

# Los retos de la voz por IP sin hilos

Göran AP Eriksson, Birgitta Olin, Krister Svanbro y Dalibor Turina

Por mucho que la tecnología de acceso celular de la segunda generación permitió llevar al mercado del gran público las posibilidades de la telefonía móvil, la tecnología de acceso celular de la tercera generación introducirá valores que llegarán más allá de la telefonía básica. La difusión generalizada de Internet ha creado un gran mercado de servicios de información y multimedia. El reto que contrae ofrecer este acceso es doble: desde la perspectiva del mercado, es fusionar la base de usuarios instalada en entornos celulares y de Internet; y en términos de tecnología, encontrar denominadores comunes, por un lado para soluciones celulares, y por otro, para un acceso eficiente a Internet. Para abordar los citados retos con éxito, los sistemas móviles de la tercera generación deben diseñarse de modo que ofrezcan un gran número de servicios y que proporcionen una flexibilidad considerable, además de una gestión de QoS estructurada y acceso rentable, al mismo tiempo que aseguran la cobertura mediante un aprovechamiento eficiente el espectro de radio.

Los retos que impone el diseño tienen que resolverse durante la evolución futura de las normas UMTS y EDGE, empezando con la estandarización de la publicación (release) 2000 en ETSI/3GPP, tanto en lo que respecta a redes de acceso por radio como al núcleo de la red común. Un rasgo general de esta evolución es la suite del protocolo de Internet, que proporciona soluciones de punto a punto para el transporte y comunicación de red, incluyendo eslabones de acceso celular (radio) por UMTS/EDGE.

Los autores describen los requisitos y tendencias actuales en la evolución de los sistemas sin hilos de la tercera generación, que avanzan hacia el soporte de aplicaciones de multimedia de carácter genérico en una plataforma común. En especial, plantean los cambios y soluciones que implica el diseño de una red de acceso por radio conmutada por paquetes que sustente eficientemente el servicio de VoIP, y destacan el control de sesión del servicio de VoIP, la calidad del servicio celular en el enlace móvil, y los retos de VoIP sin hilos.

## Introducción

Hoy en día el volumen acumulado del tráfico de datos va en camino de sobrepasar el del tráfico de voz en todas las redes públicas. Considerando el crecimiento en los sectores de voz y datos celulares, vemos que la combinación de la comunicación móvil e Internet constituye la fuerza que impulsa los sistemas sin hilos de la tercera generación, los cuales prometen sustentar como mínimo 144 kbit/s (384 kbit/s) en todos los entornos celulares, y hasta 2 Mbit/s en entornos de baja movilidad y dentro de locales.

La estandarización de los sistemas sin hilos de la tercera generación progresa rápidamente en las principales áreas geográficas del mundo. Estos sistemas —que han recibido los nombres IMT-2000 (ITU), UMTS, y EDGE (ETSI/3GPP)— ampliarán los servicios ofrecidos por la actual tecnología de la segunda generación (GSM, PDC, IS-136, y IS-95) con regímenes de transmisión de datos muy altos. Su principal uso será la transferencia de paquetes por radio; por ejemplo, para acceso móvil a Internet. Sin embargo, también sustentarán servicios en modo circuito de régimen de transmisión de datos alto, como el vídeo en tiempo real.<sup>1</sup>

## UMTS

En el Proyecto de alianza para la tercera generación (3GPP, Third Generation Partnership Project), una labor mancomunada entre el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) y la asociación de industrias de radio y radiodifusión (ARIB, Japón), se está estandarizando el sistema de telecomunicaciones móvil universal (UMTS). En las principales zonas geográficas del mundo la tecnología básica de acceso por radio para UMTS/IMT-2000 es el acceso múltiple por división de códigos de banda ancha (WCDMA). La publicación (release) de 1999 de la norma UMTS fue la primera en aplicarse a productos comerciales.

La parte de acceso por radio —el acceso por radio terrestre universal (UTRA)— comprende un modo de división de frecuencia dúplex (FDD) y un modo de división en el tiempo dúplex (TDD). El primero se basa en el WCDMA puro, mientras que el TDD incluye un componente adicional de acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA).

El sistema WCDMA, que usa tecnología de secuencia directa de banda ancha (DS-SS), sustenta plenamente los requisitos de UMTS y los de IMT-2000 para cobertura de área amplia de 384 kbit/s y cobertura local de 2 Mbit/s. Son particularmente destacables las siguientes funciones del WCDMA:

- Soporte de traspaso interfrecuencias, que es necesario para estructuras de celda jerárquicas de alta capacidad (HCS);
- Soporte de tecnologías de mejora de la capacidad, tales como antenas adaptivas y detección multiusuario.
- Flexibilidad de servicio incorporada, que proporciona acceso de espectro eficiente para aplicaciones actuales y futuras; y
- Manejo eficiente de aplicaciones de ráfagas a través de un modo avanzado de acceso por paquetes.

El WCDMA también ofrece un soporte eficiente de servicios multimedia; es decir, para transferir servicios múltiples en una conexión.<sup>1,2</sup>

## EDGE

Las tecnologías GSM y TDMA/136 constituyen la base de oferta del acceso por radio común de los servicios de datos. El incremento de las velocidades de datos en la evolución de GSM y TDMA/136 (EDGE), adoptada por el ETSI y el Consorcio de comunicaciones sin hilos universal (UWCC) como el camino de migración de GSM y TDMA/136, cumple los requisitos de los sistemas celulares de la tercera generación según IMT-2000. El EDGE tiene capacidad de ofrecer servicios de datos de hasta 384 kbit/s y, por consiguiente, constituye un complemento global a la red de acceso por radio UMTS.

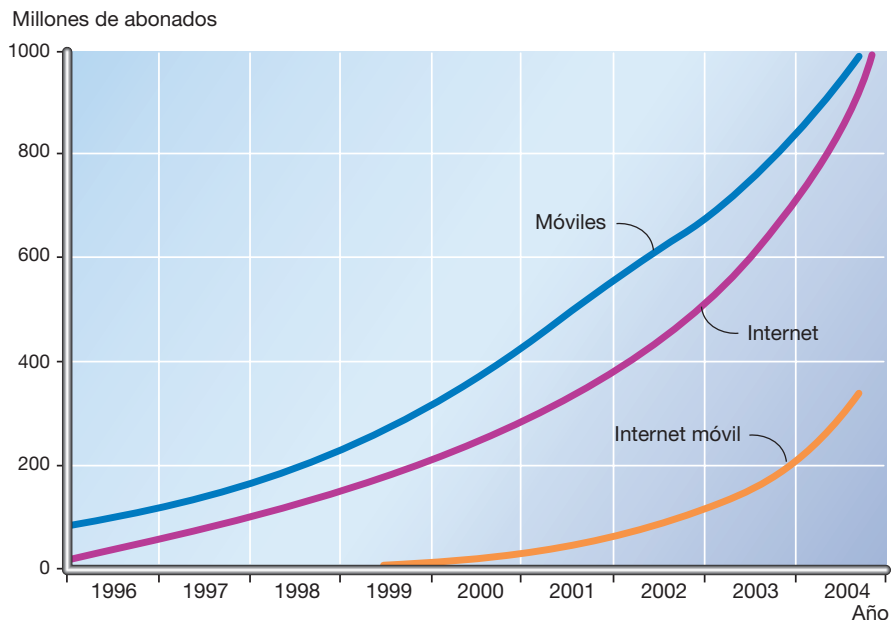
El plan de normalización del EDGE se ha dividido en dos fases. El énfasis inicial se aplicó a los servicios radio de paquete general reforzados

(EGPRS) y datos en modo circuito reforzados (ECSD). Según el cronograma del ETSI, estas normas eran parte de la publicación del año 1999. La segunda fase de la normalización del EDGE, que está prevista para publicarse en el 2000, definirá mejoras de los servicios de tiempo real y multimedia. Entre otros objetivos perseguidos se encuentra la alineación de servicios e interfaces con UMTS, para permitir que el EDGE y el UMTS compartan un núcleo de red común.

### Aplicaciones de IP en tiempo real sin hilos

La tecnología de acceso por radio de la segunda generación llevó al mercado la telefonía móvil. La de la tercera generación la hará llegar más lejos que la telefonía básica: una plataforma de transporte y servicio basada en IP brindará a los usuarios móviles un sinnúmero de servicios de tiempo real e interactivos.<sup>2</sup>

La voz y el vídeo son servicios típicos con requisitos de tiempo real, así como las aplicaciones sensibles a las demoras, tales como los sistemas de señalización de tráfico, la sensorización remota, y los sistemas que ofrecen acceso interactivo a servidores de WWW. En el presente artículo, sin embargo, nos concentramos en el servicio de voz. El servicio de voz que ofrezcan

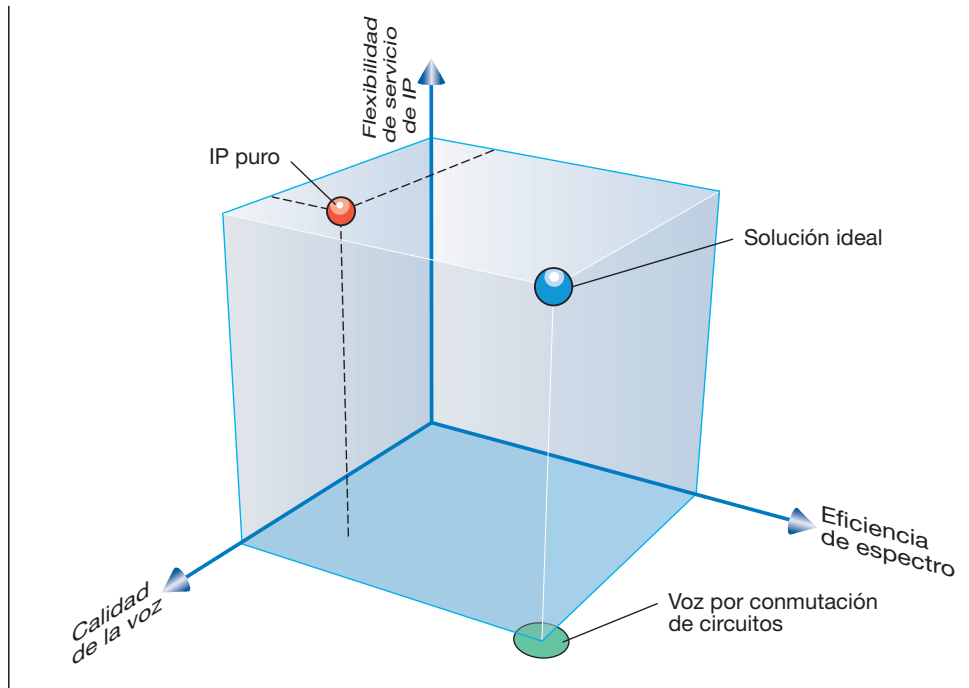


**Figura 1**  
Se prevé que las comunicaciones móviles continúen experimentando un fuerte crecimiento. Los expertos pronostican que para los años 2003/2004 por todo el mundo habrá cerca de mil millones de abonados a sistemas celulares. Similarmente, Internet continuará creciendo. También se prevé que en 2004 el número de abonados a Internet llegue a la cifra de mil millones. De este grupo, más de 350 millones de personas estarán abonadas a Internet móvil.

### CUADRO A, ACRONIMOS

|         |  |       |   |        |  |
|---------|--|-------|---|--------|--|
| 3GPP    | Third-generation Partnership Program               | HCS   | multimedia  | RRC    | Radio resource control                       |
| AMR     | Adaptive multirate                                 | IETF  | Hierarchical cell structure   | RSVP   | Resource reservation protocol                |
| API     | Application program interface                      | IMT   | International mobile telecommunication  | RTCP   | RTP control protocol                         |
| ARIB    | Association of Radio Industries and Broadcasting   | IP    | Internet protocol   | RTP    | Real-time transport protocol                 |
| BER     | Bit error rate                                     | IPv4  | IP, versión 4   | SAP    | Service access point                         |
| CDMA    | Code-division multiple access                      | IPv6  | IP, versión 6   | SDP    | Session description protocol                 |
| CN      | Core network                                       | IS    | Intermediate standard   | SDU    | Service data unit                            |
| CRC     | Cyclic redundancy code                             | ISDN  | Integrated services digital network   | SGSN   | Serving GPRS support node                    |
| CRTP    | Compression for real-time protocol                 | ITU-T | International Telecommunication Union - Telecommunications Standardization Sector | SIP    | Session initiation protocol                  |
| DS-CDMA | Direct-sequence CDMA                               | LAN   | Local area network  | SMS    | Short message service                        |
| DTMF    | Dual-tone multiple frequency                       | MS    | Mobile station (terminal)   | TCP    | Transmission control protocol                |
| DTX     | Discontinuous transmission                         | MT    | Mobile terminal   | TDD    | Time-division duplex                         |
| ECSD    | Enhanced circuit-switched data                     | NAS   | Non-access stratum  | TDMA   | Time-division multiple access                |
| EDGE    | Enhanced data rates for GSM and TDMA/136 evolution | PDC   | Personal digital communication  | TE     | Terminal equipment                           |
| EED     | Equal error detection                              | PDCP  | Packet data convergence protocol  | UDP    | User datagram protocol                       |
| EEP     | Equal error protection                             | PDP   | Packet data protocol  | UE     | User equipment                               |
| EGPRS   | Enhanced GPRS                                      | PSTN  | Public switched telephone network   | UED    | Unequal error detection                      |
| ETSI    | European Telecommunications Standards Institute    | PT    | Payload type  | UEP    | Unequal error protection                     |
| FDD     | Frequency-division duplex                          | QoS   | Quality of service  | UMTS   | Universal mobile telecommunications system   |
| FER     | Frame error rate                                   | RAB   | Radio-access bearer   | UTRA   | UMTS radio access                            |
| GGSN    | Gateway GPRS support node                          | RAN   | Radio-access network  | UTRAN  | UMTS terrestrial radio-access network        |
| GSM     | Global system for mobile communication             | RLC   | Radio link control  | UWCC   | Universal Wireless Communications Consortium |
| GW      | Gateway  | RNS   | Radio network server  | VoIP   | Voice over IP                                |
| GPRS    | General packet radio service                       | ROCCO | Robust checksum-based header compression  | VoIPoW | Voice over IP over wireless                  |
| H.323   | Estándar de ITU-T para aplicaciones                |       |   | WCDMA  | Wideband CDMA                                |
|         |  |       |   | WWW    | World Wide Web                               |

Figura 2  
El cubo del reto de la voz por IP sin hilos.



los sistemas sin hilos de la tercera generación debe tener como mínimo el mismo alto nivel de calidad de voz y, espectralmente, ser tan eficiente como las realizaciones actuales de la segunda generación. El reto es implementar el servicio punto a punto en el transporte basado en IP.

La principal ventaja de utilizar el IP por todo el interfaz aéreo es la flexibilidad de servicio. Hasta la fecha, las redes de acceso celular se han optimizado para calidad de voz y eficiencia de espectro. La demanda de flexibilidad de servicio añade un nuevo parámetro, tal como se ilustra en la figura 2. Debido a que no hay dependencias entre una aplicación y la red de acceso, prácticamente cualquier persona puede desarrollar nuevas aplicaciones. Sin embargo, para servicios como voz por IP sin hilos (VoIPoW), el reto principal es conseguir calidad y eficiencia de espectro.

Hasta ahora, todos los sistemas celulares que ofrecen servicio de voz se han optimizado en un espacio bidimensional cuyos ejes X e Y son, respectivamente, la calidad de voz y la eficiencia de espectro. Hoy, se está añadiendo una tercera dimensión, la flexibilidad de servicio por IP. Atravesando el interfaz radio con paquetes de IP, se tiene una gran tara de protocolo que obstaculiza el objetivo de eficiencia de espectro.

## Exposición general de la arquitectura de red

Para facilitar la presentación que sigue, vamos a describir primero brevemente el servicio VoIP. Los componentes básicos del servicio de voz son dos terminales de usuario con aplicaciones de voz basadas en IP y una red que ofrece transporte de punto a punto entre los terminales (figura 3). Estos intercambian muestras de voz usando el protocolo de transporte de tiempo real (RTP), que ha sido estandarizado por la IETF.

En algunas situaciones, los terminales pueden establecer y mantener comunicación sin involucrar una tercera entidad. Otras veces, sin embargo, los puntos finales de dos usuarios no pueden establecer comunicación punto a punto sin intervención externa; por ejemplo, cuando desconocen la dirección de IP del interlocutor o no usan el mismo codec de voz. En estos casos, se usa una estructura de plano de control para encaminar el tráfico entrante y abordar funciones de terminal (soporte de codec, conferencia multipartita, etc.). En las telecomunicaciones tradicionales esta funcionalidad, que se denomina control de llamadas, la ofrece, por ejemplo, un centro de conmutación móvil de GSM. En el mundo de IP, hay dos métodos principales para proporcionar funcionalidad de control de lla-

madras: la recomendación H.323 de la ITU-T, y el protocolo de iniciación de sesión (SIP) de la IETF.

La H.323, prevista originalmente para entornos LAN, es una norma de la ITU para aplicaciones de multimedia. Actualmente, sin embargo, la norma se está adoptando para un uso más amplio. La H.323 abarca una arquitectura completa y un juego de protocolos, tal como H.225 para control de llamadas y H.245 para control de portador. La H.323 usa protocolos de la IETF, tales como el protocolo de tiempo real y el protocolo de reserva de recursos (RSVP).

Además de terminales de usuario final, la arquitectura de H.323 abarca guardianes de puerta, pasarelas y unidades multipartitas. En este contexto, el énfasis se aplica a los guardianes de puerta y pasarelas, que constituyen el servidor de VoIP. La parte de guardián de puerta es la unidad de control que ofrece funcionalidad de control de llamadas; la parte de pasarela contiene las funciones de plano de usuario. El control de llamadas de H.323 se basa en Q.931, que también se usa en GSM e ISDN.

El protocolo de iniciación de sesión, un anteproyecto de norma de la IETF, sólo es un componente en la alternativa de la IETF al paradigma de H.323 de una arquitectura de multimedia completa. Entre otros protocolos y componentes necesarios pueden citarse el protocolo de descripción de sesión (SDP), el punto de acceso de servicio (SAP), y el protocolo de control de tiempo real (RTCP).

Los protocolos de iniciación y descripción de

sesión (SIP/SDP) no constituyen una arquitectura; se diseñaron para iniciar sesiones. Al contrario de H.323 y GSM/RDSI, los SIP/SDP no proporcionan un mecanismo de control de llamadas completo; un proxy de SIP ofrece primariamente servicios de encaminamiento y direccionamiento; la gestión del órgano no está incluida. No obstante, el proxy de SIP (o servidor de VoIP) puede reforzarse para que incluya funcionalidad a fin de ofrecer servicios tales como transcodificación. El protocolo de iniciación de sesión está asociado con un paradigma en el que el control de llamadas se distribuye por varias entidades, y en el que el terminal de usuario desempeña un papel central en la coordinación de dichas entidades.

En síntesis, los dos terminales basados en IP intercambian muestras de voz que han sido encapsuladas en RTP por la red de IP. Los terminales intercambian mutuamente señalización de control o, con la asistencia de entidades de redes tales como un servidor de VoIP, establecen y mantienen sesiones de comunicación por la red, según la H.323 o el paradigma de SIP.

Tanto el protocolo de iniciación de sesión como H.323 sustentan soluciones de punto a punto en las cuales la red actúa solamente como portador. En este caso suponemos que un agente de llamada de red de H.323 o SIP pueden, si fuera preciso, sustentar el punto final (el terminal) con servicios de transcodificación.

El terminal móvil soporta acceso celular (UMTS/WCDMA o EDGE) y una aplicación de VoIP completa basada en SIP o H.323. Supo-

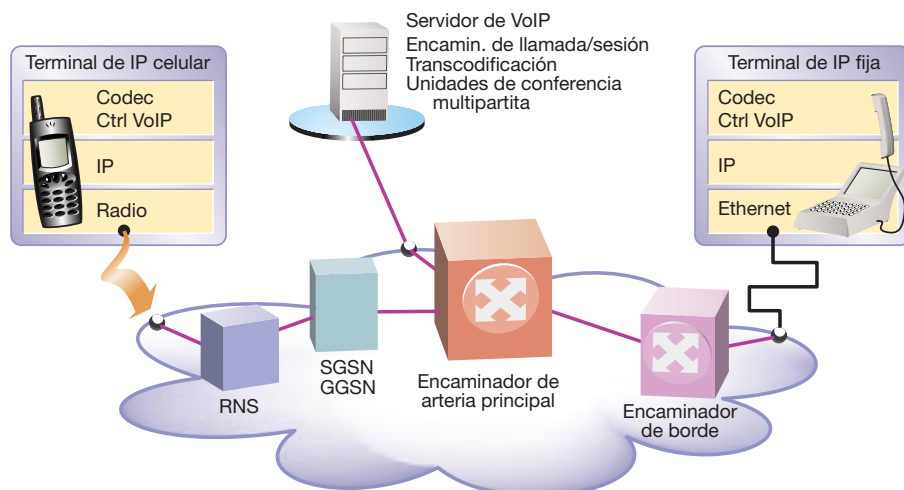


Figura 3  
Componentes básicos de la VoIP.

nemos que un codec multirégimen adaptivo (AMR) será sustentado por futuros clientes de VoIP.

Además del acceso conmutado de paquetes del UMTS básico, la red contiene funciones para adaptar media, las llamadas de encaminamiento y para la autenticación de usuarios y servicios.<sup>3</sup>

## Exposición general del sistema de QoS para el enlace celular

La percepción global que el usuario tiene de la calidad de servicio (QoS) es una valoración colectiva de la suma de las aportaciones de componentes esenciales del sistema de comunicación. En la comunicación típica que comprende UMTS o GSM/EDGE, la fase de transmisión por la red de acceso por radio (RAN) sólo es una parte de la comunicación punto a punto global. Por tanto, incluso cuando la red de acceso celular ofrece una calidad de servicio excelente, no hay garantía de que sea buena la percepción del servicio o aplicación por parte del usuario.<sup>4</sup>

### Servicios de portador dentro de UMTS y GSM/EDGE

Considerando que el espectro de frecuencias es un recurso escaso en los sistemas de comunicación sin hilos, podemos beneficiarnos considerablemente de aplicar un sistema de calidad de servicio adaptado a la red de acceso celular. De este modo, usando los menores recursos de radio posible, podemos asignar a cada conexión los requisitos de calidad estipulados.

Para conseguir una calidad de servicio de red dada, se establece un servicio portador —con características y funcionalidad claramente definidos— desde el origen al destino. Cada servicio portador en una capa específica ofrece sus características individuales a través de servicios ofrecidos por capas subordinadas. Las secciones sombreadas de la figura 4 indican servicios de portador que dependen de los proporcionados por el interfaz aire.

Nuevamente, debido a que el espectro de frecuencias es un recurso escaso, vemos en seguida las ventajas de poder clasificar el tráfico, con objeto de garantizar capacidad de sistema y calidad de servicio. Siendo capaces de diferenciar flujos de tráfico en la red, podemos definir cuatro clases de servicio relacionados con la aplicación dentro de UMTS y GSM/EDGE:

- La clase de servicio conversacional se usa para servicios de tiempo real, tales como voz por teléfono ordinario; por ejemplo, VoIP y videoconferencias. En el flujo de tráfico, las características vitales de esta clase son poco retardo de transmisión y relaciones de tiempo preservadas, o poca variación del retardo.
- La clase de servicio de transferencia continua

(streaming) se aplica en aplicaciones de audio en tiempo real y vídeo. A diferencia de la clase conversacional, esta categoría consta de transporte unidireccional.

- La navegación por WWW y Telnet son aplicaciones típicamente asociadas con la clase de servicio interactivo. El distintivo fundamental de la clase interactiva es una configuración de petición-respuesta, que convierte el retardo de ida y vuelta en una característica importante. Además, toda la transferencia de datos debe tener una frecuencia de errores baja.
- La clase de servicio de segundo plano (background) se usa para el tráfico "best-effort". Como ejemplos de servicios en esta clase pueden citarse el correo electrónico (e-mail), el servicio de mensajes cortos (SMS) y la transferencia de archivos. En este caso, asimismo, toda la transferencia de datos debe tener una frecuencia de errores baja, aun cuando los requisitos de retardo en la transmisión son menos rígidos.

El transporte de cada clase de servicio puede configurarse de modo que optimice la eficiencia de la red de radio y cumpla los requisitos de calidad de servicio.

Los servicios se transportan por la red celular mediante diferentes portadores de acceso por radio (RAB). Cada RAB está asociado con un conjunto de atributos que especifican la calidad precisa (velocidad, retardo y tasa de errores de bits) y suministran información sobre las características del flujo de tráfico. Esta información es fundamental para:

- Ofrecer una conexión de buena calidad a través de la red de acceso por radio; y
- Usar el espectro eficientemente.

Son ejemplos de atributos de RAB, clase de servicio, tasa de bits garantizada, retardo de transferencia, tasa de pérdidas de unidad de servicio de datos (SDU), BER residual y prioridad de manejo de tráfico.

### Requisitos del servicio para voz

#### Detección de fallos desigual

Ordinariamente, los bits en una trama de un codec de voz celular se dividen en tres clases: 1a, 1b y 2. La sensibilidad de error de bit varía entre estas clases; la Clase 1a abarca los bits más sensibles; la Clase 2 los menos sensibles.

En un sistema típico de la segunda generación, los bits de la Clase 1a están cubiertos por un código de redundancia cíclica (CRC) que controla los errores en la trama. Así, decimos que la trama de voz usa un modelo de detección de errores desigual (UED).

Si no puede transferirse información sobre las diferentes clases de sensibilidad de error de bit desde el codec a la red de acceso por radio, o si los bits en la trama de voz no están organizados en clases, no puede usarse el plan UED. En cam-

bio, se introduce un modelo de detección de error igual (EED): un CRC que abarca toda la trama de voz. Para tener la calidad en estos dos casos, cada uno debe recibir el mismo número de tramas con un CRC deficiente.

Donde se trate de tráfico en modo circuito, a la tasa de error de trama sólo contribuyen tramas con un CRC deficiente. Pero en una red basada en radio por IP, las tramas con un CRC deficiente, las que se pierden debido a fluctuación de fase y los errores fatales en el encabezamiento contribuyen a la tasa de errores de trama. Con errores fatales en el encabezamiento de IP nos referimos a errores de total de control de protocolo de datagrama (UDP), errores en la capa de enlace y errores de descompresión de cabecera.

#### Protección de errores desigual

El cálculo de la tasa de errores de bit (BER) sólo abarca aquellos errores que se producen en bits no protegidos por el CRC. Los errores residuales en bits protegidos por el CRC deben ser tan cerca de cero como sea posible. Si en los bits de la Clase 1a existen algunos errores de bit residuales, el decodificador de voz podría producir artefactos apreciables.

Si no puede obtenerse UEP (pero sí UED), el mínimo requisito de FER de la Clase 1a y el requisito de BER de la Clase 1b constituyen los requerimientos del canal.

#### Retardo de punto a punto

El ITU-T recomienda los siguientes límites de retardo en una dirección:

- 0-150 ms; aceptable para la mayoría de las aplicaciones.
- 150-400 ms; aceptable suponiendo que el administrador conozca la incidencia que el tiempo de transmisión tiene en la calidad de transmisión de otras aplicaciones de usuario.
- Superior a 400 ms; inaceptable en la planificación de redes general; sin embargo, en algunos casos excepcionales (tal como en saltos entre satélites) se excederá este límite.

Un sistema celular típico de la segunda generación tiene un retardo en una dirección inferior a 100 ms. Por tanto, para conseguir la misma calidad punto a punto, el requisito de retardo en una dirección para el servicio conversacional (terminal a PSTN) de un sistema de la tercera generación debe ser también inferior a 100 ms.

## Optimizaciones para VoIPoW

### Retos

El principal objetivo del sistema VoIPoW es llevar el servicio de voz a la nueva plataforma basada en datos por paquetes, al mismo tiempo que mantiene la calidad que el usuario asocia con los resultados de la conmutación de circuitos actual (por ejemplo, el servicio de voz por conmutación de circuitos de GSM).

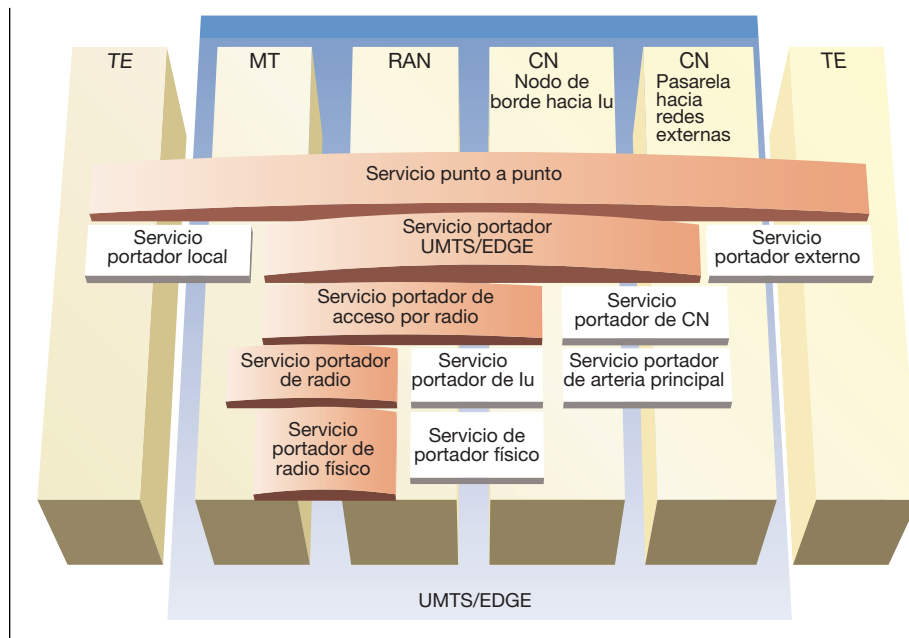


Figura 4 Estructura jerárquica de servicios de portador dentro de UMTS y GSM/EDGE.

Para lograr este fin se tienen que resolver varios aspectos de calidad de servicio en los sectores del núcleo de la red y la red de acceso. Un objetivo es ofrecer voz como una parte integral de los servicios multimedia conversacionales públicos y privados que emergen, convergiendo así el servicio con soluciones de arquitectura desarrolladas en el dominio IP. Para ello, un procedimiento de migración a largo plazo implica que a través de los sistemas de IP sin hilos deben ofrecerse soluciones equivalentes a la mayoría de los servicios de telefonía.

Hay que destacar que la aplicación sólo para voz se considera un caso especial. Como parte de una sesión de multimedia, la voz tiene requisitos más complejos; es decir, en términos de BER y retardo, en una sesión de multimedia diferentes corrientes pueden tener requisitos de QoS extremadamente distintos. El mundo de Internet en el sector fijo en la actualidad está experimentando un crecimiento extraordinario en el número de usuarios y aplicaciones. Al mismo tiempo, el objetivo de atravesar el interfaz aire sin hilos impone nuevos retos de diseño. El límite principal es la capacidad del enlace por radio, un recurso escaso que debe utilizarse con precaución. En consecuencia, un requisito adicional del sector de la red de acceso por radio es obtener la misma eficiencia de espectro de los servicios de voz que en los sistemas de conmutación de circuitos de GSM).

tación de circuitos actuales, o una eficiencia comparable a estos.

Para conseguir eficiencia de espectro, podemos aprovecharnos de la caracterización de diferentes corrientes de datos en paquetes en términos de requisitos de anchura de banda y retardo. Las caracterizaciones de este tipo son útiles al implementar algoritmos de control de admisión que acomoden corrientes de datos de usuarios múltiples en el espectro disponible. También podemos beneficiarnos de la aplicación de distintos métodos para reducir al mínimo la cantidad de datos (tal como la compresión de encabezamiento de RTP/UDP/IP y compresión de señalización de sesión) para obtener una eficiencia de espectro adecuada para voz. Minimizando la cantidad de tara, obtenemos casi el mismo nivel de eficiencia de espectro que para el caso de referencia, en el que sólo se transfieren tramas de voz por radio a través de una conexión de conmutación de circuitos.<sup>2</sup>

#### Clasificación del tráfico en las redes de IP

Cuando la red de acceso por radio UTRA o GSM/EDGE recibe una solicitud, el servicio que va transportar se describe mediante varios parámetros (atributos de portador de acceso por radio), tales como tasa de bits garantizada, BER residual, tasa de pérdida de paquetes, y retardo. Por tanto, para solicitar un portador de VoIP óptimo a la red de acceso por radio, la entidad solicitante debe saber los ajustes de atributo del portador. El procedimiento para determinar y asignar valores a los atributos del portador de acceso por radio se denomina clasificación de tráfico. Obtener la información necesaria para es-

tablecer estos atributos es un problema fundamental de la transferencia de servicios de IP por una red móvil. En el mundo de IP, la aplicación y transporte son separados e independientes, mientras que en el mundo celular ambos son usualmente integrados. En consecuencia, deben obtenerse datos de servicio para establecer un portador de acceso por radio apropiado. Aparte de la corriente de RTP, la sesión de VoIP también contiene flujos de tráfico de señalización de control con diferentes características. Además, una sesión de VoIP podría ampliarse fácilmente para incluir vídeo o una transferencia de FTP de segundo plano.

#### Método explícito

La introducción de un interfaz de programa de aplicación (API) entre la aplicación y el enlace celular permite ordenar explícitamente portadores de acceso por radio adecuados. El API puede estar basado en cliente o en servidor. Con basado en cliente queremos decir que el API se encuentra entre la parte de aplicación y la parte de radio en el terminal móvil. En el caso de basado en servidor, señalamos que el API se define en el lado fijo de la red, entre el agente de llamada (por ej. un servidor de H.323) y la red de radio celular.

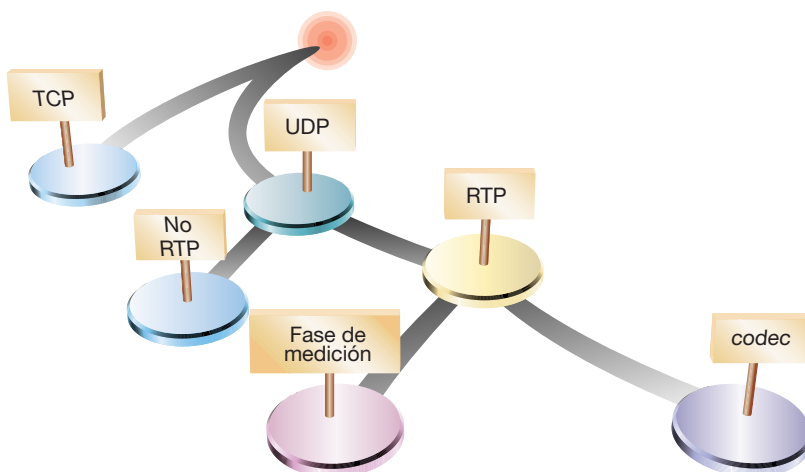
#### Método implícito

Un medio más transparente para obtener datos de servicio es desarrollar un algoritmo de clasificación de flujo que examine los encabezamientos de los paquetes y extraiga la información en flujos para identificarlos y caracterizarlos. La figura 5 muestra el principio que rige en situaciones de tiempo real. El encabezamiento de RTP contiene un sector del tipo de carga útil (PT) que identifica el codec de origen. Sin embargo, el PT también puede ser dinámico, en cuyo caso no puede obtenerse la información en el codec. Entonces, el algoritmo mide los parámetros tales como tamaño de paquete y tiempo inter-llegadas. De estos parámetros puede ser posible identificar el codec o dar entrada directa a los parámetros de portador por radio. La cantidad de información que puede suministrar el algoritmo depende de la profundidad del árbol. Por ejemplo, el algoritmo podría ampliarse para que capturase mensajes de señalización específicos. Obviamente, la complejidad del árbol y del tiempo necesario para el paso son factores que limitan.

#### Compresión del encabezamiento para IP de tiempo real

Los grandes encabezamientos de los protocolos usados cuando se envían datos de voz por Internet constituyen un importante problema en la voz por IP sin hilos. Un paquete de IP con datos de voz tendrá un encabezamiento de IP (20 octetos), un encabezamiento de UDP (8 octetos), y un encabezamiento de RTP (12 octetos) para

Figura 5  
Árbol de clasificación de flujo.



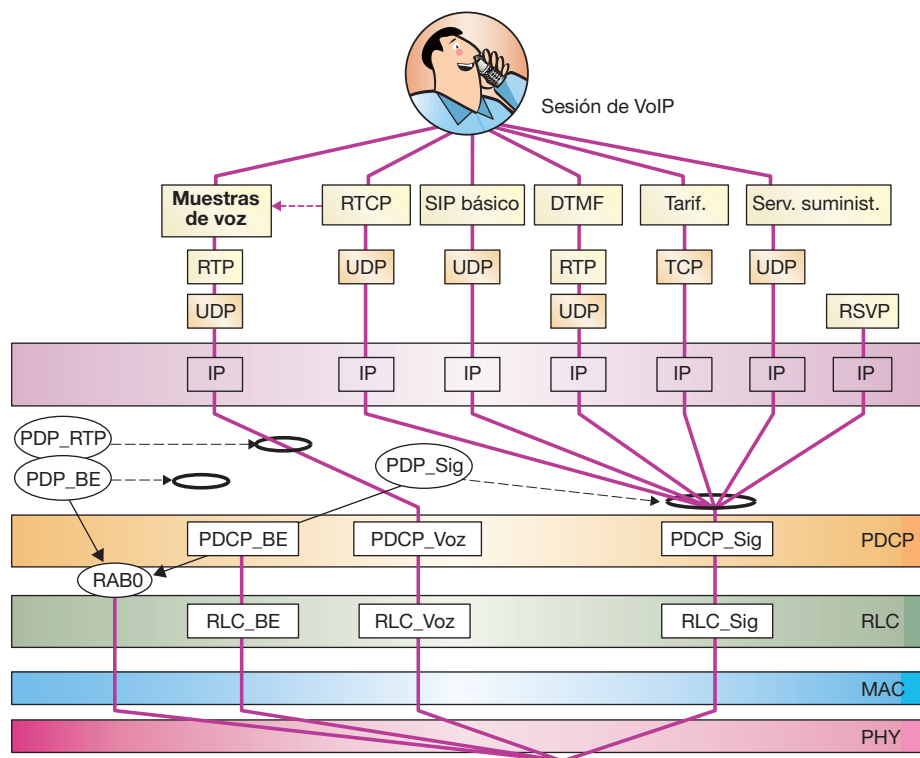


Figura 6  
Posible realización de una sesión de usuario de VoIPoW.

un total de 40 octetos. En IPv6, el encabezamiento de IP son 40 octetos, lo cual incrementa el total a 60 octetos. El tamaño de los datos de voz depende del codec y puede ser pequeño, del orden de 15 a 30 octetos. Estas cifras constituyen un potente argumento para la terminación de los protocolos de IP antes del interfaz aire: los encabezamientos de IP/UDP/RTP consumen demasiada anchura de banda y hacen un uso ineficiente del valioso espectro radioeléctrico. No obstante, comprimiendo la cabecera es posible superar este problema.

No puede desecharse ninguna información en un paquete de voz, pero debido a que hay un grado de redundancia muy alto en los sectores de los encabezamientos de paquetes consecutivos que pertenecen a la misma corriente de paquetes, esta información puede comprimirse mediante algoritmos de compresión de cabecera. Dichos algoritmos mantienen un contexto, que fundamentalmente es la versión sin comprimir de la última cabecera transmitida en cada extremo del canal por el que tiene lugar la compresión del encabezamiento. Los encabezamientos comprimidos únicamente transportan cambios al contexto. Los sectores de cabecera estáti-

cos no es preciso transmitirlos, y los sectores con sólo pequeños cambios pueden actualizarse con sólo unos pocos bits. Con todo, cuando se pierden o dañan tramas por el canal, como puede suceder en eslabones celulares, el contexto en el lado hacia abajo no puede actualizarse adecuadamente y la descompresión de los encabezamientos subsiguientes produce encabezamientos incorrectos. Por tanto, los modelos deben tener mecanismos para instalar contexto, para detectar cuando el contexto haya caducado, y para reparar el contexto descendente cuando sea incorrecto.

La IETF está estandarizando varios algoritmos de compresión de encabezamiento. Para el VoIP, el RTP comprimido (CRTP) puede reducir encabezamientos de IPv4/UDP/RTP de 40 octetos a un mínimo de 2 octetos.<sup>5</sup> Para reparar contexto, el CRTP confía en un eslabón ascendente, a través del cual el descompresor envía peticiones para actualizar los encabezamientos. Todos los paquetes recibidos por el descompresor se pierden cuando el contexto ha caducado, debido a que los encabezamientos no pueden descomprimirse. Por ello, el tiempo de ida y vuelta por el eslabón limitará la eficiencia del

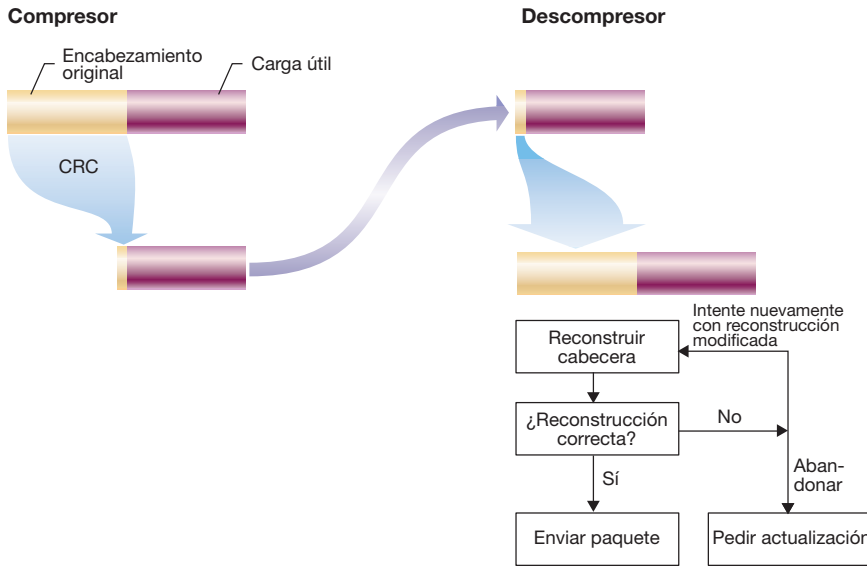


Figura 7  
ROCCO, el sólido modelo de compresión de encabezamiento basado en total de control.

mecanismo de reparación de contexto. Las simulaciones a nivel de eslabón muestran que la tasa de pérdida de paquetes de CRTP es aproximadamente cuatro veces superior a la de un modelo ideal en un escenario de VoIP por WCDMA. Para que sea viable, el modelo de compresión de encabezamiento de VoIP por transmisión sin hilos no puede ser menos eficiente sino que debe ser menos frágil que la CRTP.

La respuesta de Ericsson a estos requisitos es un modelo de compresión del encabezamiento que ofrezca un alto grado de reducción y tenga una solidez apropiada para uso en aplicaciones celulares (figura 7). El modelo basado en total de control (ROCCO) es muy sólido y está fuertemente orientado a reparar el contexto local.<sup>6</sup> En el encabezamiento comprimido se incluye un total de control que abarca el encabezamiento original (sin comprimir), para disponer de una forma fiable de detectar:

- Cuando el contexto ha caducado; y
- Cuando los intentos locales de reparar el contexto han tenido éxito.

Asimismo, para conseguir una compresión realmente satisfactoria y unas prestaciones sólidas sin perder aplicación general, Ericsson también ha introducido un sistema de perfiles de compresión. A fin de lograr unas prestaciones óptimas, distintos perfiles de compresión gestionan diferentes corrientes del RTP y condiciones de

canal. También puede desarrollarse un perfil general universal. Las figuras 8 y 9 comparan la solidez y prestaciones de compresión con respecto a la calidad de canal para el servicio de VoIPoW, cuando se ensaya con diferentes tipos de modelos de compresión y de canal.

Además del modelo ROCCO de total de control del encabezamiento, un código incluido en el encabezamiento comprimido proporciona al descompresor información sobre cómo han cambiado los sectores del encabezamiento; por ejemplo, debido a pérdidas por el enlace celular. Para el perfil de VoIP del ROCCO, este código contiene suficiente información sobre los encabezamientos anteriores como para poder reparar localmente el contexto después de que se hayan perdido varios (hasta 26) paquetes consecutivos entre el compresor y el descompresor. El perfil con la relación de compresión máxima tiene un tamaño de encabezamiento mínimo de un octeto. La capacidad de reparar contexto virtualmente a nivel local elimina el efecto negativo de los trayectos de ida y vuelta de larga duración sobre las prestaciones de la compresión del encabezamiento.

### Portadores de acceso por radio para VoIP

El principal reto al diseñar portadores de acceso por radio es encontrar puntos de implementación aptos (figura 2), puesto que están dominados por requisitos de flexibilidad de servicio de IP o por requisitos de eficiencia de espectro. Distintos puntos satisfacen estos requerimientos en un grado diferente. Por ejemplo, la cantidad de tara de protocolo (es decir, el encabezamiento de IP) no puede reducirse al mínimo si la flexibilidad de servicio tiene que combinarse con cifrado de punto a punto. En cambio, si solamente queremos implementar servicio de voz, podemos usar un portador de acceso por radio para obtener una solución, que en términos de eficiencia de espectro sea comparable a las soluciones actuales.

En síntesis, la red de acceso por radio de un sistema sin hilos enteramente de IP de la tercera generación debería sustentar aplicaciones de VoIP mediante:

- Un portador de acceso por radio optimizado para voz, cuyas características de servicio y eficiencia de espectro equivalieran, por ejemplo, a las de la voz por circuito conmutado mediante el codec de AMR.<sup>4</sup> Toda tara relacionada con IP se termina antes de atravesar el interfaz aire sin hilos. En el lado de red se necesita un proxy de confianza y no se ofrece flexibilidad de servicio de IP al usuario móvil.
- Un portador de acceso por radio optimizado para voz, cuyas características de servicio y eficiencia de espectro fueran similares a las de la voz por circuito conmutado. Las tramas de voz se transfieren a través del interfaz aire junto con la tara de IP comprimida, por ejemplo,

usando algoritmos de compresión de cabecera.<sup>1</sup> Puede obtenerse una optimización adicional con respecto a protección de errores desigual (UEP) o de detección de errores desigual (UED) que se adapte al codec de voz en uso. Esta solución permite migrar hacia un sistema sin hilos enteramente de IP que sustente con eficacia el servicio telefónico.

- Un portador de acceso por radio genérico para conectividad de IP de tiempo real, de usuario a usuario; es decir, sustentando corrientes de datos que pertenezcan a la sesión de multimedia y usen RTP/UDP/IP. Esta solución brinda una flexibilidad total a nuevas aplicaciones multimedia de IP y en casos en los que los mecanismos de seguridad (IPsec) no permitan la compresión de encabezamientos.

### Exposición general de realizaciones de VoIPoW en redes UTRA y GSM/EDGE

A fin de ofrecer soluciones eficientes y rentables para implantar servicios de multimedia basados en IP de punto a punto que satisfagan el alto estándar de QoS por UMTS (la parte de radio), la red de UTRA debe seleccionar los portadores de acceso por radio que mejor se adapten al servicio efectuado. Optimizando la forma de proporcionar el recurso de radio, también podemos incrementar al máximo la capacidad del sistema. La figura 8 describe una exposición general de las corrientes de datos implicadas en una llamada de VoIPoW.

En el mismo portador de radio pueden agruparse y correlacionarse lógicamente corrientes de datos de características similares y con aproximadamente los mismos requisitos de QoS. Dentro de una sesión de VoIPW, se han identificado algunos casos relevantes:

- Corrientes de voz de RTP (RAB2); la transferencia de datos de voz exige el mínimo retardo posible, ninguna fluctuación de fase, y BER de  $10^{-4}$  (inferior si no puede usarse un mecanismo de compresión sólido). Debido a que unos requerimientos de retardo bajos no permiten la retransmisión, la elección preferida por la corriente de voz es un servicio de RLC transparente —con tasa de bits pico garantizada— que no introduzca ninguna tara de protocolo adicional.
- Señalización de aplicaciones (RAB1)—RTCP, H.323 o SIP, RSVP. Los requisitos de retardo de esta categoría son menos rígidos, pero exige mejor integridad de datos que la voz. El requisito de integridad de datos puede satisfacerse mediante la retransmisión en el nivel del RLC. En algunos casos, la calidad pedida por este tipo de señalización no puede alcanzarla un portador de acceso por radio puro “best-effort”. Por tanto debería considerarse una tasa de bits mínima garantizada dentro del modo de servicio del RLC que ha acusado recibo. Para evitar un suministro excesivo de códigos ortogonales —suponiendo que

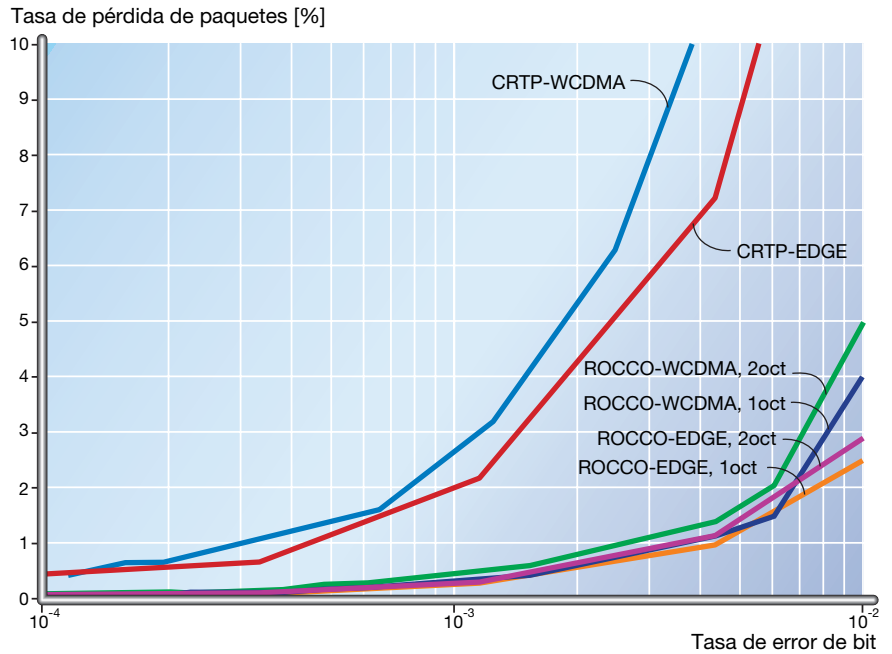
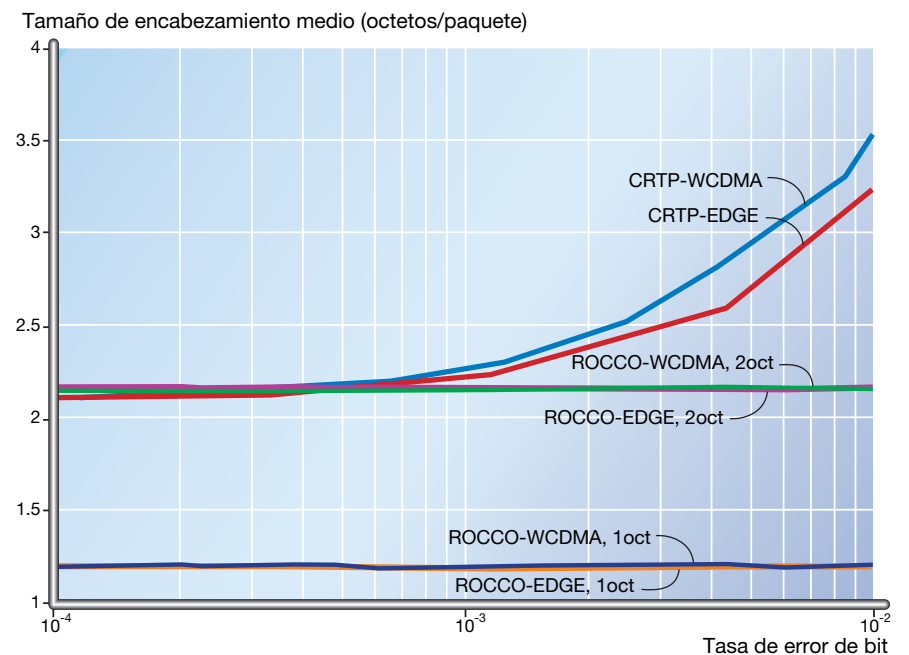


Figura 8  
Exposición global de corrientes de datos relacionadas con una llamada de VoIPoW.

Figura 9  
Resultados simulados de compresión de encabezamiento de CRTP.



Calidad de sistema,  
el 95 percentilo de FER

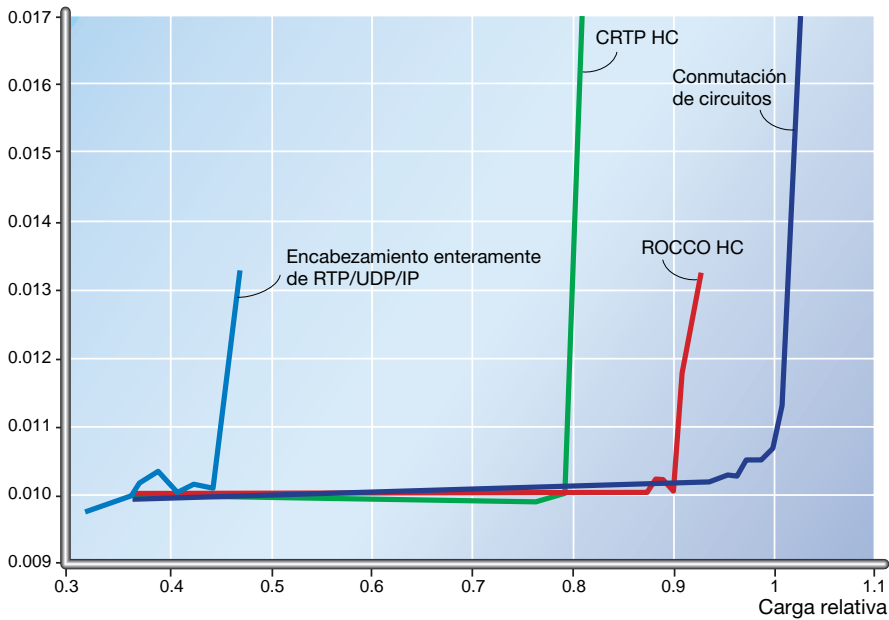


Figura 10  
Resultados de simulación de servicios de voz de UMTS.

se precise más anchura de banda para ráfagas de señales ocasionales— debería estudiarse el uso de canales comunes o compartidos.

- El control de recursos de radio (RRC) y la señalización de estrato de no acceso (NAS) (RAB0)—señalización de control de red UTRA se usa para intercambiar mensajes entre la red del UMTS y el equipo de usuario. Una entrega rápida y fiable de los mensajes puede tener un impacto importante en las prestaciones de todo el sistema. Por tanto, la transmisión de mensajes de red de UTRA debe garantizarse, ser fiable y tener un retardo bajo y prioridad máxima.

Nota: no todas las corrientes de datos de la sesión de VoIPoW descritas en la figura 8 son activas al mismo tiempo. De hecho, la mayoría de ellas pueden desconectarse.

#### Evaluación de la capacidad de la VoIPoW

Se han realizado simulaciones de sistemas para determinar cómo influye en la capacidad la introducción de flexibilidad de servicio de IP en el sistema UMTS basado en WCDMA. Las simulaciones se centraron en el enlace por radio, considerado como el cuello de botella del sistema. Se estudiaron cuatro casos distintos, representando cada uno de ellos una solución técnica diferente:

- 1 El servicio de voz por conmutación de circuitos con igual protección de errores. Este caso se incluye como prueba patrón. La capacidad de esta solución se usa para normalizar los demás resultados. Lo más probable es que el servicio de voz por conmutación de circuitos en WCDMA usará protección de errores desigual. Por consiguiente, en términos de capacidad, los resultados estudiados son ligeramente pesimistas. Con todo, los de esta solución bastan para hacer una comparación con los casos de voz por IP, a fin de investigar los efectos de las capas superiores del protocolo en la capacidad del sistema. Para el interfaz de aire, esta solución es la equivalente a otra en la red con terminación del encabezamiento relacionado con IP.
- 2 Servicio de voz basado IP con encabezamiento completo de RTP/UDP/IP. Este servicio de IP envía el encabezamiento de RTP/UDP/IP completo por el interfaz aire.
- 3 Servicio de voz basado en IP con compresión de encabezamiento CRTP. El mismo servicio basado en IP que en el punto 2 de arriba, aparte de la introducción del modelo de compresión de encabezamiento CRTP.
- 4 Servicio de voz basado en IP con compresión de encabezamiento ROCCO. El mismo servicio basado en IP que en el punto 2 de arriba, aparte de la introducción del modelo de compresión de encabezamiento ROCCO.

Las cifras de capacidad de cada uno de los diferentes casos se extrajeron de un simulador del sistema WCDMA. El simulador modela un área de células hexagonales cubierta por tres emplazamientos de sector. Durante la simulación, se iniciaron llamadas móviles según un proceso de Poisson, distribuyéndose uniformemente por el área. Las cifras de duración de las llamadas se distribuyeron exponencialmente, con un tiempo de retención mínimo de 120 segundos. Durante las llamadas, el terminal móvil generó o recibió tramas de voz de un modelo del codec AMR 12.2 operando en modo de transmisión discontinuo (DTX). Antes y después de las llamadas se transfirió por el enlace de radio cierta señalización relacionada con IP (H.323 y RSVP). El modelo no incluía señalización RTCO y RSVP durante las llamadas.

El objetivo era estimar la capacidad a un nivel de calidad constante. Sin embargo, a causa de la dificultad de medir la calidad de voz percibida en un simulador, la medición de la calidad individual de una conexión se basó en la tasa de error de trama (FER). Las pruebas de escucha indicaban que existía una correlación entre la calidad de voz percibida y una conexión y FER.

La medición de la calidad del sistema —para determinar su capacidad— no se basaba en una conexión media, sino en el número de conexiones de una calidad aceptable. En este estudio, la calidad adecuada del sistema se definió como inferior a una FER del 1% como mínimo en el

95% de todas las conexiones. Para un nivel dado de calidad de sistema, la capacidad se definió como la carga máxima con la cual podía conseguirse este nivel. La capacidad se midió con respecto al caso de referencia (1) cuya capacidad era 1.0.

Los resultados de la simulación (figura 10) muestran que en cargas bajas:

- El nivel de interferencia del sistema es moderado; y que
- El control de potencia puede establecer los niveles de potencia individuales de tal modo que el 95% o más de los usuarios tengan conexiones para el nivel de calidad deseado (FER = 1%).

Cuando se incrementó la carga, también aumentó el nivel de interferencia, y en un cierto punto el sistema se sobrecargaba. Cuando el sistema se sobrecarga, la interferencia es excesiva y demasiadas conexiones son deficientes; es decir, alcanzamos el límite de capacidad. Si el encabezamiento de RTP/UDP/IP se enviaba por el interfaz aire, la capacidad descendía a aproximadamente el 50% del caso de referencia con conmutación de circuitos. Cuando se aplicaba compresión de cabecera CRTP (figura 10), la capacidad descendía a aproximadamente el 80%; cuando se usaba compresión de encabezamiento ROCCO, el descenso era sólo del 10% (a aproximadamente el 90%).

La incidencia en la capacidad de la señalización de RSVP y RTCP, que no se incluía en las simulaciones, depende del grado en el que pueda reducirse y comprimirse. Si la señalización no se reduce, las pérdidas de capacidad debidas a señalización relacionada con IP serán iguales a las originadas por los encabezamientos comprimidos.

## Conclusión

El uso general de Internet ha dado lugar a un gran mercado de servicios de multimedia e información. El reto de ofrecer estos servicios a través de sistemas sin hilos de la tercera generación es doble: desde el punto de vista del mercado, es fusionar la base de usuarios instalada en entornos celulares y la de Internet; y en cuanto a tecnología, encontrar denominadores comunes para soluciones celulares y eficientes de acceso a Internet. Para tener éxito al aceptar estos retos, los sistemas sin hilos de la tercera generación deben diseñarse de modo que ofrezcan un gran número de servicios, una flexibilidad considerable y un acceso rentable, con una gestión de la calidad de servicio estructurada y asegurando una alta eficiencia del espectro radioeléctrico. El sistema de calidad de servicio y la arquitectura de red de radio de UMTS y GSM/EDGE se han diseñado para sustentar las necesidades de las aplicaciones actuales y futuras. El sistema de servicios de portador a diferentes niveles de red constituye la base para proporcionar un servicio

punto a punto de calidad; el transporte a través de la red celular se ofrece mediante portadores de acceso por radio.

El principal objetivo del sistema VoIPoW es llevar servicio de voz a la nueva plataforma basada en datos por paquetes, al mismo tiempo que mantiene la calidad de servicio y eficiencia de espectro asociada con los actuales sistemas de conmutación de circuitos. Establecido este objetivo, se comprueba que no hay un punto de implementación único. El reto principal es, en cambio, encontrar puntos de implementación apropiados que satisfagan los requisitos de servicio de voz para flexibilidad de servicio de IP o eficiencia de espectro. Clasificando el tráfico y comprimiendo los encabezamientos podemos ofrecer servicios de VoIPoW eficientes en espectro, con una calidad de voz alta y flexibilidad de servicio de IP.

En el diseño de una red sin hilos enteramente de IP de la tercera generación, la finalidad es separar los componentes de red de acceso por radio y del núcleo, permitiendo así que un núcleo de la red común con conmutación de paquetes (basada en GPRS) se use para redes de acceso por radio de GSM/EDGE y UMTS.

Un objetivo clave de las redes enteramente de IP de la tercera generación es ofrecer una plataforma de servicios apta para aplicaciones basadas en el protocolo de Internet. Las soluciones aquí descritas para corrientes de audio y los protocolos de control asociados harán avanzar la red de UMTS un paso más en camino de convertirse en una plataforma bien pertrechada que pueda sustentar servicios exigentes, tales como multimedia conversacional basada en IP.

## REFERENCIAS

- 1 Nilsson, M.: Normas de acceso de radio de tercera generación. Ericsson Review Vol. 76 (1999):3, págs. 110-121.
- 2 Nilsson, T.: Hacia la comunicación móvil multimedia de tercera generación. Ericsson Review Vol. 76 (1999):3, págs. 122-131.
- 3 Dahlin, S. y Örnulf, E.: La evolución de la red según Ericsson. Ericsson Review 76 (1999):4, págs.174-181.
- 4 Madfors, M.: Radio Access Network and Quality of Service in Future Wireless Networks. Future Telecom Forum 99, Beijing, China, diciembre 1999.
- 5 Casner, S. y Jacobson, V.: Compressing IP/UDP/RTP Headers for Low-Speed Serial Links, RFC 2508, febrero 1999.
- 6 Jonsson, L.-E., Degermark, M., Hannu, H. y Svanbro, K.: Robust checksum-based header compression (ROCCO). InternetDraft (work in progress) draft-jonsson-robust-hc-03.txt. Ericsson Research, enero 2000.