

TDMA de la tercera generación

Christofer Lindheimer, Sara Mazur, Johan Molnö y Magnus Waleij

Mediante la adopción de un estándar de acceso por radio común y un estándar también común de red principal de datos, los sistemas TDMA y GSM pueden compartir una solución común para las redes de la tercera generación.

La estandarización de la primera fase de EDGE está actualmente a punto de ser finalizada en el Grupo Móvil Especial de ETSI (ETSI Special Mobile Group). La fase I de EDGE incluye soporte para servicios de paquetes de datos en base al mejor esfuerzo con altas velocidades de datos. La fase II, con la meta de finales de 2000, comprenderá el soporte para aplicaciones de tiempo real. Comparados con los servicios de datos del día de la fecha en los sistemas GSM y TDMA, EDGE proporcionará unas velocidades de bits de usuario y una eficiencia espectral significativamente más altas. Se puede introducir paulatinamente en estos sistemas en las bandas de frecuencia existentes, reutilizando la planificación de célula de las redes previamente desplegadas.

En este artículo, los autores describen los conceptos para la introducción de EDGE en los sistemas TDMA, y abordan la cuestión de las prestaciones por medio de simulaciones del sistema.

2000 mejorarán los servicios proporcionados por los sistemas de segunda generación.¹

GSM y TDMA (TIA/EIA-136) son dos estándares celulares de segunda generación que han tenido un gran éxito:

- más de 256 millones de personas en más de 120 países se abonan a GSM; y
- la familia de sistemas TDMA (incluyendo EIA-553 y IS-54) da servicio a más de 115 millones de abonados en más de 100 países.

El concepto de velocidades de datos mejoradas para evolución global (enhanced data rates for global evolution - EDGE), que es una nueva tecnología de acceso por radio basada en la multiplexación por división en el tiempo, da a GSM y a TDMA un camino evolutivo para la prestación de servicios de tercera generación en las bandas de frecuencia de 400, 800, 900, 1800 y 1900 MHz. Las ventajas de EDGE incluyen rápida disponibilidad, la reutilización de la infraestructura de GSM y de TDMA existentes, y el soporte para la introducción gradual. El excelente desempeño de EDGE ha sido demostrado en varios trabajos.²⁻⁶

Introducción

La estandarización de los sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación está progresando rápidamente en todas las regiones del mundo. El trabajo está basado en las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicación (International Telecommunication Union's - ITU) para Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (International Mobile Telecommunications-2000 - IMT-2000). Mediante la oferta de altas velocidades de datos y capacidad de multimedia, los sistemas IMT-

Antecedentes

EDGE fue propuesto por primera vez al Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeas (European Telecommunications Standards Institute - ETSI) en 1997 como una evolución de GSM. Un estudio de viabilidad subsiguiente (completado y aprobado por ETSI) pavimentó el camino para la estandarización.⁷ Aunque EDGE reutiliza el ancho de banda de

CUADRO A, ABREVIATURAS

136HS	136 High Speed	EDGE	Enhanced data rates for global evolution	MT	Mobile terminal
8PSK	Eight-symbol phase-shift keying			MTP	Message transfer part
AC	Authentication center	EGPRS	Enhanced GPRS	OTAF	Over-the-air activation function
ANSI	American National Standards Institute	EIA	Electronic Industries Association	PACCH	Packet-associated control channel
		ETSI	European Telecommunications Standards Institute	PBCCCH	Packet broadcast control channel
ARQ	Automatic repeat request			PCCCH	Packet common control channel
BCCH	Broadcast control channel	FCCH	Frequency correction channel	PDN	Packet-data network
BLER	Block error rate	GGSN	Gateway GPRS support node	PDTCH	Packet-data traffic channel
BS	Base station	GMSC	Gateway MSC	PTCCH	Packet timing advance control channel
BSS	Base station system	GMSK	Gaussian minimum-shift keying		
BSSAP+	Enhanced BSS application part	GPRS	General packet radio service	QoS	Quality of service
BSSGP	BSS GPRS protocol	GPS	Global positioning system	RLC	Radio link control
CDF	Cumulative distribution function	GSM	Global system for mobile communication	RTT	Radio transmission technology
CFCCCH	COMPACT frequency correction channel	HLR	Home location register	SC	Service center
C/I	Carrier-to-interference ratio	IMT-2000	International mobile telecommunications-2000	SCCP	Signaling connection control part
CPAGCH	COMPACT packet access grant channel	IR	Incremental redundancy	SGSN	Serving GPRS support node
CPBCCH	COMPACT packet broadcast control channel	IS	Interim standard	SME	Signaling message encryption
CPCCCH	COMPACT packet common control channel	ITU	International Telecommunication Union	SMS	Short message service
CPCCCH	COMPACT packet common control channel			TDMA	Time-division multiple access
CPPCH	COMPACT packet paging channel	IWMSC	Interworking MSC	TE	Terminal equipment
CPRACH	COMPACT packet random access channel	LA	Link adaptation	TIA	Telecommunications Industries Association
		LLC	Logical link control	TN	Timeslot number
CSCH	COMPACT synchronization channel	LQC	Link quality control	TOM	Tunneling of messages
		MAC	Media access control	TS	Timeslot
DCCH	Digital control channel	MC	Message center	TU3	Typical urban 3 km/h
ECSD	Enhanced circuit-switched data	MCS	Modulation and coding scheme	UWCC	Universal Wireless Communication Consortium
		MSC	Mobile services switching center	VLR	Visitor location register

la portadora de GSM y la estructura de intervalos de tiempo, no tiene en absoluto restringido el uso dentro de los sistemas celulares GSM. En lugar de ello puede ser contemplado como una interfaz aérea genérica para proporcionar eficientemente altas velocidades de bits. De esta forma facilita una evolución de los sistemas celulares existentes hacia las posibilidades de la tercera generación.

Mientras se estaba desarrollando la tecnología inalámbrica de la tercera generación, la comunidad TDMA decidió adoptar una metodología evolutiva, basando su propuesta para la tecnología de la tercera generación en la evolución de los sistemas de segunda generación actuales. El Consorcio para la Comunicación Inalámbrica Universal (Universal Wireless Communication Consortium - UWCC) propuso la interfaz de radio 136 de Alta Velocidad (136HS) como medio para satisfacer los requisitos para la tecnología de tecnología de transmisión por radio (radio transmission technology - RTT) IMT-2000. Requisitos adicionales demandaron una evolución y un despliegue comercialmente efectivos en redes TDMA :

- asignación de espectro flexible;
- alta eficiencia espectral;
- compatibilidad con TDMA;
- cobertura equivalente a TDMA;
- soporte para desempeño macrocelular en altas velocidades móviles - en particular, el despliegue macrocelular inicial no debe requerir más de 1 MHz de espectro; y
- capacidad para coexistir en el mismo espectro con sistemas de segunda generación sin degradar sus prestaciones.

Después de evaluar diversas propuestas, el UWCC adoptó EDGE, en Enero de 1998, como el componente exterior de 136HS (más adelante denominado EGPRS-136) para proporcionar servicios de datos a 384 kbit/s. Un argumento a favor de esta metodología es que se puede impulsar la misma evolución de tecnología para sistemas GSM y TDMA - lo que también facilita la itinerancia global. Por lo tanto EDGE fue incluido en la propuesta UWCC-136.IMT-2000. En Febrero de 1998, esta propuesta fue adoptada por TR-45 y presentada por la delegación de EE. UU. a ITU como candidata RTT para IMT-2000.⁸ En Noviembre de 1999, la propuesta fue aprobada como una especificación de interfaz de radio para IMT-2000. En la actualidad EDGE está siendo desarrollado en dos modos para sistemas TDMA: COMPACT y Classic.

COMPACT emplea una nueva estructura de canal de control de 200 kHz. Se usan estaciones base sincronizadas para mantener un despliegue de espectro mínimo de 1 MHz en un patrón de reutilización de frecuencia de 1/3 .

Classic emplea la tradicional estructura de canal de control 200 kHz de GSM con un patrón de reutilización de frecuencia de 4/12 en la primera frecuencia.

EDGE está siendo desarrollado concurrentemente en ETSI y en UWCC para garantizar un alto grado de sinergia en los sistemas GSM y TDMA sistemas. El mapa de carreteras para EDGE comprende dos fases:

- La fase I pone énfasis en el GPRS mejorado (Enhanced GPRS - EGPRS) y datos por circuitos conmutados mejorados (enhanced circuit-switched data - ECSD), cuyas tecnologías fueron incluidas en la publicación del estándar de ETSI en 1999. En 2001 saldrán los productos comerciales.
- La fase II, cuya salida está prevista en 2000, está siendo definida en la actualidad para incluir mejoras para multimedia y soporte en tiempo real.

EDGE y EGPRS

El sistema de datos en paquete de GPRS usa la misma estructura física de portadora que los sistemas de comunicación celular GSM de la actualidad y está diseñado para coexistir con GSM y proporcionar la misma cobertura que él. La interfaz de radio está basada en el sistema GSM estructurado como TDMA con 200 kHz portadoras divididas en ocho intervalos de tiempo (time slots - TS) usando modulación por desplazamiento mínimo gaussiano (Gaussian minimum-shift-keying - GMSK). En GPRS, cada intervalo de tiempo puede dar típicamente servicio a varios usuarios de paquetes de datos, y se puede asignar más de un intervalo de tiempo a los usuarios para aumentar el caudal de datos.

La especificación de GPRS incluye cuatro esquemas de codificación - el esquema que se use depende de la calidad de la portadora de radio. Con GPRS, será posible obtener velocidades de datos muy por encima de los 100 kbit/s.⁹

EDGE introduce más alta modulación de nivel y nuevos esquemas de codificación para comunicación de datos por conmutación de paquetes y conmutación de circuitos. Además de la modulación GMSK, EDGE introduce modulación por desplazamiento de fase de ocho símbolos (eight-symbol phase-shift-keying - 8PSK). Las velocidades de símbolo para GMSK y 8PSK son las mismas; o sea, aproximadamente 271 kilosímbolos por segundo. La introducción de EGPRS incrementa las máximas velocidades de bits a aproximadamente tres veces la del GPRS estándar.

Las nuevas técnicas introducidas con EDGE optimizan el caudal de datos para cada enlace de radio. Una de dichas técnicas, denominada control de calidad del enlace (link quality control - LQC), combina la adaptación del enlace (link adaptation - LA) y la redundancia incremental. La funcionalidad de LA adapta la codificación y la modulación con relación a la calidad de la señal. En malas condiciones de radio, se seleccionan codificación robusta y modulación GMSK, en tanto que en buenas condiciones de

TABLA 1. ESQUEMAS DE MODULACION Y CODIFICACION PARA EGPRS

Esquema	Modulación	Máxima Vel. [kbit/s]	Vel. de código	Cabecera Vel. código	Familia
MCS-9	8PSK	59,2	1,0	0,36	A
MCS-8	8PSK	54,4	0,92	0,36	A
MCS-7	8PSK	44,8	0,76	0,36	B
MCS-6	8PSK	29,6	0,49	1/3	A
MCS-5	8PSK	22,4	0,37	1/3	B
MCS-4	GMSK	17,6	1,0	0,53	C
MCS-3	GMSK	14,8	0,80	0,53	A
MCS-2	GMSK	11,2	0,66	0,53	B
MCS-1	GMSK	8,8	0,53	0,53	C

radio, se emplean una codificación menos robusta y modulación 8PSK. EGPRS tiene también como característica las funciones de corrección de errores hacia atrás, lo que significa que puede pedir la retransmisión de bloques recibidos con errores. Este mecanismo se denomina petición automática de repetición (automatic repeat request - ARQ). EGPRS usa una variante mejorada de ARQ denominada redundancia incremental (incremental redundancy - IR). Con la IR, toda la información se codifica con un código convolucional a una velocidad de 1/3. El código es punzado a una determinada velocidad y transmitido por el aire. Si falla la decodificación, se forma una retransmisión usando un esquema de punzado diferente. Toda vez que la retransmisión se combina con el bloque previamente transmitido, el proceso arroja una velocidad de bits más baja, lo que facilita la des-

codificación. En el presente, se han definido nueve esquemas de codificación para EGPRS, ver la Tabla 1.

La columna "Familia" de la Tabla 1 indica los esquemas de codificación que se pueden usar para retransmisión. Por ejemplo, si falla la transmisión inicial con MCS-9 y disminuye la calidad del canal de radio, la retransmisión puede usar esquemas de codificación más robustos de la misma familia.

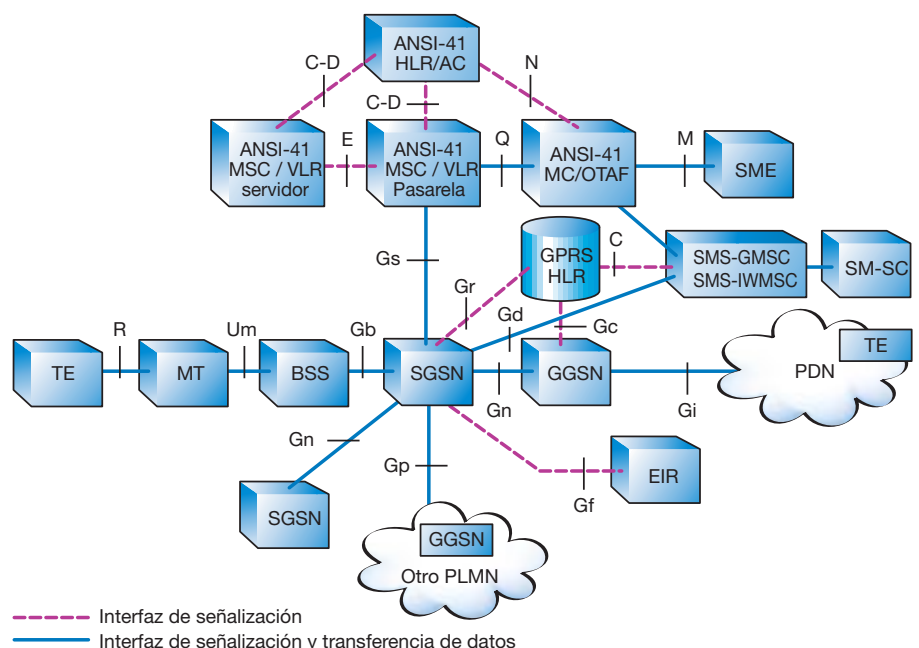
Si la retransmisión hubiese usado un esquema de codificación diferente al de la transmisión original, tendría que ser resegmentado en nuevos bloques de control de enlace de radio (radio link control - RLC). Esto es lo que limita la selección de esquemas de codificación. Los bloques que son transmitidos inicialmente con MCS-8 pueden ser retransmitidos usando MCS-6 o MCS-3, añadiendo bits de relleno al campo de datos.

Se debe observar también que incluso cuando no hay nada con lo que combinar una retransmisión - o sea, si se pierde la transmisión inicial - aún así es posible descodificar una retransmisión. Hay flexibilidad en la implementación de LQC para EGPRS en el sistema: LA será obligatorio, mientras que IR es opcional.

GPRS en sistemas TDMA –arquitectura del sistema

La red principal de paquetes para COMPACT y Classic, que está basada en la arquitectura de la red principal para redes GPRS, se integra con las redes TIA/EIA-136 de conmutación de cir-

Figura 1
Modelo de referencia para una red EGPRS-136 integrada en una red TIA/EIA-136 de conmutación de circuitos a través de una pasarela SGSN MSC/VLR.



cuitos a través de un nodo de soporte servidor GPRS (Serving GPRS support node - SGSN). La figura 1 muestra el modelo de referencia para la red resultante.

“G_s” es la interfaz entre el ANSI-41 MSC/VLR y el SGSN. Esta interfaz ha sido extendida para incluir el tunelado de mensajes no GSM, lo que permite la transmisión transparente de mensajes de señalización TIA/EIA-136 entre el terminal móvil y el MSC/VLR a través de la red de paquetes de datos EGPRS-136. Los mensajes de señalización se transportan usando la capa de protocolo de tunelado de mensajes (tunneling-of-messages - TOM) (Figura 2). Esta capa de protocolo usa procedimientos control lógico de enlace (logical link control - LLC) en modo no confirmado para tunelar mensajes entre el terminal móvil y el SGSN. Entre el SGSN y el MSC/VLR, los mensajes se transportan usando un protocolo de parte de aplicación de sistema de estación base (base station system application part - BSSAP+) mejorado.¹⁰

Para la selección de célula, terminales que soportan servicios de conmutación de circuitos de 30 kHz exploran buscando un canal de control digital (digital control - DCCH) de 30 kHz de acuerdo con los procedimientos TIA/EIA-136. Si existe un sistema EGPRS-136 de 200 kHz aceptable, habrá un puntero a este sistema disponible en el DCCH de 30 kHz. Al encontrar dicho puntero, el terminal abandona el sistema de 30 kHz e inicia el acceso al sistema EDGE. El terminal empieza su exploración inicial de portadoras de 200 kHz de acuerdo con la información contenida en el puntero. Cuando encuentra la portadora de control de 200 kHz, el terminal móvil se comporta de una manera muy similar a la que lo haría un terminal GSM/GPRS.

Con el sistema de circuito, las ubicaciones se actualizan usando el protocolo TOM para transmitir un mensaje de a registro al MSC/VLR. Cuando llega una llamada entrante de circuito conmutado para un determinado terminal móvil, la pasarela o MSC/VLR servidor asociado con el último registro inicia la paginación por circuito conmutado - o bien una página dura (página de circuito de voz sin parámetros adicionales pero con poco retardo) o una página transparente de la capa 3 (a la que se puede añadir información adicional; esta página introduce más retardo que la página dura). Para una página dura, los procedimientos de interfaz de paginación de G_s son usados por MSC/VLR y el SGSN. Para una página de capa 3, se usa el protocolo TOM. Para responder a una página de circuito conmutado, el terminal móvil suspende el tráfico de paquetes de datos (si lo hay) y empieza a buscar un DCCH de 30 kHz. La información de difusión de 200 kHz proporciona a los terminales móviles una lista de portadoras de DCCH. Los terminales móviles que solo soportan 200 kHz buscan inmediatamente una por-

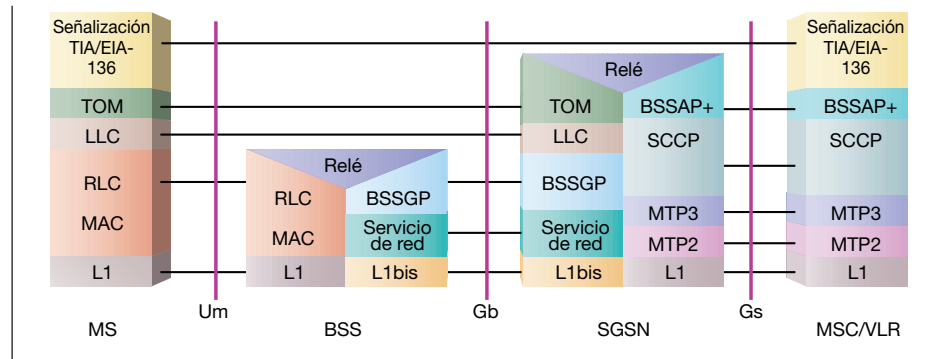


Figura 2 Pila de protocolo para una red EGPRS-136 y una red TIA/EIA-136 de conmutación de circuitos.

tadora de 200 kHz y solamente registran en el sistema de paquetes de datos de 200 kHz.

Classic

El sistema Classic usa portadoras y canales de control GSM estándar. Por lo tanto, Classic se puede desplegar usando, por ejemplo, 12 portadoras asignada en un patrón de reutilización de frecuencia de 4/12. Las portadoras proporcionan tráfico de datos y toda la señalización de control necesaria de acuerdo con el estándar GSM/GPRS con adiciones EDGE que están siendo finalizadas en ETSI.

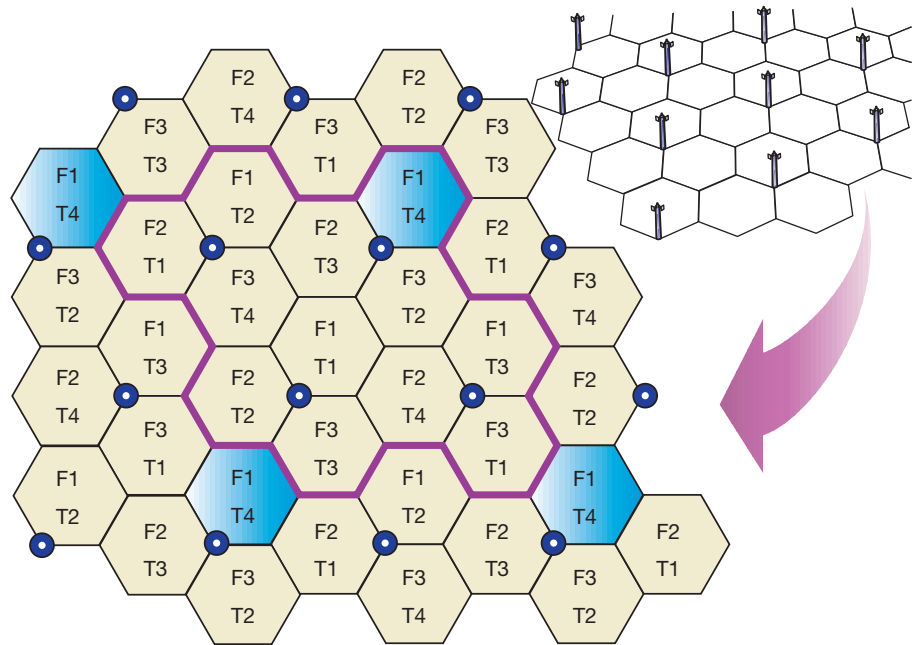
Un intervalo de tiempo de la primera portadora se usa para señalización de control. La estructura del canal de control, que es básicamente idéntica a los canales de control de GSM y transmitida en una estructura multitrama¹¹, acomoda toda la señalización de control necesaria en las portadoras de 200 kHz. La red suministra interconexión con el sistema TDMA para la paginación en circuitos conmutados y las funciones que se relacionan con la gestión de movilidad.

Classic puede ser ampliado para que incluya portadoras de 200 kHz adicionales que transporten o bien canales de control o bien canales de paquetes de datos puros y la señalización asociada o combinaciones de ambos. Estas portadoras pueden ser introducidas en un patrón de reutilización de frecuencia de 1/3, lo que significa que la capacidad puede ser incrementada de forma significativa. Sin embargo, los canales de control no se usan en un patrón de reutilización de frecuencia de 1/3.

COMPACT

Gracias al control de calidad del enlace, EGPRS puede ser introducido en un plan de frecuencias apretado y aún así proporcionar altas velocidades de datos para los servicios de paquetes de datos. El sistema COMPACT puede ser desple-

Figura 3
Un ejemplo de un patrón de célula para un patrón de reutilización de tiempo y frecuencia de 4/12.



gado usando solamente 600 kHz del espectro. Aunque la red de radio red usa tres portadoras en un patrón de reutilización de frecuencia de 1/3, logra un patrón de reutilización de frecuencia efectivo de 3/9 ó 4/12 para los canales de control empleando grupos de tiempo obtenidos a través de la sincronización de estaciones base.

Las tres portadoras transportan tráfico de datos, señalización asociada con los paquetes, y señalización común de control de paquetes de acuerdo con el estándar de GPRS con adiciones EDGE. La sincronización de estaciones base hace posible asignar canales de control comunes a los paquetes y canales de control de difusión de paquetes de una manera que evita la transmisión simultánea en el grupo de terminales (cluster). Por lo tanto, crea una reutilización efectiva para señalización de control de, digamos, 3/9 ó 4/12. Se requiere sincronización al nivel de símbolo y se puede lograr por medio de receptores del sistema de posicionamiento global (global positioning system - GPS).

Se asigna un grupo de tiempo a cada sector de estación base. Se usa un grupo de tiempo diferente en el sector de un sitio vecino que use la misma frecuencia. La figura 3 ilustra la distribución de frecuencias y grupos de tiempo sobre las células y los sectores.

COMPACT incluye modificaciones de todos los canales de control de paquetes comunes definidos para GPRS, incluyendo

- Canal de paginación de paquetes COMPACT

(COMPACT packet paging channel - CPPCH);

- Canal de concesión de acceso de paquetes COMPACT (COMPACT packet access-grant channel - CPAGCH);
- Canal de acceso aleatorio de paquetes COMPACT (COMPACT packet random-access channel - CPRACH);
- Canal de difusión de paquetes COMPACT (COMPACT packet broadcast channel - CPBCH); y
- Canal de control de avance de temporización de paquetes (packet timing-advance control channel - PTCCH).

Los canales de tráfico de paquetes de datos (packet-data traffic channels - PDTCH) y los canales de control asociados a paquetes son idénticos a los definidos para Classic.

Diferentes grupos de tiempo comparten la misma frecuencia, pero se dividen los intervalos de tiempo para señalización de control. La figura 4 muestra estructuras multitrama para un patrón de reutilización de frecuencia efectivo de 4/12. Se ilustra la estructura multitrama 52.

La división tiempo - grupo entre sitios no afecta a los intervalos de tiempo ni a los bloques que transportan tráfico de datos; esto es, el tráfico de datos sigue empleando un patrón de reutilización de frecuencia de 1/3. No obstante, se debe observar que no se usan los bloques que coinciden con el bloque de control de un sitio vecino que usa otro grupo de tiempo. En la figura 4, estos bloques están sombreados. Si se emplea un

patrón de reutilización de frecuencia efectivo de 3/9 para señalización de control, solamente se usan tres grupos de tiempo con bloques de control.

El número de bloques asignados para CPBCCH y CPCCCH es flexible - de 4 a 12 bloques por intervalo de tiempo en cada multitrama.¹¹ La figura 4 muestra una configuración de bloque factible, donde se asigna un bloque para CPBCCH y tres bloques para CPCCCH.

Una ráfaga de sincronización diseñada para COMPACT, denominada SCH, o CSCH, tiene como característica la codificación única de los números de trama, una indicación de grupo de tiempo, y una secuencia de entrenamiento extendida. Esta ráfaga se transmite en la última trama de GSM de cada multitrama 52. El canal de corrección de frecuencia de COMPACT (COMPACT frequency correction channel - CFCCCH) se asigna en la trama 25 de GSM. El patrón de bits del CFCCCH difiere del canal de corrección de frecuencia (frequency correction channel - FCCH) encontrado en la portadora del canal de control de difusión (broadcast control channel - BCCH) en GSM.

Desempeño del sistema

Supuestos generales

Las simulaciones descritas en este artículo suponen que se dispone de 6,67 TS para tráfico en el modelo COMPACT (patrón de reutilización de frecuencia de 1/3). Esto corresponde a cuatro bloques asignados para CPBCCH y CPCCCH en un patrón de reutilización de frecuencia efectivo de 4/12. El modo Classic tiene 7 TS disponibles para tráfico (patrón de reutilización de frecuencia de 4/12 - un intervalo de tiempo está siempre asignado para difusión y control común. La tabla 2 resume determinadas características básicas de los dos modos. Las simulaciones descritas comparten los siguientes supuestos:

- Interfaz de radio EDGE con redundancia incremental.
- El modelo de canal usado es ETSI urbano típico para 3 km/h (TU3).
- No hay saltos de frecuencia - se pone énfasis en un despliegue mínimo y solamente se usa una portadora por sector.

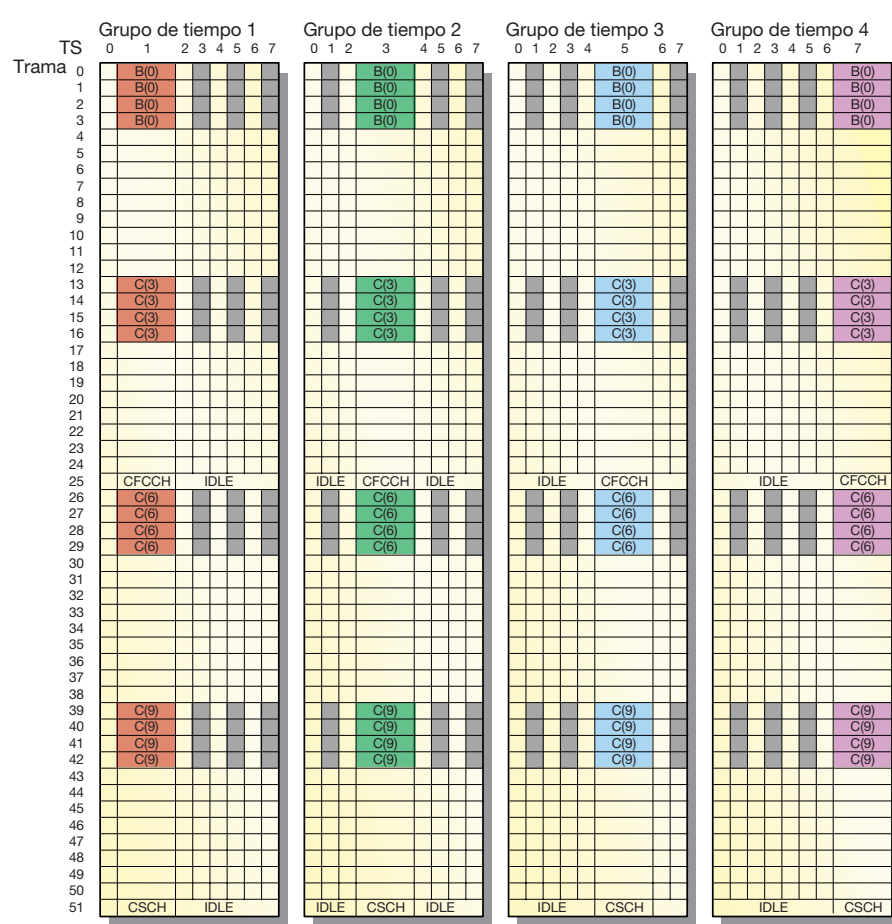


Figura 4
Una estructura de 52 multi tramas mostrando 4 grupos de tiempo. B(0) muestra la posición de CPBCCH en tanto que C(i) es la posición de CPCCCH en el bloque i.

- Señal de recepción - debido al uso asimétrico, se prevé que la señal de recepción sea el enlace restrictivo para los paquetes de datos. Se espera que las prestaciones de la señal de transmisión sean similares a las de la señal de recepción.
- Ninguna diversidad de antena del receptor en el terminal móvil.

TABLA 2. ALGUNAS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS PARA MODO CLASSIC Y COMPACT

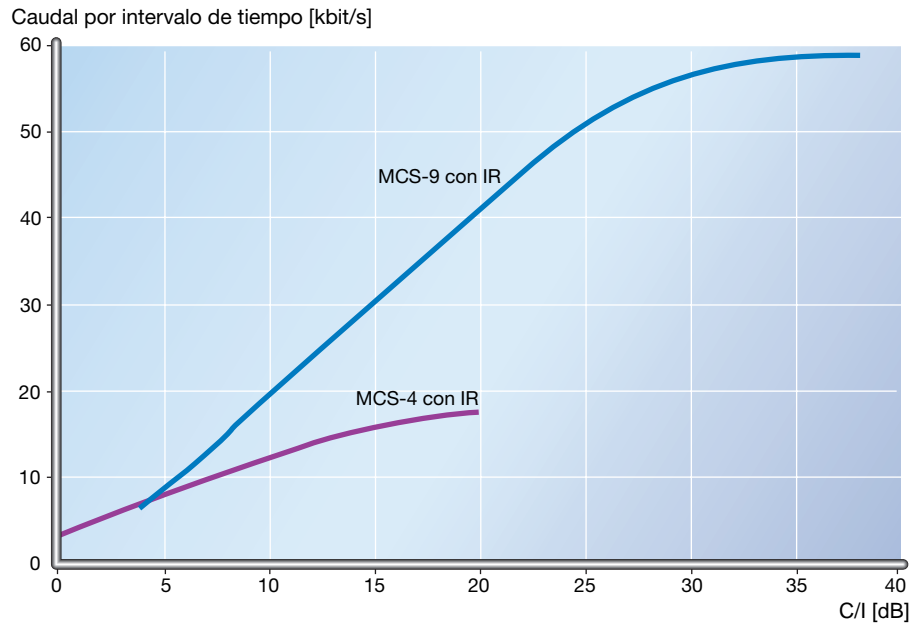
Classic

- Todos los canales de control y de tráfico de paquetes en 200 kHz
- Reutilización 4/12
- 2,4 MHz + banda de guarda
- No hay requerimientos para BS sincronizada
- 7 TS disponible para tráfico
- La portadora transmite constantemente

Modo COMPACTO

- Todos los canales de control y de tráfico de paquetes en 200 kHz
- Reutilización 1/3
- 0,6 MHz + banda de guarda
- BS sincronizada proporcionando reutilización 4/12 para PBCCH, PCCCH, PSCH, PFCCCH
- 6,67 TS disponible para tráfico
- No hay transmisión en los intervalos inactivos

Figura 5
Curvas que ilustran el máximo caudal de datos para MCS-4 y MCS-9 en función de C/I.



Desempeño del radio enlace de EDGE

El desempeño del radio enlace de EDGE ha sido evaluado extensamente por ETSI y UWCC. La figura 5 muestra el caudal para un intervalo de tiempo en función de la relación de portadora interferencia (C/I). El caudal se obtiene de simulaciones del esquema IR LQC. Esta simulación de radio enlace crea la base para todas las simulaciones de sistema subsiguientes descritas en este artículo.

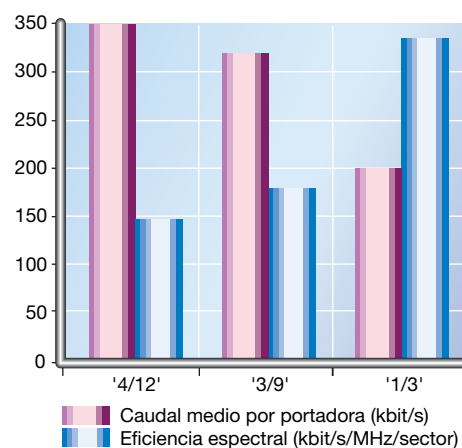
Simulaciones estáticas a nivel de sistema

La figura 6 muestra el máximo desempeño de los canales de tráfico de paquetes de EDGE para

diferentes patrones de reutilización de frecuencia (máximo en el sentido de que la utilización de canal es del 100% y los 8 TS se usan para tráfico). Los resultados están basados en simulaciones estáticas a nivel de sistema y en las simulaciones de radio enlace mencionadas anteriormente. Como se esperaba, un patrón de reutilización de frecuencia más apretado con interferencia más alta reduce el caudal medio por portadora. Sin embargo, lo que es interesante, es que la eficiencia espectral de EDGE aumenta con una reutilización de frecuencia más apretada (esto es, el menor ancho de banda requerido por una reutilización de frecuencia más apretada contrarresta la reducción de caudal). Esto confirma la capacidad de EDGE para comportarse bien en situaciones caracterizadas por alta interferencia, tales como con un patrón de reutilización de frecuencia de 1/3.

Una manera de analizar el desempeño del sistema de una red de paquetes de datos es estudiar el caudal medio por portadora. La figura 7 muestra el impacto de la utilización de canal (intensidad de tráfico) en esta métrica de la primera portadora. Los resultados están basados en simulaciones estáticas a nivel de sistema y en las simulaciones de radio enlace descritas anteriormente, usándose 7 TS para el tráfico de datos Classic y 6,67 TS para COMPACT. Como se puede ver, el desempeño en el modo Classic con una portadora por sector no depende de la carga de tráfico. Esto es porque la portadora transmite constantemente; esto es, la utilización de canal en la primera portadora es siempre el 100%. Como se esperaba, el caudal medio en modo

Figura 6
Caudal de portadora y eficiencia espectral para tres patrones diferentes de reutilización de frecuencia.



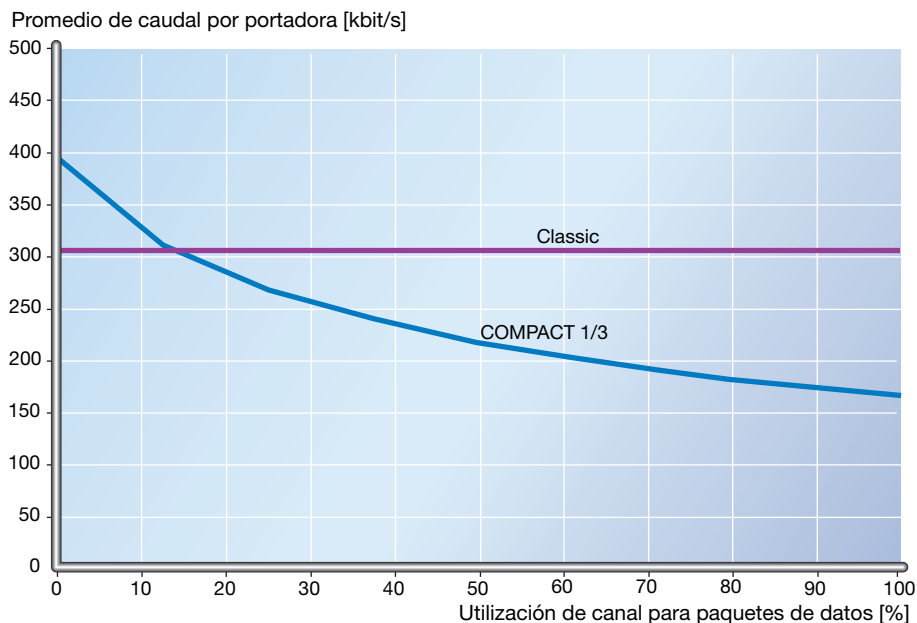


Figura 7
Caudal de portadora en función de la utilización de canal para la primera portadora usando Classic y COMPACT.

COMPACT para una portadora en particular disminuye con el incremento de la carga de tráfico. La figura 8 muestra la máxima eficiencia espectral y el caudal medio en la primera portadora para los diferentes modos. La máxima eficiencia espectral se obtiene cuando la utilización de canal es del 100%, lo que significa que se usa toda la capacidad para tráfico de paquetes. La capacidad de datos para COMPACT es 6,67 TS; para Classic, 7 TS.

Si se añade una segunda portadora, puede transportar tráfico en los 8 TS para ambos modos, típicamente en un patrón de reutilización de frecuencia de 1/3. Como se ve en la figura 9, el caudal para una portadora adicional depende de la carga del sistema, tanto para COMPACT como para Classic.

Simulaciones dinámicas de sistema de paquete de datos

Es más fácil evaluar el desempeño del sistema (simulación) de una red de paquetes de datos si el tráfico del sistema se genera dinámicamente. Los resultados que se discuten a continuación están basados en simulaciones dinámicas de tráfico de paquetes de datos donde se estudian un gran número de terminales sobre un periodo de tiempo.⁶ Se usa un modelo de tráfico de paquetes para navegación por Web.¹² La tabla 3 resume los parámetros usados en las simulaciones dinámicas.

La figura 10 muestra el número de usuarios a los que se puede prestar servicio en tanto que se garantiza el límite de la calidad de servicio (quality-of-service - QoS) del 90% de los paquetes.

Los resultados se obtienen con simulaciones dinámicas de sistema de paquetes de datos y con las simulaciones de radio enlace descritas anteriormente usando 7 TS para tráfico de datos tanto para COMPACT como para Classic. Como se ve en la Figura 10, se traza el percentil 10% del caudal de paquetes con respecto al número de usuarios por sector. El límite de QoS es el 10% de la velocidad de bits de pico disponible. COMPACT puede manejar alrededor de 30 usuarios por sector, en tanto que Classic puede manejar 60 usuarios por sector.

También es interesante estudiar la distribu-

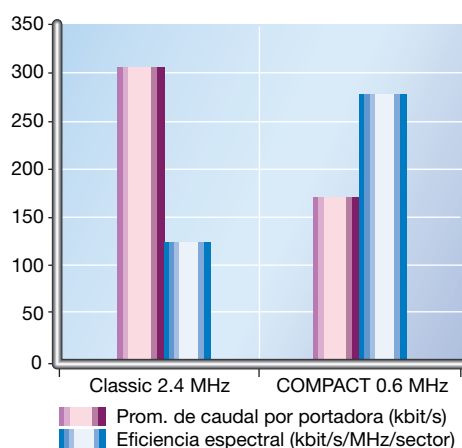


Figura 8
Caudal y eficiencia espectral para la primera portadora en Classic y COMPACT.

TABLA 3. PARAMETROS DE SIMULACION DE PAQUETES DE DATOS DINÁMICOS

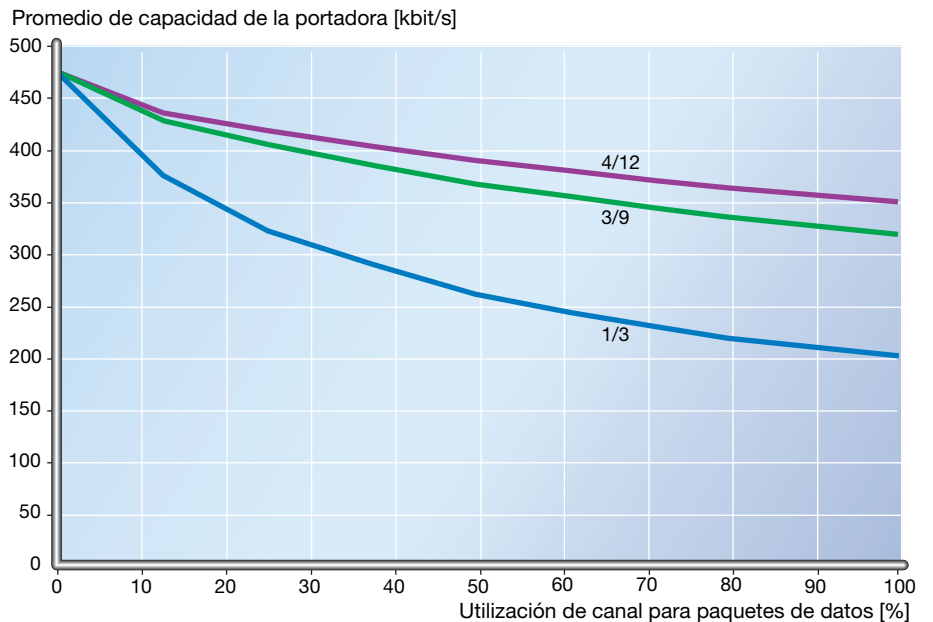
Paso de tiempo	20 ms
Movilidad	No
Asignación multi intervalo	No
Control de potencia	No
Control de admisión	No
Programación de paquetes	FIFO
Derivación de usuarios	Sí, de acuerdo con el algoritmo del cubo que gotea (leaking bucket) (menos del 1%)
Llegadas de usuario	Proceso de Poisson
Modelo de tráfico de paquetes:	Navegación Web:
• Número de paquetes por usuario	• Distribución geométrica media de 10 paquetes
• Tiempo entre paquetes	• Distribución de Pareto media de 10 segundos parámetro de forma de Pareto 1,4
• Tamaño de paquete	• Distribución logarítmica normal media de 4,1 kbytes

ción del caudal de usuarios, y no tan solo el percentil 10% del caudal de paquetes. Las figuras 11 y 12 muestran la función de distribución acumulativa (cumulative distribution function - CDF) de caudal de usuarios durante una sesión de navegación por Web para los modos Classic y COMPACT. Ya que las simulaciones no dan un modelo de asignación de multi intervalo, el caudal de usuarios del eje x es para un intervalo de tiempo. Para obtener una estimación grosera de la distribución correspondiente para 7 TS, podemos multiplicar los valores del eje x por siete. Sin embargo, un esquema de asignación de multi intervalo proporcionará una mejora de la distribución real que no está capturada por una escala tan simplista. Cuando los sistemas

están cargados a la capacidad que se define por el límite de QoS sobre caudal de paquetes, el caudal de usuarios es todavía alto. El sistema COMPACT, el 90% de los usuarios obtienen un caudal que excede 12 kbit/s por intervalo de tiempo con 30 sesiones activas de navegación por Web en la primera portadora. De forma similar, en el sistema Classic, el 90% de los usuarios obtienen un caudal que excede los 17 kbit/s por intervalo de tiempo con 60 sesiones activas de navegación por Web.

Finalmente, una mirada a la eficiencia de espectro para los dos modos (Figura 13) muestra que incluso aunque COMPACT gestiona alrededor de la mitad de usuarios por sector que Classic, tiene dos veces su eficiencia de espectro,

Figura 9
Caudal de portadora en función de la utilización de canal para tres patrones diferentes de reutilización de frecuencia.



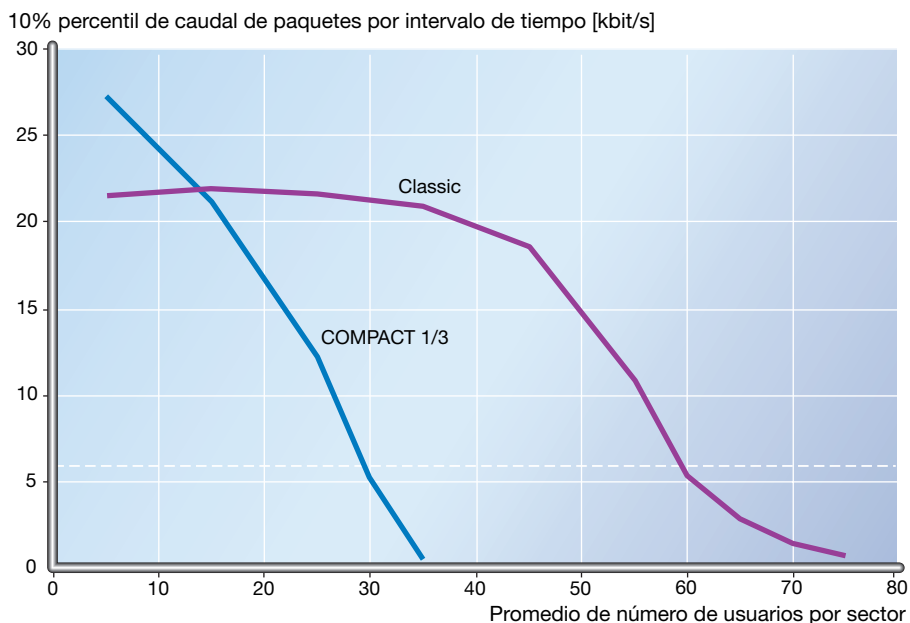


Figura 10
Percentil 10% de caudal de paquetes por intervalo de tiempo en función del número de usuarios. Nota: el 90% de los paquetes tienen un caudal más alto.

gracias a una ancho de banda reducido a 0,6 MHz.

Cobertura

Un requisito impuesto a EGPRS-136 es que para permitir una introducción en los planes celulares del día de hoy y usar las estaciones base existentes, la cobertura que proporciona debe ser igual o superior a la de TDMA. EGPRS con con-

trol de calidad del enlace satisface este requisito. De hecho, gracias al control de calidad del enlace, la mala calidad del radio enlace no es causa de que se pierdan llamadas de paquetes, sino que solamente reduce la velocidad de datos del usuario.

Se puede usar una técnica de simulación estática en casos limitados por la cobertura, ya que el desempeño no depende de la interferencia ni

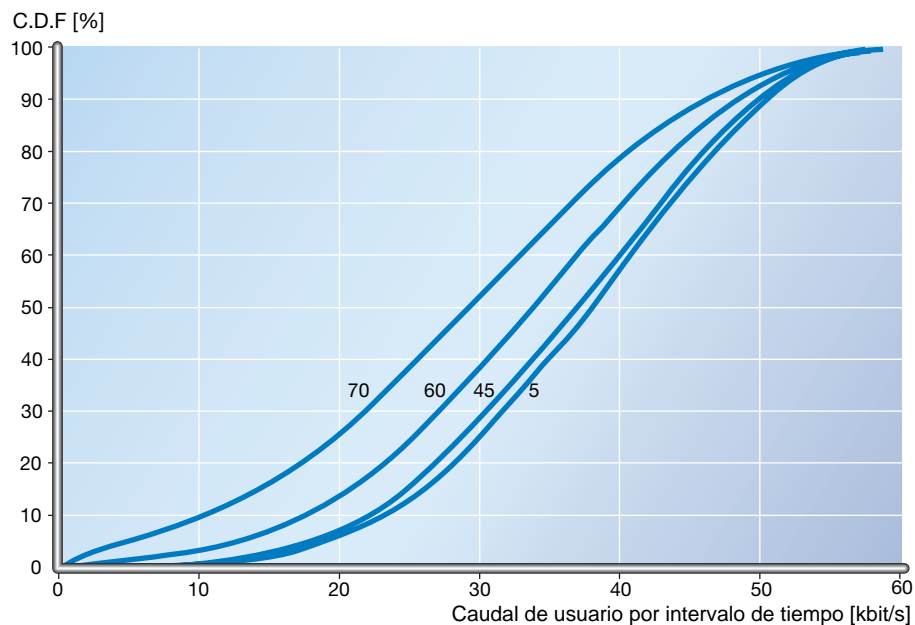


Figura 11
CDF del caudal de usuario por intervalo de tiempo para Classic, patrón de reutilización de frecuencia de 4/12 con 5, 45, 60 y 70 usuarios por sector.

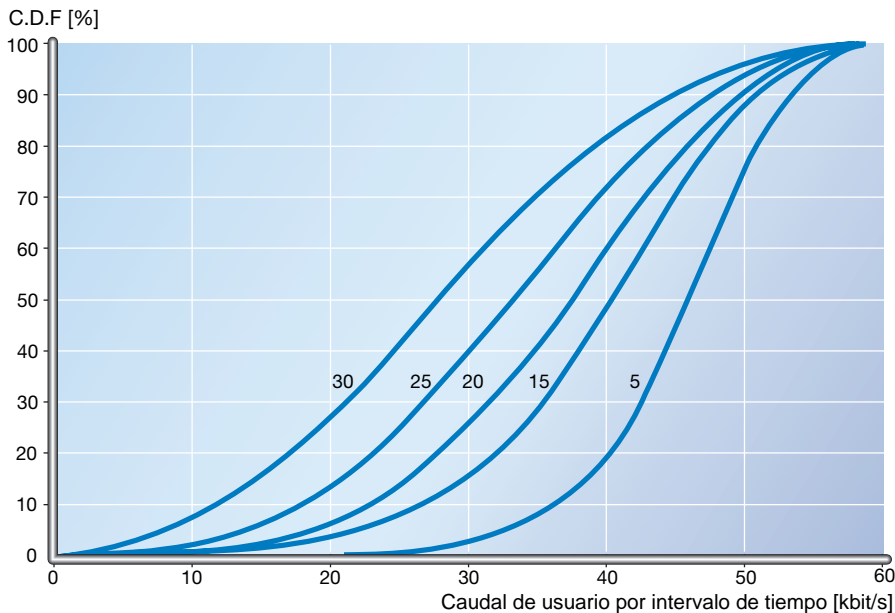
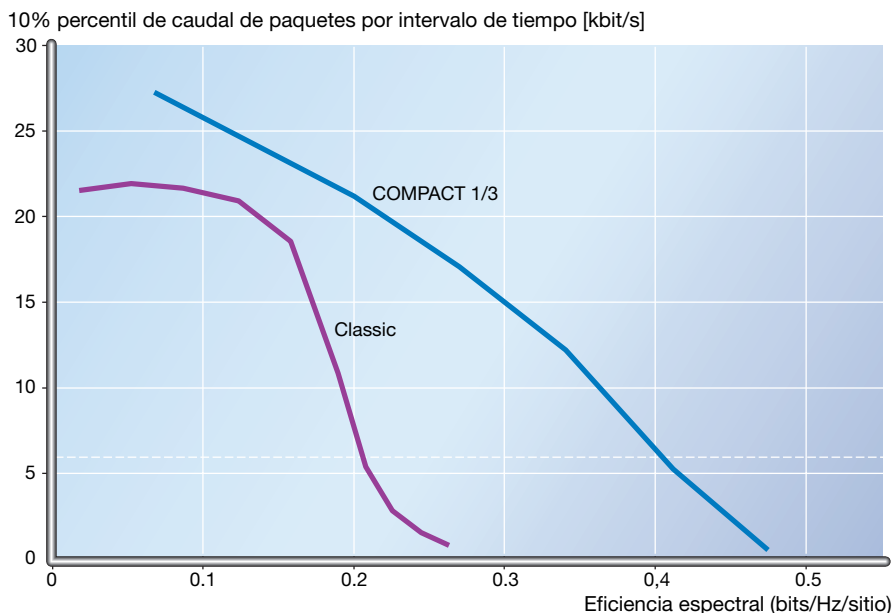


Figura 12
CDF del caudal de usuario por intervalo de tiempo para COMPACT, patrón de reutilización de frecuencia de 1/3 con 5 a 30 usuarios por sector.

Figura 13
Percentil 10% de caudal de paquetes por intervalo de tiempo en función de la eficiencia espectral para Classic y COMPACT.



de la dinámica del tráfico. Se toman instantáneas del sistema, en las cuales se sitúan terminales móviles estacionarios aleatoriamente de acuerdo con una distribución uniforme. Para determinar qué tipo de cobertura se puede lograr en los planes celulares existentes, se usa como referencia un sistema TDMA con el 95% de cobertura de voz. Con esta referencia, los resultados son válidos para el enlace de recepción. El desempeño de EDGE se analiza suponiendo la misma potencia de salida de portadora que en el sistema de referencia. Adicionalmente, dentro de EGPRS, se supone la misma potencia media para GMSK y 8PSK. Para TDMA, el requisito es un E_b/N_0 de 15,7 dB. Por lo tanto, este es el valor encontrado en el percentil 5% de las distribuciones E_b/N_0 en la célula. Cuando se introduce el esquema de modulación 8PSK de EDGE, las distribuciones E_b/N_0 disminuyen debido a la más alta velocidad bits bruta. Suponiendo la misma potencia de salida de la portadora, la diferencia en E_b/N_0 para EDGE comparada con la de las modulaciones TDMA estándar se calcula como

$$\Delta E_b = \frac{R_{TDMA}}{R_{EDGE}} = \frac{48.6 \text{ kbit/s}}{3.271 \text{ kbit/s}} = -12.2 \text{ dB}$$

donde R_{TDMA} y R_{EDGE} son las velocidades brutas del TDMA estándar y EDGE estándar, respectivamente.

Las simulaciones de cobertura dan como resultado distribuciones E_b/N_0 . A partir de estas distribuciones originales, podemos calcular distribuciones para 8PSK. Además, podemos determinar el desempeño de tasa de errores de bloque de diferentes esquemas de modulación y codificación a partir de las simulaciones de nivel de radio enlace para el enlace de recepción con ruido pero sin interferencia (E_b/N_0). Los resultados no incluyen diversidad de antena; de forma similar, se desprecia la pérdida de cuerpo para tráfico de paquetes de datos. Dados los resultados de prestaciones derivados de la tasa de errores de bloque, podemos transformar la distribución E_b/N_0 en una distribución de velocidad de bits en paquetes, usando una curva E_b/N_0 , que es similar a la curva C/I de la Figura 5.

Suponiendo un sistema con una cobertura de voz TDMA del 95%, la cobertura de EDGE es excelente (Figura 14). Aproximadamente el 95% de los usuarios obtienen una velocidad de bits en paquete que excede 120 kbit/s usando 7 TS. De esta forma se pueden reutilizar los sitios existentes con excelentes prestaciones. Incluso se puede conseguir mejor cobertura empleando antenas inteligentes o técnicas de diversidad antena.¹³⁻¹⁴

Capacidades del terminal

Los terminales de GPRS y EGPRS pueden soportar diferentes modos de operación. Por ejem-

plo, el estándar GSM/GPRS para uso en 200 kHz puro especifica modos de operación clase B y clase C. En el modo de operación clase B, se puede conectar un terminal móvil a GPRS y a otros servicios GSM simultáneamente, pero solamente puede operar un conjunto de servicios en un momento dado. En el modo de operación clase C, el terminal móvil se puede conectar o bien a GPRS o bien a otros servicios GSM, pero no a ambos. De acuerdo con estas definiciones, se dispondrá de terminales móviles para los modos de operación clase B136 y C136, con un modo de paquetes de datos de 200 kHz basado en GPRS y un modo de conmutación de circuitos de 30 kHz basado en TIA/EIA-136. Los sistemas COMPACT y Classic acomodan los modos de operación clase B136, C136, y la clase C de 200 kHz pura (GPRS).

Conclusión

Los sistemas TDMA y GSM han seleccionado las mismas tecnologías de red principal de acceso de radio de EDGE y de conmutación de circuitos de GPRS para proporcionar servicios de tercera generación en el espectro existente. En consecuencia, se puede ofrecer un acceso común para servicios de datos a más de 370 millones de abonados móviles.

EDGE puede ser desplegado en dos modos en los sistemas TDMA: Classic y COMPACT. El sistema Classic solamente requiere una mínima extensión a EDGE de GSM y usa canales de control GSM/GPRS estándar, lo que facilita la itinerancia global.

El sistema COMPACT introduce una nueva configuración de canal de control, estaciones base sincronizadas, y transmisión discontinua en las primeras portadoras, lo que facilita el despliegue de los canales de control de EDGE en un patrón de reutilización de frecuencia de 1/3.

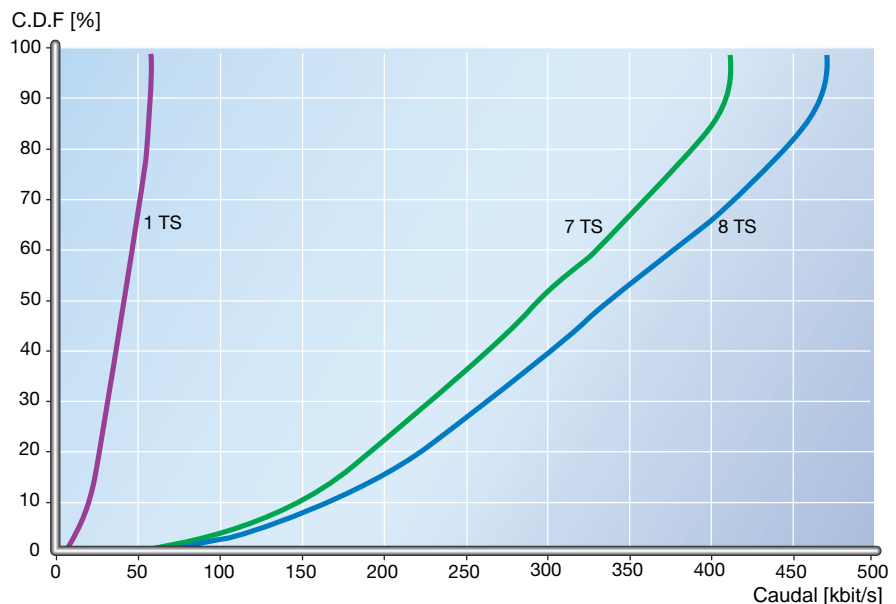


Figura 14
CDF del caudal en un sistema limitado por la cobertura.

Por lo tanto, el despliegue inicial de COMPACT requiere solamente una cantidad muy limitada de espectro - 600 kHz más bandas de guarda. Con carga fraccionaria, se puede obtener una excelente eficiencia espectral con velocidades de datos de hasta 384 kbit/s. Por lo tanto, COMPACT soporta los requisitos de UWCC para servicios de tercera generación con alta eficiencia espectral y el despliegue inicial dentro de menos de 1 MHz de espectro.

REFERENCIAS

- 1 Recommendation ITU-R M.1225, "Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000."
- 2 Furuskär, A., Frodigh, M., Olofsson, H. and Sköld, J.: "System Performance of EDGE, a Proposal for Enhanced Data Rates in Existing Digital Cellular Systems," en Proceedings of IEEE VTC'98.
- 3 Zangi, K., Furuskär, A. and Höök, M.: "EDGE: Enhanced Data Rates for Global Evolution of GSM and IS-136," en Proceedings of Multi Dimensional Mobile Communications 1998 (MDMC'98).
- 4 Furuskär, A., Höök, M., Johansson, C. Jäverbring, S. and Zangi, K.: "EDGE-Enhanced Data Rates for Global Evolution," en Proceedings of Nordic Radio Symposium 1998 (NRS'98).
- 5 Furuskär, A., Mazur, S., Muller, F. and Olofsson, H.: "EDGE, Enhanced Data Rates for GSM and TDMA/136 Evolution," IEEE Personal Communications, Junio 1999.
- 6 Furuskär, A., Näslund, J. and Olofsson, H.: EDGE, Enhanced Data Rates for GSM and TDMA/136 Evolution. Ericsson Review Vol. 76(1999):1, pp. 28-37.
- 7 ETSI. Tdoc SMG2 95/97. "EDGE Feasibility Study, Work Item 184; Improved Data Rates through Optimised Modulation," version 0.3, Diciembre 1997.
- 8 The UWC-136 RTT Candidate Submission.
- 9 ETSI. TS 03.64 V8.3.0 (2000-02), "Digital Cellular Telecommunications system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Overall Description of the GPRS Radio Interface; Stage 2 (GSM 03.64 version 8.3.0)."
- 10 ETSI. TS 09.18 V8.0.0 (1999-07), "Digital Cellular Telecommunications system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Serving GPRS Support Node (SGSN) - Visitors Location Register (VLR); Gs interface layer 3 specification (GSM 09.18 version 8.0.0)."
- 11 ETSI. TS 05.02 V8.3.0 (2000-01), "Digital Cellular Telecommunications system (Phase 2+); Multiplexing and multiple access on the radio path (GSM 05.02 version 8.3.0)."
- 12 Blomquist, K., Kjellberg, J.-Å.: "A Study of Self-Similar Data Traffic and Development of a WWW Traffic Model", MSc Thesis, Linköping University, Sweden, Junio 1997.
- 13 Derneryd, A and Johannisson B.: Adaptive base-station antenna arrays. Ericsson Review Vol. 76(1999):3, pp. 132-137.
- 14 Andersson, S., Carlqvist, B., Hagerman, B. and Lagerholm, R.: Enhancing cellular network capacity with adaptive antennas. Ericsson Review Vol. 76(1999):3, pp. 138-141.