

Introducción de IP en las redes móviles celulares: Evolución del IETF, 3GPP y 3GPP2. Cellular IP como ejemplo de solución

Rafael Vidal Ferré, Eduard García Villegas
Departament d'Enginyeria Telemàtica. Universitat Politècnica de Catalunya.
Jordi Girona 1 y 3. Campus Nord, Mód C3, UPC. 08034 Barcelona
Teléfono: 934 016 013 Fax: 934 015 981
E-mail: rvidal@mat.upc.es, eduardo.garcia2@upcnet.es

***Abstract.** This paper wants to give a general overview of the problems for mobility support using IP protocol, focusing in cellular communications networks. Firstly, a full description of the IETF work and its latest evolution is done. Then, the strategies of third generation groups for integration of IETF work are commented. In a second part, the IETF proposed Mobile IP protocol is analysed showing its problems for using this protocol in cellular world. Later, the Cellular IP protocol is described. Cellular IP is one of possible counterparts for Mobile IP in order to fulfil micro-mobility requirements. Finally, a Cellular IP testbed is presented and comments on the implication of mobility on the performance of TCP and UDP traffic are given.*

1 Introducción

De la mano de Internet, el protocolo IP está convirtiéndose en la *lingua franca* de las redes de comunicaciones actuales. Sin embargo, su adopción para ciertas aplicaciones no esta exenta de problemas, muchos de los cuales permanecen todavía por resolver. En el presente artículo nos centraremos en uno de estos problemas, el del soporte de la movilidad en IP.

1.1 IP en las redes móviles

El crecimiento de las comunicaciones móviles y en especial el de las celulares que se está produciendo en los últimos años no tiene precedentes. Para el caso de España la cuota de penetración ya supera el 50% y el número de líneas móviles ya supera al de fijas.

Por otra parte, la evolución de las redes celulares actuales de segunda generación (2G) hasta la tercera generación (3G) pasa por ofrecer velocidades más elevadas y acceso por conmutación de paquetes, como es el caso de GPRS (*General Packet Radio Service*). Todo ello a fin de prepararse para un horizonte en que el tráfico de datos va a ser superior al de voz; apareciendo el acceso a redes IP en general y a Internet en concreto como principal artífice de esta situación.

Si a todo ello añadimos el trabajo que se está realizando para soportar el transporte de voz sobre IP está bastante maduro, con soluciones comerciales disponibles, puede entenderse porque la opción de una red de acceso de comunicaciones celulares basada totalmente en IP va ganando peso.

El siguiente paso lógico sería que esta red de manera natural asumiera todas las funciones necesarias para

el soporte de la movilidad. En esta dirección se están moviendo los dos grupos que desarrollan la 3G: 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) y 3GPP2 (*Third Generation Partnership Project 2*).

Cada uno siguiendo su camino, los grupos 3G estudian como convertir sus redes de acceso en redes totalmente IP basadas en *routers* y en como adoptar el trabajo que está realizando el IETF (*Internet Engineering Task Force*) para ofrecer movilidad mediante IP.

El IETF ha estado trabajando en una solución universal para conseguir la movilidad en IP conocida como Mobile IP. Se trata pues, de una solución general no optimizada para ningún tipo de red de acceso y es aquí donde surgen los problemas. Uno de los requisitos clave que demandan las redes de 3G y de manera general las redes celulares es el soporte de la micro movilidad; entendiendo por micro movilidad, la posibilidad de cambiar de una manera frecuente y rápida de punto de acceso dentro de red. Como se verá más adelante, Mobile IP tiene serias limitaciones para cumplir con este requisito.

Actualmente existe una sinergia importante entre los grupos de 3G y el IETF: por una lado se intenta ver la como mejorar el protocolo Mobile IP para cumplir con los requisitos de 3G sin perder de vista su carácter de solución universal y por otro se ha creado un nuevo grupo especializado en micro movilidad.

Dejando a un lado el IETF y los grupos de 3G también cabe mencionar al MWIF (*Mobile Wireless Internet Forum*). Creado en febrero del 2000, este foro está formado por empresas muy significativas en ámbitos como las comunicaciones móviles, las redes de datos, el software o la electrónica. Su propósito es el desarrollo de unas especificaciones clave que

permitan la utilización de IP en cualquier tipo de redes sin hilos buscando aunar en una única aproximación los esfuerzos de otros grupos como el IETF, 3GPP o 3GPP2.

El artículo se compone de tres partes. En la primera se presenta la actividad de los grupos de trabajo del IETF relacionados directa o indirectamente con la movilidad, viendo el impacto que ha tenido en ellos el mundo de las comunicaciones móviles celulares, provocando la reestructuración de algunos grupos y la creación de otros. Seguidamente se comentará el trabajo realizado en los grupos de 3G para la adopción de los protocolos desarrollados por el IETF para soportar la movilidad.

En la segunda parte se describirá la solución general para el soporte de la movilidad del IETF basada en el protocolo Mobile IP (MIP). A continuación, después de ver sus limitaciones para su utilización en redes celulares, se presentará el protocolo Cellular IP (CIP), diseñado para superar estas limitaciones y para cooperar con Mobile IP ofreciendo una solución global para el soporte de la movilidad.

Finalmente, en la tercera parte, se describirá la maqueta que se ha construido para analizar el protocolo Cellular IP y se comentarán los resultados obtenidos.

2 Movilidad en IP. IETF

En los siguientes apartados se describirá el trabajo que llevan a cabo diferentes grupos del IETF relacionados de una manera directa o indirecta con la movilidad.

2.1 Grupos de trabajo relacionados

Dejando a un lado las redes *ad-hoc* y la movilidad de usuarios entre ISPs (*Internet Service Providers*), temas que se tratan respectivamente en los grupos de trabajo MANET (*Mobile Ad-hoc Networks*) y ROAMOPS (*Roaming Operations*) el foco de trabajo en movilidad en IP ha sido y es el grupo MOBILEIP (*IP Routing for Wireless/Mobile Hosts*)

El trabajo de MOBILEIP gira en torno al protocolo Mobile IP (MIP). Este protocolo ofrece el mantenimiento de la dirección IP independientemente de la localización de la máquina que la posea, con un encaminamiento transparente de los paquetes IP e intentando aumentar en lo mínimo los flujos de señalización. Todo esto manteniendo activas las conexiones TCP y las vinculaciones con los puertos UDP. Existen dos versiones de este protocolo, una estandarizada para IPv4 [1] y otra que todavía tiene el carácter de *draft* para IPv6 [2] pero que se espera su propuesta como va estándar a corto plazo.

Dejando a un lado la estandarización del de la versión para IPv6 de Mobile IP y la revisión de la versión para IPv4 [3], la actividad actual del grupo gira en

torno a la solución de dos grandes problemas: la seguridad y la mejora de prestaciones para conseguir trasposos rápidos.

En verano del 2000 se produjeron una serie de discusiones en torno a las diferentes, y muy numerosas, propuestas presentadas en forma de *draft* para conseguir un traspaso rápido. Dentro de las propuestas se podían diferenciar dos grupos. El primero las dirigidas a solucionar el problema de la micro movilidad, con un grado de compatibilidad y cooperación respecto a Mobile IP más o menos grande. En la mayoría de los casos la red de referencia era de tipo celular. Dentro de este grupo destacaron los protocolos HAWAII (*Handoff-Aware Wireless Access Internet Infrastructure*) [4][5] y Cellular IP [6] [7], del que se hablará más adelante.

En el segundo grupo figuraban las soluciones basadas completamente en Mobile IP. Se trataba de soluciones que, respetando el carácter de solución universal no ligada a ninguna tecnología de Mobile IP, pretendían mejorar su rendimiento para conseguir trasposos más rápidos.

El resultado de estas discusiones fue una refundación del grupo de trabajo MOBILEIP que dejaba fuera las propuestas del primer grupo con objeto de mantener el carácter universal de Mobile IP como solución para el soporte de la movilidad. Además se crearon dos equipos de trabajo para buscar una solución en común para MIPv4 y otra para MIPv6. El trabajo de estos grupos ha cuajado de momento en sendos *drafts* [8] [9].

Todo esto no significa que MOBILEIP deje de lado toda la problemática de las redes celulares. Como ya se ha comentado en la introducción existe una estrecha relación con los grupos de 3G y como ejemplo de ella puede verse el *draft* [10] en el que se plantean las extensiones necesarias para que Mobile IP pueda administrar la movilidad en redes cdma2000.

Otra consecuencia de la refundación fue la reciente aparición de un nuevo grupo, SEAMOBY (*Context and Micro-mobility routing*). Los objetivos de SEAMOBY son el desarrollo de un protocolo que soporte la micro movilidad, con trasposos rápidos en la red de acceso y *paging*, y la provisión de mecanismos que permitan el intercambio de información de estado, como pueden ser el nivel de calidad de servicio asociado al usuario o un contexto de seguridad.

2.2 Otros grupos

A parte de los grupos comentados en el apartado anterior, cuya dedicación es exclusiva a los temas de movilidad, existen toda una serie de grupos cuyo trabajo tiene una relación significativa con esta problemática. Destacaremos dos: ROHC (*Robust*

Header Compression) y AAA (*Authentication, Authorization and Accounting*).

El objetivo de ROHC es conseguir un sistema de compresión que funcione correctamente sobre enlaces con tasas de error elevadas y retardos importantes. La motivación principal es el envío de información en tiempo real (voz o vídeo de baja calidad) sobre enlaces celulares. La combinación de protocolos IP/UDP/RTP/TCP utilizada para el transporte de tráfico *real-time* conlleva un alto *overhead*. Para trabajar eficientemente sobre enlaces de baja velocidad, como son los de las redes celulares, es necesario utilizar métodos de compresión. Una posible solución pasaría por la utilización de los algoritmos tradicionales de compresión de cabeceras [11][12] pero la elevada tasa de error así como los elevados retardos que se puedan dar en una red celular hacen que su comportamiento no sea el idóneo. De ahí la necesidad un nuevo tipo de compresión. En los *draft* [13] y [14] se especifican los requerimientos que debería cumplir esta nueva codificación y se da una posible especificación de ella respectivamente.

El AAA es el grupo encargado de desarrollar los requerimientos para la autenticación, autorización y contabilidad. Estas funciones son de vital importancia para control del acceso a cualquier sistema. El AAA trata el caso de un sistema con terminales como un caso particular con unas necesidades propias que requieren de unas extensiones determinadas. Esto se ha traducido en un listado de requerimientos formulado por el grupo MOBILEIP [15] y en *draft* del AAA sobre las extensiones a realizar para cumplir con estos requerimientos [16].

3 Integración de los protocolos del IETF en 3G

Las aproximaciones realizadas por los dos grupos de 3G para integrar los protocolos desarrollados por el IETF están siendo diametralmente opuestas. Por un lado el 3GPP2 cuenta ya desde hace más de un año con un estándar [17] de lo que ellos denominan *Wireless IP*. En este documento se describen los requerimientos para soportar redes de paquetes inalámbricas en las redes de 3G basadas en cdma2000; diferenciando dos alternativas: *Simple IP*, basado en el protocolo PPP (*Point to Point Protocol*); y *Mobile IP* basado en el protocolo del mismo nombre. El documento también propone la utilización de servidores RADIUS (*Remote Authentication Dial In User Service*) para labores de AAA y la utilización de *Diffserv* para ofrecer calidad de servicio. Se trata pues de utilizar las soluciones ofrecidas por el IETF, aunque, como ya se ha dicho, no estén optimizadas para sistemas celulares.

Paralelamente el 3GPP2 tiene abierto otro proyecto en fase de definición denominado *All IP*, que consiste en el desarrollo de una red que se basa en IP como

principal mecanismo para el transporte y la conmutación.

El camino por el que ha optado el grupo 3GPP es mucho más ambicioso. Todavía no se ha publicado ningún estándar referente al tema pero existe un trabajo minucioso y continuado que se refleja en [18]. En este *report* técnico el 3GPP propone una arquitectura basada totalmente en IP, *All IP*, para el transporte de todos los datos de usuario y señalización. El documento tiene una doble vertiente: la identificación de los problemas clave a resolver y la proposición de un plan de trabajo para ofrecer una *All IP release 2000* del estándar UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*).

4 El protocolo Mobile IP

En los siguientes apartados se realizará una breve descripción del funcionamiento del protocolo Mobile IP acompañada de una reflexión sobre sus limitaciones para el soporte de micro movilidad.

4.1 Descripción general

Mobile IP define dos nuevas entidades conocidas genéricamente como agentes: el *Home Agent* (HA) y el *Foreign Agent* (FA), que no son más que dos encaminadores, uno en la red de origen del nodo móvil y otro en la que visita y que realizan funciones de gestión de datos similares a las del HLR (*Home Location Register*) y del VLR (*Visitor Location Register*) de las red celular GSM (*Global System for Mobile Communications*). El funcionamiento es simple. Cuando un nodo móvil se mueve hasta otra red recibe un aviso del FA de la red visitada para que se registre. De esta manera detecta su cambio de localización, ya sea respecto al HA o a un FA anterior. Entonces adquiere la dirección del FA (*care-of address*) que queda registrada en su HA. A partir de aquí cualquier datagrama enviada al nodo móvil pasa por su HA que lo envía al FA mediante un túnel, que se encarga de hacerlo llegar al nodo móvil. En sentido contrario, el nodo móvil envía directamente los datagramas a su nodo destino.

4.2 Limitaciones

La simplicidad del protocolo Mobile IP tiene su precio: el soporte de la micro movilidad. En entornos de alta movilidad como los celulares en los que el nodo móvil cambia de punto de acceso con gran frecuencia el rendimiento del protocolo puede no ser el adecuado según el tipo de servicio que se quiera soportar. Cada cambio, aunque sea dentro de una misma red, requiere de un intercambio de señalización con el HA lo que ralentiza el proceso de actualización con la posterior pérdida de paquetes que esto supone. Como ya se ha comentado en secciones anteriores la solución de este problema a dado lugar a un sinnúmero de propuestas, centrándose el presente artículo en una de ellas, Cellular IP.

5 El protocolo Cellular IP

En la sección anterior hemos visto el protocolo Mobile IP así como sus limitaciones para soportar micro movilidad. En esta se describirá uno de los protocolos diseñados exclusivamente con el fin de soportar este tipo de movilidad y que combinado con Mobile IP permiten ofrecer una movilidad total dentro de una red IP (Fig. 1), el protocolo Cellular IP.

5.1 Características generales

Al tratarse de un sistema celular, Cellular IP ofrece una serie de ventajas, que aplicadas correctamente, pueden mejorar las prestaciones de las futuras redes IP inalámbricas, sin perder ninguna de las propiedades que caracterizan a las redes IP, como la flexibilidad, la escalabilidad y la robustez. De los sistemas celulares hereda los principios de administración de la movilidad, control de traspasos y localización de nodos inactivos. Cellular IP se basa en nodos sencillos y baratos que pueden ser interconectados para formar topologías arbitrarias y operar sin una configuración previa complicada.

El componente universal de una red Cellular IP es la estación base, que sirve de punto de acceso radio a la red y al mismo tiempo encamina paquetes IP y integra funciones de control de sistemas celulares, tradicionalmente implementadas en los MSCs (*Mobile Switching Center*) y en las BSCs (*Base Station Controller*). El encaminamiento IP se sustituye por el encaminamiento propio de Cellular IP, donde se integra localización y soporte a los traspasos sin alterar la pila de protocolos IP. Además, una estación base puede configurarse para desarrollar las funciones de *gateway*. El *gateway* es el nodo que se encarga de conectar la red de acceso Cellular IP con Internet. Cuando se da servicio a un nodo móvil originario de una red externa, el *gateway* ejerce de agente de movilidad (*Foreign Agent*) del protocolo Mobile IP.

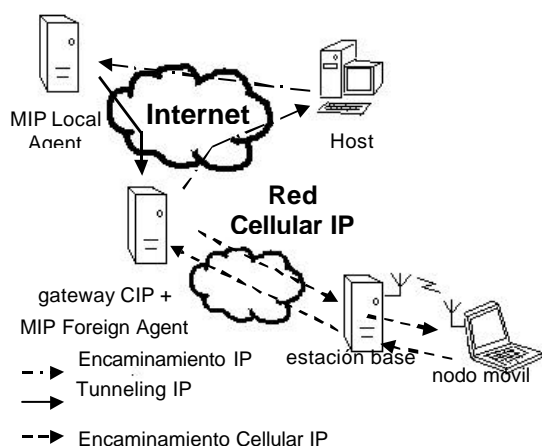


Figura 1 Solución global MIP + CIP

5.2 Funcionamiento

Antes de entrar a describir la maqueta Cellular IP y valorar su rendimiento, se hace necesaria una breve introducción al funcionamiento del protocolo. Este se resume de la siguiente forma:

Las estaciones base emiten periódicamente unas señales llamadas señales faro (*beacon signals*). Estas señales incorporan información sobre la estación base y sobre la red CIP. Los nodos móviles las utilizan para detectar cual es la estación base más cercana. Un nodo móvil transmite sus paquetes a través de la estación base de la que recibe una señal de mayor calidad. Para el nodo móvil, esa estación base funciona como su *router* por defecto.

Todos los paquetes IP que envía el nodo móvil se encaminan directamente desde la estación base hacia el *gateway*, independientemente de la dirección de destino. Para hacerlo se sigue un algoritmo de encaminamiento del tipo *hop-by-hop shortest path*, es decir, el paquete recorre el camino más corto hacia el *gateway*.

Todos los nodos CIP disponen de una tabla denominada *Route Cache*. Los paquetes enviados por un nodo móvil actualizan los datos de estas tablas en todos los nodos por los que pasan. Una entrada en esta *cache* guarda la dirección IP del nodo móvil que generó el paquete, la interfaz de red por donde llegó y la dirección física del último vecino de bajada por donde pasó.

La concatenación de la información de estas tablas, referida a un nodo móvil, sirve para reconstruir el camino necesario para que los paquetes destinados a ese nodo móvil lleguen a su destino. Aunque un nodo móvil cambie el punto de acceso a la red, las *route caches* apuntan a la nueva localización del nodo, ya que éste se encarga de generar nuevas entradas mediante el envío de paquetes de control (paquete *route-update*). Estos paquetes también sirven para evitar que las entradas referentes a un nodo móvil caduquen, ya que tienen un tiempo de vida limitado dentro de las *route caches*. Así, si un nodo quiere mantenerse activo y localizable en la red, pero no tiene paquetes para enviar que mantengan sus entradas en las *caches*, deberá enviar periódicamente paquetes *route-update*. Un ejemplo de esta sería una transmisión UDP en la que el nodo móvil es el receptor y no tiene la necesidad de enviar nada.

Cellular IP también incorpora un mecanismo de *paging* que permite a un nodo móvil inactivo mantenerse localizable dentro de la red. Para ello se utilizan otras tablas, las denominadas *paging caches*. Consultando estas tablas se consigue encaminar los paquetes hacia nodos inactivos de los que no se dispone de información en las *routing caches*.

6 Maqueta Cellular IP

Una vez visto el funcionamiento del protocolo Cellular IP, en los sucesivos apartados se verá la descripción de la maqueta realizada para su evaluación, así como los resultados de esta.

6.1 Características software y hardware

La implementación del protocolo Cellular IP utilizada ha sido desarrollada por el grupo Comet de la Universidad de Columbia, el mismo que ha creado el protocolo Cellular IP. Actualmente se pueden obtener libremente versiones para FreeBSD y para Linux, esperándose una futura versión para Windows NT. En la maqueta se utilizó la versión para Linux, utilizando como sistema operativo Red Hat 6.2 (kernel 2.2.14-5.0).

Cellular IP se basa en dos módulos *software*: el nodo y el nodo móvil. Ambos, mediante el uso de la librería *Berkeley Packet Filter's Packet Capture* (PCAP), filtran paquetes P del medio físico para moverlos a espacio de usuario, donde serán procesados. El módulo del nodo incorpora funcionalidades de *router*, implementa servicios de localización y si dispone de interfaz radio, también hará de punto de acceso y de *router* por defecto de los nodos móviles que se conecten a él. Además puede realizar la función de *gateway* confiando en las operaciones de encaminamiento IP implementadas en el núcleo del sistema operativo. El módulo del nodo móvil funciona como un demonio que se ejecuta en espacio de usuario. La pila estándar del protocolo IP no se ve afectada por este demonio y las aplicaciones serán transparentes a la movilidad. Este módulo es quien controla los traspasos gracias a que mantiene estadísticas de la calidad de señal de las diferentes estaciones base.

Los requisitos de *hardware* para utilizar CIP son sólo dos: disponer de procesadores Pentium 200 MHz o superior, y para los nodos que requieren interfaz radio es aconsejable un *slot* PCMCIA ya que la implementación de CIP sólo soporta tarjetas WaveLAN (actualmente Orinoco) y Aironet, que mayoritariamente son de este tipo.

6.2 Descripción de la maqueta

En la Fig. 2 se representa la maqueta montada con el fin de evaluar el rendimiento del protocolo Cellular IP. La red de acceso CIP construida consta de tres PCs, dos de ellos disponen de interfaces radio y servirán de punto de acceso a la red (estaciones base) a los nodos móviles. Las dos estaciones base se conectan junto al tercer PC a un *hub* mediante interfaces Ethernet 10 Mbps. Este tercer nodo hará el papel de *gateway*, es decir, será el punto de conexión de la red CIP con otras redes. En este caso, el nodo *gateway* está conectado a un *router* que sirve a dos redes: la red de acceso CIP y otra red formada por un

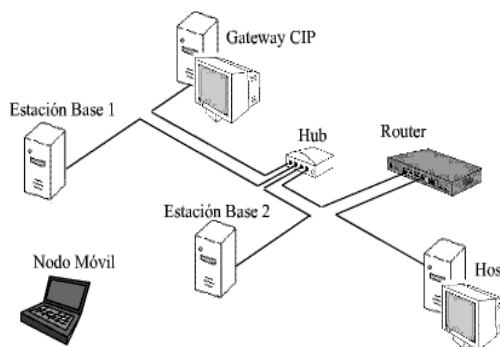


Figura 2 Esquema de la maqueta Cellular IP

único nodo. Como nodo móvil se usa un ordenador portátil con una interfaz radio.

El objetivo del montaje consiste en mantener diferentes tipos de conexiones entre el nodo fijo y el nodo móvil mientras éste cambia su punto de acceso a la red de una estación base a otra.

Como estaciones base se han utilizado dos PCs Pentium II 350 MHz con 64 MB de RAM, como nodo *gateway* un Pentium II 266 MHz con 64 MB de RAM y como nodo móvil, un PC portátil Celeron 300 MHz con 64 MB de RAM. El router usado es un Cisco 2621 y las interfaces radio son tarjetas PCMCIA WLAN IEEE 802.11b de Orinoco.

6.3 Evaluación de la maqueta

Para el estudio detallado del rendimiento de la maqueta CIP era fundamental observar el comportamiento ante el cambio de estación base durante transmisiones TCP y UDP, protocolos más comunes sobre IP. Básicamente un traspaso consiste en cambiar la frecuencia del nodo móvil a la de la nueva estación base y enviar un paquete de control para actualizar su posición en la red, esto provoca que, mientras este paquete no actualiza el nuevo camino de bajada, los paquetes que ya habían sido enviados por el antiguo camino se pierdan. Desgraciadamente las soluciones que permiten soportar traspasos con tarjetas IEEE 802.11 son propietarias; disponiendo el grupo Comet de *drivers* que soportan esta facilidad pero que sin embargo no son públicos. Por esta razón, las pruebas realizadas difieren respecto a las suyas [19] en que la maqueta que aquí se presenta trabaja en un entorno sin diversidad de frecuencias, es decir, las dos estaciones base y el nodo móvil transmiten en el mismo canal. Como se verá más adelante, esto unido al hecho de tener las dos estaciones base conectadas a la misma interfaz del *gateway*, va a reducir el rendimiento de la maqueta.

En una primera prueba se realizaron transmisiones UDP ascendentes, el origen de la transmisión es el nodo móvil, y descendentes, el destino de la transmisión es el nodo móvil. Se observa que los

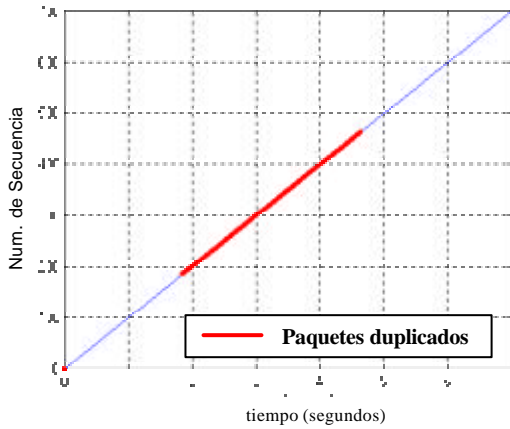


Figura 3 Transmisión UDP descendente

traspasos no tienen ningún efecto sobre las transmisiones ascendentes, en las descendentes, en cambio, un traspaso significaba la recepción de paquetes duplicados durante un tiempo constante (ver Fig. 3). Este tiempo era igual a *route-timeout*, tiempo de vida de una entrada en la tabla *Route Cache*. Este efecto se produce debido a que, al estar la antigua estación base conectada a la misma interfaz del *gateway* que la nueva, mediante PCAP continúa capturando paquetes IP aunque no vayan dirigidos a su dirección física, y mientras tenga información sobre el destino del paquete, seguirá transmitiéndolos al canal radio común.

La recepción de paquetes duplicados, aparte de la utilización ineficaz que representa, puede ser solucionada por los niveles superiores. Sin embargo las aplicaciones en tiempo real probadas no responden igual. Gphone (aplicación de voz sobre IP) no descarta los paquetes duplicados, lo que introduce distorsiones sobre la voz que el usuario del nodo móvil. En cambio, la recepción de vídeo y audio con RealPlayer no se ve afectada por recibir paquetes duplicados, además, con una interfaz que proporciona una tasa de datos de hasta 5Mbps, se consiguen transmisiones de gran calidad.

En transmisiones TCP, la recepción de ráfagas de paquetes duplicados va a ser más crítico. Como antes, los paquetes duplicados sólo se reciben en sentido descendente, cuando el nodo móvil es la fuente de paquetes TCP, recibirá reconocimientos duplicados, cuando es el receptor de la transmisión y es quien envía reconocimientos, recibirá paquetes de información duplicados. El primer caso es el que se observa en la Fig 4, a partir del traspaso (segundo 14,20) el nodo móvil recibe reconocimientos duplicados, pero ese hecho no altera el rendimiento del protocolo, ya que la mayoría de implementaciones de TCP no consideran la retransmisión de un paquete hasta el tercer reconocimiento duplicado [20] y en nuestro caso sólo se reciben dos reconocimientos iguales, uno de cada estación base.

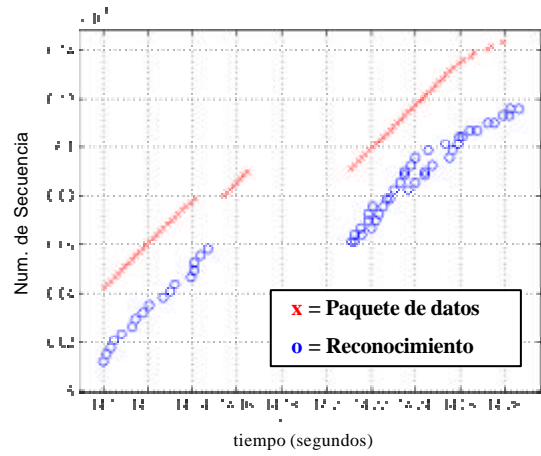


Figura 4 Transmisión TCP ascendente

La situación resulta muy diferente cuando lo que se recibe duplicado son paquetes de datos en lugar de los reconocimientos. En ese caso, un traspaso se traduce en un empeoramiento del rendimiento que aumenta con la frecuencia de los traspasos. En la Fig. 5 se observan dos traspasos (segundos 5 y 15) en una transmisión TCP descendente y ascendente. Como se ha explicado, no se observa ningún efecto cuando la fuente de datos es el nodo móvil, pero sí cuando es la fuente de los reconocimientos.

Esa pérdida de pendiente en el caudal se debe a la recepción de ráfagas de paquetes duplicados. Cuando llega al nodo móvil una ráfaga de paquetes que ya se ha recibido anteriormente, éste responde con tantos reconocimientos duplicados como paquetes han llegado en ráfaga. Al llegar estos reconocimientos al emisor, provocarán la retransmisión del paquete correspondiente pensando que éste no ha alcanzado el destino. Así que este paquete que el nodo móvil ya había recibido por duplicado, le volverá a llegar a través de las dos estaciones base, lo que volverá a provocar nuevos reconocimientos. Este comportamiento es el que provoca un descenso del rendimiento durante un tiempo ligeramente superior a *route-timeout*. En la Fig. 6 se muestra un ejemplo donde se puede observar el deterioro de la transmisión debido a la recepción de ráfagas de paquetes duplicados.

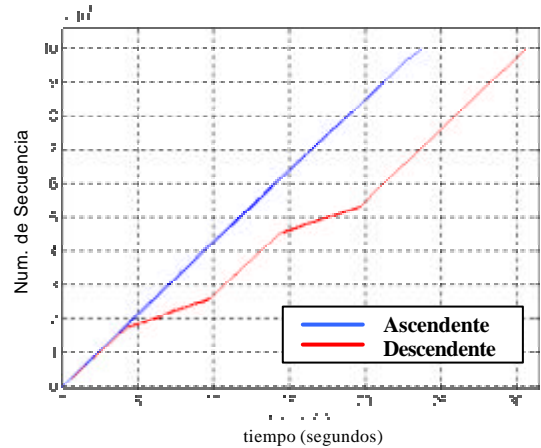


Figura 5 Transmisión TCP descendente y ascendente

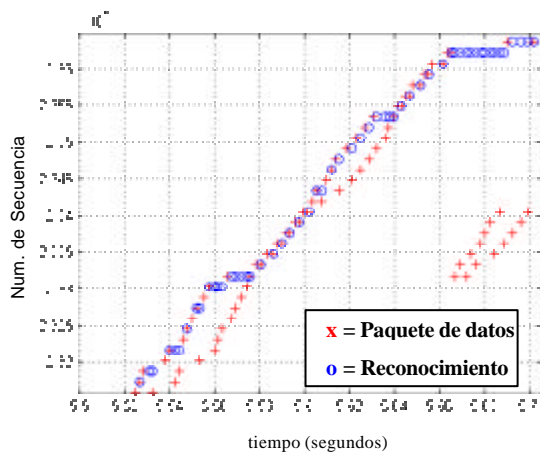


Figura 6 Deterioro transmisión TCP debido recepción duplicados

Como se ha visto, la falta de sincronización entre las estaciones base es una grave fuente de problemas. Se puede evitar en parte, usando el método *semisoft-handoff* que ofrece la implementación de CIP. Este método, pensado para reducir el número de paquetes perdidos durante los traspasos que incluyen cambio de frecuencia, añade un retardo a la nueva estación base para tratar de sincronizar al máximo el flujo de paquetes a través de ambas estaciones base. Otras soluciones consisten en el cambio en la configuración de la red, si las estaciones base estuvieran conectadas al *gateway* en interfaces diferentes, un traspaso se traduciría en unos pocos paquetes duplicados, dependiendo de la topología de la red, efecto preferible a la pérdida de paquetes.

7 Conclusiones

En el presente artículo se ha pretendido dar una visión general del trabajo del IETF para conseguir el soporte de la movilidad en IP así como de las estrategias de los grupos de 3G para incorporar este trabajo en sus redes. De todo ello se desprende que el camino para conseguir redes celulares totalmente IP está abierto aunque quizás su final pueda verse reflejado a más largo plazo, en la llamada cuarta generación.

Por otra parte se ha descrito el funcionamiento del protocolo Mobile IP desarrollado por el grupo de trabajo MOBILEIP del IETF; indicando sus carencias para el soporte micro movilidad. A continuación se ha expuesto el funcionamiento del protocolo Cellular IP uno de los posibles candidatos que han sido presentados para cooperar con Mobile IP para resolver las citadas carencias.

Finalmente se ha descrito la maqueta realizada para la evaluación del protocolo Cellular IP sobre la que se ha realizado un análisis detallado del efecto de los traspasos sobre tráfico UDP y TCP. Los resultados obtenidos verifican los presentados por los autores del protocolo [19] con la salvedad de los ya comentados efectos derivados de trabajar sin diversidad en frecuencia en las interfaces radio IEEE 802.11b.

Agradecimientos

El trabajo presentado en este artículo se enmarca dentro del proyecto TIC2000-1041-C03-01 financiado por Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT)

Referencias

- [1] C.Perkins (editor). "IP Mobility Support". Octubre 1996. IETF RFC 2002
- [2] D.B.Johnson, C.Perkins, "Mobility Support in IPv6". Noviembre 2000. IETF draft mobileip-ipv6-13
- [3] C. Perkins (editor). "IP Mobility Support for IPv4, revised". Febrero 2000. IETF draft mobileip-rfc2002-bis-04
- [4] R. Ramjee, T. La Porta, S. Thuel, K. Varadhan, L. Salgarelli. "IP micro-mobility support using HAWAII". Julio 2000. IETF draft mobileip-hawaii-01
- [5] R. Ramjee, T. La Porta, L. Li. "Paging support for IP mobility". Julio 2000. IETF draft mobileip-paging-hawaii-01
- [6] A.T.Campbell, J.Gomez, G.Y.Wan, S.Kim, Z. Turanyi, A. Valko. "Cellular IP". Enero 2000 IETF draft mobileip-cellularip-00
- [7] Z.D.Shelby, D.Gatzounas, A.T.Campbell, CY.Wan. "Cellular IPv6". Noviembre 2000. IETF draft shelby-seamoby-cellularip-00.txt
- [8] MIPv4 Handoffs Design Team. K. El Malki (editor). "Low latency Handoffs in Mobile IPv4". Febrero 2001. IETF draft mobileip-lowlatency-handoffs-v4-00
- [9] Design Team on Fast Handovers with Mobile IPv6. G.Tsirtsis (editor) MIPv6. "Fast Handovers for Mobile IPv6" Julio 2001. IETF draft mobileip-fast-mipv6-00
- [10] Y. Xu (editor). "Mobile IP Based Micro Mobility Management Protocol in The Third Generation Wireless Network ".Noviembre 2000. IETF draft mobileip-3gwireless-ext-05.txt
- [11] V. Jacobson. "Compressing TCP/IP Headers for Low-Speed Serial Links". Febrero 1990. IETF RFC 1144

- [12] S. Casner, V. Jacobson. "Compressing IP/UDP/RTP Headers for Low-Speed Serial Links". Febrero 1999. IETF RFC 2508
- [13] M. Degermark (editor). "Requirements for robust IP/UDP/RTP header compression". Febrero 2001. IETF draft rohc-rtp-requirements-05
- [14] C. Bormann (editor). "RObust Header Compression (ROHC): Framework and four profiles: RTP, UDP, ESP, and uncompressed". Febrero 2001. IETF draft rohc-rtp-09
- [15] S.Glass, T.Hiller, S.Jacobs, C.Perkins. "Mobile IP Authentication, Authorization, and Accounting Requirements". Octubre 2000. IETF RFC 2977
- [16] P.R.Calhoun, C.Perkins. "Diameter Mobile IP Extensions". Marzo 2001. IETF draft aaa-diameter-mobileip-01
- [17] 3rd Generation Partnership Project 2; Technical Specification Group Wireless Packet Data Networking. "Wireless IP Network Standard". Versión 1.0 Diciembre 1999. 3GPP2 P.S0001
- [18] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and Systems Aspects. "Architecture for an All IP network". Octubre 1999. 3G TR 23.922 version 1.0.0.
- [19] A.T. Campbell, J. Gomez, S. Kim, A.G. Valkó, C.Wan."Design, Implementation and Evaluation of Cellular IP". IEEE Personal Communications Magazine. Agosto 2000, páginas 42-49
- [20] W. Stevens. "TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms". Enero 1997. IETF RFC 2001