

Redes móviles

Zdenek Becvar, Pavel Mach, Ivan Pravda

Autores: Zdenek Becvar, Pavel Mach, Ivan Pravda
Título: Redes móviles
Traducido por: Miquel Soriano
Publicado por: České vysoké učení technické v Praze
Compilado por: Fakulta elektrotechnická
Dirección de contacto: Technická 2, Praha 6, Czech Republic
Número de teléfono: +420 2 2435 2084
Print: (only electronic form)
Número de páginas: 98
Edición: Primera edición

ISBN 978-80-01-05307-2

Revisado por: Sandra Bermejo, Jose Antonio Santos

Innovative Methodology for Promising VET Areas
<http://improvet.cvut.cz>



Programa de acción
en el ámbito del
aprendizaje permanente

El presente proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea.

Esta publicación (comunicación) es responsabilidad exclusiva de su autor. La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.

NOTAS EXPLICATIVAS



Definición



Interesante



Nota



Ejemplo



Resumen



Ventajas



Desventajas

ANOTACIÓN

El módulo contiene información acerca de los principios básicos que se utilizan en diferentes generaciones de redes móviles. Además se describen las características principales de diferentes tecnologías aplicadas en las redes móviles (GSM, CSD, HSCSD, GPRS, EDGE, UMTS, LTE-(A), HSDPA, HSUPA, etc.).

OBJETIVOS

En el módulo se explica cómo funciona la segunda generación de sistemas móviles GSM, es decir, los sistemas celulares digitales. El estudiante se familiarizará con los fundamentos de las redes móviles, específicamente con la organización funcional de las redes celulares y los principios de funcionamiento de sus componentes individuales.

LITERATURA

- [1] M. Sauter, "From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband" Wiley, 2011.
- [2] H. Holma, A. Toskala, "LTE for UMTS Evolution to LTE-Advanced," Second edition, Wiley, 2011.
- [3] G. Heine, H. Sagkob, „GPRS: Gateway to Third Generation Mobile Networks“, ISBN: 1-58053-159-8, 2003.
- [4] T. Halonen, J. Romero, J. Melero, „GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution Towards 3G/UMTS“, ISBN: 0-470-86694-2, 2004.
- [5] H. Holma, A. Toskala, „WCDM for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications, third edition, ISBN: 978-0-470-87096-9, 2006.
- [6] H. Holma, A. Toskala, „HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communication“ ISBN: 978-0-470-01884-2, 2006.
- [7] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, "4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband," Academic Press, 2011.
- [8] METTALA, , Riku. Bluetooth Protocol Architecture, Version 1.0. White Paper, 1999.
- [9] Specification of the Bluetooth System: Wireless Connection Made Easy, Profiles, Volume 2, February 2001.

- [10] Specification of the Bluetooth System: Wireless Connection Made Easy, Core Package version 2.0 + EDR, Volume 0 – 3, November 2004.
- [11] Specification of the Bluetooth System: Wireless Connection Made Easy, Core Package version 2.1 + EDR, Volume 0 – 4, July 2007.
- [12] Specification of the Bluetooth System: Wireless Connections Made Easy, Core Package version 3.0 + HS, Volume 0, April 2009
- [13] Specification of the Bluetooth System: Experience More, Core Package version 4.0, Volume 0, June 2010
- [14] Global Positioning System Standard Positioning Service: Performance Standard, 4th edition, September 2008
- [15] Global Positioning System Standard Positioning Service: Signal Specification, 2nd edition, June 1995
- [16] Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces: Interface Specifications, Revision D, December 2004
- [17] Galileo Open Service: Signal In Space Interface Control Document, Draft 0, May 2006
- [18] S. Steiniger, M. Neun, A. Edwardes, "Foundations of Location Based Services", University of Zurich.
- [19] ROYER, Elizabeth. A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless Networks. 1999.
- [20] GAST, Matthew. *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide*. 1st edition, 2002. 464s. ISBN 0-596-00183-5.
- [21] BESTAK, R. - PRAVDA, I. - VODRAZKA, J.: *Principle of Telecommunication Systems and Networks*. 1. ed. Prague: *Ceska technika - nakladatelstvi CVUT*, 2007. 134 p. ISBN 978-80-01-03612-9.
- [22] JANSEN H., RÖTTER H. and coll.: *Informationstechnik und Telekommunikationstechnik (Lernmaterialien)*, Europa-Lehrmittel, Haan 2003. ISBN 3-8085-3623-3.

Indice

1	Introducción.....	8
1.1	Canales de transmisión radio.....	8
1.2	Clasificación básica de los recursos radio.....	10
1.3	Descripción general de tecnologías.....	11
2	Redes Móviles de Telecomunicación	13
2.1	Introducción.....	13
2.2	Redes celulares de telefonía móvil.....	15
2.3	Principio de sectorización	17
2.4	Métodos de acceso.....	19
2.5	Principio de reconexión automática	21
3	Redes móviles GSM– redes móviles de 2ª generación.....	23
3.1	Principios básicos del sistema GSM	23
3.2	Sistema GSM y sus estándares	25
3.3	Arquitectura de la red GSM	27
3.4	Estructura y funcionalidad del terminal móvil (MS, mobile station).....	29
3.5	Terminal móvil y su conexión a la estación base.....	31
3.6	Transmisión de datos en red GSM y Generación de Sistemas Móviles 2,5.....	32
3.7	Transmisión de datos CSD en redes GSM	34
3.8	Transmisión de datos HSCSD en redes GSM.....	35
3.9	Transmisión de datos GPRS en redes GSM.....	37
3.10	Transmisión de datos EDGE en redes GSM	39
4	Universal Mobile Telecommunication System (UMTS).....	41
4.1	Introducción.....	41
4.2	Asignación de frecuencias UMTS.....	42
4.3	WCDMA	43
4.4	Estandarización y evolución UMTS.....	44
4.5	Arquitectura de red.....	46
4.6	HSDPA	49
4.7	HSUPA.....	54
4.8	Servicios y diferenciación en la Calidad de Servicio (QoS)	56
5	Long Term Evolution (Advanced) - LTE(-A).....	58
5.1	Introducción.....	58
5.2	Arquitectura de red.....	60
5.3	Nivel físico LTE/LTE-A	62

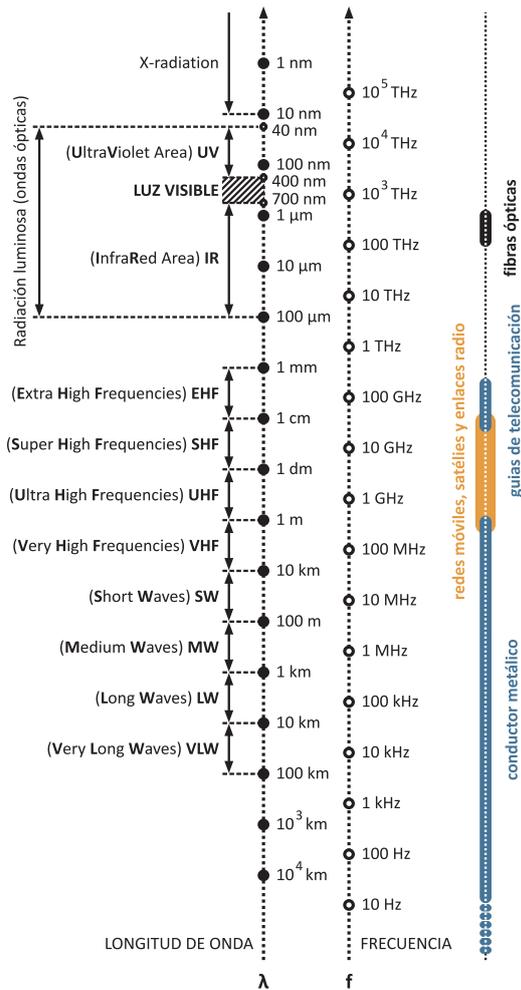
5.4	Formación del haz	66
5.5	Transmisión con múltiple antenas	67
5.6	Agregación de portadoras	68
5.7	Servicios y aplicaciones en LTE/LTE-A	70
5.8	Femtoceldas	72
5.9	Relays	74
6	Redes Ad-hoc	76
6.1	Redes ad-hoc	76
6.2	Protocolos MAC	79
6.3	Protocolos de encaminamiento	80
6.4	Seguridad	82
6.5	Tecnologías que permiten ad hoc	83
6.6	Redes de sensores inalámbricas	86
6.7	Redes malladas	87
7	Sistemas de Distribución Multipunto	89
7.1	Sistema de Distribución Local Multipunto LMDS (Local Multipoint Distributive System)	89
7.2	Servicio de Distribución Multicanal Multipunto MMDS (Multichannel Multipoint Distributive Service)	91
8	Servicios basados en la localización	92
8.1	Servicios basados en la localización	92
8.2	Sistemas de localización por satélite	93
8.3	Localización usando redes móviles	97
9	Tendencias futuras en las comunicaciones móviles	98

1 Introducción

1.1 Canales de transmisión radio

La radiocomunicación es la tecnología que posibilita la transmisión de señales mediante las ondas electromagnéticas. Estas ondas no necesitan que haya un medio físico para su propagación, pueden propagarse tanto a través del aire como del espacio vacío. Un grupo concreto de ondas electromagnéticas son las denominadas ondas de radio. Las ondas de radio pueden clasificarse en función de su uso en las siguientes categorías (véase la lista siguiente y en la figura):

- Bandas de radio (con frecuencias desde cientos de kHz hasta decenas de MHz) – *Onda larga, (LW, Long Waves); Onda media, (MW, Medium Waves); Onda corta, (SW, Short Waves) y frecuencias muy altas (VHF, Very High Frequencies)*
- Banda de televisión (frecuencias del orden de cientos a miles de MHz)
- Redes móviles y bandas de microondas (frecuencias del orden de GHz)
- Enlaces de satélite, enlaces de repetidores de radio y –Redes de acceso inalámbrico de banda ancha (frecuencias del orden de decenas de GHz)



Bandas de frecuencia utilizadas en sistemas por radio



Los sistemas de radiocomunicación pueden complementar los recursos de acceso fijo o de cable, especialmente donde sea conveniente, y también se pueden utilizar para crear una red distinta móvil que proporcione una amplia variedad de servicios.



El mayor beneficio económico de los sistemas por radio se consigue en zonas y localidades "difíciles de alcanzar" con población dispersa, donde no es rentable o conveniente construir una red de cable. La red inalámbrica ofrece una alta flexibilidad, que puede ser utilizada temporalmente en caso que se requiera conectividad a la red de forma inmediata (por ejemplo, conciertos, reuniones, etc.)

1.2 Clasificación básica de los recursos radio



Los recursos radio se pueden clasificar siguiendo diversos criterios, como se muestra a continuación:

- Banda de frecuencia – los sistemas radio de banda estrecha y sistemas radio de banda ancha.
 - Dirección de transmisión - sistemas radio unidireccionales y los sistemas radio bidireccionales
 - Configuración de los sistemas– punto a punto y punto a multipunto.
 - Movilidad del suscriptor - bucle local inalámbrico fijo o terminal móvil
 - Recursos de transmisión usados– enlaces terrestres o enlaces satelitales
 - bandas licenciadas vs. bandas no licenciadas (sin duda esencial para la planificación y la creación de redes inalámbricas)
-



De acuerdo a la cartera de servicios, los recursos radio y las redes se pueden clasificar de voz, datos, etc.



Otras formas clasificar los recursos radio son, por ejemplo, de acuerdo con:

- Banda de frecuencia
- Modulación empleada y el esquema de codificación
- Método utilizado para compartir el ancho de banda: *Multiplexación por división en frecuencia (FDM, Frequency Division Multiplex)* y *Multiplexación por división en tiempo, (TDM, Time Division Multiplex)*
- Acceso a los recursos compartidos Acceso Múltiple por División de Frecuencia, (**FDMA** (*Frequency Division Multiple Access*), Acceso Múltiple por División de tiempo (**TDMA** *Time Division Multiple Access*), Acceso Múltiple por División de código (**CDMA** *Code Division Multiple Access*) y Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal TDMA (**OFDMA** *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)

Asimismo, también podemos dividir los sistemas radio en públicas y privadas.

1.3 Descripción general de tecnologías

Para completar nuestra revisión inicial se presentará a continuación un análisis exhaustivo de las tecnologías inalámbricas que están estrechamente relacionadas con el tema presentado en este módulo.

La primera categoría de las tecnologías de comunicación radio incluye los sistemas inalámbricos analógicos y digitales que complementan, y en algunos casos sustituyen por completo a la telefonía tradicional. Esta categoría engloba, sin duda el sistema de telefonía inalámbrica, **CT** (*Cordless Telephone*) en sus versiones CT0, CT1, CT2 y el sistema DECT (*Digital European Cordless Telephone*). El propósito de los sistemas antes mencionados es reemplazar línea de abonado de cable y permitir la movilidad dentro de una zona limitada.

La segunda categoría está representada por sistemas celulares tanto analógicos como digitales (más en el módulo denominado simplemente como celular) que constituyen la infraestructura de red radio móvil. Como ejemplo, los sistemas de primera generación (que son analógicos) se denotan como **NMT (Nordic Mobile Telephone)**. Posteriormente, se desarrollaron los sistemas de segunda generación (digital) como el *GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles, "Global System for Mobile Communication")*, más tarde los sistemas de tercera generación conocidos como **UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)**, y finalmente, como por los sistemas de la 4ª generación como **LTE-A (Long Term Evolution-Advance)**. Estas tecnologías serán descritas en detalle en los siguientes capítulos.

En cuanto a la tercera categoría, integra la tecnología inalámbrica que se utiliza para cumplir con los requerimientos y necesidades de los usuarios en las redes de datos, ya sean personales **PAN (Personal Area Network)**, locales **LAN (Local Area Network)**, metropolitanas **MAN (Metropolitan Area Network)** y de área extendida **WAN (Wide Area Network)**. Esto incluye el estándar IrDA, el protocolo Bluetooth y la tecnología basada en el estándar 802.11x, **WLAN (Wireless Local Area)** e **HIPERLAN (High Performance Local Area Network)**, que es una alternativa europea para IEEE 802.11.

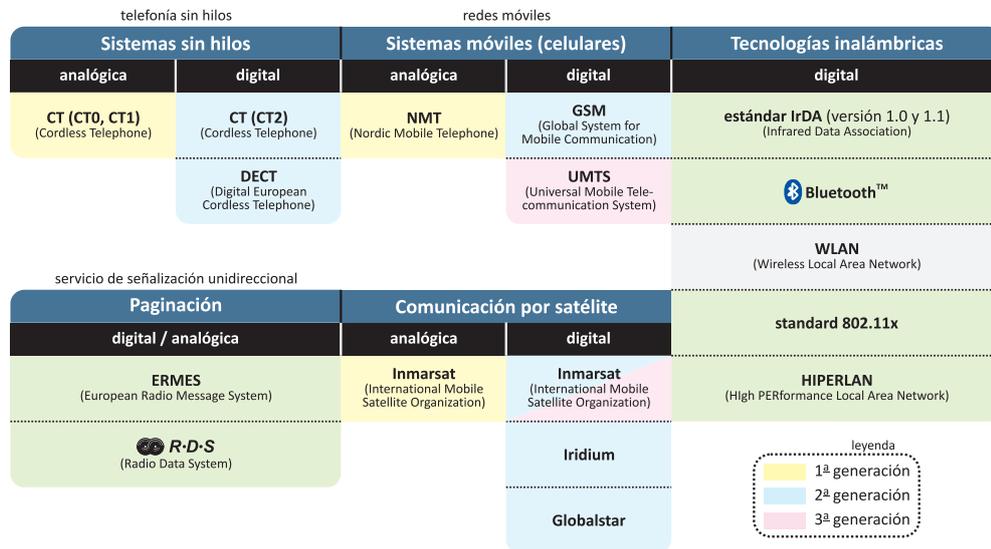
La cuarta categoría contempla tecnologías que proporcionan lo que se denomina paginación llamada. El término representa los sistemas que prestan servicios de contacto radio. Algunos sistemas de paginación son el sistema europeo **ERMES (European Radio Message System)** y **RDS (Radio Data System)**.

La quinta y última categoría, aunque es un poco específica, son las comunicaciones por satélite. No es un sistema de acceso en el sentido estricto debido a que su cobertura incluye una fracción sustancial de la superficie terrestre. Son redes de particular importancia para la cobertura marina y la aviación y para las zonas inaccesibles, poco pobladas. Como representante de esta categoría se pueden mencionar los sistemas analógicos y digitales como **INMARSAT (International Mobile Satellite Organization)**, **Iridium** o **Globalstar**.

Los sistemas de posicionamiento por satélite constituyen una categoría complementaria. Esto incluye, en particular, el sistema americano **GPS (Global Positioning System)**, el sistema europeo emergente denominado **Galileo** y el

sistema ruso **GLONASS**. Todos estos sistemas se abrevian como GNSS (Global Navigation Satellite System).

La figura 2 muestra una lista clasificada de todas las tecnologías utilizadas para la comunicación móvil.



Descripción general de las tecnologías empleadas en comunicaciones móviles

En los capítulos siguientes se describen con detalle los sistemas celulares digitales.

2 Redes Móviles de Telecomunicación

2.1 Introducción

Igual que las redes fijas cableadas, las redes móviles ofrecen transmisión de datos pero mediante conexiones inalámbricas. Dichas redes tienen una componente radio, pero también tienen una gran parte de infraestructura fija para poder ofrecer todo tipo de servicios. Cada vez que se aparece una nueva generación, tiene una mayor capacidad de forma que puede satisfacer requisitos cada vez más complejos.



GSM es un sistema de comunicaciones móviles digital que constituye la segunda generación de sistemas móviles. Puede ser caracterizado como un sistema móvil celular digital de telefonía por radio.



La tercera generación de sistemas móviles es conocida como UMTS. Se trata de sistemas digitales operan en las bandas de 2 GHz e integran diferentes tecnologías de acceso inalámbrico con capacidad de ofrecer una amplia variedad de servicios multimedia con calidad garantizada.

La cuarta generación se denota como LTE-A. Se centra en satisfacer la cada vez mayor demanda de los usuarios en cuanto a las tasas de transmisión y bajo retardo para diversos tipos de servicios

Generación de sistemas móviles

Generación	Nombre/Abreviación	Características
1ª generación (1980 a 1995)	NMT (<i>Nordic Mobile Telephone</i>); FIN, S, N, DK AMPS (<i>Advanced Mobile Telephone System</i>); USA TACS (<i>Total Access Communication System</i>); UK, IRL RADIOCOM 2000; FR	Sistemas analógicos Sistemas nacionales Voz
2ª generación (desde 1992)	GSM (Global System for Mobile Communication) DAMPS (Digital AMPS), resp. IS136; USA PCS 1900 (Personal Communication System); USA PDC (Personal Digital Communication) GPRS (General Packet Radio Service); conocida como generación 2,5 EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution); conocida como generación 2,75	Sistemas digitales Voz + datos

3ª generación (desde 2004)	CDMA 2000 (1×EV-DO, 1×EV-DV) UMTS (<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>) HSPA (<i>High Speed Packet Access</i>), HSPA+; conocida como generación 3,5 LTE (<i>Long Term Evolution</i>); conocida como generación 3,9	MULTIMEDIA
4ª generación (no disponible)	LTE-A (<i>Long Term Evolution-Advanced</i>)	MULTIMEDIA

2.2 Redes celulares de telefonía móvil

La conectividad de los teléfonos móviles se consigue gracias a los recursos de telecomunicaciones radio y su funcionamiento se basa en los procedimientos de las redes de telefonía fija. La infraestructura final contiene:

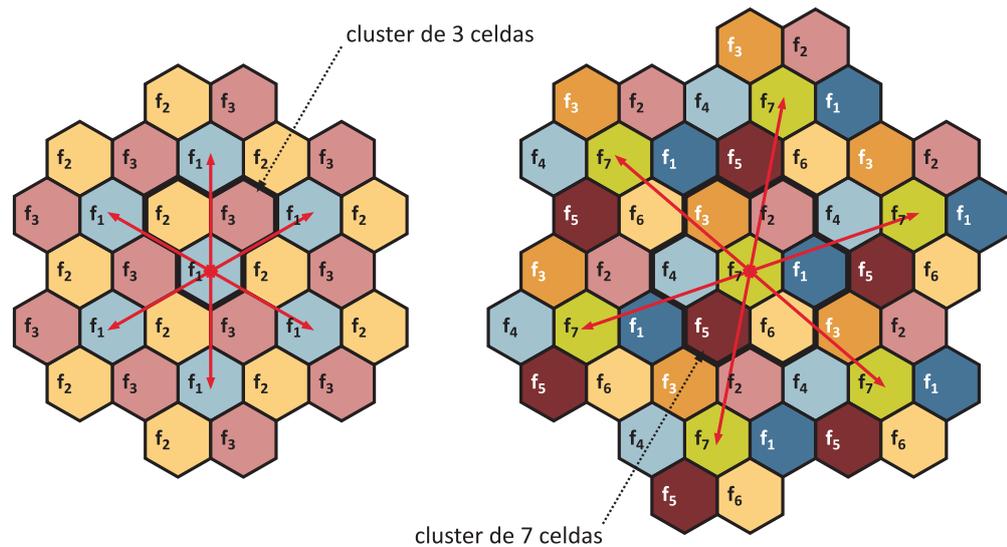
- Estación base (**BS** *Base Station*)
- terminales (**MS** *Mobile Station*)



Uno de los principios más fundamentales aplicados en los modernos sistemas de telecomunicaciones móviles se basa en la división del territorio en áreas parciales más pequeñas denominadas como celdas (en algunos textos también se denominan células, de ahí el nombre de redes celulares), que están siempre gestionadas por una estación base concreta

El tamaño de las celdas utilizadas en los diversos sistemas móviles depende principalmente del tipo y el propósito del sistema móvil y se pueden clasificar como sigue:

- femtoceldas (pisos u oficinas) - destinado a cubrir áreas que reciben un señal de baja calidad de otras celdas. En general el área de cobertura de las femtoceldas tiene un radio de varios metros.
- picocelda (oficina y área residencial) – El margen de cobertura de esta señal es de pocas decenas de metros.
- microceldas (áreas urbanas con gran densidad de población) - enfocados principalmente a usuarios con movimiento lenta (por ejemplo, para peatones o para un automóvil en tráfico urbano). La cobertura de una sola microcelda es de pocas centenas de metros.
- macroceldas (áreas grandes y escasamente pobladas) - principalmente orientadas a usuarios en movimiento con alta velocidad (por ejemplo, los vehículos en las carreteras). El radio del área de cobertura máximo es de unos pocos kilómetros.
- Celda satelital (área accesible por satélite de telecomunicaciones) - permite la conexión en lugares inaccesibles para los tipos de células anteriores. El alcance de la señal depende de la posición relativa de los satélites y de los parámetros de la transmisión y recepción de los dispositivos.



Tipos de celda en función del área de cobertura



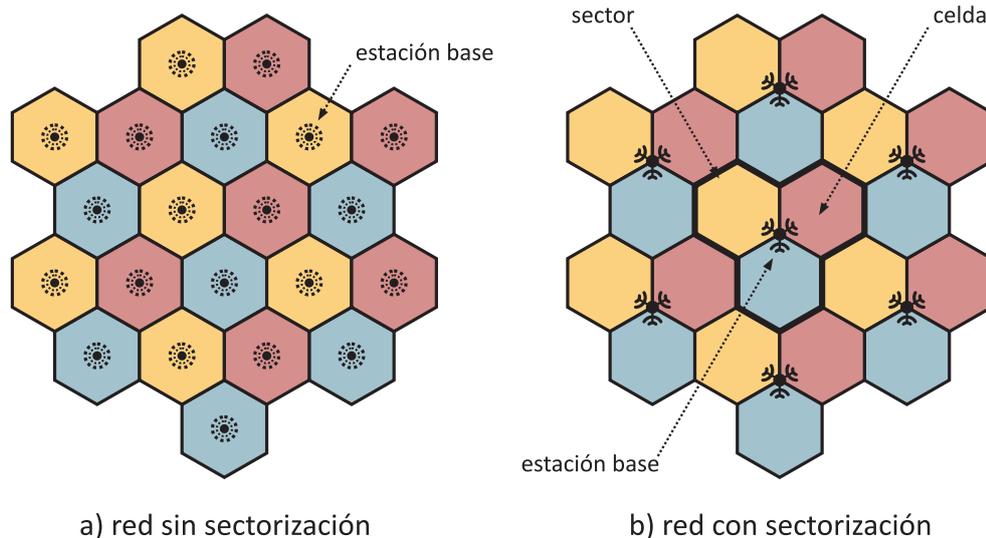
La estructura celular de la red GSM se basa normalmente mediante el uso de macroceldas con un diámetro máximo de unos pocos kilómetros. La figura anterior muestra un ejemplo de cobertura de un territorio basado en el principio celular. Para que funcione la estructura celular de la red móvil, es necesaria una planificación de frecuencias. Normalmente, un plan de frecuencias opera con tres o siete frecuencias distintas. Las mismas frecuencias (f_1 a f_3 , o f_1 a f_7) pueden ser utilizadas en cualquier grupo. El área de un clúster que usa las tres o siete celdas es aproximadamente igual a la zona de interferencia media

2.3 Principio de sectorización

En el capítulo anterior hemos aprendido que una celda de cualquier red móvil es operada por una determinada estación base. Sin embargo, si para cada celda necesitásemos una estación base distinta, el número de estaciones base requerido sería muy grande si se quiere dar cobertura a redes móviles de gran tamaño. Este problema se resuelve mediante el uso del principio de sectorización.



Vamos ahora a dividir un solo grupo o clúster de la figura anterior en 21 celdas más pequeñas (ver figura abajo - sección a)). El número de canales disponibles no cambia tanto, pero no se incrementa el número de estaciones base a 21. Sin embargo, se puede reducir significativamente el número de estaciones de base por principio de sectorización a 7. Esto podría lograrse bajo condición de que las estaciones base individuales no están colocados en los centros de las celdas, sino en los puntos de intersección de tres celdas adyacentes formando un sector (véase la figura abajo - sección b)).



Principio de sectorización de redes celulares



Para cada una de estas siete estaciones se utilizan tres antenas direccionales separadas, con tres transmisores y receptores. El número de estaciones de base en este caso es el mismo que en la figura anterior (sección b)) con la distribución de la zona de servicio en celdas, pero la configuración de la red es mucho más eficiente debido a las características de funcionamiento (por ejemplo, menor potencia de transmisión e incremento del número de estaciones móviles a las se puede dar servicio simultáneamente).



Se deben utilizar celdas pequeñas (con un rango de aproximadamente 10 hasta 500 m) en las zonas con alta densidad de usuarios. En áreas con menor densidad es suficiente desplegar celdas con mayor radio de cobertura (con un rango de aproximadamente 1 hasta 10 km) y para áreas con muy poca población el diámetro de la celda puede ser de incluso unos pocos kilómetros.

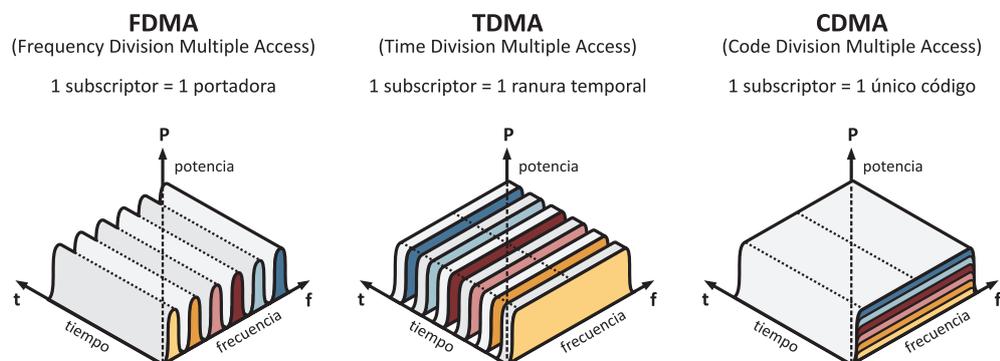
2.4 Métodos de acceso



En cada celda hay que intentar que se puedan establecer simultáneamente el mayor número de conexiones posibles entre la estación base y estaciones móviles. Los métodos de acceso múltiple se utilizan para este propósito.

En un sistema radio se puede acceder a una banda de frecuencia dedicada siguiendo uno de los métodos siguientes:

- FDMA divide la banda de frecuencias en subcanales y asigna uno de estos subcanales de frecuencia a enlace de comunicación
- TDMA divide un subcanal de frecuencia en diferentes tramas temporales y a su vez cada trama se subdivide en una secuencia de ranuras temporales. A cada comunicación se le asigna una ranura dentro de cada trama (siempre la primera, o la segunda o la que corresponda, pero siempre la misma) siguiendo el principio de multiplexado en el tiempo.
- CDMA procesa una secuencia de datos en cada extremo del canal de transmisión mediante el proceso de codificación a través de un esquema de codificación único, que es deliberadamente diferente de los esquemas de codificación de todos los otros canales. Así, las señales de cada canal se pueden transmitir usando la misma banda de frecuencia y de forma simultánea. Los canales de comunicación se distinguen unos de otros en recepción a partir del esquema de codificación única utilizado para la codificación en el transmisor.
- OFDMA se basa en una combinación de acceso múltiple por división en tiempo y frecuencia. Los recursos disponibles se dividen en subportadoras en un dominio de frecuencia y también en varios intervalos de tiempo en el dominio del tiempo. Así pues, a los usuarios individuales se les asigna no sólo una o varias subportadoras sino también un intervalo de tiempo para la comunicación.



Métodos de acceso múltiple



En la práctica, los métodos de acceso básicos mencionados anteriormente se combinan habitualmente (por ejemplo FDMA y TDMA).

Se puede acceder a las bandas de frecuencias asignadas tanto en Dúplex por División de Tiempo (**TDD**, *Time Division Duplex*) como en Dúplex por División de Frecuencia (**FDD**, *Frequency Division Duplex*). En caso de TDD, la transmisión en el enlace descendente (datos del usuario) y la transmisión de enlace ascendente (datos al usuario) están separadas en el dominio del tiempo, pero se les asigna la misma frecuencia. De esta manera se consigue un mejor aprovechamiento, ya que basta con una antena para transmitir y recibir. Sin embargo, esta solución exige unos importantes requisitos de sincronización. En el caso de FDD, ambas direcciones de transmisión (enlace ascendente y descendentes) están en frecuencias separadas, pero la transmisión / recepción es simultánea. La principal desventaja de este enfoque es que se necesitan dos antenas, una para recibir y otra para transmitir. En la mayoría de los países se utiliza FDD dúplex porque su implementación es menos compleja

2.5 Principio de reconexión automática

Un terminal móvil se comunica siempre con la estación base más cercana, más precisamente con aquella estación que le proporciona una señal más fuerte para el terminal móvil. Si la estación móvil se mueve dentro de una célula vecina, se cambia automáticamente a la estación base de la célula vecina.



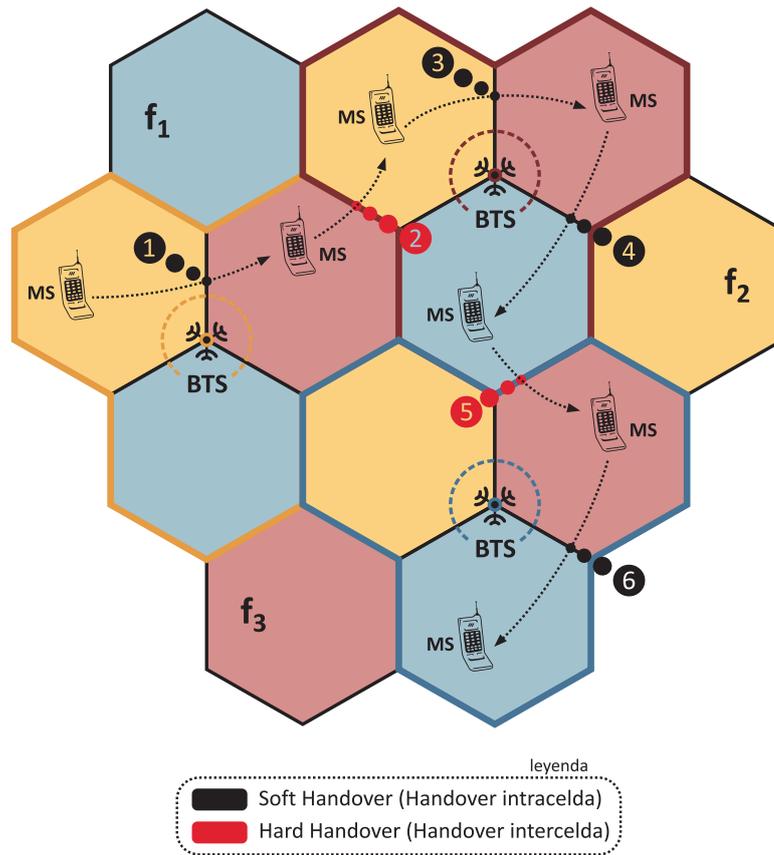
Este modo de operación se conoce como handover o traspaso.

El traspaso gestiona un cambio de la estación base que da servicio en un momento dado a otra estación base que es más apropiada en un momento posterior porque el usuario se ha movido y ha cruzado los límites entre celdas. El propósito principal de los traspasos en redes móviles es garantizar una conexión continua con alta calidad de servicio o de balanceo de carga en la red.

Para posibilitar la conexión automática continua entre la estación base y el terminal móvil es necesario hacer un seguimiento de la posición del terminal móvil en la red. Esta indicación de posición se almacena en los registros de la red móvil, permitiendo el encaminamiento de la conexión al área donde se encuentra actualmente situado el terminal.



En la planificación de frecuencias de canales de comunicación siempre se usan diferentes frecuencias en las células adyacentes. Cuando se mueve el abonado móvil a través de la frontera que separa dos células diferentes, siempre es necesario volver a sintonizar la estación móvil del usuario.



Principio de handover o traspaso

Básicamente, se pueden distinguir dos tipos de traspasos:

- Hard handover - Antes del proceso de traspaso, el móvil está conectado a su estación base origen. Durante el proceso de handover, se desconecta de ésta y durante un tiempo (del orden de milisegundos) no está conectado a ninguna otra estación base. Mediante este procedimiento, se usa por lo tanto, un solo canal. De éste modo la conexión con la estación original se corta antes de realizar la nueva conexión a la nueva estación base.
- Soft handover - En este caso, durante el proceso de traspaso el móvil estará conectado mediante un canal a la estación origen y mediante otro canal a la estación base destino. Durante dicho proceso, la transmisión se realiza en paralelo por los dos canales, es decir, no se produce interrupción del enlace. Con dicho sistema se asegura una conexión con la estación base de la nueva celda antes de cortar con la conexión antigua. Este sistema proporciona mucha fiabilidad, aunque también debe indicarse que es más complejo.

El proceso de hard handover se considera obligatorio en las redes móviles, mientras que el soft handover se considera opcional.

3 Redes móviles GSM– redes móviles de 2ª generación

3.1 Principios básicos del sistema GSM

GSM es un sistema celular digital que aún continua siendo ampliamente utilizado. Este sistema fue desarrollado como un estándar europeo abierto y su despliegue permitió resolver la itinerancia internacional o roaming, es decir, que un mismo terminal móvil pueda operar con un único número de teléfono en todos los países que adoptan este sistema.



Un elemento importante del sistema GSM es su sistema de identificación basado en la tarjeta única de abonado llamada **SIM** (*Subscriber Identity Module*).



La tarjeta **SIM** contiene no sólo los datos básicos de identificación, sino también otras informaciones específicas del usuario, tal como número de identificación de suscriptor, claves de autenticación, información sobre los servicios de telefonía de prepago ... El terminal móvil sólo puede ser utilizado con la activación de la tarjeta del operador específico. Sin embargo, hay excepciones: las llamadas de emergencia se pueden realizar sin la tarjeta SIM. Un aspecto importante que impide que un usuario no autorizado pueda escuchar una comunicación es el hecho que las transmisiones van cifradas.

El proceso de conmutación empieza en el momento en que la llamada comienza a enviar los datos de señalización inicial. Uno de los procesos iniciales más importantes es la elección de la estación móvil.



El terminal móvil envía su número de identificación **IMSI** (*International Mobile Subscriber Identity*) a través de la estación base y del controlador de la estación base (**BSC**, *Base Station Controller*) al centro de conmutación móvil **MSC** (*Mobile Switching Centre*). El bloque **AuC** (*Authentication Centre*) envía a través del terminal móvil un número aleatorio que es transformado de acuerdo a los algoritmos y datos almacenados en la tarjeta SIM a otro número diferente que se envía como respuesta al número original para autenticar al usuario. Posteriormente los datos individuales se comparan con los datos que hay en una base de datos ubicada en el bloque VLR. Si los datos son coherentes, se permite que el terminal móvil pueda acceder a la red móvil.



Para garantizar el anonimato, el terminal móvil se comunica con un número de identificación que se asigna provisionalmente, conocido como **TMSI** (*Temporary Mobile Subscriber Identity*). Gracias a ese número, el terminal móvil se identifica en el MSC. Cuando la estación móvil cambia de estación base, también cambia de MSC, y se le reasigna otro TMSI. La transferencia de datos de usuario sólo puede comenzar cuando estos procesos han terminado.

3.2 Sistema GSM y sus estándares

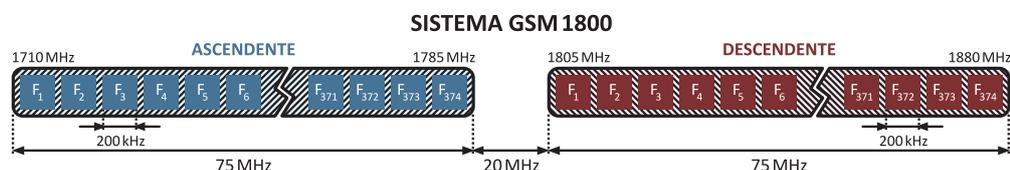
En GSM las aplicaciones básicas operan en la banda de 900 MHz. El incremento del tráfico de datos dio lugar al desarrollo de otras versiones con múltiples bandas de frecuencia. Así pues, hay tres estándares, que difieren principalmente en el rango de frecuencia utilizado y en el número de canales asignados:

- GSM 900 – banda de frecuencias de 900 MHz, capacidad máxima de 2×124 canales, ancho de banda de 2×25 MHz
- GSM 1800 – banda de frecuencia de 1800 MHz, capacidad máxima de 2×374 canales, ancho de banda de 2×75 MHz
- GSM 1900 – banda de frecuencias de 1900 MHz, capacidad máxima de 2×298 canales, ancho de banda de 2×75 MHz



Las versiones posteriores de sistema GSM, que son GSM 1800 y GSM 1900, son conocidas a veces como sistemas **DCS** (*Digital Communication System* o *Digital Cellular System*).

La siguiente figura muestra la asignación de bandas de frecuencia utilizadas por GSM 1800 en el continente europeo.



Bandas de frecuencias utilizadas por los sistemas GSM 1800 y su separación

El sistema GSM 1800 no aportó ninguna innovación tecnológica de primera magnitud, pero permitió aumentar la cobertura especialmente en las ciudades. Por lo general, hay macroceldas combinadas de GSM 900 con microceldas de GSM 1800, con el fin de proporcionar servicios en las zonas con alta concentración de usuarios (tales como centros comerciales o centros de la ciudad).

Servicios y Aplicaciones

El sistema GSM permite la prestación de servicios de telecomunicaciones (servicios a distancia) y servicios de transmisión (servicios portadores).

- Telefonía (incluyendo llamadas de emergencia, llamadas mediante itinerancia y también en todas las otras redes).
- servicios de mensajes, tales como *SMS* (*Short Message Services*) con la posibilidad de enviar un máximo de 160 caracteres entre dos puntos o con la posibilidad de enviar un mensaje a todas las estaciones móviles en la celda

(como informes de tráfico o de clima) mediante el servicio de difusión *CBS* (*Cell Broadcast Service*).

- correo de voz (voicemail).
- e-mail (servicio vinculado al correo electrónico de Internet).
- servicios bancarios.
- servicios de información, etc.

En los servicios de transmisión se pueden incluir:

- transmisión de datos asíncrona dúplex con tasas de transferencia de 300 a 9 600 bps
- transmisión de datos síncrona dúplex con velocidades de transferencia que van desde 2400 hasta 9 600 bps

Los servicios GSM están aumentando continuamente y la lista de servicios implantados depende del operador de red (proveedor). Existen una variedad de servicios para aumentar la comodidad participante. Por ejemplo, la introducción de servicios de contabilidad (facturación en caliente) permite el uso de tarjetas de prepago y su posterior cargo por servicio, posibilitando que haya usuarios que no paguen cuotas mensuales planas.

3.3 Arquitectura de la red GSM

La siguiente figura muestra la estructura básica del sistema GSM. Dicha estructura se puede dividir en tres partes fundamentales: subsistema de estación base, subsistema de conmutación de red, y Subsistema de Soporte de Operación

Subsistema de estación base (BSS)

Los terminales móviles se comunican con las estaciones base. Varias estaciones base están asignadas a un BSC, cuya principal tarea es la de asignación y liberación de canales radio para la comunicación con los terminales móviles y garantizar que los procesos de handover funcionen correctamente. La operación normal del sistema requiere que cada terminal móvil proporcione al sistema información de su ubicación, lo que es equivalente a indicar en qué celda está ubicado. El terminal móvil monitoriza también las señales procedentes de las estaciones bases más cercanas y selecciona aquella cuya señal llega con más potencia y establece la conexión a través de dicha estación.

La **central de conmutación móvil** o MSC (*mobile switching central*) se encarga de iniciar, terminar y canalizar las llamadas a través del BSC y BS correspondientes al abonado llamado. Es similar a una centralita telefónica de red fija, pero teniendo en cuenta que los usuarios pueden moverse dentro de la red de forma que su base de datos interna se actualiza más a menudo.

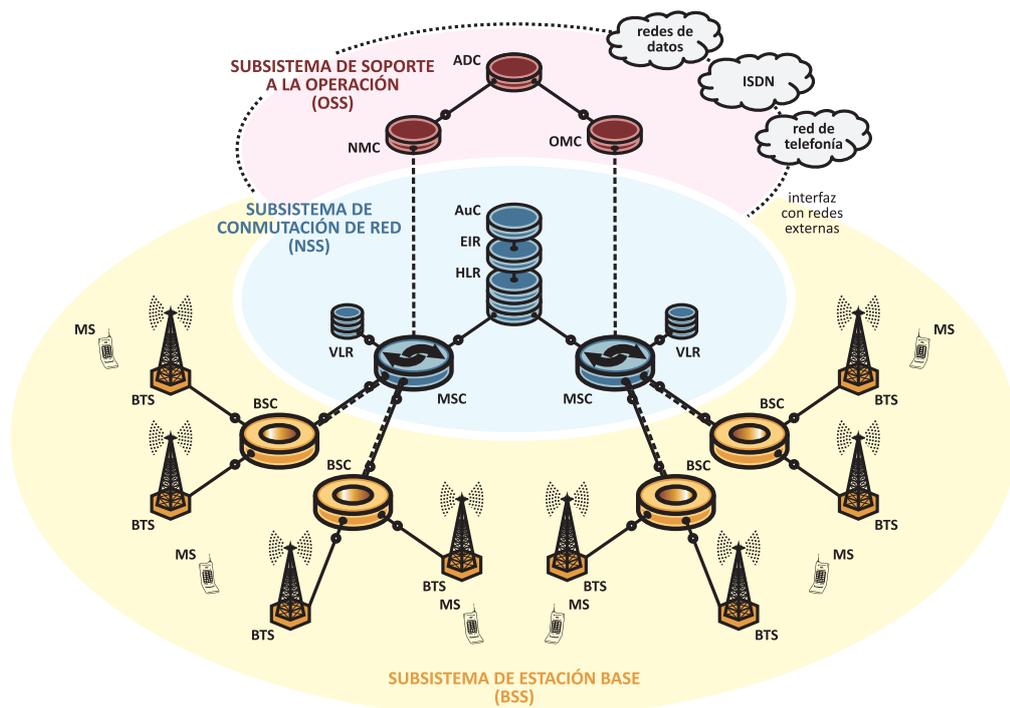
Subsistema de Conmutación de red (NSS, Network Switching Subsystem)

Es el componente que realiza las funciones de portar y administrar las comunicaciones entre los teléfonos móviles y la Red Conmutada de Telefonía para una red GSM. Dicho subsistema permite a los teléfonos móviles establecer comunicación unos a otros dentro y/o fuera de su propia red. Su arquitectura tecnológica está muy relacionada con las centrales telefónicas tradicionales (Redes de Telefonía Fija), sin embargo, hay funciones adicionales que son necesarias ya que los teléfonos no se encuentran fijos en una única ubicación. Estas funciones son:

- **HLR** (*Home Location Register*) – mantiene un registro de todos los participantes en el área. La AuC proporciona la autenticación (identificación) de abonado. Cada participante de la red se almacena sólo en un único HLR
- **VLR** (*Visitor Location Register*) – almacena temporalmente la información más reciente sobre la situación de un terminal móvil en el rango de su MSC. El VLR solicita y obtiene datos del HLR y si el terminal móvil abandona la zona visitada sus datos se eliminan del VLR.
- **EIR** (*Equipment Identity Register*) - almacena información acerca de los terminales móviles (por ejemplo, la lista de equipos autorizadas o equipos robados, etc)

Subsistema de Soporte a la Operación (OSS Operation Support Subsystem)

El OSS es responsable de la operación de BSS y NSS. Contiene principalmente un bloque de supervisión, **ADC** (*Administrative Centre*), que se encarga de las tareas administrativas (por ejemplo, informe de participación, facturación, etc.), y un bloque de gestión global del flujo de información en la red **NMC** (*Network Management Centre*), y un bloque de operación y mantenimiento **OMC** (*Operation and Maintenance Centre*), que se encarga del mantenimiento y explotación de la red.



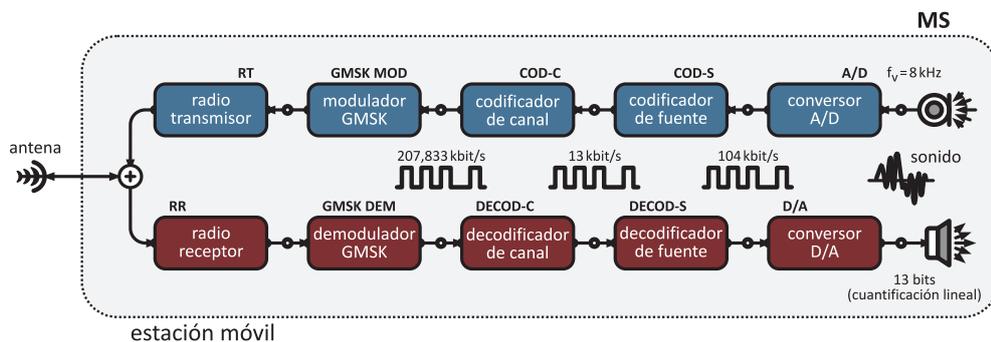
Arquitectura del sistema GSM

3.4 Estructura y funcionalidad del terminal móvil (MS, mobile station)

En los siguientes dos capítulos se describen los principios y estructura de funcionamiento de un terminal móvil y su acoplo a la estación base (BS).



El terminal móvil (MS) se compone de las partes correspondientes a la transmisión y recepción, un microprocesador de control, la tarjeta SIM y otros accesorios (auricular, teclado, pantalla, etc.)



Esquema de bloques de un terminal móvil

La señal de voz analógica en la salida del micrófono es digitalizada por un convertidor A/D utilizando PCM (8 kHz de frecuencia de muestreo, una muestra se representa con 13 bits, cuantificación lineal, velocidad de transmisión de señal $V_p = 8000 \times 13 = 104 \text{ kbit/s}$). El siguiente bloque, codificador de fuente **COD-S** (*CODer of Source*), se encarga de la síntesis de voz y se realiza por el método de **RPE** (*Regular Pulse Excitation*) lo cual permite reducir la tasa de transmisión a un valor $v_p = 13 \text{ kbit/s}$

En el bloque codificador de canal **COD-C** (*CODer of Channel*) se lleva a cabo la codificación de canal. Este proceso disminuye la probabilidad de error en la transmisión de la señal. Además, se utilizan técnicas de entrelazado, cuyo propósito es aumentar la robustez de la señal contra ráfagas de errores. En el lado receptor, se aplican los procesos inversos, es decir, se invierte el entrelazado, y se realiza la descodificación de canal, obteniendo la secuencia original.

Además, parte de la señal, que contiene información del usuario es cifrada con el fin de impedir que un usuario no autorizado pueda escuchar los datos transmitidos. Después de todas estas transformaciones, la tasa de transmisión de un canal de radio es $v_p = 22,8 \text{ kbit/s}$.

El siguiente paso es integrar la señal en una trama **TDMA** La señal se modula en **GMSK-MOD** (*Gaussian Minimum Shift Keying MODulator*) y la velocidad de transmisión total es entonces $v_p = 270.833 \text{ kbit/s}$ (tramas de capa física con una longitud de 156250 bits se transmiten todos los 0.577 ms).

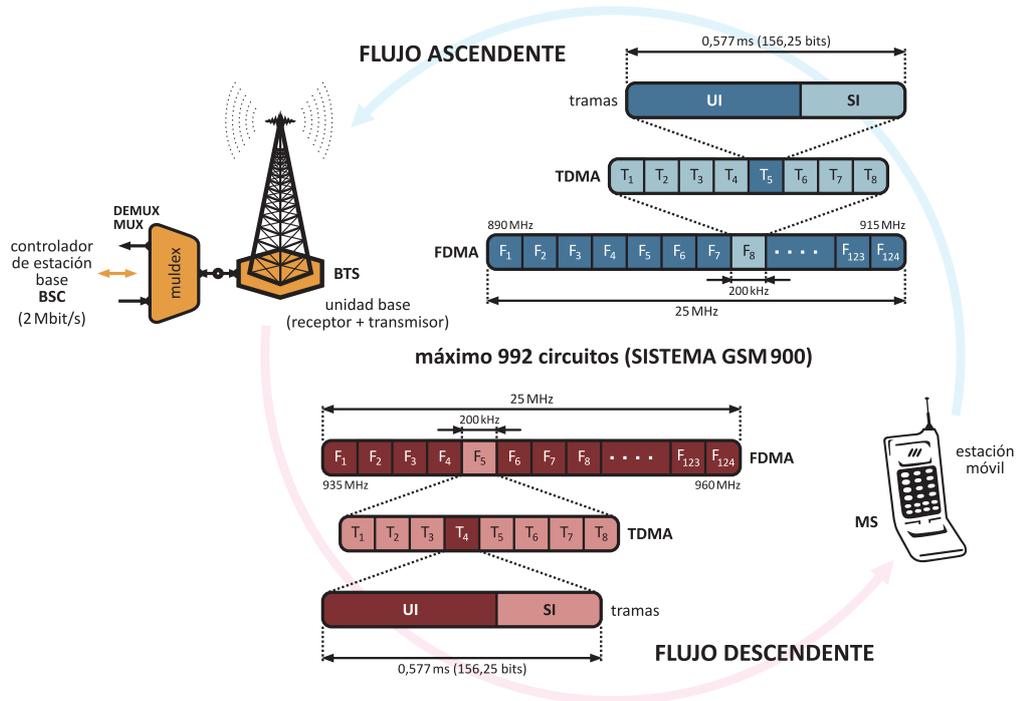
Tras el procesado de señal en otros circuitos del transmisor de radio (**RT**), la señal es radiada por la antena del terminal móvil. En términos de potencia de transmisión, existen cinco clases de terminales, desde 0,1 a 20 W.

Una vez se recibe la señal, es transmitida desde la antena del terminal receptor hasta el bloque receptor de radio (**RR**). Se procesa en el demodulador (**DEM**) y en los dos decodificadores (de canal y de fuente, **DECODing-C**, **DECODing-S**). Finalmente, el convertidor D/A transforma la señal digital a señal analógica y se transfiere al auricular.

3.5 Terminal móvil y su conexión a la estación base



Para la transmisión de señales en las redes GSM 900 se reservan dos bandas de frecuencias con un ancho de 25 MHz y una separación de 45 MHz. La señal en la dirección de la estación base al terminal móvil se transmite en la banda de frecuencia de 935 MHz hasta 960 MHz. La señal en la dirección opuesta se transmite en la banda de 890 MHz hasta 915 MHz. Los métodos de acceso se basan en una combinación de FDMA y TDMA. En ambas bandas de frecuencia, la banda se divide en 124 sub-bandas por FDMA (F_1 a F_{124}) con una anchura de 200 kHz. En cada sub-banda de frecuencia, los recursos de radio son divididos en 8 ranuras de tiempo (T_1 a T_8) mediante el uso de TDMA. Esto significa que el BTS puede ofrecer una capacidad total de hasta $124 \times 8 = 992$ pares de canales utilizables, es decir, 992 circuitos de radio.



Esquema de bloques de terminal móvil basado en el estándar GSM 900 y su relación con las estaciones base.



El sincronismo en GSM se obtiene a partir de la señal de reloj con frecuencia nominal $f_t = 13$ MHz. La tasa de transmisión básica es $v_p = 13\ 000\ 000/48 = 270\ 833,33$ bit / s. Una trama TDMA (incluyendo 8 ranuras de tiempo) tiene una duración igual a 4,615 ms (la multi-trama se compone de 26 tramas y su duración es igual a 120 ms)

3.6 Transmisión de datos en red GSM y Generación de Sistemas Móviles 2,5

La velocidad de transferencia básica entre un terminal y una red GSM es de 13,2 Kbps en ambas direcciones para llamadas de voz. Este canal puede ser utilizado no sólo para la transferencia de llamadas, sino también para la transmisión de datos basada en conmutación de circuitos, **CSD** (*Circuit Switched Data*), con tasa de transferencia nominal de 9,6 Kbps. Posteriormente, la velocidad de transferencia se aumentó hasta 14,4 kbps, principalmente mediante la reducción de información redundante en los códigos de protección.

Los sistemas pertenecientes a la generación de 2,5 permiten garantizar un aumento considerable en las tasas de transferencia mediante el uso de:

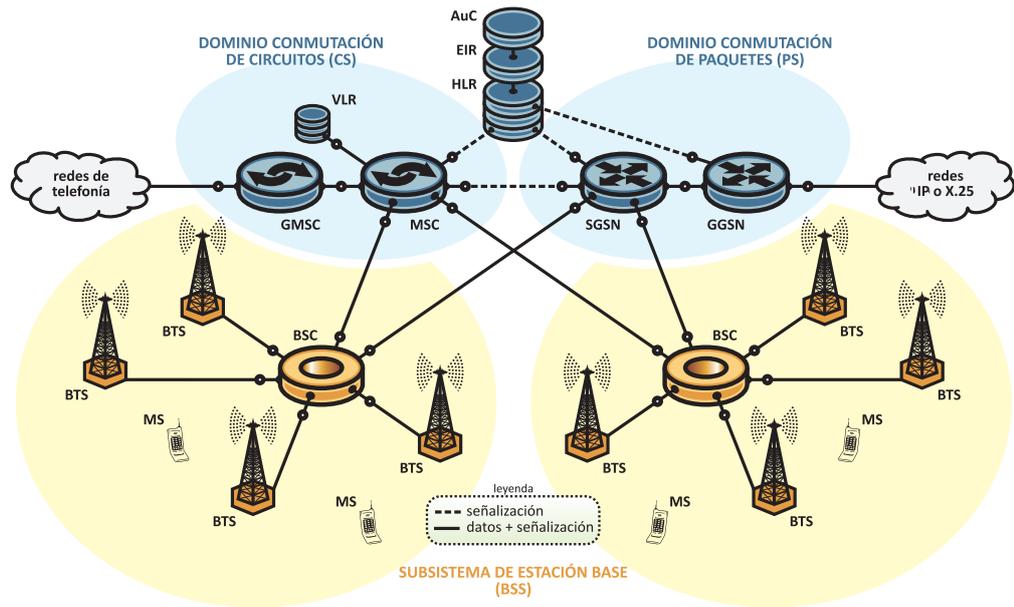
- transmisión basada en conmutación de paquetes, conocido como **GPRS** (*General Packet Radio Service*), con una tasa teórica disponible de 171 Kbps
- transmisión basada en conmutación de circuitos, conocido como **HSCSD** (*High Speed Circuit Switched Data*), con tasa teórica disponible de 115 Kbps



Es posible un aumento adicional de las tasas de transferencia mediante la utilización de la técnica conocida como **EDGE** (*Enhanced Data for GSM Evolution*). Se usa la modulación con un mayor número de estados **8-PSK** (*Phase Shift Keying*), en comparación con la modulación convencional en el sistema GSM. La tasa que teóricamente se puede conseguir mediante EDGE es de 473,6 Kbps.



La infraestructura de red GSM con sistemas 2,5 G se complementa con un nodo de datos, llamado **SGSN** (*Serving GPRS Support Node*), que se comunica con la parte radio de la red GPRS. Para la transferencia de datos a otras redes de paquetes, tales como Internet, es necesario disponer de una pasarela de datos **GGSN** (*Gateway GPRS Support Node*). La pasarela GGSN funciona como un router. La figura siguiente muestra la infraestructura simplificada de la red móvil de 2,5 G.



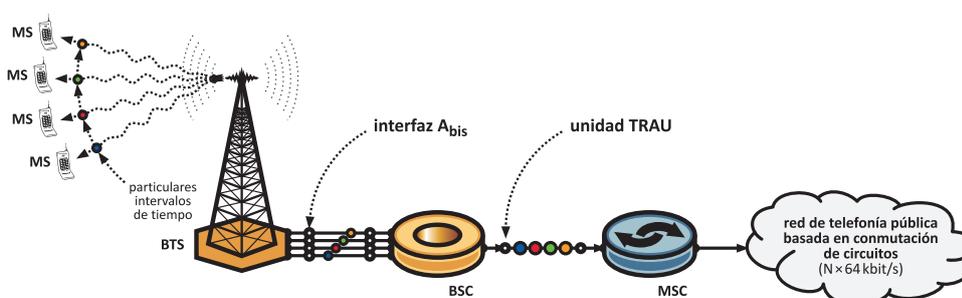
Infraestructura simplificada de la red móvil 2.5G

3.7 Transmisión de datos CSD en redes GSM

Las redes celulares digitales como GSM se desarrollaron principalmente para la transferencia de la voz humana. Sin embargo, incluso la voz humana se transmite en forma digital. Esto hace que sea relativamente fácil transferir datos generales en lugar de la voz humana. Sin embargo, hay ciertas limitaciones asociadas principalmente con las tasas de bits máxima alcanzable.



Un único canal radio GSM tiene una tasa de transferencia máxima de 33,8 Kbps. Sin embargo, para la transferencia de datos, la tasa de transferencia máxima disponible es únicamente de 9,6 kbps. La razón es que se utilizan 11 Kbps como la capacidad de canal de servicio, diseñado para garantizar la funcionalidad de la red GSM. La capacidad restante, de 13,2 Kbps, se utiliza para asegurar la fiabilidad de datos, con protección frente a errores de transmisión. El mecanismo de transferencia de datos se conoce como CSD.



Transferencia de datos mediante CSD



Después de algún tiempo se probó con éxito que no siempre se requieren mecanismos de protección muy robustos para las transferencias de datos, permitiendo aumentar la velocidad de transferencia disponible para la transmisión de datos. En concreto, la tasa de transferencia de datos se aumentó a 14,4 Kbps, con la condición de disponibilidad de señal con alta calidad.

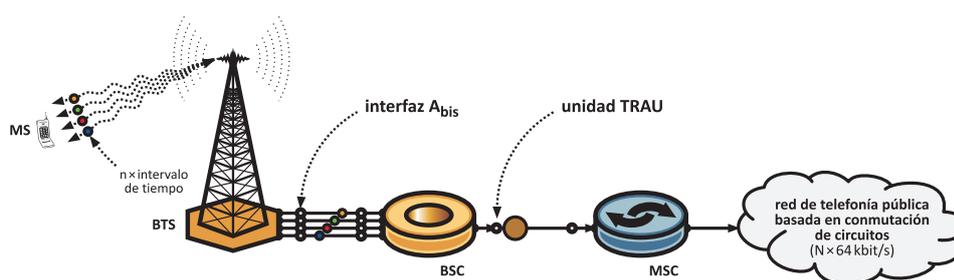
Asimismo, también se pudo ver que la añadir bits a los datos transmitidos no es la única opción para aumentar la fiabilidad de la transferencia de datos. Es posible utilizar soluciones basadas en la realimentación entre remitente y destinatario. Si el receptor se da cuenta que los datos han llegado con errores, el emisor los puede transmitir de nuevo. Este proceso requiere, obviamente, que ambas partes están de acuerdo y por tanto es necesario definir un protocolo. Este protocolo se llama RLP **RLP (Radio Link Protocol)**.

3.8 Transmisión de datos HSCSD en redes GSM

Como se indicó en el capítulo anterior, la velocidad máxima de transferencia de datos utilizable en una ranura de tiempo es 14,4 Kbps



Una manera de aumentar la tasa de bits en una red GSM existente es que se puedan utilizar simultáneamente diversos intervalos de tiempo para servir a un usuario. Este modo de transmisión de datos se conoce con las siglas HSCSD. Se basa en el principio de CDS pero permite un aumento significativo de la tasa de transmisión.



Transmisión de datos usando HSCSD



Como se muestra en la figura anterior, la comunicación entre el terminal móvil (MS) y la estación base (BS) se lleva a cabo a través de un grupo de intervalos de tiempo y se transfiere a la MS. La asignación de ranuras de tiempo depende de la cantidad actual de canales de radio disponibles y de las capacidades de la propia MS. Los datos se transmiten por la BS y el BSC (interfaz A_{bis}) utilizando canales con una velocidad de 16 Kbps. En general hay disponibles 32 canales con velocidad de transferencia de 64 kbit/s (es decir, 2 Mbps en total) para la comunicación entre el BS y el BSC. Cada uno de estos canales se divide además en cuatro subcanales con velocidad de transmisión de 16 Kbps



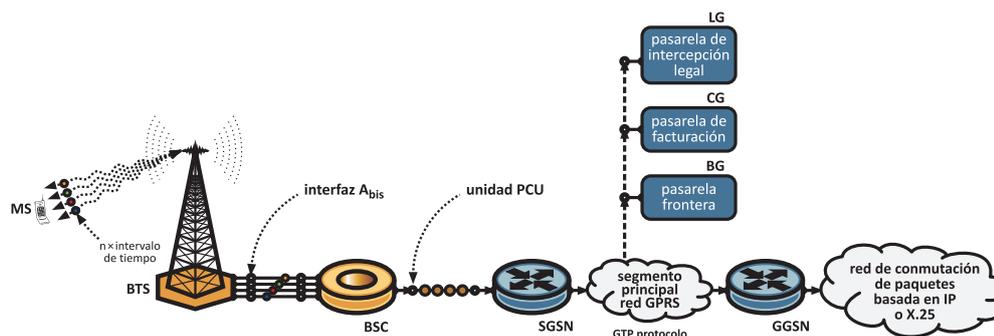
Los subcanales con velocidad de transmisión de 16 Kbps pueden ser utilizados para la transmisión de voz (13 Kbps) o datos comunes (14,4 Kbps). Los datos se van fusionando de forma secuencial en la Unidad Transcodificadora y de adaptación de velocidad **TRAU** (*Transcoder and Rate Adaptation Unit*) ubicada en el BSC, de forma que quedan integrados en un canal estandarizado (64 Kbps). La unidad TRAU está diseñada para convertir voz codificada (con velocidad de 13 Kbps) en un canal de voz estándar PCM (velocidad de 64 Kbps) o para modificar la velocidad de transferencia de datos de hasta 64 Kbps. Por lo tanto la velocidad máxima de transferencia por un canal que puede lograrse utilizando esta tecnología también es de 64 Kbps

Las transferencias que se realizan de esta manera pueden ser en la mayoría de los casos asimétricas. Esto significa, por ejemplo, que en la dirección desde un MS

a la red se puede asignar tres intervalos de tiempo y en la dirección opuesta (de la red al MS) se puede asignar un solo intervalo. Este método de asignación de capacidad de canal de radio se utiliza muy a menudo y es adecuado, por ejemplo, para la conexión a Internet, donde los datos se transfieren principalmente de la red hacia el usuario. El estándar que define el modo de HSCSD, divide los modos disponibles en 18 clases de acuerdo con el número de canales que se puede utilizar para ambas direcciones.

3.9 Transmisión de datos GPRS en redes GSM

Con el fin de aumentar la velocidad de transmisión en la red GSM original, que es únicamente orientada a circuitos, se tuvo que introducir el modo de transmisión orientada a paquetes. Para ello, fue necesario completar la red original con equipos nuevos, tal como se muestra en la siguiente figura. Esta nueva estructura de red permite la transmisión orientado a paquetes conocida como GPRS.



Transmisión de datos usando GPRS

Los nodos de datos SGSN se comunican con la parte radio de la red GPRS. Para la transferencia de datos a otras redes de paquetes, tales como Internet, se utiliza una pasarela de datos GGSN que actúa como un router. El acceso de los usuarios a dichas redes se permite a través de **APN** (*Access Point Name*). De esta manera, el operador puede permitir el acceso a la APN sólo a un conjunto definido de tarjetas SIM y por lo tanto puede crear una red GPRS para un grupo privado de usuarios, cuyo tráfico es estrictamente separado del resto del tráfico. La transmisión de datos a través de la APN puede ser diferente con distintos precios para el servicio individual de proveedor, tal como ocurre en **WAP** (*Wireless Application Protocol*) o en **MMS** (*Multimedia Messaging Service*).



El acceso a Internet es posible gracias a WAP, que permite que un terminal móvil (MS) pueda acceder al contenido de sitios web y servicios de información utilizando canales de baja capacidad y pantallas con resolución limitada. La aplicación de comunicación de datos y WAP permite la utilización de GPRS (transmisión orientada a paquetes) y la mejora de tasas de transferencia teóricamente hasta 192 Kbps Sin embargo, la aplicación de este servicio requiere inversiones muy costosas, tanto en la estructura de la red GSM como en los terminales.



En las redes GSM con GPRS ya se ha implementado la cooperación entre SGSN y BSC para la asignación eficiente de recursos de transmisión, lo que significa que los recursos de transmisión son asignados a la MS sólo si tiene datos que enviar o recibir.

+

En las redes GSM que utilizan HSCS los enlaces de transmisión no están permanentemente bloqueados, a diferencia de los que ocurre en la transmisión de datos convencional en redes GSM.

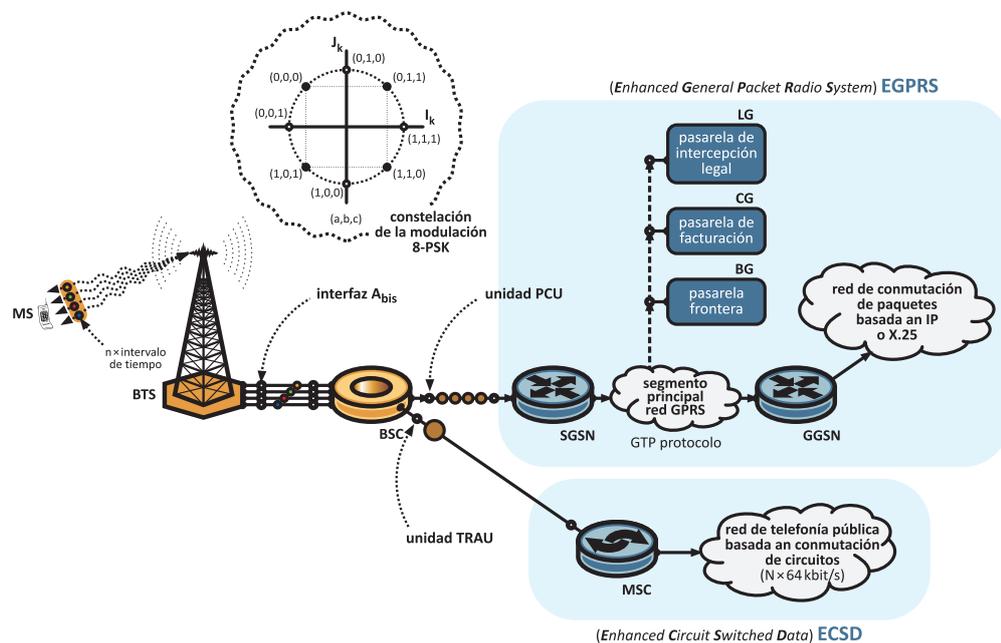
En GPRS, cuando se asocia más de un intervalo de tiempo para un usuario y se selecciona un sistema adecuado de codificación de canal se pueden conseguir mayores tasas de transferencia. En este contexto, se utiliza la siguiente nomenclatura para la transmisión: ranuras de tiempo para el enlace descendente + ranuras para el enlace ascendente: (por ejemplo, 3 +1, 4 +1 o 4 +2). Si se utiliza transmisión asimétrica de datos en el GPRS, entonces la dirección al abonado (enlace descendente) siempre tiene una mayor tasa de transferencia. Las velocidades de transmisión disponibles dependen en gran medida de la localización específica y de la carga del BS.

-

En la red GSM con GPRS se puede observar un aumento del retraso. Dicho retardo está causado por paquetes de datos que pasan a través de redes orientadas a paquetes. El retardo depende mucho de la longitud de los paquetes. Para paquetes cortos (hasta 100 bytes), el retardo de transmisión puede variar desde 0,5 hasta 1 segundo en función de la carga de la red. Además, los paquetes con longitud de 1 KB se pueden retrasar incluso unos pocos segundos.

3.10 Transmisión de datos EDGE en redes GSM

EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) es una técnica de transmisión de datos en redes móviles 2.75G, que aumenta la capacidad de la red y las tasas de transferencia disponibles en el contexto de las técnicas de HSCSD y GPRS. Ya no se podía incrementar más la tasa de transmisión de datos utilizando mejoras en la codificación o disponiendo de más intervalos de tiempo. El único método posible para aumentar aún más el rendimiento era mediante la utilización de una técnica de modulación más eficiente. Así, en lugar de la modulación original **GMSK** (*Gaussian Minimum Shift Keying*), EDGE utiliza la modulación en fase **8-PSK** (*Phase Shift Keying*).



Transmisión de datos en EDGE



La velocidad de símbolos en un canal con ancho de banda de 200 kHz es la misma que antes, es decir, 270833 símbolos/s. No obstante, la utilización de esquemas de modulación de ocho niveles permiten que la tasa de bits sea tres veces más rápida que en la modulación binaria original. La máxima tasa de transferencia alcanzable teóricamente es de 473.6 Kbps (59.2 Kbps por intervalo de tiempo). Sin embargo, esto es sólo ocurre si se emplean los 8 slots temporales y las condiciones de propagación de señal son propicias.

El despliegue de esta tecnología requiere la implementación de un nuevo tipo de transceptor en la red. Este cambio se debe aplicar en cada celda donde se despliega esta tecnología. Además se requiere un ajuste para actualizar el software. La combinación de la tecnología EDGE, junto con tecnologías GPRS y HSCSD es muy conveniente, especialmente para conseguir una mejora significativa de las transferencias de datos. EDGE se considera generalmente

como el último paso en la mejora del sistema original GSM antes de la introducción de la tercera generación conocida como UMTS.

4 Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)

4.1 Introducción

La segunda generación de sistemas de telecomunicaciones, tales como GSM, permite transmisión de tráfico de voz sobre entorno inalámbrico. Sin embargo, las redes 2G son incapaces de satisfacer todos los requisitos (cada vez mayores) de transmisión de datos, derivados por el rápido desarrollo de aplicaciones móviles que precisan transmisiones de datos de alta velocidad (video on demand, descarga de imágenes de alta calidad, etc.). Para cumplir estos requisitos se desarrolló la siguiente generación de redes móviles, conocida como 3G o tercera generación.

Con el fin de trabajar hacia un estándar global 3G móvil, en 1998 se fundó 3GPP (Third Generation Partnership Project). 3GPP está integrado por miembros de los organismos de normalización de todo el mundo, Europa (ETSI), EE.UU. (ANSI) o Japón (ARIB). 3GPP ha estado trabajando en un estándar de 3G de radio común, conocido generalmente como UMTS. Sin embargo, el término 3G no se aplica a una determinada tecnología o estándar, sino que abarca muchas especificaciones técnicas que han sido aprobados para mejorar gradualmente el UMTS inicial con el fin de satisfacer las demandas crecientes.

En los próximos capítulos se describe con más detalle la asignación de frecuencias, los principios básicos de transmisión y el método de acceso múltiple adoptado en UMTS denominado **WCDMA** (*Wideband Code Division Multiple Access*). Además, se comenta la evolución de la tecnología 3G tratando especialmente la velocidad de entrega de datos. Además, se describen los servicios y aplicaciones que se utilizan en redes 3G junto con las clasificaciones de calidad de servicio, **QoS** (*Quality of Service*).

4.2 Asignación de frecuencias UMTS

Las bandas de frecuencia de funcionamiento de sistema UMTS están dispuestas alrededor de 2 GHz, lo cual garantiza características razonables de transmisión, baja atenuación de señal y fácil penetración de la señal en edificios (indoor). Las bandas de frecuencia asignadas dependen de si UMTS opera usando duplexación por división de tiempo (*Time Division Duplex*, **TDD**) o en duplexación por división de frecuencia (*Frequency Division Duplex*, **FDD**).

UMTS puede operar con un espectro mínimo de 2 x 5 MHz para la banda de frecuencia asignada a un par UMTS FDD y una banda de frecuencias de 5 MHz en UMTS TDD. Las bandas de frecuencia asignadas son algo diferentes para Europa y EE.UU. En Europa, se asignaron las bandas de frecuencia UMTS TDD en la banda de 1900-1920 MHz para el enlace ascendente y en la banda de 2010-2025 MHz para el enlace descendente. En UMTS FDD se asignan bandas de frecuencias en el rango de 1920-1980 MHz para el enlace ascendente y en el rango de 2110-2170 MHz para el enlace descendente.



La razón por la que las bandas de frecuencia de enlace ascendente son menores que las del enlace descendente es por las limitaciones de potencia y batería y de los terminales móviles. Las bandas de frecuencias más bajas atenúan menos la señal. La cobertura en el enlace ascendente se puede garantizar fácilmente si la potencia de transmisión de los terminales móviles tiene un valor razonable. Se debe tener en cuenta que la potencia de transmisión máxima de una estación base es normalmente 43-46 dBm, mientras que la potencia de transmisión de un terminal móvil es de hasta 23 dBm.

4.3 WCDMA

El acceso TDMA y FDMA utilizado en las redes 2G no es suficiente para los requisitos de las redes 3G. Por eso, UMTS adoptó un método de acceso más sofisticado basado en CDMA, llamado WCDMA. En WCDMA, los bits de información del usuario se expanden sobre un ancho de banda mucho mayor que en el caso convencional CDMA. De esta manera puede aumentar considerablemente la capacidad y la velocidad de transmisión. Igual que ocurre en CDMA, los datos de usuario se multiplican con bits pseudoaleatorios, llamados chips, obtenidos a partir de los códigos de extensión de CDMA. UMTS utiliza la velocidad de chip de 3,84 **Mcps** (*Mega chip por segundo*) y ancho de banda de 5 MHz. La otra característica diferencial de sistemas basados en WCDMA es el factor de reuso de frecuencias 1. Es decir, la frecuencia utilizada en todas las celdas es la misma (al contrario que en GSM, en donde cada celda utiliza frecuencias individuales para minimizar la interferencia). Así, los recursos de radio se utilizan mejor.

La utilización de WCDMA conlleva varias características importantes en el estándar UMTS:

- El receptor rastrillo (*Rake*) – La propagación en redes móviles por canales radio se caracteriza por múltiples reflexiones, difracciones y atenuación de energía de la señal causada por obstáculos tales como edificios, colinas, vegetación, etc. Esto da lugar a la propagación multicamino y a la fuerte atenuación de la señal en ciertas frecuencias. El sistema WCDMA combate estos efectos negativos usando un receptor rake, capaz de recibir y combinar eficazmente las componentes de las señales individuales
- Control de potencia - Uno de los aspectos más importantes con respecto a WCDMA es un control rápido de potencia en particular en el enlace ascendente. De lo contrario, un solo usuario que transmitiese con mucha potencia podría bloquear una celda entera. Por ello, en los sistemas basados en WCDMA, la potencia recibida por todos los usuarios debe ser la misma en la estación base. En el caso de HSPA esto sólo es cierto en parte, como se explica más adelante.
- Transferencia suave (soft handover) –Dado que las celdas adyacentes utilizan la misma frecuencia, los usuarios pueden estar conectados simultáneamente a dos estaciones base (utilizando dos códigos diferentes). Como consecuencia, el traspaso entre dos celdas se puede realizar sin ninguna interrupción, lo cual se conoce como transferencia suave.

4.4 Estandarización y evolución UMTS

La evolución de las redes 3G se había iniciado en 1999 mediante la emisión de la primera versión UMTS conocida como Release 99. Desde entonces, se aprobaron diversas publicaciones (llamadas releases), como se indica a continuación.

Release 99

Esta versión se basa en la red GSM, siendo así UMTS compatible con GSM. En comparación con las redes 2G, Release 99 aporta un nuevo tipo de red de acceso de radio, conocida como **UTRAN** (*UMTS Universal Radio Access Networks*). Las velocidades teóricas de transmisión de datos en esta versión son de 2 Mbps para el enlace descendente y 384 Kbps para el de subida

Release 4

Esta publicación fue aprobada en 2001 e introduce varios cambios importantes en la red del núcleo (core) y GERAN. Las principales características son la separación de portadora de transporte y las portadoras de control en el **CS** (*Core Switched*) de red, la introducción de nuevas interfaces en la red CS, lo que permite tasas de chip bajas y sobre todo, la introducción de **IMS** (*IP Multimedia Subsystem*)

Release 5

La principal mejora de la Versión 5 respecto a las versiones anteriores se basa en la introducción de la tecnología **HSDPA** (*High Speed Downlink Packet Access*). HSDPA aumenta la tasa de bits en el enlace descendente hasta aproximadamente 14 Mbps.

Release 6

De manera similar a publicaciones anteriores, la Versión 6 supone una mejora significativa en la transmisión de datos a partir de la especificación **HSUPA** (*High Speed Uplink Packet Access*). HSUPA permite velocidades de bits en el enlace ascendente de hasta 5,76 Mbps. Además, se lograron mejoras en el subsistema IMS.

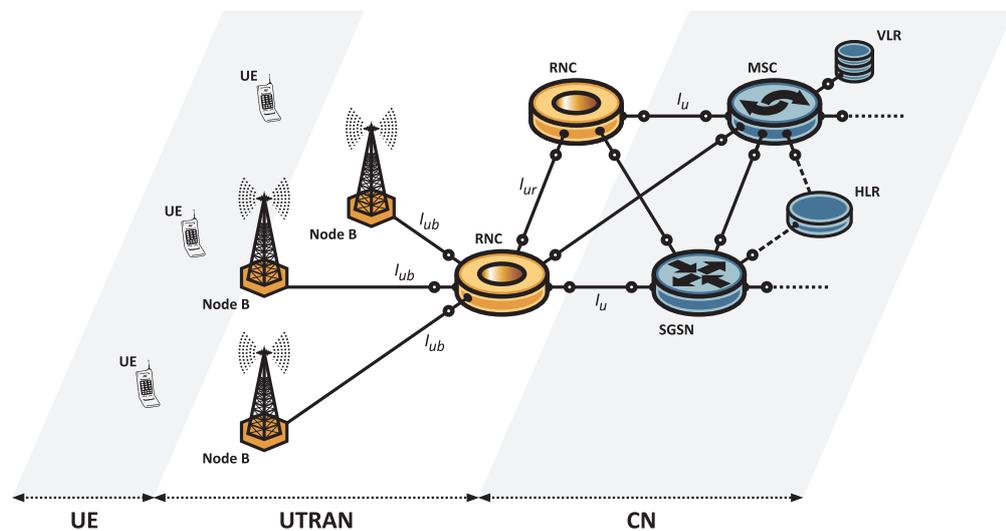
Release 7

En esta versión se introduce HSPA +, también llamada como “Evolved High Speed Packet Access”. Se aumenta aún más las tasas de bits alcanzables tanto en el enlace ascendente como en el descendente. La mejora se consigue mediante la introducción de una modulación más eficaz (64 QAM) y la técnica **MIMO** (*Multiple Input Multiple Output*) en la que tanto el emisor como el receptor pueden emplear más antenas. En consecuencia, las tasas máximas teóricas son de

hasta 42 Mbit/s en el enlace descendente y de hasta 11,5 Mbit/s en el enlace ascendente

4.5 Arquitectura de red

La arquitectura de la red UMTS está compuesta de tres partes principales, tal como se sugiere en la Figura 16. Debe tenerse en cuenta que los principales bloques de la arquitectura de la red siguen siendo los mismos en nuevas versiones de UMTS; únicamente se mejoran sus funciones. La arquitectura de la red UMTS está dividida a nivel lógico en tres partes; UE (equipo de usuario), la UTRAN, y la CN (red del núcleo). Dichos bloques están separados por interfaces definidas por los organismos de normalización, en este caso, 3GPP. El propósito principal de las interfaces es permitir la comunicación directa entre las distintas entidades y facilitar su cooperación y coordinación.



Estructura de la red UMTS

La primera parte que consideramos en la arquitectura de red UMTS es el UE (equipo de usuario), y consta de dos bloques:

- *Terminal móvil (MT, Mobile Terminal)* - dispositivo físico que gestiona todas las comunicaciones en la interfaz Uu, es decir, se trata del teléfono móvil, ordenador portátil o PDA. El MT es el dispositivo equivalente al terminal móvil (MS) definido en las redes 2G.
- *Módulo de identidad del suscriptor UMTS (USIM, UMTS Subscriber Identity Module)* – La tarjeta incluye datos específicos del usuario, como su identificación, el algoritmo de autenticación, y otra información del suscriptor. La tarjeta USIM es equivalente a la tarjeta SIM utilizada anteriormente en redes 2G.

La segunda parte de la arquitectura de la red UMTS está representada por la red UTRAN. Esta parte es la que más modificaciones presenta en comparación con las redes 2G. UTRAN consta de dos elementos de la red:

- La estación base (Nodo B) – Su función es similar a la BTS en las redes 2G. Para ello, el nodo B se compone del mástil, antena, y el hardware y software necesario. El propósito principal de Nodo B es permitir que los UEs se conecten a la red 3G. Los UE se conectan a Nodo B mediante canales de radio (a través de la interfaz Uu). Por lo tanto, el nodo B controla el enlace radio ascendente y descendente y garantiza las funciones del canal radio.
- Controlador de Red Radio (RNC, Radio Network Controller) – La entidad RNC es análoga al nodo BSC utilizado en 2G. Así pues, RNC es responsable del control de varios nodos B conectados. RNC y el anterior BSC tienen varias funciones similares, como la responsabilidad de la gestión de recursos de radio (asignación de recursos de radio para los nodos B, control de admisión, control de congestión, etc.) Sin embargo, RNC tiene mayor responsabilidad que el BSC en lo que respecta a la gestión de la movilidad de los usuarios individuales. En las redes 2G, el MSC y el SGSN juegan un papel más importante en relación con problemas de movilidad, tareas que no desarrollaba el BSC y que ahora sí que son responsabilidad de RNC.



Un aspecto interesante sobre el nodo B es el nombre elegido. Uno puede preguntarse ¿por qué exactamente nodo B? En las redes 2G (GSM), la estación base se denomina lógicamente BTS, que es el acrónimo de Base Transceiver Station. Cuando se diseñó inicialmente la red 3G, las entidades individuales de la red se denominaron nodos, es decir, el terminal móvil se conocía antes como nodo A, la estación base como nodo B, etc., con el fin de diferenciar los nombres de las redes 2G. Todas las entidades fueron renombradas posteriormente usando un nombre más adecuado, pero el nombre de la estación base se mantuvo como nodo B ya que no se encontró otro nombre distinto de estación base (el mismo empleado en redes 2G)...

La última parte de la red UMTS está compuesta de la CN. La CN se divide a nivel lógico en los dominios de conmutación de circuitos (CS, Circuit Switched) y conmutación de paquetes (PS, Packet Switched). La estructura de CN es casi la misma que en el caso de las redes 2G, de forma que sólo se enumeran aquí las diferencias principales respecto a 2G (en la sección 4 se puede encontrar una descripción detallada de los elementos de red individuales en una CN):

- Como ya se ha mencionado, parte de la gestión de la movilidad en UMTS se ha trasladado de la CN a la UTRAN.
- Los aspectos de seguridad se han mejorado en UMTS, por ejemplo se adaptaron nuevos algoritmos criptográficos más robustos. La ejecución de las funciones de cifrado se realizan en RNC en vez de en CN...
- Las funciones de tratamiento de voz se hacen en CN en lugar de BSS como ocurría en 2G...

IP Subsistema Multimedia

Una parte importante de CN en UMTS es IMS (IP Multimedia Subsystem). IMS es fundamental para que los desarrollos 3G sean flexibles y rápidos, y para el

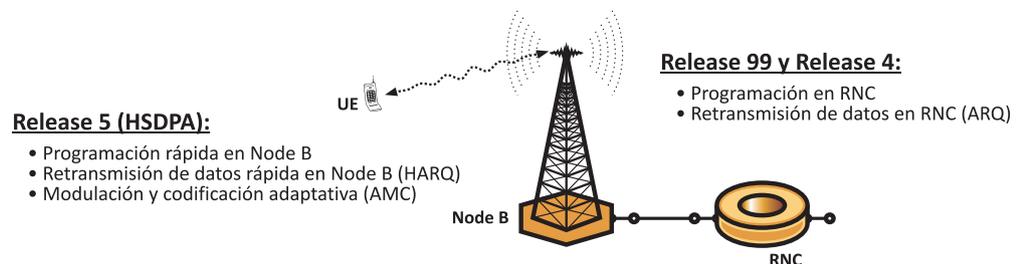
despliegue de nuevos servicios 3G. Para ser más específicos, IMS proporciona un marco estándar para el despliegue de la siguiente generación de aplicaciones basadas en IP utilizando gran variedad de medios integrados, vídeo, texto y datos.

IMS se introdujo por primera vez en la Release UMTS 4, donde su arquitectura se separó de la red de acceso para proporcionar un control de servicios independiente. En la Release 6 extiende IMS hacia una infraestructura de red independiente del acceso. Como consecuencia de ello, el IMS se puede integrar también con otras redes de acceso basadas en tecnologías GPRS o EDGE, por ejemplo.

Los estándares IMS adoptaron el protocolo SIP (Session Initiation Protocol). SIP establece una conexión IP entre los equipos de usuario (por ejemplo, para sesiones de voz o vídeo) o conectividad IP entre la UE y servidores de aplicaciones.

4.6 HSDPA

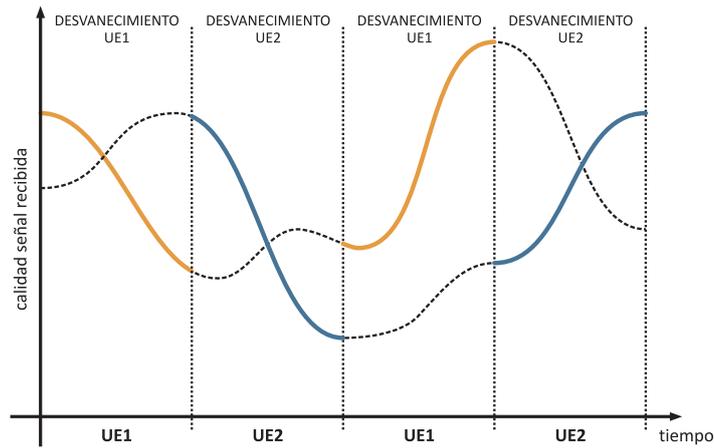
HSDPA se introdujo en la Release 5 UMTS. Se basa en la adopción de nuevas técnicas para mejorar significativamente la tasa de bits de datos en dirección de enlace descendente (la velocidad de datos en el enlace ascendente sigue siendo la misma). Como resultado de ello, el valor máximo teórico de la tasa de bits por celda se incrementa desde 2 Mbps hasta 14,4 Mbps. Los cambios en las redes se hacen sobre todo en UTRAN y la idea clave es mover varios radios procedimientos de gestión de recursos radio a Nodo B en lugar de RNC como en versiones anteriores de UMTS (es decir, Release 99 y Release 4). La ventaja de este cambio es que el Nodo B está mucho "más cerca" de la UE. Por lo tanto, puede ser mucho más eficaz para reaccionar teniendo en cuenta la calidad variable del canal radio. La Figura 17 muestra los procedimientos que se han movido al Nodo B.



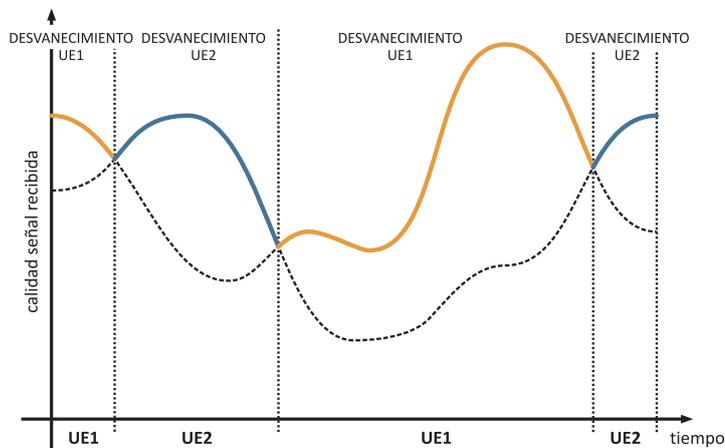
Mejoras de HSPDA en el nodo B– Comparación con Release 99 y Release 4

Programación rápida de datos

Un aspecto importante en relación con HSDPA es que la mayoría de los recursos se comparten entre los distintos usuarios activos. Debe tenerse en cuenta que el resto de los recursos radio están dedicados para los usuarios activos, ya sea con comunicaciones de voz o transmisión de datos (se describe con más detalle en el capítulo 19). El propósito de la programación de datos es asignar los recursos radio del Nodo B correspondiente a sus usuarios. El periodo de asignación, también se denomina como intervalo de tiempo de transmisión (*Time Transmission Interval, TTI*), se establece en 2 ms, mucho menor que en Release 99 o Release 4 donde el mínimo TTI es de 10 ms. Esta es la razón principal por la que se denomina programación "rápida" de datos. El intervalo de programación se puede reducir ya que el Nodo B se comunica directamente con el UE asociado y recibe información actualizada en cuanto a requisitos y calidad de canal. El Nodo B puede adoptar varias estrategias para la asignación eficaz de los recursos radio en el enlace descendente, tal como se ilustra en la Figura 18T



PLANIFICADOR RR



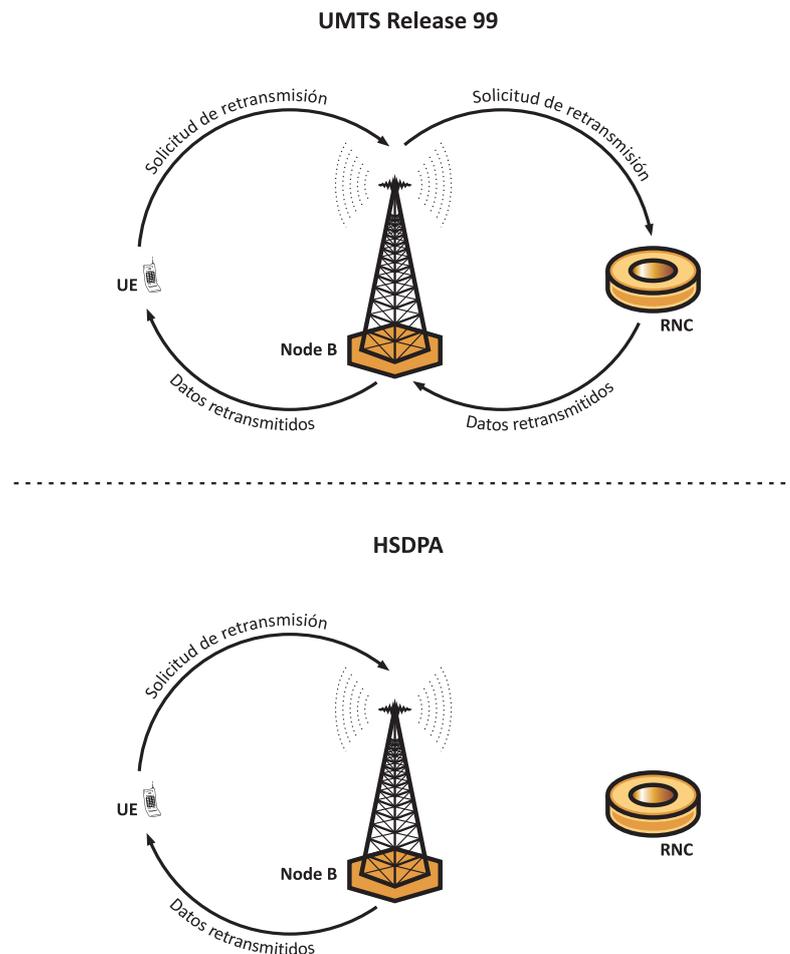
PLANIFICADOR MAX C/I

Métodos de programación en HSDPA

El algoritmo más simple y popular de programación es el denominado *Round Robin (RR)*; los usuarios de HSDPA son programados con la misma probabilidad independientemente de las condiciones del canal de radio. La principal desventaja de este enfoque es que no se utilizan eficientemente los recursos radio (usuarios con malas condiciones de canal no pueden transmitir a altas velocidades). El segundo método de programación, llamado máximo relación entre portadora e interferencia (*Maximum Carrier-to-Interference ratio, Max-C/I*), asigna todos los recursos radio a los usuarios con mejor calidad del canal y por lo tanto maximiza el flujo HSDPA por celda. Sin embargo, este enfoque tampoco es adecuado, ya que los usuarios cercanos al NodoB son mejor tratados que los usuarios con mala calidad de canal. El método proporción justa (*Proportional Fair PF*), representa un compromiso razonable entre los dos mecanismos de programación mencionados anteriormente. En este caso, la probabilidad de que el UE pueda recibir datos depende tanto de la calidad del canal como de la cantidad de datos recibidos en el pasado. Por ejemplo, si el UE ha estado inactivo durante un largo tiempo, su prioridad es cada vez mayor.

Retransmisiones de datos rápidas

Si el UE no es capaz de decodificar paquetes de datos recibidos correctamente, solicita inmediatamente su retransmisión desde el Nodo B. En las versiones anteriores de UMTS, la petición de retransmisión se enviaba al RNC, que era responsable de esta operación. En HSDPA, el procedimiento de retransmisión es gestionado exclusivamente por el Nodo B (por eso nos referimos a un procedimiento de retransmisiones de datos "rápidas"). La siguiente figura muestra el principio básico.

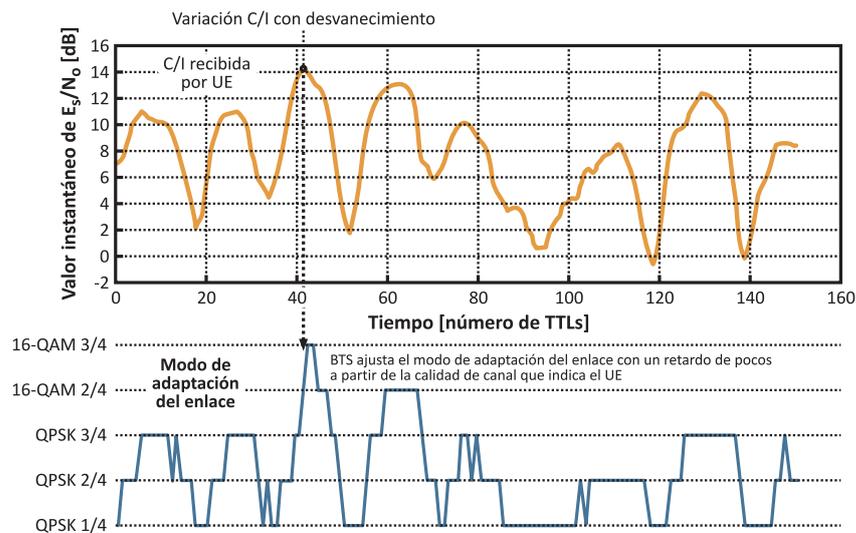


Procedimiento de retransmisión de datos rápida en HSDPA

La novedad adicional en HSDPA es el mecanismo de retransmisión. Mientras que en el estándar UMTS original, se asumía una simple solicitud de repetición automática (**ARQ**, *Automatic Repeat reQuest*), HSDPA introduce una versión modificada, conocida como *Hybrid ARQ* (**HARQ**). HARQ es capaz de almacenar temporalmente los datos corruptos en un búfer que además pueden ser combinados con paquetes de datos recibidos recientemente para aumentar la probabilidad de descodificación correcta. De esta manera, se minimiza la cantidad de retransmisiones, pudiendo hacer un uso más eficiente de los recursos radio.

Adaptación rápida del enlace

Por adaptación del enlace denominamos al ajuste continuo de los parámetros del enlace de transmisión en función de la calidad actual del canal radio. La adaptación rápida del enlace se consigue hacienda que esta funcionalidad sea responsabilidad del nodoB. En Release 99 y Release 4 UMTS, la adaptación de enlace se consigue principalmente mediante un rápido control de potencia. Por otra parte, HSDPA introduce un nuevo procedimiento conocido como modulación y codificación adaptativa (*Adaptive Modulation and Coding, AMC*) que permite seleccionar dinámicamente la modulación y el esquema de codificación (*Modulation and Coding Scheme, MCS*) utilizado en el enlace descendente de la transmisión. En consecuencia, si la calidad del canal es pobre, se utiliza un esquema MCS más robusto que disminuye la velocidad de transmisión de datos pero garantiza una baja tasa de error de paquete (*Packet Error Rate, PER*). Cuando las características del canal radio mejoran suficientemente, es decir, aumenta la relación (C/I), el nodo B selecciona MCS más eficientes con el fin de mejorar la tasa de transmisión de datos (véase la Figura 20). Tenga en cuenta que otra diferencia importante en comparación con las versiones anteriores de UMTS es que HSDPA además de QPSK también soporta esquema de modulación 16 QAM.



Adaptación rápida del enlace en HSDPA

Evolución de HSDPA

Las mejoras adicionales que permiten una mayor tasa de transmisión de datos en el enlace descendente se introducen en la Release 7, donde se da soporte por primera vez a la configuración MIMO 2x2 (una explicación más detallada del fundamento de MIMO se podrá encontrar en la Sección **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). De esta manera, la anterior tasa teórica de transmisión de enlace descendente por celda se puede doblar desde 14 Mbps hasta 28 Mbps. Además, a partir de la Release7, las tasas de bits del enlace descendente también se

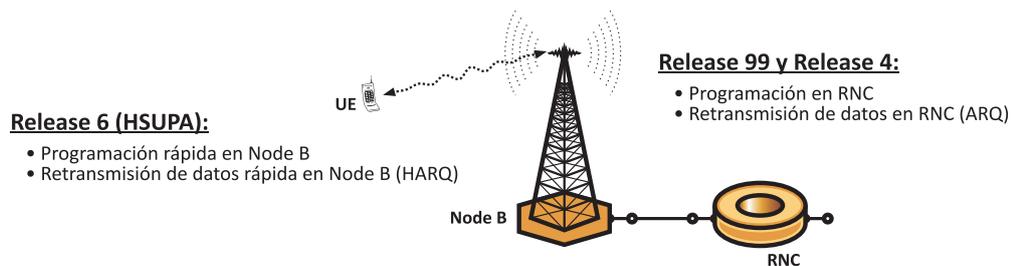
incrementan hasta 42 Mbps gracias a la introducción de la modulación 64 QAM. Por otra parte, el rendimiento del enlace descendente se puede mejorar mediante el método de DC. El principio de DC es agregar más portadoras (en la mayoría de los casos, dos portadoras resultando un ancho de banda igual de 10 MHz). Como resultado, la tasa teórica de bits en el enlace descendente es de 84 Mbps a partir de la Release 8.



Las velocidades de bits de datos mencionados anteriormente son sólo teóricas y los usuarios solo consiguen una pequeña fracción. Esto se debe a varias razones. El primer aspecto importante necesario para tener en cuenta es que las tasas máximas teóricas de datos no se pueden lograr en un sistema real. La capacidad disponible por una celda depende en gran medida de aspectos, tales como la calidad del canal radio (utilizado MCS), la potencia máxima de transmisión permitida o de la sobrecarga por la señalización necesaria para la gestión de los procedimientos de control. Además, la capacidad real por una celda se divide entre los UEs activos. Otra restricción adicional es la capacidad del UE. Los UE no necesariamente pueden operar con todas las velocidades disponibles. Como resultado, las redes actuales son capaces de soportar sólo las tasas binarias de varios Mbps por usuario.

4.7 HSUPA

El HSUPA fue introducido en la Release 6 de UMTS y permite aumentar la velocidad binaria máxima del enlace ascendente hasta 5,76 Mbps por celda. Si bien HSDPA implica modificaciones de software sólo para el nodo B y para el RNC, HSUPA requiere también modificar el UE. Esto es lógico ya que la finalidad de HSUPA es aumentar la capacidad en el enlace ascendente y por lo tanto también se deben aplicar algunos cambios en el UE. El principio de HSUPA es similar a HSDPA ya que el Nodo B pasa a ser la entidad que realiza las funciones de programación rápida y de retransmisiones rápidas de datos (esta vez en el enlace ascendente) tal como se indica en la Figura 21. Si bien el principio de retransmisiones rápidas de datos es muy similar a HSDPA con la aplicación de HARQ, el enfoque de programación rápida es bastante diferente (como se explica posteriormente). Además, en HSUPA no hay una adaptación rápida del enlace a las condiciones de cambio de canal como en el caso de HSDPA. Sin embargo, la variación de las condiciones del canal se controla mediante el control rápido de potencia.



Mejoras de HSUPA en Nodo B – Comparación con Release 99 y Release 4

Programación rápida de datos

La diferencia más notable en la programación rápida de datos entre HSDPA y HSUPA es que en el enlace descendente (HSDPA) los recursos radio son compartidos entre los usuarios individuales, mientras que en el enlace ascendente (HSUPA), todos los usuarios activos han ocupado cierta cantidad de recursos simultáneamente. Dependiendo de las capacidades del UE, la programación se realiza ya sea cada 10 ms (obligatorio) o 2 ms (opcional).

El principio de programación rápida de datos en HSUPA es como sigue. Siempre que el UE tiene datos a transmitir, en primer lugar debe enviar la solicitud de asignación de recursos radio en el enlace ascendente. Después de eso, el Nodo B asigna recursos de radio al UE. La programación de datos en HSUPA se realiza por medio de una mejor gestión de la potencia de transmisión del UE.



Dado que UMTS adopta WCDMA, el sistema está limitado principalmente por la máxima potencia de transmisión y consecuentemente por la interferencia. Para ello, cuando se habla de recursos radio es más relevante la potencia de transmisión que podría ser utilizada por los UEs individuales que el ancho de banda. El RNC

define la máxima potencia permitida que puede recibir el nodo B. Por consiguiente, la asignación de recursos radio mediante la programación rápida de datos se realiza de forma que el UE cambia su potencia de transmisión en función de los requisitos del momento. En caso de necesidad de transmitir a altas velocidades, el UE debe aumentar su potencia de transmisión. Esto, por otra parte, puede implicar que otros UE deban disminuir su potencia de transmisión, ya que la suma de las potencias de transmisión de todos los UE debe mantenerse siempre por debajo de un umbral predefinido. De manera similar, si el UE debe enviar una menor cantidad de datos, puede disminuir su potencia para ahorrar recursos radio en el enlace ascendente.

Evolución of HSUPA

Del mismo modo que en el caso de HSDPA, el rendimiento en HSUPA puede mejorarse aún más mediante técnicas similares a las previstas para HSDPA. La mejora más notable se consigue mediante la utilización de la técnica MIMO, que permite duplicar los índices máximos teóricos de velocidad de transmisión hasta aproximadamente 11.5 Mbps.



La combinación de HSDPA junto con la técnica HSUPA se conoce como HSPA y simplemente se refiere a la alta velocidad de acceso a datos en ambas direcciones de transmisión. Además, a partir de la Release 7 el conjunto HSDPA/HSUPA se denomina a menudo HSPA +.

4.8 Servicios y diferenciación en la Calidad de Servicio (QoS)

Las redes móviles 2G (GSM) permitieron servicios de voz y de mensajería de texto (SMS) utilizando conmutación de circuitos de voz gracias a las relativamente costosas capacidades de conmutación de circuitos de datos (CSD, HSCSD). La evolución a los sistemas 2.5 G (GPRS) y 2.75G (EDGE) introdujo servicios de datos, tales como navegación web, WAP o servicio de mensajería multimedia (MMS), utilizando conmutación de paquetes. De esta forma se conseguían tasas de datos realistas aproximadamente de 50 Kbps para GPRS y hasta 200 Kbps para EDGE. Las tasas de datos alcanzables eran insuficientes para servicios multimedia cuyos requisitos eran más exigentes.

Las tecnologías móviles 3G proporcionan una amplia gama de nuevos servicios ya que UMTS soporta aplicaciones multimedia basadas en IP con altas velocidades de datos de hasta varios Mbps dependiendo de la versión actual. A continuación se enumeran diversos servicios que se pueden ofrecer mediante 3G:

- Streaming de vídeo a la carta – las UE pueden recibir contenidos de vídeo, como películas, música, eventos deportivos, etc.
- Juego en tiempo real - Los juegos pueden ser soportados en función de la versión UMTS (es decir, que Release se ha implementado). A partir de la Release 5 y posteriores se satisfacen los requisitos requeridos por aquellos juegos que necesitan altas velocidades de datos y pequeños retardos.
- Descarga de contenidos multimedia – Los usuarios pueden descargar fácilmente canciones en formato mp3, fotos, así como otros contenidos interactivos.
- Servicios de Mensajería - Mientras que en las redes 2G, sólo están disponibles SMS o mensajes MMS simples (texto junto con la imagen), las redes 3G permiten la inclusión de vídeos de corta duración, etc.
- Video telefonía y conferencia - interacción simultánea de varios usuarios móviles que pueden comunicarse en línea mediante telefonía y vídeo.
- Servicios basados en localización – ofreciendo servicios basados como la navegación de los usuarios hasta el destino final, la notificación de punto de interés (restaurantes, centros deportivos, centros comerciales, lugares de interés) o mejora de los servicios de emergencia.
- Pulsar para hablar – Simplemente pulsando un botón en el auricular, el usuario puede comenzar a hablar inmediatamente a otros usuarios como si fuese un walkie-talkie.

En la red UMTS se define la diferenciación en QoS (calidad de servicio) para poder dar soporte a los servicios mencionados anteriormente. De forma simple, si la carga del sistema es alta, se deben priorizar algunos servicios para garantizar el rendimiento de la aplicación de extremo a extremo. Por ello, UMTS introduce

cuatro clases de QoS (véase el cuadro más adelante) que se distinguen principalmente por el máximo retardo de paquetes:

Clase de servicio	Descripción
Clase “conversación”	Elevados requisitos respecto al retardo con tráfico simétrico o casi simétrico, y respecto a la cantidad dedicada de recursos radio
Clase flujo continuo o “streaming”	Menores requisitos de retardo en comparación con la clase de conversación, pero también se requiere una cantidad dedicada de recursos radio
Clase interactiva	Altos requerimientos en cuanto al retardo, pero no se requiere ninguna cantidad específica de recursos radio
Clase de background	Pocos requisitos tanto sobre el retardo como en la cantidad de recursos de radio



La clase de conversación junto con clase de flujo continuo se utiliza para dar soporte a aplicaciones en tiempo real (RT), tales como voz (clase de conversación) o transmisión de vídeo (clase de flujo continuo). Por otro lado, la clase interactiva y la clase de background están diseñadas para ser utilizadas por aplicaciones que no son en tiempo real (NRT) utilizando las políticas de mejor esfuerzo (BE, best effort). En consecuencia, la clase interactiva está pensada para servicios tales como juegos en línea, servicios basados en localización, mientras que la clase de background está por ejemplo, diseñada para el correo electrónico.

5 Long Term Evolution (Advanced) – LTE(-A)

5.1 Introducción

El paso siguiente a UMTS en la evolución de las redes móviles se conoce como Long Term Evolution (LTE). LTE se define en la Release 8 y 9 de 3GPP. A diferencia de UMTS, LTE utiliza acceso OFDMA y SC-FDMA (Single Carrier OFDMA) para los enlaces descendente y ascendente respectivamente en lugar de WCDMA, utilizada en UMTS. Por lo tanto, las características de transmisión son muy diferentes si las comparamos con UMTS. Sin embargo, LTE está considerado como parte de los sistemas 3G, ya que no cumple con los requisitos definidos por la ITU para las redes 4G. El primer estándar clasificado como 4G es **LTE-A** (*Long Term Evolution - Advanced*) estandarizado en junio de 2011 de acuerdo con la Release 10 de 3GPP. Es la evolución del anterior LTE definido en las Release 8 o 9 y basado en los mismos principios que ambas versiones de LTE, pero está alineado con el conjunto de requisitos definidos por la ITU y conocidos como IMT-Advanced. En comparación con LTE, LTE-A introduce agregación de portadora, coordinación de la interferencia entre celdas, o mejoras en la transmisión de múltiples antenas (MIMO). Todas estas mejoras permiten que LTE-A cumpla con los requisitos de IMT-Advanced para redes móviles 4G y permita tasas de datos máximas de hasta 1 Gbps. Además de LTE-A, también **WiMAX** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) estandarizado por el **IEEE** (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers*) según IEEE 802.16m, fue aprobada como tecnología 4G para redes móviles. A continuación se presenta una breve reseña de la evolución de LTE / LTE-A en términos de Releases 3GPP enfatizando las innovaciones importantes con respecto a las versiones anteriores.

Release 8

En este documento se adopta la modulación OFDMA para el acceso múltiple. Además, la celda puede utilizar un canal con mayor ancho de banda principalmente en el enlace descendente. Mediante el uso conjunto de técnicas de DC y 64QAM se puede lograr una capacidad del enlace descendente de hasta 84 Mbps.

Release 9

Esta versión introduce a la arquitectura de redes las femtoceldas, denotados como *Home eNodeB* (**HeNB**). Además, se da soporte a los servicios multicast o broadcast multimedia **MBMS** (*Multimedia Broadcast Multicast Services*) y se introducen mejoras en los servicios basados en la localización, **LBS** (*Location Based Services*).

Release 10

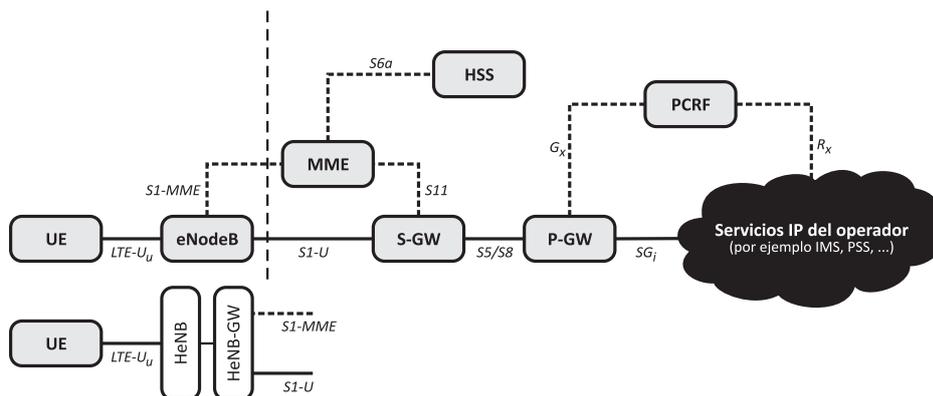
Esta versión es la primera norma 3GPP compatible con 4G. Se introducen nuevas técnicas como la agregación de portadoras, mejoras en enlace descendente MIMO y en el enlace ascendente MIMO. Asimismo se definen técnicas avanzadas para la coordinación de la interferencia que permiten la implementación densa de femtoceldas.

Release 11

Esta versión está todavía en desarrollo. Esta nueva versión incrementará la agregación de portadoras e introducirá la comunicación multipunto cooperativa *Cooperative MultiPoint communication (CoMP)*, aumenta la eficiencia espectral, y mejora la eficiencia energética.

5.2 Arquitectura de red

La arquitectura de la red LTE deriva de las anteriores arquitecturas de GSM y UMTS. A diferencia de las otras redes, LTE está diseñada para soportar sólo conmutación de paquetes. La arquitectura de red en LTE no admite servicios de conmutación de circuitos. La red se compone de red de acceso conocida como **E-UTRAN** (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*) y **EPC** (*Evolved Packet Core*) tal como se muestra en la Figura 22.



Arquitectura de red en LTE

La parte de acceso, E-UTRAN, se compone de estaciones base LTE denominadas eNodeBs (a partir del nombre de nodo B UMTS, con "e": la de "Evolved"). Estos eNodeBs son responsables de la gestión y asignación de recursos radio, control de la movilidad, programación de recursos para los enlaces ascendente y enlace descendente, cifrado de la transmisión de datos en el canal radio y de la conectividad con EPC. Si se despliegan femtoceldas, éstas también constituyen una parte de E-UTRAN. En este caso se puede añadir una pasarela HeNB (HeNB GW) entre HeNB y EPC para dar soporte a un gran número de HeNBs

El EPC consta de varias entidades. El S-GW transfiere todos los paquetes IP de todos los usuarios en una red. Sirve de anclaje de movilidad local para el handover entre eNodeBs. El S-GW encamina y envía paquetes de y hacia los usuarios. Este pasarela monitoriza la carga entre operadores, por ejemplo, en caso de itinerancia. La segunda entidad, el MME, controla y gestiona la señalización entre el UE y EPC incluyendo la autenticación, autorización, control de seguridad, el establecimiento de conexión entre el UE y la red, la itinerancia o roaming, y los procedimientos relacionados con la gestión de la ubicación del usuario. Por último, el P-GW es responsable de las acciones relacionadas con la calidad del servicio y la gestión del flujo. Esto significa que filtra los paquetes de usuarios, aplica QoS para garantizar tasas requeridas de bits o de nivel de servicio tanto en el enlace descendente, como en el enlace ascendente.

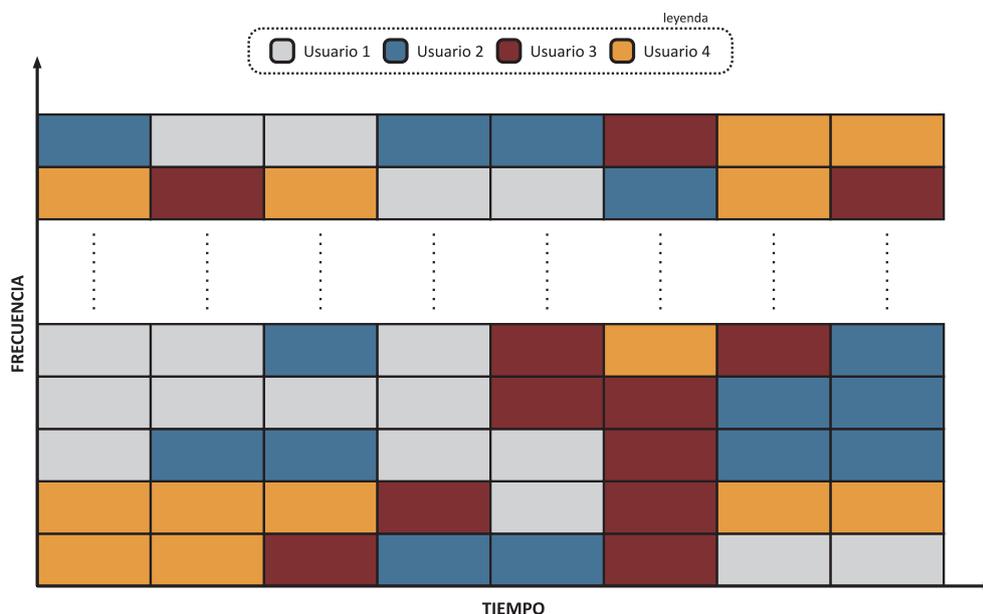
Además de estas tres entidades, existen dos funciones lógicas que también forman parte de EPC en la arquitectura LTE-A

- **PCRF** (*Policy Control and Charging Rules Function*) define las reglas para el cobro y el control de políticas. Es decir, define las acciones y reglas en caso de problemas de incompatibilidad entre la QoS que consta en el perfil del usuario y los servicios que se le ofrecen.
- **HSS** (*Home Subscriber Server*) contiene la información del suscriptor como el QoS o perfil de itinerancia. También guarda la información sobre usuario local en MME (es decir, la MME a la cual el UE está conectado)

5.3 Nivel físico LTE/LTE-A

La capa física en LTE / LTE-A es diferente a la utilizada en UMTS. Se utilizan las técnicas de acceso OFDMA y SC-FDMA en el enlace descendente y ascendente, respectivamente. También se define para LTE un mayor espectro de bandas de frecuencia. En este momento se definen de 4G 25 bandas de frecuencia (17 bandas apareadas para FDD y 8 no apareadas para TDD). Por ejemplo se consideran, las bandas de 2 o 2,6 GHz alrededor de 3,5 GHz y bandas inferiores a 1 GHz (700 - 900 MHz).

El método de acceso múltiple OFDMA se basa en OFDM. OFDM es una transmisión de múltiples portadoras combinando TDMA y FDMA (ver Figura 23). El ancho de banda total se divide en subportadoras espaciadas relativamente densas. Para permitir esta separación densa de subportadoras, se debe garantizar el espectro de las subportadoras ortogonales. Esto significa, que la banda de frecuencias superior de una subportadora se superpone con la banda inferior de otras subportadoras. El TDMA se caracteriza porque múltiples usuarios comparten cada subportadora a partir de las técnicas de división de tiempo. Como resultado, todos los recursos radio disponibles se dividen en tiempo y frecuencia y pueden ser compartidos por varios usuarios. Un intervalo de tiempo en una subportadora representa un símbolo OFDM. Cada símbolo contiene datos modulados y la modulación puede ser diferente para cada símbolo. Para evitar interferencia entre símbolos (**ISI**, *InterSymbol Interference*) se introduce un prefijo cíclico (**CP**, *cyclic prefix*). El CP está compuesto por las últimas muestras del símbolo y su propósito es evitar la superposición de símbolos individuales.

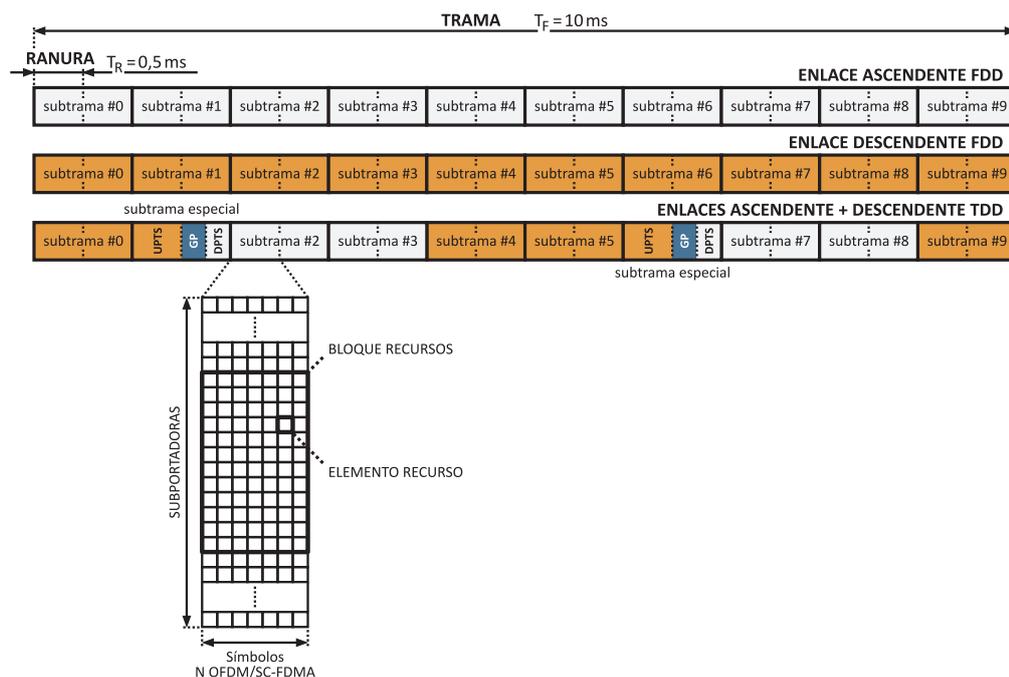


Asignación de recursos para usuarios

OFDMA y asignación de recursos en LTE/LTE-A

Una debilidad de OFDMA consiste en que hay diferencias significativas en la potencia asignada a cada subportadora ya que los datos de usuario se modulan de forma independientemente sobre subportadoras individuales. Esto significa que a una subportadora se le puede asignar un nivel alto de potencia mientras que para otra subportadora puede ser muy bajo. Por consiguiente, los datos en cada subportadora se modulan sin tener en cuenta la información modulada en otras subportadoras. Esto conduce a valores altos en la relación entre la potencia máxima y la potencia media (**PAPR**, *Peak to Average Power Ratio*), lo que influye negativamente en el consumo de energía. En el enlace ascendente se utiliza SC-FDMA en lugar de OFDMA para reducir la PARP. En SC-FDMA, todos los datos transmitidos en el mismo intervalo de tiempo son modulados como una combinación lineal de estos símbolos de datos. Por lo tanto, un símbolo en una subportadoras contiene componentes relacionados con la información mapeadas en otras subportadoras. De esta manera, se reduce el PAPR y, en consecuencia, se minimiza la interferencia y el consumo de batería del UE.

Como UMTS, LTE soporta FDD y TDD para la transmisión de datos. Se definen dos tipos de tramas de capa física (denominados como Tipo 1 y Tipo 2), tal como se muestra en la Figura 24. El tipo 1 es aplicable a la transmisión FDD, bien en dúplex completo o en semidúplex mientras que el Tipo 2 se destina para TDD. En ambos casos, la transmisión se organiza en tramas con una duración de 10 ms. Cada trama se divide en diez subtramas. En ambos tipos de tramas, cada subtrama consta de dos ranuras temporales de igual duración, de 0,5 ms. Las subportadoras en sistemas LTE (-A) son equiespaciadas con distancia de 15 kHz. Al igual que en HSDPA, LTE / LTE-A utiliza modulación adaptativa y codificación. La modulación y la tasa de codificación se seleccionan de acuerdo con el nivel de calidad de la señal. En LTE / LTE-A se utilizan tres modulaciones posibles: QPSK, 16-QAM, 64-QAM.



Estructuras de trama LTE-A TDD y FDD

En la trama FDD, se consideran las diferentes frecuencias para cada dirección. Por lo tanto, se pueden utilizar diez subtramas para la transmisión simultánea en el enlace descendente (DL) y en el enlace ascendente (UL). Este enfoque conduce a la distribución equitativa de recursos radio en ambos sentidos si se utiliza el mismo el ancho de banda.

En la trama TDD, las dos direcciones de transmisión ocupan la misma frecuencia. LTE-A define varias configuraciones diferentes para la asignación de la subtrama a cualquiera DL o UL de forma que es posible que haya diversas proporciones entre los recursos asignados a DL y UL pudiendo variar desde 2:3 hasta 9:1. Generalmente, cada subtrama puede ser dedicada a la transmisión DL (en la Tabla se denota como subtrama D), a la transmisión UL (denotado como subtrama U), o a la combinación de ambas. En este último caso, la subestructura se llama como un subtrama especial (S). Las subtramas primera y sexta se asignan siempre a la dirección DL sin tener en cuenta la configuración seleccionada. Por otra parte, la segunda subtrama siempre está dedicada a la subtrama S y la tercera está asignada a transmisión de UL. A partir de la duración del período de conmutación entre DL y UL, la séptima subtrama se puede asociar tanto a D (período de conmutación de 10 ms) o subtrama S (período de conmutación de 5ms). El contenido de las otras subtramas depende de configuración DL-UL, tal como se define en la tabla.

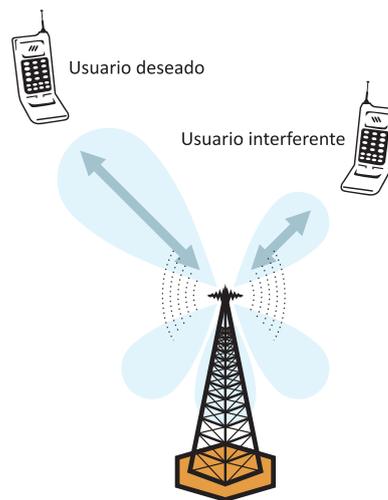
Asignación de subtramas de acuerdo a la configuración DL-UL para TDD

Configuración DL-UL	Periodo de conmutación DL-UL [ms]	Subtrama #									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

La subtrama S consta de tres partes: la parte de transmisión DL, conocida como ranura temporal del piloto del enlace descendente (Downlink Pilot Time Slot, DwPTS), el intervalo de guardia (Guard Period, GP) y la parte de transmisión UL denominada ranura temporal del piloto del enlace ascendente (Uplink Pilot Time Slot, UpPTS). La parte DwPTS generalmente está ocupada por los datos DL como en la subtrama convencional D, pero con longitud reducida. Su longitud varía entre tres y doce símbolos según configuración de la subtrama S. Los UpPTS pueden consumir uno o dos símbolos SC-FDMA y se utiliza únicamente para la transmisión de canales de control (es decir, nunca para transmisión de datos de usuario). El GP está ubicado justo detrás de los DwPTS y se utiliza para la conmutación de antenas de modo de transmisión a modo de recepción, y viceversa. No se pueden transmitir datos de usuario durante el GP.

5.4 Formación del haz

Si sólo hay una única antena, la transmisión de un usuario introduce interferencia en los otros usuarios en la misma célula. Si se utilizan múltiples antenas, se puede gestionar la transmisión de forma que se reduzca la interferencia a partir de lo que se denomina formación de haz. En el caso de la formación de haz, se controla la dirección de la transmisión y se adapta para enfocar la potencia de transmisión sólo hacia el usuario deseado y minimizar la interferencia a otros usuarios. Es decir, la potencia de transmisión está dirigida sólo a la dirección del receptor y se reduce al mínimo la potencia en otras direcciones. La formación de haces se lleva a cabo mediante la multiplicación de la señal transmitida por distintos coeficientes para ajustar la magnitud y la fase de las señales de antena individuales. Para garantizar la transmisión en una dirección apropiada, el transmisor debe ser consciente de la ubicación del terminal receptor. Los coeficientes se calculan a partir del conocimiento de la dirección, o bien se seleccionan a partir de datos predefinidos por el estándar. La dirección se puede conocer a partir de los informes de calidad de canal de los usuarios obtenidos por eNodoB. Sin embargo, la determinación de la dirección no se define para LTE.



Principio de formación del haz

5.5 Transmisión con múltiple antenas

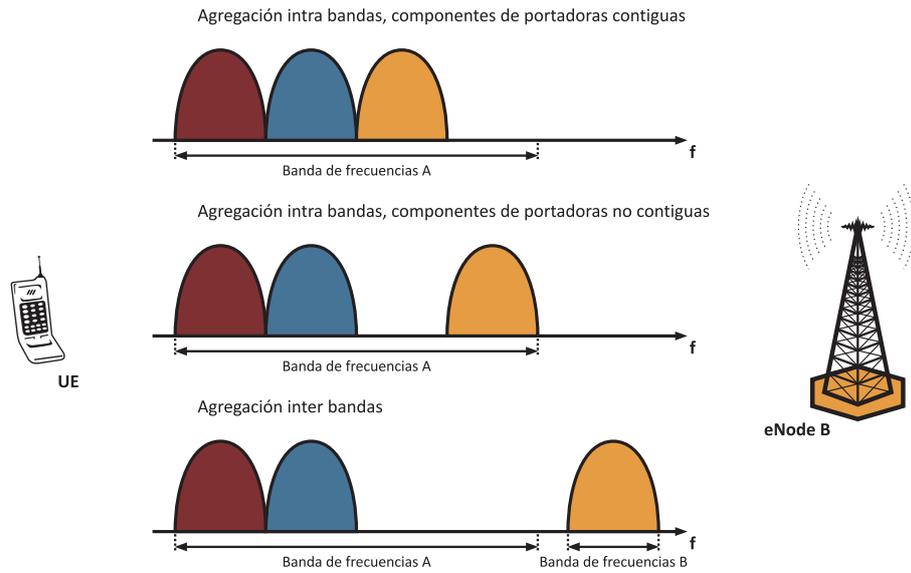
La transmisión con múltiples antenas representa la técnica que utiliza más de una antena para la transmisión y/o recepción. Este enfoque permite alcanzar mayores tasas de bits, debido a la creación de varios canales paralelos. El uso de múltiples antenas también puede conseguir una ganancia de diversidad contra los efectos del desvanecimiento si las antenas están desplegadas relativamente lejos una de la otra ya que en este caso las características del canal no están correlacionadas. Múltiple antenas se puede implementar en un solo lado (receptor o transceptor) o en ambos lados. El primer caso se denota como SIMO (Single Input/Multiple Output) o MISO (Multiple Input / Single Output) para múltiples antenas de recepción o múltiples antenas de transmisión, respectivamente. La situación con múltiples antenas en ambos lados es conocida como MIMO (Multiple Input / Multiple Output). Debe tenerse en consideración que en UMTS, solo se asumen dos antenas en ambos lados. En LTE y LTE-A, se pueden implementar hasta cuatro y ocho antenas en cada lado de MIMO respectivamente (entrada y salida). La asignación de los datos modulados (símbolos) a las antenas individuales se realiza en un bloque de mapeo de antena. Como las transmisiones están desplegadas en los mismos recursos de tiempo / frecuencia, las transmisiones paralelas introducen interferencia. Por lo tanto, se debe aplicar un procesamiento avanzado de señales de forma similar a la formación de haz.

5.6 Agregación de portadoras

Aunque siguiendo las directrices de la release 10 de LTE-A se puede conseguir una mejor eficiencia espectral respecto a versiones anteriores de LTE, no se puede alcanzar la tasa de pico máxima de 1 Gbps requerido por IMT-Avanzada para redes móviles 4G utilizando bandas de frecuencia convencionales con anchura de hasta 20 MHz. Para cumplir este requisito, el ancho de banda debe aumentar. LTE-A combina los recursos radio a través de múltiples bandas (portadoras) y realiza una transmisión paralela a un UE. Este enfoque se conoce como agregación de portadoras. Esta técnica es una mejora de DC utilizada en UMTS donde sólo se pueden combinar dos portadores. En LTE-A, cada portadora utilizada para la transmisión de datos se conoce como portadora de componentes. LTE-A permite utilizar para una transmisión hasta cinco portadoras de componentes en el enlace descendente y cinco en el enlace ascendente. En consecuencia, se puede utilizar un ancho de banda de hasta 100 MHz. Tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente, uno de los componentes se indica como componente primario y todos los otros son componentes secundarios. Esto significa que, cada UE debe tener un componente primario y ninguno, uno o varios (hasta cuatro) componentes secundarios. El componente principal se utiliza para la señalización permanente en modo inactivo (es el modo de ahorro de batería en caso que no hay comunicación de datos). Los componentes secundarios son utilizados para aumentar el ancho de banda para la comunicación de datos, pero no para la señalización en modo de inactividad. La asignación de componentes primarios y secundarios es específica del UE, es decir, que puede variar según el UE.

No es necesario que las portadoras agregadas asignadas a un UE sean contiguas. Tal como se muestra en la siguiente figura hay tres tipos de agregación portadoras:

- Agregación intra-banda con componentes contiguos - es la forma más fácil de agregación de portadoras ya que la banda resultante puede ser visto como un único componente desde el punto de vista de la UE. Por lo tanto, no hay requerimientos especiales ni en el UE ni en HeNB (no se requieren sin transceptores o receptores adicionales).
- Agregación intra-banda con componentes no contiguos - la señal no puede ser interpretada como una sola transmisión, de forma que se requieren más transceptores / receptores, de forma que el coste de los equipos aumenta.
- Agregación inter-banda (con componentes no contiguos) - nuevamente son necesarios más transceptores / receptores debido a la separación de las portadoras en frecuencia.



Tipos de agregación de portadora

Todos los UEs con soporte de agregación de portadora pueden acceder en paralelo a todas las componentes. Si un UE no es compatible con la agregación de portadora, puede acceder a cada portadora individualmente de acuerdo a la forma convencional de LTE para asegurar la compatibilidad con versiones anteriores.



La agregación de portadora está disponible para TDD, así como para los modos FDD pero se debe aplicar el mismo modo para todos los componentes usados por un UE. Además, se debe mantener la misma configuración de subtramas de enlace ascendente y de enlace descendente para TDD mientras que la configuración de subtramas especiales pueden ser diferentes para las componentes individuales.

5.7 Servicios y aplicaciones en LTE/LTE-A

Al igual que en los anteriores estándares de comunicación móvil, LTE / LTE-A permite la ejecución simultánea de varias aplicaciones con diferentes niveles de calidad de servicio (por ejemplo, llamadas de voz y descarga de FTP o videoconferencia). Es evidente que las llamadas de voz o de vídeo requieren menor variación de retardo que la descarga FTP para satisfacer la calidad de conexión de los usuarios. Por otro lado, la descarga de FTP requiere un mayor rendimiento y menor tasa de pérdida de paquetes para minimizar el tiempo de descarga del archivo. Para habilitar estos diferentes niveles o requisitos de calidad, LTE-A permite definir varios servicios con requisitos específicos y distintos para cada uno. Para distinguir las necesidades individuales se introduce el concepto de identificador de clase de calidad de servicio (**QCI**, *QoS Class Identifier*) El QCI define nueve clases de acuerdo con un conjunto de cuatro parámetros de transmisión, tal como se muestra en la tabla.

En primer lugar, indica si una tasa de bits está garantizada (**GBR** - *Guaranteed Bit rate*) o no (Non-GBR). En el caso de GBR se asigna una cantidad fija de recursos radio de forma permanente a un servicio, de forma que no es necesario solicitar estos recursos de forma continua. La cantidad de recursos radio se establece en el inicio de la conexión y se corresponde con la tasa de bits máxima que requiere dicho servicio. En caso de no GBR, los recursos no están reservados para el servicio permanentemente. La cantidad de recursos depende de los requisitos reales del servicio y de la cantidad de recursos disponibles en la red. Por lo tanto, este tipo de servicios no garantiza la velocidad de bits.

El segundo parámetro importante define la prioridad de los paquetes. Este parámetro indica la prioridad en caso de procesamiento. Por ejemplo, si un nodo está congestionado, los paquetes con mayor prioridad son transmitidos antes de los paquetes con prioridad inferior.

El parámetro siguiente es el máximo retardo de paquetes previsto y representa el máximo retardo de un paquete de una clase QCI determinada.

El último parámetro, tasa de pérdida o error de paquete está relacionado con la frecuencia con la que los paquetes se pierden o se reciben erróneamente durante la transmisión. Se representa la cantidad de paquetes perdidos o paquetes recibidos con algún error que no permite su posterior procesamiento.

Clases de servicio en LTE-A

QCI	GBR / Non-GBR	Prioridad	Máximo retardo de paquete previsto	Tasa de pérdida o error de paquete	Ejemplo de servicio
1	GBR	2	100	10^{-2}	Llamadas de voz (conversación)
2	GBR	4	150	10^{-3}	Llamadas de vídeo (conversación)
3	GBR	5	300	10^{-6}	Video streaming (no conversación)
4	GBR	3	50	10^{-3}	Juego en tiempo real
5	Non-GBR	1	100	10^{-6}	Señalización
6	Non-GBR	7	100	10^{-3}	Voz, video (streaming en directo)
7	Non-GBR	6	300	10^{-6}	Video (streaming con almacenamiento)
8	Non-GBR	8	300	10^{-6}	WWW, FTP, email, mensajería
9	Non-GBR	9	300	10^{-6}	Como QCI 8, pero con menor prioridad

5.8 Femtoceldas

Tal como muestran diversos estudios, la mayor parte de tráfico del usuario se genera dentro de edificios (indoor). Las redes 4G asumen el uso tanto de las bandas de frecuencias pequeñas (por ejemplo, 800/900 MHz), como de las bandas superiores a 2 GHz. Las frecuencias más altas tienen un peor comportamiento respecto a la propagación de la señal. Este problema se acentúa especialmente en entornos que no están al aire libre (indoor). Por eso, los usuarios de indoor no pueden conseguir siempre una calidad de señal suficiente que se corresponda con sus necesidades. Esos problemas son abordados por un nuevo concepto: las denominadas femtoceldas (en LTE-A, se utiliza el acrónimo HeNB). La femtocelda puede aumentar el rendimiento para usuarios de interiores y, también permite descargar a las macroceldas ofreciendo servicio a los usuarios que reciben una señal de baja calidad a partir de una macrocelda.



La femtocelda es una estación base de bajo coste que normalmente será desplegada en dependencias del usuario, tales como una casa o una oficina. La femtocelda está conectada a la red troncal (Internet) a través de una conexión cableada, como **DSL** (*Digital Subscriber Line*) o de fibra óptica. Esta conexión troncal proporciona los datos del usuario de la femtocelda a un destino (un servidor o usuario de destino) y viceversa. La potencia de transmisión de la femtocelda permite normalmente sólo cubrir el espacio interior para ofrecer una calidad de señal suficiente a los usuarios cercanos.



La potencia máxima de transmisión de una femtocelda es aproximadamente de hasta 21 dBm. Por lo tanto, la cobertura de la femtocelda sólo es del orden de decenas de metros.

Las femtoceldas pueden ofrecer tres tipos de acceso:

- **Acceso abierto:** Todos los usuarios en el área de cobertura de la femtocelda pueden conectarse a ella. Todos los usuarios conectados a la femtocelda comparten con la misma prioridad tanto los recursos radio como la conectividad al backbone o segmento principal. Una de las ventajas del acceso abierto consiste en la posibilidad de descargar una macrocelda dando servicio a varios usuarios áreas que transmiten muchos datos o bien dando servicio a usuarios que están lejos de la macrocelda. Por otro lado, si se despliegan muchas femtoceldas con acceso abierto puede haber un elevado número de handovers.
- **Acceso cerrado:** La femtocelda con acceso cerrado admite sólo aquellos usuarios incluidos en una lista denominada Grupo cerrado de abonados (*Close Subscriber Group*, **CSG**). Dicha lista es administrada por usuario que está a cargo de la femtocelda. Típicamente, se supone que la lista CSG incluye unos pocos usuarios (se asume un número aproximado entre cuatro u ocho usuarios para femtoceldas domésticas). En el caso de acceso cerrado, sólo una cantidad limitada de usuarios que figuran en el CSG comparten los recursos radio acciones y recursos internos a la red de la femtocelda. Por otro lado, se

debe tener en cuenta la posible interferencia que haya con usuarios que no consten en la lista CSG para evitar un deterioro en sus prestaciones a través de otras redes.

- Acceso híbrido: El acceso híbrido es una combinación entre el acceso abierto y cerrado. En este caso se define la lista de CSG y una parte de la capacidad de transmisión de la femtocelda sólo es accesible por los usuarios de dicha CSG. El resto de los recursos puede ser compartido con otros usuarios no CSG.

Una cuestión crítica en relación con el despliegue de las femtoceldas es el aumento de la interferencia. La interferencia de femtoceldas se puede clasificar entre la interferencia de una femtocelda y los usuarios de macroceldas (interferencia cross-tier) y la interferencia entre distintas femtoceldas (interferencia co-tier). El impacto negativo de estas interferencias depende también de la asignación de recursos de radio entre femtoceldas y macroceldas. Se pueden identificar dos formas de asignación de recursos radio:

- Despliegue co-canal: En este caso hay un solape entre las bandas de frecuencias para las macroceldas y las femtoceldas; en consecuencia para mitigar la interferencia se requiere un control de potencia en la transmisión de la femtocelda, o una asignación de recursos radio adecuada.
- Despliegue de canal ortogonal (o dedicado): Se asignan distintos conjuntos de portadoras para macroceldas y femtoceldas. De esta manera se elimina múltiples la interferencia cross-tier. Por otra parte, no hay un uso eficiente de los recursos radio.

5.9 Relays

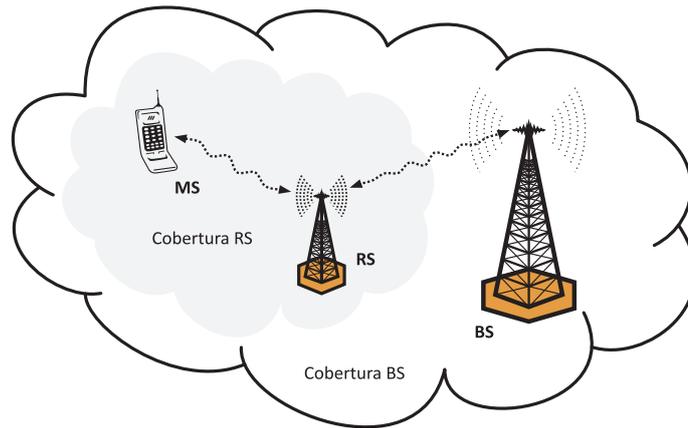
Junto con las femtoceldas, en redes 4G están definidas las estaciones repetidoras llamadas “relays”. En general, los relays son nodos eNodeB simplificados (y por lo tanto de bajo coste) que transmiten datos desde el eNodeB al usuario. El intercambio de datos entre el UE y la red se encamina a través de uno o varios relays.



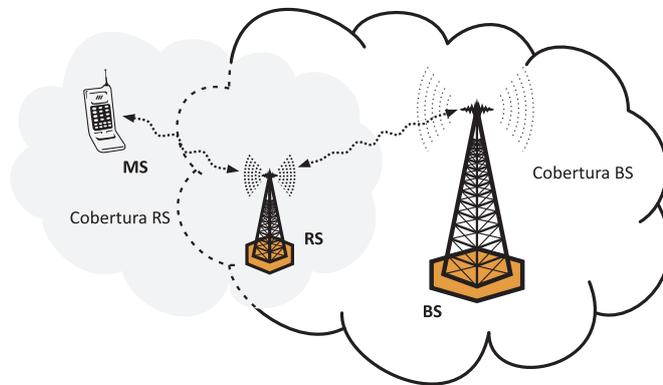
Cada parte de la comunicación (por ejemplo, desde el UE hasta el relay, desde el relay al eNodeB, etc.) se conoce como un salto en la comunicación. Por lo tanto, la comunicación mediante relays también se conoce como comunicación multisalto.

Los relays se pueden utilizar para ampliar la cobertura de un eNodeB o para aumentar el rendimiento en el área específica, como se muestra en la figura 27. Para aumentar el rendimiento, se despliega un relay dentro del área de cobertura del eNodeB. El rendimiento mejora cuando se reduce la distancia entre nodos de comunicación y de esta forma el nivel de la señal que recibe el nodo de destino o UE aumenta. Para ampliar la cobertura, el relay se ubica cerca del límite del área de cobertura de la celda a la que da servicio un eNodeB.

A diferencia de las femtoceldas, se espera que los relays estén totalmente controlado por los operadores y que su conexión a la red sea a través de un enlace inalámbrico compartido con las conexiones de datos de usuarios servidos por el eNodeB.



a) Mejora del rendimiento



b) Extensión de cobertura

Despliegue de relays y objetivo

Los relays se pueden clasificar atendiendo a su movilidad en:

- Relay fijo - este relay está permanentemente instalado en el mismo lugar sin que tenga movilidad. La Release 10 de LTE-A contempla por primera vez dichos relays.
- Relay móvil – se asume que serán desplegados en vehículos en movimiento, tales como autobuses o trenes. En este caso, el relay realizará operaciones de handover entre diferentes eNodeB. Durante el movimiento del relay se debe garantizar el traspaso entre eNodeB incluso si el relay móvil sirve UEs. Los relés móviles son contemplados por primera vez en la Release 11.

6 Redes Ad-hoc

6.1 Redes ad-hoc

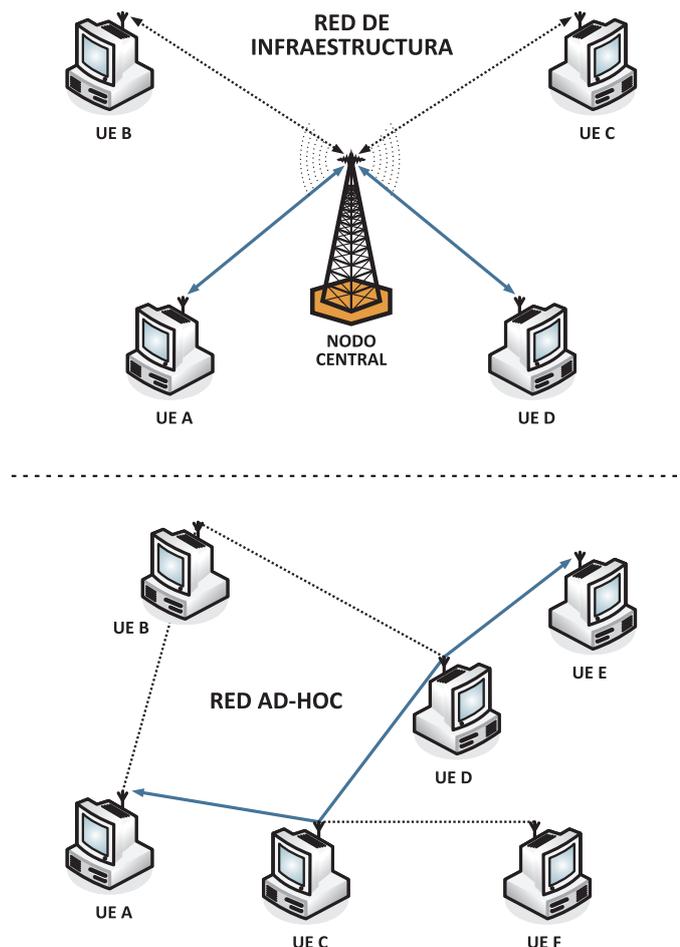
La principal característica de la topología de red ad hoc es que no hay ninguna unidad de control central (a diferencia de lo que ocurre en redes con infraestructura). Eso significa que no hay ninguna estación base como en el caso de la red de telefonía móvil convencional (GSM, UMTS, LTE) o puntos de acceso como en el caso de **WiFi** (*Wireless Fidelity*), que controlan y administran la red. Además, mientras que en las redes celulares la estación móvil envía/recibe datos e información de control únicamente a/desde la estación base, en las redes ad hoc todas las estaciones móviles son iguales y pueden comunicarse entre sí. La idea importante es que la red ad hoc tiene una duración temporal muy limitada, a diferencia de las redes con infraestructura.



El concepto "ad hoc" tiene su origen en el latín, y significa "para esto". Para ser más específico, ad hoc significa algo creado sin planificación.

En un principio, las redes ad hoc estaban pensadas para conectar varios UEs entre ellas y suficientemente cercanas como para poder intercambiar datos (esto coincide con la definición de la red ad hoc WiFi basada en estándares IEEE 802.11).

Las nuevas tendencias en la industria de las telecomunicaciones permiten la movilidad de todos los usuarios, de forma que la topología de red puede cambiar muy a menudo dado que no siempre se puede garantizar que haya comunicación directa con los UEs individuales en todo momento. Esto dio lugar a las redes conocidas como Mobile Ad Hoc Network (MANET). Las MANETs se caracterizan sobre todo por la movilidad de los terminales (por eso los llamamos "móviles" redes ad hoc) y por la comunicación multisaltos. Como en el caso de los relays en LTE-A, la comunicación multisalto permite que las estaciones de origen y de destino no tengan porqué cercanas. En ese caso las estaciones pueden intercambiar datos, pero es necesario que los paquetes sean retransmitidos a través de varias estaciones vecinas. La Figura 28 muestra una comparación entre las topologías de red de ad hoc y de redes con infraestructura.



Comparación de topologías en redes ad-hoc y redes con infraestructura.

A continuación se indican las ventajas y desventajas de las redes ad hoc, en comparación con las redes de infraestructura.

+

- Simplicidad en términos de creación de redes ya que no existen nodos centrales
- No es necesaria la presencia de red externa
- Fácil de instalar y de configurar
- Despliegue barato y rápido cuando sea necesario

-

- Los UE sólo puede comunicarse con otras UE que está a una distancia corta, en casos de redes ad hoc con un único salto.
- Los UEs pueden generar una elevada interferencia, ya que todos está utilizando las mismas frecuencias el ancho de banda de la misma frecuencia

- Es posible que haya cambios frecuentes de topología debidos a la movilidad de las UEs y a la necesidad de realizar un seguimiento del encaminamiento disponible entre UEs individuales => sobrecarga alta de señalización (sólo se aplica a MANET)
 - Limitaciones de potencia
 - Aspectos de seguridad y protección contra diversos ataques
-

Las redes ad-hoc y sobre todo las redes MANET se pueden utilizar en muchos escenarios:

- Operaciones y comunicaciones militares
- Servicios de emergencia (operaciones de búsqueda y salvamento, recuperación en caso de desastres, control y extinción de incendios)
- Entornos comerciales y civiles (acceso a base de datos dinámicas, oficinas móviles, estadios deportivos, ferias, etc.)
- Redes empresariales y domésticas (redes inalámbricas en hogar / oficina, conferencias, salas de reuniones, red de área personal, obras, etc.)
- Educación (Universidad y campus, aulas virtuales)

Para poder gestionar comunicaciones basadas en redes ad hoc se deben implementar mecanismos de control de acceso al medio) y protocolos de encaminamiento. Dichos protocolos son detallados en los capítulos siguientes.

6.2 Protocolos MAC

Un aspecto importante en redes ad hoc es el diseño adecuado de protocolos MAC, cuyo propósito principal es controlar el acceso a canales de radio. El principal desafío es evitar colisiones en la transmisión y utilizar eficazmente canal de radio. Los protocolos MAC se pueden clasificar en protocolos sin mecanismos de contención y protocolos basados en contención:

- Protocolos sin contención - La UE no tiene que competir por el acceso al medio. Existe algún tipo de acceso controlado, tal como TDMA, FDMA, CDMA, o bien mecanismos de sondeo o paso de testigo. La principal ventaja de este enfoque es que no hay colisiones en la transmisión. Por consiguiente, estos protocolos MAC permiten garantizar el retardo de extremo a extremo y el cumplimiento de requisitos de QoS. Una tecnología donde se usa esta técnica Bluetooth.
- Protocolos basados en contención - Los protocolos basados en contención introducen un mecanismo de contención específico de forma que el UE debe competir por el acceso al medio. Básicamente, todos los métodos de contención se basan en esquemas de Aloha y Aloha ranurado. En caso de Aloha, el UE ocupa el canal enviando datos en el momento en que dispone de datos a transmitir. Como consecuencia, si dos UEs envían datos al mismo tiempo, se produce una colisión y se debe retransmitir la información.

Los métodos de acceso más habitualmente utilizados en las actuales redes inalámbricas, tales como WiFi, están basados en **CSMA** (*Carrier Sensing Multiple Access*). Como su nombre lo indica, en primer lugar, la UE "escucha" el medio antes de enviar los datos. Si el medio está ocupado, el UE tiene que esperarse hasta que el medio se libera. Si el medio está libre, la UE envía sus datos inmediatamente. Para minimizar aún más la probabilidad de colisión, se introdujeron otros métodos, tales como CSMA-CD (CSMA con Detección de Colisiones) o CSMA CA-(CSMA evitando colisiones).

6.3 Protocolos de encaminamiento

Los protocolos de encaminamiento son un componente básico en las MANETs y en consecuencia se han propuesto una gran variedad para la selección de la ruta óptima teniendo en cuenta diferentes parámetros. En general, todos los protocolos de encaminamiento abarcan tres mecanismos básicos:

- Descubrimiento de ruta - El propósito de este mecanismo es encontrar la ruta óptima entre dos estaciones que están intercambiando datos. El principio más habitual se basa en lo que se llama algoritmo de inundación. El terminal origen envía un paquete denominado RREQ (Route Request) que se retransmite a todas las estaciones. Cuando la estación de destino recibe este paquete, genera otro de respuesta denominado RREP (Respuesta de ruta) y lo envía de vuelta a la estación origen. El principal problema es encontrar el camino óptimo de enrutamiento minimizando la sobrecarga de enrutamiento.
- Selección de ruta - Durante descubrimiento de ruta se pueden encontrar varios caminos posibles. En consecuencia, el objetivo principal del mecanismo de selección de ruta es seleccionar el camino más apropiado. La selección de la ruta se puede basar en muchos criterios, tales como la capacidad del enlace, número de saltos a lo largo de la ruta, fiabilidad del enlace, etc.
- Mantenimiento de ruta - Cuando se selecciona el camino apropiado, es necesario garantizar que se mantendrá por lo menos tanto tiempo como dure la comunicación entre las estaciones. Sin embargo, debido a la movilidad de los terminales puede haber cambios significativos en la topología de la red. Así, el objetivo de este mecanismo es encontrar una nueva ruta de enrutamiento si la elegida inicialmente deja de estar disponible.

Clasificación de los protocolos de encaminamiento

Los protocolos de encaminamiento se pueden clasificar en varios grupos dependiendo de diversos criterios. Los protocolos de encaminamiento más comunes son los "basados en topología", es decir, protocolos que seleccionan el camino correcto teniendo en cuenta los cambios en la topología de la red. Los protocolos basados en topología puede ser clasificados en:

- Proactivo - El principio fundamental de los protocolos proactivos es el uso de tabla con la topología de red que deben ser actualizadas periódicamente para recoger todas las posibles modificaciones. La ventaja es que cuando es necesario utilizar una ruta no se produce ningún retardo ya que todas las posibles rutas son conocidas. La desventaja es que puede ser necesaria una gran cantidad señalización para mantener actualizada la información sobre la topología de la red. Los protocolos proactivos son en su mayoría aplicables sólo para redes pequeñas con pocos terminales móviles. Los protocolos proactivos más comunes son **DBF** (*Distributed Bellman-Ford*), **DSDV** (*Distance Source Distance Vector*), **WRP** (*Wireless Routing Protocol*), u **OLSR** (*Optimized Link State Routing*).

- Reactivo (también conocido como "On demand") - Los protocolos reactivos no mantienen periódicamente la información sobre las rutas de enrutamiento individuales si no hay intercambio de datos en esa ruta. La selección de la ruta se activa sólo si está a punto de iniciarse la transmisión de datos. De esta forma, hay menos uso de recursos radio se guardan ya que la sobrecarga de señalización es pequeña. Por otro lado, podría ser necesario un tiempo considerable para encontrar el camino adecuado cuando es necesario y en consecuencia puede haber un retardo elevado. Entre los protocolos reactivos encontramos, por ejemplo, **DSR** (*Dynamic Source Routing*), **AODV** (*Ad-hoc On Demand Distance Vector*), o **SSR** (*Signal Stability Routing*).
- Híbrido - Estos protocolos combinan las ventajas de los protocolos proactivos y reactivos. Los protocolos híbridos más comunes conocidos son **ZRP** (*Zone Routing Protocol*) y **ZHLS** (*Zone-based Hierarchical Link State*).

Además de los protocolos basados en topología, se puede seleccionar la ruta adecuada usando protocolos basados en la posición, como ocurre por ejemplo en el protocolo, **DREAM** (*Distance Routing Effect Algorithm for Mobility*) o usando protocolos que minimizan el consumo de potencia (por ejemplo, **CPC** (*Cluster Power Control*)).

6.4 Seguridad

La seguridad constituye otro aspecto fundamental en relación con las redes ad hoc, ya que no hay infraestructura de seguridad. Igual que en el resto de redes, los ataques contra las redes ad hoc se pueden clasificar en dos grupos: pasivos y activos. Mientras que los primeros suelen implicar escuchas ilegales "pasivas", los segundos implican una participación "activa" del atacante, ya sea suplantado la identidad de un usuario, modificando o incluso la eliminando datos intercambiados. Los ataques más comunes en las redes ad hoc se resumen a continuación:

- **DDoS** (*Distributed Denial of Service*) – En la mayoría de los casos, utilizando las técnicas de jamming para generar interferencias en la comunicación e impedir así un correcto funcionamiento de la red.
- Suplantación - El atacante podría obtener acceso a la configuración del sistema como superusuario y podría incluso acceder o destruir datos restringidos.
- Divulgación - El atacante puede obtener información confidencial mediante escuchas y aprovecharse de eso.
- Ataques de encaminamiento – una tarea compleja es la seguridad en el encaminamiento aun cuando haya un nodo malicioso en la red debido a la naturaleza ad hoc de la red. Un atacante puede descartar todos los paquetes (ataque blackhole), eliminar selectivamente alguno de ellos (ataque selectivo), etc.

La comunicación puede considerarse segura si se garantiza lo siguiente:

- Disponibilidad - Garantizar que la comunicación no se verá afectada por los ataques DDoS.
- Autenticación - Antes de que el usuario está autorizado a acceder a una red ad hoc, tiene que estar debidamente autenticado (protección contra la suplantación).
- Confidencialidad - Los paquetes de datos deben estar protegidos contra cualquier uso indebido.
- Integridad - Debe garantizarse que los datos no se modifican durante su transmisión.

Los métodos convencionales para ofrecer seguridad a la comunicación en red son mediante claves criptográficas simétricas o asimétricas. Los métodos asimétricos requieren una certificación, difícil de emplear en redes sin infraestructura como es el caso de ad hoc. Asimismo se requiere el uso de algoritmos de encaminamiento seguro en redes ad hoc y resistente frente a intrusiones como el protocolo Tiara. Se han introducido diversos protocolos de encaminamiento seguros como **SRP** (*Secure Routing Protocol*) basado en DST, o **SAODV** (*Secure AODV*).

6.5 Tecnologías que permiten ad hoc

Las tecnologías más extendidas para redes inalámbricas ad hoc son WiFi, basada en IEEE 802.11, y Bluetooth, basado en el estándar IEEE 802.15.

WiFi

WiFi es una tecnología de red inalámbrica que se utiliza especialmente para **LAN** (*Local Area Networks*) de rango pequeño (en la mayoría de los cientos de metros) y ofrece acceso a Internet de alta velocidad a usuarios dentro de hogares, oficinas, centros comerciales, etc. La velocidad de transmisión en WiFi depende del estándar utilizado. Las tasas de bits más comunes son de hasta 54 Mbps por punto de acceso (IEEE 802.11a / IEEE 802.11g) y recientemente hasta 300 Mbps (IEEE 802.11n).

Las principales ventajas de WiFi son su bajo coste, y que puede ser utilizado en las bandas de frecuencias ISM (Industria, Ciencia y Medicina), que se trata de unas bandas de frecuencia reservada internacionalmente para uso no comercial. Para ser más específicos, las bandas dedicadas habitualmente para WiFi son 2,4 GHz y 5 GHz.

- 2,4 GHz – En la mayoría de los países de Europa se dedican 13 canales, con ancho de banda de 22 MHz en las frecuencias entre 2.4 GHz a 2,484 GHz. En Estados Unidos, sólo se asignan 11 canales. Los canales adyacentes se solapan parcialmente, de forma que sólo podemos encontrar tres canales sin que haya interferencias entre ellos.
- 5 GHz – La banda se divide en tres sub-bandas:
 - 1. sub-banda (5150 – 5250 MHz) – utilizada en el interior de edificios
 - 2. sub-banda (5250 – 5350 MHz) – utilizada en el interior de los edificios (los terminales deben ser capaces de controlar su potencia y cambiar a otra banda si hubiese interferencia con radares)
 - 3. sub-banda (5350 – 5450 MHz) – se aplican las mismas reglas que en la segunda sub-banda

WiFi es una tecnología con amplia difusión, de forma que la asignación de canales radio a menudo está sobrecargada. Por ello se han especificado muchas modificaciones para el intercambio óptimo de canales radio. Se han aprobado muchas versiones de WiFi con el fin de evitar colisiones, mejorar su rendimiento y capacidad.

Todos los equipos basados en el estándar IEEE 802.11 están testeados por la organización **WECA** (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), que en 2002 fue rebautizada como alianza WiFi. La alianza WiFi comprueba si los equipos cumplen con todos los requisitos necesarios o no.

El estándar IEEE 802.11 define la capa MAC que está junto con la capa **LLC** (*Logical Link Control*) constituyen el segundo nivel del modelo de referencia **OSI**

(*Reference Model - Open System Interconnection*). El objetivo de la capa MAC es gestionar el acceso a un canal radio, la fragmentación, y la desfragmentación de paquetes de datos, las especificaciones de las tramas de control, etc. Además, los estándares WiFi especifican diversos tipos de capas físicas diferentes, especialmente con distintas técnicas de modulación. Como ya se ha mencionado, WiFi puede utilizar modo con infraestructura o topología ad hoc.

Bluetooth

Bluetooth constituye un protocolo de comunicación inalámbrica de corto alcance. Se caracteriza por baja potencia de transmisión y bajo precio. El propósito de Bluetooth es reemplazar el cable utilizado en la interconexión de varios dispositivos electrónicos como teléfonos, auriculares, ordenadores portátiles, etc.

La velocidad de transmisión en el protocolo básico de Bluetooth es de 1 Mbps, pero en la versión 2.0 con **EDR** (*Enhanced Data Rates*) se pueden alcanzar hasta 3 Mbps, y en Bluetooth v3.0 + **HS** (*High Speed*) se pueden conseguir hasta 24 Mbps. Esta versión permite utilizar bandas de WiFi para la comunicación Bluetooth. La última versión estandarizada, Bluetooth v4.0 denominada también **LE** (*Low Energy*), se centra en la reducción de consumo de energía.

En todas las versiones de Bluetooth se utiliza **FHSS** (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) para resolver los problemas de interferencia y de desvanecimiento. En FHSS, todos los dispositivos utilizan un patrón de salto de frecuencia usando frecuencias de portadora para la transmisión de un paquete seleccionadas de forma pseudoaleatoria.

Las bandas de frecuencia utilizadas en Bluetooth se ubican alrededor de 2,4 GHz con ancho de banda de 83,5 MHz. En concreto, se ocupan las frecuencias entre 2400 MHz y 2483,5 MHz. Tanto en el protocolo básico como en EDR, el ancho de banda se divide en 79 canales de transmisión y dos bandas de guarda. Las bandas de guarda inferior y superior tienen un ancho de banda de 2 y 3,5 MHz respectivamente. Tanto el protocolo básico como EDR utilizan full dúplex y esquema de transmisión TDD.



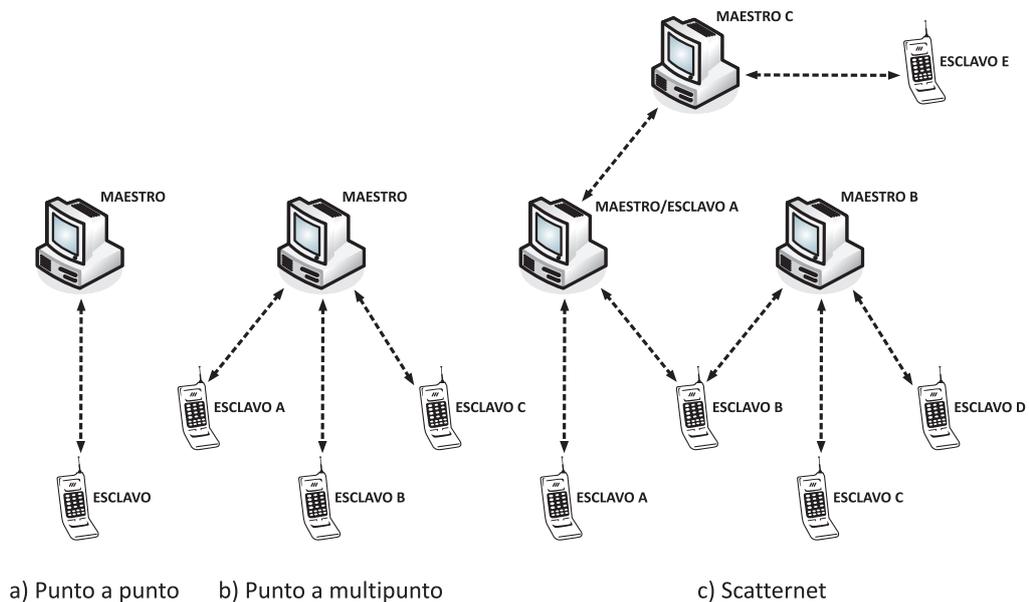
Los datos se modulan con binario **GFSK** (*Gaussian Frequency Shift Keying*) binario para la transmisión básica a 1 Mbps. Para tasas de bits más altas en versiones posteriores se utilizan modulaciones basadas en **PSK** (*Phase Shift Keying*). El modo EDR es capaz de alcanzar 2 Mbps usando la modulación **$\pi/4$ -DQPSK** (*$\pi/4$ Rotated Differential Quadrature Phase Shift Keying*) y 3 Mbps cuando se emplea **8 DPSK** (*8 phase Differential Phase Shift Keying*). Para conseguir 24 Mbps se debe habilitar **AMP** (*Alternate MAC/PHYs*). Después de establecer canales de radio EDR, AMP encuentra la banda alternativa más amplia y cambia la transmisión a esta banda.

Para permitir el modo de baja consumo de potencia se define un canal físico y acceso al canal diferente. A diferencia del protocolo básico y de EDR, Bluetooth LE sólo considera modulación GFSK. Se utiliza el mismo ancho de banda pero con diferentes patrones de subcanalización. La banda se divide en 40 canales

separados por 2 MHz con dos bandas de guarda, una inferior de 2 MHz y otra superior de 1,5 MHz. Se utiliza TDMA o FDMA para el acceso a los canales.

Bluetooth soporta comunicación directa punto a punto, así como punto a multipunto. Cuando varios dispositivos de comunicación comparten el mismo canal usando Bluetooth constituyen una piconet. Una piconet en el protocolo básico y en EDR puede constar de dos a ocho dispositivos. En una piconet, habrá siempre un «maestro» y los demás serán esclavos. La comunicación sólo es posible entre un maestro y un esclavo, de forma que dos esclavos no pueden hablar directamente entre ellos. El periférico que actúa como maestro se encarga de escoger la subbanda de frecuencia adecuada para mantener el enlace y establece conexiones en las que un paquete de datos ocupa un slot para la emisión y otro para la recepción que pueden ser usados alternativamente, dando lugar a un esquema de tipo TDD (Time Division Duplex).

Un dispositivo puede estar incluido en más de una piconet. En este caso, las piconets se superponen entre sí y la topología se denomina scatternet. La scatternet se compone de varios piconets. Un dispositivo puede ser maestro en una única piconet en el marco de la scatternet. En todas las otras piconets, el dispositivo debe asumir el papel del esclavo. Por lo tanto, el papel de maestro y esclavo se puede cambiar entre los dispositivos de red scatternet para evitar que un dispositivo sea máster en dos piconets.



Topología de Bluetooth

6.6 Redes de sensores inalámbricas

Una **WSN** (*Wireless Sensor Network*) se compone de nodos organizados en redes cooperativas y utiliza topología de red ad hoc. Básicamente, la WSN es similar a las redes MANET en muchos aspectos. La razón principal es que tanto las WSN como las MANET se caracterizan por la ser auto configurables, los nodos están conectados mediante una conexión inalámbrica, y se permite que los nodos de red se puedan comunicar a través de múltiples saltos. Sin embargo, la WSN y las redes MANET son diferentes en varios aspectos fundamentales, como se muestra en la tabla.

Comparación entre MANET y WSN

Aspecto	MANET	WSN
Utilización y aplicabilidad	Usado por los seres humanos para la transmisión de datos, aplicaciones móviles, etc.	Empotrados en el entorno, se utiliza para la recolección de datos (por ejemplo, la medición de la temperatura, la supervisión ecológica, etc.) y la detección de eventos (por ejemplo, la detección de incendios, detección de intrusión, etc.)
Tamaño de los dispositivos	Teléfonos móviles, PDAs, ordenadores portátiles	Pequeños sensores (ej., milímetros)
Cantidad de nodos en la red	Hasta decenas o cientos de nodos	Hasta miles de nodos o más
Principal razón para cambios en la topología	Movilidad de los usuarios	Fallo del nodo

Del mismo modo que ocurre en las MANET, algunos de los aspectos más críticos en WSN son el encaminamiento adecuado de los datos y la necesidad de un buen protocolo MAC. Los protocolos MAC utilizados en las redes MANET no son adecuados para las WSN, debido a sus características específicas. El objetivo principal es utilizar un protocolo que consuma poca energía, evite colisiones y tenga bajos requerimientos de memoria.

6.7 Redes malladas

Las redes malladas tienen una topología que combina características de redes con infraestructura y redes ad hoc. Igual que sucede con la red de infraestructura, la red mallada se compone de nodos centrales (por ejemplo, estaciones base, puntos de acceso, etc.) que proporcionan conectividad, por ejemplo, a Internet. Sin embargo, la principal diferencia en comparación con las redes celulares es que, en la red mallada, cualquier UE puede comunicarse con cualquier otro UE sin la intervención del nodo central. Cuando se compara con las redes ad hoc y las redes MANET, en las redes malladas se asume que la topología es permanente y que los nodos individuales son mayoritariamente fijos. Sin embargo, el paradigma de las comunicaciones multisalto también se aplica a las redes malladas. Por consiguiente, debe encontrarse el encaminamiento óptimo por medio de protocolos de encaminamiento específicos de manera similar como en el caso de MANET o WSN.

IEEE 802.11s es una enmienda del estándar IEEE 802.11 que define como los UE pueden estar conectados para crear una red local inalámbrica mallada. Además, la topología mallada también se considera en la tecnología WiMAX basada en el estándar IEEE 802.16d, donde se asume topología fija. Sin embargo, los estándares más recientes de que soportan movilidad (IEEE 802.16e/j/m) excluyen las redes malladas, debido a la alta complejidad de su implantación, y utilizan sólo topología de infraestructura como PMP.

Las ventajas de las redes malladas son las siguientes:

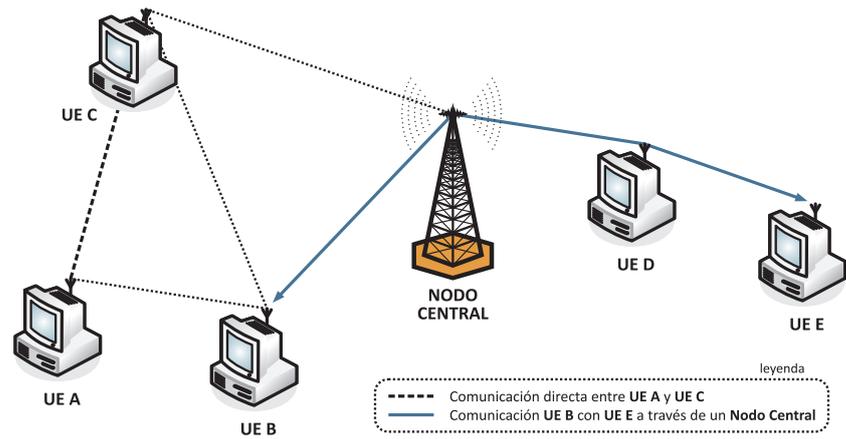
+

- Aumento de la cobertura, ya que los UE que están fuera de la cobertura del punto de acceso puede conectarse a él con la ayuda de sus vecinos (es decir, no hay que instalar puntos de acceso adicionales).
 - Alta flexibilidad y fiabilidad (se pueden encontrar varias rutas posibles al punto de acceso).
-

Las desventajas de las redes malladas son las siguientes:

-

- Los UE pueden ser utilizados para la transmisión de datos de otro UE. Por lo tanto, los UE que actúan como intermediario consumirá más energía de la batería.
 - Degradación del rendimiento si los mismos datos son transmitidos más de una vez entre el origen y destino debido a las comunicaciones multisalto.
 - Mayor sobrecarga que en caso de red de infraestructura (es necesario para mantener las rutas disponibles).
-



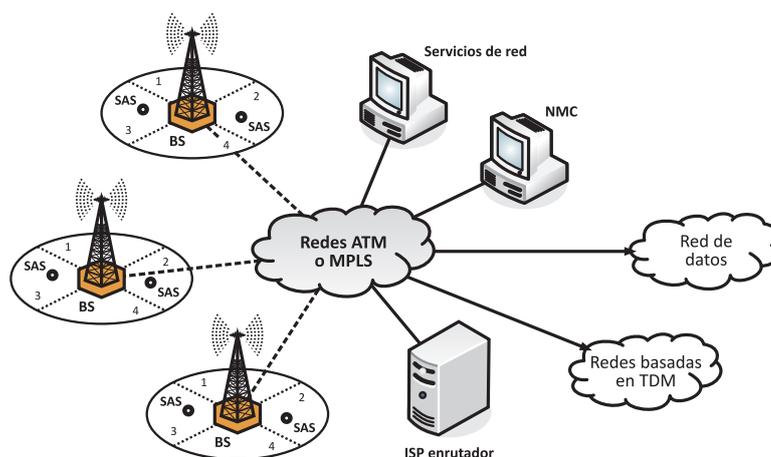
Un ejemplo de estructura mallada y comunicación entre estaciones individuales

7 Sistemas de Distribución Multipunto

7.1 Sistema de Distribución Local Multipunto LMDS (Local Multipoint Distributive System)

Un sistema **LMDS** (*Local Multipoint Distributive System*) es una tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha diseñada originalmente para la transmisión de Televisión Digital. Se ha concebido como una tecnología inalámbrica fija punto a multipunto para la utilización en la última milla. Los LMDS comúnmente operan en frecuencias de microondas en las bandas de 26 GHz y 29 GHz. En los Estados Unidos, también se usan las frecuencias de 31,0 a 31,3 GHz.

Los sistemas LMDS se basan en el acceso fijo inalámbrico de estaciones terminales fijos, abreviado como **SAS** (*Subscriber Access System*), a la estación base a través de un interfaz radio. Los SAS están equipados con antenas direccionales orientadas a la BS.



Estructura de red de un sistema LMDS



La capacidad y la distancia fiable del enlace depende de las limitaciones habituales del enlace radio enlace y de la modulación utilizada - o bien PSK o AM (*Amplitude Modulation*). La distancia está limitada típicamente a aproximadamente 2 ó 3 km debido a las limitaciones por lluvias o desvanecimientos. Sin embargo, bajo circunstancias específicas es posible desplegar enlaces de hasta 8 km hasta la BS, por ejemplo en sistemas de punto a multipunto con una ganancia de antena elevada.



Aunque algunos operadores en Europa utilizan sistemas LMDS para ofrecer servicios de acceso entre redes diferentes, LMDS es más comúnmente utilizado para enlaces de alta capacidad usados en la interconexión de la red de retorno en sistemas como GSM, UMTS, WiMAX o Wi-Fi.

En LMDS existen una serie de antenas fijas (no móviles) en cada estación base, que son los sectores que dan servicio a determinadas áreas (usuarios agrupados geográficamente dentro de una determinada zona de cobertura). Esto resulta de gran interés para las operadoras, puesto que se evitan el coste de desplegar fibra óptica o pares de cobre para dar cobertura a zonas residenciales/empresariales. Tanto el número de sectores de la BS como su distribución dependen del acceso y de la capacidad total de los datos enviados a determinados BS. La distribución física de los sectores se puede modificar. La asignación básica y cobertura se realiza mediante dos canales (A y B) conocidos como el plan de frecuencia dual. Se utiliza el plan de frecuencia dual para disminuir los problemas con la interferencia recíproca entre sectores. Otra forma, la forma de reducir la interferencia es la asignación de canales diferentes para cada sector de la BS o la modificación de la polarización de onda de señal de radio en determinados sectores a horizontal o de onda vertical.

7.2 Servicio de Distribución Multicanal Multipunto MMDS (Multichannel Multipoint Distributive Service)

Los servicios MMDS (Servicio de distribución multipunto multicanal), también conocidos como **BRS** (*Broadband Radio Service*) BRS e incluso en algunos lugares como **Cable Inalámbrico** es una tecnología de telecomunicación inalámbrica utilizada principalmente para redes de banda ancha o, más comúnmente, como un método alternativo para la recepción de programas de televisión por cable.

Los sistemas MMDS utilizan frecuencias de microondas con rangos de 2GHz a 3 GHz. La recepción de las señales entregadas vía MMDS requiere una antena especial de microondas, y un decodificador que se conecta al receptor de televisión. La misma antena está conectada a un transceptor, lo que hace posible la recepción y transmisión de la señal de microondas y su conversión en frecuencias compatibles con los sintonizadores de TV estándar (al igual que en las antenas de satélite, donde las señales se transforman a frecuencias compatibles con el estándar de TV por cable).

La banda de frecuencia de los sistemas MMDS se divide en canales de 34 MHz, permitiendo transmisiones con alta capacidad a proveedores a través de varios canales de distribución grandes. Cada canal es capaz de transferir hasta 30 Mbit/s con modulación 64-QAM, y 42 Mbps, con modulación 256-QAM. Sin embargo, debido entre otras cosas al control de errores, la tasa real es cercana a los 27 Mbps para 64-QAM y a 38 Mbps para 256-QAM.



Están previstos cambios en el tamaño del canal para las nuevas versiones de MMDS con el fin de acomodar las nuevas WIMAX TDD en equipos fijos y móviles.



Los sistemas LMDS y MMDS han adoptado DOCSIS de las especificaciones de los cable módems. La versión de DOCSIS fue modificada para banda ancha inalámbrica dando lugar a **DOCSIS+**.

En MMDS, la seguridad en el transporte de datos se consigue cifrando el tráfico entre el modem inalámbrico de banda ancha y el **WMTS** (*Wireless Modem Termination System*) ubicado en la estación base del proveedor **Triple DES** (*Triple Data Encryption Standard*).



Los sistemas MMDS proporcionan un rango considerablemente mayor que los sistemas LMDS. MMDS puede quedar obsoleto por las nuevas versiones del estándar WiMAX 802.16 aprobado en 2004. Los sistemas MMDS han sido ampliados en ocasiones al *Sistema de Distribución Multipunto Multicanal por microondas* o *Sistema de Distribución Multipunto*. Los tres nombres se refieren en principio a la misma tecnología.

8 Servicios basados en la localización

8.1 Servicios basados en la localización

El conocimiento de la ubicación geográfica de los usuarios permite explotar nuevos servicios como emergencias, salud, ocio o trabajo. La ubicación geográfica del usuario se representa mediante coordenadas espaciales del usuario.



Los servicios que utilizan la información geográfica para servir a un usuario se denominan **LBS** (*Location Based Services*), servicios basados en la localización

Un ejemplo de servicios basados en la localización es un servicio de navegación, seguimiento de personas o vehículos (por ejemplo, Latitude), o guía turístico. Otra aplicación importante de los servicios LBS es la ubicación en caso de emergencia (por ejemplo, la ubicación de un accidente de coche, de una persona lesionada, etc.) En este caso, la ubicación de la persona se puede hacer automáticamente sin necesidad de intervención del usuario.

El concepto de arquitectura requiere LBS compuesto por cinco tipos de equipos:

- Dispositivo de usuario - proporciona una interfaz entre el usuario y el sistema LBS. El dispositivo de usuario suele ser un equipo móvil como el teléfono móvil, ordenador portátil, tableta, dispositivo de navegación, etc.
- Red de comunicación - es responsable de la entrega de los datos de usuario y de las solicitudes del dispositivo de usuario al proveedor de servicio y de la respuesta del sistema al usuario con la entrega de información obtenida.
- Componente de ubicación (posicionamiento): determina la posición geográfica del usuario.
- Proveedor de LBS - ofrece servicios a los usuarios y es responsable de procesar las solicitudes de los usuarios.
- El proveedor de contenido: Proporciona los contenidos LBS que no son almacenada por el proveedor de LBS. Puede ser, por ejemplo, la entidad que elabora los contenidos de un mapa, posición de los objetos, información relacionada con los objetos, información de transporte público, etc.

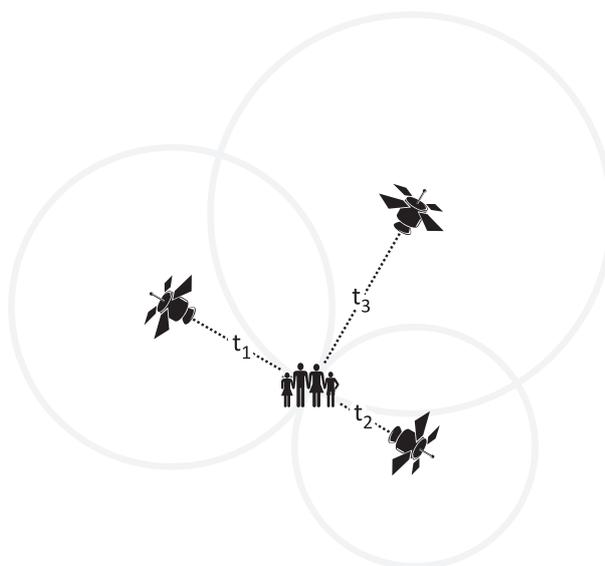
Para la explotación eficiente y rentable de LBS, el aspecto más crítico es la determinación de la ubicación. Si no se proporciona información exacta del lugar, la capacidad de servicio de LBS queda muy limitada. La ubicación se puede obtener de varias maneras. La forma más común es aprovechar un sistema de posicionamiento basado en satélite o en red móvil. Los dos enfoques sean descritos en las siguientes secciones.

8.2 Sistemas de localización por satélite



La posibilidad de utilizar satélites para determinar una ubicación fue una contribución de un equipo dirigido por el Dr. Richard B. Kershner durante la transmisión de monitorización radio del primer satélite - Sputnik. El equipo observó que la frecuencia de la señal de transmisión cambiaba con el movimiento del satélite debido al efecto Doppler. Estos cambios de frecuencia permitieron determinar la posición del satélite. Así pues, la posición de un usuario se puede conocer usando este enfoque y sabiendo la posición de los satélites.

El uso de sistemas de satélite para determinar la posición se basa en la medición del tiempo de propagación de una señal transmitida por los satélites. A partir del tiempo de propagación, t , se calcula la distancia, s , entre el satélite y el usuario de acuerdo con la fórmula $s=c*t$, donde c es la velocidad de la luz en el vacío ($3 \cdot 10^8$ metros por segundo). Si conocemos la posición del satélite y el tiempo de propagación, la ubicación exacta del objeto queda determinada como una esfera de puntos situados en la misma distancia de la posición del satélite. Esto significa que cada satélite permite determinar una esfera de posibles ubicaciones del usuario. La posición exacta de un objeto está definido por cuatro parámetros: latitud, longitud, altitud, y el tiempo. Para derivar los cuatro parámetros, se deben conocer cuatro esferas; la ubicación del objeto o usuario será la intersección de las cuatro esferas. En el caso ideal, sin error en la estimación de la distancia entre el satélite y el usuario, todas las esferas se cortan en un punto. Si la distancia no se calcula de forma precisa, la intersección de cuatro esferas define un área de potenciales ubicaciones. El tamaño de esta área es proporcional a los errores introducidos por la medición de distancia y se puede reducir teniendo en cuenta la información de los satélites adicionales.



Principio de determinación de la posición del usuario

Este principio general es utilizado por los sistemas de navegación más comunes, tales como el sistema americano GPS, el sistema europeo Galileo, el sistema ruso Glonass, o el chino COMPASS.

GPS

El GPS es un sistema global de navegación por satélite desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines militares. El proyecto GPS comenzó en 1973, pero el primer satélite experimental fue lanzado en 1978. Ahora, GPS proporciona servicios de posicionamiento, navegación y temporización. Consta de tres segmentos: espacio, control y usuario.

- Segmento espacial: El segmento espacial consta de al menos 24 satélites que vuelan alrededor de 20.200 kilómetros por encima de la Tierra con un período orbital de 11 horas y 58 minutos. Los satélites están organizados en seis órbitas con inclinación de 55 °. El número de satélites se calcula de forma para garantizar que cada punto de la Tierra tenga una visibilidad de al menos cuatro satélites. El sistema puede aumentar su precisión incrementando el número de satélites. En 2011, se cambió ligeramente la constelación de satélites original para mejorar la cobertura y se añadieron tres satélites más. Todos los satélites transmiten señales con información necesaria obtener la posición del usuario.
- Segmento de control: El segmento de control consta de instalaciones en tierra para el seguimiento, control y gestión de los satélites de segmento espacial. El núcleo del sistema de control es una estación principal de control, en Colorado en los Estados Unidos. La estación principal de control es responsable de la gestión de todos los procedimientos de control. Para evitar que el sistema se apague en caso de fallo de la estación principal de control, existe otra estación alternativa en California. La estación principal de control recibe y analiza la información de los satélites y la información de navegación a partir de 16 estaciones de monitorización en tierra. Las estaciones monitorizan la transmisión de navegación de los satélites y el seguimiento a los satélites. A partir de la información recopilada, la estación principal de control envía comandos a los satélites para garantizar servicios adecuados y fiables (por ejemplo, para cambiar la posición del satélite). A través de las antenas terrestres se envían los comandos, la información de los satélites u otros datos. En los sistemas de control, se despliegan 12 antenas terrestres en todo el mundo.
- Segmento de usuario: El segmento de usuario está representado por un receptor GPS, que procesa la información recibida de los satélites. El receptor GPS contiene un chip GPS con una componente radio, un procesador de señal digital, memoria, parte de control, y una interfaz a una unidad central.

Los satélites transmiten tres tipos de señal. La primera, P (código de precisión), es un código cifrado con una secuencia pseudoaleatoria de 10,23 MHz. Éste puede ser sustituido por el segundo, código Y, en caso de necesidad de modo de transmisión anti-spoofing. El último es C/A (código de adquisición) que se utiliza para fines civiles o para la adquisición de los códigos P (Y). El C/A está compuesto de una secuencia pseudoaleatoria no cifrada de 1,023 MHz. El mensaje de navegación, es decir, el mensaje con información para la determinación de la

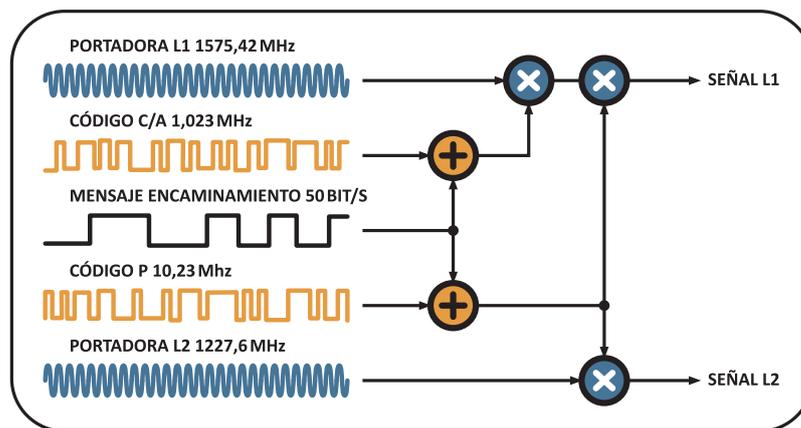
posición de los usuarios, se transmite a una velocidad de 50 bps y se añade al código C/A y al código P (Y). Dado que todos los satélites transmiten en la misma frecuencia portadora, se debe utilizar una técnica de acceso múltiple (en este caso CDMA) para permitir la recepción de la señal de más satélites.



El mensaje global de navegación se transmite en tramas con longitud de 1500 bits. Cada trama se compone de cinco subtramas que contienen información diferente, como posición del satélite, corrección del reloj, efecto de retardo ionosférico, el estado de constelación o información sobre las órbitas de los satélites. Para transmitir el mensaje de navegación completo, se requieren 30 segundos (1500 bit transmitidos a 50 bps).

Como el tiempo necesario para la entrega de información completa sobre todos los satélites es demasiado largo (es decir, el tiempo necesario para la determinación de la posición del usuario), se pueden utilizar las redes de comunicación móvil en combinación con los sistemas de navegación por satélites para la entrega de cierta información mediante el uso de redes de telefonía móvil en lugar de la entrega convencional directamente por satélites. Este enfoque se conoce como GPS asistido. De esta manera, se acelera la fase inicial en GPS.

La precisión del posicionamiento depende de varios aspectos: medida del tiempo de llegada de la señal, efectos atmosféricos (especialmente los efectos ionosféricos), propagación multicamino, actualización de la posición del satélite, sincronismo de reloj y cantidad de satélites visibles. El error más significativo es el que introducen los efectos de la ionosfera; sin embargo, se puede mitigar mediante si se reciben varias señales. El error global es del orden de metros para el GPS (típicamente, hasta 8 metros).



Señales transmitidas por satélites GPS

Galileo

Galileo constituye la alternativa europea a GPS. El sistema Galileo estará formado por una constelación mundial de 30 satélites en órbita terrestre media distribuidos en tres órbitas con un ángulo de 56° hacia el ecuador, a 23.222 km de altitud. El

segmento de control contiene dos centros de control en Oberpfaffenhofen, Alemania y Fucino, Italia. Además, hay dos centros **LEOP** (*Lunch and Early Operations*) en Toulouse, Francia y Darmstadt, Alemania. Igual que ocurre con GPS, también hay 5 estaciones de telemetría, seguimiento y puestos de control, 40 estaciones de sensorización, y 10 estaciones con enlace ascendente para vigilar y controlar a los satélites.

Los satélites, como en GPS, transmiten varias señales de navegación (E1, E5a, E5b, E6). La primera señal, E1, contiene códigos no cifrados a 1,023 MHz y datos de navegación modulados a 1575,42 MHz. Esta señal de velocidad de 125 bps está disponible para uso civil (denotado como servicios abiertos) servicios comerciales y de seguridad. Las señales segunda y tercera, E5a y E5b, son similares a E1, sin embargo, E5a y E5b son moduladas tanto a 1176,450 MHz y E5b 1207,140 respectivamente y ambos tienen una secuencia de código a 10,23 MHz. La señal E5a transporta datos de navegación y funciones de temporización. A diferencia de E1 y E5b, la señal E5a utiliza una modulación más robusta transmitiendo a 25 bps se apoya y está disponible sólo para los servicios abiertos. La última señal, E6, se destina para fines comerciales y sus datos están cifrados. Esta señal se transmite a 1278.750 MHz con una secuencia de código de 5.115 MHz. La velocidad a la que se transmite es de de 500 bps.

Otros sistemas de navegación

El principio de la determinación de la posición del usuario es el mismo también para otros sistemas de navegación, tales como:

- **GLONASS** (*GLObalnavaja NAVigacionnaja Sputnikovaja Sistema*) – Consta de 26 satélites colocados en tres órbitas. Un hecho interesante es que el sistema inicialmente utilizaba FDM (cada satélite transmite en diferentes frecuencias) y en consecuencia no era originalmente compatible con el GPS o Galileo. Sin embargo, a partir de 2011, Glonass también puede utilizar CDMA para ser compatible. El sistema de tierra se encuentra en Rusia.
- **COMPASS**, también conocido como BeiDou 2, es un sistema de navegación chino con 35 satélites. El despliegue actual solo ofrece servicios nacionales, aunque se espera que se extienda a todo el mundo de navegación en los próximos años.
- **IRNSS** (*Indian Regional Navigational Satellite System*) se compone de 7 satélites en el segmento espacial, 3 en órbita geostacionaria y 4 en órbita geosíncrona para cubrir el territorio indio.

8.3 Localización usando redes móviles

Las redes móviles permiten estimar la posición de un usuario basándose en el conocimiento de las posiciones de las estaciones base. Existen distintos métodos para llevar a cabo los cálculos pertinentes. Estos métodos difieren en los parámetros que utilizan para conocer la posición.

El primer método se conoce como *Cell Of Origin (COO)*. Este método introduce un error considerable y simplemente busca la estación base que da servicio al usuario e indica la posición de esa estación base.

Con el siguiente método *Time of Arrival (TOA)*, se consigue mayor precisión. En este caso se utiliza no sólo el identificador de celda que da servicio y además se mide el retardo entre que la estación del usuario transmite una señal y la recibe su estación base. Dado que la señal se propaga a la velocidad de la luz, la distancia del usuario de la estación de base se calcula fácilmente.

Si señal es recibida por más de una estación base el TOA se puede mejorar el método, dando lugar a lo que se conoce como *Time Difference of Arrival (TDOA)*. En este caso se tiene en cuenta el tiempo de propagación de la señal desde todas las estaciones base vecinas y se calcula la posición como una intersección de las distancias estimadas de cada estación base. En TDOA, la red procesa los tiempos de llegada. También existe el mecanismo conocido como *Enhanced Observed Time Difference (E-OTD)*, en el cual el terminal móvil se encarga del procesamiento de datos. El uso de E-OTD requiere un equipo especial llamado *Location Measurement Unit (LMU)* en la red. La LMU asegura la exactitud en el sincronismo y en los datos.

En caso que la estación base o el terminal móvil utilice antenas direccionales se puede triangular la señal recibida de forma similar a lo que ocurre en TDOA. Este método se denomina como **Angle of Arrival (AOA)**.

9 Tendencias futuras en las comunicaciones móviles

Seguramente las redes móviles futuras utilizarán nuevas técnicas y algoritmos que permitirán alcanzar velocidades de transmisión más altas y garantizarán una movilidad completa y sin fisuras. Para ello, será necesaria una mayor eficiencia espectral mediante cooperación entre celdas. Se espera que haya un gran despliegue de estas futuras redes móviles y las celdas tendrán un radio pequeño, especialmente en zonas densamente pobladas, y utilizarán un gran ancho de banda. Para maximizar las posibilidades que ofrece un despliegue denso, las celdas deberán estar interconectadas con fibra óptica de alta velocidad para evitar cuellos de botella en la interconexión. El futuro de las redes tiende a la heterogeneidad. Los terminales deberán ser capaces de utilizar varias tecnologías. Asimismo, en las futuras redes móviles se deberá garantizar la comunicación directa entre usuarios deben ser garantizados para ahorrar recursos radio. Otro aspecto que llama la atención es la mejora en la eficiencia energética. Un objetivo muy importante es que las redes móviles del futuro sean más respetuosas con el medio ambiente y reduzcan el consumo de energía. Para ello, la red deberá tener entidades que gestionen la distribución inteligente de los recursos radio, lo cual permitirá ahorrar energía de manera más eficiente.