

HMIPv6-BI: A Proposal to Improve the Bandwidth of the Radio Channel in HMIPv6 Networks

L. Becerra, J. Padilla and J. Paradells

Abstract— Our approach called HMIPv6-BI proposes a modification to the Hierarchical Mobile IPv6 protocol in order to reduce the use of bandwidth in the radio link between AR and MN. HMIPv6 establishing a tunnel between MAP and MN, which leads to tunnel headers traveling by air interface, leading to greater use of the channel. With HMIPv6-BI improves the situation. In addition to significantly reducing the bandwidth of the radio channel, HMIPv6-BI allows the use of multicast tunnels to reduce the handover latency. The HMIPv6-BI analysis shows favorable results, when is compared with the standard approach. These results are compared with NS-2 simulations.

Keywords— Hierarchical Mobile IPv6, HMIPv6, Handover, Multicast Tunneling.

I. INTRODUCCIÓN

LAS REDES de próxima generación trabajarán bajo el protocolo IPv6[1]. Para gestionar la movilidad existen dos protocolos MIPv6[2] y HMIPv6[3], los cuales son las soluciones más aceptadas para resolver los problemas de macro y micromovilidad respectivamente. En la actualidad el protocolo HMIPv6[3] 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 [4], 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 [5], realiza el análisis de QoS (calidad de servicio) en redes HMIPv6 para la transmisión de video. En [6], 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 [7], se extiende Hierarchical Mobile IPv6 para soportar receptores y fuentes multicast. Otra propuesta se encuentra descrita en [8], 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. Por otra parte en [9] y [10], 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. Y en [11], se hace la especificación y evaluación de un protocolo de micromovilidad IP basado en transmisión multicast.

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. Además se propone una metodología para el uso de Túneles Multicast, lo que proporciona una reducción en el tiempo de handover y por tanto en la pérdida de paquetes, toda esta información anterior se encuentra explicada en forma más detallada en [12]. El artículo está organizado así: En la sección II se explica la propuesta HMIPv6-BI, en la sección III se evalúa el ancho de banda del canal radio en HMIPv6-BI, en la sección IV se examina el tiempo de procesamiento de los paquetes en HMIPv6-BI, en la sección V se analiza la latencia del Handover en HMIPv6-BI, en la sección VI se propone y evalúa la latencia del Handover usando Túneles Multicast, en la sección VII se hace la evaluación de resultados y finalmente en las secciones VIII las conclusiones y trabajos futuros y en el IX se dan las referencias bibliográficas.

II. PROPUESTA HMIPv6-BI

El protocolo HMIPv6[3] es una extensión del protocolo MIPv6[2] con el objetivo de solucionar los problemas de micromovilidad, reduciendo la carga de señalización y por tanto, la latencia del Handover y 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

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

L. Becerra, Universidad Católica de Pereira, Pereira, Colombia
line.becerra@ucp.edu.co

J. Padilla, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia,
jhon.padilla@upb.edu.co

J. Paradells, Universidad Politécnica de Cataluña, España,
telipa@entel.upc.edu

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[13]. La tunelización IPv6 es una técnica para establecer un enlace entre dos nodos IPv6 por medio de encapsulamiento IPv6[13]. 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. 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 este es el destino de los paquetes tunelizados.

Con el túnel establecido entre el MAP y el MN en HMIPv6, existe un número adicional de bytes que viajan por el canal radio, necesiándose más ancho de banda que si los paquetes viajarán en su forma original. La propuesta HMIPv6-BI mejora esta situación, reduciendo considerablemente el ancho de banda necesario en dicho canal. La propuesta HMIPv6-BI, además de reducir el ancho de banda del canal radio, permite el uso del protocolo Fast Handover [14] para realizar traspasos anticipados al igual que en HMIPv6. HMIPv6-BI también incluye una solución para reducir la latencia del Handover mediante la utilización de Túneles Multicast a partir del mecanismo conocido como MRD (Multicast Router Discovery) descrito en la RFC4286 [15].

En la Fig. 1, se muestra una arquitectura de red sencilla que funciona bajo el protocolo HMIPv6 [3]. La propuesta HMIPv6-BI, se enfoca en el túnel que se establece entre el MAP y el MN. 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[3]. En la Fig. 1, 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. 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.

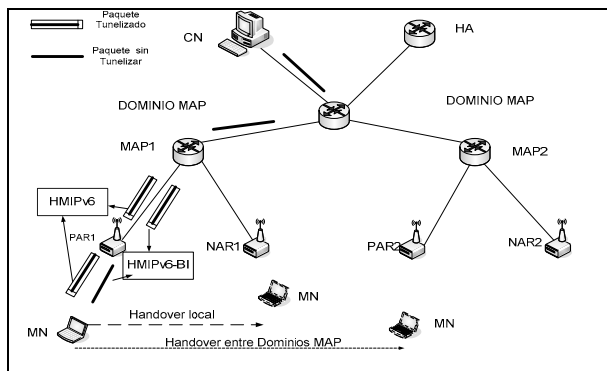


Figura 1. Arquitectura de red con HMIPv6 y HMIPv6-BI.

III. REDUCCIÓN DEL ANCHO DE BANDA DEL CANAL RADIO EN 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 de dos túneles unidireccionales) entre el MAP y el MN mediante encapsulamiento IPv6[13]. 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 Fig. 2, 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:

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

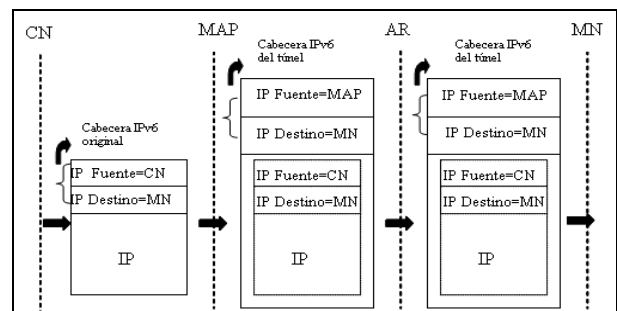


Figura 2. Encapsulamiento IPv6 para HMIPv6.

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 Fig. 3, 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 reenvía 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 bps (bits por segundo) representada por R. Entonces el ancho de banda para los protocolos HMIPv6 y HMIPv6-BI en Mbps, se calcula como:

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

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

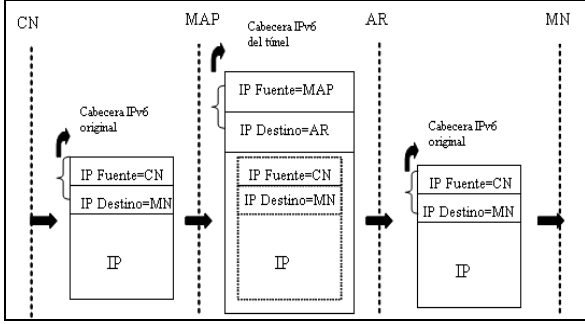


Figura 3. Encapsulamiento IPv6 para HMIPv6-BI.

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

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

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

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:

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

IV. 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 solo los reenruta hacia el nodo móvil o hacia el MAP dependiendo de la dirección de la comunicación. De acuerdo a 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), teniendo en cuenta que los paquetes se transmiten en el mismo orden de llegada (cola FIFO) [12]. Esto aplica para las dos direcciones de la comunicación (CN-MN o MN-CN). Por tanto, la expresión es:

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

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, información más detallada al respecto se puede encontrar en [12]. 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 Fig. 4. La expresión es:

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

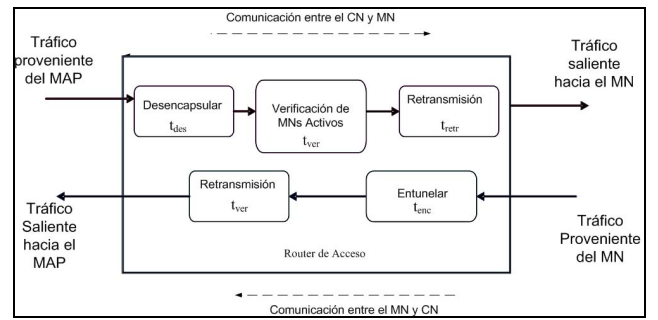


Figura 4. Router de Acceso para HMIPv6-BI para la comunicación entre el CN y el MN.

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 Fig. 5. En consecuencia la expresión es:

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

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 [15], [16], y [17], donde se trabaja sobre el contexto de routers programables basados en procesadores Intel IXP1200[18]. 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 [19] y [20]. 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 (12), 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 I, 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 I

NÚMERO DE ACCESOS A MEMORIA SDRAM PARA LOS TIEMPOS DE DESENCAPSULAMIENTO, ENCAPSULAMIENTO Y VERIFICACIÓN DE NODOS MÓVILES.

Dlr. Com	N_{AD}	N_{AE}	N_{pA}
CN-MN	21	--	30
MN-CN	--	24	--

V. LATENCIA DE 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. 1). 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[2], y por tanto al protocolo HMIPv6, llamado Fast Handover cuyas especificaciones están descritas en [3] y en [14], 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 [3].

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 Fig. 5. Por tanto, el tiempo para un Handover local t_{lho} para HMIPv6 y HMIPv6-BI se puede expresar por:

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

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. El proceso para el handover entre dominios se muestra en la Fig. 6. 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.

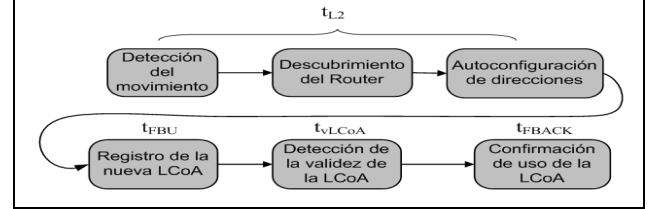


Figura 5. Estados del proceso del handover local.

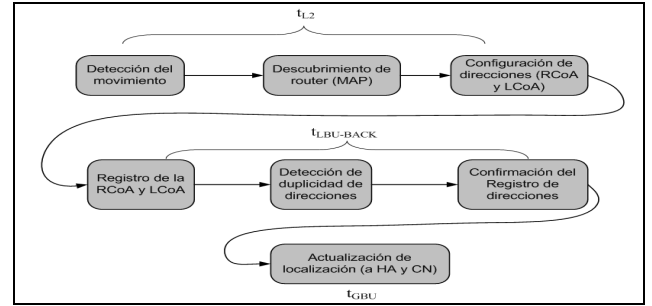


Figura 6. Estados del proceso del handover entre dominios.

VI. LATENCIA DEL HANDOVER USANDO TÚNELES MULTICAST

En [3], se menciona el uso de Bicast como una solución para reducir la pérdida de paquetes durante el Handover, aunque no se especifica cómo hacerlo. En este artículo se propone una solución para el uso de Túneles Multicast con el protocolo modificado HMIPv6-BI, la cual se ha denominado (HMIPv6-BI + TMCast). Esta solución consiste en el uso de Túneles Multicast que lleguen hasta varios routers de acceso, con el fin de disminuir la latencia durante el Handover Local. HMIPv6-BI + TMCast usa el mecanismo de descubrimiento de routers Multicast, cuya recomendación se encuentra en la RFC4286 [15] y se combina con el protocolo Fast Handover.

En el proceso del Handover, para HMIPv6-BI + TMCast, el envío de paquetes se divide en tres estados diferentes que son: antes del Handover, durante el Handover y después del Handover. Estos estados se muestran en la Fig 7.

En la Fig. 8, también se muestra todo este proceso mediante un diagrama de mensajes y de envío de datos. Los paquetes enviados por el CN hacia el MN antes del Handover, son interceptados por el MAP y tunelizados hacia el PAR1 (Previous Access Router). El PAR1 los desencapsula y los envía hacia el MN. Cuando el MN detecta un movimiento empieza el proceso de señalización del protocolo Fast Handover[3]. Luego, durante el Handover, cuando el MAP recibe un FBU (Fast Binding Update) del MN indicando donde redireccionar el tráfico, se activa el envío de túneles Multicast mediante mensajes MRAdv (Multicast Router Advertisement) enviados por el MAP. Entonces, cualquier paquete dirigido hacia el MN

es reenviado desde el MAP por medio de Túneles Multicast hacia el MN mediante los routers asociados al Handover (PAR1 y NAR1). El MAP también envía un mensaje HI (Handover Initiate) hacia el NAR1(New Access Router) para confirmar la validez de la nueva CoA obtenida por el nódo móvil mediante el prefijo del NAR. El NAR envía un HAck (Handover Acknowledgement) al MAP en respuesta al HI, indicando que se puede realizar el Handover. El MAP envía un FBAck (Fast Binding Acknowledgement), hacia el MN en respuesta al FBU. Cuando el MN se conecta con el NAR, envía un FNA (Fast Neighbour Advertisement) al NAR para anunciar su conexión. El MN también envía un LBU (Local Binding Update) al MAP para actualizar su ubicación. Entonces el MAP finaliza el envío de Túneles Multicast mediante mensajes MRT (Multicast Router Termination) enviados al PAR1 y NAR1. Finalmente, después del Handover, cualquier paquete enviado hacia el MN, es interceptado por el MAP y tunelizado hacia el NAR1. El NAR1 desencapsula el paquete y lo envía al MN. En este entorno, la latencia del Handover disminuye notablemente con respecto a la requerida para el protocolo HMIPv6 sin usar el mecanismo de Túneles Multicast. Esto se debe a que el tiempo de Handover no está determinado por el registro de la LCoA, sino que apenas el MN envía el FBU, anunciando que se va a mover a una nueva dirección, el MAP activa el envío de Túneles Multicast. Entonces el tiempo en el cual existe pérdida de paquetes está definido por el tiempo de Handover de capa 2 (t_{L2}), lo que quiere decir que el MN puede tener una conectividad de capa 3 sin interrupción. Por tanto, de acuerdo a lo anterior y a la ecuación 18, el tiempo de Handover Local (t_{lho}), puede ser expresado por:

$$t_{lho} = t_{L2} \quad (20)$$

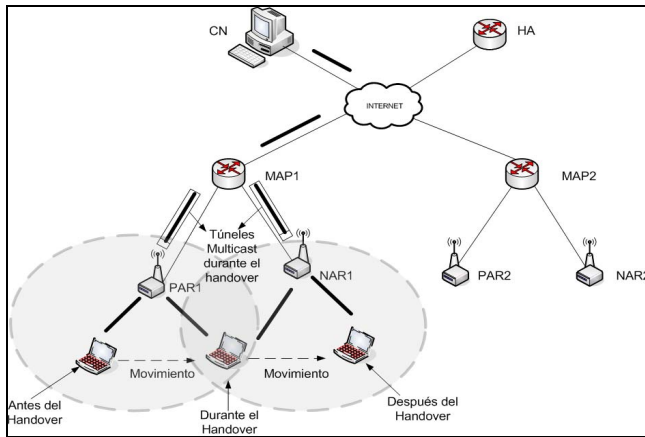


Figura 7. Antes, durante y después del handover.

Al comparar (18) y (20), se deduce que el tiempo de Handover se reduce notablemente con la propuesta HMIPv6-BI + TMCast. Los Túneles Multicast pueden ser implementados tanto para el protocolo HMIPv6 estándar como para el modificado HMIPv6-BI y en ambos casos se producirían los mismos efectos en la reducción de pérdidas de paquetes. Sin embargo, la ventaja que presenta el protocolo HMIPv6-BI respecto HMIPv6 es que las cabeceras del túnel no viajarían por el canal radio, por lo que habría una mejor utilización del canal, aunque se produciría un pequeño retardo de los paquetes producido por el desencapsulamiento en los

ARs. Este retardo no es perjudicial si se tiene en cuenta que el hardware de los routers mejora cada vez más. Por otro lado, en HMIPv6 existe también un tiempo requerido por el MN para el desencapsulamiento de los paquetes antes de ser procesados. Este tiempo, aunque depende de la tecnología de procesadores utilizada, es comparable con el tiempo que tardaría el Router de Acceso en desencapsular los paquetes. En consecuencia, la desventaja que se presenta al usar Túneles Multicast es la duplicidad de recursos durante el Handover. Este sería el costo por reducir notablemente la pérdida de paquetes.

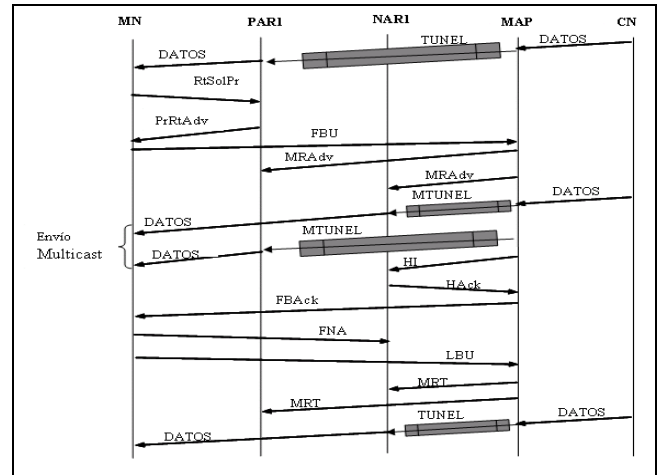


Figura 8. Uso de Túneles Multicast mediante RFC4286

VII. 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 II, 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 (R) de 50 paquetes por segundo. En la Fig. 9 se muestra la topología utilizada en la simulación con NS-2, usando tráfico CBR, Intervalo entre paquetes:0.05 seg, con una conexión inalámbrica de 11Mbps y un tamaño de paquetes de 1500bytes.

TABLA II.
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

TABLA III.
ANCHO DE BANDA DEL CANAL RADIO.

Protocolo	BW(Kbps)
HMIPv6	262.08
HMIPv6-BI	251.84

Los resultados analíticos de la tabla II, y los resultados de la simulación de la tabla III, muestran un ahorro en el ancho

de banda del canal radio para el protocolo HMIPv6-BI con respecto al protocolo HMIPv6.

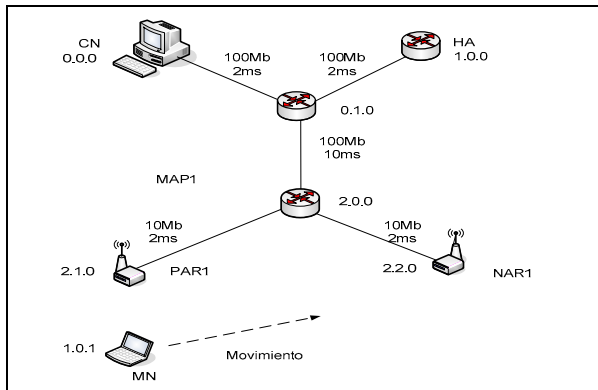


Figura 9. Topología para la simulación del ancho de banda del canal radio mediante NS-2.

B. Tiempo de Procesamiento de los paquetes

En la Tabla IV, 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 IV.

TIEMPOS DE PROCESAMIENTO DEL ROUTER DE ACCESO PARA LOS DOS PROTOCOLOS HMIPv6 Y HMIPv6-BI.

Protocolo	Com	t_{ent} (μ s)	t_{des} (μ s)	t_{ver} (μ s)	t_{retr} (μ s)	T_r (μ 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

B. Latencia del Handover

En la tabla V, 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[2], 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 V.

TABLA V.

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

C. Latencia del Handover usando Túneles Multicast

En la tabla VI, se realiza la comparación del Handover Local normal y el Handover Local usando Túneles Multicast. Se puede notar tal como se había evaluado en la sección VI, que el tiempo de Handover usando Túneles Multicast se reduce notablemente, puesto que en este caso solo depende del tiempo de Handover de capa 2, el cual, fue tomado de 20ms como valor típico.

TABLA VI.

TABLA COMPARATIVA PARA EL TIEMPO DE HANDOVER LOCAL Y HANDOVER LOCAL CON BICAST.

Protocolo	Handover Local	Handover Local + Bicast
HMIPv6	20.113ms	20ms
HMIPv6-BI	20.113ms	20ms

VIII. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este artículo se propuso una mejora 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. Adicionalmente se propuso un mecanismo para la disminución del tiempo de Handover. Este mecanismo se denominó HMIPv6-BI+MCast. Aunque este método puede ocasionar duplicidad de recursos en la red, reduce notablemente la pérdida de paquetes producida por el Handover de capa 3 y proporciona un ahorro considerable en el ancho de banda del canal radio. El retardo, producido por la propuesta HMIPv6-BI en el Router de Acceso, 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. Información más detallada de los procesos mencionados en este artículo se pueden encontrar en [12].

Un trabajo futuro puede ser la evaluación del protocolo HMIPv6-BI con otra propuesta denominada Intserv6[21], 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 la red con HMIPv6-BI.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] S.Deering y R. Hiden, "Internet Protocol Versión 6(IPv6) Specification," *IETF, RFC2460*, December 1998.
- [2] C. Perkins y D. Jhonson, "Mobility Support IPv6," *IETF, RFC3775*, June 2004.
- [3] C. Castellucia y H. Soliman, "Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management(HMIPv6)," *IETF, RFC4140*, August 2005.
- [4] Y. Taewan P. Sangheon y C. Yanghee, "Robust Hierarchical Mobile IPv6 (RH-MIPv6)," *Brain Korea 21 project of Ministry of Education and National Research Laboratory project of Ministry of Science and Technolog.*, 2003.
- [5] Y. Chan Lee K. Jumari y M. Ismail, "An analysis of the handover for hierarchical mobile IPv6," in *IEEE 7th Malaysia International Conference on Communications.*, 2005.
- [6] R. Hanh H. Soong J. Ryu V. Nguyen, "A Modification for Fast Handover in Hierarchical Mobile IPv6," *Advanced Communication Technology, The 9th International Conference*, February 2007.

- [7] M. Wahlisch T. Schmidt, "Performance Analysis of Multicast Mobility in a Hierarchical Mobile IP Proxy Environment," in *TERENA Networking Conference*, 2004.
- [8] L. Lei, "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)*, July 2005.
- [9] A. Helmy, "A Multicast-based Protocol for IP Mobility Support," *ACM SIGCOMM 2nd International Workshop on Networked Group Communications*, pp. pp.49-58, November 2000.
- [10] A. Helmy M. Jaseemuddin and G. Bhaskara. (2004, May) "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*, . pp. 677-690.
- [11] A. L. Fernández, M. E. Domingo, "Specification and Performance Evaluation of a Micromobility Protocol Based on Multicast Transmission", *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, Vol. 3, No. 2, pp. 143-151, April 2005
- [12] L. Becerra, "Evaluación de una propuesta de modificación al protocolo Hierarchical mobile IPv6(HMIPv6) en la tunelización(Tunneling) de información. Thesis para optar al título de Maestría en Ingeniería área de Telecomunicaciones. Universidad Pontificia Bolivariana. Director Jhon Jairo Padilla Aguilar. 2009.
- [13] A. Conta y S. Deering, "Generic Packet Tunneling in IPv6 specification," IETF, RFC2473 December 1998.
- [14] R. Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6," IETF, RFC4068 July 2005.
- [15] J. Martín y B. Haberman, "Multicast Router Discovery," IETF, RFC4286, December 2005.
- [16] B. Hardekopf K. Jasleen, "Impact of Network Protocols on Programmable Router Architectures," *Thesis Report*, 2002.
- [17] J. Kaur., "Scalable Network Architectures for Providing Peer-flow Service Guarantees," *PhD thesis, Departament of Computer Sciences, University of texas at Austin*, August 2002.
- [18] J. Padilla J. Paradells M. Huertas and X. Hesselbach, "IntServ6: An Approach to Support QoS over IPv6 Networks," *Proceedings of the 10th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2005) IEEE*, 2005.
- [19] Intel., "Intel ixp1200 network processor datasheet," 2001.
- [20] J. Padilla J. Paradells y A. Rodriguez, "Supporting QoS over IPv6 wireless networks with Intserv6," *The 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC06)*, 2006.
- [21] J. Padilla and J. Paradells, "Intserv6: An approach to support QoS over IPv6 wired and wireless networks," *EUROPEAN TRANSACTIONS ON TELECOMUNICATIONS*, April 2007.



Line Yasmín Becerra Sánchez. Es Ingeniera Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana (1999). Especialista en Telecomunicaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana (2005). Magister de la Universidad Pontificia Bolivariana (2009). Actualmente es estudiante de doctorado en ingeniería en el área de telecomunicaciones, es docente de la Universidad Católica de Pereira y Pertenecce al Grupo de Investigación TICs. Sus áreas de interés son: Ingeniería de tráfico, Redes Móviles, Simulación de Redes, Internet, MIPv6, HMIPv6.



Jhon Jairo Padilla Aguilar. Es ingeniero Electrónico de la Universidad del Cauca (1993). Obtuvo su grado de Maestría en Informática de la Universidad Industrial de Santander (1998) y es Doctor en Ingeniería Telemática por la Universidad Politécnica de Cataluña (2008). Actualmente es docente de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana y coordina el Grupo de Investigación en Telecomunicaciones (GITEL) de dicha universidad. Sus áreas de interés son: Ingeniería de tráfico, Internet, Calidad de Servicio en Internet, redes inalámbricas, IPv6.



Josep Paradells Aspás. Es ingeniero de Telecomunicaciones por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y Doctor en Telecomunicaciones por la misma universidad. Pertenecce al WNG (Wireless Network Group) del Departamento de Ingeniería Telemática de la UPC. Ha participado en diferentes proyectos de investigación apoyados por empresas de telecomunicaciones y por el gobierno de España y la Unión Europea. Sus áreas de interés son: Ingeniería de tráfico y Redes inalámbricas.