soft delay o nó móvel passa a utilizar somente a nova BS.

5.3.1.3 PAGING

Paging (paginação) é a capacidade de uma rede encontrar um nó móvel em uma área geograficamente restrita quando necessitar enviar dados a ele. Assim, o nó móvel pode ficar em um modo ocioso (idle), ou seja, sem consumir recursos da rede e do próprio equipamento quando não possuir dados para enviar. Quando o nó móvel está ocioso, mas pode se conectar a uma rede ou ser alcançado por ela, dizemos que ele possui a característica de conectividade passiva. O processo de conectividade passiva e paging são explicados a seguir.

Quando um nó móvel não recebe pacotes por um determinado tempo, denominado active-state timeout, ele muda seu estado para o estado ocioso e permite que os mapeamentos routing cache sejam desfeitos. Para que possa ser localizado, o nó móvel envia, em intervalos definidos por paging-update-timeout, pacotes de paging-update, que são pacotes vazios e roteados em um modelo salto-a-salto (similar ao routing-update) para o gateway.

O paging-cache é similar ao routing-cache, exceto por duas diferenças básicas. A primeira é que o paging-cache possui um tempo de vida, denominado paging-timeout, que é maior do que o período do routing-cache. A segunda é que os mapeamentos paging-caches são atualizados por qualquer pacote enviado por um nó móvel, incluindo paging-updates. O mapeamento paging-cache é utilizado quando o gateway ou as BSs não acham um mapeamento para um nó móvel no routing cache. Caso a BS não possua uma entrada no paging-cache para um determinado nó móvel, ela envia o pacote recebido para todas as suas interfaces, exceto a interface que recebeu o pacote.

5.3.2 HANDOFF-AWARE WIRELESS ACCESS INTERNET INFRASTRUCTURE

Handoff-Aware Wireless Access Internet Infrastructure (HAWAII) é uma proposta de micromobilidade baseada em domínios. Assim como o CIP, HAWAII foi proposta para minimizar a perda de comunicação e a latência nos handoffs realizados pelos dispositivos móveis. HAWAII utiliza o protocolo Mobile IP para gerenciar a mobilidade inter-domínios e é transparente para os MNs.

A arquitetura do HAWAII é composta por Mobile Node (nó móvel), Base Station (BS), Roteador Interno (IR) e Roteador Raiz (RR). A Figura 8 ilustra os componentes da arquitetura HAWAII.

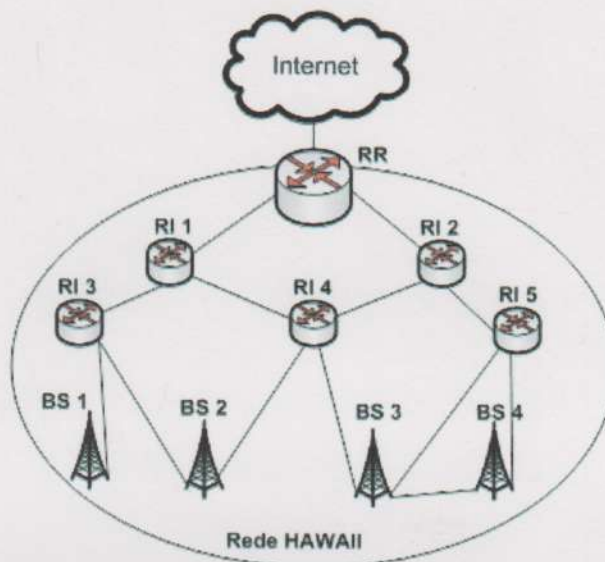


Figura 8 - Arquitetura do HAWAII

Os roteadores internos são as únicas entidades que executam o protocolo HAWAII dentro da rede. As BSs, além de sua função original de ponto de acesso para os MNs, funcionam como um tradutor do protocolo que o nó móvel utiliza (MIP) e o HAWAII. O roteador raiz do domínio realiza o papel de gateway da rede com a Internet. Por fim, os MNs são dispositivos que utilizam os recursos da rede HAWAII.

O gerenciamento de mobilidade do HAWAII é realizado através dos esquemas de configuração de rota (*path setup scheme*), que consistem em um método para atualizar os roteadores (BS, IR e RR) em um domínio, a fim de manter a conectividade do nó móvel enquanto um *handoff* estiver sendo realizado.

HAWAII utiliza mensagens de configuração de rotas para estabelecer e atualizar entradas de roteamento nos roteadores do domínio, de maneira que um pacote, ao chegar no roteador raiz, possa ser entregue ao nó móvel de destino. Uma mensagem de atualização de rota (*path setup update*) é enviada por uma BS após receber uma solicitação de registro MIP vinda de um nó móvel. O nó móvel envia essa solicitação após realizar um *handoff* ou ser ligado.

Periodicamente, o nó móvel envia mensagens de renovação de registro para a BS, que por sua vez envia uma mensagem para atualizar os roteadores que se encontram na rota de uma maneira *salto-a-salto*, até alcançar o roteador raiz.

Ao ser ligado, o nó móvel envia uma solicitação MIP de atualização de registro para a estação base mais próxima. A estação base, então, envia uma mensagem de atualização de configuração de rota usando uma rota padrão. Cada roteador no caminho entre o nó móvel e o roteador raiz adiciona uma entrada de roteamento para o nó móvel. Por fim, o roteador raiz envia uma mensagem de confirmação para a estação base que cria e envia uma mensagem MIP de resposta à solicitação.

Quando os pacotes endereçados para um nó móvel chegam ao roteador raiz, eles são encaminhados para o nó móvel usando as entradas de roteamento estabelecidas no processo de configuração de rota.

Existem dois tipos de esquemas de atualização de rota. O primeiro, denominado esquema de *forwarding*, é voltado para redes wireless em que os nós móveis são capazes de receber/transmitir por apenas uma estação base. O segundo, denominado *Non-Forwarding*, é otimizado para redes onde o nó móvel pode receber/transmitir por duas ou mais estações base simultaneamente e por um período curto de tempo.

O nó móvel é reconhecido dentro de seu domínio de origem através do *Home Address*. Os pacotes endereçados para um nó móvel que se encontra em seu domínio de origem são, primeiramente, entregues ao roteador raiz do domínio e só então redirecionados para o nó móvel através de rotas estabelecidas através dos esquemas de configuração de rota.

Quando o nó móvel se encontra em um domínio estrangeiro, o protocolo MIP é utilizado. Caso o domínio estrangeiro suporte o protocolo HAWAII, o nó móvel recebe um *co-located care-of-address* (CCoA) atribuído pelo domínio estrangeiro. Os pacotes são tunelados para o *care-of-address* pelo seu *Home Agent*. Esse endereço permanece fixo enquanto o nó móvel se encontra dentro do mesmo domínio estrangeiro.

5.3.3 HIERARCHICAL MOBILE IP

Hierarchical Mobile IP (HMIP) é uma proposta baseada no Mobile IP e cujo objetivo é diminuir o tempo gasto para um nó móvel realizar handoff entre redes de acesso. Para alcançar esse objetivo, HMIP propõe uma nova entidade, denominada de Gateway Foreign Agent (GFA). O GFA deverá estar hierarquicamente superior ao FA das redes que ele abrange. A arquitetura de uma rede HMIP é apresentada na Figura 9. Ela apresenta duas redes MIP, possuindo um Foreign Agent cada uma; também são mostradas.

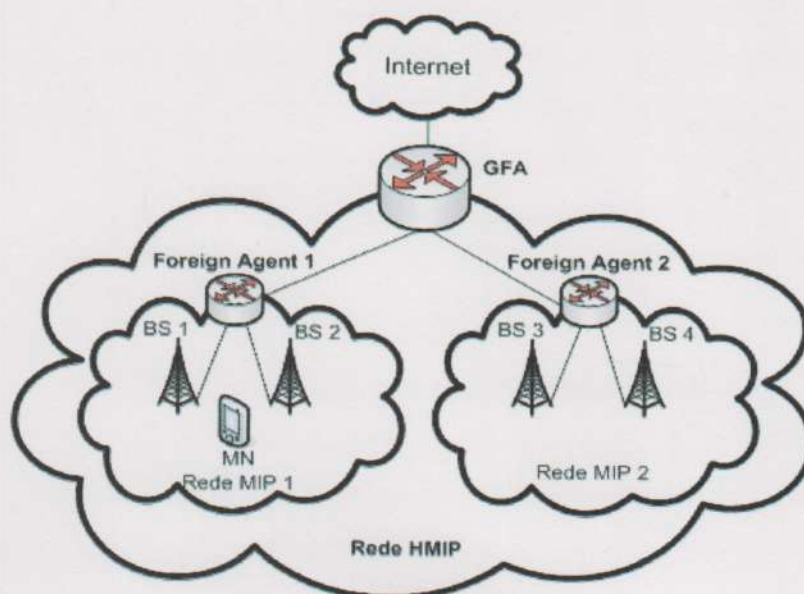


Figura 9 - Arquitetura da rede HMIP

Através da rede HMIP, um nó móvel visitante só realizará o registro com seu Home Agent apenas uma vez. Quando o nó móvel mudar de uma rede para outra dentro da área de abrangência do GFA, será necessário apenas realizar o registro com o GFA, não mais com o HA, diminuindo com isso o tempo gasto no processo de registro.

Enquanto o nó móvel estiver visitando uma rede HMIP, o Home Agent conhecerá apenas o care-of-address do GFA como sendo o endereço temporário do nó móvel.

5.3.4 TELECOMMUNICATION ENHANCED MOBILE IP

O Telecommunication Enhanced Mobile IP (TeleMIP) é baseado na observação que os esquemas de mobilidade IP tem uma sub-rede e melhor granularidade em resolução de local e, na maioria das vezes, não tem seu escopo em transmissão e atualização de localização. O Cellular IP, por exemplo, propõe uma granularidade a nível de estação base (camada 2) similar as redes celulares. O esquema atual de sub-rede baseada em agente estrangeiro do Mobile IP, em contrapartida, conduz a uma mudança no care of address em toda transição de sub-rede. O TeleMIP propõe uma generalização no conceito do Agente Estrangeiro por introduzir um novo nó, chamado *Mobility Agent* (Agente de Mobilidade), na camada de rede (camada 3) maior granularidade que o da sub-rede, reduzindo assim a geração de atualizações globais de localização. Por limitar as atualizações intra-domínio no agente de mobilidade, nós reduzimos, mais adiante, a latência associada com a mobilidade intra-

domínio sem utilizarmos rotas de fonte específica. Finalmente, o esquema de gerenciamento de mobilidade nível 2 permite o uso de endereçamento privado (e se necessário, gerenciamento de mobilidade sem IP) dentro do domínio do provedor.

Antes de apresentar a arquitetura do protocolo, serão definidos os vários elementos do mesmo e descritos seus papéis em uma solução de gerenciamento de mobilidade baseada em TeleMIP.

5.3.4.1 ELEMENTOS DO TELEMIP

A maioria dos elementos operacionais da arquitetura TeleMIP tem sua funcionalidade similar àquelas especificadas no Mobile IP, com ou sem otimização de rota. Por exemplo, a definição de Home Agent (HA), Correspondent Node (CN), Home Network (HN), Foreign Network (FN) e Care of Address (CoA) são idênticas às definições convencionais do Mobile IP. A arquitetura TeleMIP, entretanto, requer alguma funcionalidade adicional nos elementos existente bem como um elemento extra, denominado Mobile Agent, como descrito abaixo.

Mobility Agent (MA): É um host na internet que é associado dinamicamente pela rede na rede visitada pelo nó móvel. Ele provê um care of address mais persistente para um nó móvel que o atualmente provido pelo agente estrangeiro. Todos pacotes que chegam, e possivelmente os que saem, são roteados pelo agente de mobilidade que assim age como um *proxy* (point-of-attachement) para o nó móvel na rede estrangeira. Ele pode também ter duas interfaces dependendo do design da rede, exemplo, se a sub-rede usa espaço de endereço privado, o MA pode agir como um proxy/roteador com duas interfaces.

Mobile Node (nó móvel): Um host que muda seu *point-of-attachment* de uma rede ou sub-rede para outra. Ele pode mudar sua localização sem mudar seu endereço IP. O nó móvel na arquitetura TeleMIP tem que gerenciar seu *care of address* local e global (MA). Pacotes que saem podem ser tunelados para o agente de mobilidade usando o *care of address* local como uma outra fonte de endereço, eles são desencapsulados no agente de mobilidade e repassados para a Internet.

Foreign Agent (FA): Um FA está presente na sub-rede visitada pelo nó móvel e prove parâmetros de configuração ao nó móvel. Em geral ele associa dois endereços ao nó móvel: um “agente de mobilidade *care of address*” e um “agente estrangeiro de *care of address*” (este pode ser o próprio endereço do FA). O FA repassa o datagrama ao nó móvel. O FA também pode servir como roteador para da datagramas enviados pelos MNs registrados.

DHCP server (ou simplesmente “Server”): Ele é um host que retorna parâmetros de configuração ao nó móvel. Em geral, ele associa dois endereços diferentes ao nó móvel: o endereço do MA e o *care-of-address* da sub-rede.

5.3.4.2 ARQUITETURA DO TELEMIP

A Figura 10 mostra a arquitetura de mobilidade intra-domínio. A rede estrangeira (foreign network) é dividida em varias sub-redes dependendo da sua localização geográfica. É assumido que cada sub-rede tem, no mínimo, um Foreign Agent (FA) ou servidor DHCP; estas entidades são funcionalmente similares aos atuais FAs ou servidor DHCP, respectivamente, com algumas modificações como discutido anteriormente. *Mobility Agents* (MA) são distribuídos por toda domínio do provedor e são responsáveis por providenciar um *care-of-address* globalmente alcançável por nós móveis registrados no domínio. Cada FA ou servidor DHCP deve estar associado com, no mínimo, um MA no domínio. Um *Mobility Agent* (MA) é capaz de manusear vários FAs ou Servidores que podem se identificar por esquema de endereçamento privado único no domínio específico. A qualquer momento que um nó móvel se registra em um novo domínio ou região, ele recebe um *care-of-address* do MA via FA ou Servidor. Esta associação pode ser feita por um algoritmo de balanceamento de carga. Em tal cenário, MNs em uma simples sub-rede podem ser associados a diferentes MAs (exemplo, usando diferentes esquemas hash). Por exemplo, “*Mobile Node 1*” na “sub-rede I” é associado com o “*Mobility Agent 1*” enquanto “*Mobile Node 2*” na mesma sub-rede pode ter associação com o “*Mobility Agent 2*”.

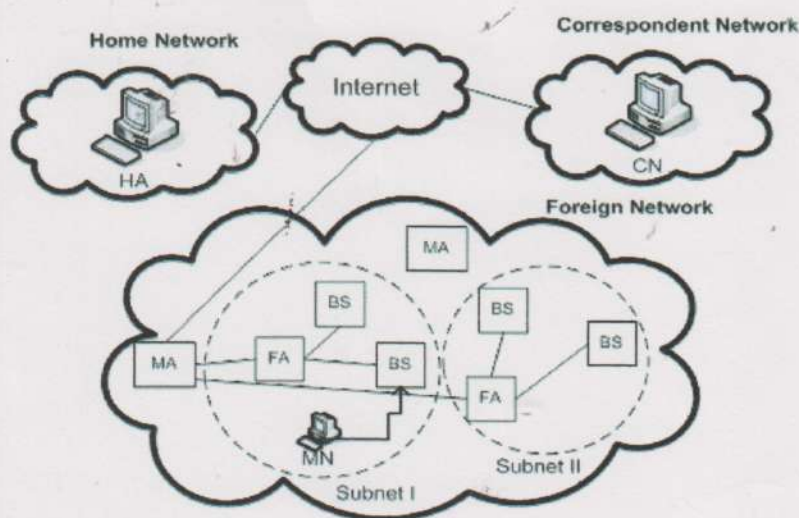


Figura 10 - Arquitetura Funcional do TeleMIP

5.3.5 INTRA-DOMAIN MOBILITY MANAGEMENT PROTOCOL

O Intra-Domain Mobility Management Protocol (IDMP) discutido é uma extensão do protocolo básico de intra-domínio usado no TeleMIP. Um Internet draft em IDMP foi proposto há algum tempo para promover suporte a vários atributos adicionais da mobilidade, como handoff minimamente interrompido e paginação (paging), dentro do domínio de mobilidade para muitos usuários móveis. Esta separação, mobilidade intra-domínio de mobilidade inter-domínio, tem como objetivo permitir um protocolo base comum a coexistir com múltiplas alternativas para gerenciamento de mobilidade global, incluindo Mobile IP e SIP. Uma arquitetura chamada Dynamic Mobility Agent (DMA) foi recentemente proposta. Esta arquitetura usa o IDMP como protocolo base de gerenciamento de mobilidade para prover um sistema escalável e robusto de gerenciamento de mobilidade.

5.3.5.1 PROTOCOLO BASE

O IDMP oferece mobilidade intra-domínio usando multi CoAs (care-of-address), diferente do HAWAII, MIP-RR ou HMIPv6, o protocolo IDMP é desenhado como uma solução única para mobilidade intra-domínio e não assume o uso do MIP para gerenciamento de mobilidade global. A Figura 11 descreve o esboço do IDMP. O Mobility Agent (MA) age como um ponto de domínio amplo para redirecionamento de pacote. Um Subnet Agent (SA) (similar ao FA de um MIP em modo CoA e DHCP/DRCP, em modo servidor em CoA co-localizado) provê serviços de mobilidade específica a subnet. Sob o IDMP, um nó móvel obtém dois CoAs concorrentes:

Local Care-of Address (LCoA): Este identifica a conexão do nó móvel com a sub-rede. Diferente do CoA do MIP, o LCoA no IDMP tem somente um escopo local (abrangendo o domínio). Atualizando seu MA com qualquer mudança no LCoA, o nó móvel garante que os pacotes são repassados corretamente dentro do domínio.

Global Care-of Address (GCoA): Este endereço resolve a localização atual do nó móvel somente em uma granularidade em nível de domínio e então mantém imutável enquanto o nó móvel permanece dentro de um simples domínio. Por distribuir atualizações de ligações (binding) que contém o GCoA, o nó móvel garante que os pacotes sejam roteados corretamente para seu domínio atual.

Sob o IDMP, pacotes que vêm de um CN remoto são repassados (com ou sem tunelamento) para o GCoA e são interceptados pelo MA. Como mostrado na Figura 11, o MA então tunela estes pacotes para o LCoA atual do nó móvel. Desde que as atualizações de ligação global são geradas somente quando o nó móvel muda de domínio e obtém um novo GCoA, esta aproximação reduz drasticamente a carga de sinalização global.

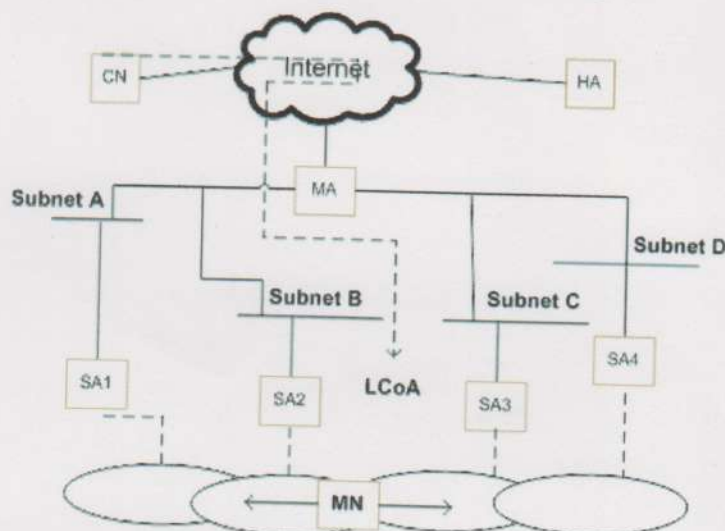


Figura 11 - Elementos Lógicos e Arquitetura do IDMP

5.3.5.2 REDIRECIONAMENTO DE PACOTE BÁSICO E SUPORTE À MOBILIDADE

Quando o nó móvel se move pela primeira vez para um domínio, ele obtém um care-of-address local (este LCoA é o endereço do SA2 na Figura 11) por executar um registro na sub-rede específica usando o IDMP. Como solicitado pelo IDMP, o SA servente (SA2 neste caso, como mostrado na Figura 10) associa dinamicamente o nó móvel durante o processo de registro na sub-rede específica. O nó móvel, então, executa uma atualização de localização intra-domínio ao comunicar seu LCoA atual ao MA designado. O MA inclui seu endereço ou um GCoA separado na resposta de atualização de localização intra-domínio. Subsequentemente, o nó móvel fica responsável por gerar uma atualização de localização global aos nós remotos necessários. (exemplo, HA se o Mobile IP é usado para gerenciamento de mobilidade global ou Registro (LR) se o SIP é usado); isto é, no entanto, independente das especificações do IDMP. O fluxo de chamada do IDMP quando o nó móvel se move pela primeira vez para um novo domínio é ilustrado na Figura 12.

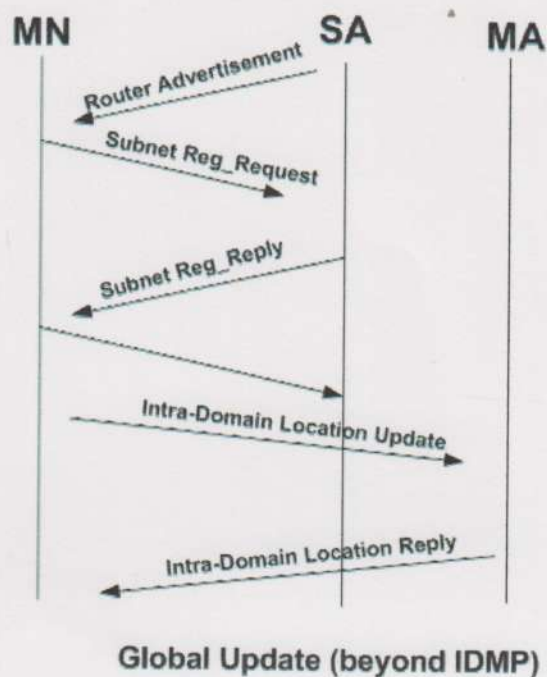


Figura 12 - Fluxo de Mensagem durante a Atualização de Localização Intra-Domínio Inicial

Após o processo de registro intra-domínio inicial, o IDMP permite ao nó móvel guardar seu care-of-address global desde que ele fique dentro do mesmo domínio. A qualquer momento que o nó móvel muda de sub-redes dentro do domínio, ele executa um novo registro de sub-rede específico com o novo SA. Uma vez que o nó móvel indica que tem um registro existente válido, o SA não guarda um novo endereço MA neste caso. O nó móvel, então, executa uma nova atualização de localização intra-domínio e informa seu nó móvel do novo care-of-address local. Nenhuma mensagem global é gerada neste caso, desde que o care-of-address global permaneça imutável. Assim como em outros esquemas de gerenciamento de mobilidade hierárquico, a localização de mobilidade intra-domínio reduz significativamente a latência dos handoffs através das sub-redes dentro do mesmo domínio e, também, decrementa dramaticamente a frequência do tráfego de sinalização global. A Figura 13 descreve a chamada de fluxo do IDMP durante os movimentos intra-domínios subsequentes.

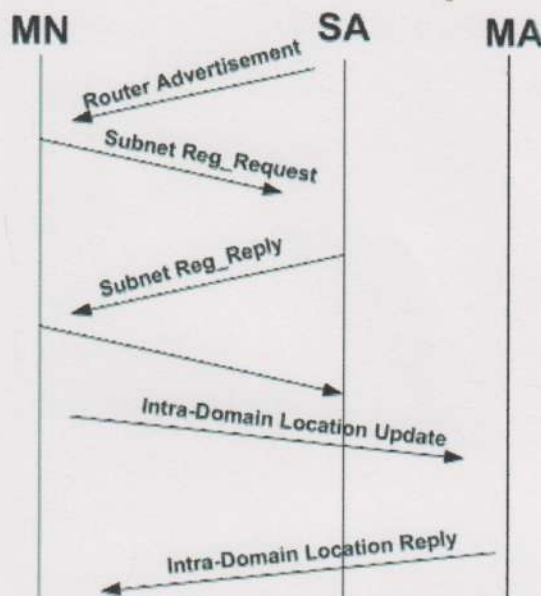


Figura 13 - Chamada de Fluxo durante Movimentos Intra-Domínios Subseqüentes

6 AVALIAÇÃO DOS PROTOCOLOS

Neste capítulo será mostrada a avaliação dos protocolos Cellular IP, HAWAII, Hierarchical Mobile IP, TeleMIP e IDMP. Primeiro os critérios da avaliação serão comentados e uma breve descrição sobre eles feita. Após isto, as características de cada um destes protocolos serão discutidas, mostrando suas similaridades e diferenças.

6.1 CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO

Nesta sessão são considerados cinco protocolos de micromobilidade: Cellular IP, HAWAII, Hierarchical Mobile IP, TeleMIP, IDMP, e avaliados de acordo com quatro critérios: latência de handoff, perda de pacotes, estações envolvidas e robustez. Em particular:

- **Latência de handoff**: É o tempo total necessário pelo nó móvel para completar o processo de handoff; em particular, é o tempo total que decorre entre o momento em que o nó móvel é informado que tem que mudar seu ponto de conexão atual até o momento em que o nó móvel se registra no novo ponto de conexão.
- **Perda de pacotes**: Indica o total de perda de dados durante o handoff.
- **Estações envolvidas**: É o número de nós que devem atualizar suas tabelas de roteamento porque o nó móvel executou um processo de handoff.
- **Robustez**: É a habilidade da arquitetura em suportar um grande volume de tráfego de dados.

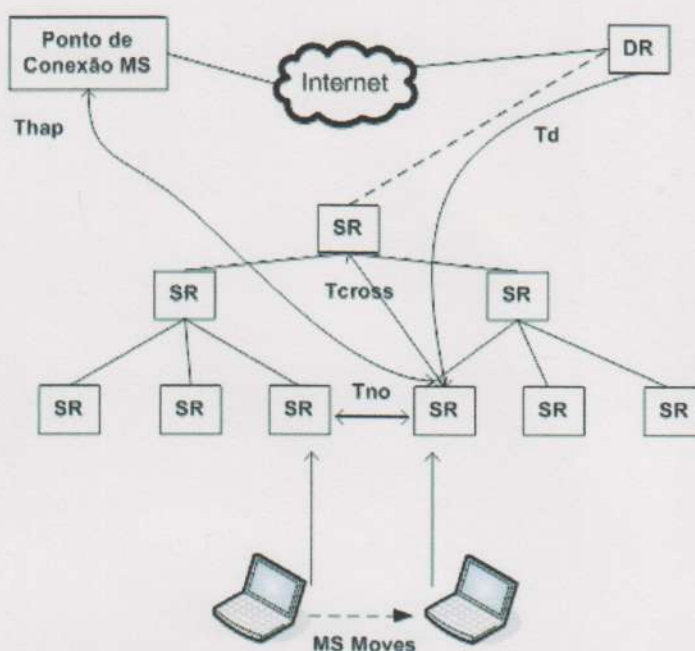


Figura 14 - Movimento intra-domínio em uma hierarquia de rede multi-nível

Para avaliar a performance dos protocolos, o modelo de rede mostrado na Figura 14 será considerado, e definido os seguintes parâmetros:

- Quando o nó móvel muda o SR dentro do domínio, ele tem que informar ao roteador do domínio sua nova localização. O tempo médio de handoff para esta operação é TD e ND é o número médio de nós entre o nó móvel e o DR.
- Quando o nó móvel se move de estação rádio para outro, o tempo médio de handoff é TNO, NNO é o número médio de hosts entre o nó móvel, o novo e o antigo ponto de conexão.
- É chamado nó crossover o nó inserido entre o caminho que conecta o antigo e o novo ponto de conexão do nó móvel e o caminho que conecta o novo ponto de conexão do nó móvel e o DR. NCROSS é o número médio de nós entre o nó móvel e o nó crossover para um dado handoff que deve atualizar suas tabelas de roteamento, e TCROSS é o tempo médio que o nó móvel precisa para informar ao nó crossover sobre seu novo ponto de conexão.
- Quando o nó móvel muda de roteador de domínio executando um handoff de inter-domínio, ele tem que informar seu ponto de acesso domiciliar sobre sua nova localização. THAP é o tempo médio que a estação móvel necessita para executar seu processo de registro de atualização.
- Outra fonte de atraso importante para o handoff, especialmente para uma aplicação em tempo real, a qual é importante que os movimentos do nó móvel sejam detectados o mais

rápido possível para decrementar a perda de pacotes, é a detecção da ocorrência de handoff. Chamaremos este atraso de TDET.

6.2 SIMILARIDADES, DIFERENÇAS E AVALIAÇÃO

Nesta sessão serão apresentados e avaliados os cinco protocolos de micromobilidade IP escolhidos, mostrando as similaridades e diferenças de cada um.

6.2.1 CELLULAR IP

Em uma rede Cellular IP, gerenciamento de localização e suporte ao handoff são registrados com roteamento. Para minimizar o controle de mensagem, pacotes de dados são regulares transmitidos pelo nó móvel e são usados para atualizar a informação dos nós. Paginação (paging) é usada para rotear pacotes às estações ociosas.

O Cellular IP associa um nó móvel com um único DcoA, que atualmente é o endereço do roteador de domínio, aqui chamado de gateway (GW). Nesta arquitetura, CIP, as estações rádio são interruptores (switches) com capacidades particulares, que serão descritas mais tarde.

O GW usa o endereço interno permanente do Nó móvel como único identificador dentro do domínio, sem requerer tunelamento adicional. Pacotes para o nó móvel são roteados para a estação rádio atual de salto-a-salto onde cada nó somente necessita saber em qual das portas de saída repassar os pacotes. Mapeamentos são criados pelos pacotes transmitidos por um nó móvel. Como o nó móvel aproxima-se de uma nova estação rádio, ele redireciona seus pacotes de dados do antigo SR para o novo. O primeiro dos pacotes redirecionados irá automaticamente configurar um novo caminho de rota para o host. Este processo de handoff é chamado de hard handoff.

O Cellular IP suporta dois mecanismos diferentes para gerenciar os processos de handoff: o mecanismo de hard handoff e o mecanismo de semi-soft handoff. O mecanismo de hard handoff é o gerenciamento de handover básico e é aquele descrito antes. Ele é baseado em uma simples aproximação que troca algumas perdas de pacotes para minimizar a sinalização de handoff ao invés de tentar garantir zero perda de pacotes.

O semi-soft handoff do Cellular IP explora o fato de que alguns nós móveis podem receber simultaneamente pacotes vindo tanto do novo quanto do antigo ponto de conexão durante o handoff. Ele é baseado em gatilhos nível 2 recebidos pelo móvel que o avisa sobre

um handoff iminente e que permite ao nó móvel enviar pacotes especiais ao antigo e o novo ponto de conexão para estabelecer uma transmissão dupla. O semi-soft handoff minimiza a perda de pacotes, fornecendo performance TCP e UDP melhor que o hard handoff.

Enquanto o pacote semi-soft assegura ao host móvel continuar recebendo pacotes imediatamente após o handoff, entretanto, ele não assegura totalmente um handoff sem problemas. Dependendo da topologia da rede e condições de tráfego, o tempo para transmitir pacotes do ponto crossover para as antigas e as novas estações base pode ser diferente e o fluxo de pacotes transmitidos através das duas estações base não será tipicamente sincronizado no host móvel. Se a nova estação “ficar para trás” em relação a base antiga, o host móvel pode receber pacotes duplicados. A recepção de pacotes duplicados neste caso não interrompe as operações da aplicação. Entretanto, se a nova estação base “adiantar-se” então pacotes serão considerados perdidos do fluxo de dados observado no recebimento do nó móvel. O segundo componente do processamento semi-soft handoff é baseado na observação de que a perfeita sincronização de dois fluxos não é necessária. A condição pode ser eliminada ao introduzir temporariamente no novo caminho um atraso constante suficiente para compensar, com alta probabilidade, a diferença de tempo entre os dois fluxos. Isto pode ser melhor alcançado no crossover switch que entende que um semi-soft handoff está em progresso devido ao fato de que um pacote semi-soft chegou vindo de um nó móvel que tem um mapeamento para outra interface. O mapeamento criado pelo pacote semi-soft tem um sinal (flag) para indicar que pacotes downlink roteados por este mapeamento deve passar um “dispositivo de atraso” antes da transmissão. Após o handoff, o nó móvel enviará dados ou pacotes de atualização de rota junto com o novo caminho que limpará este sinal (flag) e fará com que todos os pacotes no dispositivo de atraso sejam repassados ao nó móvel.

O Cellular IP suporta paginação. Alguns nós específicos no domínio da rede mantêm os dois conjuntos de mapeamentos: Paging Caches (Cache de Paginação) e Routing Caches (Cache de Roteamento). Caches de paginação são usados para encontrar um nó móvel ocioso quando existe pacotes de dados a serem roteados para ele, enquanto mapeamentos Cache de Roteamento são mantidos por nós móveis que estão atualmente recebendo ou esperando receber dados.

Cellular IP define um host móvel ocioso como um host que não tem recebido pacotes de dados por um intervalo de estado ativo específico do sistema. Estes hosts transmitem pacotes de atualização de paginação em intervalos regulares definidos pelo tempo de atualização de paginação. O pacote de atualização de paginação é um pacote IP vazio

endereçado ao gateway que é distinguido do pacote de atualização de rota pelo seu parâmetro tipo de IP.

Similar ao pacote de dados e atualização de rota, pacotes de atualização de paginação são roteados em uma base salto-a-salto ao gateway. Estações base podem opcionalmente manter cache de paginação. Um cache de paginação tem o mesmo formato e operação que um cache de roteamento exceto por duas diferenças. Primeira, mapeamento de cache de paginação tem um longo período de timeout chamado de timeout de paginação. Segundo, mapeamentos de cache de paginação são atualizados por qualquer um pacote enviado por hosts móveis incluindo pacotes de atualização de paginação. Em contraste, mapeamento de cache de roteamento são atualizados por dados e pacotes de atualização de roteamento enviados por hosts móveis. Isto resulta em hosts móveis ociosos tendo mapeamento em caches de paginação mas não em caches de roteamento. Além disso, hosts móveis ativos terão mapeamentos em ambos tipos de caches. Pacotes endereçados ao nó móvel são normalmente roteados pelos mapeamentos de cache de roteamento. Paginação ocorre quando um pacote é endereçado a um nó móvel ocioso e um gateway ou estações base não encontram mapeamentos de cache de roteamento válidos para a transmissão. Se a estação base não tem cache de paginação, ela irá repassar o pacote a todas suas interfaces exceto aquela que o pacote veio. Cache de paginação é usado para evitar procedimentos de pesquisa em broadcast encontrados em sistemas celulares. Estações base que tem cache de paginação irão somente repassar o pacote de paginação se o destino tiver um mapeamento de cache de paginação válido e somente à(s) interface(s) mapeada(s). Sem qualquer cache de paginação o primeiro pacote endereçado a um nó móvel ocioso é enviado em broadcast na rede de acesso. Enquanto o pacote não sofre atraso extra ele carrega a rede de acesso. Usando caches de paginação, o operador da rede pode restringir a carga de paginação em troca por memória ou custo de processamento. Nós móveis ociosos que recebem um pacote mudam seu estado de ocioso para ativo, iniciam seus temporizadores de estado ativo e imediatamente transmitem um pacote de atualização de rota. Isto assegura que os mapeamentos de cache de roteamento sejam, estabelecidos rapidamente, limitando em potencialmente qualquer inundação de mensagens ao nó móvel.

Para paginação, as estações são agrupadas em áreas de paginação e somente uma estação por área mantém um Cache de Paginação, enquanto os nós móveis são distribuídos entre os estados Ocioso e Ativos. Quando o nó móvel quer transmitir dado, ele muda para o estado ativo. Nas redes Cellular IP, estações rádio são interruptores (switches) com

capacidades particulares. Eles têm que suportar o gerenciamento de paginação e devem conter um dispositivo de atraso, para o mecanismo de semi-soft handoff.

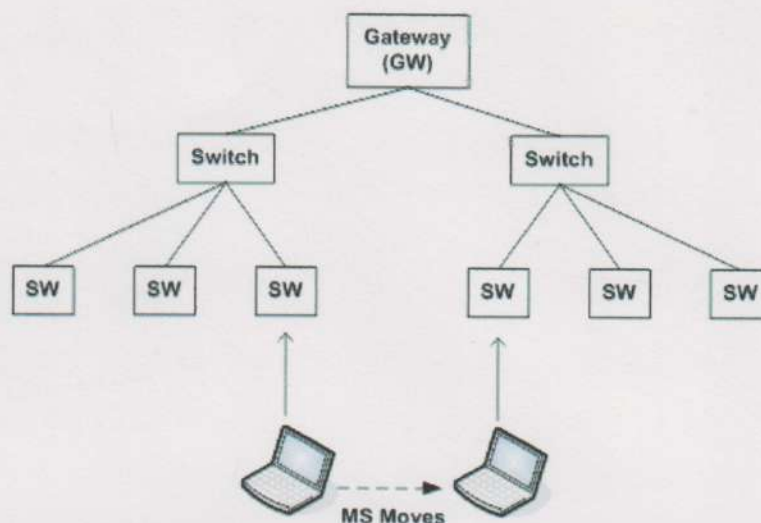


Figura 15 - Arquitetura do Cellular IP

No Cellular IP, o nó móvel envia um pacote que é repassado salto-a-salto em direção ao roteador de domínio, para informar este nó sobre sua nova localização, e este pacote deve ser reconhecido. Assim, a latência do handoff é $2TD$ e o número de estações envolvida no processo é ND . É esperado que, durante o semi-soft handoff, nenhuma perda de pacotes ocorra, durante o hard handoff pacotes são perdidos no intervalo $TDET + TNO + TD$.

Como descrito, o Cellular IP suporta a arquitetura de paginação onde o gerenciamento de carga de paginação é associado a um nó por área de paginação. Isto, obviamente, cria problemas relacionados a robustez.

6.2.2 HANDOFF-AWARE WIRELESS ACCESS INTERNET INFRASTRUCTURE

O Handoff-Aware Wireless Access Internet Infrastructure (HAWAII) é muito similar ao Cellular IP mas, ao contrário dele, o HAWAII não substitui o endereço IP dentro do domínio, mas particularmente trabalha com a camada IP. Cada estação rádio mantém um cache de roteamento para gerenciar a mobilidade; a transmissão salto-a-salto de pacotes especiais de sinalização na rede permite ao nó atualizar seu cache. No HAWAII a raiz da árvore da arquitetura é chamada de Domain Root Router (Roteador Raiz do Domínio).

HAWAII define dois diferentes mecanismos de handover (chamados forwarding e non-forwarding scheme) adaptados por tecnologias de acesso via radio diferentes. Na

primeira, o nó móvel pode se comunicar com mais de uma estação base ao mesmo tempo enquanto na outra isto não pode acontecer.

Nos forwarding, pacotes são primeiro repassados do antigo ponto de acesso para o novo antes que eles sejam desviados para a estação rádio crossover, enquanto nos non-forwarding schemes os pacotes de dados são desviados do novo ponto de acesso para a estação rádio crossover, resultando em nenhuma repassagem de pacotes da antiga para a nova estação rádio.

Cada um desses mecanismos define duas estruturas de configuração de caminhos diferentes que controlam o handoff entre as estações rádio. O esquema de configuração de caminho apropriado deve ser selecionado pelo operador da rede dependendo de suas prioridades em eliminar perda de pacote, minimizar a latência do handoff e manter a ordem dos pacotes.

O HAWAII também suporta um mecanismo de paginação. Cada área de paginação corresponde a um grupo multicast de IP. As solicitações de paginação são transmitidas ao grupo multicast correspondente à sua área. O mecanismo de paginação é gerenciado por um algoritmo de balanceamento de carga que escolhe uma estação particular para executar cada paginação, levando em conta a carga atual de cada nó.

Cada nó dentro do domínio é um roteador de IP com funções especiais: gerenciamento da mobilidade e podem efetuar o multicast.

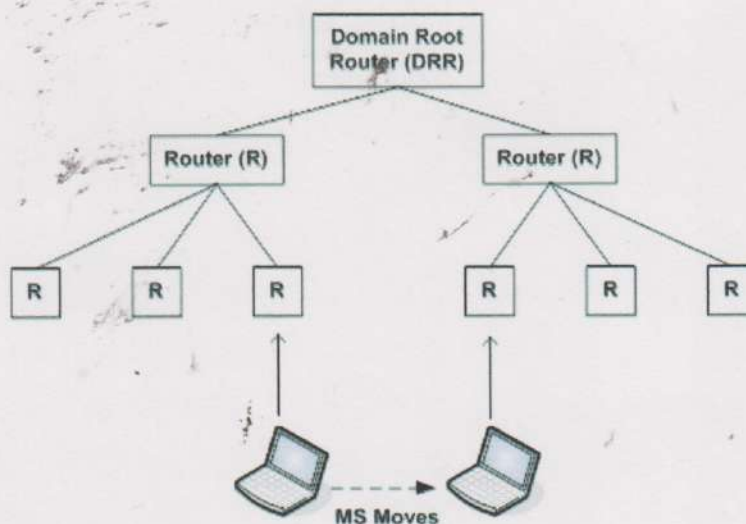


Figura 16 - Arquitetura do HAWAII

Como visto, o mecanismo de handoff no HAWAII é baseado na mudança de pacotes de sinalização especiais entre a antiga e a nova estação rádio e o reconhecimento da

mensagem de configuração de caminho para o host móvel. Assim, a latência do handoff é $2TCROS$ e o número de estações envolvidas no mecanismo é NNO como somente as estações localizadas no caminho entre a antiga e a nova estação rádio executam uma atualização de rota. Mensagens de atualização de rota não tem que ser propagadas para o alto da hierarquia, para o roteador do domínio, como no Cellular IP, mas somente em direção ao nó crossover.

Perdas de pacote são diferente nos dois esquemas de handoff. O forwarding scheme conta com a rede de cabos para buferizar e repassar os pacotes a nova estação rádio, assim o intervalo durante o qual é possível perder pacotes é dado pelo tempo que o móvel precisa se mover e descobrir o novo ponto de conexão, $TDET + TNO$, e o tempo que a mensagem de atualização enviada pelo novo SR necessita para alcançar o antigo SR, $2TCROSS: TDET + TNO + 2TCROSS$. O non-forwarding scheme é mais rápido uma vez que os pacotes são repassados corretamente tão logo a estação crossover é avisada sobre o handoff (isto é similar ao hard handoff no Cellular IP). No non-forwarding scheme os pacotes se perdem do momento em que o móvel muda de estação até que a mensagem de atualização alcance o nó crossover, $TDET + TNO + TCROSS$.

O HAWAII suporta um mecanismo de paginação também, mas aqui o algoritmo de paginação balanceia dinamicamente a carga de paginação entre as estações rádio, isto é, os nós são, a grosso modo, igualmente carregados.

6.2.3 HIERARCHICAL MOBILE IP

No Hierarchical Mobile IP os elementos roteador do domínio e estação rádio são chamados, respectivamente, Gateway Foreign Agent (Agente Estrangeiro Gateway) e Regional Foreign Agent (Agente Regional Gateway), que são agentes estrangeiros clássicos do Mobile IP com varias das suas capacidades melhoradas. O HMIP tem uma arquitetura hierárquica de múltiplos níveis, tendo múltiplos estações rádio entre o roteador do domínio e o móvel. Nesta arquitetura de múltiplos níveis, quando o nó móvel muda a estação rádio para o qual está conectado, o registro local é somente enviado para a estação rádio crossover (A Figura 17 descreve uma arquitetura de dois níveis, assim, neste caso, a estação rádio crossover é o agente estrangeiro gateway). Deste jeito os níveis mais altos da hierarquia não são avisados dos detalhes do movimento do móvel e o gerenciamento do handoff é limitado a um pequeno numero de nós.

Hierarchical Mobile IP é uma arquitetura de sistema centralizada: um roteador do domínio centralizado gerencia o tráfego dentro de uma rede regional, o que significa que o roteador de domínio é o nó crítico.

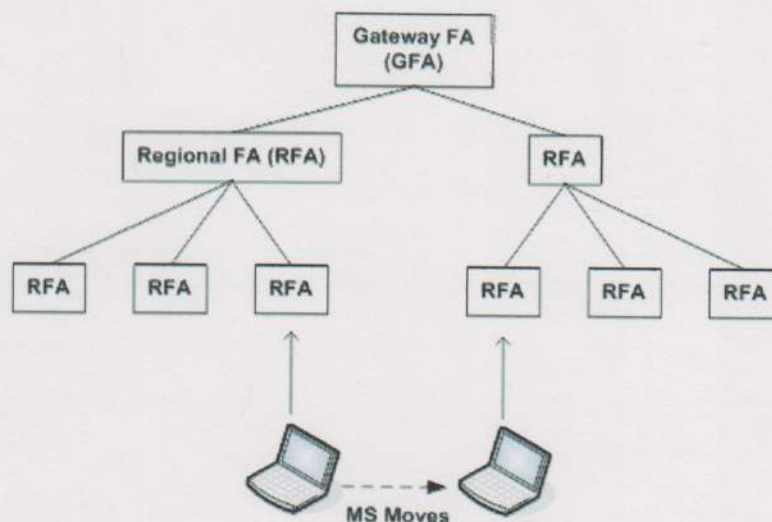


Figura 17 - Arquitetura Hierarchical Mobile IP

Como visto, quando o nó móvel se move dentro do domínio, ele tem que mandar um pedido de registro para a estação rádio crossover e o tempo para alcançar isso é TCROSS. Assim, a latência do handoff é a soma de três elementos: o intervalo em que nó móvel detecta a iminência de um handoff, TDET, o intervalo em que nó móvel muda seu ponto de conexão, TNO, e o tempo de registro TCROSS: $TDET + TNO + TCROSS$.

Após receber um registro local para o nó móvel, a estação rádio crossover manda uma mensagem de atualização junto com o caminho anterior do endereço do nó móvel para executar o processo de tirar seu registro. O número de estações envolvidas no mecanismo de handoff é $2NCROSS$.

Quando é considerado um movimento entre dois domínios, TCROSS deve ser substituído por TD, como nó móvel deve registrar-se com o novo roteador do domínio. Neste caso, o número de estações envolvidas é $2ND + 1$, onde 1 indica o agente domiciliar desde que o Hierarchical Mobile IP use Mobile IP para o gerenciamento de macromobilidade, o qual tem que atualizar suas tabelas. A latência do handoff é a mesma calculada antes somada com o tempo que o móvel precisa para informar o HA, THAP: $TDET + TNO + THAP$. Nesta soma não é considerado TD uma vez que o Hierarchical Mobile IP trabalha com ligações (bindings) simultâneas para distribuir atualizações de roteamento IP durante um handoff, e $TD < THAP$.

Em ambos os casos, micro e macro movimento, durante o processo de handoff os pacotes se perdem.

Hierarchical Mobile IP não fornece um algoritmo de paginação, então o móvel deve se registrar não importa quando ele mude seu ponto de conexão e qualquer que seja seu estado, ocioso ou ativo. De qualquer modo, sempre é possível considerar um algoritmo de paginação separado do algoritmo de micromobilidade.

Sobre a robustez, é dito que esta arquitetura é bastante fraca, desde que no Hierarchical Mobile IP existe apenas um nó que age como um roteador do domínio. O roteador do domínio é o nó crucial e a estação mais carregada. Na realidade, ele tem que processar todo o tráfego da rede e tem que manter as entradas da tabela para todas as estações móveis dentro da rede.

6.2.4 TELECOMMUNICATION ENHANCED MOBILE IP

TeleMIP (Telecommunications-Enhanced Mobile IP), na Figura 18 não é meramente um protocolo mas um framework arquitetural mais compreensivo para suportar mobilidade intra-domínio em redes celulares wireless.

No TeleMIP, os elementos roteador de domínio e estação rádio são chamados, respectivamente, Mobility Agent (Agente de mobilidade) e Foreign Agent (Agente estrangeiro). TeleMIP propõe uma arquitetura hierarquica de dois níveis que usa roteadores do domínio distribuídos, de forma que uma estação rádio pode ser conectada a mais de um roteador do domínio, e a tarefa de um roteador do domínio para um nó móvel é feita através de algum algoritmo de balanceamento de carga dinâmico. Desta maneira, o gerenciamento de todos nós móveis presentes no domínio não depende de um único roteador do domínio.

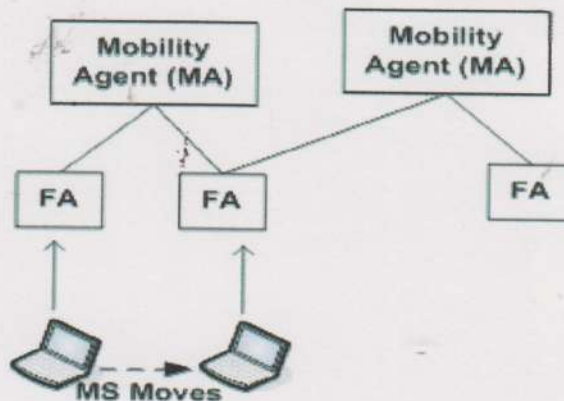


Figura 18 – Arquitetura TeleMIP

Diferente do Hierarchical Mobile IP, o TeleMIP é uma arquitetura de rede de dois níveis e não suporta uma arquitetura multi nível, assim TCROSS = TD desde que roteador do domínio seja o nó crossover. O TeleMIP tem as mesmas características de handoff que o Hierarchical Mobile IP com uma arquitetura de dois níveis.

A única vantagem do TeleMIP são suas propriedades de robustez, como ele define mais de um roteador do domínio em um domínio e um algoritmo de balanceamento de carga que designa o nó móvel a um roteador do domínio particular. Dessa forma se um roteador do domínio falha ainda é possível redistribuir o tráfego entre os roteadores do domínio restantes.

6.2.5 INTRA-DOMAIN MOBILITY MANAGEMENT PROTOCOL

No IDMP (Intra-Domain Mobility Management Protocol), na Figura 19, os elementos roteador do domínio e estação rádio são chamados, respectivamente, Mobility Agent (Agente de mobilidade) e Subnet Agent (Agente de Subrede). Ele é muito similar ao TeleMIP, no sentido de ter uma arquitetura de dois níveis e que no domínio é possível ter mais de um roteador do domínio usando algoritmos de balanceamento de carga para distribuir a carga de mobilidade entre eles.

Algumas diferenças com os esquemas HMIP e TeleMIP, analisados anteriormente, são que o IDMP suporta fast-handoff e paginação (paging). O fast-handoff assume que a camada IP tem a possibilidade de receber informações sobre a iminência de um handoff da camada rádio. Na maioria dos casos, a camada rádio está constantemente fazendo dimensão de força nos sinais recebidos dos seus pontos. Com base nessas medições, é possível avaliar a qualidade do sinal para um nó particular e determinar quando o handoff acontece.

No IDMP, o mecanismo de fast-handoff é controlado pela rede: a estação móvel informa o roteador do domínio da iminência de um handoff que inicia o envio de pacotes em multicast para todas estações rádio que estão fechados para a antiga estações rádio. O procedimento ocorre como mostrado a seguir:

- O nó móvel transmite uma mensagem de Movimento Iminente para o roteador do domínio não importa quando ele sente (através da camada dois) a possibilidade de um handoff.
- O roteador do domínio, pro ativamente, envia pacotes em multicast para as estações rádio que são vizinhos da estação rádio atual que pertence ao nó móvel, permitindo a eles temporariamente buferizar tais pacotes ate que o procedimento do handoff termine.
- O nó móvel se registra com uma destas estações rádio vizinhos.

- A nova estação rádio repassa os pacotes armazenados para o nó móvel, tão logo este se registre a nova estação rádio, sem esperar pela atualização de localização do roteador do domínio.

Este procedimento assume que o handoff é muito rápido, então os pacotes buferizados podem ser considerados ainda “bons”.

A paginação é uma solução muito eficiente para minimizar a sinalização e assim reduzir o consumo de energia dos hosts móveis: um nó móvel ocioso não executa qualquer registro ou atualização de localização enquanto ele permanece dentro de uma PA (Área de Paginação).

O IDMP define uma Área de Paginação baseado em um conjunto explícito de estações rádio que se associam ao grupo multicast correspondente. Quando o nó móvel tem que começar a enviar pacotes, o dispositivo móvel informará ao roteador do domínio sobre sua localização. Como recibo de um pacote que chega para um nó móvel ocioso, o roteador do domínio buferiza e envia em multicast uma Solicitação de Página para a área de paginação atual pertencente ao nó móvel, pedindo que o nó móvel se registre novamente no roteador do domínio com um novo e válido TCoA.

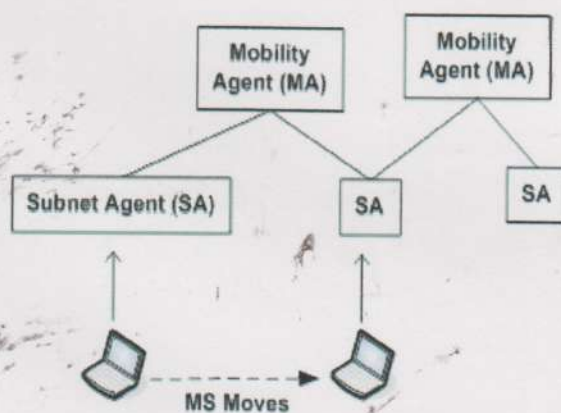


Figura 19 - Arquitetura IDMP

O esquema de fast-handoff suportado pelo IDMP deveria nos permitir obter um handoff com um atraso menor que se usarmos o TeleMIP ou Hierarchical Mobile IP e nenhuma perda de pacotes. Na realidade, o dispositivo móvel (nó móvel) usa um gatilho camada 2 para informar o roteador do domínio sobre a aproximação de um handoff, o roteador do domínio envia pacotes em multicast para todas estações rádio que estão próximas a estação rádio conectado ao nó móvel. Quando o nó móvel executa um registro local com a nova estação rádio já começa a receber os pacotes buferizados, sem precisar esperar que o

processo de registro com o roteador do domínio termine. Assim, a latência do handoff é: $TDET + TNO$.

O numero de estações envolvidas no processo de handover é maior que o calculado para o Hierarchical Mobile IP, com uma arquitetura de dois níveis de rede. Além disso, para os nós considerados no Hierarchical Mobile IP, é levado em conta o número de estações rádio que devem buferizar os pacotes enviados pelo roteador do domínio.

Outra característica importante do IDMP é o gerenciamento de paginação, o suporte a essa característica é explicitamente incluso no protocolo, que permite um dispositivo móvel reconhecer sua nova localização somente quando esta trabalhando em modo ativo, economizando energia. Com o mecanismo de paginação o preço a ser pago é o atraso associado ao processo de atualização de localização intra-domínio. No IDMP este atraso é aproximadamente $2TD$, pois ele é a soma entre o tempo que o roteador do domínio precisa para enviar a mensagem de Solicitação de Página (TD) e o tempo que o nó móvel se registra com o roteador do domínio (TD).

Para a robustez é dito que, como para o TeleMIP, existe a possibilidade de ter mais de um roteador do domínio na rede, gerenciado por um algoritmo de balanceamento de carga, evitando, desse jeito, sobrecarregar este nó crucial.

6.3 CONCLUSÃO DOS PROTOCOLOS

A idéia básica que leva ao desenvolvimento de uma aproximação a micromobilidade é o gerenciamento de handoff. O handoff é o problema mais importante a ser gerenciado na mobilidade IP, pois ele deve ser tão rápido e eficiente quanto possível para reduzir o risco de perda de pacotes. Especialmente em um cenário onde movimentos acontecem frequentemente, os protocolos de micromobilidade são muito vantajosos uma vez que eles baixam o atraso do handoff. Na realidade a rede original do nó móvel pode estar muito distante da rede visitada, com a aproximação em micromobilidade o nó móvel deve executar o registro local somente quando conectado a um novo domínio, de outra forma ele tem que mandar atualizações de rota somente para nós dentro daquele domínio, o atraso do handoff se deve a três fontes de latência, a latência de detecção de movimento, a latência de aquisição de endereço e a latência de atualização de roteamento IP, que poderia causar perdas de pacote. O handoff de IP sempre inicia após o handoff de rádio e geralmente é baseado em anúncio de rota.

Alguns protocolos, assim como Hierarchical Mobile IP, TeleMIP, Cellular IP com hard-handoff, se mantêm totalmente independentes da camada de rádio não fazendo nada para prevenir perdas de pacote durante o intervalo. Outros protocolos, como IDMP, Cellular IP com soft-handoff, e o HAWAII, utilizam gatilho camada 2 para detectar um handoff iminente e tentar completar o handoff IP antes do handoff rádio, para evitar ou, pelo menos, diminuir perdas de pacote.

Um melhoramento da aproximação à micromobilidade é o esquema de paginação. Ela é uma solução eficiente e bem conhecida para poupar energia, desde que os dispositivos móveis não tem baterias de capacidade infinita. O HAWAII, junto com IDMP e Cellular IP, explicitamente inclui o suporte a esta característica. A idéia básica usada por estes protocolos vem dos conceitos clássicos de áreas de localização da telefonia celular. As estações são agrupadas em áreas de paginação e a rede deve executar a paginação para encontrar a localização atual de um nó móvel ocioso.

A maior diferença na paginação entre IDMP, HAWAII, e Cellular IP é que o Cellular IP não tem a habilidade de distribuir a carga de paginação entre todas as estações na rede (ela é executada por um nó por área de paginação).

Todos os protocolos analisados aqui contam com uma arquitetura semelhante a uma árvore, definindo uma estrutura de rede hierárquica. Esta estrutura reduz a latência da atualização de rota, visto que ela restringe o número de nós envolvidos no gerenciamento do handoff a um pequeno conjunto composto pelos nós mais pertos do antigo e novo ponto de conexão do nó móvel. A maior desvantagem de uma arquitetura hierárquica é a diminuída robustez. O problema é que tal estrutura é muito vulnerável a falha de uma das estações nos níveis mais altos da hierarquia, pois estas estações são as mais pesadamente carregadas na rede. TeleMIP e IDMP tentam resolver este problema definindo mais de uma estação raiz (a estação gateway), na arquitetura em árvore, para qual uma estação folha pode ser ligada e usando um algoritmo de balanceamento de carga associar a estação móvel a uma estação gateway em particular. Dessa forma a carga de usuário é balanceada entre as estações de níveis altos.

Os pontos chave de cada avaliação foram reunidos e expostos procurando achar similaridades entre seus resultados. Por fim, os dados foram reunidos e colocados na tabela 1.

Protocolo	Arquitetura Baseada em FA	Paginação Explicitamente Inclusa	Balanceamento de Carga	Gatilho Camada-2	Tipo da Estação	Intervalo de Perda de Pacote
Cellular IP	Não, mas arquitetura baseada em hop-by-hop. Ela troca o endereço IP dentro do domínio	Sim	Não, estrutura em árvore mais carregada ao redor da raiz (RD)	Sim, no esquema semi-soft handoff	Interruptor avançado com capacidades particulares (ex. gerenciamento de paginação)	Hard handoff: $T_{DET} + T_{NO} + T_{CROSS}$ Semi-soft handoff: Sem perda de pacote
HAWAII	Não, mas arquitetura baseada em hop-by-hop. Ela trabalha acima da camada IP	Sim	Sim, somente para a paginação	Sim	Roteador IP com mobilidade e características multicast	Forwarding (retransmissão): $T_{DET} + T_{NO} + 2T_{CROSS}$ Non Forwarding: $T_{DET} + T_{NO} + T_{CROSS}$
Hierarquical Mobile IP	Sim, com hierarquia multi nível. Um DR na rede	Não	Não, estrutura em árvore mais carregada ao redor da raiz (RD)	Não	Mobile IP FA clássico com várias capacidades melhoradas	$T_{DET} + T_{NO} + T_{CROSS}$
TeleMIP	Sim, com hierarquia em dois níveis. Mais DRs na rede e SRs conectados a mais DRs	Não	Sim, algoritmos de balanceamento de carga para distribuir a carga de mobilidade através dos DRs	Não	Interruptor avançado com capacidades de mobilidade	$T_{DET} + T_{NO} + T_D$
IDMP	Sim, com hierarquia em dois níveis. Múltiplos DRs no	Sim	Sim, algoritmos de balanceamento de carga para distribuir a carga de	Sim	Interruptor avançado com capacidades de mobilidade	Sem perda de pacote

Tabela 1 – Comparações dos Protocolos de Micromobilidade

7 CONCLUSÃO

As redes móveis sem fio surgiram como uma nova revolução na sociedade da informação, permitindo atender a clientes que exigem cada vez mais um acesso o mais eficiente possível e com mobilidade. Atualmente, este requisito tem sido atendido pela solução de redes móveis.

Um dos desafios das redes móveis sem fio é permitir que, cada vez mais, informações e serviços possam estar disponíveis aos usuários sem as barreiras imposta pela necessidade de conexões físicas com a rede e, sobretudo, permitindo acesso às informações a qualquer momento e em qualquer lugar do planeta com altas taxas de transmissão.

Foi realizado uma revisão da área de internet móvel apresentando os conceitos de mobilidade de terminal e pessoal, uma classificação para os protocolos de mobilidade existentes que foram os protocolos de micromobilidade e de macromobilidade, logo em seguida, são apresentados os protocolos *Mobile IP* (MIP) e *Session Initiation Protocol* (SIP), para o gerenciamento de mobilidade em áreas de macromobilidade, e *Cellular IP* (CIP), *Handoff-Aware Wireless Access internet infrastructure* (HAWAII), para o gerenciamento de mobilidade em áreas de micromobilidade.

Foi criada uma avaliação teórica dos protocolos Cellular IP, HAWAII, Hierarchical Mobile IP, TeleMIP e IDMP. Os critérios tomados para realizar a avaliação são comentados e as características de cada protocolo são discutidas mostrando suas similaridades e diferenças. Por fim, uma avaliação dos protocolos é feito por comparações.

8 REFERÊNCIAS

GLISIC S. - ADVANCED WIRELESS NETWORKS: 4G TECHNOLOGY, JOHN WILEY & SONS, 2006.

PRASAD, R., MUNOZ, A. - WLANS AND WPANS TOWARDS 4G WIRELESS, ARTECH HOUSE PUBLISHERS, 2003.

MITOLA, J. - "SPECIAL ISSUE ON SOFTWARE RADIO", IN IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE, 1995.

SIQUEIRA, ETHEVALDO - A COMPUTAÇÃO SEM LIMITES VIA CELULAR. EXTRAÍDO DE:
[HTTP://CELEPAR7CTA.PR.GOV.BR/PORTFOLIO.NSF/DF68E5D9A5B678D603256D2100656346/5138F9242D37E2A403256DC70064D738?OPENDOCUMENT](http://CELEPAR7CTA.PR.GOV.BR/PORTFOLIO.NSF/DF68E5D9A5B678D603256D2100656346/5138F9242D37E2A403256DC70064D738?OPENDOCUMENT) . ACESSADO EM 06/09/2009.

PASCINI, RODRIGO LIBERATORI - AS GERAÇÕES DO CELULAR. EXTRAÍDO DE:
[HTTP://WWW.WIRELESSBRASIL.ORG/WIRELESSBR/SECOES/SEC_4G.HTML](http://WWW.WIRELESSBRASIL.ORG/WIRELESSBR/SECOES/SEC_4G.HTML).
 ACESSADO EM 06/09/2009.

HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DOS TELEFONES CELULARES. PUC -RIO - CERTIFICAÇÃO DIGITAL Nº 0310214/CA. EXTRAÍDO DE:
[HTTP://WWW.MAXWELL.LAMBDA.ELE.PUC-RIO.BR/CGI-BIN/PRG_0599.EXE/6705_3.PDF?NROCOSIS=19091&CDLINPRG=PT](http://WWW.MAXWELL.LAMBDA.ELE.PUC-RIO.BR/CGI-BIN/PRG_0599.EXE/6705_3.PDF?NROCOSIS=19091&CDLINPRG=PT) . ACESSADO EM: 06/09/2009.

DIAS, K. L., CAVALCANTI, D. A. T., CORDEIRO, C. M., COSTA, J. C. W. A. (2006) "GERENCIAMENTO DE MOBILIDADE E ARQUITETURAS PARA REDES 4G", MINICURSO SBRC2006.

DEERING, S.; HINDEN, R., INTERNET PROTOCOL, VERSION 6 (IPV6). SPECIFICATION, IETF RFC 1883, DEZEMBRO, 1995.

JONHSON, D. B.; PERKINS, C., MOBILITY SUPPORT IN IPV6, IETF RFC 3775, JUNHO, 2004.

C. PERKINS, "IP MOBILITY SUPPORT", RFC 2002, INTERNET ENGINEERING TASK FORCE, OUTUBRO, 1996

CHIUSSI, F. M.; KHOTIMSKY, D. A.; KRISHNAN, S., MOBILITY MANAGEMENT IN THIRD-GENERATION ALL-IP NETWORKS. IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE, PP.124-135, SETEMBRO, 2002.

CAMPBELL, A. ET AL., CELLULAR IP, INTERNET DRAFT, DRAF-IETF-MOBILEIP-CELLULARIP-00.TXT, DEZEMBRO, 1999.

CAMPBELL, A. T.; GOMEZ, J.; VALKO, A. G., AN OVERVIEW OF CELLULAR IP. WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE, 1999. WCNC. 1999 IEEE, NEW ORLEANS, V.2, PP. 606 610, SETEMBRO, 1999.

CAMPBELL, A. T.; GOMEZ, J.; KIM, S.; VALKO, A. G.; CHIEH-YIH WAN; TURANYI, Z.R. DESIGN, IMPLEMENTATION, AND EVALUTION OF CELLULAR IP. IEEE PERSONAL COMMUNICATIONS, V.7, N.4, PP. 42 49, AGOSTO, 2000.

S. DAS, A. MISRA, P. AGRAWAL AND S. K. DAS, "TELEMIP: TELECOMMUNICATION ENHANCED MOBILE IP ARCHITECTURE FOR FAST INTRA-DOMAIN MOBILITY", IEEE PERSONAL COMMUNICATIONS SYSTEMS MAGAZINE, VOL. 7, NO. 4, PP. 50-58, AUGUST 2000. 57

A. MISRA, S. DAS, A. MCAULEY, A. DUTTA AND S. K. DAS, "IDMP: AN INTRA-DOMAIN MOBILITY MANAGEMENT PROTOCOL USING MOBILITY AGENTS", DRAFT-MISRA-MOBILEIP-IDMP-00.TXT, JULHO 2000.

A. A. MISRA, S. DAS, A. MCAULEY, A. DUTTA AND S. K. DAS, "IDMP-BASED FAST HANDOFFS AND PAGING IN IP-BASED 4G MOBILE NETWORKS", IEEE COMMUNICATIONS, VOL. 40, PP.138-145, MARÇO, 2002.