

Propuesta de Arquitectura para una Red Móvil de Nueva Generación

Investigación Científica Tecnológica

C. Dr. Omaira Parada¹, C. Dr. Marco A. Hernández², L.I. Arturo López², L. I. Leticia Betts², C.L.I. Uriel Berdeja²,
C.L.I. Luis Martínez²

¹Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos
ETSIT-Universidad Politécnica de Madrid, Av. de la Complutense s/n, "Ciudad Universitaria" 28040 – Madrid, España,
Tel: 00 34 913367329, Fax: 00 34 913367333
omaira@dit.upm.es

²Departamento de Sistemas y Computación
Cuerpo Académico de Sistemas Distribuidos
Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Av. A. López Mateos 1801 Ote. Fracc. Ojocaliente, Aguascalientes, Ags. C.P.
20256, Tel: 01 (449) 9 105002, Fax: 01 (449) 9700423
marco@dit.upm.es, arturo.lopez@inegi.gob.mx, glbg@prodigy.net.mx, {uriel882, wicho_10011}@hotmail.com

Resumen

El paradigma actual de las comunicaciones espera que un usuario sea capaz de acceder a sus servicios independientemente de su localización de una manera transparente. La terminal del usuario podría ser capaz de elegir la mejor tecnología de acceso (Ad hoc, Ethernet, Celulares, etc.) en su ubicación actual y utilizar esta tecnología de una manera transparente para la provisión del servicio deseado. Esta homogeneidad, alta velocidad, seguridad, multi-servicio, redes multi-operador, está siendo desarrollada en el contexto de las redes de nueva generación. Actualmente, se están desplegando los sistemas móviles de tercera generación (3G) y la comunidad investigadora está empezando a definir una arquitectura para las redes de cuarta generación (4G). La principal característica de diseño de las redes de 4G, es la integración de la tecnología IP dentro de las redes móviles celulares con el objetivo de construir una red *All-IP*. Este artículo presenta el estado del arte de las redes móviles y propone una arquitectura escalable para las redes móviles de nueva generación.

Palabras claves

IPv6, redes móviles, redes heterogéneas, Multiprotocolo de conmutación de etiquetas

Introducción

En la última década las comunicaciones móviles y las redes inalámbricas se han constituido en las tecnologías más determinantes en la forma como las personas y los negocios entienden la comunicación y el intercambio de información. La comunicación interpersonal y el acceso a contenidos multimedia, de

valor para el usuario, independiente del lugar, momento y dispositivo de acceso del usuario, están abriendo la era de la comunicación masiva de datos móviles.

El objetivo de la investigación de los sistemas de redes móviles de la nueva generación está dirigido hacia la creación de una arquitectura de red común y un sólo conjunto de servicios. Hasta el momento, las redes de segunda generación (2G) han sido desplegadas exitosamente alrededor del mundo usando distintas arquitecturas con capacidades similares. Estas capacidades han sido extendidas con los sistemas 2.5G, ofreciendo servicios basados en la conmutación de paquetes e introduciendo Internet dentro de las comunicaciones móviles personales usando la infraestructura de 2G. Estos sistemas han empezado a ser inadecuados para soportar los requisitos de altas velocidades de comunicación de datos y servicios avanzados esperados por los usuarios. Estos requisitos influyen directamente sobre las redes debido a que las expectativas del usuario se están incrementando hacia servicios más sofisticados, entre ellos podemos mencionar: multimedia, contenidos (voz y vídeo) y servicios profesionales relacionados con los sistemas fijos de banda ancha.

Los sistemas de redes móviles de tercera generación (3G) han sido diseñados para soportar los requisitos anteriormente mencionados. El objetivo era crear un único estándar bajo el IMT 2000 (Internacional Mobile Telecommunication 2000). Esto podría haber resuelto el problema de la movilidad global. Sin embargo, en el proceso, dos grandes estándares han sido aceptados para la interfaz inalámbrica. Las soluciones 3G estandarizadas son WCDMA (Wideband CDMA) basada en UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS) [1] y CDMA2000, una extensión de IS-95. Los dos estándares pueden

tener diferentes métodos de interfaz aire, pero tienen muchas similitudes en el núcleo de la red y en la red de acceso. 3GPP y 3GPP2, los cuerpos de desarrollo y promoción de WCDMA (UMTS) y CDM2000 respectivamente, actualmente están dirigiéndose hacia una armonización IP en el núcleo de la red. El paradigma All-IP consiste en evolucionar la arquitectura de red inalámbrica desde la conmutación basada en circuitos hacia una arquitectura basada en conmutación de paquetes, utilizando la tecnología y los protocolos IP donde sea posible, integrando los mecanismos de gestión de la movilidad, manejo de la calidad de servicio y autenticación, autorización, auditoría y facturación (Authentication, Authorization, Auditing, and Charging, AAAC). Esta integración, alta velocidad, seguridad, servicios multimedia, red multi-operador, tecnologías de acceso múltiple, están empezando a ser desarrolladas en un contexto comúnmente denominado como redes de 4G. Las principales características de diseño son: un núcleo IP, acceso IP para redes heterogéneas, diferentes tecnologías de acceso, ubicuidad, y agregación de toda clase de tráfico en una red de conmutación de paquetes.

El artículo está distribuido de la siguiente manera. En la sección de *Fundamentos teóricos*, describe el estado del arte de las redes móviles, la tecnología MPLS y la visión genérica de las redes de nueva generación. En la sección *Propuesta de una arquitectura para una red móvil de 4G* se presenta el diseño de una red de 4G basado en la tecnología MPLS. En la última sección se presentan las conclusiones y referencias de este trabajo.

Fundamentos teóricos

En esta sección se incluye una descripción general de las tecnologías básicas involucradas en esta propuesta.

Evolución de las redes móviles

Las transformaciones que suceden actualmente en la sociedad con rumbo a la “nueva era de la información”, aumentan la demanda por tráfico en las redes para la atención de un número cada vez más grande de usuarios con diversos servicios, reflejado en el sector de telecomunicaciones a través de la evolución permanente de sus sistemas. De esta forma podemos observar una evolución de los sistemas celulares a través del tránsito GSM/GPRS/EDGE/UMTS/ HSDPA.

Sistemas móviles de primera generación (generación analógica). Los sistemas móviles de primera generación se caracterizaron por ser sistemas analógicos, surgieron para dar movilidad a los

servicios de voz, básicamente el único servicio que ofrecen es el de telefonía básica. Esta primera generación apareció a finales de la década de los 70 y a principios de los 80.

En Norteamérica a partir de 1981 comenzó a utilizarse el sistema AMPS (Advanced Mobile Phone Service), en Europa se introduce en 1981 el sistema Nordic Mobile Telephone System o NMTS450 el cual empezó a operar en Dinamarca, Suecia, Finlandia y Noruega. En 1985 Gran Bretaña, a partir de AMPS, adoptó el sistema TACS (Total Access Communications System), En esta década también aparecen otros sistemas de primera generación como el NTT estándar japonés, el C-Netz estándar Alemán y el French Radiocom 2000 de Francia, entre otros. Cada país desarrolló su propio sistema, los cuales fueron incompatibles entre sí, tanto en equipos como en modos de operación. Esto llevó a una serie de problemas, entre los que podemos encontrar: limitación del uso de equipos móviles dentro de cada país, incompatibilidad de operación entre equipos y proveedores, etc., evitando así una economía de escala y las ventajas que ésta trae.

Con tantos estándares diferentes, los proveedores sufrieron las consecuencias de una diversidad de normas incompatibles entre sí y la baja capacidad de tráfico ofrecida por los sistemas analógicos ha llevado al agotamiento de las redes móviles en los grandes centros urbanos. Para resolver estas limitaciones, han surgido los sistemas de segunda generación, digitales, con el objetivo de proveer servicio básico de telefonía, pero sin la transmisión de datos.

Sistemas móviles de segunda generación (generación digital).

Aparecen a principios de los años 90 y se caracterizan por el empleo de transmisión digital en el interfaz radio, mejorando la calidad de las comunicaciones y dotando de mayor capacidad a los sistemas. Además del servicio telefónico, se ofrecen otros como, por ejemplo, mensajes cortos y servicios portadores de datos en modo circuito. Entre los sistemas 2G más representativos cabe destacar los siguientes: D-AMPS (Digital AMPS, sucesor digital de AMPS), cdmaOne (conocido por la norma de ANSI que lo describe: IS-95) y GSM en sus tres bandas de operación (900/1800/1900 Mhz).

A pesar del gran éxito de los sistemas móviles de segunda generación, estos presentan algunas limitaciones importantes, especialmente en lo relativo a servicios de datos (por ejemplo, GSM ofrece servicios de datos modo circuito hasta 9600 bit/s). Con objeto de proporcionar mayores velocidades, se han definido varias extensiones a los sistemas 2G, dando lugar a lo que se conoce como sistema de 2.5G. Entre estas extensiones se encuentran las siguientes: HSCSD

(High-Speed Circuit-Switched Data), GPRS y EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution).

Sistemas móviles de tercera generación (generación multimedia). Aunque los sistemas de generación 2.5 suponen mejoras significativas con respecto de los sistemas 2G, resultan insuficientes para satisfacer la demanda creciente de mayores anchos de banda para el soporte de servicios avanzados, especialmente los servicios multimedia (audio, vídeo y datos). Para satisfacer dicha demanda aparecen los sistemas de 3G, cuyo punto de partida es el empleo de un interfaz radio de mayor capacidad. Los principales sistemas 3G son UMTS y CDMA 2000 promovidos por la ITU en su propuesta del IMT-2000

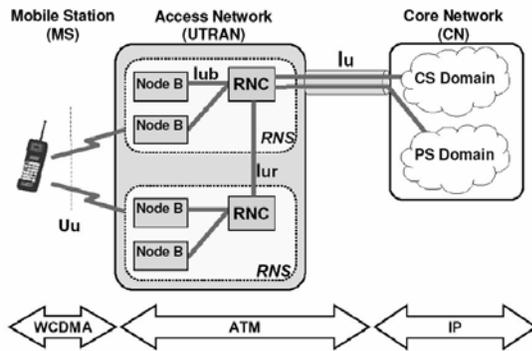


Fig. 1. Arquitectura de una red de tercera generación

El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) comenzó a especificarse principalmente en el grupo ETSI TC SMG. A finales de 1998, se creó un proyecto para el desarrollo de la tercera generación de comunicaciones móviles denominado 3GPP cuyos miembros son ETSI (Europa), ARIB (Japón), TTC (Japón), TTA (Korea) y ANSI T1 (USA). UMTS se definió por fases. La fase denominada Release 1999 (R'99), la fase Release 2000 (R'00).

UMTS ofrece un nuevo interfaz radio denominado UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access). Dicho interfaz está basado en tecnología CDMA (Code Division Multiple Access) permitiendo aumentar considerablemente la velocidad de transferencia de datos, y soporta dos modos de operación el FDD (Frequency Division Duplex) y el TDD (Time Division Duplex). El primero en introducirse fue FDD que está basado en un esquema de secuencia directa CDMA y soporta una velocidad de hasta 384 Kbit/s. El TDD está basado en la multiplexación en tiempo y en código, se ha diseñado y optimizado para ser usado en zonas con alta densidad de tráfico, y soporta una velocidad de hasta 2 Mbit/s. UMTS R'99 ha definido una arquitectura que da cabida a redes de acceso GSM y la red de acceso UMTS (UTRAN), y propone una red central (CN, Core Network) diseñada como una evolución de la red GSM/GPRS para facilitar la

migración de redes GSM/GPRS a UMTS. La CN incluye un dominio con conmutación de circuitos (CS, Circuit Switched) para la prestación de servicios de voz y un dominio con conmutación de paquetes (PS, Packet Switched) como se muestran en la figura 1.

Actualmente el grupo de estandarización 3GPP ha especificado una nueva tecnología de alta velocidad para la transmisión de paquetes en el enlace de bajada, denominada HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). Ofrece hasta un máximo de 14Mbps. El prototipo desarrollado por NTT DoCoMo en su demostración en el *3GSM World Congress 2006*, alcanzó una velocidad máxima de 3.6Mbps. El objetivo de esta tecnología es permitir los servicios multimedia a través de una red de conmutación de paquetes. El lanzamiento comercial de esta tecnología se espera entre julio y septiembre de 2006.

Redes de cuarta generación

Sistemas móviles de cuarta generación (integración). Actualmente la comunidad investigadora, los proveedores de servicio y los grupos de estandarización están trabajando en la evolución técnica de las redes de 3G, dirigida por la introducción de una *integración* más eficiente de los protocolos y tecnologías IP en las entidades y la arquitectura de la red, a esta evolución se le ha denominado redes de 4G.

El principal objetivo de las redes de 4G es la construcción de una red All-IP (con un núcleo IP y un acceso IP para redes heterogéneas) que defina a IP como la capa de referencia común para todos los mecanismos de red. El uso de IP como una tecnología de transporte común soluciona algunos de los problemas de interconexión entre las diferentes tecnologías de acceso, pero al mismo tiempo surge la necesidad de integrar y adaptar algunos mecanismos IP para soportar los requerimientos del nuevo paradigma. Los mecanismos más importantes a ser integrados son la gestión de la movilidad, QoS y AAAC [2,3]. La figura 2 muestra una posible arquitectura para una red de 4G, el núcleo de la red y la red de acceso están basados en IP, se muestran también algunas tecnologías de acceso.

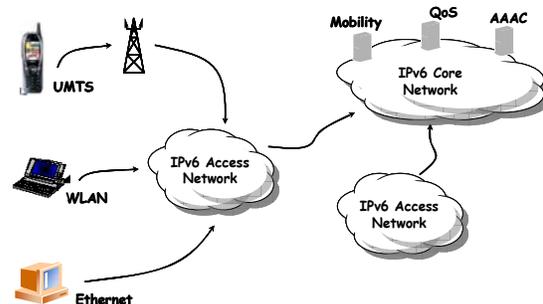


Fig. 2. Arquitectura de una red de 4G

En contraste con la arquitectura del sistema de telecomunicaciones móviles universales (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS) [1], esta red es mucho más sencilla, la mayoría de los elementos de la red son sustituidos por elementos funcionalmente equivalentes basados en IP.

La integración de IP se observa mas claramente en la pila de protocolos mostrada en la figura 3. La pila se usa para cualquier tipo de tráfico, a diferencia de UMTS que maneja un núcleo IP para la red de datos y otro núcleo basado en conmutación de circuitos para la prestación de servicios de voz, en 4G todo el tráfico será IP. La pila de protocolos es similar para todas las tecnologías de acceso. La figura 3 muestra el uso de IPv6 como capa de transporte común y la capa de control de enlace radio (Radio Link Control, RLC), la cual es parte del estándar UMTS y es requerida para la red celular. Cualquier otra tecnología de acceso podría ser eventualmente gestionada al mismo nivel haciendo los cambios respectivos de esta capa de acuerdo a la tecnología. La pasarela radio ejecuta funciones de encaminamiento, pasando del medio de transporte radio a la infraestructura fija.

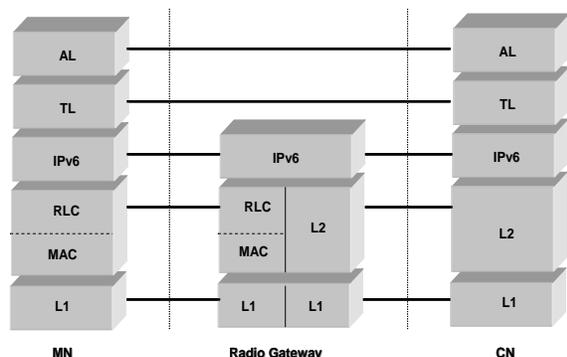


Fig. 3. Pila de Protocolos para el transporte de datos en 4G (para W-CDMA)

Multiprotocolo de conmutación de etiquetas (MPLS)

El protocolo MPLS es un estándar especificado por *Internet Engineering Task Force (IETF)*, para reducir la complejidad de reenvío en las redes IP. El diseño de MPLS se enfoca en las características de conmutación de la capa 2, manteniendo la flexibilidad y escalabilidad del encaminamiento de la capa 3; fusionando la inteligencia del encaminamiento con el rendimiento de la conmutación. MPLS introduce un nuevo paradigma de reenvío para las redes IP y utiliza las propiedades orientadas a la conexión, similares a las capacidades de ingeniería de tráfico del modo de transferencia asíncrono (Asynchronous Transfer Mode, ATM), hacia las redes IP pero de una manera más escalable y económica.

En resumen, MPLS es una tecnología que sustituye la búsqueda y reenvío convencional de direcciones IP con el reenvío a través del paradigma de intercambio de etiquetas (label swapping), incrementando la eficiencia, rendimiento y escalabilidad de la red. Además, es una tecnología importante para algunas técnicas de utilización de red, tales como: redes virtuales privadas (Virtual Private Networks, VPNs) escalables, QoS extremo a extremo y rápido reencaminamiento. Tomando como referencia la pila de protocolos del modelo abierto de interconexión (Open Systems Interconexión, OSI), MPLS se ubica entre las capas de red y enlace de datos.

Propuesta de arquitectura para una red móvil de 4G

Actualmente nosotros hemos estado desarrollando una arquitectura para una red de 4G basada en la tecnología all-IP/all-MPLS que proporcionará una QoS homogénea para las tecnologías de acceso heterogéneas. Una de las principales características de diseño de nuestra arquitectura es la integración de la movilidad, QoS y AAAC dentro de la capa MPLS optimizando la red all-IP de 4G con sus características de rápido reenvío, ingeniería de tráfico y el encaminamiento basado en el origen. En esta sección se presenta el diseño de la red 4G basada en un entorno all-IP/all-MPLS, se espera que MPLS optimice la red All-IP con sus características de rápido reenvío, ingeniería de tráfico, calidad de servicio, encaminamiento basado en restricciones, etc. La figura 4 muestra la extensión a la pila de protocolos que hemos realizado para la propuesta de nuestra arquitectura.

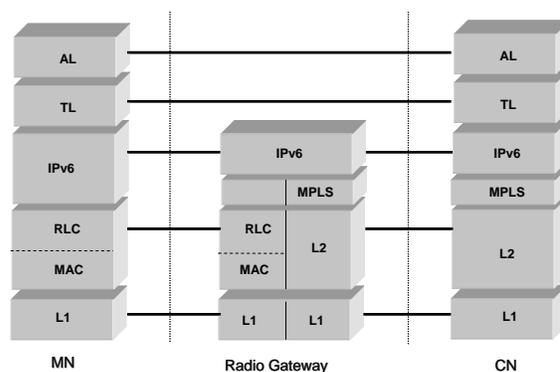


Fig. 4. Pila de protocolos propuesta para 4G basada en All-IP/All-MPLS

Debido a la intrínseca heterogeneidad tecnológica de las redes de 4G, el protocolo IPv6 [4] se está empezando a considerar como la capa de interconexión a través de múltiples tecnologías de acceso. Conceptualmente, se puede vislumbrar que

toda la Internet en el futuro podría llegar a ser una red All-IP. Por otro lado, considerando las enormes ventajas que el multiprotocolo de conmutación de etiquetas (MultiProtocol Label Switching, MPLS) [5] aporta a IP, se prevé que éste se implementará en todo el backbone; extendiéndose a las redes de acceso. De esta manera la Internet All-IP podría llegar a ser All-MPLS [6]. Como consecuencia, se están realizando importantes esfuerzos por parte de la comunidad investigadora (grupos de estandarización, centros de investigación, universidades, etc.) y los proveedores de servicio en el desarrollo y despliegue de redes IP sobre MPLS como tecnología de transporte. La red All-MPLS presenta algunas ventajas sobre la arquitectura existente. Primero, MPLS puede ser utilizado para configurar algunas clases de conexiones mediante la distribución de etiquetas a través de la red. En segundo lugar, puede añadir QoS a la red utilizando servicios diferenciados (Differentiated Services, DiffServ) e Ingeniería de Tráfico (Traffic Engineering, TE). Así entonces, la introducción de MPLS dentro de las redes de acceso puede garantizar QoS extremo a extremo a los usuarios, independientemente de las tecnologías usadas por debajo de IP. Adicionalmente, MPLS ofrece beneficios añadidos a este tipo de redes, utilizando túneles MPLS llamados LSPs (Label Switched Paths), permite configurar y gestionar eficientemente la red y la rápida *redirección de LSPs* optimiza la gestión de la movilidad.

Calidad de Servicio. Sin embargo, existen servicios, entre ellos el telefónico, con rigurosos requisitos de retardo y variación del retardo (jitter), lo que hace necesario añadir funcionalidad a IP para que las redes basadas en este protocolo sean capaces de soportar este tipo de servicios.

AAA. Los sistemas tradicionales de contabilidad basados en la generación de CDR (Call Detail Record) deben ser modificados para soportar de forma eficiente movilidad de usuarios sobre una red basada en datagramas. Adicionalmente deben soportarse mecanismos de autenticación y autorización para ofrecer mecanismos seguros de identificación y acceso de usuarios. En este sentido el IETF ha definido los sistemas AAA, encargados de comprobar la identidad de los usuarios, de controlar los servicios que usan y de tarificarlos por ello. Estos sistemas utilizan las redes IP para transportar la información de señalización necesaria. El IETF propone el protocolo DIAMETER, sustituto del tradicional RADIUS y capaz de soportar movilidad Inter Dominio (roaming) de usuarios.

Movilidad: Las redes de 4G deberán soportar mecanismos eficientes que permitan la movilidad de usuarios, que utilizando el mismo o distinto terminal se conecten a la red mediante distintas redes de acceso (WCDMA, WLAN, Ethernet, etc.) operadas por distintas entidades.

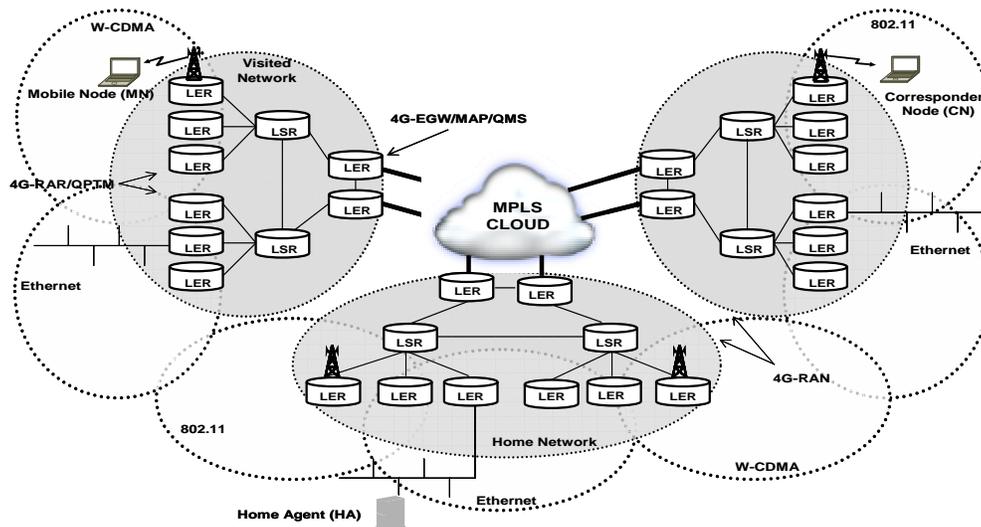


Fig. 5. Arquitectura propuesta para la RAN de cuarta generación basada en All-IP/All-MPLS con calidad de servicio.

Los principales retos a abordar en el diseño de las redes de nueva generación son:

QoS: La tecnología IP tal como se concibió originalmente, no ofrece ningún tipo de garantías de

Esto requiere mecanismos que soporten handover entre subredes bajo igual o distinta tecnología (handover horizontal y vertical) de forma eficiente, teniendo como elemento común el transporte IP. La

base del soporte de movilidad en redes IP son los protocolos Mobile IP. La propuesta de Fast Handover permitirá conseguir handovers sin interrupción apreciable de las comunicaciones. Esta movilidad requiere interactuar con los procesos de soporte de QoS en el caso de traspasos entre áreas con distintos recursos de red disponibles y con los mecanismos de AAA para el caso de traspasos entre redes pertenecientes a distintos dominios administrativos.

En la figura 5 se muestra la arquitectura para una red 4G basada en un entorno All-IP/All-MPLS. El protocolo de movilidad que será considerado para este tipo de red de acceso es el protocolo de movilidad IP (Mobile IPv6, MIPv6) y a nivel de micro-movilidad es el protocolo de movilidad jerárquico (Hierarchical Mobile IPv6, HMIPv6), para el soporte de calidad de servicio en MIPv6 se considerarán DiffServ y servicios integrados (Integrated Services, IntServ) para proporcionar la diferenciación de QoS y definiciones de tráfico. El protocolo considerado para ofrecer una rápida conmutación es MPLS; considerando sus características de rápida conmutación (*fast switching*), encaminamiento basado en restricciones (constraint-based routing), encaminamiento explícito e ingeniería de tráfico.

La arquitectura propuesta esta basada en la tecnología MPLS y considera múltiples dominios que soportan distintas tecnologías de acceso como se muestra en la figura 5.

Cada dominio está formado de una estructura jerárquica con dos o más capas de LSRs. Los routers de entrada se han denominado routers de acceso a radio 4G (4G Radio Access Routers, 4G-RAR). Estos routers proporcionan conectividad a los terminales móviles, control de acceso a los usuarios, diferenciación de calidad de servicio, gestión de QoS y funcionalidades propias de un router LER. Los 4G-RARs están conectados, a través de los routers intermedios LSRs con capacidades de calidad de servicio, a uno o más routers de salida del dominio (Edge Gateway, EGW). Los routers EGW incluyen un servidor MAP, un servidor para la gestión de calidad de servicio (QoS Management Server, QMS), un servidor de AAAC y funcionalidades de un LER. Todos los routers en la arquitectura pueden actuar como agentes de movilidad para soportar la gestión de la movilidad basándose en el protocolo de movilidad IP jerárquica.

El modelo de referencia mostrado en la figura 5 tiene un mínimo de características requeridas para una red de 4G; el diseño de esta arquitectura de 4G es escalable y podría dar soporte a otras tecnologías de acceso, pudiéndosele adicionar más niveles de jerarquías, técnicas de ingeniería de tráfico y además, contempla técnicas de multialojamiento entre la red de acceso y el núcleo de la red.

Arquitectura	Soporte de Movilidad	Soporte de QoS	Soporte de MPLS	Soporte al MH
MobyDick	MIPv6	Servicios Diferenciados	No	No
SeQoMo	HMIPv6	Servicios Diferenciados + Servicios Integrados	No	No
FCAR	MIPv4	Servicios Integrados	No	No
SeaSoS	Cualquier combinación de movilidad IP	Servicios Integrados	No	No
4G All-IP/All-MPLS	MIPv6, HMIPv6 + un sistema basado en políticas	Servicios Diferenciados + MPLS	Si	Si

Tabla 1. Comparación de 4G All-IP/All-MPLS con otras arquitecturas

Con base en los principales retos para el diseño de las redes de nueva generación (calidad de servicio, seguridad y movilidad), nosotros hemos hecho un estudio comparativo de nuestra arquitectura 4G all-IP/all-MPLS con relación a las anteriores propuestas.

En la tabla 1, se pueden observar las diferencias de los distintos enfoques, la arquitectura 4G all-IP/all-MPLS introduce el concepto nuevo de integración de la gestión de la movilidad, QoS y seguridad a nivel de MPLS, además de la gestión de los recursos de la red con un sistema basado en políticas y técnicas de ingeniería de tráfico. Otra aportación importante de nuestra arquitectura es la aplicación de técnicas de multialojamiento en la red de acceso de cuarta generación. Finalmente, la gestión de los trasposos verticales en la red 4G all-IP/all-MPLS se tratan de manera individualizada con respecto a las tecnologías de transporte involucradas, es decir, el traspaso de una red UMTS->WLAN se gestiona de manera distinta que el traspaso de una WLAN->UMTS.

Conclusiones

En este artículo presentamos un estado del arte de las redes móviles de datos y una propuesta de arquitectura para una red de acceso de 4G basada en la tecnología All-IP/All-MPLS, teniendo en cuenta la integración de la gestión de la movilidad, calidad de servicio y seguridad como los principales retos hacia las redes de nueva generación. Estas redes, prometen una ampliación de las velocidades de transmisión al orden de los 2Mbps que pueden posicionarse como alternativas a la banda ancha fija. En esta tendencia irrumpe de nuevo la tecnología IP, la imparable evolución hacia una arquitectura "All-IP" en todos los campos de las comunicaciones y la informática, llegará inevitablemente a las comunicaciones móviles, planteando de nuevo las disyuntivas entre los paradigmas muy abiertos de Internet, o los paradigmas hasta ahora más cerrados del mercado móvil.

Agradecimientos.

Queremos agradecer al Cuerpo Académico de Sistemas Distribuidos del Instituto Tecnológico de Aguascalientes por brindar todos los recursos necesarios para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo de investigación.



Referencias

- [1] 3GPP., "UTRAN Overall Description," *3GPP TS 25.401*.
- [2] N. Gerlich et al., "IP-based Mobility Management for a Distributed Radio Access Network Architecture," *Workshop of the ITG-speciality committee 5.2 future of the networks, Jan. 2004*.
- [3] V. Marques et al., "An IP-Based QoS Architecture for 4G Operator Scenarios," *IEEE Wireless Communications, 2003*.
- [4] S. Deering et al., "Internet Protocol, Version 6 (IPv6)," *IETF RFC 2460*, Dec. 1998.
- [5] E. Rosen et al., "Multiprotocol Label Switching Architecture," *IETF RFC 3031*, Jan. 2001.
- [6] J. Theunis et al., "A Mobile Connection for 4G Networks using MPLS," *Proc. XXVIIIth General Assembly of the International Union of Radio Science (URSI-GA2002), Maastricht, the Netherlands, P0606.1-4, 17-24 August 2002*.
- [7] V. Marques, R.L. Aguiar, and et al., "An IP-based QoS Architecture for 4G Operator Scenarios," *IEEE Wireless Communications*, 10(3): 54-62, June 2003.
- [8] X. Fu, T. Chen, A. Festag, H. Karl, G. Schaefer, and C. Fan, "Secure, QoS-Enabled Mobility Support for IP-based Networks," *IPCN'2003*, Dec. 2003.
- [9] S.-C. Lo, G. Lee, W.-T. Chen, and J.-C. Liu, "Architecture for Mobility and QoS Support in All-IP Wireless Networks," *IEEE JSAC*, 22(4): 691-705, May 2004.
- [10] X. Fu et al., "QoS and Security in 4G Networks," *First Annual Global Mobile Congress, Shanghai, China, Oct. 2004*.