

Hand-off Vertical y los protocolos IP como factores clave del desarrollo de las redes 4G

Vertical Hand-off and IP Protocols as Key Factors in the Development of 4G networks

Francisco Javier González Páez*

Jorge Eduardo Ortiz Triviño**

Fecha de recepción: 25 de agosto del 2009
Fecha de aceptación: 10 de noviembre del 2009

Resumen

Este artículo describe lo que son en esencia las redes 4G y muestra un mapa general de su desarrollo tecnológico y se centra principalmente en dos temas principales: el Hand-off Vertical y el uso de IP, porque, como se explica en el artículo, estos dos factores son claves para el desarrollo de este nuevo tipo de redes por lo que sirve como una referencia que expande la visión sobre las redes 4G y muestra el papel del hand-off en su desarrollo para cualquier persona que le interese este tema. Esto es importante, dada la variedad de tecnologías que convergen en el esquema 4G.

Palabras clave: redes 4G, hand-off vertical, IP móvil, convergencia en telecomunicaciones.

* MsC(c) Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: fgonzalezp@unal.edu.co

** MsC en Estadística. Ms en Ingeniería de Telecomunicaciones. PhD (c) en Ingeniería de Sistemas, Ms en Filosofía de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: jeortizt@unal.edu.co

Abstract

This paper describes the 4G networks' essence and depicts a technologies' general map and is focused in two main issues; the vertical hand-off and based-TCP/IP networks because, as is explained in the article, these two factors are important for its development of this new type of networks so it can be used as a reference that widens the knowledge about 4G networks and shows the role of hand-off in its development to anybody who is interested in this topic. This is important due the technologies' variety that is converging in the 4G scheme.

Key words: Vertical Handoff, Mobile IP, 4G Networks, Telecommunications' convergence.

Introducción

Desde hace un poco más de 10 años se ha estado definiendo lo que serán las redes de cuarta generación (redes 4G) y dada la importancia que éstas tendrán a nivel comercial y de desarrollo técnico es pertinente abordar los factores clave del desarrollo de estas redes. Una de sus características más atractivas es la utilización de varias redes tecnológicamente diferentes para la prestación de servicios innovadores y mejorar la prestación de los servicios tradicionales en los que se integran y convergen tecnologías ya existentes. Para lograr la integración y convergencia necesarias en las redes 4G se puede dividir el problema en dos partes, una en la cual el hand-off vertical lo permite para las capas 1 y 2, y otra en la cual la convergencia hacia IP lo permiten para la capas 3 y superiores. Este artículo muestra qué son, su evolución y dónde encajan dentro de la cuarta generación de redes estas dos temáticas, el hand-off vertical y la convergencia hacia IP.

Definición de redes 4G

El término cuarta generación (4G) surge de la evolución de las redes celulares que se inicia en la década de los setenta con la primera generación (1G) prestando el servicio de telefonía móvil inalámbrica. Posteriormente, se desarrollan la segunda generación (2G), que introduce tecnologías digitales, para mejorar el servicio y servicio de mensajes de texto entre otros, la 2.5G, que es el nombre informal que se le dio al grupo de redes con tecnologías que permitían la conmutación de paquetes e Internet como GPRS y EDGE que corrían sobre redes 2G, la tercera generación (3G) que son redes concebidas con el objetivo de brindar servicios de datos y finalmente la 4G la cual explicaremos ampliamente a continuación [42] y [31]. Inclusive, existen ya vagas especulaciones de lo que será la quinta generación (5G), sin que haya terminado de madurar la 4G [21]. Desde la generación 2.5G la International Telecommunication Union (ITU) ha contribuido con el desarrollo de las

comunicaciones móviles con los estándares IMT-2000 utilizada en las generaciones 2.5G y 3G, Enhanced IMT-2000 para la generación 3.5G y IMT-Advanced para 4G, el cual se espera que esté ampliamente implementado en el 2015 [9]. Los estándares IMT (International Mobile Telecommunication) no incluyeron estándares inalámbricos IEEE 802 hasta el año 2007, cuando se incluyó el estándar IEEE 802.16 a IMT-2000 y se espera que esta tendencia continúe en IMT-Advanced para 4G [9].

Aunque el nombre de este tipo de redes proviene de las redes celulares, las redes 4G no son en sí una red celular, sino el producto de la convergencia de varios tipos de redes inalámbricas que tienen el fin de suministrar servicios con un mejor desempeño. Aunque, en la actualidad, no están definidas aún de forma definitiva las tecnologías y protocolos de las redes 4G, existe un consenso de los objetivos que deben cumplir estas redes entre los cuales se encuentran; el uso de *redes híbridas* [20], que es la fusión de elementos de las diferentes redes existentes actualmente; *altas tasas de transmisión*, de 100 Mbps para aplicaciones móviles y de 1Gbps para aplicaciones nómadas, meta que se debe cumplir para el año 2010, según la ITU [35]; *estandarización en el uso del espectro*, que sea común y abierto a nivel mundial [35]; *redes basadas en IP*, dada la madurez tecnológica que tiene IP y los servicios que corren sobre éste, como voz, video y datos [14]; *ubicuidad*, existiendo una disponibilidad en cualquier sitio en cualquier momento [14]; y *bajos costos*, dado que tienen la capacidad de ser menos costosas que las redes 3G, debido al uso eficiente del espectro electromagnético y porque serán construidas sobre redes ya existentes [22]. En relación con las altas tasas de transmisión ya se han desarrollado estándares con el objetivo de cumplir esta meta como el IEEE 802.16m [8].

Otras características de estas redes en las que no existe un consenso general, sin embargo, son mencionadas por algunos autores son la personalización de las aplicaciones [20], conexiones P2P [36], el uso extensivo de las redes de área personal [36], el uso de terminales inteligentes que reconocen su entorno y adaptan sus capacidades [46] y cambios significativos a nivel del terminal, de la red y de las aplicaciones, y [42].

La otra cara de las redes 4G es la que ve el usuario que no necesariamente entiende de protocolos, métodos de acceso al medio, etc., pero sí entiende de costos, QoS e incluso de la duración de la batería lo que es importante porque la rápida evolución y desarrollo de las comunicaciones móviles, y de las telecomunicaciones, en general, se debe a la amplia adopción por parte de los usuarios. 4G surge en parte por la poca acogida que tuvieron las tecnologías 3G, dado que no obedecían a las necesidades de los usuarios a pesar de mejorar significativamente en el ámbito tecnológico [12]. Por esta razón, el desarrollo de las redes 4G se debe centrar más en el usuario para proveer servicios con bajos costos, de gran variedad y amplia cobertura. En el artículo "4G, Solution for Convergence?" [7], su autor afirma que el usuario recibirá varias cuentas de cobro de varios servicios pero que solo utilizará un dispositivo móvil, esto muestra el grado de convergencia y la utilidad para el usuario; sin embargo, yendo más allá, el servicio debe ser totalmente transparente para el usuario lo que implica, incluso, modificar el modelo de negocio de los operadores para que al usuario solo le llegue una cuenta de cobro a pesar de utilizar muchas redes y muchos servicios diferentes manejados por compañías diferentes.

Una forma fácil para memorizar la esencia de lo que deben ser las redes 4G es con la palabra *magic* (que significa mágico en Inglés) que son las siglas en inglés de *mobile multimedia* (multimedia móvil), *anytime anywhere* (en cualquier momento en cualquier lugar), *global mobility support* (capacidad de movilidad global), *integrated wireless solution* (soluciones inalámbricas integradas) y *customized personal service* (servicios personales hechos a la medida) [33].

La naturaleza abierta de estas redes que le da versatilidad también trae consigo amenazas de seguridad, análogas a las amenazas que tienen el sistema de Internet actualmente en contraposición a la naturaleza cerrada de los sistemas tradicionales [34]. Además, en un principio, estos sistemas serán vulnerables por su complejidad y falta de madurez conceptual siendo susceptibles a posibles ataques por sus vacíos en lo que se refiere a la seguridad [14]

Otros problemas se deben al alto número de puntos de conexión con diferentes operadores, con diferentes proveedores de aplicaciones y con acceso a Internet público, además, de una infraestructura de acceso heterogénea y múltiples proveedores de servicios lo que eleva exponencialmente la vulnerabilidad del sistema [34].

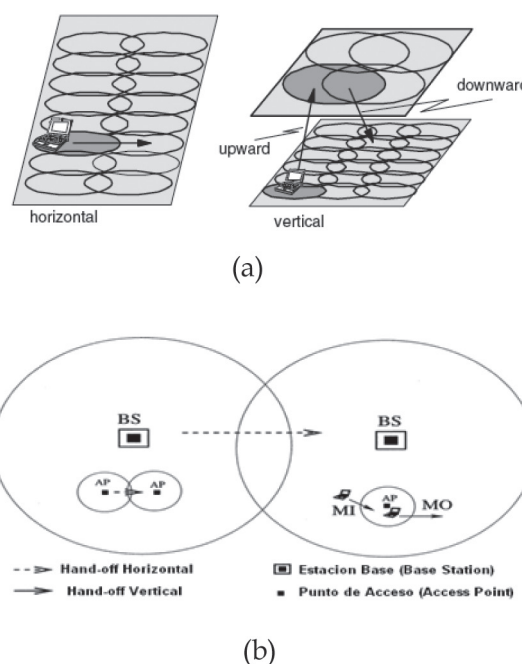
Finalmente, para exponer el alcance que tiene la cuarta generación de redes móviles, se citan algunas de las tecnologías que actualmente se involucran en 4G: receptores con radiofrecuencia definida por software (SDR de las siglas en inglés *software-defined radio*), OFDM (las siglas en inglés de *orthogonal frequency division multiplexing*), OFDMA (que son las siglas en inglés de *orthogonal frequency division multiple access*), MIMO (que son las siglas en inglés de *multiple input/multiple*

output), UMB (las siglas de *ultra mobile broadband*), E-UTRA (*Evolved UTRA*), UMTS y TD-SCDMA [15], [20] y [48].

Hand-off Vertical

Como se mencionó anteriormente las redes 4G pretenden fusionar varios tipos de redes esto con el objetivo de aprovechar todas las virtudes y la cobertura de cada red, lo que permite la prestación de servicios continuos, ubicuos y a un menor costo. Esto es posible, dado que cada tipo de red se desempeña de forma diferente en condiciones, lugares, momentos y servicios diferentes, lo cual hace que exista una red idónea para una condición, un lugar, un momento y un servicio específico. Para lograr los dispositivos inalámbricos, deben ser capaces de utilizar cualquier enlace inalámbrico que tengan disponible y para esto se deben diseñar sistemas

Figura 1. Clasificación de los procesos de *hand-off*



Fuente: [16] [28]

que permitan un cambio entre redes de forma transparente para el usuario siendo estos sistemas de Hand-off Vertical.

El hand-off es el proceso mediante el cual se mantiene una comunicación de extremo a extremo activa y funcional, cuando hay un cambio del enlace entre un punto de acceso/estación base y un terminal móvil a otro enlace con otro punto de acceso/estación base, en otras palabras, cuando hay un cambio de celda. Los procesos de hand-off pueden ser clasificados basándose en varios factores, existiendo principalmente las siguientes clases (figura 1): Hand-off horizontal, que se caracteriza porque las celdas, que realizan el cambio, son tecnológicamente iguales; hand-off vertical, que se caracteriza porque las celdas son tecnológicamente diferentes; Soft Handoff que se caracteriza por un cambio planeado; y hard handoff que se caracteriza por un cambio no planeado, debido a la interrupción abrupta del enlace existente [39]. Dentro del hand-off horizontal existen otras dos clases: Intracell Hand-off e Intercell Hand-off [39], que no se definen en este documento, dado que este artículo se centra en el Hand-off vertical.

Dentro del hand-off vertical existen otras dos clases de hand-off [39] y [44]; *Upward Vertical Hand-off* o *Mobile Upward* (MU) que se realiza pasando a una celda más grande y de menor relación de ancho de banda sobre área y *Downward Vertical Hand-off* o *Mobile Downward* (MD) que se realiza pasando a una celda más pequeña y de mayor relación de ancho de banda por área. Por lo general, MU experimenta una degradación del *throughput*, debido a la diferencia de tasas de transmisión [25], mientras que en MD es menos crítico en el manejo del tiempo dado que, por lo general, el dispositivo tiene la posibilidad de permanecer conectado a la celda más grande durante todo el proceso.

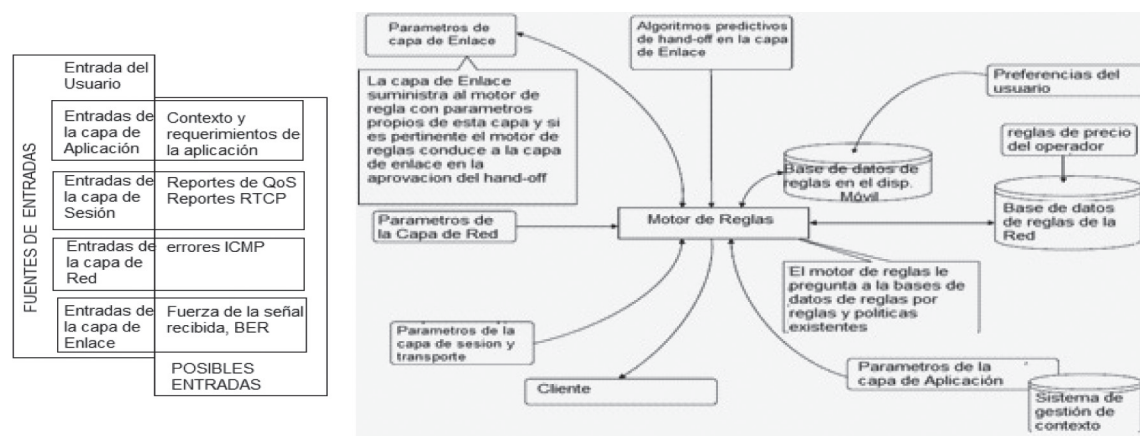
El proceso de *hand-off* se puede dividir en tres fases [16] y [39]. La primera fase es el descubrimiento de sistemas en los que se determina que celdas pueden ser usadas, los servicios disponibles en cada red y sus parámetros. Algunos ejemplos de los métodos utilizados para la identificación de estos parámetros son la predicción de micro-movilidad [18] y la probabilidad de salir de una micro-celda [17].

La segunda fase es la toma de decisión o pre-ejecución en la que se evalúa la conveniencia de realizar un cambio de celda y se escoge la nueva celda. En este proceso existen políticas que definen las circunstancias en las que se debe realizar el hand-off y las acciones que se deben realizar. Estrechamente relacionadas con las políticas existen métodos y técnicas para identificar la situación en la que se encuentran los dispositivos móviles. Para la correcta aplicación de las políticas es necesario un grado más elevado en la inteligencia de los sistemas para procesar los parámetros obtenidos en la fase de descubrimiento; para esto se pueden utilizar las siguientes técnicas: cadenas de markov [5] y [41], el uso de redes neuronales, lógica difusa [38] y toma de decisiones por matrices multi-atributo (MADM) [50].

En la figura 2, se observa cómo un motor de reglas necesita intercambiar datos de y hacia toda la red para realizar las debidas acciones de hand-off. El motor de reglas sería el ente encargado de aplicar las políticas de hand-off para una determinada situación definida por los datos que se adquieren de la red.

En la publicación *Vertical handover policies for common radio resource management* [27] se definen cinco clases de políticas que ejemplariza el uso de políticas en los procesos de hand-off y resume todo lo dicho sobre políticas de otras publicaciones y son: políticas

Figura 2. Flujo de información típico en un proceso de *hand-off*



Fuente: [43]

de transferencia, que determinan cuándo se debe realizar un salto: de origen que determinan las acciones necesarias cuando se origina una sesión; de selección que determina quién debe realizar un salto; de destino que determina cuál debe ser la nueva celda; y de retorno que determinan si es necesario volver a un punto de conexión anterior. Estas políticas deben observar todos los parámetros como prioridad, tasa de transmisión, jitter, retraso y tasa de error de cada red candidata [47].

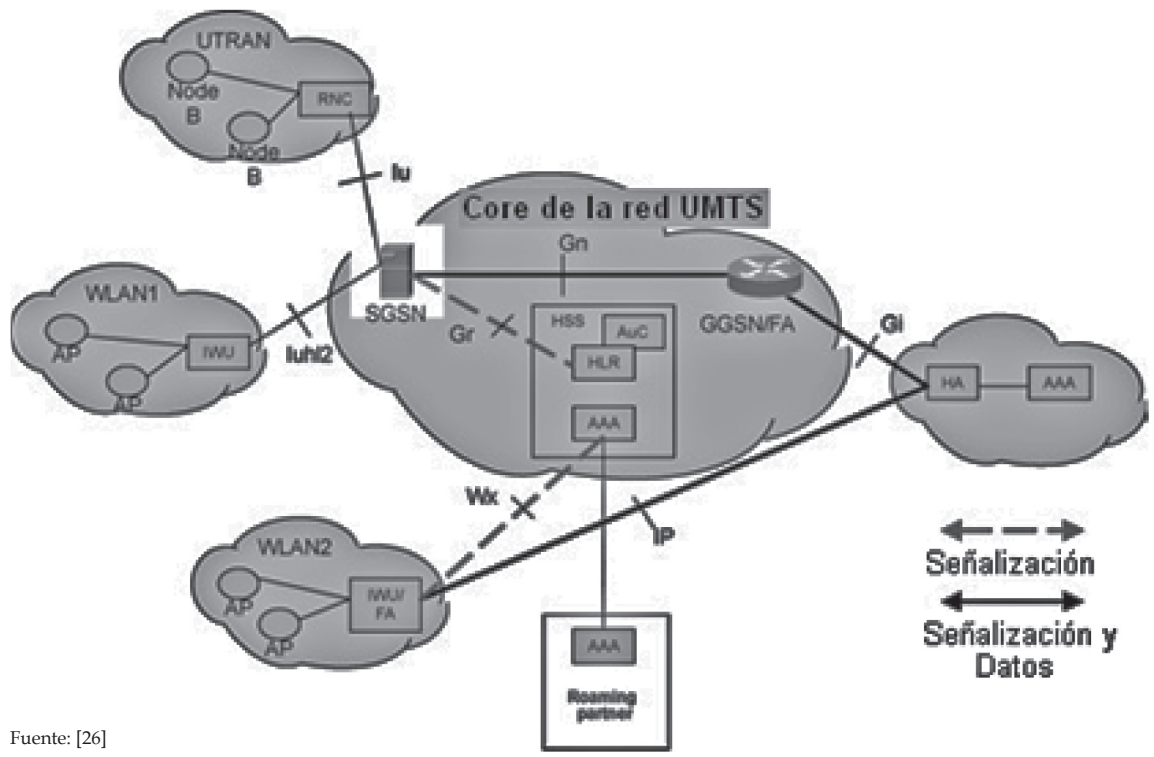
Dentro de los métodos y técnicas para identificar la situación de los dispositivos móviles, tradicionalmente se ha utilizado el nivel de las señales (RSS, received signal strength) sin ninguna clase de análisis para indicar la necesidad de un salto. Este criterio es insuficiente cuando se trata de redes heterogéneas [44] y [51], dada la variedad de opciones que permiten las redes 4G existiendo la necesidad de identificar otros parámetros como el ancho de banda [16] y [24], la movilidad [18], la localización [28], consumo de potencia e incluso el costo del uso de cada tipo de red [16], [41] y [43]. Estos parámetros son clasificados en parámetros estáticos que no cambian

frecuentemente y parámetros dinámicos que si lo hacen. La clasificación de los parámetros es importante para determinar a qué tan a menudo hay que realizar las mediciones de estos. Adicionalmente los reportes sobre los parámetros y situación de la red se pueden compartir y almacenar, lo que hace posible analizar diferentes datos adquiridos por diferentes sistemas dentro de la red [28].

La tercera fase es la de ejecución en la que se realiza el cambio celda. El objetivo en esta fase es minimizar el tiempo de latencia y la pérdida de paquete. Ya existen protocolos de movilidad diseñados para resolver este problema utilizando IP entre los cuales se encuentran MIPv4, MIPv6, HMIPv6, HIP-Bv6, FMIPv6 y FHMIPv6 [38], [23] y [30].

En relación con la estandarización de los métodos de hand-off existe el estándar IEEE 802.21 que tiene como objetivo especificar los mecanismos independientes al medio que optimizan el hand-off entre redes heterogénea, lo que permite la adaptación del enlace, uso cooperativo de la información entre nodos y detección de redes circundantes (IEEE 802.21, 2008). Este estándar se centra

Figura 2. Arquitectura para inter-funcionamiento de una Red UMTS (WMAN) y una red WLAN



Fuente: [26]

en la pre-ejecución y añade valor a las redes 4G debido a que respalda los servicios de hand-off entre tecnologías heterogéneas, no necesariamente IEEE 802, y especifica servicios que reducen la latencia u optimizan el proceso de hand-off [9]. El interés en el hand-off vertical se ha centrado en el inter-funcionamiento entre redes que manejan macro-celdas como las WMAN o WWAN y redes que manejan micro-celdas como las WLAN, dado que esta combinación garantiza la ubicuidad, movilidad y un bajo costo del servicio, debido, en términos muy resumidos, a la combinación de la alta movilidad que tienen las macro-celdas con el bajo costo y las altas tasas de transferencia que tienen las micro-celdas. Este interés se orienta principalmente en un escenario en el cual la cobertura de una macro-celda contiene a

la cobertura de una micro-celda [9], [17], [18] y [51]. en la que se utilizan los conceptos de *Downward Vertical Handoff* y *Upward Vertical Handoff* anteriormente explicados y la decisión de realizar hand-off no se basa únicamente a criterios de cobertura.

Actualmente, existen diseños de algoritmos y sistemas para realizar hand-off entre redes que manejan esta clase de celdas como entre WLAN y 3G [26], [28], [43] y [49] y entre redes IEEE 802.16 (Wimax) e IEEE 802.11 (Wifi) [9], [47] y [51], entre otros. Por su parte, la ETSI ha definido dos arquitecturas genéricas para integrar dos redes de las características mencionadas que son: de acoplamiento rígido (*tight coupling*) y de acoplamiento holgado (*loose coupling*) (ETSI TR 101 957 v1.1.1, 2001-08). Básicamente, la diferencia entre los

dos tipos de acoplamiento es que en el acoplamiento rígido los puntos de acceso de la micro-celda pertenecen a la misma red de la macro-celda, como si fuera un nodo de ella y en el holgado los puntos de acceso de la micro-celda pertenecen a una red de área local que se conecta a la red de la macro-celda. En la figura 3, se muestra la integración entre una red UMTS con redes LAN utilizando un acoplamiento rígido en la nube WLAN 1 y un acoplamiento holgado en la nube WLAN2. Dicho de una forma más general el acoplamiento rígido utiliza las micro-celdas para suplir la conexión de última milla con el usuario, pero no existe una integración real mientras que en el holgado sí.

Convergencia hacia IP

La convergencia hacia IP trae considerables ventajas para el desarrollo de las redes 4G, dado el reconocido nivel de madurez que tiene IP por lo que su adopción hace que automáticamente sean posibles una cantidad considerable de servicios que actualmente ya corren por IP.

La utilización de Ipv6 para las redes 4G es necesaria en el sentido que IPv4, actualmente, el protocolo más ampliamente utilizado en Internet no tiene la capacidad de manejar el número de direcciones IP necesarias para asignarle una dirección IP fija a cada dispositivo móvil existente que Ipv6 si permite. IPv4 es compatible con IPv6 y existen métodos de transición entre los dos protocolos lo que permite el uso de IPv6 dentro del ya desplegado IPv4 [40].

Sin embargo, el uso de IP en las comunicaciones móviles acarrea ciertos retos que solucionar, debido a los procesos de hand-off que gestionan, controlan y manejan la capa física y de enlace afectando directamente la capa de red que es gestionada con los pro-

tolos IP. En un principio, IP fue diseñado para sistemas de comunicación alambrados con pocas probabilidades de error y, por tanto, pocas pérdidas de paquetes en comparación con los sistemas inalámbricos en los que sucede todo lo contrario, es por ello que existen gran cantidad de errores que son interpretados como congestión [19]. Según lo que expone la publicación *Impacts of Handoff on TCP Performance in Mobile Wireless Computing* [2] los procesos de *hand-off* tienen principalmente tres impacto negativos en sistemas inalámbricos que utilizan IP; largas pausas en la comunicación, un lento reestablecimiento de la comunicación después del hand-off y tiempos de espera vencidos sucesivamente, debido al hand-off. Por esta razón, surgen las versiones móviles de los protocolos IP; MIPv4, MIPv6, HMIPv6, HIP-Bv6, FMIPv6 y FHMIPv6 mencionados anteriormente. La mayoría de las versiones móviles de IP funcionan principalmente estableciendo una red de origen que gestiona un nodo móvil que salta de red en red [32].

La calidad de servicio en una red que utiliza protocolos IP en un proceso de hand-off se puede evaluar con tres parámetros: *latencia*, que es el tiempo por el cual no se transmiten paquetes debido al cambio de celda; *pérdida de paquetes*, que es la cantidad de paquetes enviados que no se reciben y que, por lo general, es proporcional a la latencia; y *costo por cabeceras de señalización*, en el cual las cabeceras de señalización son los paquetes o parte de ellos que se dedican a caracterizar el tráfico [30].

Con el objetivo de mejorar el desempeño y QoS de los protocolos IP cuando se realizan procesos *hand-off* los investigadores han propuesto, en un comienzo, los métodos *PROBE*, *BUFFER+FREEZE* [2], *TCP Westwood* [1], *TCP-Freeze* [13], *Eifel timer* [29], y posteriormente, *Snoop* [8], *ACK and Window-regulator*

[3] y [4], control adaptativo rápido de congestión [45], uso de notificaciones explícitas e implícitas [6] y HPIN [30]. Por lo general, estas propuestas sugieren un apoyo de las capas superiores para alertar a las capas de enlace y red, 2 y 3, respectivamente, sobre los procesos de hand-off [19] y [51], en los cuales las capas superiores son usadas con el objetivo de generar algún tipo de señalización y recolección de información que optimice el proceso.

Conclusiones

Después de esta revisión se concluye que el hand-off vertical necesita establecer un nuevo marco sobre qué parámetros se deben tener en cuenta para las decisiones de hand-off, dado que la medición de la RRS utilizada en redes homogéneas es insuficiente en redes heterogéneas, debido a que un RSS no representa un mismo desempeño en redes tecnológicamente diferentes.

Además, referente al manejo de las capas 3 y superiores en las redes 4G, se concluye que para los procesos de hand-off se utilizaría como solución las versiones móviles de los protocolos IP y similares, que a la fecha ya están bastante desarrollados conceptualmente, mientras que en las capas 1 y 2 se utilizarían procesos de hand-off que deben ser estandarizados de una forma menos general de lo planteado en el estándar IEEE 802.21, pero que a la fecha no se ha hecho por lo que se justifica el trabajo de investigación en esta área.

Por último, se concluye que el reto en el desarrollo de las redes 4G es la integración de tecnologías ya existentes usando técnicas como el *hand-off* vertical y la convergencia a los servicios IP teniendo en cuenta en todo momento la satisfacción del usuario. 4G concreta los desarrollos realizados en las redes celulares y en los estándares IEEE 802, rompiendo con

la división existente entre estas dos grandes familias de tecnologías de comunicaciones que existían hasta la inclusión de IEEE 802.16 en IMT-2000 en el 2007, adoptando las mejores características de cada una, siendo las técnicas de hand-off claves en su integración por lo que vale la pena indagar sobre nuevos procesos de hand-off o la mejora de los ya existentes y sus herramientas de desarrollo. Cualquier persona que trabaje en este campo debe ser consciente de la gran variedad de tecnologías existentes y las técnicas para integrarlas; en otras palabras, siendo más metafórico, las tecnologías son los ladrillos y las técnicas para integrarlas son el cemento para construir un nuevo sistema de comunicaciones llamado 4G.

Referencias bibliográficas

- [1] C. Casetti, M. Gerla, S. Mascolo, M. Y. Sanadidi y R. Wang. *TCP Westwood: end-to-end congestion control for wired/wireless networks*. Wireless Networks. Wireless Networks, Vol. 8, Number 5, pp. 467-479, DOI: 10.1023/A:1016590112381. 2002
- [2] A. C. Chan, D. H. Tsang y S. Gupta. *Impacts of Handoff on TCP Performance in Mobile Wireless Computing*. Conferencia Internacional IEEE sobre Comunicaciones Inalámbricas Personales realizada en Mumbai, India, entre el 17 y 19 de Diciembre de 1997, ISBN: 0-7803-4298-4, pp. 184-188. 1997.
- [3] M. C. Chan y R. Ramjee. *Improving TCP/IP performance over third generation wireless networks*. IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 7 no. 4, pp. 430-443, ISSN: 1536-1233, 2008.
- [4] M. C. Chan y R. Ramjee. *TCP/IP performance over 3G wireless links with rate and delay variation*. 8th annual international conference on Mobile computing and networking, ISBN:1-58113-486-X, 2002.

- [5] B. Chang, J. Chen, C. Hsieh y Liang. *Markov Decision Process-based Adaptive Vertical Handoff with RSS Prediction in Heterogeneous Wireless Networks*. *Wireless Personal Communications*, Vol. 41, Issue 3, pp. 325-344, [NSC-92-2213-E-324-019] 2007.
- [6] L. Chen, G. Yang, T. Sun, M. Y. Sanadidi y G. Gerla. *Enhancing QoS Support for Vertical Handoffs Using Implicit/Explicit Handoff Notifications*. *Second International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks*, pp. 8 - 37, ISBN: 0-7695-2423-0 2005.
- [7] J. Choi. *4G Solution for Convergence?* *Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S International*, pp. 843 - 846, ISSN: 0149-645X. 2006.
- [8] A. Chouly, A. Brajal y S. Jourdan. *Orthogonal Multicarrier Techniques Applied to Direct Sequence Spread Spectrum CDMA Systems*. *Global Telecommunications Conference, IEEE*, vol. 3, pp. 1723 - 1728, ISBN: 0-7803-0917-0 1993.
- [9] L. Eastwood, S. Migaldi, Q. Xie y V. Gupta. *Mobility Using IEEE 802.21 In A Heterogeneous IEEE 802.16/802.11-Based, IMT-Advanced (4g) Network*. *Wireless Communications, IEEE*, Vol. 15, Issue 2, pp. 26 - 34, ISSN: 1536-1284. 2008.
- [10] Estandar IEEE 802.21. 2008.
- [11] ETSI TR 101 957 v1.1.1, *Broadband Radio Access Networks (BRAN), HIPERLAN TYPE 2, Requirements and Architectures for Interworking between HIPERLAN/2 and 3rd Generation Cellular Systems*. 2001.
- [12] S. Frattasi, H. Fathi, A. Gimmler, F. Fitzek y R. Prasad. *Designing Socially Robust 4G Wireless Services*. *Technology and Society Magazine, IEEE*, Vol. 25 Issue 2, pp. 51 - 64, ISSN 0278-0097. 2006.
- [13] T. Goff, J. Moronski, D. S. Phatak y Gupta. *Freeze-TCP: A true end-to-end TCP enhancement mechanism for mobile environments*. *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. Vol. 3, pp. 1537 - 1545, ISBN 0-7803-5880-5. 2000.
- [14] J. Govil y J. Govil. *4G: Functionalities Development and an Analysis of Mobile Wireless Grid*. *First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET '08*. pp. 270 - 275, ISBN 978-0-7695-3267-7. 2008.
- [15] J. Govil y J. Govil. *An Empirical Feasibility Study of 4G's Key Technologies*. *IEEE International Conference on Electro/Information Technology*, pp. 267 - 270, ISBN 978-1-4244-2029-2. 2008.
- [16] P. Goyal y S. K. Saxena. *A Dynamic Decision Model for Vertical Handoffs across Heterogeneous Wireless Networks*. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 31, pp. 677-682.. 2008.
- [17] A. Hasib y A. O. Fapojuwo. *Mobility model for heterogeneous wireless networks and its application in common radio resource management*. *Communications, IET*, Vol. 2, Issue 9, pp. 1186 - 1195, ISSN 1751-8628. 2008.
- [18] P. Ho, Y. Wang y F. Hou. *Shen, S., A Study on Vertical Handoff for Integrated WLAN and WWAN with Micro-Mobility Prediction*. *3rd International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems, BROADNETS 2006*. pp. 1 - 11, ISBN: 978-1-4244-0425-4. 2006.
- [19] K. Hoque, R. Md, R. R. Haque, Md. A. Hossain, M. S. F. Farazi y G. Hossain. *Modeling and Performance of TCP in a MCCDMA System for 4G Communications*. *10th international conference on Computer and information technology, iccit 2007*. pp. 1 - 5, ISBN 978-1-4244-1550-2. 2007.
- [20] M. Jamil, S. P. Shaikh, M. Shahzad y Q. Awais. *4G: The Future Mobile Technology*. 2008.

- gy. IEEE Region 10 Conference TEN-CON 2008, pp. 1 - 6, ISBN 978-1-4244-2408-5. 2006.
- [21] T. Janevski. *5G Mobile Phone Concept*. 6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference, pp. 1 - 2, ISBN: 978-1-4244-2308-8. 2009.
- [22] A. H. Khan, M. A. Qadeer, J. A. Ansari y S. Waheed. *4G as a Next Generation Wireless Network*. International Conference on Future Computer and Communication, pp. 334 - 338, ISBN: 978-0-7695-3591-3. 2009.
- [23] R. Koodli. *Fast Handovers for Mobile IPv6*. RFC 5568, IETF. 2009.
- [24] C. W. Lee. *A framework of handoffs in wireless overlay networks based on mobile IPv6*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 23, Issue 11, pp. 2118 - 2128, ISSN 0733-8716. 2005.
- [25] J. H. Lee, S. Lee, K., J. S. Song. *An enhanced TCP for upward vertical handoff in integrated WLAN and cellular networks*. International Journal of Communication Systems, vol. 21, Issue 9, pp. 901-921, doi: 10.1002/dac.922. 2008.
- [26] W. K. Liao y Y. C. Chen. *Supporting vertical handover between universal mobile telecommunications system and wireless LAN for real-time services*. Communications, IET, Vol. 2, Issue 1, pp. 75 - 81, ISSN 1751-8628. 2008.
- [27] S. J. Lincken. *Vertical handover policies for common radio resource management*. International Journal of Communication Systems, vol. 18, issue 6, pp. 527-543. doi: 10.1002/dac.715. 2005.
- [28] M. Lott, M. Siebert, S. Bonjour, D. von Hugo y M. Weckerle. *Interworking of WLAN and 3G systems*. IEEE Communications, Vol. 151, Issue 5, pp. 507 - 513, ISSN 1350-2425. 2004.
- [29] R. Ludwig y R. H. Katz. *The Eifel algorithm: Making TCP robust against spurious retransmissions*. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 30, Issue 1, doi 10.1145/505688.505692. 2000.
- [30] C. Makaya y S. Pierre. *Efficient Handoff Scheme for Heterogeneous IPv6-based Wireless Networks*. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 3256 - 3261, ISSN 1525-3511, ISBN: 1-4244-0658-7. 2007
- [31] A. R. Mishra. *Advanced Cellular Networks planning and Optimisation*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 0-470-01471-7. 2007.
- [32] N. Montavont y T. Noel. *Handover Management for Mobile Nodes in IPv6 Networks*. IEEE Communications Magazine, Vol. 40, Issue 8, pp. 38 - 43, ISSN 0163-6804. 2002.
- [33] K. Murota, NTT DoCoMo. *Mobile communications trends in Japan and NTT DoCoMo's activities towards 21st century*. 4th ACTS Mobile Communications Summit. 1999.
- [34] Y. Park y T. Park. *A Survey of Security Threats on 4G Networks*. IEEE Globecom Workshops, pp. 1 - 6, ISBN 978-1-4244-2024-7. 2007.
- [35] Rec. ITU-R M1645. *Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000*. 2003.
- [36] D. Rouffet y P. Sehier. *Convergence and Competition on the Way towards 4G*. IEEE Radio and Wireless Symposium, pp. 277 - 280, ISBN 1-4244-0445-2. 2007.
- [37] K. R. Santhi y G. Senthil Kumaran. *Migration to 4 G: Mobile IP based Solutions*. International Conference on Telecommunications, 2006. AICT-ICIW '06. pp. 76, ISBN 0-7695-2522-9. 2006.
- [38] L. M. Sepulveda. *Desarrollo de un algoritmo para handoff vertical entre redes IEEE802.16 WWAN y UMTS*. Tesis presentada para optar al título de Magister

- en Ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas. 2008.
- [39] A. Sgora y D. D. Vergados. *Handoff Prioritization and Decision Schemes in Wireless Cellular Networks: a Survey*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 11, Issue 4, pp. 57 - 77, ISSN 1553-877X. 2009.
- [40] D. Shalini Punithavathani y K. Sankaranarayanan. *IPv4/IPv6 Transition Mechanisms*. European Journal of Scientific Research, Vol. 34, No.1, pp.110-124, ISSN 1450-216X. 2009.
- [41] E. Stevens-Navarro y Y. Lin. *An MDP-Based Vertical Handoff Decision Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 57, Issue 2, pp. 1243 - 1254, ISSN 0018-9545. 2008.
- [42] J. Sun, J. Sauvola y D. Howie. *Features in Future: 4G Visions from a Technical Perspective*. IEEE Global Telecommunications Conference, GLOBECOM '01, vol. 6 pp. 3533 - 3537, ISBN: 0-7803-7206-9. 2001.
- [43] A. Sur, y D. C. Sicker. *Multi Layer Rules Based Framework for Vertical Handoff: A novel approach to trigger Vertical Handoff in multihomed devices*. 2nd International Conference on Broadband Networks, Vol. 1, pp. 571 - 580, ISBN 0-7803-9276-0. 2005.
- [44] M. Z. A. Syuhadal, I. Mahamod, y W. A. W. N. S. Firuz. *Performance Evaluation of Vertical Handoff in Fourth Generation (4G) Networks Model*. 6th National Conference on Telecommunication Technologies, pp. 392 - 398, ISBN 978-1-4244-2214-2. 2008.
- [45] N. Wang, Y. Wang y S. Chang, S. *A Fast Adaptive Congestion Control Scheme for Improving TCP Performance during Soft Vertical Handoff*. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 3641 - 3646, ISSN 1525-3511, ISBN: 1-4244-0658-7. 2007.
- [46] Y. Wang, X. Qiao, X. Li y L. Meng. *The Service-Context Information Processing Mechanism in B3G/4G*. International Conference on Computer Science and Software Engineering, pp. 1174 - 1177, ISBN 978-0-7695-3336-0. 2008.
- [47] J. Wu, S. Yang y B. Hwang. *A terminal-controlled vertical handover decision scheme in IEEE 802.21-enabled heterogeneous wireless networks*. International Journal of Communication Systems, vol. 22, Issue 7, pp. 819-834. doi: 10.1002/dac.996. 2009.
- [48] Q. Xiuhua, Q. Chuanhui y W. Li. *A Study of Some Key Technologies of 4G System*. 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, pp. 2292 - 2295, ISBN 978-1-4244-1717-9. 2008.
- [49] M. Yang, K. Cheon, A. Park y S. Kim. *3GE-WLAN Vertical Handover Experience using Fast Mobile IPv6*. 10th International Conference on Advanced Communication Technology, pp. 1259 - 1262, ISSN 1738-9445, ISBN 978-89-5519-136-3. 2008.
- [50] W. Zeng. *Handover Decision Using Fuzzy MADM in Heterogeneous Networks*. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Vol.2, pp. 653 - 658, ISSN 1525-3511, ISBN: 0-7803-8344-3. 2004.
- [51] Y. Zhang, W. Zhuang y A. Saleh. *Vertical Handoff between 802.11 and 802.16 Wireless Access Networks*. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Vol.2, pp. 653 - 658, ISSN 1525-3511, ISBN: 0-7803-8344-3. 2008.