LTE: Long Term Evolution



Tema: Capa Física y Planificación

en LTE



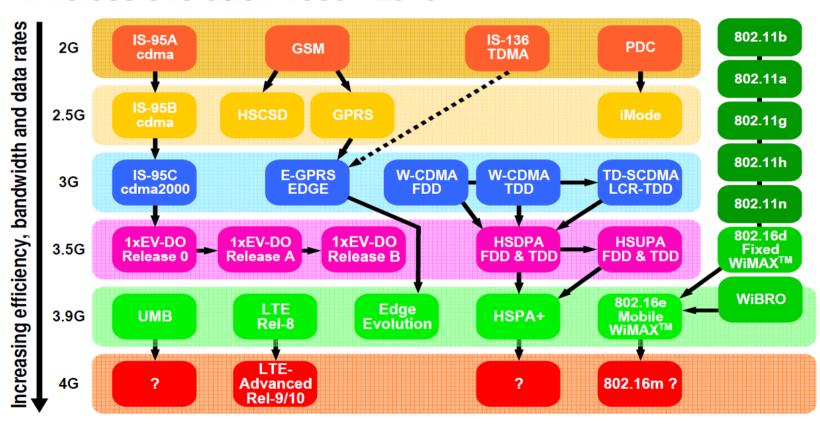






EVOLUCIÓN FAMILIAS ESTANDARES MÓVILES

Wireless evolution 1990 - 2010





(Origen: Agilent)

EVOLUCIÓN ESTANDARES MÓVILES: PRESTACIONES

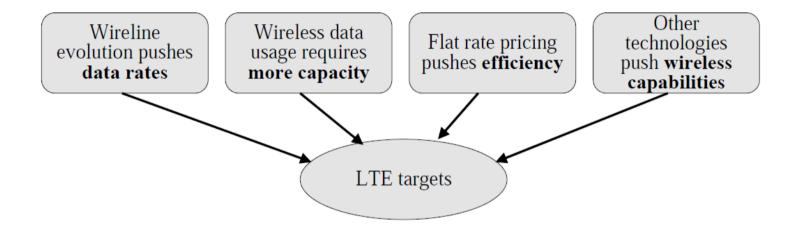
Cellular wireless peak data rates appear to be on track to grow by 100,000 between 1985 and 2015

Date	System	Peak data rate	Channel Bandwidth	Frequency reuse	Peak Spectral efficiency	Normalized efficiency
1985	AMPS	9.6 kbps	30 kHz	7 / 21	0.015	1
1992	GSM	9.6 – 14.4 kbps	200 kHz	4 / 12	0.032 - 0.048	2.1 – 3.2
1997	GPRS	171 kbps	200 kHz	4 / 12	.07	4.7
2000	EDGE	474 kbps	200 kHz	4 / 12	0.2	13.3
2003	W-CDMA	2 Mbps	5 MHz	1	0.4	26.6
2006	HSDPA	14 Mbps	5 MHz	1	2.8	187
2009	HSDPA+ 64QAM & 2x2 MIMO	42 Mbps	5 MHz	1	8.4	560
2011	LTE	100 Mbps	20 MHz	1	5	333
2012	LTE 2x2 MIMO	172.8 Mbps	20 MHz	1	8.6	576
2013	LTE 4x4 MIMO	326.4 Mbps	20 MHz	1	16.3	1087
2015	IMT-Advanced targets	1 Gbps	100 MHz	1	10	667

With such peak data rates future demand for capacity could be huge



FUERZAS IMPULSORAS Y OBJETIVOS LTE





GENESIS DE LTE: "LECCIONES APRENDIDAS DE 3G"

- Elevada complejidad del Núcleo de red en 3G en:
 - Equipos
 - Protocolos
 - Señalización

Lo que se traduce en costes y latencia altos.

- Uso poco eficiente de la anchura de Banda.
 - ➤ Se ocupan 5 MHz cualquiera que sea la tasa binaria, por ejemplo voz a 12,2 kb/s o datos a 384 kb/s.
- Prevalencia inicial de CS, aunque en 3,5G ya se da protagonismo a PS.



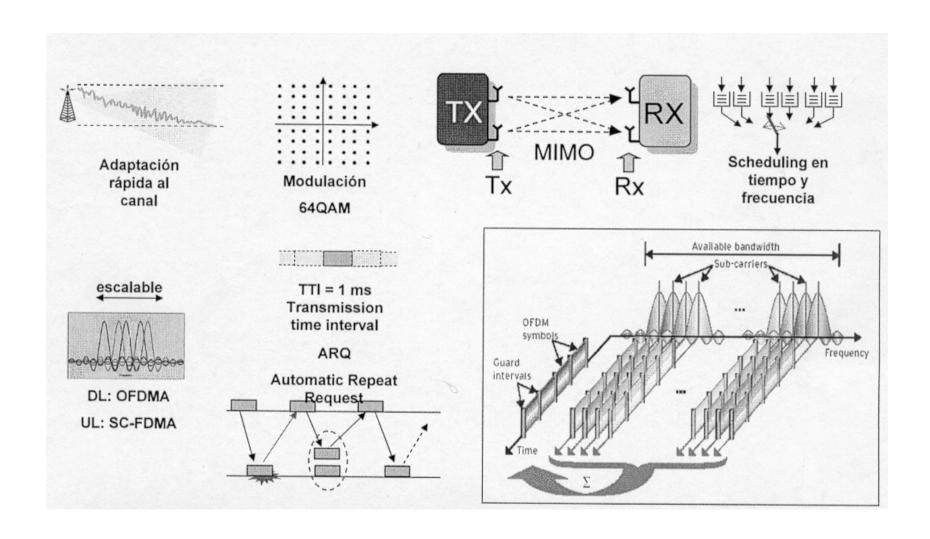
- Buen desempeño (performance) de los turbo códigos.
- Ventajas notorias de la planificación (Scheduling).
- Buen desempeño de la técnica AMC (Adaptive Modulation and Coding)
- Ventajas de la técnica ARQ "inteligente": HARQ. (Hybrid-ARQ)



- Además de incorporar esas características de HSPA+, en LTE se "exprime" al máximo la tecnología radio. Por ello:
 - nuevas técnicas de modulación y Se utilizan multiacceso: OFDMA y SC-FDMA.
 - > Se emplea la tecnología MIMO para aprovechar la propagación multitrayecto.
- Ambas tecnologías hacen un uso masivo del procesado digital de señales (DSP).



TECNOLOGÍAS SUBYACENTES EN LTE. RESUMEN



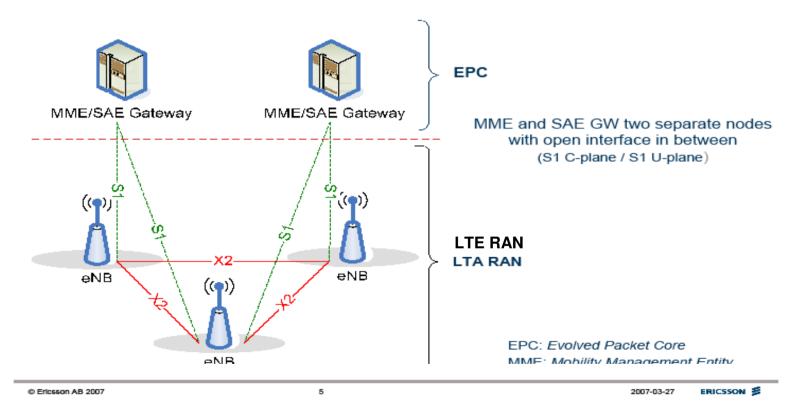


ARQUITECTURA Y MIGRACIÓN

- Arquitectura E-UTRAN única: EPS, Evolved Packet System.
- Basada en paquetes, aunque deberá soportar sistemas que admitan tráfico conversacional y en tiempo real.
- Soportará QoS de extremo a extremo.
- Facilidades de migración e interfuncionamiento



LTE/SAE - Overall Architecture





- Los Nodo B evolucionados (eNB), proporcionan la terminación de los protocolos hacia UE.
- Están interconectados entre si mediante la interfaz X2.
- Soportan el traspaso de los UE en el modo activo.
- Los eNB se conectan a través de la interfaz S1 con el núcleo de red evolucionado EPC (Evolved Packet Core).



- O El Nodo B desempeña básicamente las siguientes funciones:
 - Gestión Recursos de Radio (RRM).
 - > Asignación dinámica con planificación (Scheduling).
 - Control movilidad conexión.
 - Control admisión.
 - Control portador radio (radio bearer).



LTE: características portador radio

- Interfaces radio
 - ➤ Tecnología DL: OFDMA
 - Tecnología UL: SC-FDMA
- Modulación de datos
 - DL: QPSK, 16 QAM, 64 QAM
 - UL: BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM
- Cabezales RF: MIMO
 - > DL: 2 Tx / 2 Rx
 - ➤ UL: 1 Tx / 2 Rx
- Codificación de canal
 - Turbocódigos
- Canales
 - No hay canales dedicados



Ejemplo

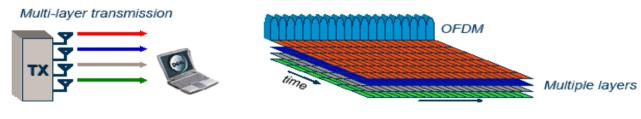
En las transparencias que siguen se ven dos ejemplos del acceso radio descendente:

- 1. Transmisión MIMO con 4 canales separados espacialmente (Transparencia 25).
- Planificación (selección) de destinatarios en función de la intensidad de señal en recepción, en tiempo y frecuencia. (Transparencia 26)



3G LTE - Downlink radio access

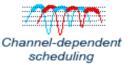
- Adaptive <u>Multi-Layer OFDM</u>
- Adaptive to channel conditions and spectrum scenarios
 - Time and frequency-domain channel adaptation
 - Multiple frequency bands, flexible bandwidth, duplex flexibility, ...
- Multi-layer transmission to provide very high data rates and high spectrum efficiency
- OFDM for robust broadband transmission, for lower-complexity multilayer transmission, and to enable frequency-domain channel adaptation





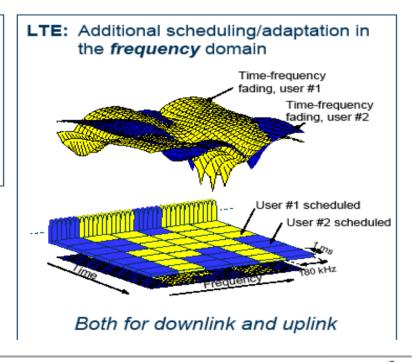
En LTE descendente se usa la flexibilidad de OFDM para la planificación/adaptación de las transmisiones.

- Select user and data rate based on instantaneous channel quality
- Scheduling/adaptation in time-domain already for HSPA





LTE scheduling/adaptation on a 1 ms × 180 kHz basis (one "Resource Block")

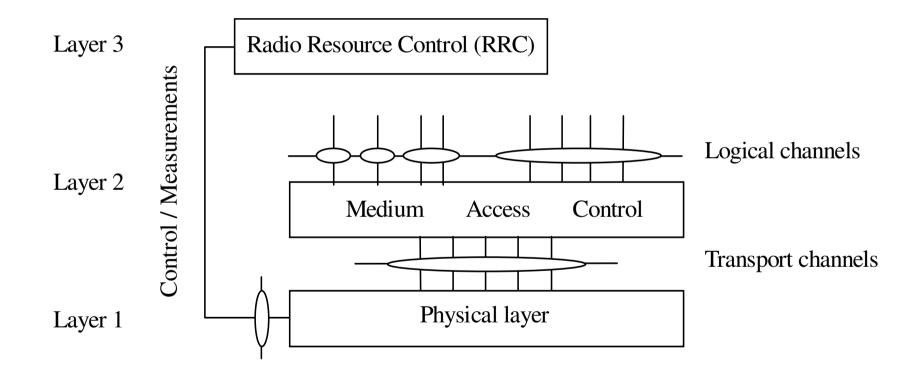


ERICSSON ≸ @ Ericsson AB 2007 2007-03-27



15

ARQUITECTURA GENERAL DE PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ RADIO LTE





- En la figura de la transparencia 35:
- 1. Las elipses representan los puntos de acceso al servicio (SAP).
- 2. La capa física ofrece el servicio de transporte a la subcapa MAC mediante canales de transporte.
- 3. La capa MAC ofrece diferentes canales lógicos a la subcapa RLC.
- 4. Hay enlaces de control de la capa 1 a la 3.



- De igual modo que en UMTS, en LTE se definen los canales como estructuras de datos:
 - Canales lógicos, que indican el tipo o naturaleza de la información que se intercambia.
 - ➤ Canales de transporte, que expresan como se estructura esa información según diferentes formatos de transporte, en los llamados bloques de transporte (TrBk:Transport Blocks). El contenido de cada TrBk es el conjunto de bits recogidos en un intervalo de transporte TTI (Transport Time Interval).
 - Canales físicos, que establecen como se transmiten los bits de transporte en las subportadoras OFDM, con arreglo a una organización temporal articulada en tramas, subtramas e intervalos.



Canales lógicos

Se han especificado 7 canales lógicos.

- ↑ Ascendente; ↓ Descendente
- ➤ BCCH ↓: Broadcast Control Channel Difusión de información de control de sistema.
- ➤ PCCH ↓: Paging Control Channel Aviso a UE con ubicación no conocida.
- DCCH↑↓: Dedicated Control Channel.
 Información de control hacia/desde un UE para configuración individual.



- CCCH↑↓: Common Control Channel.
 Información de control hacia/desde un UE cuando no hay asociación confirmada UE-eNB..
- ➤ MCCH↓: Multicast Control Channel Información de control para recepción múltiple.
- DTCH↓↑: Dedicated Traffic Channel Datos de usuario hacia/desde un UE.
- MTCH↓: Multicast Traffic Channel Datos para servicios MBMS.



Canales de Transporte

- Los canales de trasporte se estructuran en Bloques de Transporte (TrBk).
- La unidad de tiempo para el TrBk es el TTI (Transmision Time Interval) cuya duración es 1 milisegundo.
- En cada TTI hay un TrBk y su tamaño coincide numéricamente con la tasa binaria expresada en kbit/s.
 Con MIMO puede haber 2 TrBk por TTI.
- El formato de transporte TF (Transport Format) proporciona el tamaño del TrBk, modulación, puerto de antena, entre otros datos.



Canales de trasporte descendentes

BCH: Broadcast Channel.

Formato fijo.

Debe difundirse en toda la célula.

PCH: Paging Channel

Debe difundirse en toda la célula.

Soporta recepción discontinua (modo DRX).



DL-SCH: Down Link Shared Channel

Para datos y control; TTI = 1 ms.

Soporta HARQ, planificación (scheduling) en tiempo y frecuencia.

Multiplexación espacial (MIMO), Adaptación dinámica de tasa y configuración de haces de antena.

MCH: Multicast Channel.

Debe difundirse en toda la célula.

Soporta asignación semiestática de recursos.



- Canales de transporte ascendentes
 - UL-SCH: Uplink Shared Channel
 Para datos y control.
 Soporta HARQ y adaptación dinamica del enlace.
 Asignación semiestática de recursos.
 Posibilidad de configuración de haces de antena.
 - RACH: Radom Access Channel
 Para acceso inicial UE a la red.
 Riesgo de colisión. Control de contienda.



- Debe resaltarse la importancia que tienen en LTE los canales compartidos SCH ya que transportan tanto los datos de usuario como numerosas e importantes informaciones de señalización, como se ve en las multiplexaciones de las transparencias anteriores.
- Como, además, los SCH son canales compartidos el estándar ha desarrollado procedimientos para encaminar esas informaciones de señalización a los destinatarios de las mismas.



Funciones de la Capa Física

- Funciones de la capa física para proporcionar el servicio de transporte:
 - Detección de errores en el canal de transporte e indicación a las capas superiores.
 - Codificación/decodificación FEC en el canal de transporte.
 - Combinación "soft" de HARQ.



- Ajuste de la tasa de canal de transporte codificado al canal físico.
- Correspondencia entre el canal de transporte y el canal físico
- Control de la potencia de los canales físicos.
- Modulación y demodulación de los canales físicos.
- > Sincronización de tiempo y de frecuencia.



- Mediciones radio e indicación a capas superiores.
- Procesado de antenas en MIMO.
- Diversidad de TX.
- > Formación de haces de antena.

Descripción General de la Capa Física

Acceso múltiple

> DL: OFDM con CP.

➤ UL: SC-FDMA con CP

CP: Prefijo cíclico

Dos modos dúplex: FDD (frecuencias emparejadas) y TDD (frecuencias no emparejadas).



Módulo de acceso: RB: Resource Block bidimensional: Tiempo y frecuencia.

- □ Frecuencia: 12 subportadoras con $\Delta f = 15$ kHz; 24 subportadoras con $\Delta f = 7,5$ kHz.
- □Tiempo: 0,5 ms.

- Posibles Modos de funcionamiento de la capa física:
 - FDD (Frequency Division Duplex), con bandas diferenciadas para cada sentido, DL y UL.
 - > TDD (Time Division Duplex), con igual banda para ambos sentidos.
 - ➤ Half-duplex FDD, con cierto desplazamiento temporal entre los sentidos DL y UL.
 - ➤ eMBMS (evolved Multimedia Broadcast and Multicast Service), con la transmisión coordinada desde varios eNB.



Canales Físicos

- O Constituidos por recursos tiempo-frecuencia RB, resource blocks para dar servicio a los canales de transporte.
- Hay 9; 6 descendentes y 3 ascendentes.
- La codificación de canal y la modulación dependen de cada tipo de canal físico.



Canales Físicos Descendentes

PBCH: Physical Broadcast Channel

Transmite información específica de la célula

Modulación: QPSK

PMCH: Physical Multicast Channel

Difunde información para el servicio eMBMS.

Modulaciones: QPSK, 16QAM, 64QAM.

PDCCH: Physical Down Link Control Channel

Planificación de UE; Acuses de recibo (ACK/NACK)

Modulación: QPSK





PDSCH: Physical Down Link Shared Channel.

Envío de datos de usuario y avisos.

Modulaciones: QPSK, 16QAM, 64QAM.

PCFICH: Physicall Control Format Indicator Channel.

Indica el número de símbolos de PDCCH por

subtrama.

Modulación: QPSK.

PHICH: Physical Hybrid ARQ Indicator Channel.

Lleva la información de HARQ: ACK/NACK.

Modulación: BPSK en ejes I,Q con códigos

expansores Walsh.



34

Canales Físicos Ascendentes

PRACH: Physical Random Access Channel.

Para establecimiento conexiones.

PUCCH: Physical Uplink Control Channel.

Planificación UE, ACK/NACK.

Modulaciones: BPSK, QPSK.

PUSCH: Physical Uplink Shared Channel.

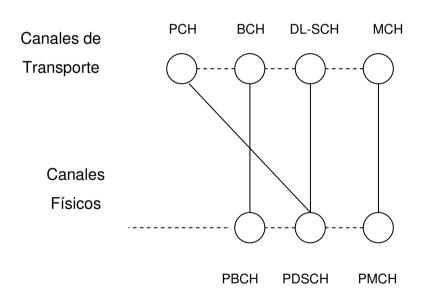
Envío datos de usuario.

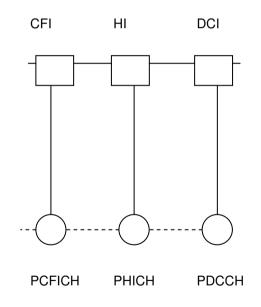
Modulaciones: QPSK, 16QAM, 64QAM



Correspondencia Canales de Transporte – Canales Físicos

Enlace descendente



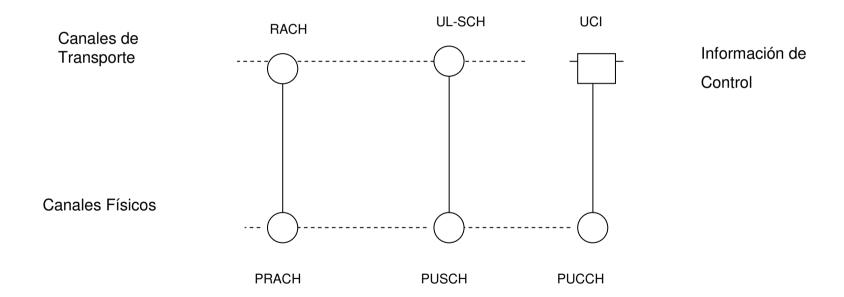


Información de Control





Enlace ascendente





ESTRUCTURA DE LA CAPA FÍSICA

1. Dominio del tiempo

- En el dominio del tiempo, la capa física se estructura en tramas y subtramas.
- Referencia temporal común: unidad de tiempo.

$$T_s = \frac{1}{15.000 \cdot 2.048}$$
 segundos $\Rightarrow \frac{25}{768} = 0.0325$ μ s

Se ha elegido este valor de Ts porque es un submúltiplo del periodo de chip de UMTS.

$$\frac{T_{chip}}{T_s} = \frac{1/3,84}{25/768} = 8$$

Esto permite utilizar un solo reloj para la base de tiempos de equipos binorma UMTS/LTE.





La trama LTE tiene un periodo:

$$T_f = 307.200 T_s \Rightarrow 10 \text{ ms}$$

Tipos de trama

Logo

- > Tipo 1 para FDD.
- > Tipo 2 para TDD únicamente

La trama consta de 20 intervalos (slots, TS) con una duración cada uno:

Tslot =
$$15360 \cdot Ts = 0.5 \text{ ms}$$

Dos intervalos consecutivos forman una subtrama (subframe, SF) que dura

$$TSF = 1 ms$$

Este tiempo de 1 ms es el de referencia para formar los bloques de transporte y se llama TTI (Transport Time Interval).



La Trama Tipo 2 consta de 2 semitramas de 5 ms cada una.

Cada semitrama se subdivide en 5 subtramas de 0,5 ms. (0 - 4 y 5 - 9).

Las subtramas 1 y 6 son especiales con 3 campos de datos:

DwPTS: Downlink Pilot Time Slot.

GP: Guard Period.

UpPTS: Uplink Pilot Time Slot.

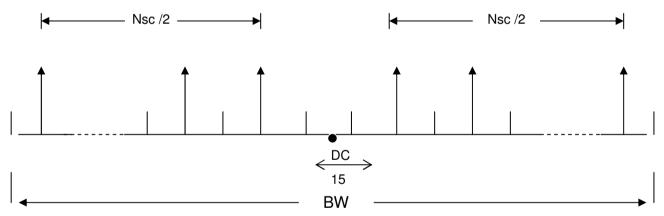
que se emplean para señalización/control y conmutación DLIUL.

En lo que sigue nos referimos únicamente a las Tramas Tipo 1.





- Dominio de la frecuencia:
- Nc subportadoras consecutivas, separadas entre si 15 KHz, que se manejan en bloques de 12.
- La configuración en banda de base para el DL es de dos grupos de Nc /2 subportadoras cada uno y la frecuencia central ("DC carrier") no se utiliza. En su lugar se insertará la portadora RF en la modulación final.



Anchura de banda:

Logo

$$BW = 0.015 \cdot (N_c + 1) \quad (MHz)$$

Ejemplo: $N_c = 72$ $BW = 1.095MHz$



- Una característica básica de LTE, es que ofrece una anchura de banda variable pudiéndose acomodar por ello servicios con diferentes necesidades de banda.
- Esta anchura de banda variable se consigue asignando a las transmisiones un número diferente de bloques de recursos.
- Se han normalizado las siguientes anchuras de banda en LTE:

1,4 MHz; 3 MHz; 5 MHz; 10 MHz; 15 MHz; 20 MHz



Recursos Físicos

- En LTE el recurso físico básico, es bidimensional: tiempofrecuencia.
- Se denomina Bloque de recursos RB (Resource Block) o PRB (Physical Resource Block).
- Esta constituido por:
 - ➤ 12 subportadoras en el dominio de la frecuencia, separadas 15 KHz entre si. Anchura de banda: 12 x 15 = 180 KHz.
 - ➤ 1 Intervalo (TS) en el dominio del tiempo, de 0,5 ms con 6 ó 7 símbolos.
- En el caso de el MBMS, el RB tiene 24 subportadoras separadas 7,5 KHz. La anchura total es también 180 KHz.



 El recurso elemental se llama elemento de recursos: RE (Resource Element), que es una subportadora modulada en el tiempo de un símbolo. Cuando se envían 7 simbolos por slot (caso habitual), las dimensiones del RE, son:

$$15 \text{ KHz} \times \frac{0.5}{7} \text{ms}$$

En consecuencia un RB consta de

$$12 \times 7 = 84 RE$$

Con dimensiones de (12 x 15) KHz x 0,5 ms.

- En la Tabla que sigue se dan:
 - Anchuras de banda normalizadas (MHz)
 - Anchuras ocupadas = 0,18 · Número de bloques de recursos (MHz).
 - Número de bloques de recursos NRB.
 - Número de subportadoras NSC = 12 · NRB
 - Frecuencia de muestreo para la transformada discreta de Fourier usada para generar OFDM.
- Obsérvese que la anchura "ocupada" es menor que la anchura normalizada para dejar espacio a los límites del espectro.



Anchura de Banda nominal (MHz)	1,4	3	5	10	15	20
Anchura de Banda ocupada Transmisió n (MHz)	1,08	2,7	4,5	9	13,5	18
Número de RB Nes o Nes	6	15	25	50	75	100
Número de Subportad oras	72	180	300	600	900	1200
Frecuencia de muestreo (MHz)	1,92	3,84	7,68	15,36	23,04	30,72



47

Parámetros LTE en el dominio del tiempo

- Recordamos la estructura básica
 - ➤ 1 Trama de 10 ms. con 20 intervalos (slots) de 0,5 ms y 10 subtramas (SF, subtramas) de 1 ms.
- La unidad de tiempo de referencia es Ts = 1/(15.000 -2048) segundos.
- Las duraciones de los símbolos y del periodo cíclico se expresan en unidades de Ts.



- Se especifican tres tipos de slots:
 - Normal, con 7 símbolos y prefijo cíclico "normal".
 - De 6 símbolos con prefijo "extendido".
 - De 3 símbolos con prefijo super-extendido para transmisiones de multidifusión.
- O Todos los símbolos tienen un periodo útil Tu = 2048 Ts =200/3µs igual a 1/15000 s para mantener la ortogonalidad de las subportadoras.



Características del slot de 7 símbolos

Periodo útil de los símbolos:

$$T_u = 2048 \, T_s = \frac{200}{3} \, \mu s$$

El prefijo cíclico para el símbolo 0 dura 160 Ts:

$$T_{cp}^0 = 160 T_s = \frac{125}{24} \approx 5.2 \mu s$$

 $T_{cp}^0 = 160 T_s = \frac{125}{24} \approx 5.2 \mu s$ O El prefijo cíclico para los símbolos 1 a 6 dura 144 Ts :

$$T_{cp}^{i} = 144 T_{s} = \frac{75}{16} \mu s \approx 4,7 \mu s.$$
 (i = 1,..,6)

Características del slot de 6 símbolos

Periodo útil de los símbolos

$$T_u = 2048 \, T_s = \frac{200}{3} \, \mu s$$

 El prefijo cíclico es igual para todos los símbolos dura 512 Ts

$$T_{cp} = 512 T_s = \frac{50}{3} \mu s \approx 16,7 \mu s.$$

Características del slot de 3 símbolos

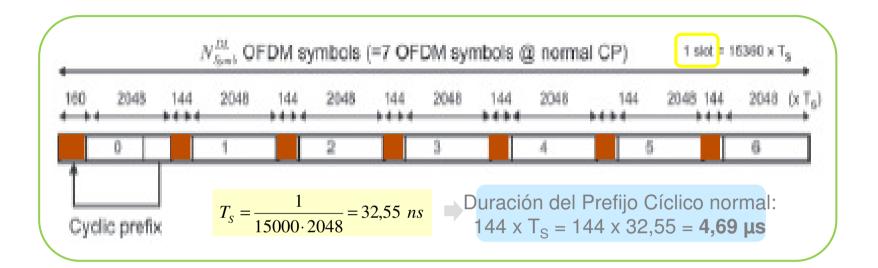
Periodo útil de los símbolos

$$T_u = 4096 \ T_s = \frac{400}{3} \mu s \approx 133,3 \mu s.$$

El prefijo cíclico es igual para todos los símbolos y dura

$$T_{cp} = 1024 T_s = \frac{100}{3} \mu s \approx 33.3 \mu s.$$

Estructura del slot temporal



- Existen tres tipos de slots diferentes (todos con duración de 0.5 ms):
 - ► El de la figura superior, con 7 (1+6) símbolos-OFDM, y prefijo cíclico normal.
 - ► Un segundo con 6 símbolos-OFDM iguales, con 2.048 elementos por símbolo y prefijo cíclico extendido de 512 elementos.
 - ► Un tercero, con 3 símbolos-OFDM iguales, con 4.096 elementos por símbolo (∆ f = 7,5 kHz) y prefijo cíclico extendido de 1.024 elementos.



Número de símbolos y prefijo cíclico

OFDM configuration (do	ownlink)	Cyclic prefix length $N_{{\it CP},l}$		
Normal cyclic prefix	Δf = 15 kHz	160 for $l = 0$ 144 for $l = 1,2,,6$		
Fortended and line of the	$\Delta f = 15 \text{ kHz}$	512 for $l = 0,1,,5$		
Extended cyclic prefix	$\Delta f = 7.5 \text{ kHz}$	1024 for $l = 0,1,2$		
SC-FDMA configuration	(uplink)	Cyclic prefix length $N_{{\it CP},l}$		
Normal cyclic prefix		160 for $l = 0$ 144 for $l = 1,2,,6$		
Extended cyclic prefix		512 for $l = 0, 1,, 5$		

Configuration	Number of symbols $N_{\mathrm{symb}}^{\mathrm{DL}}$	Cyclic Prefix length in samples	Cyclic Prefix length in µs	
Normal cyclic prefix Δf=15 kHz	7	160 for first symbol 144 for other symbols	5.2 µs for first symbol 4.7 µs for other symbols	
Extended cyclic prefix Δf=15 kHz	6	512	16.7 µs	
Extended cyclic prefix Δf=7.5 kHz	3	1024	33.3 µs	



Bloques de recursos y símbolos

Número de subportadoras (**SC**) por **RB** $(12 \times 15 = 24 \times 7,5 = 180 \text{ kHz})$

Número de símbolos (**symb**) por **RB**, en DL y UL

Downlink con	figuration	N_{sc}^{RB}	N_{symb}^{DL}	
Normal cyclic prefix $\Delta f = 15 \text{ kHz}$		12	7	
Extended evelia profix	Δf = 15 kHz	12	6	
Extended cyclic prefix	$\Delta f = 7.5 \text{ kHz}$	24	3	
Uplink confi	guration	$\left(oldsymbol{N_{sc}^{RB}} ight)$	$\left(N_{symb}^{UL} ight)$	
Normal cyclic prefix		12	7	
Extended cyclic prefix		12	6	



6 -> [**6** x (512 + 2048)] x T_S = 15.360 x [1 / (15000 x 2048)] = 0,5 ms

 $3 \rightarrow [3 \times (1024 + 4096)] \times T_S = 15.360 \times [1 / (15000 \times 2048)] = 0.5 \text{ ms}$



- El PRB se describe en términos de la rejilla de recursos (Resource Grid). Cada elemento de la rejilla se denomina Elemento de Recurso (Resource Element, RE).
- Un RE es una subportadora modulada con M niveles (M = 4, 16, 64 según sea QPSK, 16 QAM o 64 QAM) en el tiempo de un símbolo,
- La rejilla tiene:

$$N_{RE} = N_{RB} \times N_{SC}^{RB} \times N_{Symb}^{SC}$$

elementos de recursos

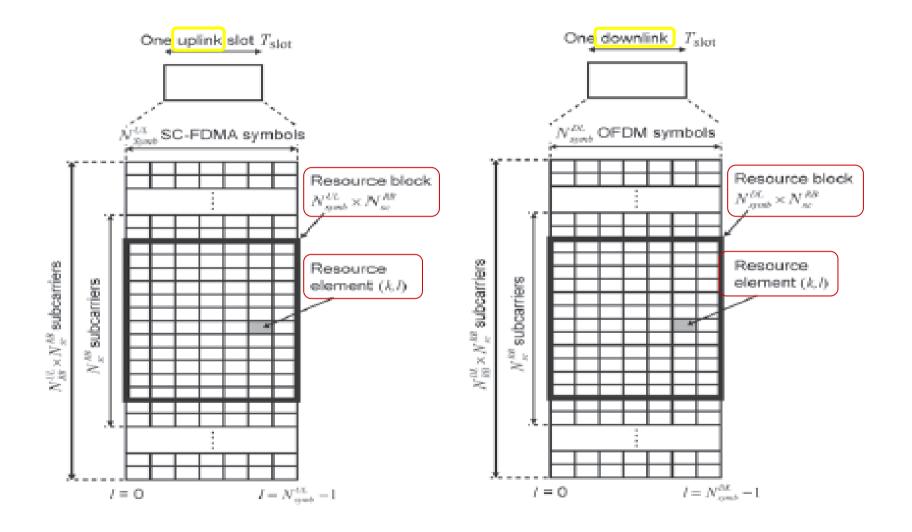
Ejemplo

$$N_{RB} = 1 \quad N_{SC}^{RB} = 12 \quad N_{Symb}^{SC} = 7$$

$$N_{RE} = 1 \times 12 \times 7 = 84$$



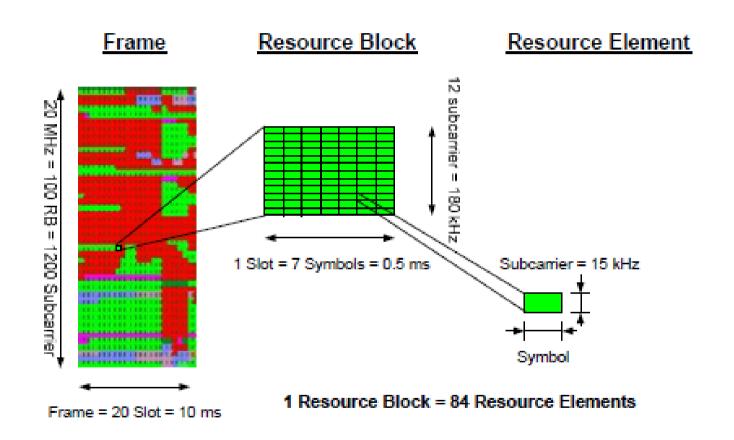
Estructura t, f para UL y DL





Logo

Ejemplo: trama, RB Y RE





58

CAPACIDADES DE LOS ELEMENTOS DE LTE

- A continuación se facilitan datos de capacidad de los elementos constitutivos de las señales LTE en términos de número de bits y tasas binarias (velocidades de bits).
- Recuérdese que el tamaño del bloque de transporte (que ocupa una subtrama) coincide numéricamente con la tasa binaria expresada en kbit/s.
 - TrBk(Bits)=R(kbit/s)·1 ms



Capacidades básicas de LTE

1. Número de RE por trama:

$$N_{RE}^{Trama} = N_{RB} \cdot 12 \cdot N_{symb}^{TS} \cdot 20$$

$$CP - N$$
 $N_{RE}^{Trama} = 1680 \cdot N_{RB}$

$$CP - E$$
 $N_{RE}^{Trama} = 1440 \cdot N_{RB}$

Los cálculos de la capacidad real se realizan evaluando el número de RE/trama disponibles para datos, descontando los utilizados para señalización y control.



2. Número de bits y Tasa binaria por RE

$$N_{bits}^{RE} = \log_2 M$$
 (bits)

$$R_{RE} = \frac{N_{symb}^{TS}}{(0.5/N_{symb})} = 2 \cdot N_{symb} \cdot \log_2 M \quad (Kb/s)$$

- ightharpoonup CP normal $R_{RE} = 14 \cdot \log_2 M(Kb/s)$
- ightharpoonup CP extendido $R_{RE} = 12 \cdot \log_2 M(Kb/s)$

2. Número de bits y Tasa binaria por RB

$$N_{bits}^{RB} = 12 \cdot N_{symb}^{TS} \cdot \log_2 M (bits)$$

$$R_{RB} = \frac{N_{bits}^{RB}}{0.5} = 24 \cdot N_{symb}^{TS} \cdot \log_2 M (Kb/s) = 12 \cdot R_{RE} \quad (Kb/s)$$



4. Número de bits por subtrama

$$N_{bits}^{SF} = N_{RB} \cdot 12 \cdot 2 \cdot N_{symb}^{TS} \cdot \log_2 M \quad (bits)$$

Como la subtrama dura 1 ms la tasa binaria (Kb/s) coincide con el número de bits.

$$R_{SF} = N_{bits}^{SF} (kb/s)$$



Ejemplo (CP normal)

$$N_{RB} = 6$$
 ; $N_{symb}^{TS} = 7$; $M = 16(16QAM)$

$$N_{bits}^{SF} = 24 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 4 = 4032$$

$$R_{SF} = 4032 \text{ Kb/s} \Rightarrow 4{,}032 \text{ Mb/s}$$



En la transparencia 86 se recogen valores de las capacidades teóricas máximas de LTE (capacidades brutas) en Mbit/s con prefijo cíclico normal para las diferentes anchuras de banda normalizadas.

Se han obtenido aplicando las expresiones anteriores.

También se indica el número de bloques de recursos (RB) para cada anchura de banda.

Recuérdese que en una aplicación puede asignarse a un usuario un número de RB variable de 1 a 110.

Por ejemplo, en una red LTE con BW=5 MHz pueden asignarse un usuario de 1 a 25 RB.

El numero de RB con el de símbolos y la modulación determinará la capacidad.



Capacidades brutas LTE

TASAS BINARIAS MÁXIMAS (Mb/s) CP NORMAL					
1,4	3	5	10	15	20
6	15	25	50	75	100
2,016	5,040	8,400	16,800	25,200	33,600
4,032	10,080	16,800	33,600	50,400	67,200
6,048	15,120	25,200	50,400	75,600	100,800
12,096	30,240	50,400	100,800	151,200	201,600
	1,4 6 2,016 4,032 6,048	1,4 3 6 15 2,016 5,040 4,032 10,080 6,048 15,120	1,4 3 5 6 15 25 2,016 5,040 8,400 4,032 10,080 16,800 6,048 15,120 25,200	1,4 3 5 10 6 15 25 50 2,016 5,040 8,400 16,800 4,032 10,080 16,800 33,600 6,048 15,120 25,200 50,400	1,4 3 5 10 15 6 15 25 50 75 2,016 5,040 8,400 16,800 25,200 4,032 10,080 16,800 33,600 50,400 6,048 15,120 25,200 50,400 75,600



66

SEÑALES FÍSICAS

- Las señales físicas transportan información necesaria para la sincronización temporal, identificación de la célula servidora y estimación del canal.
- En el enlace descendente (DL) hay tres:
 - PSS (Primary Synchronization Signal)
 Obtención temporización del intervalo y parte de la identidad de la célula.
 - SSS (Secundary Synchronization Signal)
 Obtención temporización de la trama e identidad completa.
 - RS (Reference signal)
 Estimación función de transferencia del canal DL.



En el enlace ascendente (UL) hay dos:

DMRS: Demodulation Reference Signal Sincronización y estimación del canal UL

SRS: Sounding Reference Signal

Estimación de canal para planificación de frecuencia en el UL.



PSS

- La Primary Synchronization Signal (PSS) se transmite dos veces por trama, en el último símbolo-OFDM de los slots 0 y 10.
- Ocupa siempre las 62 subportadoras centrales del canal que utilice LTE, lo cual facilita su búsqueda, aunque se reservan 72 subportadoras (6 RB).
- Las subportadoras-PSS se modulan con una secuencia, en el dominio espectral, de Zadoff-Chu (misma potencia, diferente fase), que posee una excelente autocorrelación.
- Sirve para identificar la temporización, el centro de la banda, y la identidad de la célula (una de las tres) dentro del grupo de identidades.



SSS

- La Secondary Synchronization Signal (SSS) se transmite dos veces por trama en el penúltimo símbolo OFDM de los slots 0 y 10 y en las mismas subportadoras que la PSS.
- Ocupa, también, las 62 subportadoras centrales del canal que utilice LTE, lo cual facilita su búsqueda, aunque se reservan 72 subportadoras (6 RB).
- Sirve para identificar el grupo de identidades de célula, de los 168 posibles.
- Existen, pues, 504 (168 grupos x 3 identidades/grupo) posibles identidades de célula, determinándose el grupo por la SSS, y, dentro de él, la célula por la PSS.



Identidad de célula

Se designa por PLCI

$$\begin{bmatrix} Physical & Layer \\ Cell & Identity \\ PLCI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Physical & Layer \\ Cell & Identity & Group \\ PLCIG \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Physical & Layer \\ Identity \\ PLI \end{bmatrix}$$

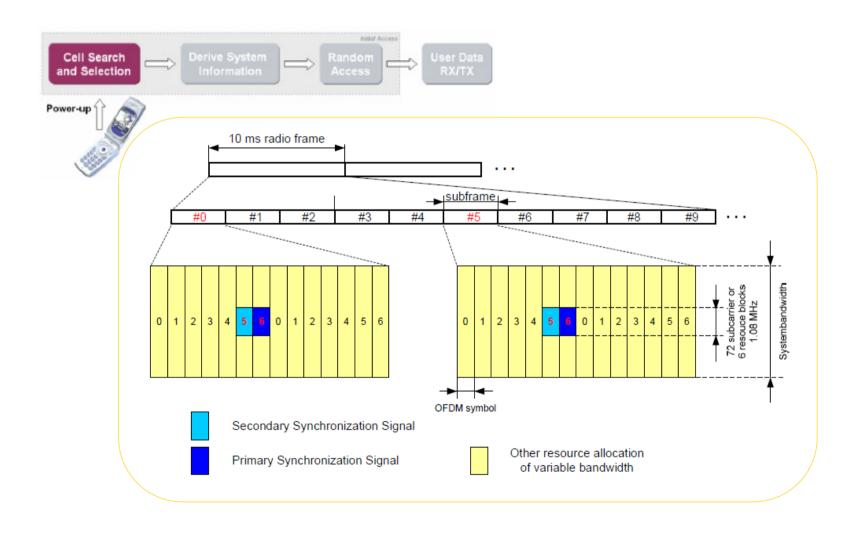
(504) (168) (3)
$$N_{ID}^{cell}$$
 $N_{ID}^{(1)}$ $N_{ID}^{(2)}$

$$N_{ID}^{cell} = 3 \times N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)}$$

 $N_{(ID)}^{(1)}$... Se obtiene de la señal SSS

 $N_{ID}^{(2)}$... Se obtiene de la señal PSS

Sincronización





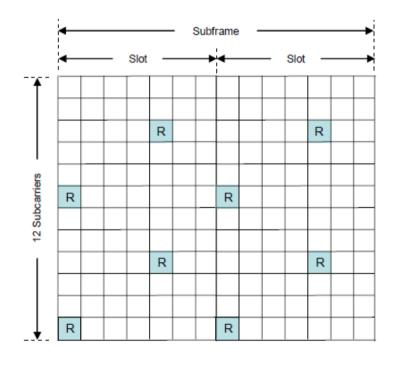
72

RS: señales de referencia DL

- Recuérdese que la transmisión de estas señales identifica los puertos de antena (antenna ports)
- En la configuración elemental, con un solo puerto, por cada RB, se utilizan dos subportedoras y , es decir 4 elementos de recursos.
- En el caso de dos puertos de antena se habilitan 4 subportadoras y 4 x0,5/7 ms, es decir se ocupan 8 elementos de recursos y se radian de forma alternativa por las dos antenas.
- Para cuatro puertos de antena se requieren 12 elementos de recursos

Canales Físicos Descendentes

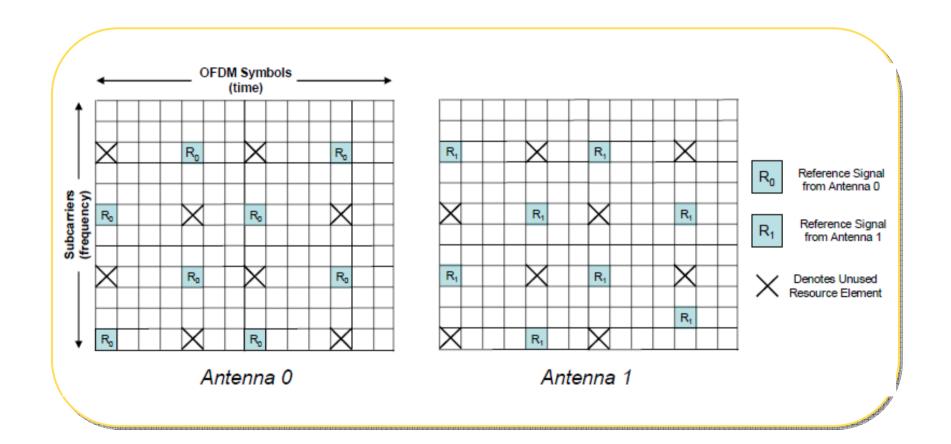
- Las separaciones entre subportadoras y tiempos se han elegido de forma que el canal radio pueda considerarse constante (sin variación) entre esos intervalos.
- La separación en frecuencia es 5 x 15 = 75 KHz, que debe ser menor que la anchura de banda de coherencia de canal.
- La separación temporal es $\frac{3 \times 0.5}{7} = 0.21 ms$.
 - o y debe ser menor que el tiempo de coherencia del canal
- En las transparencias 109 a 111, se muestra la ubicación de las señales de referencia para 1, 2 y 4 puertos de antena.



- Adquirida la sincronización mediante las señales PSS y SSS, el UE puede evaluar la respuesta del canal, amplitud y fase, mediante las Reference Signals (RS).
- Las RS se transmiten cada seis subportadoras (dominio espectral), en los símbolos-OFDM 1º y 5º de cada slot (con prefijo cíclico normal) o en los símbolos 1º y 4º (con prefijo cíclico extendido).

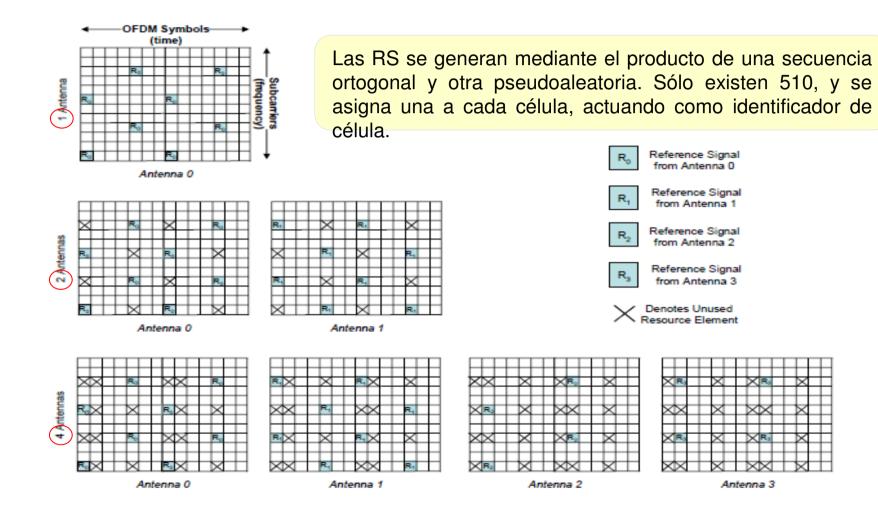


Señales de referencia (dos antenas)





Señales de referencia DL (1, 2, 4 antenas)





Logo

- Las señales de referencia DL tienen prioridad sobre todas las demás, es decir, los elementos de recursos reservados o utilizados por ellas no pueden emplearse para otros usos.
- Ello supone una pérdida de capacidad que se cuantifica mediante el llamado "overhead" (Tara).
- A continuación se presenta el cálculo de la Tara debida a estas señales.



CANALES FÍSICOS

- Una vez conocidos los recursos físicos RB vamos a ver, de forma resumida los canales físicos usados en LTE, sus funciones básicas y los recursos que utilizan.
- El estándar es muy flexible y admite múltiples posibilidades de configuraciones para estos canales por lo que la presentación será somera y se referirá a configuraciones básicas.
- Para más información debe consultarse la especificación TS 36.211.



Canales Físicos DL

- PBCH (Physical Broadcast CHannel):
 - Transporta la información básica del sistema: identificación de la red, bandas de operación, longitud del prefijo cíclico, configuración MIMO, en el llamado Master Information Block, MIB.
 - Se transmite en las 72 subportadoras centrales (6RB) del canal LTE, en los símbolos-OFDM 0, 1, 2 y 3 del slot 1.
 - No usa los RE ocupados por las RS.
 - Utiliza modulación QPSK.
 - Cada puerto de antena radia su propio PBCH.



- PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)
 - Transporta los paquetes de datos de usuarios, con TTI =1 ms.
 - Transporta los SIB (System Information Blocks).
 - Transporta los avisos.
 - Ocupa los RE no utilizados por RS, PSS, SSS, PBCH y PBCCH
 - Asignado por planificación (scheduling).



- ➤ Modulaciones QPSK, 16QAM, 64QAM.
- ➤ Turbocódigos 1/3 con HARQ.
- > Diferentes modos diversidad, multiplexación espacial con MIMO.
- > Sus RB y capacidad se reparten entre todas las conexiones activas.



- PDCCH (Physical Downlink Control Channel)
 - ➤ Lleva la DCI (Downlink Control Information) y el HARQ.
 - ➤ Puede usar 1,2 o 3 símbolos (BW>1,4 MHz) o 2,3,4 símbolos (BW=1,4 MHz).
 - Consiste en uno o más CCE (Control Channel Element).



- ➤ Cada CCE consta de 9 REG (Resource Element Group) con 4 RE cada REG, para:
 - Asignación bloques de recursos.
 - > Ajunte modulación-codificación.
 - ➤ Control de potencia.
 - Versión de redundancia HARQ
 - Codificados con 4 símbolos PSK en otras tantas subportadoras.
- En consecuencia 1 CCE = 9 X 4= 36 subportadoras.



O Puede haber 1, 2, 4, 8 CEE según el formato del PDCCH

Formato	CCE	REG	Símbolos	Bits
0	1	9	36	72
1	2	18	72	144
2	4	36	144	288
4	8	72	288	576

- O En una subtrama pueden transmitirse múltiples PDCCH.
- Se ubica en los n primeros símbolos OFDM de cada subtrama. (n=1, 2, 3 o 2, 3, 4)



- PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel)
 - Indica el número de símbolos (formato) del PDCCH en la subtrama.
 - Utiliza 16 RE agrupados en 4 cuadrúpletas de 4 RE cada una en el primer símbolo del primer intervalo de cada subtrama.
 - La ubicación de las cuadrúpletas depende de la anchura de banda y de la identidad de la célula.



- ➤ Información: 32 bits con modulación QPSK ocupando 16 subportadoras con 4 REGs de 4 subportadoras, distribuidas en GRBs para tener diversidad de frecuencia.
- > Si se usa MIMO, lleva precodificación.
- Se transmite en los mismos puertos de antena que el PBCH.



- PHICH (Physical Hybrid ARQ Indication Channel)
 - Retorna confirmaciones ACK/NACK de los datos UL enviados por el PUSCH.
 - Estructurado en Grupos. Cada grupo múltiples PHICH diferenciados por secuencias ortogonales de bits.
 - Un grupo ocupa 12 REs (3 cuadrúpletas) ubicados según la identidad de la célula.

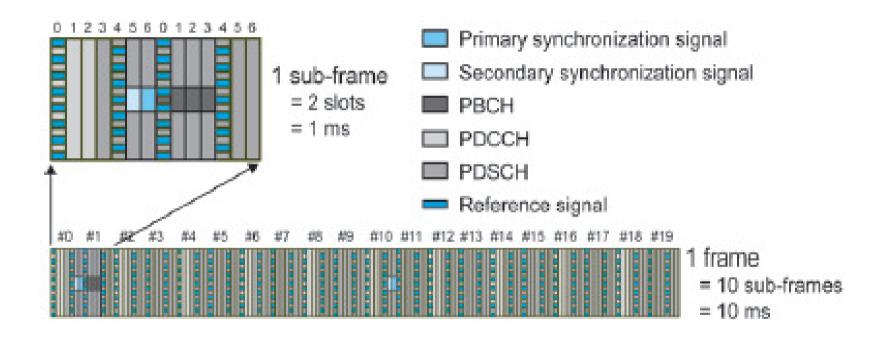


- Cada mensaje PHICH tiene 2 coordenadas: indicación del grupo e indicación de la secuencia.
- Usa modulación BPSK por lo que consta de 12 bits.
- O Puede tener una duración normal (1º símbolo de la subtrama) o extendida (en los 3 primeros símbolos de la subtrama).



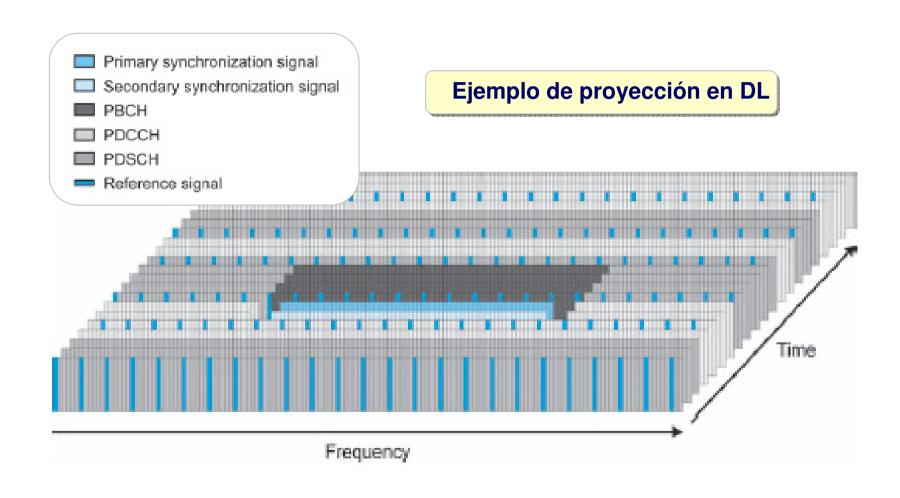
Proyección Canales-Medios Físicos

Ejemplo de proyección en DL (con prefijo cíclico normal)





Visión Proyección Tiempo-Frecuencia





91

Señales de referencia UL

Hay 2: DMRS Y SRS.

- La DMRS (DeModulación Reference Signal) se utiliza para la sincronización y estimación del canal ascendente.
- O Hay 2 tipos:

Logo

- > DMRS para el PUSCH.
- DMRS para el PUCCH.
- La DMRS/PUSCH se transmite en el cuarto símbolo (con CP normal) o en el tercer símbolo (con CP extendido) de cada RB asignado al PUSCH.





- La DMRS/PUCCH ocupa 2 RB en cada subtrama cuando se transmite esta señal.
- El número de símbolos dedicados a la DMRS/PUCCH, depende del formato del PUCCH y del tipo de prefijo cíclico.
- O Por ejemplo, con el formato 1, se utilizan 3 símbolos en 2 RB, es decir, 3 x 24 = 72 elementos de recursos.

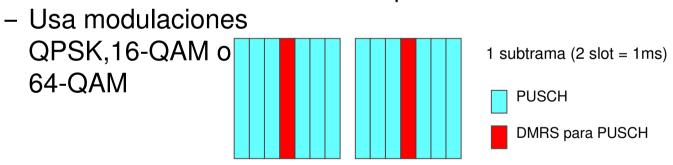


- La SRS (Sounding Reference Signal) se utiliza para medir y estimar el canal ascendente en determinadas sub-bandas para facilitar la planificación y adaptación del enlace.
- Se transmite en el último símbolo de la subtrama en subportadoras no usadas por el PUCCH.
- El número de RE utilizados depende de dos parámetros:
 "Bandwidth" (0..3) propio del UE y "Bandwidth Configuration" (0..7) característico de la célula.



Canales Físicos UL

- PUSCH (Physical Uplink Shared CHannel):
 - Canal compartido por todos los UE.
 - Transporta datos de usuario e información de control del UE y la DMRS, Demodulation Reference Signal.
 - El UE conoce los recursos asignados para el UL mediante el DCI (Downlink Control Information), que recibe cuatro subtramas antes por el PDCCH.

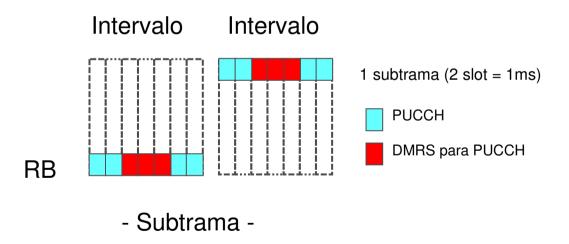




- PUCCH (Physical Uplink Control Channel)
 - > Transporta información de control de UE:
 - ACK/NACK de uno a dos paquetes descendentes.
 - CQI (Channel Quality Indication).
 - PMI (Precoding Matrix Information) y/o RI (Rank Indication) para MIMO.
 - SR (Scheduling Request) para pedir recursos de canal descendente.
 - ➤ El UE sólo utiliza PUCCH si no tiene datos de usuario que transmitir. En caso contrario, multiplexa en el PUSCH la información de control y de usuario.



 Utiliza Bloques de Recursos reservados en los extremos de la banda, con salto de frecuencia entre ellos para conseguir diversidad de frecuencia.





PRACH (Physical Randon Access Channel)

Se utiliza para:

- Acceso inicial del UE a la Red.
- Restablecimiento de una conexión.
- > Traspaso.
- Recuperación de sincronización por el UE.
- Obtención del avance temporal para las transmisiones de UE.

El PRACH consiste en un preámbulo de acceso enviado por el UE a la red.

Tras una respuesta positiva de la red, el UE envía un mensaje a su identidad y el motivo del acceso por el canal PUSCH

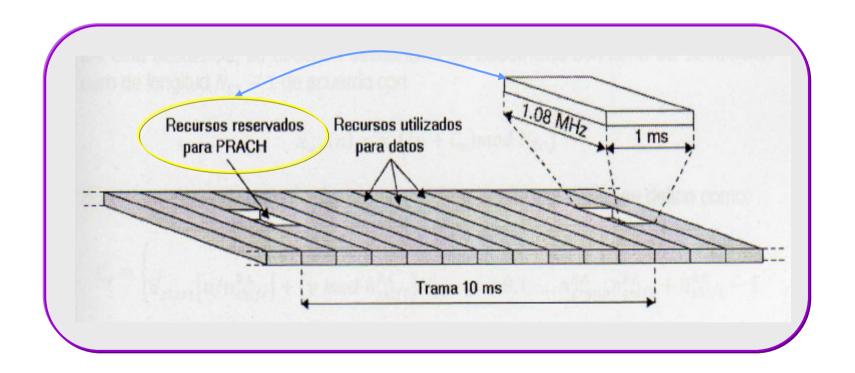


En el dominio de la frecuencia el PRACH utiliza 839 subportadoras separadas 1,25 KHz entre sí lo que supone una anchura de banda de 1,04875 MHz. Al principio de la banda se deja un espacio de guarda de 16,25 kHz y al final otro de 15 kHz con lo que la anchura total es

que es igual a la anchura de 6 RB.



Ubicación del PRACH





PROCESADO DE SEÑAL

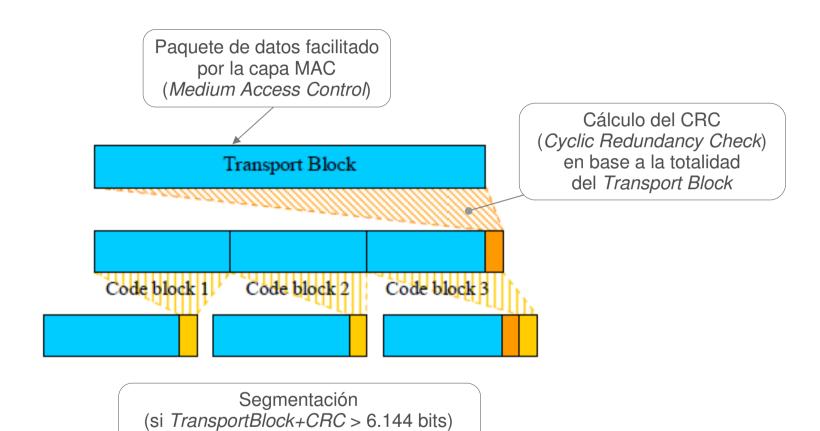
En primer lugar, al "transport block" TrBk, paquete de datos entregado por la capa MAC, se le añade un CRC (Cyclic Redundancy Check), compuesto por bits de paridad, para la detección de errores.

En LTE existen CRC de 24 bits (CRC24A y CRC24B, para los canales DL-SCH, PCH, MCH y UL-SCH), de 16 bits (CRC16, para el canal BCH) y de 8 bit (CRC8).

Si el resultado de "transport block" más el CRC es superior a 6.144 bits, tamaño máximo del "code block", se procedería a la segmentación de aquel, añadiendo el correspondiente CRC a los segmentos resultantes.









102

y cálculo de CRC para cada *Code Block*

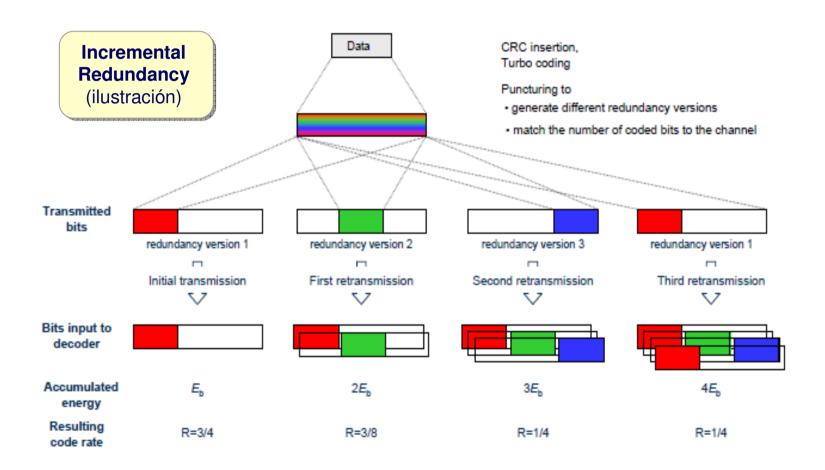
- Si bien el CRC posibilita la detección de errores, no permite la corrección de los mismos, lo cual se habilita mediante la "codificación de canal" propiamente dicha (FEC).
- En LTE se establece la codificación convolucional (turbo coding, o tail biting convolutional coding) para los canales de transporte, y codificación, convolucional o de bloque, para los canales de control.
- Para la codificación turbo la tasa de codificación es de 1/3.
 La tasa de la codificación bloque es variable.



HARQ

- El proceso de IR (Incremental Redundancy) trabaja así:
 - En el primer envío se transmiten los bits "originales"
 (systematic bits, según el turbocódigo de tasa 1/3 utilizado en LTE) más cierta redundancia.
 - En caso de error, en la primera retransmisión se envían menos systematic bits y más bits de redundancia, que se procesan combinándolos con los del primer envío.
 - Y así sucesivamente, hasta la correcta decodificación del paquete enviado.
 - En LTE existen cuatro posibles combinaciones de systematic bits y bits de redundancia, que son los RVs (Redundancy Version).

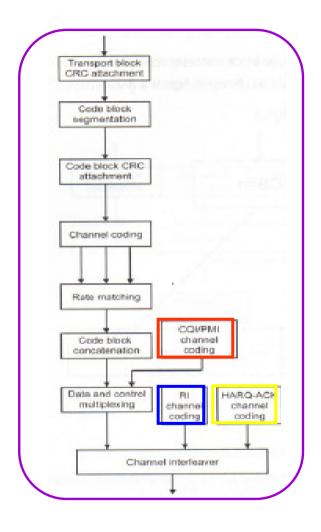






105

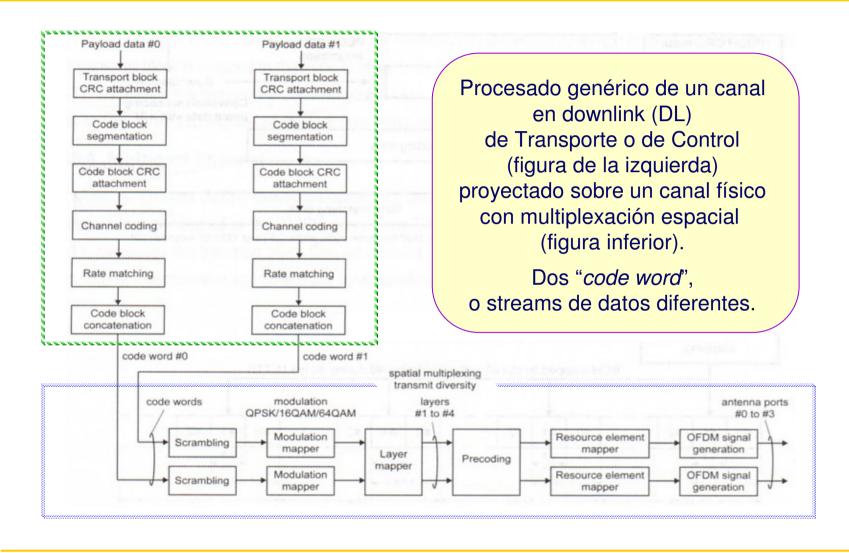
PROCESADO UL



- O El **UL-SCH** (*UpLink Shared CHannel*) se proyecta en el PUSH (*Physical Uplink Shared CHannel*) cada 1 ms (TTI, *Transmission Time Interval*, de 1 ms).
- Además del tráfico de datos, transporta también información de control: CQI (Channel Quality Indicator), PMI (Precoding Matrix Indicator), RI (Rank Indication), HARQ,...



PROCESADO DL





CAPACIDAD

La capacidad máxima del sistema LTE/SAE, en condiciones ideales varía en la gama de 100 a 326,4 Mbit/s en DL y de 50 a 86,4 en UL, dependiendo tanto de la configuración de antenas como del tipo de modulación. El valor depende de la categoría de los equipos de usuario (UE):

UE category	Peak downlink data rate (Mbps)	Downlink antenna configuration (eNB transmit x UE receive)	Peak uplink data rate (Mbps)	Support for 64QAM in uplink
Category 1	10.296	1 x 2	5.16	No
Category 2	51.024	2 x 2	25.456	No
Category 3	102.048	2 x 2	51.024	No
Category 4	150.752	2 x 2	51.024	No
Category 5	302.752	4 x 2	75.376	Yes



108

PLANIFICACIÓN DE USUARIOS (SCHEDULING)

- Es, tal vez, la característica más importante de LTE.
- Consiste en la selección, en cada momento, de los usuarios a conectar y de los parámetros de transmisión: modulación y codificación MCS (Modulation and Coding Scheme).
- A fin de optimizar la capacidad y la cobertura, para una potencia de transmisión dada, el transmisor debe adaptar la tasa de transmisión de cada usuario a las variaciones de la calidad de la señal recibida. Este es el concepto de adaptación del enlace, que conduce a la idea de modulación y codificación adaptativas AMC: Adaptive Modulation and Coding.



Modulación

Es posible la elección de QPSK, 16 QAM o 64 QAM con 2, 4 o 6 bits por símbolo (4,16 o 64 niveles), QPSK es más resistente al ruido e interferencia, pero proporciona tasas binarias bajas. Lo contrario ocurre con 64 QAM que ofrece tasas altas, pero requiere un canal radio con elevada SINR (Signal to Interference and Noise Ratio).

Código

- También puede elegirse la tasa del código de canal corrector de errores, que es el cociente entre el número de bits de entrada y el número de bits de salida.
- A menor tasa del código, mayor es su poder corrector, pero menor es la tasa binaria de la señal.



- La aplicación de AMC, mediante selección del MCS la hace el eNB basándose en estimaciones de calidad que le retorna el terminal móvil UE, mediante el parámetro CQI (Channel Quality Indication).
- El UE mide las señales de referencia (RS: Reference Signals) enviadas por el eNB. De esta medida estima la relación señal/ruido del canal descendente, SNR y notifica al eNB, mediante señalización de retorno (canal PUSCH), un valor de CQI que asegure una tasa de error de bloque BLER (Block Error Ratio) ≤0,1. El valor notificado de CQI lleva aparejada la selección del MCS.



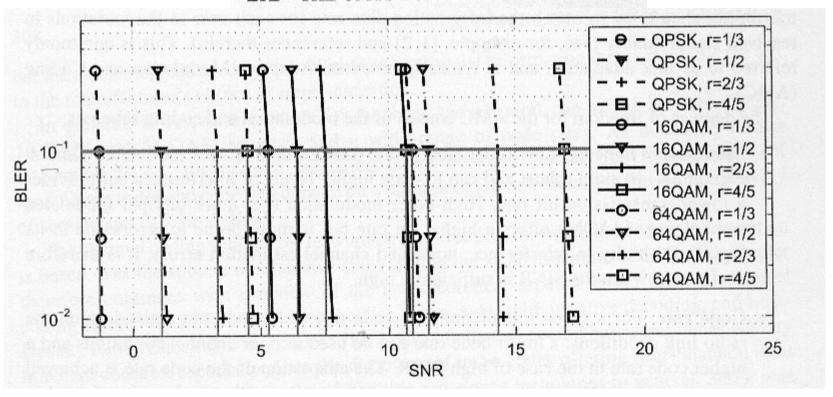
O En consecuencia, el UE notifica el mejor MCS que puede decodificar con una BLER del canal de transporte que no exceda del 10%. Se tienen así en cuenta las características del receptor, además de las del canal. Un UE de peor calidad que otro reportará un MCS más bajo que éste.



- En la Figura del a transparencia 171, se muestran curvas del BLER en función de la relación señal/ ruido, SNR, para diferentes MCS (combinaciones de modulación y codificación).
- Se ha trazado la línea horizontal indicativa de la BLER = 0,1.
- Si la medida de la señal de referencia proporciona una SNR = 13 dB, por ejemplo, para la abscisa 13 subiendo hasta la línea encontramos que la curva de MCS más próxima corresponde a modulación 64 QAM y tasa de código ½.



LTE - THE UMTS LONG TERM EVOLUTION





Logo

- En la transparencia 173 se muestra la Tabla de CQI, que como se codifica con 4 bits puede tomar 16 valores.
- O Cada valor de CQI indica la modulación, la tasa del código de canal (normalizada por 1024) y la eficiencia espectral.



TABLA DE CQI

_		(A)	(B)	(C)
Índice CQI	Modulación	Tasa del Código X 1024	Eficiencia b/s/Hz	SNR Shannon (dB)
0				
1	QPSK	78	0,15234	-9,5
2	QPSK	120	0,23438	-7,5
3	QPSK	193	0,37695	-5,2
4	QPSK	3 08	0,60156	-2,9
5	QPSK	449	0,87695	-0,8
6	QPSK	602	1,17578	-1,0
7	16QAM	\$ 78	1,47656	2,5
8	16QAM	490	1,91406	4,4
9	16QAM	6 16	2,40625	6,3
10	64QAM	4 66	2,73047	7,5
11	64QAM	5 67	3,32227	9,5
12	64QAM	666	3,90234	11,4
13	64QAM	772	4,52344	13,4
14	64QAM	\$ 73	5,11523	15,3
15	64QAM	948	5,55469	16,6

Notas:

2) $C = 2^B - 1$



Logo

- En el ejemplo anterior, para la SNR de 13 dB, el valor de CQI sería 10.
- En función del CQI, el eNB decide que MCS debe utilizar para que pueda decodificar la información del canal descendente con la calidad requerida.
- La tasa de errores BLER del 10% es tasa bruta en la transmisión por el canal radio. Con los códigos de detección y corrección de errores, la tasa de error neta es mucho menor.
- Ocomo el canal radio varía en tiempo y frecuencia, se plantea el problema de cómo construir el CQI.



- Se pueden hacer mediciones de las RS en varias frecuencias, determinar un CQI promedio, o el más desfavorable.
- También es necesario el envío del CQI bien de forma sistemática (periódica) o cuando lo solicite el eNB.
- Una notificación frecuente del CQI en el tiempo permite una mejor adaptación AMC a las variaciones temporales del canal y una notificación en muchas frecuencias permite hacer una mejor selección, llevando al UE a que funcione en las mejores frecuencias. Sin embargo todo esto incrementa el volumen de la señalización de retorno.



- El UE en estado conectado, envía el CQI por el canal de control ascendente PUCCH.
- El eNB, según el CQI recibido, selecciona la modulación y la tasa de código que utilizará para sus transmisiones y lo notifica al UE por el canal de control descendente PDCCH.



TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN RADIO EN LTE Bandas de frecuencias

- Se han previsto numerosas bandas con diferentes anchuras.
- Hay bandas distintas para FDD y TDD.
- En las transparencias que siguen se radican las bandas.



E-UTRA Opening	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
Band	F _{UL_low} - F _{UL_high}	$F_{DL_low} - F_{DL_high}$	
1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz – 1755 MHz	2110 MHz – 2155 MHz	FDD
5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
6	830 MHz – 840 MHz	875 MHz – 885 MHz	FDD
7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz – 1784.9 MHz	1844.9 MHz – 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz – 1770 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz – 1447.9 MHz	1475.9 MHz – 1495.9 MHz	FDD
12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD



E-UTRA Opening	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
Band	F _{UL_low} - F _{UL_high}	$F_{DL_low} - F_{DL_high}$	
13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
15	Reserved	Reserved	FDD
16	Reserved	Reserved	FDD
17	704 MHz – 716 MHz	734 MHz – 746 MHz	FDD
18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
19	830 MHz – 845 MHz	875 MHz – 890 MHz	FDD
20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
21	1447.9 MHz – 1462.9 MHz	1495.9 MHz – 1510.9 MHz	FDD
23	2000 MHz – 2020 MHz	2180 MHz – 2200 MHz	FDD
24	1626.5 MHz – 1660.5 MHz	1525 MHz – 1559 MHz	FDD



E-UTRA Opening	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
Band	$F_{UL_low} - F_{UL_high}$	$F_{DL_low} - F_{DL_high}$	
25	1850 MHz – 1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	TDD
33	1900 MHz – 1920 MHz	1900 MHz – 1920 MHz	TDD
34	2010MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz – 1910 MHz	1850 MHz – 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz – 1990 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz – 1930 MHz	1910 MHz – 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
42	3400 MHz – 3600 MHz	2400 MHz – 3600 MHz	TDD
43	3600 MHz – 3800 MHz	3600 MHz – 3800 MHz	TDD



CAPACIDAD Y COBERTURA EN LTE

- Como en todos los sistemas de comunicaciones móviles celulares la capacidad y la cobertura están condicionadas por el ruido y más principalmente por la interferencia, como consecuencia de la reutilización de las frecuencias.
- La interferencia que soporta un eNB conectado a un UE se llama intracelular. Está originada por los demás UEs de la célula. La interferencia intercelular es debida a emisiones de UEs de otras células.
- La interferencia que soporta un UE conectado a un eNB de una célula se debe a las transmisiones de eNBs de otras células que le puedan llegar.

- El parámetro de calidad utilizado en los cálculos de capacidad y cobertura es la relación sinr=señal/(interferencia + ruido).
- Considerando el enlace descendente, la interferencia soportada por un terminal (UE) es la intercelular. La intracelular puede considerarse nula por la ortogonalidad de dicho enlace.
- Se define el factor de geometría celular g como la relación entre la potencia recibida en el UE de la señal deseada y la potencia de interferencia recibida de las demás células.



En consecuencia

$$g = \frac{p_{sc}}{p_{oc}}$$

- psc : potencia deseada (misma célula)
- poc : potencia interferente (otras células)
- Suponiendo que las potencias medias emitidas por todas las células son iguales y que la pérdida básica de propagación sigue leyes similares, el cociente psc/psc depende solo de la geometría celular: tipo de célula (omni, sector), punto de evaluación (borde, punto interior).

La relación sinr vale, entonces:

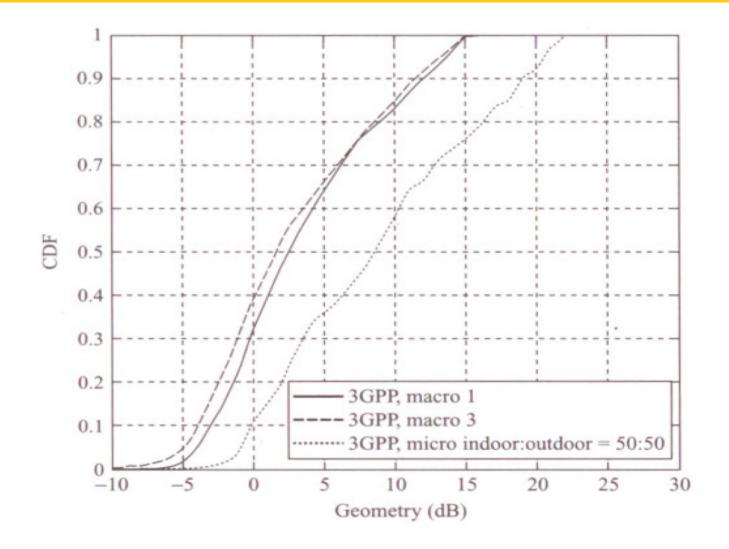
$$sinr = \frac{p_{sc}}{p_{oc} + p_n} = \frac{1}{g^{-1} + snr^{-1}}$$

siendo snr = psc / pn la relación potencia de señal deseada a potencia de ruido térmico.

De aquí se deduce que

Entonces, la geometría celular limita la sinr máxima que puede obtener.

- Esta acotación es muy importante ya que la eficiencia espectral o el caudal dependen de la relación sinr, por lo que si g es pequeña también lo será sinr y en consecuencia el caudal será reducido.
- Esto ocurre en el borde de la célula.
- En la transparencia que sigue se representa la distribución acumulativa (CDF) de la variación de G(dB) = 10 log g obtenida por simulación de enlace para diferentes entornos.
- O Por ejemplo para los casos macro1 y macro3, se ve que solo el 17% (1-0,83) de los usuarios tendrán una G mayor que 10 dB.
- La mediana para esos casos está entre 2 y 2,5 dB.



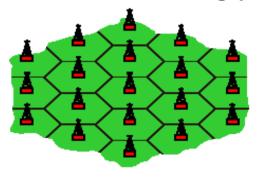


Logo

- El objetivo de LTE de alcanzar tasas de bits elevadas con alta eficiencia espectral, recomienda reutilizar las frecuencias portadoras en todas la células (factor de reutilización =1).
- Sin embargo, esta intensa reutilización puede producir en los bordes de las células una interferencia excesiva, lo que implica una reducción del factor g y en consecuencia de la SINR lo que limita el caudal.
- Una alternativa es dividir la anchura de banda total en varios bloques y usar bloques de frecuencias diferentes en células contiguas según un determinado patrón de reutilización (reuse scheme)

LTE: REUTILIZACIÓN DE LAS FRECUENCIAS

- Requirement: High data rates in a limited spectrum allocation
 - Entire spectrum must be available in each cell
 - ⇒ One-cell frequency reuse
- Reduced inter-cell interference with frequency reuse > 1
 - → Increased throughput at cell edge





 $log(1+SNR_3) > 3 \times log(1+SNR_1)$

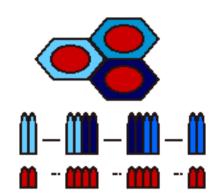
Flexible reuse



- En LTE es posible una solución mixta que consiste en:
 - Cerca del eNB, en la parte central de la célula, reutilizar todo con factor 1.
 - En los bordes de la célula usar bloques diferentes con factor de reutilización mayor que 1.
- Así se controla la interferencia en el borde y se aprovechan todas las frecuencias en el centro de las células.
- Esto se puede hacer con la planificación (scheduling) en frecuencia. En la transparencia 192, se muestra un ejemplo.



- Primary and secondary frequency bands
- Primary band: Reuse > 1, higher transmit power
- Secondary bands: Remaining spectrum
- Cell-edge users: Use primary band → Good SIR
- Cell-centre users: Use entire band → High data rates

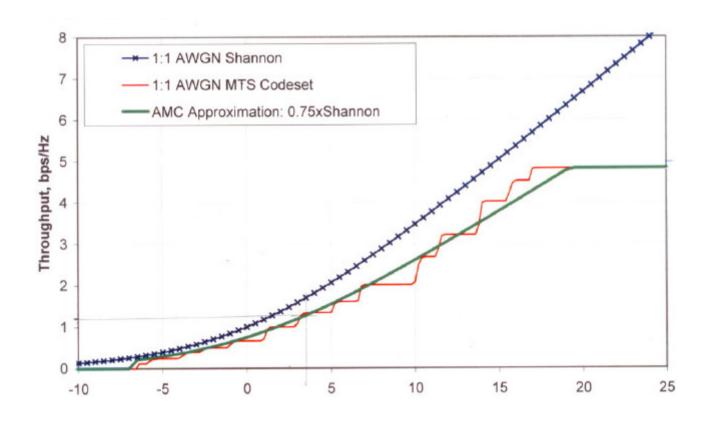


- Supported by means of frequency-domain scheduling
- Central or distributed control

- \bigcirc La eficiencia espectral η (bit/s/Hz) depende de la relación sinr.
- O Para evaluar la sinr necesaria para un eficiencia η determinada se consultan tablas o curvas obtenidas, generalmente, mediante simulaciones de enlaces LTE.
- Un método muy utilizado se basa en un ajuste experimental de la fórmula de Shannon. Se denomina "Attenuated and truncated form of the Shannon Bound" y figura en el Informe TR36.942 del 3gpp.
- Se presenta en las curvas de la transparencia 194.



Relación SINR según el caudal





- En la figura anterior la línea de cruces (+++) representa el caudal teórico (fórmula de Shannon).
- La línea escalonada representa el caudal para diferentes tipos de codificación y modulación.
- La línea continua que atraviesa los escalones es una interpolación que se utiliza para la estimación de la SINR (dB) para un caudal determinado.
- Se observa que hay una saturación (caudal máximo) cuando se alcanza la capacidad del PDSCH.
- O Ejemplo: Para un caudal o eficiencia $\eta = 1,2$ bit/s/Hz la SINR necesaria es 3,5 dB.

POTENCIA UMBRAL O SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR

- La sensibilidad o potencia mínima de recepción necesaria se calcula en función de la relación sinr.
- Pueden aplicarse dos métodos:
 - Utilizando el margen de interferencia, definido como

$$m_i = \frac{p_{oc} + p_n}{p_n}$$

(Ilamado también "noise floor raise")

Entonces:

$$s = p_{sc} = sinr \cdot p_n \cdot m_i$$

La potencia de ruido es:

$$p_n = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot T_o \cdot f_r \cdot (N_{RB} \cdot 180 \cdot 10^3)$$

T_o: Temperatura de referencia (290 k)

f_R: Factor de ruido del receptor

N_{RB}: Número de bloques de recursos

En dBm, se tiene:

$$S(dBm) = -121.5 + F_R + 10 \log N_{RB} + M_i + SINR$$
 Ejemplo:

Receptor con F_R = 4dB SINR = 3,5 dB N_{RB} = 25 (Anchura de banda 5 MHz) M_i = 3 dB

La sensibilidad es:

$$S = -121,5 + 4 + 10log25 + 3 + 3,5 = -97 dBm$$

Empleando la geometría celular

$$s = p_n \cdot sinr \left(1 - \frac{sinr}{g} \right)^{-1}$$

en dBm

$$S(dBm) = -12.5 + F_R + 10\log N_{RB} + SINR - 10\log \left(1 - \frac{sinr}{g}\right)$$

Comparando las fórmulas anteriores se obtiene la relación entre el margen de interferencia y el factor de geometría celular. $m_i = \frac{1}{1 - \frac{sinr}{1}}$

Usualmente g se evalúa en función del despliegue celular de forma teórica o por simulación y junto con la evaluación de la sinr puede obtenerse el margen.

En el ejemplo anterior con Mi=3 dB, mi=2, SINR=3,5 dB, sinr=2,24, resulta g=4,5 ; G=6,5 dB

El valor de la sensibilidad obtenido debe contrastarse con el establecido en las especificaciones de LTE para verificar su validez: ha de ser menor o igual al especificado.

BALANCES DE ENLACES EN LTE

- Se evalúan de forma similar a otros sistemas, teniendo en cuenta las características específicas de LTE.
- Para el Enlace Descendente:
 - ➤ A: Potencia estación de base. Depende la clase de estación (TS.36.104): Wide Area (sin límite) Local Area (15-24 dBm) Home (11-20 dBm)
 - ➤ B: Pérdidas en los cables de conexión (Feeders) y conectores. Función de la frecuencia y longitud de los cables. Con amplificadores en antena pueden ser muy reducidas (1-6 dB)
 - ➤ C: Ganancia de antena TX para el trayecto. Depende de la frecuencia y modo de explotación (beamforming) (15-21 dBi).
 - > D: PIRE, potencia equivalente "en el aire"; D = A-B+C
 - ➤ E: Factor ruido equipo usuario (UE), función de la banda y separación dúplex (6-11 dB).



F: Potencia de ruido térmico en recepción. Depende de la anchura de banda asignada (número de bloques de recursos).

F = -174 + E + 10log(BW(Hz))

- ➤ G: Relación SINR objetivo. Depende de la tasa binaria y condiciones de explotación. Se obtiene a partir de simulaciones (tablas) o de la fórmula de Shannon corregida.
- ➤ H: Margen de interferencia para tener en cuenta la interferencia intercelular de otros eNB sobre el UE. Depende de la "geometría" celular.
- ➤ I: Sensibilidad del receptor; I: F+G+H.
- → J: Tara (overhead) de los canales de control y señales físicas descendentes (RS, PSS, SSS).

- K. Ganancia antena UE. Generalmente, 0 dB para un "dongle" y -3 dB para equipo personal (body loss) en aplicaciones de voz.
- L: Margen desvanecimiento plano (shadow loss), supuesta una variación log-normal: $K(P) \cdot + \sigma L$; P porcentaje de cobertura perimetral; σL variabilidad con las ubicaciones (6-8 dB). Para P = 90%; K(P) = 1,28.

- Para el enlace ascendente:
 - ➤ A: Potencia equipo usuario (UE). Depende de la case de equipo (21-23 dBm).
 - ➤ B: Ganancia de antena UE. Función del equipo y de la banda. Suele incluirse aquí el efecto del cuerpo (body loss) para terminales en modo voz.
 - C: PIRE, potencia equivalente "en el aire", C = A+B.
 - D: Factor ruido térmico en estación base. Depende del diseño. El valor máximo recomendado es de unos 5 dB, pero suele ser mejor.
 - ➤ E: Potencia de ruido térmico en recepción estación base. Depende de la anchura de banda asignada (Numero de bloques de recursos), E= -174+D+10·log (BW(Hz)).

- F: Relación SINR objetivo. Depende de la tasa binaria y condiciones de explotación. Se obtiene a partir de simulaciones (tablas) o de la fórmula de Shannon corregida.
- ➤ G: Margen de interferencia. Como el UL de LTE es ortogonal, no hay interferencia intracelular. Se prevé un margen pequeño para interferencia intercelular.
- ➤ H: Sensibilidad del receptor, H = F+G. En la TS.36.101, se dan valores de referencia para deferentes clases de estaciones base y anchuras de banda.
- ➤ I: Ganancia antena estación base (como en el DL).
- > J: Pérdida en terminales de estación base (como en el DL).
- K: Margen desvanecimiento lento (como en el DL).

Ejemplo de balances de enlaces

- Se presenta un ejemplo de balance de enlaces descendente y ascendente para una transmisión de tasa R = 1Mb/s, con una anchura de banda de canal radio BW = 5 (25 Resource Blocks). Los parámetros de equipos son típicos del estado actual de la técnica en LTE.
- Se supone la conexión con un UE en el interior de un edificio, por lo que se incluye una estimación de la pérdida de penetración.
- Se considera una variabilidad por desvanecimiento por sombra con $\sigma L = 8 \text{ dB}$.
- Para el cálculo de la potencia de ruido, se tiene en cuenta la anchura de banda ocupada por los bloques de recursos.
- Los balances se presentan de forma que puedan implementarse en una hoja de cálculo.

ENLACE DESCENDENTE

А	Potencia transmisor eNB canal PDSCH	30	
В	Ganancia antena TX (dB)	18	
С	Pérdidas en cables y terminales TX (conectores, transiciones) (dB)	2	
D	Potencia isótropa radiada equivalente (PIRE, dBm)	46	D = A+B-C
E	Número de bloques de recursos	25	
F	Factor ruido receptor UE (dB)	4	
G	Potencia ruido térmico (dBm)	-103,5	G=- 174+F+10logE+10log(18000 0)
Н	Relación SINR (dB)	3,5	



1	Margen de interferencia (dB)	3	
J	Sensibilidad del receptor (dBm)	-97	J = G+H+I
К	Margen log-normal para 90% ubicaciones	10,2	$D = 1,28 \cdot \sigma_I$
L	Ganancia antena RX (UE) (dB)	0	
M	Ganancia diversidad RX (dB)	0	
N	Pérdida de penetración (dB)	18	
0	Frecuencia (MHz)	2600	
Р	Atenuación compensable (dB)	114,8	P = A+B-C-J-K+L+M-N
Q	Distancia de cobertura (km) (Hata COST231 gran ciudad, h _t =25 m)	0,14	



ENLACE ASCENDENTE

А	Potencia transmisor UE (dB)	24	
В	Ganancia antena TX (dB)	0	
С	Pérdidas en transmisión (dB)	0	
D	Potencia isótropa radiada equivalente (dBm)	24	D = A+B-C
E	Número de bloques de recursos	25	
F	Factor ruido receptor eNB (dB)	2	
G	Potencia ruido térmico (dBm)	-105,5	G=- 174+F+10logE+10log(18000 0)
Н	Relación SINR (dB)	4	



I	Margen de interferencia (dB)	2	
J	Sensibilidad del receptor (dBm)	-99,5	J = G+H+I
К	Margen log-normal para 90% ubicaciones	10,2	$D = 1,28 \cdot \sigma_I$
L	Ganancia antena RX (dB)	18	
М	Ganancia diversidad RX (dB)	2	
N	Pérdidas cables RX (dB)	2	
0	Pérdida penetración (dB)	18	
Р	Frecuencia (MHz)	2600	

Q	Atenuación compensable (dB)	113,3	Q = D-J-K+L+M-N-O
R	Distancia de cobertura (km) (Hata COST231, gran ciudad, h _t =25 m)	0,12	

Pérdida con Hata COST 231:

$$L = 145,7 + 35,74 \cdot logd$$

Como se ve los enlaces estan bien equilibrados. La atenuación compensable y la distancia de cobertura son similares en ambos enlaces.

- Básicamente en LTE-A se introducen las siguientes tecnologías (nuevas o mejoras de las de LTE):
 - Agregación de portadoras (carrier aggregation)
 - Mejoras en multiantenas.
 - Mejoras para despliegues jerárquicos
 - Transmisión multipunto coordinada (CoMP)
 - Repetidores



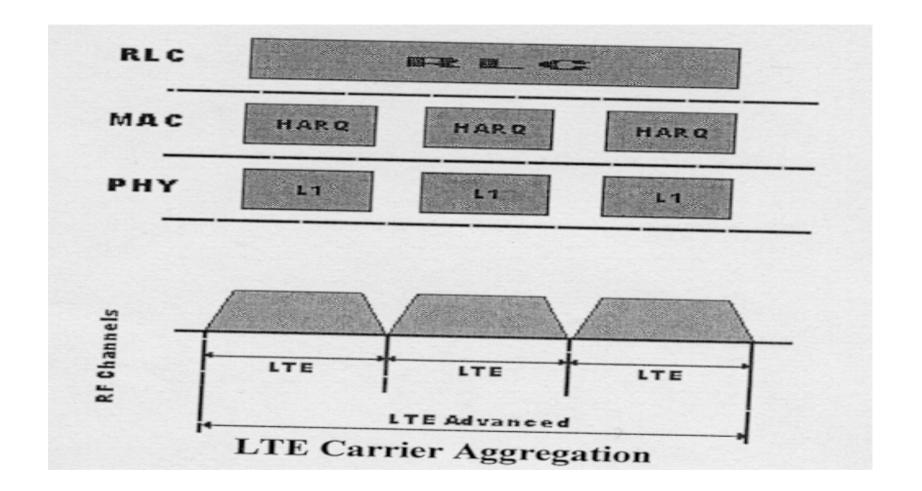
Agregación de portadoras

- Amplia la flexibilidad de uso del espectro. Además de las posibles anchuras de banda disponibles en una portadora, esta técnica permite combinar, en la misma transmisión, portadoras diferentes.
- Esto es esencial para conseguir anchuras de banda de hasta 100 MHz, necesarias para las elevadas tasas de bits que se contemplan en LTE-A.
- Las portadoras a agregar se llaman componentes (component carriers)



- Hay tres posibilidades de agregación:
 - Intrabanda con componentes contiguas
 - Intrabanda con componentes no contiguas
 - ➤ Interbanda, que combina componentes de bandas diferentes, por ejemplo 800 MHz y 2600MHz.
- El procesado de capa física (generación OFDM, codificación, HARQ) se realiza de forma independiente para cada componente.
- La señalización de control puede ser independiente y transmitirse por una componente diferente de aquella a la que se refiere.
- En la transparencia siguiente se muestra un ejemplo de agregación intrabanda de tres portadoras contiguas.







Técnicas multiantena

- En LTE-A se potencia la transmisión en bajada, permitiendo hasta 8 capas (layers) de datos, por medio de una estructura mejorada de las señales de referencia.
- También LTE-A admite MIMO en subida hasta con 4 capas.



Mejoras para despliegues

- Una de las tendencias que se vislumbran para el futuro de las redes móviles de datos es la coexistencia de un despliegue de macrocélulas con otros de tipo picocelular y femtocelular.
- LTE-A incluye algunas mejoras para facilitar la "convivencia" entre estas estructuras.
- Por ejemplo si en una red coexisten e-nodos B de baja potencia (femtocélulas) con macrocélulas, puede haber problemas para decidir a que célula debe engancharse un terminal.
- Puede no ser suficiente un criterio de menores pérdidas, sino que pueden intervenir aspectos de capacidad (un eNB con peor señal puede proporcionar mayor tasa que otro de mejor señal pero congestionado), de tarifas (puede ser más barato conectarse a un femto) o de autorización (un usuario puede no estar autorizado a conectarse a un femto).



- En LTE hay un método para la coordinación de la interferencia entre células ICIC (Inter Cell Interference Coordination), mediante el cual las células pueden intercambiar información sobre las subportadoras que piensen utilizar, a fin de evitar coincidencias e interferencias a nivel de subtrama. Este mecanismo no es efectivo cuando se trata de la señalización ubicada en todas las subtramas.
- En LTE-A, con agregación, se protege la componente de cada célula de forma que esta se utiliza para transmitir la señalización de control solo en una célula y no en sus vecinas.



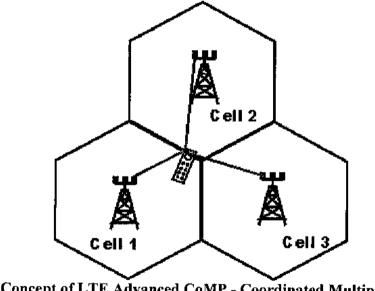
- También es posible la multiplexación temporal de la señalización de modo que, en algunas subtramas sólo una célula transmite la señalización.
- Se configura que subtramas deben usar los terminales para estimar el canal, evitando las interferidas que podrían conducir a una estimación errónea.

Multipunto Coordinado CoMP

Tiene como objetivo el mantenimiento de tasas binarias altas en el borde celular.

 Consiste en la conexión múltiple de UE con dos o más eNBs para mejorar la transmisión/recepción en el borde y





Concept of LTE Advanced CoMP - Coordinated Multipoint

- Requiere una estricta coordinación dinámica entre eNBs separados geográficamente para proporcionar una planificación (scheduling) y una transmisión conjunta al UE en DL, así como un procesado conjunto en el UL.
- Hay dos modos de funcionamiento:
 - Transmisión conjunta desde múltiples eNBs a un solo UE.
 - Selección dinámica de células, con transmisión desde un único UE.
- Requisitos básicos:
 - Realimentación detallada y rápida de las características del canal para realizar los cambios necesarios.
 - Coordinación estrecha entre eNBs para facilitar la combinación de datos o conmutación rápida de las celdas.

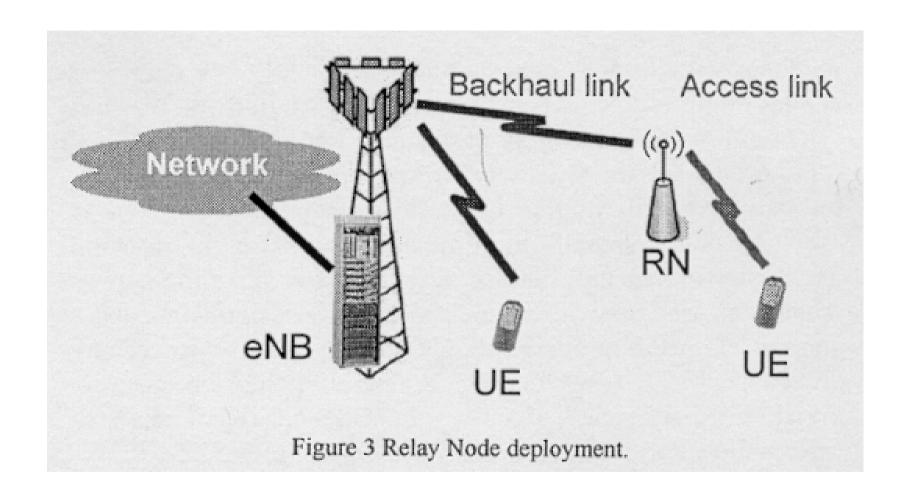


LTE relay: Repetición Regenerativa

- Es otra alternativa para asegurar altas tasas binarias en el borde celular o en puntos de señal débil (ej. Interiores).
- El "LTE-relay" ejecuta procesos de recepcióndemodulación-decodificación con corrección de errores y retransmite la señal regenerada.
- De este modo, se mantiene la calidad de la señal, sin la degradación de la SNR que se daría en una simple repetición con amplificación.
- El UE comunica con el regenerador y este enlaza con el eNB "donante".



Ejemplo:





- Los regeneradores pueden soportar funcionalidades de capas altas, por ejemplo decodificar datos de usuario desde el eNB donante y decodificarlos antes de su envío al UE.
- El regenerador es autónomo, no requiere conexión a la red.
- Puede funcionar con cambio de frecuencia (outband) o sin cambio (inband); en este caso con TDMA mediante reserva de subtramas MBSFN (Multimedia Broadcast over Single Frequency Network).



- Se han especificado dos tipos de regeneradores:
 - ➤ Tipo 1: El regenerador tiene su propia identidad y transmite sus propios canales de sincronización y simbolos de referencia. El UE lo "ve" como un eNB convencional.
 - ➤ Tipo 2: El regenerador carece de identidad y se asemeja al eNB donante. Un UE en su zona de cobertura no puede distinguirlo del eNB.



Redes self-configuring and self-optimizing (SON)

- La reducción de esfuerzo operacional y de la complejidad se consideran fuerzas motrices básicas para la LTE-RAN.
- La SoN se contempla como un proceso tendente a alcanzar ese objetivo, así como para mejorar la calidad y el desempeño de la red.
- El 3gpp ha abierto un tema de estudio sobre este asusto que se desarrolla en el TR36.902 y que incluye "casos de utilización" (uses clases), para aplicación de los conceptos de SoN y la definición de medidas, procedimiento e interfaces abiertas para soportar la operabilidad en un entorno de múltiples proveedores.



- Se prevén los siguientes casos:
 - Optimización de la cobertura y capacidad.
 - Ahorro energético.
 - Reducción de interferencias.
 - O Configuración automática de la identidad de la célula física (Phy_ID).
 - Optimización de la movilidad: mejora de los procedimientos de handover y reparto de la carga celular.
 - Optimización del acceso RACH.
 - Automatización función colindancia.
 - Coordinación interferencia intercelular.



BIBLIOGRAFIA

LTE, The UMTS Long Term Evolution.
 S.Sesia, I. Tonfik, M. Baker.
 John Wiley, 2009

LTE: Nuevas tendencias en Comunicaciones Móviles.
 R. Agustí y otros.
 Fundación Vodafone España, 2010

3G Evolution: HSPA and LTE for mobile broadband.
 E. Dahlman, S. Parkvall



Fundamentals of wireless Communication
 D. Tese, P. Visawanath
 Cambidge University Press, 2005

- LTE and the Evolution to 4G wireless.
 M. Rumney
 Agilent Technologies, 2009
- Long Term Evolution in BulletsChris Johnson2nd. Edition 2012

