



PUC

ISSN 0103-9741

Monografias em Ciência da Computação
nº 29/08

**Otimização do *Handover* na Camada de Rede (L3)
utilizando o *Media Independent Handover* (MIH)**

Anderson Oliveira da Silva

Markus Endler

Sérgio Colcher

Departamento de Informática

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

RUA MARQUÊS DE SÃO VICENTE, 225 - CEP 22451-900

RIO DE JANEIRO - BRASIL

Otimização do *Handover* na Camada de Rede (L3) utilizando o *Media Independent Handover* (MIH)*

Anderson Oliveira da Silva, Markus Endler e Sérgio Colcher

Departamento de Informática – Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio)

{anderson, endler, colcher}@inf.puc-rio.br

Abstract. The growth of availability of different broadband wireless network technologies increased the interest on seamless heterogeneous handover (vertical handover). To achieve this goal, a Generic Link Layer (GLL) was proposed as a reference model to allow the exchange of information between layers 2 and 3. In order to standardize a GLL, IEEE created a working group to specify the Media Independent Handover (MIH), also known as IEEE 802.21. As MIH information become available, MIPv6 and its optimizations, HMIPv6 and FMIPv6, can reduce L3 handover latency and, as a consequence, packet loss. This monograph aims to present MIH specification and the enhancements proposed to handover procedure.

Keywords: Vertical Handover, L2 Handover, L3 Handover, Generic Link Layer, Media Independent Handover, MIH.

Resumo. O crescimento da disponibilidade das diferentes tecnologias de rede sem fio de banda larga aumentou o interesse pela transparência do handover heterogêneo (handover vertical). Para alcançar esse objetivo, uma Generic Link Layer (GLL) foi proposta como um modelo de referência para permitir a troca de informações entre as camadas L2 e L3. Vizando padronizar uma GLL, o IEEE criou um grupo de trabalho para especificar o Media Independent Handover (MIH), batizado como IEEE 802.21. Com a disponibilidade das informações do MIH, o MIPv6 e suas otimizações, o HMIPv6 e o FMIPv6, podem reduzir a latência do handover L3 e, conseqüentemente, a perda de pacotes. Esta monografia tem por objetivo apresentar a especificação do MIH e os aprimoramentos propostos para o procedimento do handover.

Palavras-chave: Handover Vertical, Handover L2, Handover L3, Generic Link Layer, Media Independent Handover, MIH.

* Trabalho patrocinado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia da Presidência da República Federativa do Brasil (e agência de fomento e o número do processo, se aplicável). (Em Inglês: This work has been sponsored by the Ministério de Ciência e Tecnologia da Presidência da República Federativa do Brasil)

Responsável por publicações

Rosane Teles Lins Castilho
Assessoria de Biblioteca, Documentação e Informação
PUC-Rio Departamento de Informática
Rua Marquês de São Vicente, 225 - Gávea
22453-900 Rio de Janeiro RJ Brasil
Tel. +55 21 3527-1516 Fax: +55 21 3527-1530
E-mail: bib-di@inf.puc-rio.br
Web site: <http://bib-di.inf.puc-rio.br/techreports/>

Sumário

1	Introdução	1
2	Handover Horizontal e Vertical	1
3	Generic Link Layer – GLL	3
4	Media Independent Handover – MIH	4
5	Complementos propostos para o MIH	10
5.1	Descoberta do servidor de informações	10
5.2	Algoritmos para tomada de decisão quanto ao PoA apropriado	11
5.3	Adaptação da qualidade de serviço após o handover	12
6	Aprimoramentos do MIPv6 para melhorar o handover L3	13
6.1	Funcionamento do MIPv6	13
6.2	Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)	15
6.3	Fast Handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6)	17
7	Melhorias no handover L3 com MIH	19
7.1	FMIPv6 com MIH	19
7.2	FVH-HMIPv6 com MIH	23
8	Conclusão	25
	Referências	26

1 Introdução

O crescimento da disponibilidade das diferentes tecnologias de rede sem fio de banda larga aumentou o interesse pela transparência do handover heterogêneo (handover vertical). Os três principais desafios envolvidos no handover heterogêneo são: (i) selecionar o ponto de acesso mais apropriado dentre os pontos de acesso candidatos; (ii) determinar o melhor momento para executar o handover; e (iii) minimizar a perda de qualidade dos fluxos de dados em andamento.

Para que um handover transparente possa ocorrer, muitas informações sobre a rede devem ser fornecidas para as camadas superiores. Essas informações devem ser bem conhecidas, independentes de tecnologia e padronizadas, de forma que o sistema possa sempre determinar o que fazer em um dado instante. Para solucionar essa questão, uma Generic Link Layer (GLL) [2] foi proposta como um modelo de referência para permitir a troca de informações entre as camadas L2 e L3.

Com o objetivo de padronizar uma GLL, o IEEE criou um grupo de trabalho para especificar o Media Independent Handover (MIH), batizado como IEEE 802.21 [3]. Para prover as funcionalidades de uma GLL, o IEEE 802.21 define uma *MIH Function* (MIHF), posicionada entre as camadas 2 e 3, que oferece três serviços básicos: (i) Serviço de Eventos, através do *Media Independent Event Service* (MIES); (ii) Serviço de Comandos, através do *Media Independent Command Service* (MICS); e (iii) Serviço de Informação, através do *Media Independent Information Service* (MIIS).

Com os recursos oferecidos pelo MIH, as camadas superiores passam a receber valiosas informações que contribuem para a execução de um handover transparente. Com a disponibilidade dessas informações, o MIPv6 [18] e suas otimizações, o HMIPv6 [19] e o FMIPv6 [20], podem reduzir a latência do handover L3 e, conseqüentemente, a perda de pacotes.

Esta monografia apresenta inicialmente o conceito do handover, suas classificações e desafios. Em seguida, descreve o modelo de referência da camada de enlace genérica, para, então, apresentar sua proposta de padronização, o IEEE 802.21 - Media Independent Handover (MIH). Como alguns pontos são deixados em aberto no padrão, este trabalho também aborda propostas de complementos para o MIH. Com isso, é possível verificar o impacto do MIH nas operações de handover da camada L3. Para isso, é feita uma breve descrição do funcionamento do MIPv6, HMIPv6 e FMIPv6 como base para comparação destes com o FMIPv6+MIH e o FVH-HMIPv6+MIH. Para concluir, os pontos abordados são revistos e os trabalhos futuros são delineados.

2 Handover Horizontal e Vertical

Diante da grande diversidade de tecnologias de redes sem fio existentes, novos desafios surgem com relação ao melhor aproveitamento das redes disponíveis na área de localização dos equipamentos *multimodo*, dotados de interfaces de rádio de diferentes tecnologias. [1]

Vários fatores podem ser decisivos para se promover a mudança de utilização da interface de rádio, o que implica também na mudança de ponto de acesso (Point of Attachment - PoA) a rede. Esses fatores são:

- (i) O limite de cobertura do ponto de acesso corrente é atingido, exigindo-se a necessidade de mudança do ponto de acesso;
- (ii) A banda disponível na rede do ponto de acesso corrente é inferior a banda disponível na rede de outro ponto de acesso na mesma área de cobertura;
- (iii) O consumo de energia para comunicação com o ponto de acesso corrente é superior ao consumo de energia para comunicação com outro ponto de acesso na mesma área de cobertura;
- (iv) O custo de transmissão na rede do ponto de acesso corrente é maior que o custo de transmissão na rede de outro ponto de acesso na mesma área de cobertura.

Quando a mudança de ponto de acesso ocorre entre redes de mesma tecnologia, ou seja, intra-rede, a operação é chamada de *handover homogêneo ou horizontal*. Quando ocorre entre redes de tecnologias diferentes, a operação é chamada de *handover heterogêneo ou vertical ou híbrido*.

Independente do tipo de handover, o impacto sobre os fluxos de dados dos serviços em andamento no equipamento é grande devido, principalmente, à latência na recuperação da conectividade, que geralmente leva a perda de dados. Por essa razão, várias abordagens foram feitas para minimizar os problemas associados ao handover e proporcionar um *handover transparente*, onde a transição intra-rede ou inter-rede é praticamente imperceptível para o serviço de aplicação.

Embora existam propostas interessantes para possibilitar o handover transparente intra-rede com equipamentos que utilizam uma única interface de rádio [5] [6], as atenções se voltaram para os equipamentos multimodo pois as transições inter-rede proporcionam a vantagem de se poder escolher a tecnologia de rede com o melhor custo benefício em uma determinada área de cobertura [4], conforme ilustrado na Figura 1.

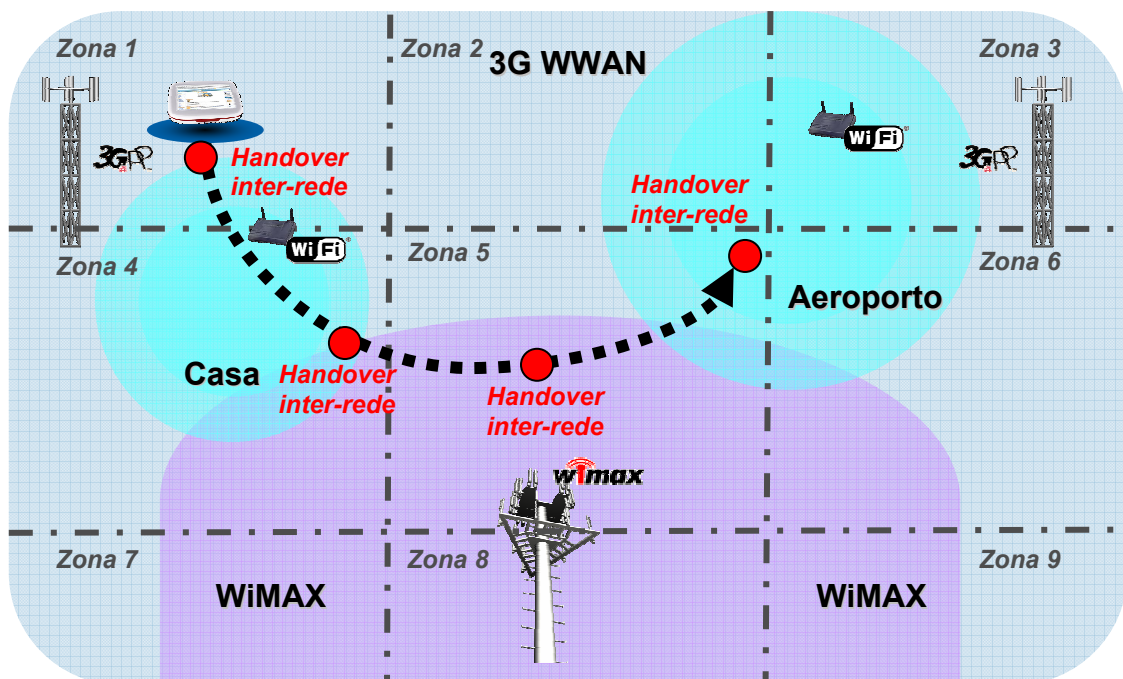


Figura 1 – Cenário de mobilidade inter-rede [4]

O cenário de mobilidade inter-rede apresentado na Figura 1, se inicia na Zona 1, onde o terminal móvel (Mobile Node - MN) do usuário se encontra utilizando o serviço de rede sem fio 3G. Ainda na Zona 1, na área de interseção WWAN/Wi-Fi, a interface Wi-Fi é inicializada para possibilitar o handover inter-rede transparente, mantendo todas as sessões de aplicação em andamento, tendo em vista as melhores condições de serviço observadas na rede Wi-Fi (ex: maior banda) disponível na casa do usuário. Posteriormente, o usuário inicia sua movimentação em direção ao Aeroporto. Saindo de casa, o sistema observa a degradação do sinal Wi-Fi a partir da notificação *Link_Going_Down* recebida da camada de enlace. Nesse momento, na Zona 4, a presença do sinal WiMax é identificada. Tendo em vista as melhores condições de conectividade oferecidas pela rede WiMax (WMAN) com relação a rede 3G WWAN na corrente localização, a interface WiMax é inicializada para possibilitar o handover transparente. No entanto, ao longo do percurso na Zona 4, o sistema informa o baixo nível de carga da bateria, o que leva o MN a fazer o handover inter-rede transparente para a rede 3G WWAN, cuja interface consome menos energia. Por fim, chegando ao aeroporto, o usuário liga seu equipamento na rede elétrica, melhorando as condições de operação do sistema que, agora, pode executar o handover inter-rede transparente para a rede Wi-Fi disponível na corrente localização.

Embora o cenário apresentado seja animador, a transição suave entre as diferentes tecnológicas de acesso a rede via rádio não é simples nem direta. Para que o handover transparente possa ocorrer, muitas informações sobre a rede devem ser fornecidas para as camadas superiores. Essas informações devem ser bem conhecidas, independentes de tecnologia e padronizadas, de forma que o sistema possa sempre determinar o que fazer em um dado instante. Nesse sentido, a proposta de uma camada de enlace genérica é entendida como sendo a melhor opção.

3 Generic Link Layer – GLL

O conceito de Generic Link Layer (GLL) [2] foi criado com o intuito de viabilizar uma comunicação transparente entre redes sem fio baseadas em diferentes padrões e tecnologias. Para implantar tal facilidade entre redes heterogêneas, é indispensável ter um esquema bem definido de *cooperação* entre essas redes.

A GLL permite uma cooperação entre diferentes redes na camada de enlace e também simplifica a integração de novas tecnologias de acesso via rádio. Essa nova camada generaliza as funções de uma camada de enlace de rádio em um framework que pode ser configurado e disponibilizado para qualquer tecnologia de enlace.

Com a GLL, torna-se possível obter handover inter-rede eficiente e transparente. Para isso, três passos devem ser executados:

- (i) O contexto de transmissão da GLL deve ser transferido de um antigo ponto de acesso para o novo ponto de acesso durante o handover;
- (ii) A GLL deve ser reconfigurada para a nova tecnologia de acesso via rádio;
- (iii) A transmissão dos dados remanescentes do contexto de transmissão da antiga GLL deve ser feita através do novo enlace de rádio para o receptor, onde os datagramas das camadas superiores serão reconstruídos.

Após esses passos a operação normal da transmissão deve continuar através do novo enlace de rádio.

A Figura 2 ilustra um cenário de mobilidade entre duas redes de acesso via rádio (Radio Access Network – RAN) A e B, cada uma com pontos de acesso com suporte a GLL, e um MN multimodo também com suporte a GLL e duas interfaces de rede via rádio, respectivamente compatíveis com a RAN A e a RAN B.

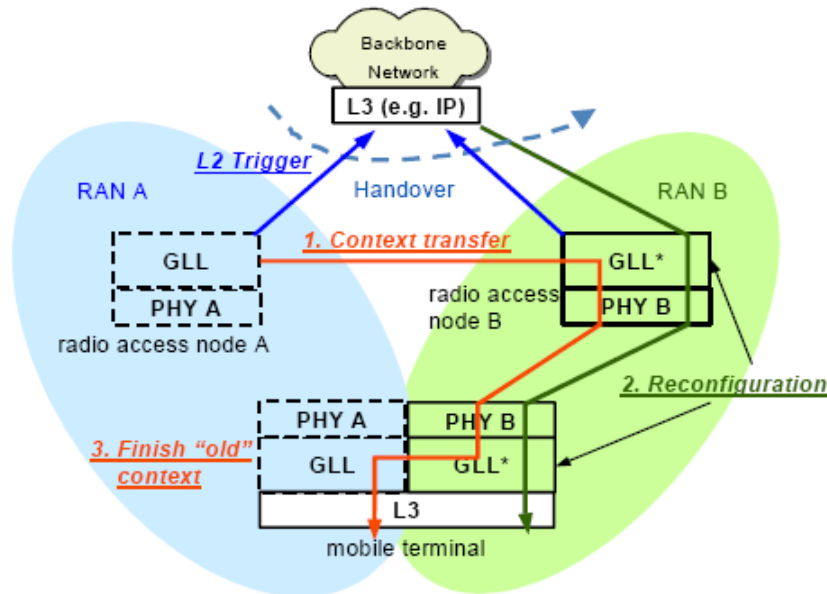


Figura 2 – Cenário de mobilidade com a Generic Link Layer [2]

A proposta de GLL [2] apresentada não esgota o assunto e deixa vários pontos em aberto para estudo:

- É necessário determinar a forma como a GLL deve ser configurada para integrar com as características de enlace e com as propriedades da tecnologia de acesso via rádio;
- As interfaces da GLL com a camada física e a camada de rede devem ser especificadas;
- A interação da GLL com o módulo de gerenciamento de mobilidade, assim como o desempenho do handover devem ser analisados.

Com o objetivo de atender essas necessidades, o IEEE formou o grupo de trabalho 802.21 com o objetivo de especificar a Media Independent Handover (MIH).

4 Media Independent Handover – MIH

O Media Independent Handover (MIH) - IEEE 802.21 Draft Standard [3] define métodos e especificações para possibilitar um handover transparente na camada L2 (handover L2) entre redes com diferentes tecnologias. O padrão visa auxiliar na determinação e inicialização de um handover, mas deixa os detalhes sobre como tratar o handover, indefinidos.

Para prover tais funcionalidades, o IEEE 802.21 define uma *MIH Function* (MIHF), posicionada entre as camadas 2 e 3, que oferece três serviços básicos: (i) Serviço de Eventos, através do *Media Independent Event Service* (MIES); (ii) Serviço de Comandos, através do *Media Independent Command Service* (MICS); e (iii) Serviço de Informação,

através do *Media Independent Information Service (MIIS)*. A arquitetura do MIHF é ilustrada na Figura 3.

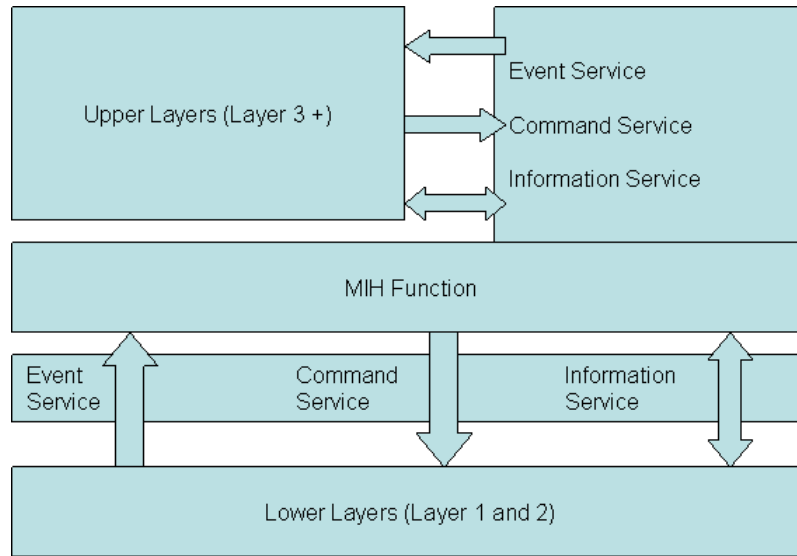


Figura 3 – Arquitetura do MIH Function [3]

O MIES provê *classificação de eventos, filtragem de eventos e relatório de eventos* que correspondem as mudanças dinâmicas que ocorrem no enlace com relação à característica, estado e qualidade. Conforme mostrado na Figura 4, a MIH Function deve se registrar na camada de enlace para receber os *eventos de enlace*, enquanto as camadas superiores interessadas em *eventos MIH*, devem se registrar na MIH Function para receberem esses eventos. Os eventos podem ser gerados pela pilha local ou pela pilha remota do ponto de acesso (Point of Access - PoA) que está atuando como ponto de serviço (Point of Service - PoS). Os eventos de enlace e eventos MIH são divididos em 5 categorias: administrativo, mudança de estado, parâmetro de enlace, pré-indicado (predictive), enlace sincronizado e transmissão de enlace. Esses eventos são apresentados na Tabela 1.

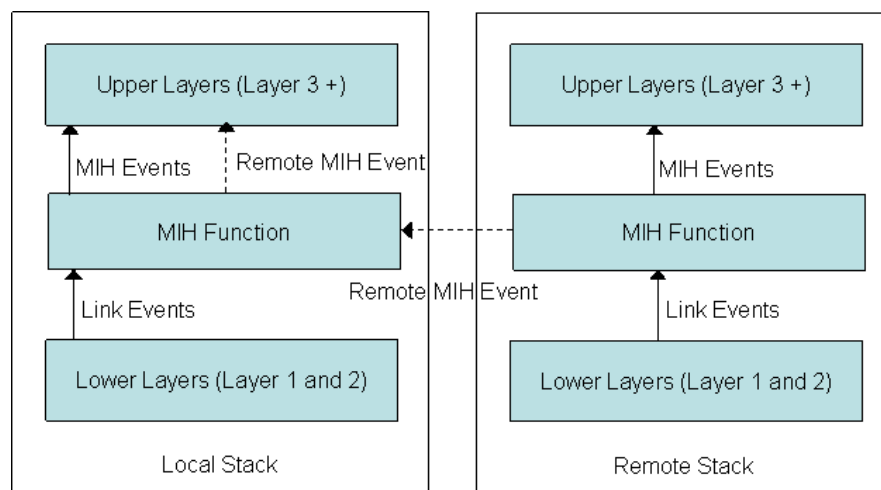


Figura 4 – Funcionamento do MIES [3]

O MICS permite que usuários MIH possam gerenciar e controlar características do enlace relevantes para o handover e mobilidade. Conforme ilustrado na Figura 5, os *comandos MIH* (MIH Commands) se originam nas camadas superiores em direção ao MIH Function. Nele, esses comandos tornam-se um *comando remoto MIH* (Remote MIH Command) para uma pilha remota ou/e seguem para as camadas inferiores como um *comando de enlace* (Link Commands) da MIH Function. Os comandos de enlace são específicos da rede de acesso em uso e são apenas locais. A Tabela 2 apresenta os comandos MIH e de enlace.

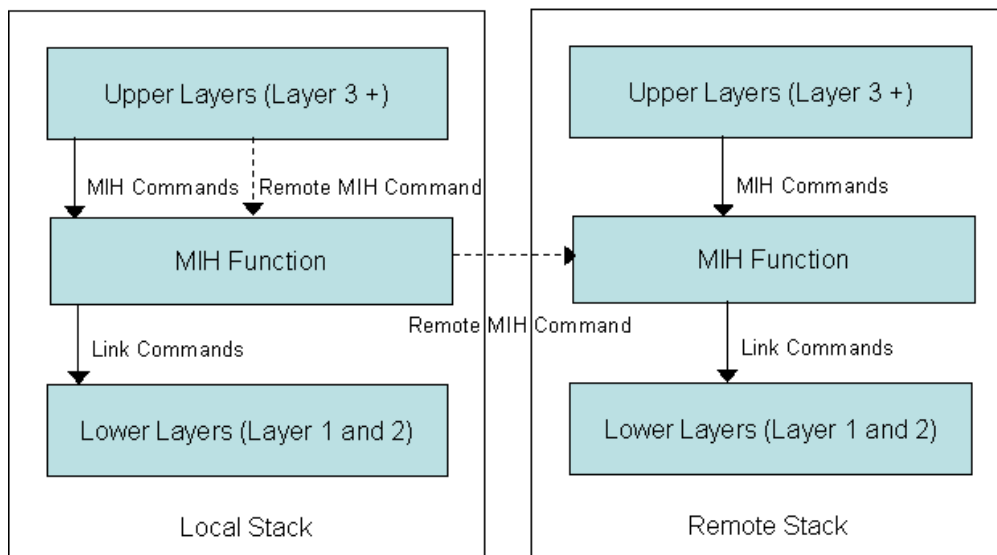


Figura 5 – Funcionamento do MICS [3]

O MIIS provê a capacidade de se obter as informações necessárias para os handovers, como mapa da vizinhança, informações sobre a camada de enlace e disponibilidade de serviços. Resumidamente, esse serviço oferece uma via de mão-dupla para que todas as camadas possam compartilhar elementos de informação (Information Elements - IE) que auxiliem na tomada de decisão do handover. Esses elementos de informação são divididos em cinco grupos: Informações Gerais (ex: operadores da área), Rede de Acesso (ex: custo, segurança, QoS), Informações sobre o PoA (ex: localização, taxa de dados, canais), Serviços de Camadas Superiores (ex: informação sobre a subrede) e Outras Informações (ex: específicas do fornecedor).

Quatro pontos principais devem ser observados com respeito a essas informações:

- (i) O acesso aos mapas de vizinhança das redes numa área geográfica pode ser obtido de qualquer entidade de rede, ou seja, os hotspots Wi-Fi conhecem as torres celulares e vice-versa;
- (ii) Podem ser acessados parâmetros estáticos da camada de enlace, como suporte a QoS e redes restritas;
- (iii) Relatórios devem ser utilizados para melhorar a eficiência, como o fornecimento de informações sobre os canais utilizados pelos PoAs, evitando, assim, a varredura de canais;
- (iv) Características específicas dos fornecedores podem ser informadas, como identificação de redes prioritárias e divulgação de identificadores de rede.

Esse serviço de informações é utilizado basicamente para transferência rápida de dados com pouquíssima complexidade de decodificação. Dois formatos podem ser utilizados para transferência de relatórios: (i) Type-Length-Value (TLV), formato default, apresentado na Figura 6; e (ii) Resource Description Framework (RDF), representado em Extensible Markup Language (XML).

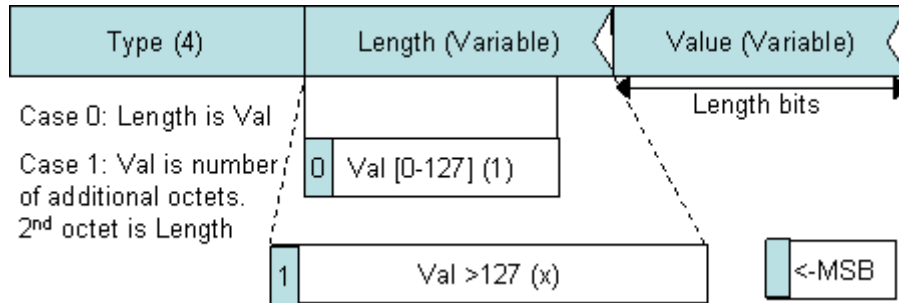


Figura 6 – Formato TLV para representar o Elemento de Informação MIH [3]

São previstas duas formas de comunicação no MIH Function: (i) entre camadas adjacentes, através de *Service Access Points* (SAPs), conforme definido no padrão; e (ii) entre entidades MIH Functions em *peers* diferentes, através do *MIH Protocol* definido no padrão, responsável por encapsular os *Frames MIH* para envio através do enlace físico.

Existem três SAPs definidos no modelo de referência do MIH: (i) MIH_SAP, para acesso das camadas superiores as camadas inferiores e ao MIH; (ii) MIH_LINK_SAP, para conectar o MIH Function e as camadas inferiores; e (iii) MIH_NMS_SAP, para funções de gerenciamento. O modelo de referência é apresentado na Figura 7.

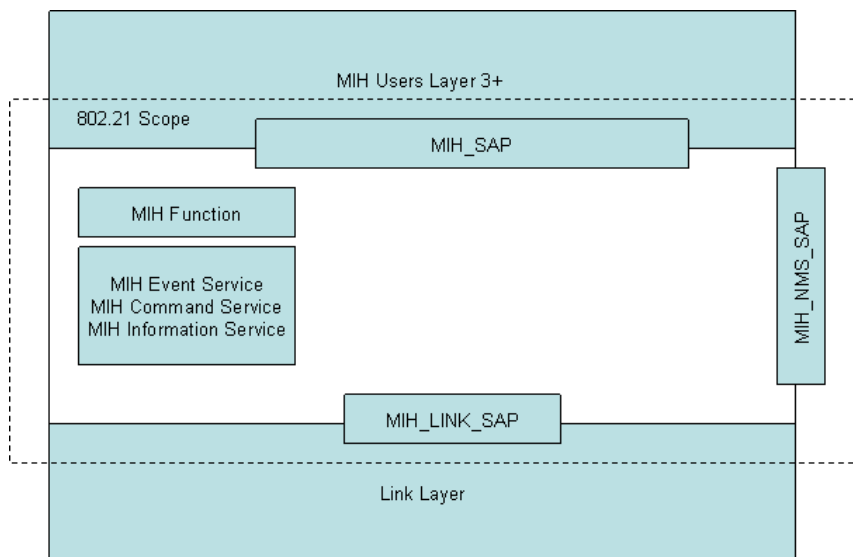


Figura 7 – Modelo de Referência do MIH [3]

Com base no modelo de referência, fica claro que, no caso de múltiplas tecnologias de rede envolvidas, cada uma deve interagir diretamente com o MIH Function através de seu próprio SAP. Isso implica em adaptações nos SAPs das tecnologias envolvidas, que, conforme [3], devem ser definidas como emendas às respectivas especificações. A Figura 8 apresenta um exemplo de integração de múltiplas tecnologias de acesso.

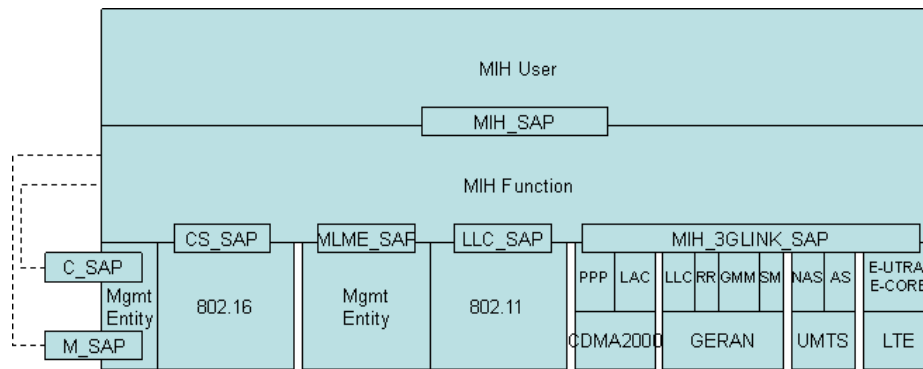


Figura 8 – Integração de múltiplas tecnologias de acesso com o MIHF [3]

Alguns pontos importantes com respeito ao processo de handover são deixados em aberto pelo padrão e requerem soluções particulares de cada implementação. Essas soluções são apresentadas como complementos ao MIH.

Tabela 1 – Eventos de Enlace e Eventos MIH [3]

No	Event Type	Event Name	Description	(L)ocal (R)emot e	Dirrec- tion
Link Events					
1	State Change	Link Up	L2 connection is established and link is available for use	-	-
2	State Change	Link Down	L2 connection is broken and link is not available for use	-	-
3	Predictive	Link Going Down	Link conditions are degrading & connection loss is imminent	-	-
4	State Change	Link Detected	New link has been detected	-	-
5	Link Parameters	Link Parameters Change	Link parameters have crossed specified threshold	-	-
6	Administrative	Link Event Roll-back	Previous link event needs to be rolled back	-	-
7	Link Transmission	Link SDU Transmit Status	Indicate transmission status of all PDU segments	-	-
8	Link Synchronous	Link Handover Imminent	L2 handover is imminent based on changes in link conditions	-	-
9	Link Synchronous	Link Handover Complete	L2 link handover to a new PoA has been completed	-	-
MIH Events					
1	State Change	MIH Link Up	L2 connection is established and link is available for use	L, R	C -> N N -> N
2	State Change	MIH Link Down	L2 connection is broken and link is not available for use	L, R	C -> N N -> N
3	Predictive	MIH Link Going Down	Link conditions are degrading & connection loss is imminent	L, R	C -> N N -> N N -> C
4	State Change	MIH Link Detected	New link has been detected	L, R	C -> N

					N -> N
5	Link Parameters	MIH Link Parameters Report	Link parameters have crossed specified threshold and need to be reported	L, R	C -> N N -> N N -> C
6	Administrative	MIH Link Event Rollback	Previous link event needs to be rolled back	L, R	C -> N N -> N N -> C
7	Link Transmission	MIH Link SDU Transmit Status	Indicate transmission status of all PDU segments	L	N/A
8	Link Synchronous	MIH Link Handover Imminent	L2 handover is imminent based on changes in link conditions	L, R	C -> N N -> N N -> C
9	Link Synchronous	MIH Link Handover Complete	L2 link handover to a new PoA has been completed	L, R	C -> N N -> N N -> C

Legenda da direção dos eventos MIH:

C -> N - Client to Network

N -> N - Network to Network

N -> C - Client to Network

Tabela 2 – Comandos de Enlace e Comandos MIH [3]

No	Command	(L)ocal (R)emote	Direction	Comments
MIH Commands				
1	MIH Get Status	L, R	Network -> Client	Get the status of links
2	MIH Switch	L, R	Network -> Client	Switch the links as specified
3	MIH Configure	L, R	Network -> Client	Configure a link
4	MIH Configure Thresholds	L,R	Network-> Client	Configures thresholds for link events
5	MIH Scan	L, R	Network -> Client	Scan a link
6	MIH Handover Initiate	L, R	Client -> Network Network -> Client	Network or client may initiate handover and send a list of suggested networks and associated Points of Attachment
7	MIH Handover Prepare	L, R	Network-> >Network	This command is sent by current MIHF entity to target MIHF entity to allow for resource query and handover preparation
8	MIH Handover Commit	L, R	Client -> Network Network -> Client	In this case the client or network commits to do the handover and sends the choice of selected network and associated PoA
9	MIH Handover Complete	L, R	Client -> Network	Notification from new serving MIHF to previous serving MIHF indicating handover completion, and any pending

			Network->Network	packets may now be forwarded to the new MIHF
10	MIH Network Address Information	L, R	Network->Network	Sent from current serving MIHF entity to target MIHF entity to obtain reconfigured network address on target network for the client
Link Commands				
1	Link Configure Thresholds	-	-	Configure the thresholds for various link layer events such as Link Going Down
-	-	-	-	-

5 Complementos propostos para o MIH

A especificação do MIH não define pontos importantes que devem ser observados durante o processo de handover. Este capítulo discute tres desses pontos: (i) procedimento para descoberta do servidor de informações (Information Server - IS) do domínio; (ii) algoritmos para a tomada de decisão quanto ao PoA apropriado para migração; (iii) adaptação da qualidade de serviço em função dos novos parâmetros de rede obtidos após o handover.

5.1 Descoberta do servidor de informações

O Media Independent Information Service (MIIS) oferece um framework no qual um MIHF, tanto em um MN quanto na rede (ex: PoA), pode descobrir e obter informações sobre a homogeneidade e heterogeneidade da rede numa área geográfica, para facilitar os handovers. Esse serviço oferece suporte a vários elementos de informação (Information Elements - IE) que fornecem informações essenciais para que o MN tome uma decisão inteligente no momento do handover. Essas informações ficam armazenadas no Servidor de Informação (Information Server - IS). Para isso, o MN precisa descobrir pelo menos um Servidor de Informações disponível na rede. Nesse sentido, [7] apresenta um mecanismo em conjunto com o DHCPv4, adaptável para o DHCPv6 [24], para fazer a descoberta da localização dos Servidores de Informação.

A solução proposta cria uma nova opção DHCP, chamada IS Location Address Option. Conforme ilustrado na Figura 9, essa opção fornece informação sobre os servidores de informação configurados para um domínio.

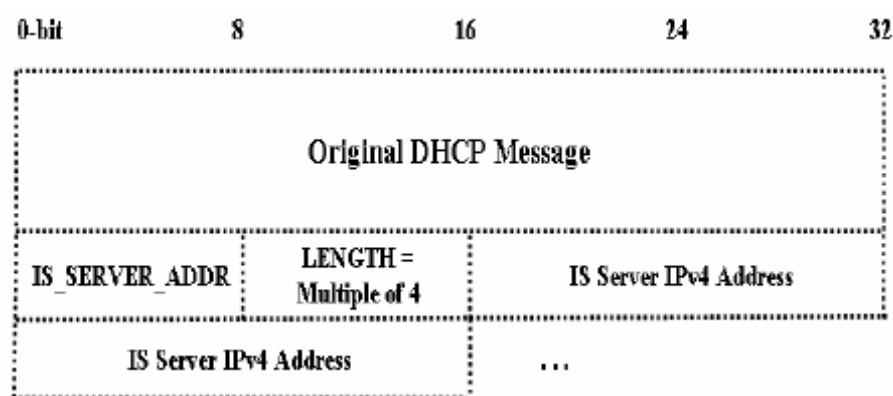


Figura 9 – Opção IS Location Address para DHCPv4 [7]

Para obter o IS Location Address, o MN deve enviar a mensagem DHCPDISCOVER incluindo essa opção. Em caso de utilização do esquema definido em [8], o processamento da resposta é feito com a troca de quatro mensagens. No caso de utilização do esquema proposto em [9], se o MN receber a mensagem DHCPACK com a opção IS Location Address, a informação recebida deve ser imediatamente processada, o que reduz a troca de mensagens para apenas duas.

Tendo em vista que a rápida configuração dos parâmetros de rede é um ponto importante em redes sem fio, recomenda-se a utilização do segundo esquema.

5.2 Algoritmos para tomada de decisão quanto ao PoA apropriado

Uma das questões mais importantes e desafiadoras a serem resolvidas em um handover vertical refere-se à seleção do Ponto de Acesso (Point of Attachment – PoA) mais apropriado para migração. A seleção adequada desse PoA normalmente determina se o handover poderá ser ou não transparente, conforme a necessidade do serviço em andamento. Nesse sentido, várias propostas foram feitas para resolver essa questão e algumas delas são abordadas nesta seção.

Uma das formas utilizadas para determinar o melhor PoA dentre os PoAs candidatos é a atribuição de uma pontuação a cada um deles em função das características de suas redes [10]. Depois da atribuição feita, utiliza-se um esquema baseado em Cadeias de Markov Ponderadas (Weighted Markov Chain – WMC) para montar uma *tabela de classificação por pesos* onde a rede mais bem posicionada na tabela é escolhida como a mais apropriada.

De forma equivalente, [11] define um algoritmo de decisão que utiliza AHP (Analytic Hierarchical Process) para calcular os pesos de vários parâmetros de tráfego, para, então, utilizar SAW (Simple Additive Weighting) ou MEM (Multiplicative Exponent Weighting) para calcular a *função de pontuação de QoS*. Os resultados da simulação feita mostram que o algoritmo proposto provê tempos de handover e taxas de descarte menores do que métodos de handover vertical básicos.

Numa outra abordagem, [12] apresenta um algoritmo para seleção do PoA com base na *potência do sinal entre o MN e o PoA*, e na *disponibilidade da requerida qualidade de serviço (QoS) no PoA*. Cada uma dessas métricas pode ser obtida pelo MIHF. Quando o MN recebe o evento L2 Link_goingdown, a informação sobre sua localização é enviada para o Point of Service (PoS) corrente, que, por sua vez, obtém a lista disponível de candidatos PoA através do serviço de informações do MIIS. Essas informações são enviadas pelo PoS para o MN, que, então, determina seu PoA alvo entre os candidatos.

A utilização do MIIS dispensa o MN de fazer a varredura dos canais em busca dos PoAs candidatos, o que contribui para a redução do tempo de handover L2, e, como consequência, uma redução significativa da perda de datagramas, conforme ilustrado na Figura 10. Essa forma de operação define o chamado *fast L2 handover*.

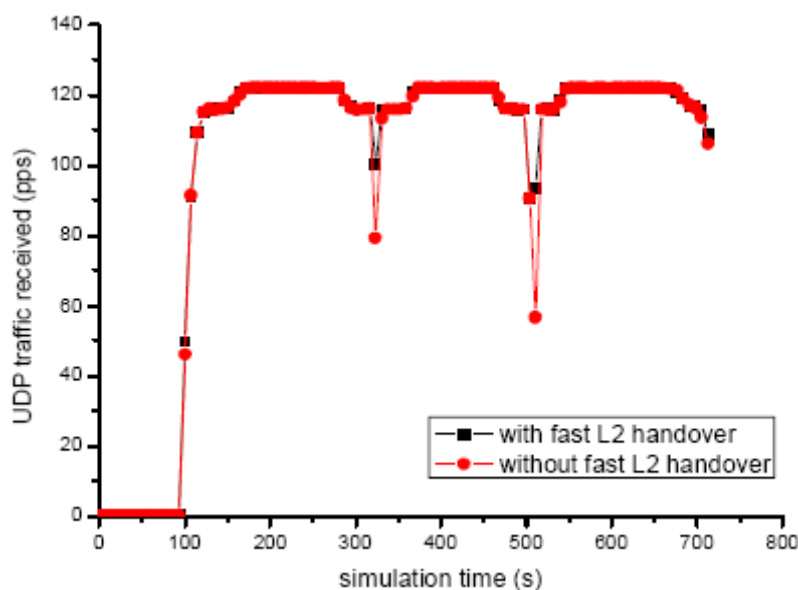


Figura 10 – Simulação do fast L2 handover do Enhanced FMIPv4 Horizontal Handover [12]

5.3 Adaptação da qualidade de serviço após o handover

Até então, os mecanismos de handover buscaram garantir a certeza da continuidade do serviço dos terminais móveis individuais que se movem entre duas diferentes redes ou pontos de acesso. Essa continuidade, no entanto, deve ser complementada por uma primitiva fim-a-fim que seja capaz de determinar a qualquer instante, durante o provisionamento do serviço, o melhor balanço entre o que o *contexto de rede e serviço* pode oferecer para cada participante e o que os participantes envolvidos na sessão realmente preferem.

Nesse sentido, [13] apresenta uma arquitetura para aprimorar as plataformas de entrega de serviços como a 3GPP IP Multimedia Subsystem (IMS), provendo uma forma de determinar as propriedades de todas as redes de acesso que podem ser utilizadas pelos terminais móveis participantes de uma sessão multimídia. Essa funcionalidade é implementada pelo *Service Adaptation Function (SAF)*, que visa otimizar a qualidade do serviço fim-a-fim a partir da identificação do melhor casamento entre o *contexto de rede e serviço* momentâneo e a *profile de serviço alvo* negociada pelos participantes da sessão.

O *contexto de rede e serviço* consiste de um conjunto de parâmetros que incluem: banda disponível na interface de rede dos terminais, atraso fim-a-fim, custos associados com o estabelecimento de uma chamada e transferência de mídia, etc. Tais parâmetros são casados com a *profile de serviço alvo* que contém informação sobre os tipos de mídia e quantidade de banda desejada, e que é negociada entre os participantes em conjunto com os limites de custo impostos individualmente por cada participante.

Existem protocolos, como o SIP [14] e o SDP [15], que permitem que os parâmetros da sessão sejam transmitidos de um ponto terminal ao outro, assim como modificados dinamicamente. No entanto, está fora do escopo desses protocolos prover um framework para tomada de decisão baseada em triggers de handover de sessão e/ou atualização de parâmetros da sessão que possam ocorrer em função da evolução de um conjunto de parâmetros de um contexto.

Por outro lado, embora seja possível definir as preferências do usuário [16] e as capacidades do terminal [17], de modo que a chamada possa ser roteada por uma rede que ofereça o melhor casamento entre ambos, esses parâmetros são utilizados como referência apenas quando a chamada é estabelecida, não sendo adaptados durante a sessão ativa.

O *Service Adaptation Function* (SAF) proposto provê os seguintes aprimoramentos:

(i) Permite que os participantes negociem a profile de serviço alvo através da indicação de múltiplos conjuntos de parâmetros de sessão que os usuários gostariam de estabelecer, ordenados por preferência;

(ii) Avalia o contexto de rede e serviço dos participantes envolvidos na comunicação e determina a melhor profile de serviço fim-a-fim que pode ser oferecida no momento;

(iii) Monitora os mecanismos de handover para que as decisões tomadas no item (ii) sejam respeitadas.

Em [13], a funcionalidade do SAF é implementada pelo IMS Application Server. Com respeito ao MIH, as decisões sobre o handover são tomadas com base no MIH Information Service (MIIS), que provê informações sobre topologia e propriedades da rede de acesso sem fio, permitindo que os terminais reduzam ou eliminem a necessidade de periodicamente varrer o espectro de frequência para descobrir as redes de acesso em potencial. Os parâmetros relacionados a QoS e custo oferecidos pelo MIIS também permitem a definição de um critério mais complexo para decidir como o handover deve ocorrer em sessões de aplicação.

Embora o MIIS tenha o potencial para prover a informação do contexto de rede que são importantes, uma nova entidade é necessária para coletar todos os parâmetros de contextos de rede e serviço relevantes e correlacioná-los com as políticas e profiles de serviço definidas pelo usuário, de forma fim-a-fim. Essa é a principal funcionalidade do Service Adaptation Function (SAF) proposto.

6 Aprimoramentos do MIPv6 para melhorar o handover L3

Esse capítulo apresenta o funcionamento do Mobile IPv6 (MIPv6) [18] e seus dois principais aprimoramentos para minimizar a latência e a perda de pacotes durante o handover L3, denominados HMIPv6 [19] e FMIPv6 [20].

6.1 Funcionamento do MIPv6

O Mobile IPv6 é formado pelas seguintes entidades funcionais: [18]

- **Mobile Node (MN)** – representa um host que altera seu ponto de acesso quando migra de uma rede ou subrede para outra. Pode mudar de localização sem modificar seu endereço IP e pode continuar a se comunicar com outros nós em qualquer localização utilizando seu endereço IP (constante), assumindo-se que uma conectividade do nível de enlace a um ponto de acesso esteja disponível.
- **Home Agent (HA)** – representa um roteador na *home network* (HN) de um MN que intercepta os datagramas enviados para o seu *home address* (endereço IP do MN com o prefixo da HN). Esses datagramas são tunelados para o MN quando o mesmo se encontra fora da HN. Para isso, o HA deve manter informação sobre a corrente localização do MN.

- **Access Router (AR)** – representa um roteador na rede visitada pelo MN, também conhecida como *foreign network (FN)*, que provê serviço de roteamento ao MN enquanto está registrado. O AR entrega ao MN os datagramas recebidos através do túnel estabelecido com o HA ou enviados diretamente por outros nós. Para os datagramas enviados pelo MN, o AR atua como roteador default.
- **Correspondent Node (CN)** – representa o host com o qual o MN se comunica. Pode ser móvel ou estacionário. Quando suporta o armazenamento das informações sobre mobilidade do MN (*mobility binding*), as mensagens são enviadas para o MN através do roteamento pelo AR corrente do MN. Quando não suporta a manutenção dessas informações, as mensagens são enviadas para o home address do MN independente da corrente localização do mesmo, ou seja, como se o MN estivesse na HN.

Quando o MN está em algum enlace estrangeiro longe de seu home, também pode ser endereçado através do seu care-of address (CoA). O CoA é um endereço IP associado ao MN com o prefixo de subrede de um enlace estrangeiro particular. O MN pode obter seu CoA através de mecanismos IPv6 convencionais, ou seja, através de auto-configuração com estado (ex: DHCPv6 [24]) ou sem estado [22]. Enquanto estiver nessa localização, os pacotes endereçados ao seu CoA serão roteados para o MN.

Sempre que o MN muda de enlace estrangeiro, precisa registrar seu novo CoA no HA. A mensagem de registro enviada pelo MN para o HA é a mensagem de *Binding Update*, enquanto que a mensagem de confirmação do registro enviada pelo HA para o MN é a mensagem de *Binding Acknowledgement*.

Existem dois modos possíveis para comunicação entre o MN e o CN: (i) tunelamento bidirecional (*bidirecional tunneling*) e (ii) otimização de roteamento (*route optimization*). A Figura 11 ilustra os dois modos de comunicação do MIPv6.

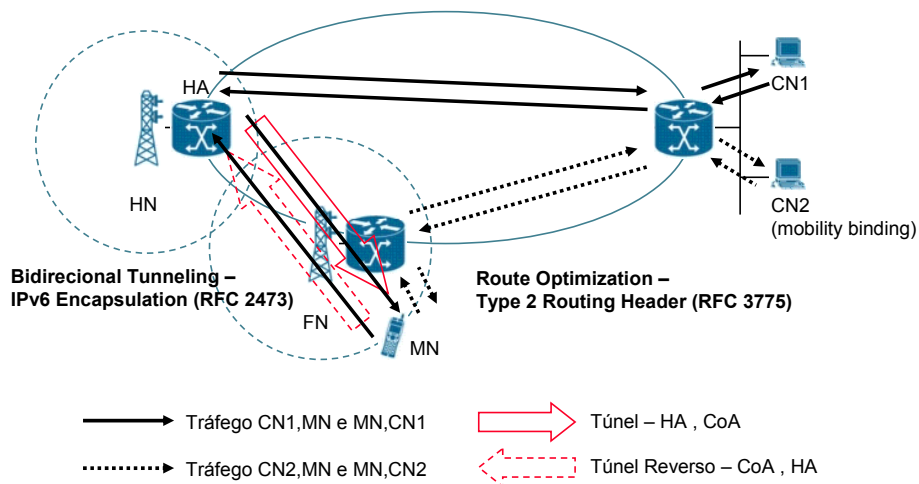


Figura 11 – Modos de comunicação do MIPv6

O *tunelamento bidirecional* não requer o suporte à MIPv6 no CN e está disponível mesmo se o MN não fizer o registro do seu binding atual no CN. Os pacotes do CN são roteados para o HA e então tunelados para o MN. Os pacotes para o CN são tunelados do MN para o HA através de *tunelamento reverso* e então roteados normalmente da home network para o CN. Nesse modo, o HA utiliza o esquema de *proxy Neighbor Disco-*

very para interceptar qualquer pacote IPv6 endereçado ao home address do MN no enlace home. Cada pacote interceptado é tunelado para o primary CoA do MN. O tunelamento é feito com encapsulamento IPv6 [23].

A *otimização de roteamento* requer que o MN registre seu binding atual no CN. Para isso, é necessário que o CN suporte mobility binding e que o MN execute o procedimento de *registro no correspondente*. Como parte desse procedimento, o teste chamado *return routability*, que é descrito em [18], deve ser executado para autorizar o estabelecimento do binding. Esse teste fornece ao MN as informações de segurança necessárias para construir a mensagem de *Binding Update* que deve ser enviada para o CN atualizar o binding do MN.

No modo de otimização de roteamento, os pacotes do CN podem ser roteados diretamente para o CoA do MN. Quando pacotes são enviados para qualquer destino IPv6, o CN busca uma entrada em sua cache de bindings para o endereço de destino do pacote. Se for encontrada uma entrada, o nó utiliza um novo tipo de cabeçalho de roteamento IPv6, chamado *Type 2 Routing Header* [18], para rotear o pacote para o MN através do CoA indicado no binding. Para o correto roteamento, o CN preenche o endereço de destino no cabeçalho IPv6 com o CoA do MN e o novo tipo de cabeçalho com o home address do MN. Esse roteamento encurta o caminho de comunicação a ser utilizado e também elimina congestionamento no HA do MN e no enlace home. Ainda como consequência, o impacto de possíveis falhas associadas ao HA ou às redes no caminho entre o MN e o HA é reduzido.

De forma semelhante, os pacotes do MN podem ser roteados diretamente para os CNs. Para isso, o MN preenche o endereço de origem do cabeçalho IPv6 do pacote com seu CoA e o endereço de destino com o endereço do CN. Em seguida, o MN adiciona uma nova opção, chamada *IPv6 Home Address Destination* [18], para carregar seu home address. A inclusão do home address nesses pacotes torna o uso do CoA transparente para as camadas de rede superiores (ex: na camada de transporte).

Existem otimizações propostas para o MIPv6, como o HMIPv6 [19] e o FMIPv6 [20], que podem contribuir com a implantação das soluções de QoS. O principal objetivo dessas propostas é minimizar a latência do handover e reduzir o atraso e a perda de datagramas durante essa operação. De modo geral, as propostas visam soluções para: (i) minimizar o tempo de registro do CoA; (ii) minimizar o tempo de mudança do ponto de acesso; e (iii) evitar o atraso e a perda dos datagramas. Um estudo comparativo sobre essas otimizações pode ser encontrada em [25]. As duas seções seguintes fazem uma breve apresentação dessas duas otimizações.

6.2 Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)

Um dos problemas que afetam a comunicação no MIPv6 é a latência referente à efetivação do registro do novo CoA. Essa operação é lenta pois envolve a troca de mensagens de sinalização com componentes fora da nova rede, em particular, com o HA e com os CNs que suportam otimização de roteamento.

Para minimizar essa latência, o esquema de handover hierárquico divide a mobilidade em duas categorias: (i) *micromobilidade* (geralmente intra-domínio) e (ii) *macromobilidade* (geralmente inter-domínio). O elemento central desse esquema é a entidade conceitual chamada de *Mobility Anchor Point* (MAP) [19], que define um domínio MAP formado por uma ou mais redes. A movimentação de um MN entre redes de um mesmo domínio MAP determina uma micromobilidade, e a movimentação do MN entre redes de domínios MAP diferentes determina uma macromobilidade.

Cada uma das redes de um domínio MAP possui um Access Router (AR) que corresponde ao roteador default dos MNs em sua região de alcance. A presença do MAP do domínio ao qual o AR pertence é anunciada na mensagem de Router Advertisement. Assim, a mudança de um domínio MAP é percebida pelo MN quando um novo anúncio com a informação de um novo MAP é recebida pelo MN.

Conforme especificado em [19], quando em um novo domínio MAP, o MN faz o binding do seu CoA obtido na rede local, conhecido como *Local CoA* (LCoA), com um endereço na subrede do MAP, conhecido como *Regional CoA* (RCoA) e que, normalmente, é o endereço do próprio MAP. Agindo como um local HA, o MAP intercepta todos os pacotes destinados ao MN e os encapsula e encaminha diretamente para o LCoA. Se o MN mudar para outra rede do mesmo domínio MAP, apenas o registro do novo LCoA é feito junto ao MAP com uma mensagem de Binding Update. E então, apenas o RCoA precisa ser registrado, através de outra mensagem de Binding Update, no HA e nos CNs com os quais o MN se comunica. Esse RCoA não se modifica se a movimentação do MN for ao longo de um mesmo domínio MAP. Isso torna a micro-mobilidade do MN transparente com relação ao HA e aos CNs. A Figura 12 ilustra o esquema do MIPv6 hierárquico.

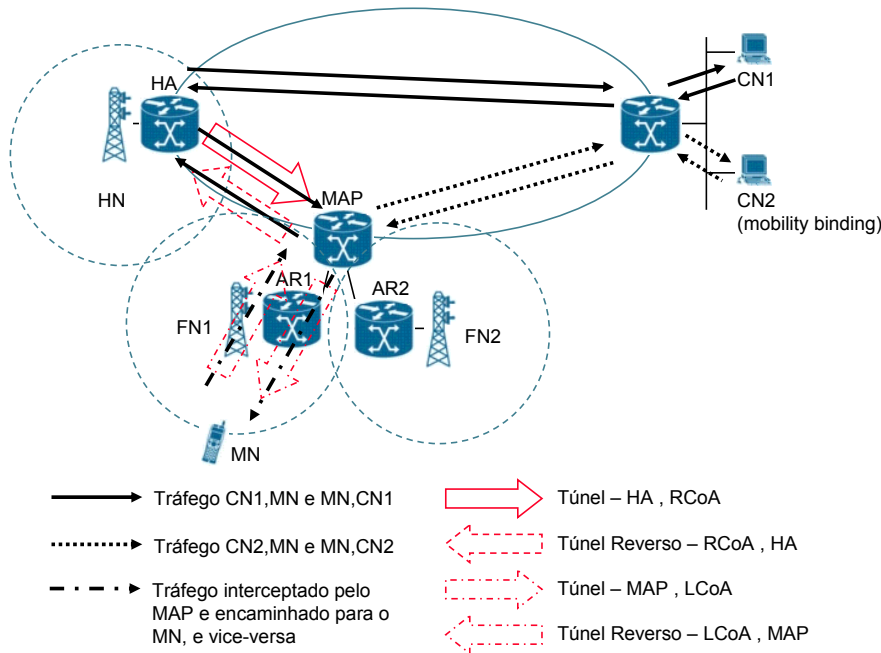


Figura 12 – Esquema do MIPv6 hierárquico

Com o objetivo de acelerar o handover entre MAPs e reduzir a perda de pacotes, o MN deve enviar uma mensagem de Binding Update para seu MAP anterior, especificando seu novo LCoA. Os pacotes que estiverem em trânsito para o MAP anterior serão então encaminhados para o novo LCoA. Também é permitido que MNs enviem mensagens de Binding Updates contendo o LCoA (ao invés do RCoA) para CNs que estão presentes na mesma rede visitada. Dessa forma, os pacotes serão roteados diretamente sem atravessarem o MAP.

6.3 Fast Handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6)

Conforme descrito em [20], a habilidade de imediatamente enviar pacotes a partir de um novo enlace de subrede depende da latência da conectividade IP, que por sua vez, depende da latência da detecção de movimento e da latência de configuração do novo CoA. Uma vez restaurada a capacidade IP do MN, a mensagem de Binding Update pode ser enviada ao seu HA e a todos os seus CNs. A partir do processamento bem sucedido do Binding Update pelos seus CNs, o que tipicamente envolve a execução do procedimento de return routability [18], o MN pode receber pacotes no novo CoA. Sendo assim, a habilidade de receber pacotes a partir de CNs diretamente para seu novo CoA depende da latência do Binding Update e da latência da conectividade IP.

O protocolo definido em [20] possibilita que o MN rapidamente detecte sua movimentação para uma nova rede pois provê informação sobre o novo ponto de acesso (Access Point - AP) e sobre o prefixo de subrede associado enquanto o MN ainda se encontra conectado à sua subrede atual, cujo roteador default passa a ser chamado de *roteador de acesso anterior* (Previous Access Router - PAR). Por exemplo, um MN pode descobrir os APs disponíveis utilizando mecanismos do nível de enlace (ex: operação *scan* na WLAN) e então requisitar informações da subrede correspondente a um ou mais dos APs descobertos. Essa requisição é feita com o envio da mensagem de *Router Solicitation for Proxy Advertisement* (RtSolPr) para o seu roteador de acesso. O MN pode executar essa operação depois do procedimento de router discovery ou a qualquer momento quando se encontrar conectado ao seu roteador corrente.

O resultado da resolução do identificador associado a um AP é a tupla [AP-ID, AR-Info], onde AP-ID é o identificador do AP e AR-Info é composto pelo endereço L2 do roteador, endereço IP do roteador e um prefixo válido na subrede a qual o AP está conectado. Essa resposta é enviada pelo AR para o MN na mensagem de *Proxy Router Advertisement* (PrRtAdv).

Com as informações obtidas, o MN formula um novo CoA (NCoA) em potencial e envia uma mensagem de *Fast Binding Update* (FBU) quando ocorre um evento de handover específico de enlace. Essa mensagem tem o propósito de autorizar o PAR a fazer o binding do PCoA (Previous CoA) para o NCoA, de modo que os pacotes que chegarem possam ser tunelados para a nova localização do MN. Sempre que possível, o FBU deve ser enviado a partir do enlace do PAR. Quando não for, o FBU é enviado a partir do novo enlace. Com a execução desse procedimento, a latência referente à descoberta do novo prefixo subsequente ao handover é eliminado.

Como confirmação de recebimento do FBU, o PAR deve enviar a mensagem de *Fast Binding Acknowledgment* (FBack). Dependendo se a mensagem FBack é recebida ou não ainda no enlace anterior, dois modos de operação são definidos:

- 1) O MN recebe a mensagem FBack no enlace anterior. Isso significa que o tunelamento de pacotes já se encontrará em progresso no momento em que o MN fizer o handover para o NAR. Logo, o MN deve enviar a mensagem de *Fast Neighbor Advertisement* (FNA) imediatamente após se conectar ao NAR, de modo que os pacotes que estejam chegando e os que foram armazenados sejam encaminhados para o MN.

Antes do envio de uma mensagem FBack para um MN, o PAR pode determinar um NCoA aceitável pelo NAR através da troca das mensagens *Handover Initiate* (HI) e *Handover Acknowledge* (HACK). Quando o modo *assigned addressing* é utilizado, o NCoA proposto pelo MN na mensagem FBU é carregado na mensagem HI que é enviada pelo PAR para o NAR, que pode associar o NCoA ao MN. Esse NCoA deve então ser retornado na mensagem HACK enviada pelo NAR para o PAR, que por sua vez, deve in-

formar o NCoA atribuído na mensagem FBack. Se existir um NCoA retornado na mensagem FBack, o MN deve utilizá-lo, ao invés do NCoA proposto, quando se conectar ao NAR.

2) O MN não recebe a mensagem FBack no enlace anterior pois o mesmo não enviou a mensagem FBU ou deixou o enlace após enviar a mensagem FBU (que pode ter sido perdida), mas sem receber a mensagem FBack. Sem ter recebido a mensagem FBack no último caso, o MN não tem como se certificar quanto ao processamento bem sucedido da mensagem FBU enviada para o PAR. Por essa razão, o MN re-envia uma mensagem FBU assim que se conecta ao NAR. Para permitir que o NAR encaminhe os pacotes imediatamente (no caso em que a mensagem FBU foi processada pelo PAR) e verifique se o NCoA é aceitável, o MN deve encapsular a mensagem FBU na mensagem FNA. Se for detectado que o NCoA está em uso quando a mensagem FNA for processada, o NAR deve descartar o pacote interno com a mensagem FBU e enviar uma mensagem de Router Advertisement com a opção *Neighbor Advertisement Acknowledge* (NAACK) na qual o NAR pode incluir um endereço IP alternativo para o MN utilizar.

O cenário no qual o MN envia uma mensagem FBU e recebe uma mensagem FBack no enlace do PAR é chamado de *operação em modo pré-indicado ou antecipado (predictive)*, e é ilustrado na Figura 13.

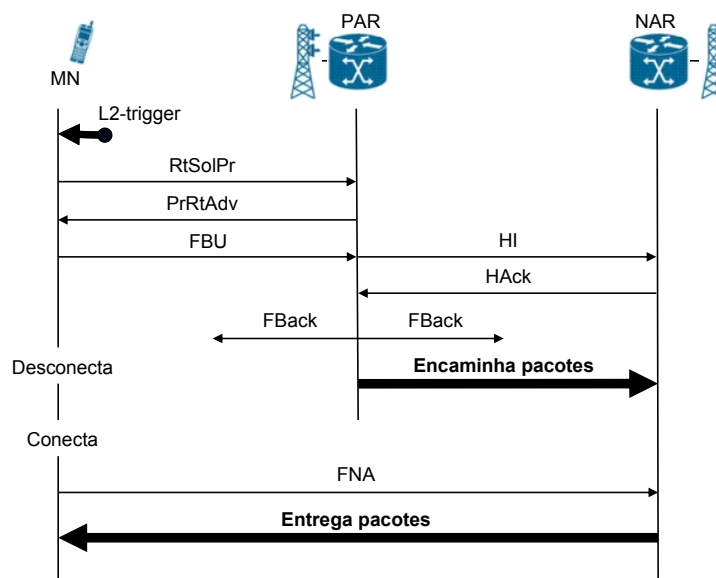


Figura 13– Fast Handover: operação em modo pré-indicado ou antecipado

O cenário no qual o MN envia a mensagem FBU a partir do enlace do NAR é chamado de *operação em modo reativo*, e é ilustrado na Figura 14. Esse modo também atende o caso no qual a mensagem FBU é enviada a partir do enlace do PAR, mas uma mensagem FBack ainda não foi recebida.

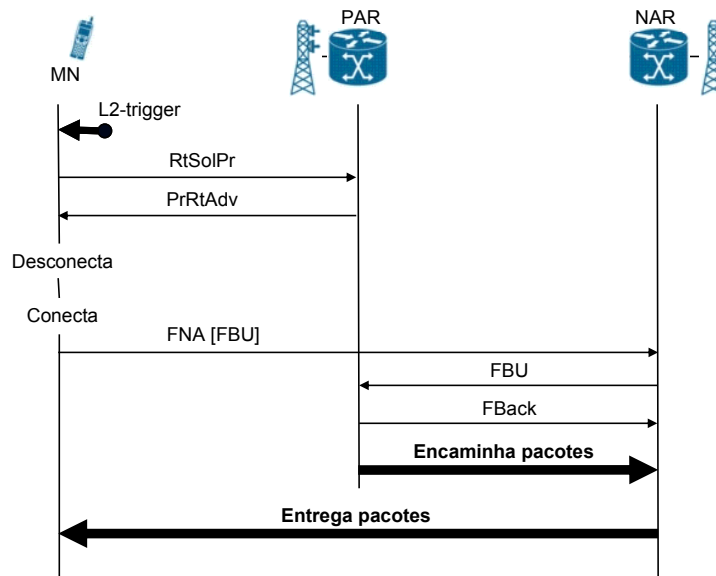


Figura 14– Fast Handover: operação em modo reativo

Por fim, a mensagem PrRtAdv pode ser enviada de forma não solicitada, ou seja, sem o envio anterior da mensagem RtSolPr. Essa operação possibilita que o MN se mantenha informado sobre redes geograficamente adjacentes, reduzindo, assim, a quantidade de tráfego necessária para obter o mapa de topologia da vizinhança de enlaces e subredes.

Já, as mensagens HI e HAck podem ainda ser utilizadas para transferência de informações referentes ao contexto de rede, como controle de acesso, QoS e compressão de cabeçalho, em conjunto com o handover.

7 Melhorias no handover L3 com MIH

Este capítulo apresenta a redução significativa na latência e na perda de pacotes durante o handover L3 quando as duas principais otimizações do MIPv6 (HMIPv6 e FMIPv6) são utilizadas em conjunto com o MIH.

7.1 FMIPv6 com MIH

Um aprimoramento do processo de handover no FMIPv6 [20] com a utilização de um subconjunto dos serviços MIH existentes no IEEE 802.21 [3], denominado 802.21-assisted FMIPv6, é apresentado em [26]. Os serviços MIH utilizados e estendidos são apresentados na Tabela 3. Para a tomada de decisão do handover, algumas novas primitivas MIH foram definidas, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 3 – Serviços MIH utilizados e extendidos pelo FMIPv6 com MIH [26]

<i>Primitives</i>	<i>Service</i>	<i>Parameter</i>
MIH_Link_Going_Down	MIES	MN MAC Addr, MAC Addr of Curent PoA
MIH_Link_Up	MIES	MN MAC Addr, MAC addr of new PoA, Link ID
MIH_Link_Down	MIES	MN MAC Addr, MAC addr of new PoA, Reason Code
MIH_MN_HO_Commit	MICS	Old Link ID, New Link ID
MIH_MN_HO_Candidate_Query (extended)	MICS	SNR, Available Data Rate, number of associated user, Throughput , Packet Error Rate, CoS Minimum Packet Transfer Delay, CoS Average Packet Transfer Delay, CoS Maximum Packet Transfer Delay, CoS Packet Loss
MIH_N2N_HO_Candidate_Query	MICS	SNR, Available Data Rate, number of associated user, Throughput , Packet Error Rate, CoS Minimum Packet Transfer Delay, CoS Average Packet Transfer Delay, CoS Maximum Packet Transfer Delay, CoS Packet Loss

Tabela 4 – Primitivas de serviço MIH definidas para o FMIPv6 com MIH [26]

<i>Primitives</i>	<i>Service</i>	<i>Parameters</i>
MIH_App_Par	MIES	Required data rate, delay, jitter, priority of applications
MIH_App_req	MICS	SNR, Required data rate, throughput , jitter, delay

Tabela 5 – HNI Request [26]

Type = TYPE_IE_HNI_REPORT	Length = Variable
Type_IE_Container_HNI Report	

Tabela 6 – HNI Response [26]

Type = TYPE_IE_HNI_REPORT	Length = Variable
HNI Container #1	
PoA MAC Address IE	
POA Channel Range IE	
POA MAC Type IE	
POA PHY Type IE	
PoA Subnet Prefix IE	
PoA Subnet Prefix IE	
Network Type IE	
Roaming Partners IE	
Cost IE	
Network Security IE	
HNI Container #2	
... ..	

Nesta proposta, inicialmente, o MN se registra para receber notificações MIES (ex: L2 triggers) via primitivas de serviço do MIH Event Subscription. Em seguida, a descoberta do IS é feita através do Dynamic Host Control Protocol (DHCP) [24], para, então, iniciar-se o processo de estabelecimento da Security Association (SA) entre o MN e o IS. Após essas etapas, o MN envia uma mensagem MIH com a requisição *MIH_Get_Information*, no formato apresentado na Tabela 5, para requisitar o relatório *Heterogenous Network Information* (HNI). Essa requisição é respondida pelo IS para o MN através do envio da mensagem MIH no formato apresentado na Tabela 6. O conteúdo do relatório é processado pelo MN e armazenado na cache *Neighboring Network Report* (NNR). Esse processo é executado periodicamente com base em um intervalo de tempo para que o MN renove o conteúdo e verifique se o domínio do IS mudou. A Figura 15 ilustra a seqüência de troca de mensagens entre o MN e o IS.

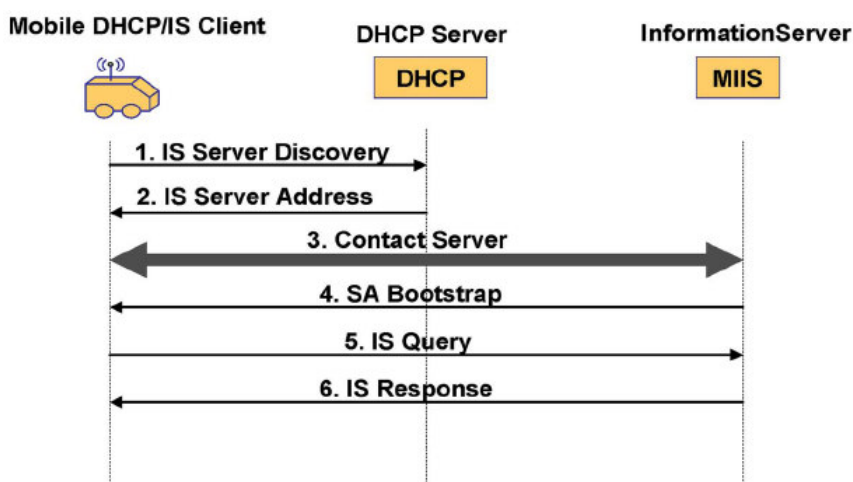


Figura 15 – Seqüência de troca de mensagens entre o MN e o IS no FMIPv6 com MIH [26]

No FMIPv6 com MIH, as mensagens *RtSolPr/PrRtAdv* são substituídas pelas mensagens de requisição e resposta *MIH_Get_Information*, que são executadas muito antes do trigger L2 ocorrer, diferentemente do FMIPv6 original, onde as mensagens *RtSolPr/PrRtAdv* apenas ocorrem após os triggers L2, por exemplo, quando o MN percebe que a potência do sinal do enlace corrente começa a enfraquecer.

Quando o sinal do PoA corrente começar a enfraquecer, o MIES é informado pela camada MAC do MN, o que produz o evento *MIH_Link_Going_Down* que é enviado para a camada de rede onde o FMIPv6 reside.

Ao receber essa notificação de evento, o MN verifica sua cache NNR e seleciona um PoA apropriado para fazer o handover. Como o MN conhece as informações do enlace de rádio (ex: MAC address e canais dos PoAs, etc) das redes de acesso candidatas, o tempo de descoberta delas é eliminado., diferentemente do que ocorre, por exemplo, no IEEE 802.11, onde o mecanismo de varredura deve ser utilizado para encontrar os pontos de acesso vizinhos.

A tomada de decisão sobre a rede apropriada para migração é feita no Policy Engine (PE) do MN, que leva em consideração os requisitos de QoS da aplicação, casando-os com os parâmetros dinâmicos de QoS do enlace das redes disponíveis. Conforme descrito no IEEE 802.21, os parâmetros dinâmicos da camada de enlace (ex: parâmetros de

QoS como banda, média de atraso de transferência de pacotes, taxa de perda de pacotes, SNR, etc) devem ser obtidos com base em interação direta com a rede de acesso, e o MIIS não pode ser de grande ajuda nesse sentido. Esses parâmetros devem ser entregues ao MN através do MICS. Para esse propósito, a primitiva de serviço original *MIH_MN_HO_Candidate_Query* foi estendida com a inclusão da lista de recursos apresentada na Tabela 3. Essa primitiva opera no modo requisição/resposta e é transportada como carga de uma mensagem MIH como um TLV de serviço específico. A requisição é feita pelo PE ao PoA de serviço (PoS), que, por sua vez, envia a mensagem *MIH_N2N_HO_Query_Resources* para preparar e inquirir os recursos disponíveis nas redes candidatas. Após receber a *MIH_MN_HO_Candidate_response*, o PE recebe os requisitos de QoS das aplicações. Utilizando a nova primitiva MICS *MIH_App_Req*, os requisitos de QoS são fornecidos pela camada de aplicação para para a camada MIH. A nova primitiva de serviço MIES *MIH_App_Parameter* é preparada para notificar o PE sobre os requisitos de QoS da aplicação. De posse desses requisitos, o PE pode compará-los com os parâmetros dinâmicos de QoS das camadas inferiores das redes de acesso candidatas, possibilitando, assim, a escolha do PoA que melhor atende os requisitos.

Por fim, após a seleção do PoA apropriado, o MN utiliza o prefixo de rede do PoA para constituir seu NCoA e envia a mensagem FBU para o AR corrente (oAR), eliminando a necessidade de utilizar as mensagens RtSolPr/PrRtAdv do FMIPv6 original. Isso aumenta as chances da operação em modo predizado do FMIPv6, e, assim, após a recepção do FBack, o MN utiliza o MIHF MICS para gerar o comando de mudança de enlace com as primitivas *MIH_MN_HO_Commit* e *MIH_N2N_HO_Commit*. Após a recepção da notificação *MIH_Link_Up*, a mensagem *Unsolicited Neighbor Advertisement* é imediatamente enviada, e, assim, o tráfego se inicia no novo enlace.

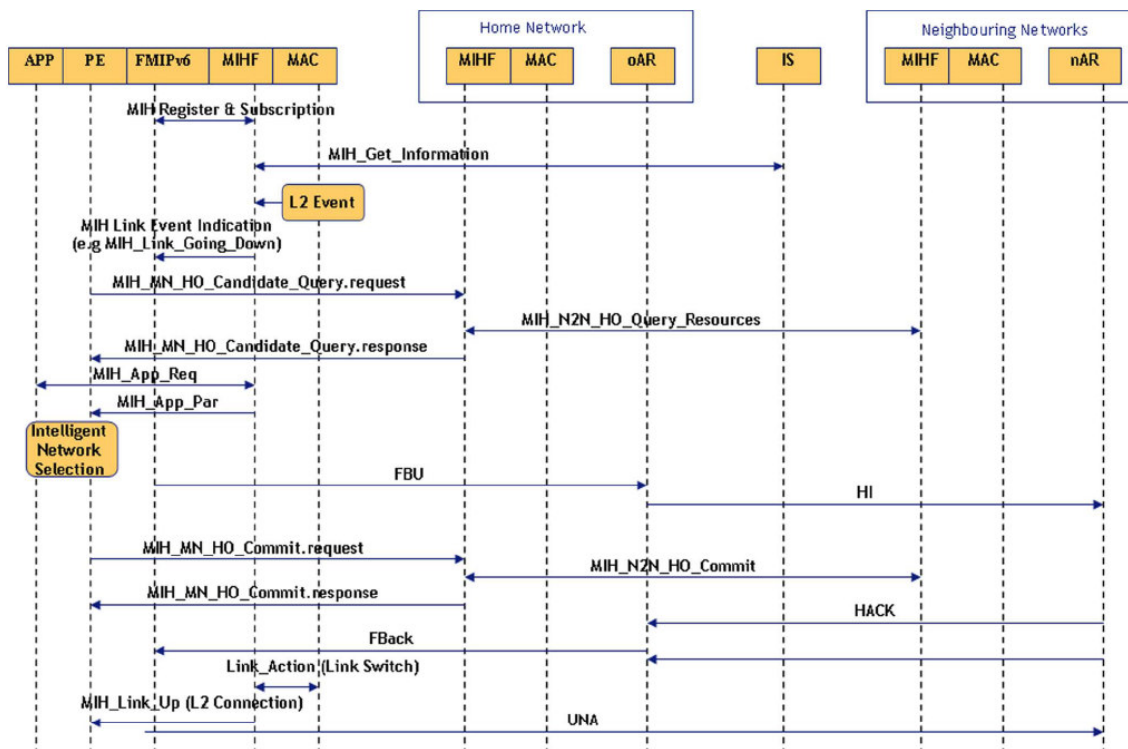


Figura 16 – Procedimento do handover no FMIPv6 cm MIH [26]

As simulações feitas demonstram um ganho significativo na média da latência do handover (Figura 17) e na redução da perda de pacotes (Figura 18).

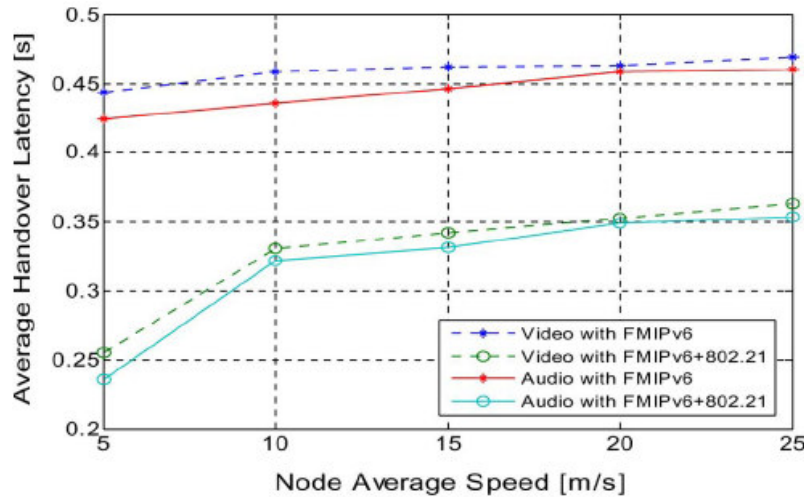


Figura 17 – Comparação da média da latência do handover entre o FMIPv6 e o FMIPv6 com MIH [26]

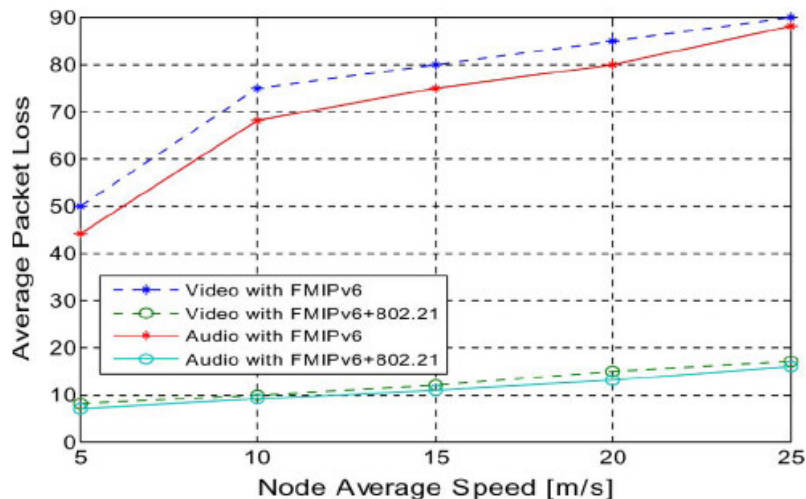


Figura 18 – Comparação da media de perda de pacotes entre o FMIPv6 e o FMIPv6 com MIH [26]

7.2 FVH-HMIPv6 com MIH

Uma opção para otimização do handover L3 é combinar as vantagens do conceito hierárquico do HMIPv6 [19] com as vantagens do modo de operação antecipada do FMIPv6 [20]. Essa abordagem foi primeiramente proposta em [21], onde ficou conhecida como F-HMIPv6. Considerando a vantagem do serviço de informações de rede do MIH, que evita a necessidade de varredura de canais para descoberta de PoAs candidatos, [27] sugere a integração do F-HMIPv6 com o MIH, propondo o FVH-HMIPv6 com MIH.

Nessa proposta, as informações L3 sobre os MAPs das redes heterogêneas vizinhas são incluídas no MIIS. Para isso, um novo elemento de informação (IE) chamado *Domain Prefix* foi criado para prover informações sobre os prefixos de domínio dos MAPs das redes heterogêneas vizinhas. Conforme a especificação do MIIS, esse IE pode ser

requisitado ao IS pelo MN. Também é permitido que as informações dos MAPs vizinhos sejam entregues ao MN através de informações de handover vertical (Vertical Handover Information - VHI) pré-definidas. Todas essas informações são produzidas e armazenadas no IS.

Com as informações sobre os MAPs vizinhos, o MN toma conhecimento dos prefixos disponíveis no novo MAP (nMAP) e pode formar seu novo CoA local (NLCoA) e seu novo CoA regional (NRCoA) antes do handover ocorrer. Isso também reduz o tempo de descoberta do roteador previsto no FMIPv6. É importante notar também que as informações sobre vizinhança mantidas pelo IS facilitam a resolução dos identificadores L2 dos prefixos dos domínios, o que facilita a descoberta do MAP candidato. As informações são entregues ao MN através das primitivas *MIH Get Info request/response*. Como fator de otimização, tendo em vista a redução de mensagens de sinalização, as informações obtidas do IS ficam armazenadas no MN.

Como outra vantagem de utilização do MIH, o MN pode se registrar no MIHF para obter triggers L2, possibilitando receber notificações sobre eventos L2, o que possibilita a configuração do NLCoA e do NRCoA antes do handover L2. A Figura 19 ilustra a operação do FVH-HMIPv6 em um ambiente heterogêneo com redes 802.16e e 3G.

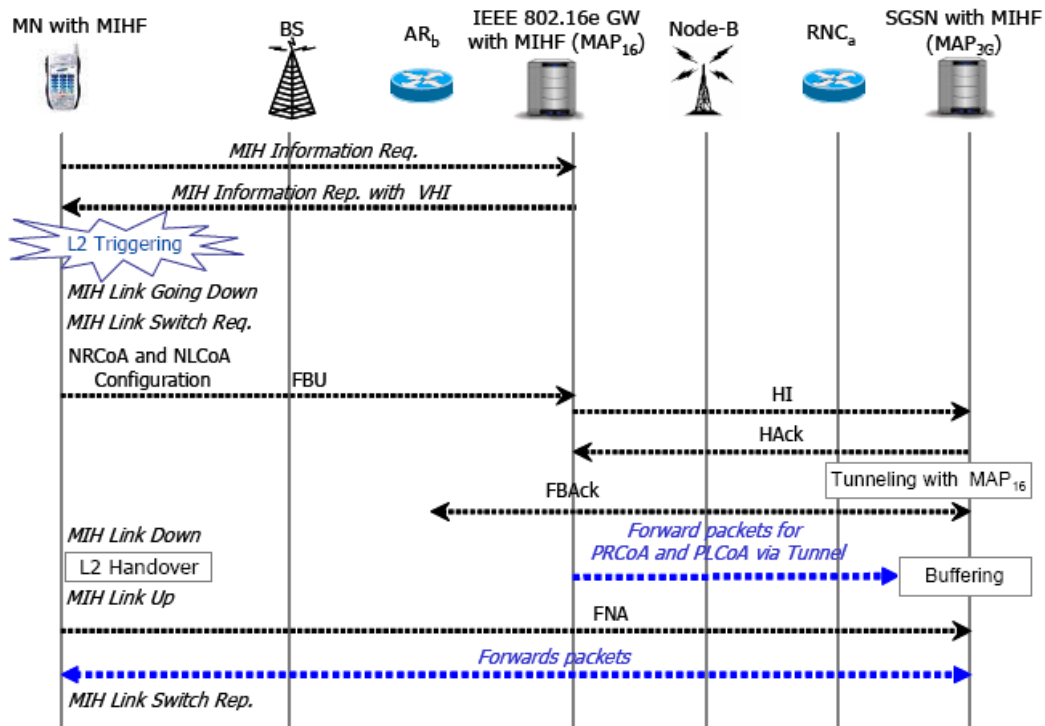


Figura 19 – Funcionamento do FVH-HMIPv6 com MIH

O cenário apresentado na Figura 19 mostra o MN inicialmente na rede 802.16e. Nessa rede, o MN utiliza a primitiva *MIH Information Request* do serviço de informação do MIHF para obter o VHI. Conforme apresentado anteriormente, com essas informações o MN obtém informações sobre os MAPs e PoAs da sua vizinhança, inclusive sobre os prefixos de domínio desses MAPs e endereços de enlace dos PoAs. Assim, o MN pode constituir seu novo NLCoA e seu novo NRCoA antes do handover ocorrer para a rede 3G candidata. Todos os outros benefícios são semelhantes ao que ocorre na proposta do FMIPv6 com MIH, abordada na seção 7.1.

A análise feita em [27] possibilita concluir que o FVH-HMIPv6 com MIH não reduz diretamente o tempo de latência do handover L3 se comparado com o FVH-HMIPv6 sem MIH. No entanto, pode-se afirmar que o FVH-HMIPv6 com MIH aumenta consideravelmente as chances do modo de operação antecipada do FMIPv6 ocorrer, pois elimina a necessidade de troca de informação L3 pré-handover, o que, consequentemente, leva a redução da latência do handover e perda de pacotes.

8 Conclusão

Para que o handover transparente, independente de ser vertical ou horizontal, possa ser atingido, é indispensável ter um esquema de cooperação padronizado entre as camadas L2 dos elementos de rede, ou seja, entre os terminais móveis e os PoAs, e entre os PoAs, heterogêneos ou homogêneos.

Nesse sentido, com base no modelo de referência da Generic Link Layer (GLL), o IEEE fez a especificação do Media Independent Handover (MIH). As funcionalidades especificadas para o MIH Function (MIHF) oferecem apoio para resolver os desafios envolvidos no handover heterogêneo. Com as informações armazenadas no servidor de informações do MIIS, o terminal móvel é capaz de selecionar o ponto de acesso mais apropriado dentre os pontos de acesso candidatos. Já, com os eventos disponíveis no MIES e com os comandos do MICS, é possível determinar o melhor momento para executar o handover. Por fim, os servidores de informação do MIIS também podem manter informações relativas à QoS nos pontos de acesso candidatos, o que contribui para minimizar a perda de qualidade dos fluxos de dados em andamento.

No entanto, a especificação do MIH possui alguns pontos em aberto que são complementados à parte. Com relação à descoberta do servidor de informações, a solução mais óbvia realmente parece ser a incorporação da localização do servidor nos parâmetros de rede informados pelo DHCP. Já, com relação ao algoritmo para determinação do PoA alvo, várias abordagens foram apresentadas, cada qual com suas vantagens, o que demonstra que tal decisão pode variar conforme o contexto, embora alguns dos algoritmos possam funcionar em casos genéricos.

Quanto a adaptação do QoS após o handover, o SAF delineou uma forma de controle que, num primeiro momento, parece adequada, mas não atende todos os requisitos definidos em [30]. Em particular, é importante observar que a mudança de ponto de acesso implica na mudança do percurso dos fluxos de dados fim-a-fim. Considerando-se um modelo DiffServ [28], a proposta pode funcionar em certos casos. Mas, para um modelo IntServ [29], definitivamente a proposta não atende as necessidades de renegociação das reservas ao longo do percurso fim-a-fim. Ademais, o SAF não localiza os pontos afetados pelo handover que requerem o restabelecimento da QoS, nem libera os recursos alocados no antigo caminho do fluxo após o handover, conforme definido em [30].

Com os recursos oferecidos pelo MIH, as camadas superiores passam a receber valiosas informações que contribuem para a execução de um handover transparente, conforme demonstrado para o caso do FMIPv6+MIH e do FVH-HMIPv6+MIH, onde a redução da latência do handover L3 e, consequentemente, a perda de pacotes, foram evitados.

Como trabalho futuro, deve-se buscar formas melhores para a adaptação do QoS após o handover, procurando atingir todos os requisitos definidos em [30]. Em particular, todas as propostas existentes para esse tipo de adaptação no MIPv6, como as estu-

das em [31], apenas para citar algumas, devem ser investigadas com o apoio do MIH. Com os resultados obtidos, deve-se estudar e identificar possíveis extensões nos serviços do MIHF que possam apoiar, atender e até otimizar a adaptação do QoS pós-handover.

Referências

- [1] Wireless World Research Forum, "The Book of Visions 2001 - Visions of the Wireless World", December 2001.
- [2] J. Sachs, "A Generic Link Layer for Future Generation Wireless Networking", IEEE, 2003, p. 834-838.
- [3] J. Stein, "Survey of 802.21 Media Independent Handover Services", April 2006, based on "Draft IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Independent Handover Services", IEEE P802.21/D01.00, March 2006.
- [4] V. Gupta, "IEEE P802.21 Tutorial", July 2006.
- [5] H. Wu, K. Tan, Y. Zhang, Q. Zhang, "Proactive Scan: Fast Handoff with Smart Triggers for 802.11 Wireless LAN," INFOCOM 2007, p. 749-757.
- [6] S. Speicher, C. Bunnig, "Fast MAC-Layer Scanning in IEEE 802.11 Fixed Relay Radio Access Networks," ICN/ICONS/MCL 2006, p. 144-144.
- [7] S. Park, M. Lee, C. Hwang, "Location Information Look-Up for Intelligent Handover Decision", Advanced Information Networking and Applications - Workshops, 2008, p. 687 - 691.
- [8] R. Dromes, "Automated configuration of TCP/IP with DHCP", IEEE Internet Computing, vol.3, no.4, pp.45-53, 1999.
- [9] S. Park, "Rapid Commit Option for DHCPv4", RFC 4039, March 2005.
- [10] W. Ying, Y. Jun, Z. Yun, L. Gen; Z. Ping, "NET 23-4 - Vertical Handover Decision in an Enhanced Media Independent Handover Framework", Wireless Communications and Networking Conference, 2008, IEEE, p. 2693 - 2698.
- [11] S. Yang,, J. Wu, H. Huang, "A vertical Media-Independent Handover decision algorithm across Wi-Fi and WiMAX networks", Wireless and Optical Communications Networks, 2008.
- [12] B. Kim; Y. Jung; I. Kim, Y. Kim, "Enhanced FMIPv4 Horizontal Handover with Minimized Channel Scanning Time Based on Media Independent Handover (MIH)", Network Operations and Management Symposium Workshops, 2008, IEEE, p. 52-55.

- [13] J. W. Floroiu, M. Corici, B. Lee, S. Lee, S. Arbanowski, T. Magedanz, "A Vertical Handover Architecture for End-to-End Service Optimization", Mobile and Wireless Communications Summit, 2007, p. 1 - 5.
- [14] J. Rosenberg et al, "SIP: Session Initiation Protocol", RFC 3261, June 2002.
- [15] M. Handley et al, "SDP: Session Description Protocol", RFC 4566, July 2006.
- [16] J. Rosenberg et al, "Caller Preferences for the Session Initiation Protocol (SIP)", RFC 3841, August 2004.
- [17] J. Rosenberg et al, "Indicating User Agent Capabilities in the Session Initiation Protocol (SIP)", RFC 3840, August 2004.
- [18] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", RFC 3775, June 2004.
- [19] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El Malki, L. Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)", RFC 4140, August 2005.
- [20] R. Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6", RFC 4068, July 2005.
- [21] H. Jung et al., "Fast Handover for Hierarchical MIPv6 (F-HMIPv6)", draft-jung-mobileip-fastho-hmipv6-04, Internet draft, June 2004.
- [22] Thomson, S. and T. Narten, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration", RFC 2462, December 1998.
- [23] Conta, A. and S. Deering, "Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification", RFC 2473, December 1998.
- [24] Droms, R., Ed., Bound, J., Volz, B., Lemon, T., Perkins, C. and M. Carney, "Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)", RFC 3315, July 2003.
- [25] A. O. da Silva, S. Colcher, "Evolução da Otimização do Handoff no Mobile IP", Monografia, Pontifícia Universidade Católica, Departamento de Informática, November 2007.
- [26] Q. Mussabbir, W. Yao, Z. Niu, X. Fu, "Optimized FMIPv6 Using IEEE 802.21 MIH Services in Vehicular Networks", Vehicular Technology, IEEE Transactions on Volume 56, Issue 6, Part 1, Nov. 2007, p. 3397 - 3407.
- [27] P. Soo; Y. Kim, "Hierarchical Mobile IPv6 based fast vertical handover scheme for heterogeneous wireless networks", Communications and Information Technologies, 2007, p. 713 - 717.
- [28] S. Blake, "An Architecture for Differentiated Services", RFC 2475, December 1998.

- [29] R. Braden, D. Clark, S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview", RFC 1633, June 1994.
- [30] H. Chaskar, Ed., "Requirements of a Quality of Service (QoS) Solution for Mobile IP", RFC 3583, September 2003.
- [31] A. O. da Silva, L. F. G. Soares, S. Colcher, "Aprimoramentos no RSVP para o Mobile IPv6", Monografia, Pontifícia Universidade Católica, Departamento de Informática, November 2007.