

## **(HMIPv6-BI) PROPUESTA DE MODIFICACIÓN AL PROTOCOLO HMIPv6 PARA MEJORAR EL ANCHO DE BANDA EN EL CANAL RADIO<sup>1</sup>**

**Line Yasmin Becerra Sánchez**

Magíster en Ingeniería Área de Telecomunicaciones  
Especialista en Telecomunicaciones

Ingeniera Electrónica

Docente Investigadora Universidad Católica Popular del Risaralda

Grupo de Investigación TICS

[Line.becerra@ucpr.edu.co](mailto:Line.becerra@ucpr.edu.co)

**Jhon Jairo Padilla Aguilar**

PhD en Telemática

MSc en Ingeniería Área de Telecomunicaciones

XXXXXXXXXX

Docente Investigadora Universidad Pontificia Bolivariana Sede Bucaramanga

Grupo de Investigación GITEL

[Jhon.padilla@upbbga.edu.co](mailto:Jhon.padilla@upbbga.edu.co)

Recibido Marzo 10 de 2009 / Aceptado Mayo 30 de 2009

### **SÍNTESIS**

En este artículo se exponen los resultados del análisis realizado a una propuesta de modificación al protocolo Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) denominada HMIPv6-BI. La propuesta de modificación HMIPv6-BI tiene como objetivo principal reducir la utilización del ancho de banda en el radio enlace entre el router de acceso (AR) y el nodo móvil (MN). En HMIPv6 se establece un túnel desde el MAP hasta el MN, provocando que las cabeceras del túnel viajen por la interfaz aire y que se requiera una mayor utilización del canal. Con HMIPv6-BI se mejora esta situación, el análisis de HMIPv6-BI muestra resultados favorables, cuando se compara con la aproximación estándar HMIPv6, mediante modelos analíticos y simulaciones con NS-2<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Producto derivado del proyecto de grado "(HMIPv6-BI) Una Propuesta de Modificación al Protocolo HMIPv6 para Mejorar el Ancho de Banda en el Canal Radio". Maestría en Ingeniería – énfasis Telecomunicaciones. Universidad Pontificia Bolivariana (Medellín). Director PhD. Jhon Jairo Padilla Aguilar.

<sup>2</sup> Este trabajo fue soportado por la ERDF y el gobierno de España a través del proyecto TIC2006-04504.

**Descriptores:** IPv6 Móvil Jerárquico, traspaso, tunelización.

## **ABSTRACT**

In this article the obtained results of the analysis carried out to a modification proposal to the Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) protocol named HMIPv6-BI are exposed. The goal of HMIPv6-BI is to reduce the bandwidth usage of the radio link between the access router (AR) and the mobile node (MN). In HMIPv6 a tunnel is established between the mobility anchor point (MAP) and the MN, causing that the headers of the tunnel travel over the wireless interface and a major usage of the channel is required. HMIPv6-BI improves this situation, the analysis of HMIPv6-BI shows favorable results, when it is compared to the standard approach HMIPv6, by analytic models and NS-2 simulations.

**Descriptors:** Hierarchical Mobile IPv6, handover (transfer), tunneling.

## **1. INTRODUCCION**

Las redes de próxima generación trabajarán bajo el protocolo IPv6 (Deering S. y Hiden, R. 1998, 40 p.). Para gestionar la movilidad existen dos protocolos MIPv6 (Perkins, C. y Jhonson, D. 2004, 100p.) y HMIPv6 (Castellucia, C. y Soliman, H. 2005, 18 p.), los cuales son las soluciones más aceptadas para resolver los problemas de macro y micro movilidad respectivamente. En la actualidad el protocolo HMIPv6 (Castellucia, C. y Soliman, H. 2005, 18 p.), está siendo foco de investigaciones que buscan mejorar sus características de tal manera que las comunicaciones móviles puedan proveer beneficios con respecto a la disminución en la latencia del handover y un mejoramiento en la calidad del servicio para las conexiones a Internet. Por ejemplo, en (Taewan, Y., Sangheon, P. & Yanghee, C. 2003, 5 p.) se propone un mecanismo robusto para Hierarchical Mobile IPv6, el cual, mediante un ambiente distribuido de MAPs, proporciona un mejoramiento en cuanto a la disponibilidad y desempeño de redes móviles cuando se detecta una falla.

Otra propuesta en (Chan Lee, Y., Jumari, K & Ismail, M. 2005) realiza el análisis de QoS (calidad de servicio) en redes HMIPv6 para la transmisión de video. En (Hanh, R., Soong, H. & Ryu, J. 2007, 4 p.), se propone una mejora para el protocolo Fast Handover en redes que trabajen con el protocolo Hierarchical Mobile IPv6, la cual reduce significativamente el retardo que se produce en el procedimiento del Handover original y el tiempo de interrupción de la conexión del Nodo Móvil durante el Handover. En (Walhlisch, M. y Schmidt, T. 2003) se extiende Hierarchical Mobile IPv6 para soportar receptores y fuentes multicast. Otra propuesta se encuentra descrita en (Lei, L., 2005, 126 p.), y propone un multicast explícito llamado (Xcast), para mejorar las deficiencias de Mobile IP (v4 y v6). Xcast es aplicado a redes HMIPv6 para alcanzar un reenrutamiento eficiente durante el Handover. En (Helmy, A., 2000, 9 p.) y (Helmy, A., Jassemuddin, M. & Bhaskara G. 2004, 13 p.), se propone un esquema, en el cual, el enrutamiento multicast es aplicado hacia el envío de paquetes de datos desde el Nodo Correspondiente hacia nodos móviles IPv6.

Por otra parte, este artículo se enfoca en el protocolo HMIPv6, para el cual, se propone una modificación, denominada HMIPv6-BI (HMIPv6 with Bandwidth Improvement) cuya ventaja principal, es proporcionar un ahorro en el ancho de banda utilizado en la interfaz aire. En el análisis se evalúa el ancho de banda en el canal radio, el tiempo de procesamiento y la latencia del handover para ambos protocolos HMIPv6 y HMIPv6-BI.

Este artículo hace parte de los resultados obtenidos del trabajo de grado de maestría en (Becerra Sánchez, L. Y. 2008, 113p) y está organizado así: en la sección dos se explica el funcionamiento del protocolo HMIPv6, en la sección tres se describe la propuesta de modificación HMIPv6-BI, en la sección cuatro se evalúa el ancho de banda del canal radio en HMIPv6-BI, en la sección cinco se examina el tiempo de procesamiento de los paquetes para HMIPv6-BI, en la sección seis se analiza la latencia del Handover en HMIPv6-BI, en la

sección siete se hace la evaluación de resultados, en la sección ocho las conclusiones y trabajos futuros y en la sección nueve se dan las referencias bibliográficas.

## 2. PROTOCOLO HMIPv6

El protocolo Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) (Castellucia, C. & Soliman, H. 2005, 18 p.) es una extensión del protocolo Mobile IPv6 (MIPv6)(Perkins, C. & Jhonson, D. 2004, 100p.), cuyo objetivo busca solucionar los problemas de micromovilidad, reduciendo la carga de señalización y por tanto, la latencia del Handover y la pérdida de paquetes. Para este propósito, HMIPv6 permite una estructura de red jerárquica que facilita la gestión de movilidad por medio de la introducción de un nuevo nodo de red llamado MAP (Mobility Anchor Point). El MAP es el encargado de gestionar la movilidad del MN (Mobile Node). Por tanto, todo paquete enviado desde el CN (Correspondent Node) hacia el MN es interceptado por el MAP y tunelizado hacia la nueva ubicación identificada con la nLCoA (New Local Care-of address) del MN. De igual forma, si el MN envía información hacia un CN, la información enviada es tunelizada por el MN hacia el MAP. El MAP se encarga de retirar la cabecera del túnel y reenviar la información original hacia el CN. El mecanismo de tunelización utilizado en HMIPv6 está descrito en la especificación RFC2473 (Conta A. & Deering, S., 1998, 36 p.). En la figura 1, se muestra la arquitectura sencilla de una red que trabaja con HMIPv6.

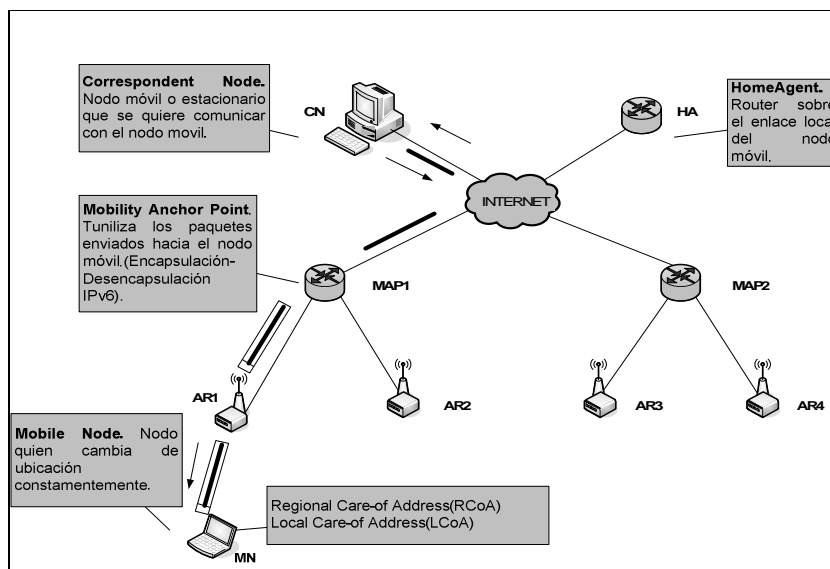


Figura 1. Arquitectura de red HMIPv6.

La tunelización IPv6 es una técnica para establecer un enlace entre dos nodos IPv6 por medio de encapsulamiento IPv6 (Conta A. & Deering, S., 1998, 36 p.). Los dos nodos juegan un papel específico, un nodo tuneliza los paquetes recibidos (encapsulamiento IPv6) y el otro nodo desencapsula los paquetes y los envía a su destino, tal como aparece en la figura 2. El nodo encapsulador es llamado Punto de Entrada al Túnel, y es la fuente de los paquetes tunelizados. El nodo desencapsulador es llamado Punto de Salida del Túnel, y es el destino de los paquetes tunelizados.

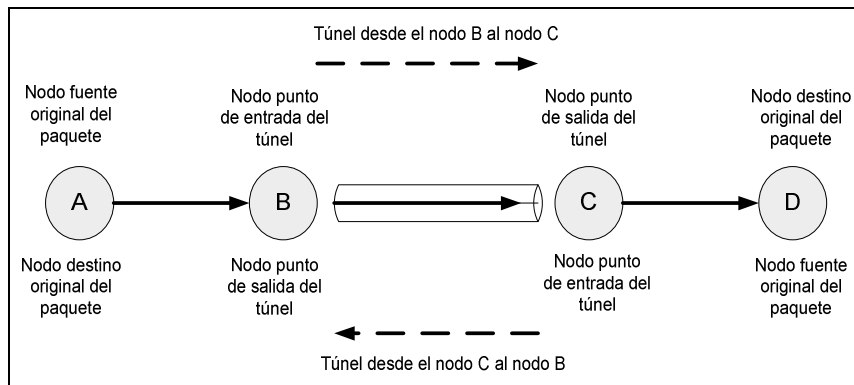


Figura 2. Tunelización de paquetes.

### 3. PROPUESTA DE MODIFICACION HMIPv6-BI

En HMIPv6, el túnel establecido entre el MAP y el MN provoca que un número adicional de bytes viajen por el canal radio, necesitándose más ancho de banda que si los paquetes viajaran en su forma original. Con HMIPv6-BI, lo que se propone es que el túnel llegue solo hasta el Router de Acceso (AR), al cual se encuentra conectado el MN, en lugar de llegar hasta el MN como lo hace el protocolo HMIPv6 (Castellucia, C. y Soliman, H., 2005, 18 p.).

En la figura 3, se muestra el túnel realizado entre el MAP y el MN para el caso del protocolo HMIPv6 y el túnel entre el MAP y el Router de Acceso AR1 (túnel recortado) para el caso del protocolo modificado HMIPv6-BI.

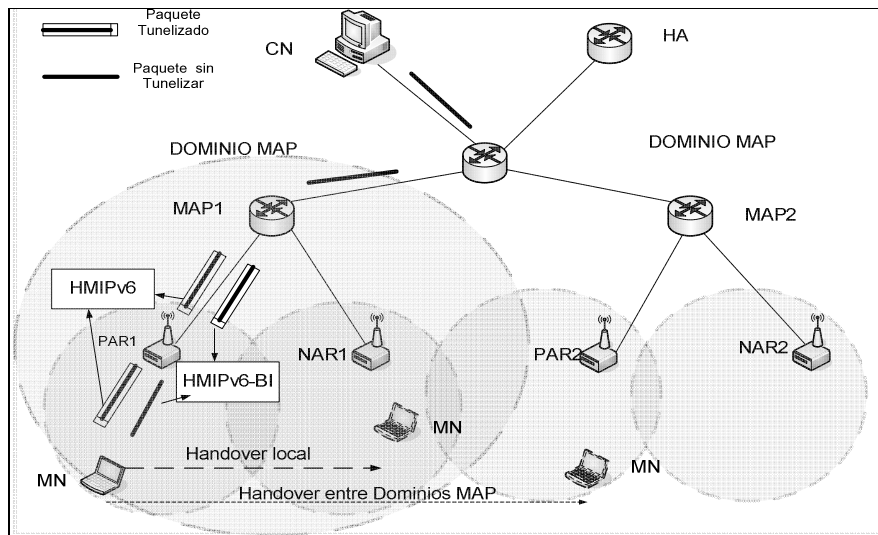


Fig. 3. Arquitectura de red con HMIPv6 y HMIPv6-BI.

La modificación sugiere cambiar la dirección del punto de salida del túnel o nodo desencapsulador, de tal manera que las cabeceras del túnel no viajen por el canal radio proporcionando una reducción en la carga de tráfico y por tanto un manejo más eficiente del canal. Con esta modificación además de reducir el ancho de banda del canal radio, permite el uso del protocolo Fast Handover (Koodli, R. 2005, 33 p.), para realizar traspasos anticipados al igual que en HMIPv6.

#### 4. REDUCCION DEL ANCHO DE BANDA DEL CANAL RADIO CON HMIPv6-BI

La evaluación del ancho de banda en el canal radio para HMIPv6 y HMIPv6-BI, se obtiene a partir del análisis de la cantidad de bytes que viajan por el canal radio en cada protocolo, en una comunicación normal entre el CN y MN.

En HMIPv6, cuando se realiza una transmisión de paquetes desde el CN al MN, se establece un túnel IPv6 bi-direccional (compuesto por dos túneles unidireccionales) entre el MAP y el

MN mediante encapsulamiento IPv6 (Conta, A. & Deering, S. 1998, 36 p.). Esto es debido a que el MAP es el encargado de gestionar la movilidad del MN y es el único que conoce su LCoA (Local Care of Address) cada vez que ocurre un cambio de ubicación.

El encapsulamiento IPv6 se refiere a que al paquete original proveniente del CN se le agrega una cabecera IPv6. De esta manera el MAP puede redireccionar el paquete a la nueva LCoA del MN. En la figura 4, se muestran las cabeceras del túnel IPv6 formadas por el MAP con destino al MN. Este proceso implica un aumento en la cantidad de bytes que debe viajar por el canal radio con respecto al paquete original para que éste pueda llegar a su destino. Por tanto, la cantidad total de bytes por paquete que viajan por el canal radio para el protocolo HMIPv6 ( $NB_{HMIPv6}$ ), está expresada por:

$$NB_{HMIPv6} = C_{TUNEL} + C_{IPv6} + C_{MAC} + D \quad (1)$$

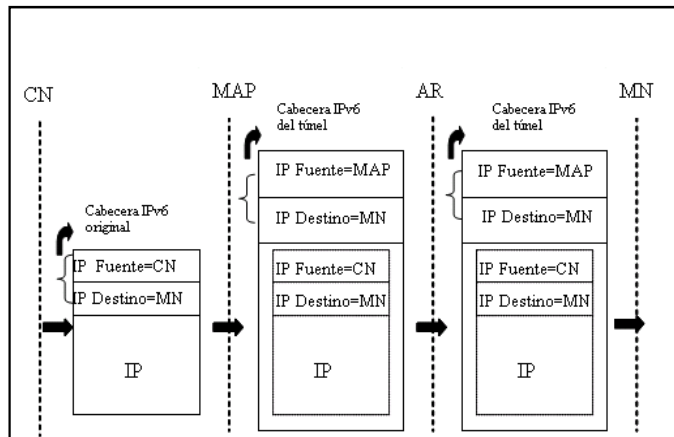


Fig. 4. Encapsulamiento IPv6 para HMIPv6.

Donde  $D$  es la carga útil del paquete original. ( $C_{MAC}$ ), ( $C_{IPv6}$ ) y ( $C_{TUNEL}$ ) se refiere a la cantidad de bytes de las cabeceras MAC, IPv6 y del Túnel (encapsulamiento IPv6) respectivamente. El número de bytes agregados por el encapsulamiento IPv6, ( $C_{TUNEL}$ ), está determinado por el número de bytes de la cabecera externa IPv6 ( $C_{IPv6}$ ) y el número bytes de una cabecera de extensión ( $C_{EXT}$ ), que es opcional. Por tanto, la expresión es:

$$C_{TUNEL} = C_{IPv6} + C_{EXT} \quad (2)$$

Entonces el número total de bytes para HMIPv6 queda expresado por:

$$NB_{HMIPv6} = 2C_{IPv6} + C_{EXT} + C_{MAC} + D \quad (3)$$

Para el protocolo HMIPv6-BI, los paquetes tunelizados llegan solo hasta el Router de Acceso al que se encuentra conectado el MN. En la figura 5, se muestra el proceso de transmisión de los paquetes desde el CN hasta el MN para el protocolo HMIPv6-BI. El MAP intercepta el paquete y lo re-envía mediante un túnel IPv6, donde el Punto de Entrada del Túnel es la dirección del MAP y el Punto de Salida del Túnel es el Router de Acceso por defecto del MN. Por tanto el número total de bytes que viajan por el canal radio por paquete para HMIPv6-BI es expresado como:

$$NB_{HMIPv6-BI} = C_{IPv6} + C_{MAC} + D \quad (4)$$

Adicionalmente, con la longitud de los paquetes se puede calcular el BW utilizado por estos, conociendo su velocidad de transmisión de datos en paquetes por segundo, representada por R. Entonces el ancho de banda para los protocolos HMIPv6 y HMIPv6-BI en Mbps, se calcula como:

$$BW_{HMIPv6} = (R * NB_{HMIPv6} * 8) / 1000000 \quad (5)$$

$$BW_{HMIPv6-BI} = (R * NB_{HMIPv6-BI} * 8) / 1000000 \quad (6)$$

Reemplazando (3) en (5) y (4) en (6), las expresiones quedan:

$$BW_{HMIPv6} = \left[ \frac{R * (2C_{IPv6} + C_{EXT} + C_{MAC} + D) * 8}{1000000} \right] \quad (7)$$

$$BW_{HMIPv6-BI} = \left[ \frac{R * (C_{IPv6} + C_{MAC} + D) * 8}{1000000} \right] \quad (8)$$



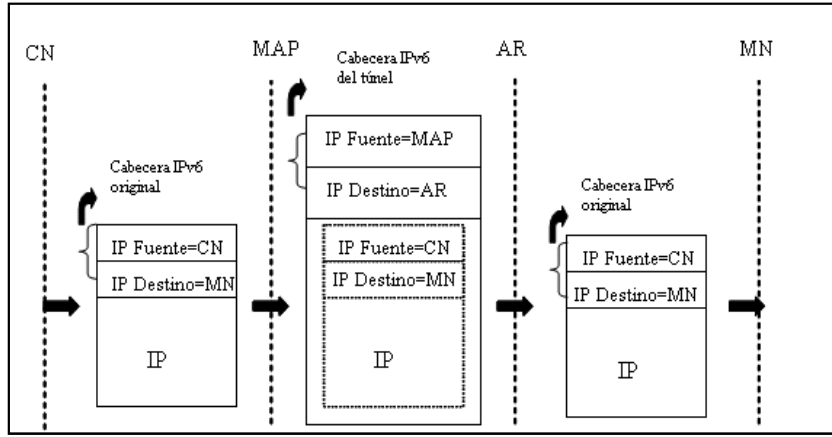


Fig. 5. Encapsulamiento IPv6 para HMIPv6-BI.

Por tanto, comparando las expresiones (7) y (8) se puede observar que para el protocolo HMIPv6 se requiere de un mayor ancho de banda con respecto a HMIPv6-BI. Esto se debe a la cantidad de bytes de las cabeceras ( $C_{IPv6}$ ) y ( $C_{EXT}$ ) pertenecientes al encapsulamiento IPv6. Es decir, de lo anterior se concluye que:

$$BW_{HMIPv6} > BW_{HMIPv6-BI} \quad (9)$$

## 5. TIEMPO DE PROCESAMIENTO DE LOS PAQUETES EN HMIPv6-BI

En el análisis del tiempo que tardan los paquetes en llegar a su destino para ambos protocolos HMIPv6 y HMIPv6-BI, se establece una diferencia que está determinada por el tiempo que gasta el paquete en atravesar el Router de Acceso. En HMIPv6 los paquetes pasan tunelizados por el Router de Acceso y este sólo los reenruta hacia el nodo móvil o hacia el MAP, dependiendo de la dirección de la comunicación, tal como aparece en la figura 6. De acuerdo con esto, el tiempo que gasta un paquete en atravesar el Router de Acceso en el caso del protocolo HMIPv6 ( $Tr_{HMIPv6}$ ) se puede aproximar como el cociente entre la longitud total del paquete ( $L$ ) y la velocidad del enlace ( $R$ ). Esto aplica para las dos direcciones de la comunicación (CN-MN o MN-CN). Por tanto, la expresión es:

$$Tr_{HMIPv6} = \frac{L}{R} \quad (10)$$

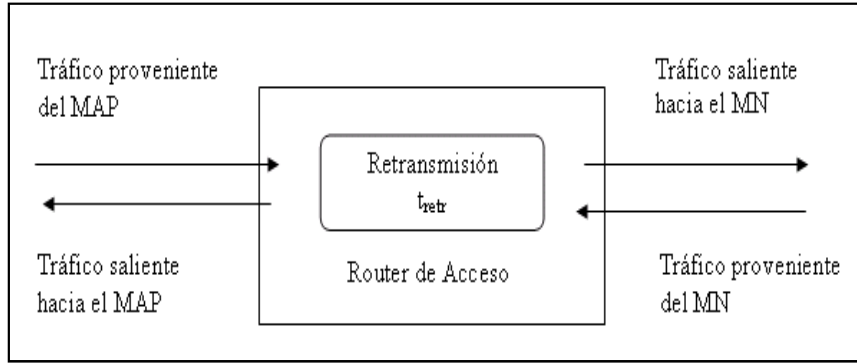


Figura 6. Router de acceso para HMIPv6.

De otra parte, para el protocolo HMIPv6-BI, se agregan dos nuevas funciones que son: el desencapsulamiento de los paquetes tunelizados para el caso de una comunicación desde el CN hacia el MN y el encapsulamiento o establecimiento del túnel, para el caso de una comunicación desde el MN hacia el CN. Para esto, se hace necesario agregar una tabla al Router de Acceso que contenga los nodos móviles activos en su cobertura, de tal manera que éste pueda establecer si realiza los procesos de desencapsulamiento o encapsulamiento. Entonces, el tiempo de servicio del Router de Acceso para una comunicación desde el CN hacia el MN, estaría definido por el tiempo de desencapsulamiento ( $t_{des}$ ), el tiempo de verificación de nodos móviles activos en su cobertura ( $t_{ver}$ ), y el tiempo de retransmisión, tal como se muestra en la figura 7. La expresión es:

$$Tr_{HMIPv6-BI} = t_{des} + t_{ver} + t_{retr} \quad (11)$$

Por otro lado, cuando se establece una comunicación entre el MN y CN, el MN envía los paquetes y el Router de Acceso los encapsula ( $t_{enc}$ ), y los envía hacia el MAP, tal como se muestra en la figura 7. En consecuencia la expresión es:

$$Tr_{HMIPv6-BI} = t_{enc} + t_{retr} \quad (12)$$

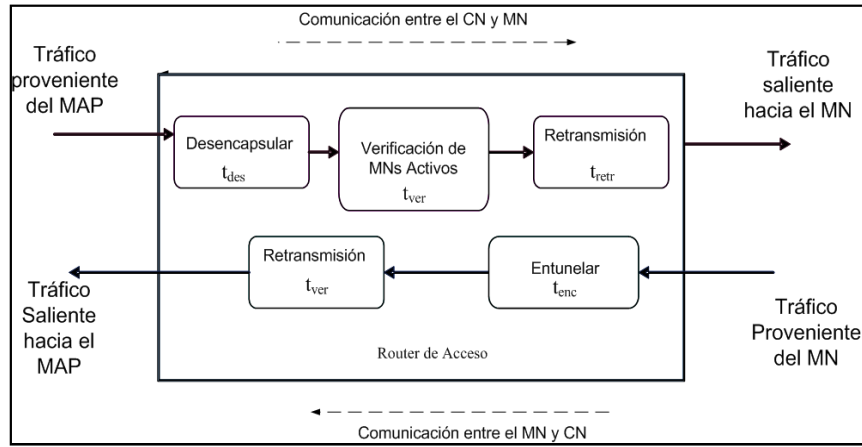


Fig. 7. Router de acceso para HMIPv6-BI para la comunicación entre el CN y el MN.

El análisis de los tiempos gastados en cada una de las funciones que realiza el Router de Acceso en los procesamiento de los paquetes IPv6, para los dos protocolos HMIPv6 y HMIPv6-BI, se hace teniendo en cuenta el número de accesos a memoria requeridos para ejecutar cada una de dichas funciones. Esta metodología es similar a la usada en (Hardekopf, B. & Jasleen, K. 2002, 28p.), (kaur, J. 2002), y (Padilla, J., Paradells, J., Huertas, Mónica & Hesselbach, X. 2005, 6p.), donde se trabaja sobre el contexto de routers programables basados en procesadores Intel IXP1200 (Intel, 2001, 272p.). Por tanto, el tiempo de desencapsulamiento ( $t_{des}$ ), está definido por el número de accesos a memoria ( $N_{AD}$ ), multiplicado por el tiempo de acceso promedio para acceder la memoria DRAM ( $L_{SDRAM}$ ), la expresión es:

$$t_{des} = N_{AD} * L_{SDRAM} \quad (13)$$

Así, el tiempo de encapsulamiento (teniendo en cuenta la misma metodología) es:

$$t_{ent} = N_{AE} * L_{SDRAM} \quad (14)$$

Donde,  $N_{AE}$  es el número de accesos a memoria para el encapsulamiento.

De otra parte, el tiempo de verificación de nodos móviles ( $t_{ver}$ ), se obtiene considerando una tabla con máximo 30 entradas, número máximo de nodos móviles que un Router de Acceso podría servir en su cobertura. Suponiendo que el acceso a la tabla se hace por medio de comparaciones sucesivas lo que se conoce como “matching”, al igual que en (Padilla, J.,

Paradells, J. & Rodriguez A. 2006, 5p.) y (Padilla, J. & Paradells, J. 2007, 18 p.). La expresión finalmente queda:

$$t_{ver} = N_{pA} * L_{SDRAM} \quad (15)$$

Donde,  $N_{pA}$  es el número de accesos a memoria promedio para buscar en la tabla el nodo móvil activo. Finalmente, reemplazando (8), (13) y (15) en (11), el tiempo que tarda un paquete IPv6 en atravesar el Router de Acceso para el protocolo HMIPv6-BI, en una comunicación CN-MN se puede expresar como:

$$Tr_{HMIPv6-BI} = (N_{AD} * L_{SDRAM}) + (N_{PA} * L_{SDRAM}) + \left(\frac{L}{R}\right) \quad (16)$$

Y reemplazando (8) y (14) en (12), el tiempo que tarda un paquete IPv6 en atravesar el Router de Acceso para una comunicación entre el MN y CN la expresión final es:

$$Tr_{HMIPv6-BI} = (N_{AE} * L_{SDRAM}) + \frac{L}{R} \quad (17)$$

En la tabla 1, se muestran los números de accesos a memoria calculados según la metodología especificada anteriormente para cada dirección de comunicación entre el CN y MN. El análisis nos muestra que existe un tiempo adicional requerido para el procesamiento de los paquetes en el protocolo HMIPv6-BI, con respecto al protocolo HMIPv6. Este tiempo se puede apreciar al comparar las expresiones (10) y (17).

Tabla 1. Número de accesos a memoria SDRAM para los tiempos de desencapsulamiento, encapsulamiento y verificación de nodos móviles.

| Dlr. Com | N <sub>AD</sub> | N <sub>AE</sub> | N <sub>pA</sub> |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| CN-MN    | 21              | --              | 30              |
| MN-CN    | --              | 24              | --              |

## 6. LATENCIA DEL HANDOVER EN HMIPv6-BI

Existen dos tipos de handover o traspaso para redes que trabajen con HMIPv6, el Handover Local y el Handover entre Dominios (ver Fig. 3). El Handover Local se refiere al traspaso de una subred a otra en un mismo dominio MAP (Zona de cobertura del MAP) y el Handover entre Dominios es cuando el MN se mueve hacia otra subred correspondiente a un Dominio MAP diferente. Para el Handover local existe un protocolo asociado a MIPv6(Perkins, C. & Jhonson, D. 2004, 100p.), y por tanto al protocolo HMIPv6, llamado Fast handover cuyas especificaciones están descritas en (Castellucia, C. & Soliman, H. 2005, 18 p.) y en (Koodli, R. 2005, 33 p.), respectivamente. El protocolo Fast Handover permite realizar handovers anticipados y reducir la latencia del handover. Para el Handover entre Dominios aún no se ha estandarizado el uso de Fast Handover, por lo tanto se hace como se especifica en (Castellucia, C. & Soliman, H. 2005, 18 p.)

Con la modificación en el mecanismo de tunelización de los paquetes de la propuesta HMIPv6-BI, la latencia del handover no se ve afectada. Para el caso de un Handover Local, los estados para su ejecución se muestran en la figura 8. Por tanto, el tiempo para un Handover Local  $t_{lho}$  para HMIPv6 y HMIPv6-BI se puede expresar por:

$$t_{lho} = t_{L2} + t_{FBU} + t_{vLCoA} + t_{FBACK} \quad (18)$$

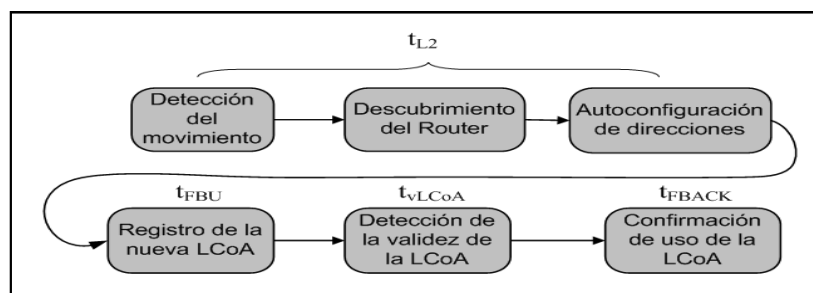


Fig. 8. Estados del proceso del Handover Local.

Donde  $t_{L2}$  es el tiempo de handover de capa 2, ( $t_{FBU}$ ) es el tiempo de actualización de la nueva LCoA, ( $t_{vLCoA}$ ) es el tiempo de verificación de la validez de la LCoA y ( $t_{FBACK}$ ) es el tiempo de confirmación de la validez de la LCoA. En la figura 9, se muestra el diagrama de

mensajes y datos en un Handover Local para los dos protocolos HMIPv6 y HMIPv6-BI en combinación con el protocolo Fast Handover (Koodli, R. 2005, 33 p.).

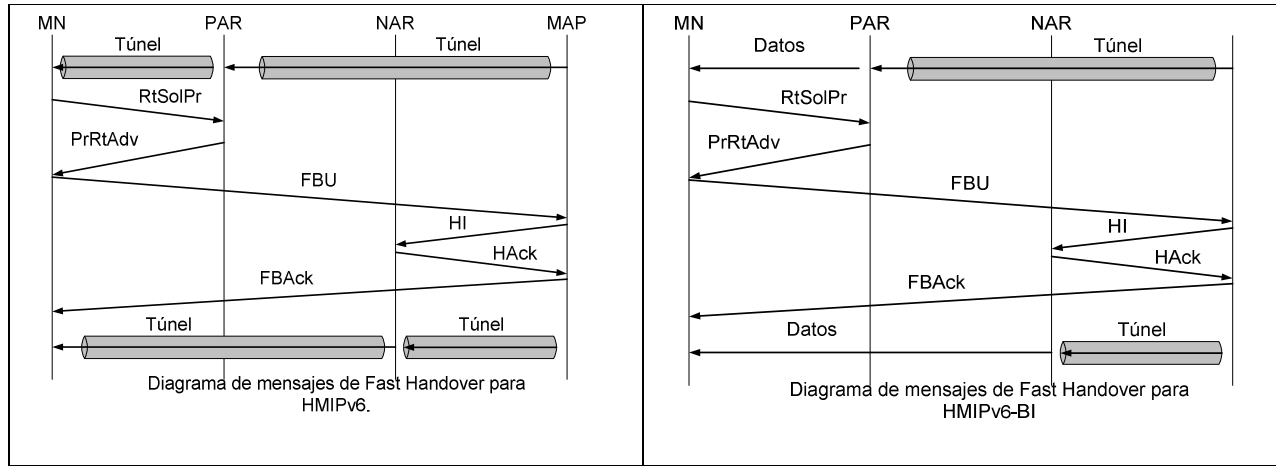


Figura 9. Handover Local con Fast Handover para HMIPv6 y HMIPv6-BI.

El proceso para el handover entre dominios se muestra en la figura 10. Por tanto, el tiempo de handover entre Dominios ( $t_{hMAPs}$ ) para los dos protocolos HMIPv6 y HMIPv6-BI, queda expresado por:

$$t_{hMAPs} = t_{L2} + t_{RCoA-LCoA} + t_{LBU-BACK} + t_{GBU} \quad (19)$$

Donde  $t_{L2}$  es el tiempo de handover de capa 2, ( $t_{RCoA-LCoA}$ ) es el tiempo de autoconfiguración de la RCoA y LCoA, ( $t_{LBU}$ ) es el tiempo de registro de la LCoA, ( $t_{GBU}$ ) es el tiempo de actualización del nodo correspondiente.

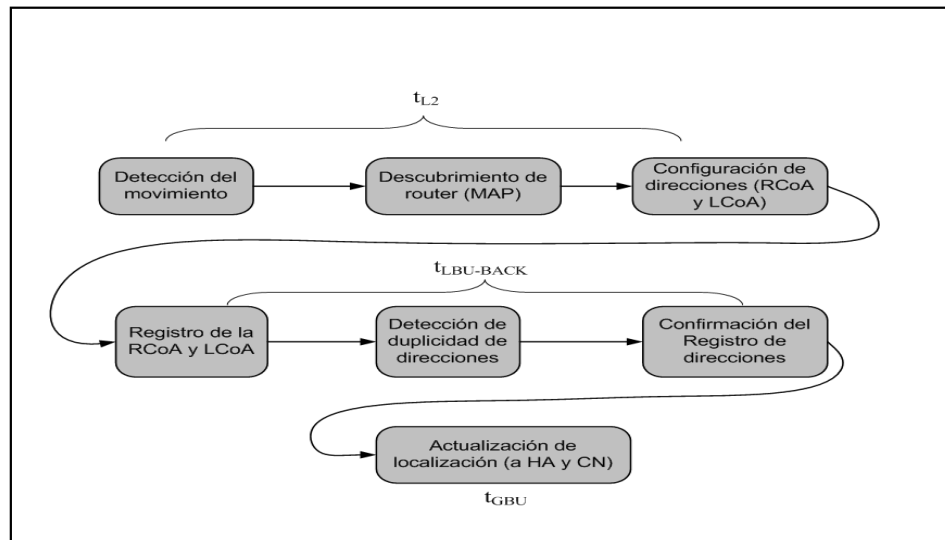


Fig. 10. Estados del proceso del Handover entre Dominios.

En la figura 11, se muestra el diagrama de mensajes y datos para el Handover entre Dominios para los dos protocolos HMIPv6 y HMIPv6-BI.

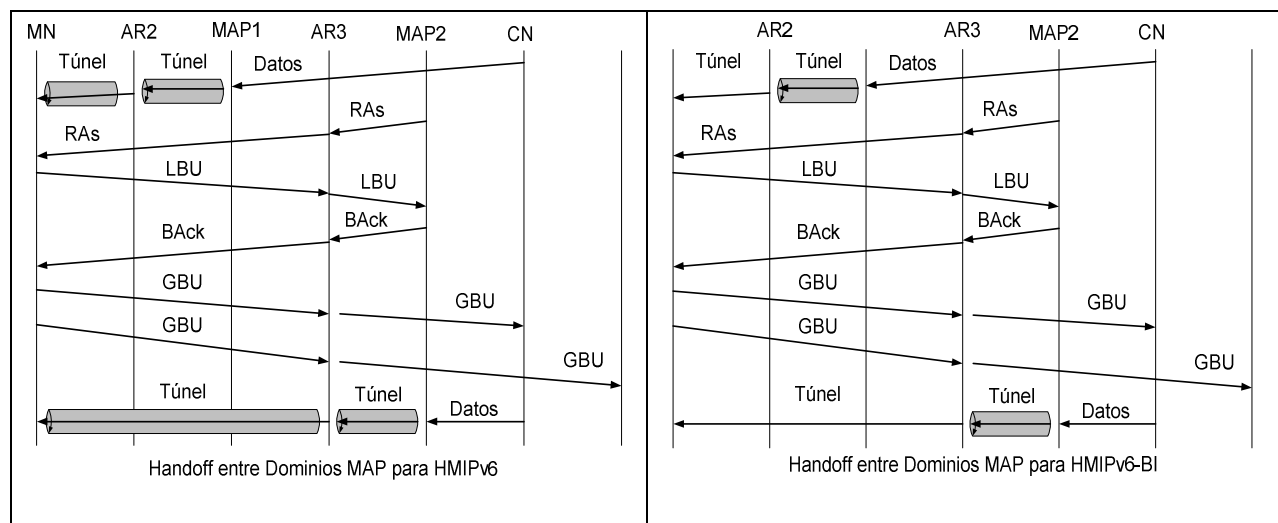


Figura 11. Handover entre Dominios MAP para HMIPv6 y HMIPv6-BI.

## 7. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

En esta sección se mostrarán las tablas de resultados con respecto a los modelos matemáticos obtenidos en las secciones anteriores y los resultados de algunas simulaciones.

**A. Ancho de banda del canal radio:** en la tabla 2, se muestra el cálculo del ancho de banda para HMIPv6 y HMIPv6-BI a partir de las ecuaciones (7) y (8). Se asume una longitud de la carga útil de los paquetes (D) de 1500bytes y una velocidad de 50 paquetes por segundos.

Tabla 2. Ancho de Banda para HMIPv6 y HMIPv6-BI en el Canal Radio.

| Protocolo | R(paq/seg) | B(Bytes) | BW (Kbps) |
|-----------|------------|----------|-----------|
| HMIPv6    | 50         | 1638     | 655.2     |
| HMIPv6-BI | 50         | 1574     | 629.6     |

En la tabla 3, se muestran los resultados de la simulación en NS-2 para el ancho de banda del canal radio, con un tipo de tráfico CBR, con un intervalo entre paquetes de 0.05seg, un enlace inalámbrico de 11Mbps, un tamaño de paquete de 1500 bytes y para una arquitectura de red sencilla como la que se muestra en la figura 12.

Tabla 3. Ancho de Banda del Canal Radio.

| Protocolo | BW(Kbps) |
|-----------|----------|
| HMIPv6    | 262.08   |
| HMIPv6-BI | 281.54   |

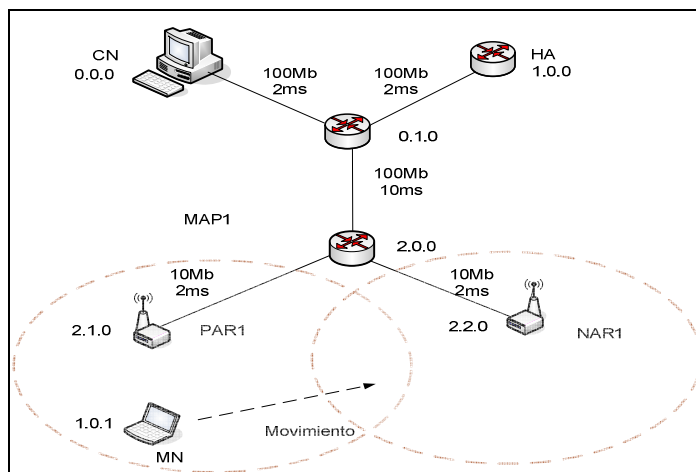


Figura 12. Topología para la simulación del ancho de banda del canal radio mediante NS-2.

Los resultados obtenidos mediante los modelos analíticos y la simulación en NS-2 con respecto al ancho de banda en el enlace inalámbrico entre el AR y MN, muestran un ahorro



significativo en el ancho de banda para el protocolo HMIPv6-BI con respecto al protocolo HMIPv6.

**B. Tiempo de Procesamiento de los paquetes:** en la tabla 4, se puede apreciar que existe un retardo más alto para el protocolo HMIPv6-BI que para el HMIPv6 estándar, debido a los tiempos de encapsulamiento, desencapsulamiento y verificación en la tabla de nodos móviles activos. Sin embargo, esta diferencia no es significativa, si se tiene en cuenta que para el protocolo HMIPv6, el MN debe desencapsular los paquetes y esto requiere un tiempo adicional que dependería de la tecnología usada en el MN. De otra parte, esta operación desencapsulamiento no se realiza en el MN para HMIPv6-BI.

Tabla 4. Tiempos de procesamiento del Router de Acceso para los dos protocolos HMIPv6 y HMIPv6-BI.

| Protocolo | Dir-comun | $t_{ent}(\mu s)$ | $t_{des}(\mu s)$ | $t_{ver}(\mu s)$ | $t_{retr}(\mu s)$ | $Tr(\mu s)$ |
|-----------|-----------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------|
| HMIPv6    | MAP-MN    | -----            | -----            | -----            | 1134              | 1134.00     |
| HMIPv6-BI | MAP-MN    | -----            | 3.36             | 4.8              | 1155              | 1163.16     |
| HMIPv6    | MN-MAP    | -----            | -----            | -----            | 131               | 131.00      |
| HMIPv6-BI | MN-MAP    | 3.84             | -----            | -----            | 131               | 134.84      |

**C. Latencia del Handover:** en la tabla 5, se dan los resultados del tiempo de handover para los dos protocolos a partir de las ecuaciones (18) y (19). Se supone un tiempo de handover de capa 2 de 20ms, lo cual es un valor típico, la velocidad del enlace radio igual a 11Mbps, los enlaces MAP-AR igual a 100Mbps y los mensajes FBU, FBACK, HI, HACK de 64 bytes(Perkins, C. & Jhonson, D., 2004, 100p.), el retardo por la transmisión de los mensajes por cada enlace, sin tener en cuenta el retardo de los enlaces es como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Tiempo de handover para los protocolos HMIPv6 y HMIPv6-BI.

| Protocolo | Handover Local | Handover entre Dominios |
|-----------|----------------|-------------------------|
| HMIPv6    | 20.113ms       | 20.162ms                |
| HMIPv6-BI | 20.113ms       | 20.162ms                |

La tabla 5, muestra que durante las dos clases de handover no existe cambio o retardo adicional durante el proceso cuando se compara el protocolo estándar HMIPv6 y el modificado HMIPv6-BI.

## **8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

En este artículo se propuso una modificación al protocolo HMIPv6, denominada HMIPv6-BI. La propuesta HMIPv6-BI proporciona una mejora al comportamiento del protocolo HMIPv6 estándar, en lo que respecta al ancho de banda de la interfaz aire, por tanto, es una buena opción si lo que se desea es hacer un manejo más eficiente del canal radio para redes que trabajen bajo HMIPv6. Para el análisis de la modificación se evaluó el ancho de banda del canal radio para los dos protocolos, el original y el modificado, mediante modelos analíticos y simulaciones donde los resultados mostraron que la modificación ocasiona un ahorro en el ancho de banda utilizado en la interfaz aire. Además la modificación no produce cambios en los procesos de handover local ni en el handover entre dominios MAP.

Por otro lado, el análisis de HMIPv6-BI mostró un retardo adicional en el Router de Acceso debido a las funciones de encapsulamiento y desencapsulamiento, el cual, no trae consecuencias significativas si se piensa en que la tecnología de routers de la siguiente generación trabaja a grandes velocidades y con procesadores en paralelo. Además este retardo puede ser comparable con el tiempo que gasta el MN en desencapsular los paquetes recibidos antes de procesarlos para el caso del protocolo HMIPv6.

Un trabajo futuro puede ser la evaluación del protocolo HMIPv6-BI con otra propuesta denominada Intserv6 (J. Padilla and J. Paradells, 2007 #43), para la gestión de reservas dentro de túneles y el transporte de varios flujos dentro de un mismo túnel. Mientras que otra línea futura es el análisis de seguridad en redes que trabajen con HMIPv6-BI.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Becerra, Sánchez, L. Y. (2008). *Evaluación de una Propuesta de Modificación al Protocolo Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) en la tunelización (tunneling) de información*. Tesis de Maestría. Universidad Pontificia Bolivariana- Medellín, 113p.
- Castellucia, C. & Soliman, H. (2005). *Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)*. IETF, RFC4140, 18 p.
- Chan Lee, Y., Jumari, K. & Ismail, M. (2005). *An Analysis of the Handover for Hierarchical Mobile IPv6*. IEEE 7th Malaysia International Conference on Communications.
- Conta A. & Deering, S. (1998). *Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification*. IETF, RFC2473, 36 p.
- Deering S. & Hiden, R. (1998). *Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification*. IETF, RFC2460, 40 p.
- Hanh, R., Soong, H. & Ryu, J. (2007). *A Modification for Fast Handover in Hierarchical Mobile IPv6*. *Advanced Communication Technology*, The 9th International Conference, 4 p.
- Hardekopf, B. & Jasleen, K. (2002). *Impact of Network Protocols on Programmable Router Architectures*. Thesis Report, 28p.
- Helmy, A. (2000). *A Multicast-based Protocol for IP Mobility Support*. ACM SIGCOMM 2nd International Workshop on Networked Group Communications, 9 p.
- Helmy, A., Jassemuddin, M. & Bhaskara G. (2004). *"Multicast-based Mobility: A Novel Architecture for Efficient Micro-Mobility."* IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC), Special Issue on All-IP Wireless Networks, 13 p.
- Intel. (2001). *Intel IXP1200 Network Processor Family*. Manual, 272p.
- kaur, J. (2002). *Scalable Network Architectures for Providing Peer-flow Service Guarantees*. PhD thesis, Department of Computer Sciences, University of Texas at Austin.
- Koodli, R. (2005). *Fast Handovers for Mobile IPv6*. IETF, RFC4068, 33 p.
- Lei, L. (2005). *Fast Handover Using Explicit Multicast for IPv6-based Wireless LAN Networks*. Thesis, Department of Informatics, School of Multidisciplinary Sciences, the Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), 126 p.
- Padilla, J. & Paradells, J. (2007). *Intserv6: An approach to support QoS over IPv6 wired and wireless networks*. EUROPEAN TRANSACTIONS ON TELECOMUNICATIONS, 18 p.

- Padilla, J., Paradells, J., Huertas, Mónica & Hesselbach, X. (2005). *IntServ6: An Approach to Support QoS over IPv6 Networks*. Proceedings of the 10th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2005) IEEE, 6p.
- Padilla, J.; Paradells, J. & Rodriguez A. (2006). *Supporting QoS over IPv6 wireless networks with Intserv6*. The 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC06), 5p.
- Perkins, C. & Johnson, D. (2004). *Mobility Support IPv6*. IETF, RFC3775, 100p.
- Taewan, Y., Sangheon, P. & Yanghee, C. (2003). *Robust Hierarchical Mobile IPv6 (RH-MIPv6)*. Brain Korea 21 project of Ministry of Education and National Research Laboratory project of Ministry of Science and Technology, 5 p.
- Walhlisch, M. & Schmidt, T. (2003). *Seamless Multicast Handover in a Hierarchical Mobile IPv6 Environment (M-HMIPv6)*. draft-schmidt-waehlisch-mhmipv6-00.txt,