

Handover Vertical y convergencia hacia IP como factores clave del desarrollo de las redes 4G

Francisco Javier González Páez
MsC(c) Ingeniería de Telecomunicaciones
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
fjgonzalezp@unal.edu.co

Jorge Eduardo Ortiz Triviño
MsC en Estadística
MsC en ingeniería de Telecomunicaciones
PhD (c) en Ingeniería de Sistemas, Ms en Filosofía
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
jeortizt@unal.edu.co

Resumen— El artículo describe las redes 4G y muestra un mapa general de su desarrollo tecnológico. Adicionalmente se muestran dos temas que son clave en el desarrollo de este tipo de redes. Estos temas son el Handover Vertical y la convergencia hacia IP. La revisión expuesta muestra el estado del arte y los antecedentes de estos temas. Con base en esto se genera un mapa conceptual en el que se considera la variedad de tecnologías que convergen en el esquema 4G.

Palabras clave— Redes 4G, handoff vertical, Handover Vertical, IP Móvil.

Abstract- This paper describes what the 4G networks are and depicts a technologies' general map of its development. Furthermore it shows two topics that are important in these networks' development. These topics are vertical handover and IP convergence. The depicted survey by this paper shows the state of the art and the background of these topics that generate a useful mental map due to technologies' variety that is converging in the 4G scheme.

Key Words— Vertical Handoff, Vertical handover, Mobile IP, 4G Networks

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace un poco más de 10 años se ha intentado definir las redes de cuarta generación (Redes 4G). Dada la importancia que tendrán a nivel comercial y de desarrollo técnico, es pertinente abordar los factores clave del desarrollo de dichas 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 donde 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 donde el *Handover* vertical lo permite para las capas 1

y 2, y otra donde la convergencia hacia IP lo permiten para la capas 3 y superiores (el modelo de capas aquí utilizado se refiere al modelo de sistema abierto de interconexión (OSI, del inglés *open system interconnection*) de ISO).

El artículo muestra qué son, su evolución, y dónde encajan dentro de la cuarta generación de redes las temáticas de *Handover vertical* y la convergencia hacia IP.

II. DEFINICIÓN DE REDES 4G

El término cuarta generación (4G) surge de la evolución de las redes celulares que se inicia en la década de 1970 con la primera generación (1G) para prestación de servicios de telefonía móvil inalámbrica [1]. Posteriormente se desarrolló la segunda generación (2G), que introduce tecnologías digitales, para mejorar el servicio, y servicio de mensajes de texto entre otros [1]. La 2.5G es el nombre informal que se le dio al grupo de redes con tecnologías que permitían la conmutación de paquetes e internet como el servicio general de paquetes vía radio (GPRS, del inglés *General Packet Radio Service* y el sistema de tasa de datos mejorada para la evolución de GSM (EDGE del inglés *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) los cuales corren sobre redes 2G. La tercera generación (3G) comprende redes cuyo objetivo es brindar servicios de datos y, finalmente, la 4G que se explicará con detalle [2] [1]. Ya existen algunas especulaciones de lo que serán la quinta (5G), sexta (6G) y séptima (7G) generación sin que haya terminado de madurar la 4G [3] [4].

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 este ampliamente implementado en el 2015 [5]. 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 [5].

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 con 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 liderado por la ITU, que expresa los objetivos que deben cumplir este tipo de redes en la recomendación ITU-R M1645, de los objetivos que deben cumplir estas redes entre los cuales se encuentran; el uso de **redes híbridas**, 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 debía cumplir para el año 2010 según la ITU; **estandarización en el uso del espectro**, que sea común y abierto a nivel mundial; **redes basadas en IP**, dada la madurez tecnológica que tiene IP y los servicios que corren sobre este, como voz, video y datos; **ubicuidad**, por la disponibilidad en cualquier sitio en cualquier momento y **bajos costos**, dado que tienen la capacidad de ser menos costosas que las redes 3G por el uso eficiente del espectro electromagnético y porque serán construidas sobre redes ya existentes [6] [7] [8] [9]. En relación a las altas tasas de transmisión ya se han desarrollado estándares con el objetivo de cumplir esta meta como el IEEE 802.16m [5].

Otras características de estas redes en las cuales no existe un consenso general pero, sin embargo, son mencionadas por algunos autores son la personalización de las aplicaciones, conexiones P2P, el uso extensivo de las redes de área personal, el uso de terminales inteligentes que reconocen su entorno y adaptan sus capacidades y cambios significativos a nivel del terminal, de la red y de las aplicaciones [6] [10] [8] [2] [11].

La otra cara de las redes 4G es la que ve el usuario, quien no necesariamente entiende de protocolos ni métodos de acceso al medio, entre otros, pero sí entiende de costos, QoS, e incluso de la duración de la batería, lo cual 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 las fallas que tuvieron las tecnologías 3G dado que, además de tener dificultades técnicas para actualizar las redes, no obedecían a las necesidades de los usuarios a pesar de mejorar significativamente a nivel tecnológico [12]. Por esta razón el desarrollo de las redes 4G debe centrarse más en el usuario para proveer servicios con bajos costos, de gran variedad y amplia cobertura. En el artículo "4G, *Solution for Convergence?*" [13] su autor afirma que el usuario recibirá varias cuentas de cobro de varios servicios pero que sólo 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 sólo 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) [14].

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 [15]. Además, en un principio estos sistemas serán vulnerables por su complejidad y falta de madurez conceptual, pues son susceptibles a posibles ataques por sus vacíos a nivel de seguridad [8].

Otros problemas se deben al alto número de puntos de conexión con diferentes operadores, con di-

ferentes 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 [15].

Finalmente, para exponer el alcance que tiene la cuarta generación de redes móviles, se cita 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 [16] [6] [17].

III. HANDOVER VERTICAL

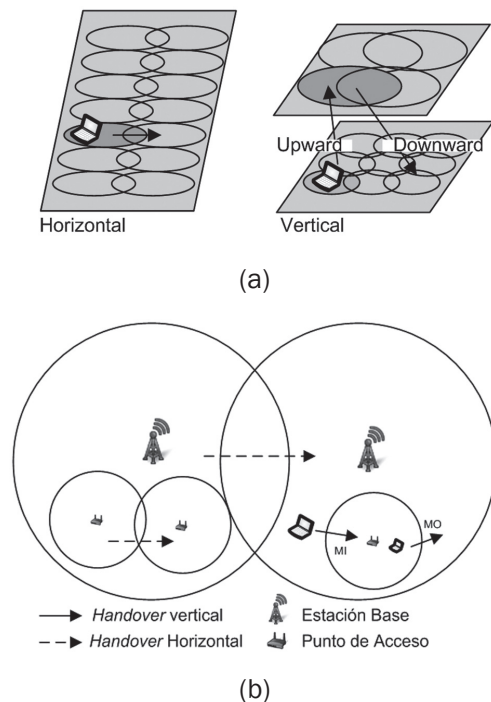
Como se mencionó anteriormente las redes 4G pretenden fusionar varios tipos de redes esto con el objetivo de aprovechar todas las virtudes y cobertura de cada red, para permitir la prestación de servicios continuos, ubicuos y a un menor costo. Esto es posible dado que cada tipo de red se desempeña de 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 lo anterior, los dispositivos inalámbricos deben ser capaces de utilizar cualquier enlace inalámbrico que tengan disponible, y para esto se deben diseñar sistemas que permitan un cambio entre redes de forma transparente para el usuario. Los sistemas que cumplen con estas características son sistemas de *Handover* Vertical.

El *handover*, también llamado *handoff*, 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 *handover* pueden ser clasificados basándose en varios factores existiendo principalmente las siguientes clases (Fig. 1); *Handover* horizontal, que se caracteriza porque las celdas, que realizan el cambio, son tecnoló-

gicamente iguales, *Handover* 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 [18]. Dentro del *handover* horizontal existen otras dos clases; *Intracell Handover*, que ocurre cuando se cambia de canal de radio dentro de una misma celda para minimizar la interferencia entre canales, e *Inter-cell Handover*, que ocurre cuando se cambia de celda [18].

Dentro del *Handover* vertical existen otras dos clases de *Handover* [18] [21]: **Upward Vertical Handover o Mobile Upward (MU)**, que se realiza al pasar a una celda más grande y de menor relación de ancho de banda sobre área y **Downward Vertical Handover o Mobile Downward (MD)**, que se realiza al pasar a una celda más pequeña y de mayor relación de ancho de banda por área. MU experimenta por lo general una degradación del *throughput* debido a la diferencia de tasas de transmisión [22] 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.

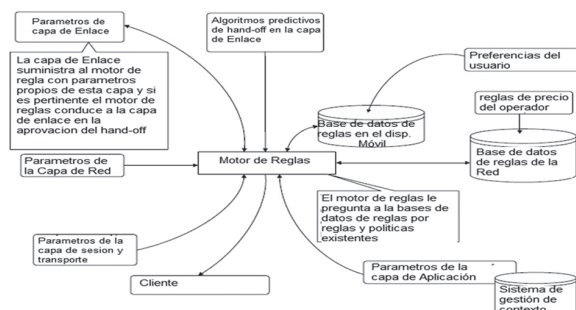
FIG. 1. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS HANDOVER



El proceso de *handover* se puede dividir en tres fases [19] [18]. La primera fase es el descubrimiento de sistemas donde se determina qué 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 [23] y la probabilidad de salir de una micro-celda [24].

La segunda fase es la toma de decisión o pre-ejecución en donde 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 *handover* y las acciones que se deben realizar. Estrechamente relacionadas a 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 [25] [26], el uso de redes neuronales, lógica difusa [27] y toma de decisiones por matrices multi-atributo (MADM) [28].

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

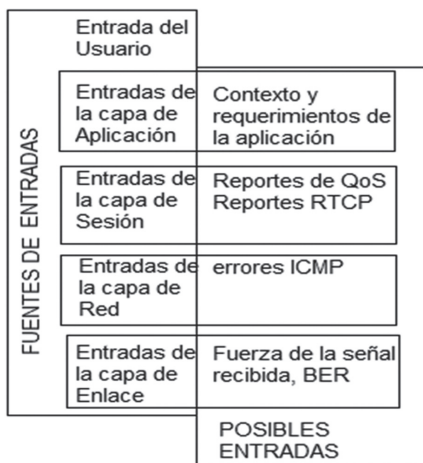


En la publicación “*Vertical handover policies for common radio resource management*” [30] se definen cinco clases de políticas que ejemplariza el uso de políticas en los procesos de *handover* y resume todo lo dicho sobre políticas de otras publicaciones, como son las políticas de transferencia, que determinan cuándo se debe realizar un salto; políticas de origen, que determinan las acciones necesarias cuando se origina una sesión; políticas de selección que determina quién debe realizar un salto; políticas de destino, que determinan cuál debe ser la nueva celda, y políticas de retorno, que determinan si es necesario volver a un punto de conexión anterior. Estas políticas deben observar todos los parámetros (prioridad, tasa de transmisión, jitter, retraso y tasa de error de cada red candidata) [31].

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 [21] [32], dada la variedad de opciones que permiten las redes 4G, por lo que se da la necesidad de identificar otros parámetros como el ancho de banda [19] [33], la movilidad [23], la localización [20], consumo de potencia e incluso el costo del uso de cada tipo de red [19] [26] [29]. Estos parámetros son clasificados en parámetros estáticos, que no cambian frecuentemente, y parámetros dinámicos, que sí lo hacen. La clasificación de los parámetros es importante para determinar qué tan a menudo hay que realizar las mediciones. 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 [20].

La tercera fase es la de ejecución donde se realiza el cambio celda. El objetivo en esta fase es mini-

FIG. 2 [29]: FLUJO DE INFORMACIÓN TÍPICO EN UN PROCESO DE HANDOVER



mizar el tiempo de latencia y la pérdida de paquete. Ya existen protocolos de movilidad diseñados para resolver este problema mediante IP, entre los cuales se encuentran MIPv4, MIPv6, HMIPv6, HIP-Bv6, FMIPv6 y FHMIPv6 [27] [34] [35].

Con relación a la estandarización de los métodos de *handover* existe el estándar IEEE 802.21, que tiene como objetivo especificar los mecanismos independientes del medio para optimizar el *handover* entre redes heterogéneas, y así permitir la adaptación del enlace, uso cooperativo de la información entre nodos y detección de redes circundantes [36]. Este estándar se centra en la pre-ejecución y añade valor a las redes 4G debido a que respalda los servicios de *handover* entre tecnologías heterogéneas, no necesariamente IEEE 802, y especifica servicios que reducen la latencia y/o optimizan el proceso de *handover* [5].

El interés en el *handover* 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 donde la cobertura de una macro-celda contiene a la cobertura de una micro-celda [5] [24] [23] [32] donde se utilizan los conceptos de *Downward Vertical Handoff* y *Upward Vertical Handoff* anteriormente explicados y la decisión de realizar *handover* no se basa únicamente en criterios de cobertura. Actualmente existen diseños de algoritmos y sistemas para realizar *handover* entre redes que manejan esta clase de celdas como entre WLAN y 3G [37] [20] [29] [38] y entre redes IEEE 802.16 (Wimax) e IEEE 802.11 (Wi-fi) [5] [31] [32] entre otros. La ETSI por su parte 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*) [39].

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 ac-

ceso de la micro-celda pertenecen a una red de área local que se conecta a la red de la macro-celda. 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.

IV. 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 sea posible 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 por solucionar, debido a los procesos de *handover* que gestionan, controlan y manejan la capa física y de enlace, y que afectan directamente la capa de red, la cual es gestionada con los protocolos IP. IP en un principio fue diseñado para sistemas de comunicación alambrados con pocas probabilidades de error y, por lo tanto, pocas pérdidas de paquetes en comparación de los sistemas inalámbricos donde sucede todo lo contrario, lo que genera una gran cantidad de errores interpretados como congestión [41]. Según lo que expone la publicación "*Impacts of Handoff on TCP Performance in Mobile Wireless Computing*" [42] los procesos de *handover* tienen principalmente tres impactos negativos en sistemas inalámbricos que utilizan IP: largas pausas en la comunicación, un lento restablecimiento de la comunicación después del *handover* y tiempos de espera vencidos sucesivamente debido al *handover*. Por esta razón surgen las versiones móviles de los protocolos IP: MIPv4, MIPv6, HMIPv6, HIP-Bv6, FMIPv6 y FHMIPv6, las cuales ya se mencionaron. La mayoría de las ver-

siones móviles de IP funcionan principalmente al establecer una red de origen que gestiona un nodo móvil que salta de red en red [43].

La calidad de servicio en una red que utiliza protocolos IP en un proceso de *handover* 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 que por lo general es proporcional a la latencia, y **costo por cabeceras de señalización**, donde las cabeceras de señalización son los paquetes, o parte de ellos para caracterizar el tráfico [35]. Con el objetivo de mejorar el desempeño y QoS de los protocolo IP cuando se realizan procesos *handover* los investigadores han propuesto, en un comienzo los métodos *PROBE*, *BUFFER+FREEZE* [42], *TCP Westwood* [44], *TCP-Freeze* [45], *Eifel timer* [46], y posteriormente, *Snoop* [47], *ACK and Window-regulator* [48] [49], control adaptativo rápido de congestión [50], uso de notificaciones explícitas e implícitas [51] y HPIN [35]. 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 *handover* [41] [32] donde las capas superiores son usadas con el objetivo de generar algún tipo de señalización y recolección de información que optimice el proceso.

V. CONCLUSIONES

Después de esta revisión se concluye que el *handover* vertical necesita establecer un nuevo marco sobre qué parámetros deben tenerse en cuenta para las decisiones de *handover* dado que la medición de la RRS utilizada en redes homogéneas es insuficiente en redes heterogéneas, dado que un mismo 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 *handover* se utilizaría como solución las versiones móviles de los protocolos IP y similares, que a la fecha ya están desarrollados conceptualmente, mientras que en las capas 1 y 2 se utilizarían procesos de *handover*, que deben ser estandarizados de una forma menos general de lo planteado en el estándar IEEE 802.21. Sin embar-

go, esto 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 con técnicas como el *handover* vertical y la convergencia a los servicios IP, para lograr una mayor satisfacción del usuario. 4G concreta los desarrollos realizados en las redes celulares y en los estándares IEEE 802, con lo que se logra romper la división existente entre estas dos grandes familia de tecnologías de comunicaciones, la cual que existía hasta la inclusión de IEEE 802.16 en IMT-2000 en 2007, la cual adoptó las mejores características de cada una. En esta integración, las técnicas de *handover* constituyeron un factor clave; por esto vale la pena indagar sobre nuevos procesos de *handover* 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, en lenguaje metafórico, las tecnologías son los ladrillos y las técnicas para integrarlas son el cemento para construir un nuevo sistema de comunicaciones llamado 4G.

REFERENCIAS

- [1] Mishra, A. R., "Advanced Cellular Networks planning and Optimisation", John Wiley & Sons Ltd (ed), 2007.
- [2] Sun, J., Sauvola, J., Howie, D., "Features in Future: 4G Visions from a Technical Perspective", IEEE 2001.
- [3] Janevski, T., "5G Mobile Phone Concept", IEEE, 2009.
- [4] Li, X., Gani, A., Salleh, R., Zakaria, O., "The Future of Mobile Wireless Communication Networks", International Conference on Communication Software and Networks, 2009
- [5] Eastwood, L., Migaldi, S., Xie, Q., Gupta, V., "Mobility Using IEEE 802.21 In A Heterogeneous IEEE 802.16/802.11-Based, IMT-Advanced (4g) Network", IEEE Wireless Communications, Abril de 2008, pp. 26-34.
- [6] Jamil, M., Shaikh, S. P., Shahzad, M., Awais, Q., "4G: The Future Mobile Technology", IEEE.

- [7] Rec. ITU-R M1645, "Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000", 2003.
- [8] Govil, J., Govil, J., "4G: Functionalities Development and an Analysis of Mobile Wireless Grid", First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, 2008, pp. 270-275.
- [9] Khan, A. H., Qadeer, M. A., Ansari, J. A., Waheed, S., "4G as a Next Generation Wireless Network", International Conference on Future Computer and Communication, IEEE, 2009 pp. 334-338.
- [10] Rouffet, D., Sehier, P., "Convergence and Competition on the Way towards 4G", IEEE, 2007.
- [11] Wang, Y., Qiao, X., Li, X., Meng, L., "The Service-Context Information Processing Mechanism in B3G/4G", International Conference on Computer Science and Software Engineering, 2008, pp.1174-1177.
- [12] Frattasi, S., Fathi, H., Gimmler, A., Fitzek, F., Prasad, R., "Designing Socially Robust 4G Wireless Services", IEEE Technology and Society Magazine | summer 2006, pp. 51-64.
- [13] Choi, J., "4G Solution for Convergence?", IEEE, 2006.
- [14] Murota, K. NTT DoCoMo, "Mobile communications trends in Japan and NTT DoCoMo's activities towards 21st century", ACTS Mobile Summit99, Sorrento, Italy, June 1999.
- [15] Park, Y., Park, T., "A Survey of Security Threats on 4G Networks", Workshop on Security and Privacy in 4G Networks, IEEE, 2007.
- [16] Govil, J., Govil, J., "An Empirical Feasibility Study of 4G's Key Technologies", IEEE, 2008, pp. 267-270.
- [17] Xiuhua, Q., Chuanhui, Q., Li, W., "A Study of Some Key Technologies of 4G System", IEEE 2008.
- [18] Sgora, A., Vergados, D. D., "Handoff Prioritization and Decision Schemes in Wireless Cellular Networks: a Survey", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 11, no. 4, fourth quarter 2009, pp.57-77.
- [19] Goyal, P., Saxena, S. K., "A Dynamic Decision Model for Vertical Handoffs across Heterogeneous Wireless Networks", World Academy of Science, Engineering And Technology Volume 31, ISSN 1307-6884, Julio 2008, pp. 677-682.
- [20] Lott, M., Siebert, M., Bonjour, S., von Hugo, D., Weckerle, M., "Interworking of WLAN and 3G systems", IEE Proc.-Commun., Vol. 151, No. 5, Octubre 2004, pp. 507-513.
- [21] Syuhadal, M. Z. A., Mahamod, I., Firuz, W. A. W. N. S., "Performance Evaluation of Vertical Handoff in Fourth Generation (4G) Networks Model", 6th National Conference on Telecommunication Technologies e IEEE 2008 2nd Malaysia Conference on Photonics, 26-27 August, 2008, pp. 392-398.
- [22] Lee, J. H., Lee, S., K., Song, J. S., "An enhanced TCP for upward vertical handoff in integrated WLAN and cellular networks", Int. J. Commun. Syst. 2008, pp. 901-921.
- [23] Ho, P., Wang, Y., Hou, F., "Shen, S., A Study on Vertical Handoff for Integrated WLAN and WWAN with Micro-Mobility Prediction", IEEE, 2006.
- [24] Hasib, A., Fapojuwo, A.O., "Mobility model for heterogeneous wireless networks and its application in common radio resource management", IET Commun., 2008, Vol. 2, No. 9, pp. 1186-1195.
- [25] Chang, B., Chen, J., Hsieh C. Liang, Y., "Markov Decision Process-based Adaptive Vertical Handoff with RSS Prediction in Heterogeneous Wireless Networks", WCNC, IEEE, 2009.
- [26] Stevens-Navarro, E., Lin, Y., "An MDP-Based Vertical Handoff Decision Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks", IEEE Transactions On Vehicular Technology, vol. 57, no. 2, Marzo 2008, pp. 1243-1254.
- [27] Sepúlveda, L. M., "Desarrollo de un algoritmo para handoff vertical entre redes IEEE802.16 WWAN y UMTS", Tesis presentada a la Universidad Nacional de Colombia para optar al grado de Maestría en ingeniería de Telecomunicaciones, 2008.
- [28] Zeng, W., "Handover Decision Using Fuzzy MADM in Heterogeneous Networks", In the Proc. 2004 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 04), vol. 2, Atlanta, Georgia, USA, Marzo 2004, pp. 653-658.
- [29] Sur, A., Sicker, D. C., "Multi Layer Rules Based Framework for Vertical Handoff: A novel approach

- ach to trigger Vertical Handoff in multihomed devices”, IEEE, 2005.
- [30] Lincken, S. J., “Vertical handover policies for common radio resource management”, *International Journal of Communication Systems*, March 15, 2005, pp. 528-543.
- [31] Wu, J., Yang, S., Hwang, B., “A terminal-controlled vertical handover decision scheme in IEEE 802.21-enabled heterogeneous wireless networks”, *International Journal of Communication Systems*, January 21, 2009, pp. 819-834.
- [32] Zhang, Y., Zhuang, W., Saleh, A., “Vertical Handoff between 802.11 and 802.16 Wireless Access Networks”, 2008.
- [33] Lee C. W., “A framework of handoffs in wireless overlay networks based on mobile IPv6”, *IEEE JSAC*, 23(11):2118-2128, November, 2005.
- [34] Koodli, R., “Fast Handovers for Mobile IPv6”, draft-ietf-mipship-fmipv6-rfc4068bis-02.txt, Julio 2007.
- [35] Makaya, C., Pierre, S., “Efficient Handoff Scheme for Heterogeneous IPv6-based Wireless Networks”, IEEE, 2007.
- [36] Estandar IEEE 802.21, 2008.
- [37] Liao, W. K., Chen, Y. C., “Supporting vertical handover between universal mobile telecommunications system and wireless LAN for real-time services”, *IET Commun.*, 2008, 2, (1), pp. 75–8.
- [38] Yang, M., Cheon, K., Park, A., Kim, S., “3G-WLAN Vertical Handover Experience using Fast Mobile IPv6”, IEEE, 2008.
- [39] ETSI TR 101 957 v1.1.1 (2001-08): ‘Broadband Radio Access Networks (BRAN), HIPERLAN TYPE 2, Requirements and Architectures for Interworking between HIPERLAN/2 and 3rd Generation Cellular Systems’
- [40] Shalini Punithavathani, D., Sankaranarayanan, K., “IPv4/IPv6 Transition Mechanisms”, *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X Vol.34 No.1 (2009), pp.110-124.
- [41] Hoque, K. Md. R., Haque, R. R., Hossain, Md. A., Farazi, M.S.F., Hossain, G., “Modeling and Performance of TCP in a MCCDMA System for 4G Communications”, IEEE, 2007.
- [42] Chan, A. C., Tsang, D. H., Gupta, S., “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*, pp. 184-188.
- [43] Montavont, N., Noel, T., “Handover Management for Mobile Nodes in IPv6 Networks”, IEEE, 2002.
- [44] Casetti, C., Gerla, M., Mascolo, S., Sanadidi, M. Y., Wang, R., “TCP Westwood: end-to-end congestion control for wired/wireless networks. *Wireless Networks*”, 8(5):467–479, 2002.
- [45] Goff, T., Moronski, J., Phatak, D. S., Gupta, V., “Freeze-TCP: A true end-to-end TCP enhancement mechanism for mobile environments”, *In Proc. IEEE INFOCOM*, 2000.
- [46] Ludwig R., Katz, R. H., “The Eifel algorithm: Making TCP robust against spurious retransmissions”, *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 30(1):30–36, 2000.
- [47] Chouly, A., Brajal, A., Jourdan, S., “Orthogonal Multicarrier Techniques Applied to Direct Sequence Spread Spectrum CDMA Systems”, *Proc. of IEEE GLOBECOM’93, Houston, TX, Noviembre 1993*. pp. 1723–1728.
- [48] Chan, M. C., Ramjee, R., “Improving TCP/IP performance over third generation wireless networks”, *In Proc. IEEE INFOCOM, Hong Kong, Mar. 2004*.
- [49] Chan, M. C., Ramjee, R., “TCP/IP performance over 3G wireless links with rate and delay variation”, *In Proc. ACM MOBICOM, Atlanta, USA, Sep. 2002*.
- [50] Wang, N., Wang, Y., Chang, S., “A Fast Adaptive Congestion Control Scheme for Improving TCP Performance during Soft Vertical Handoff”, IEEE, 2007
- [51] Chen, L., Yang, G., Sun, T., Sanadidi, M. Y., Gerla, G., “Enhancing QoS Support for Vertical Handoffs Using Implicit/Explicit Handoff Notifications”, *2nd Int’l Conf. on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks (QShine’05)*, IEEE, 2005.