

Capítulo 13: Sistema LTE

Sistema LTE

1. Origen de LTE. Objetivos de diseño.
2. Arquitectura de red.
3. Interfaz radio. Características generales.
4. Canales en la interfaz radio.
5. Transmisión multiantena, MBSFN.
6. Procesos asociados a la transmisión: adaptación de tasa binaria, control de potencia, planificación de usuarios.
7. Planificación radio.

1. Origen de LTE. Objetivos de diseño

Origen de LTE

“Long-Term Evolution”

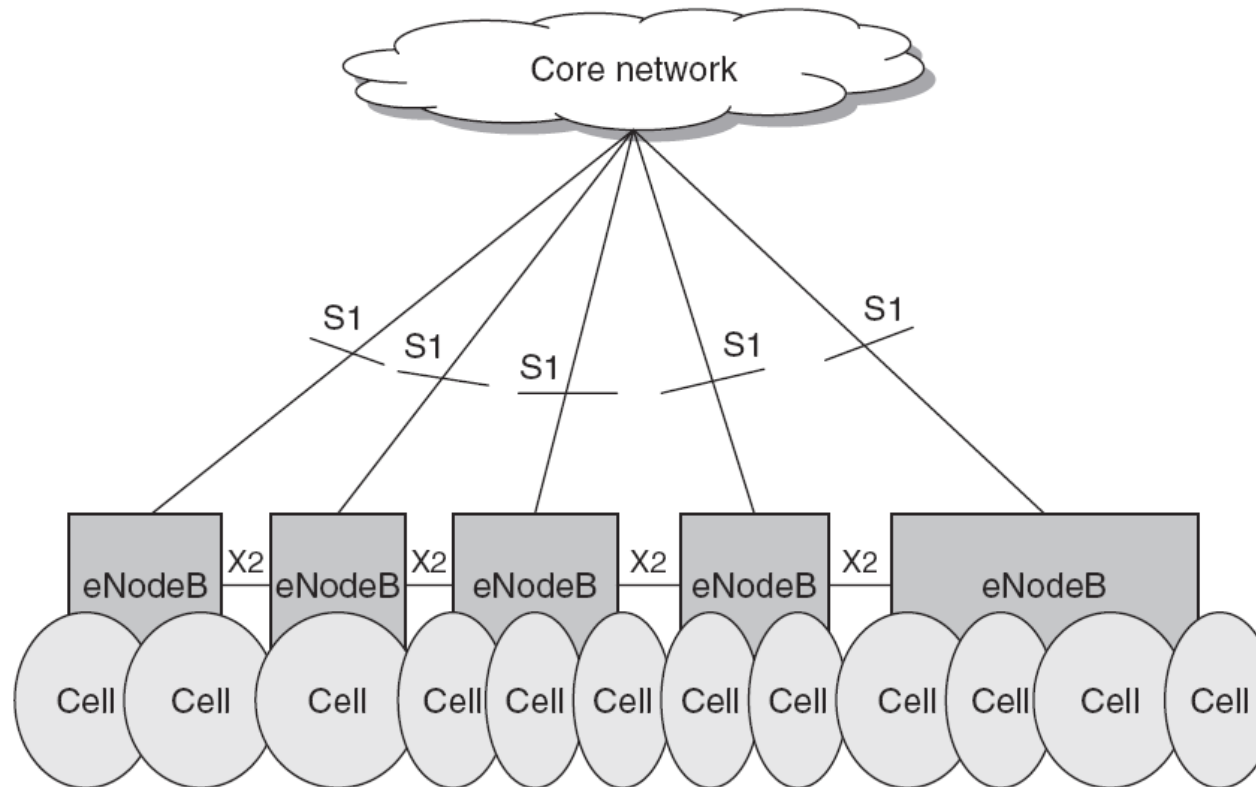
- Evolución a largo plazo del sistema UMTS para permitir mayores tasas binarias y menor latencia (retardo).
- Sin restricciones de compatibilidad hacia atrás con UMTS (a diferencia de HSDPA y HSUPA).
- Generación “casi 4”.
- El nombre “LTE” se refiere a la interfaz radio. El núcleo de red se conoce como “*System Architecture Evolution*” (SAE).

Objetivos de diseño

- Tasas de pico de 100 Mb/s en DL y 50 Mb/s en UL, para un ancho de banda de 20 MHz
- Capacidad 2–4 veces superior a la de HSPA básico.
- Latencia (retardo) reducida.
- Flexibilidad de espectro:
 - Funcionamiento en diferentes bandas de frecuencia
 - Ancho de banda flexible desde 1,4 MHz hasta 20 MHz
- Arquitectura de la red:
 - Simplificada, con el mínimo número de interfaces y entidades funcionales
 - Basada en paquetes, pero con soporte para servicios en tiempo real y conversacionales

2. Arquitectura de red

Arquitectura de la red de acceso radio



La red de acceso radio LTE está formada por un solo tipo de nodos: la estación base o “e-Nodo B” (*e-Node B*).

3. Interfaz radio: características generales

Interfaz radio: características generales (I)

- Flexibilidad en bandas de frecuencias: 900 / 1800 / 2000 / 2600 MHz (Europa); otras.
- Flexibilidad en ancho de banda: 1,4 / 3 / 5 / 10 / 15 / 20 MHz.
- Modos TDD y FDD.
- Transmisión mediante OFDM en DL, y su variante DFTS-OFDM (SC-FDMA) en UL.
- Separación entre subportadoras: 15 kHz (normal) ó 7,5 kHz (reducida).
- Prefijo cíclico: $\sim 5 \mu\text{s}$ (normal) ó $\sim 16,7 \mu\text{s}$ (ampliado).
- Señales ortogonales (recursos tiempo-frecuencia disjuntos) dentro de la célula o sector.
- Modulaciones QPSK, 16QAM y 64QAM.
- Adaptación de la tasa binaria en función del estado del canal de propagación (AMC).
- Codificación de canal mediante código turbo o convolucional.

Interfaz radio: características generales (II)

- Retransmisiones (HARQ) con combinación mediante redundancia incremental (IR).
- Transmisión mediante canal compartido, controlada por un planificador (*scheduler*).
- Planificación de usuarios (*scheduling*) en función del estado del canal de propagación, en tiempo y en frecuencia.
- Soporte para MIMO (obligatorio para los terminales tener 2 antenas de recepción)
- Posibilidad de coordinación de interferencia entre células (*inter-cell interference coordination, ICIC*)
- Control de potencia en sentido ascendente.
- Pueden utilizarse servicios de difusión mediante SFN (*Multimedia Broadcast SFN*)
- No hay macrodiversidad ascendente. En cada momento hay una sola célula servidora.
- No hay macrodiversidad descendente, salvo en MBSFN.

Bandas de frecuencias

- Modo FDD: bandas “emparejadas”
 - (GSM 900 y E-GSM 900) (Europa)
UL: 880–915 MHz; DL: 925–960 MHz
 - (GSM 1800) (Europa)
UL: 1710–1785 MHz; DL: 1805–1880 MHz
 - (UMTS FDD) (Europa)
UL: 1920–1980 MHz; DL: 2110–2170 MHz
 - (Europa)
UL: 2500–2570 MHz; DL: 2620–2690 MHz
 - ... (otros continentes)
- Modo TDD: bandas “no emparejadas”
 - (UMTS TDD) (Europa)
1900–1920 MHz
 - (UMTS TDD) (Europa)
2010–2025 MHz
 - (Europa)
2570–2620 MHz
 - ... (otros continentes)

4. Canales en la interfaz radio

Canales lógicos, de transporte y físicos

- Canal lógico: definen el tipo de información enviada
De control / de tráfico
- Canal de transporte: definen el formato de envío
Comunes o compartidos (no hay dedicados)
- Canal físicos: conjuntos de recursos tiempo-frecuencia.
Comunes / dedicados
Asociados a canales de transporte / no.

Un canal lógico se puede usar para enviar información de control o de tráfico de las capas superiores (*SAE bearers*).

Canales lógicos

- De control
 - BCCH (*Broadcast Control Channel*, DL): información general de configuración de la red
 - PCCH (*Paging Control Channel*, DL): aviso a móviles
 - CCCH (*Common Control Channel*, DL y UL): otros tipos de señalización común cuando no hay conexión activa
 - DCCH (*Dedicated Control Channel*, DL y UL): señalización dedicada
 - MCCH (*Multicast Control Channel*, DL): señalización asociada al MTCH.
- De tráfico
 - DTCH (*Dedicated Traffic Channel*, DL y UL): información dedicada
 - MTCH (*Multicast Traffic Channel*, DL): información punto-multipunto

Canales de transporte

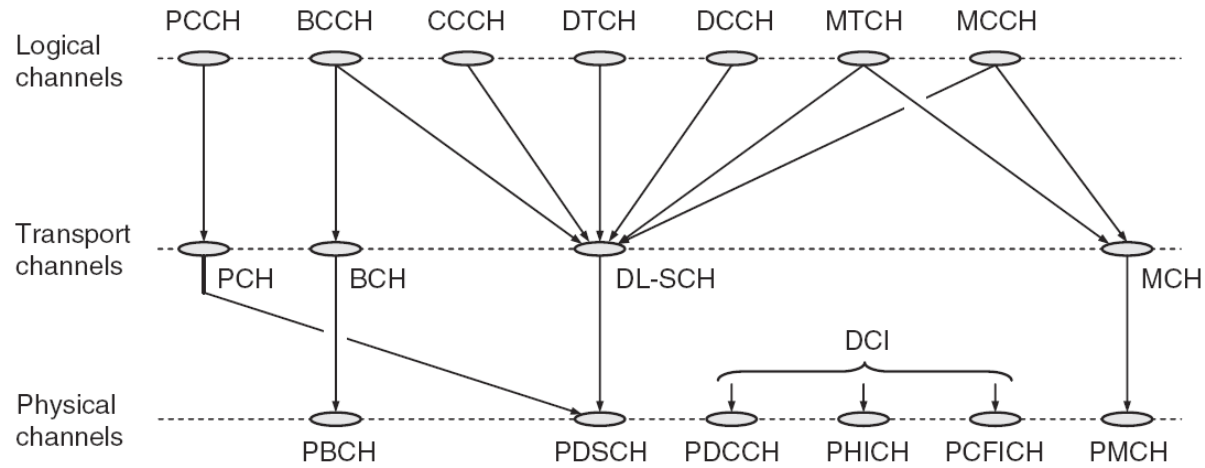
- Comunes o compartidos
 - BCH (*Broadcast Channel*, DL): sustenta el BCCH
 - PCH (*Paging Channel*, DL): sustenta el PCCH
 - RACH (*Random Access Channel*, UL): acceso aleatorio
 - DL-SCH (*Downlink Shared Channel*, DL): canal principal descendente, compartido entre los usuarios
 - UL-SCH (*Downlink Shared Channel*, UL): canal principal ascendente, compartido entre los usuarios
 - MCH (*Multicast Channel*, DL): sustenta el MTCH y el MCCH.

Canales físicos

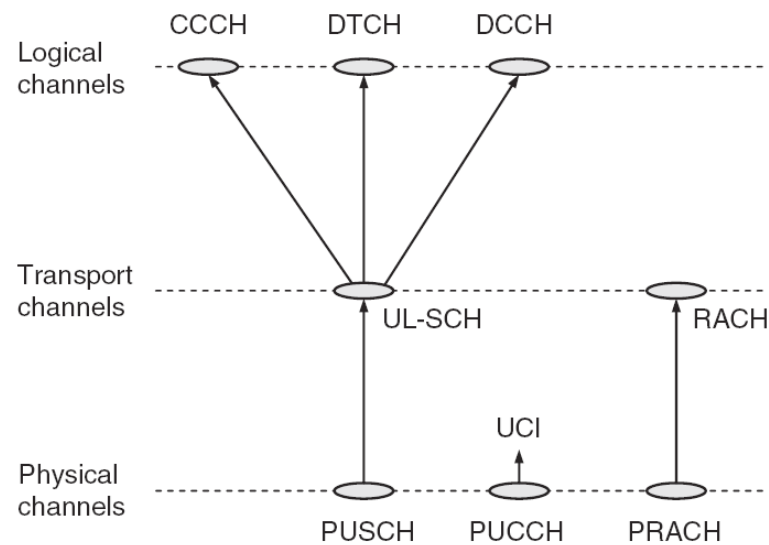
- Asociados a canales de transporte
 - PDSCH (*Physical Downlink Shared Channel*, DL): sustenta el DL-SCH y el PCH
 - PBCH (*Physical Broadcast Channel*, DL): sustenta el BCH
 - PMCH (*Physical Random Access Channel*, DL): sustenta el MCH
 - PUSCH (*Physical Uplink Shared Channel*, UL): sustenta el UL-SCH
 - PRACH (*Physical Random Access Channel*, UL) : sustenta el RACH
- No asociados a canales de transporte
 - PDCCH (*Physical Downlink Control Channel*, DL): decisiones de planificación de usuarios en DL y UL, e información relacionada
 - PHICH (*Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel*, DL): contiene los ACK/NACK de HARQ en sentido descendente.
 - PCFICH (*Physical Control Format Indicator Channel*, DL): información de señalización necesaria para decodificar el PDCCH
 - PUCCH (*Physical Uplink Control Channel*, UL): contiene los ACK/NACK de HARQ ascendentes, informes de estado del canal radio y petición de recursos ascendentes.

Correspondencias

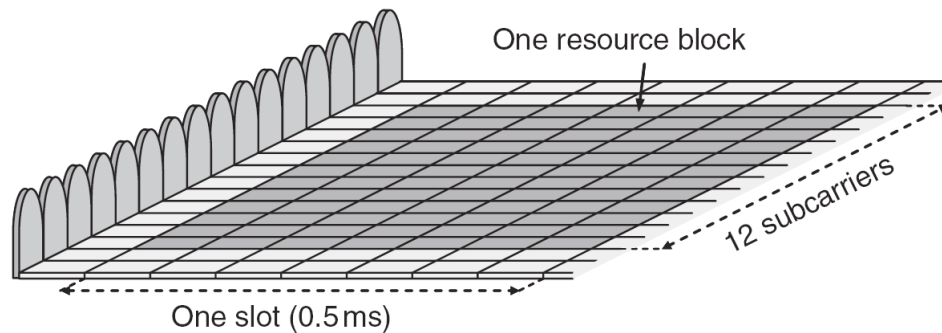
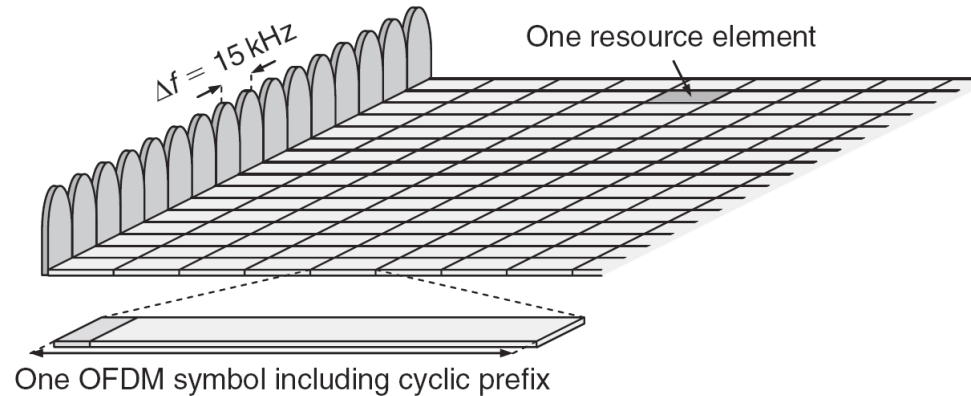
DL



UL

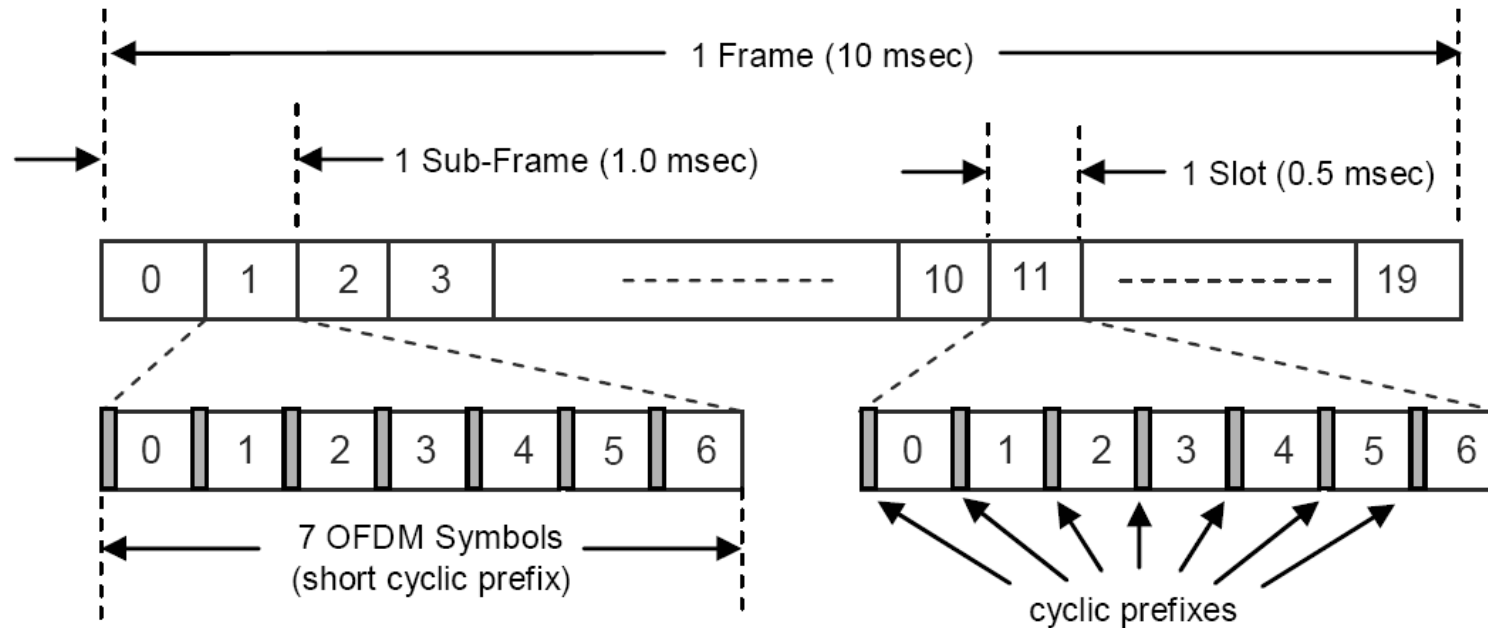


Estructura general de la transmisión (DL y UL)



- **Recurso elemental (RE, resource element):** 1 subportadora \times 1 periodo de símbolo
- **Bloque de recursos (RB, resource block):** 12 subportadoras: 180 kHz
- Número total de RB: 6–110, según el ancho de banda

Estructura general de la transmisión (DL y UL)



- **Prefijo cíclico:** dos posibles: normal $\sim 5 \mu\text{s}$ ó ampliado $\sim 16,7 \mu\text{s}$. El ampliado se utiliza sobre todo en MBSFN.
- **Trama:** 10 ms: 10 intervalos
- **Subtrama:** 1 ms: 2 intervalos
- **Intervalo:** 0,5 ms: 7 símbolos OFDM, ó 6 si se utiliza prefijo cíclico ampliado

Funcionamiento de los canales físicos

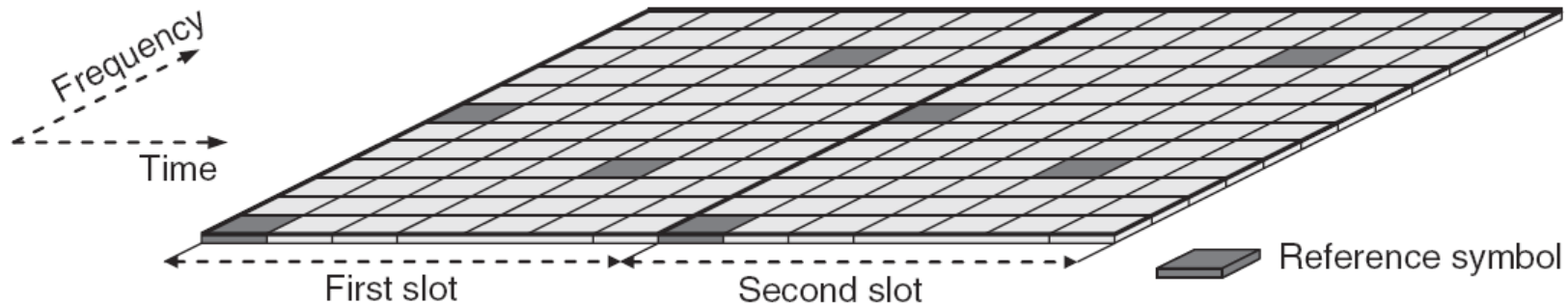
- Un canal físico es un conjunto de recursos elementales tiempo-frecuencia.
- Un canal físico puede multiplexar varios canales de transporte (iguales o diferentes entre sí).
- El canal físico tiene una tasa binaria variable dinámicamente.
- Para acomodar esas variaciones de tasa, el canal físico puede ocupar un número variable de recursos tiempo-frecuencia.
- Se utilizan técnicas de adaptación de tasa binaria (*rate matching*), que modifican la tasa de codificación de canal para acomodarla al canal físico.

Señales de referencia en DL

- Señales de referencia específicas de la célula:
 - Se utilizan para estimación de canal excepto en ciertos tipos de transmisión.
 - Abarcan todo el ancho de banda de la célula.
- Señales de referencia específicas para un móvil:
 - Se utilizan para ciertos tipos de transmisión, en los que se aplica conformación de haz sin indicar al móvil los parámetros de la conformación.
 - Abarcan sólo los RB en los que se transmite al móvil.
- Señales de referencia para MBSFN.

Señales de referencia de célula en DL

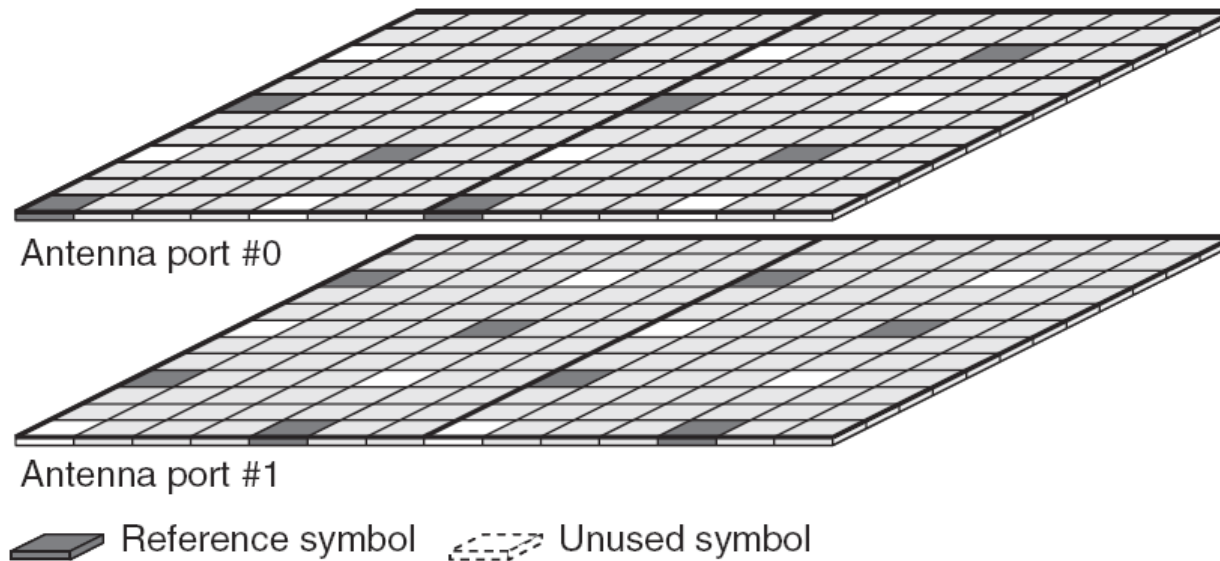
Sin multiplexación espacial (1 puerto de antena)



- Se utilizan los símbolos 1º y antepenúltimo (4º ó 5º) de cada intervalo.
- Separación en frecuencia de 6 subportadoras.
- Las señales de los símbolos 1º y 4º/5º van escalonadas en frecuencia.
- Se pueden enviar los símbolos de referencia con más potencia, para mayor fiabilidad. En ese caso se desplazan en frecuencia los de células vecinas.
- Los valores de los símbolos de referencia forman una secuencia que se repite en cada trama.
- La secuencia es diferente para cada célula. Hay 504.

Señales de referencia de célula en DL

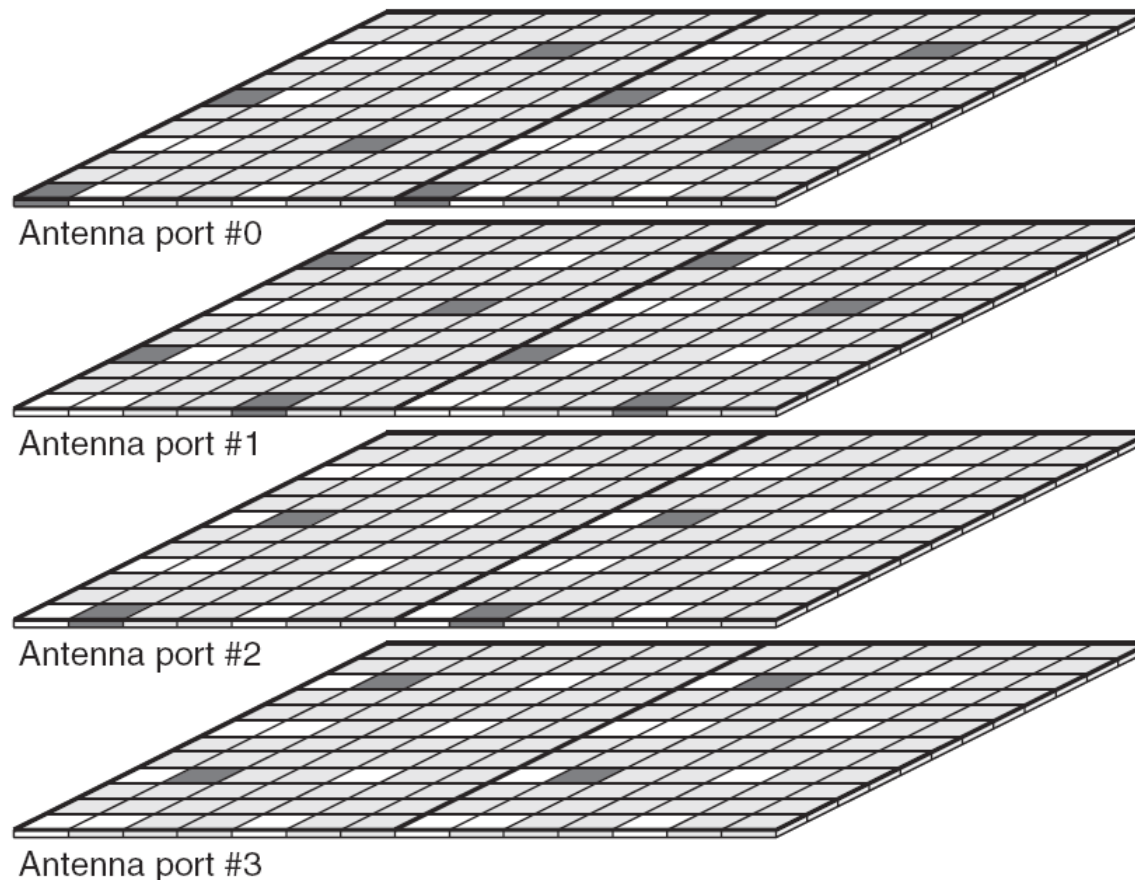
Con multiplexación espacial mediante 2 flujos (puertos de antena)



- En cada antena se dejan libres los símbolos de referencia utilizados por otras antenas, para facilitar la estimación.

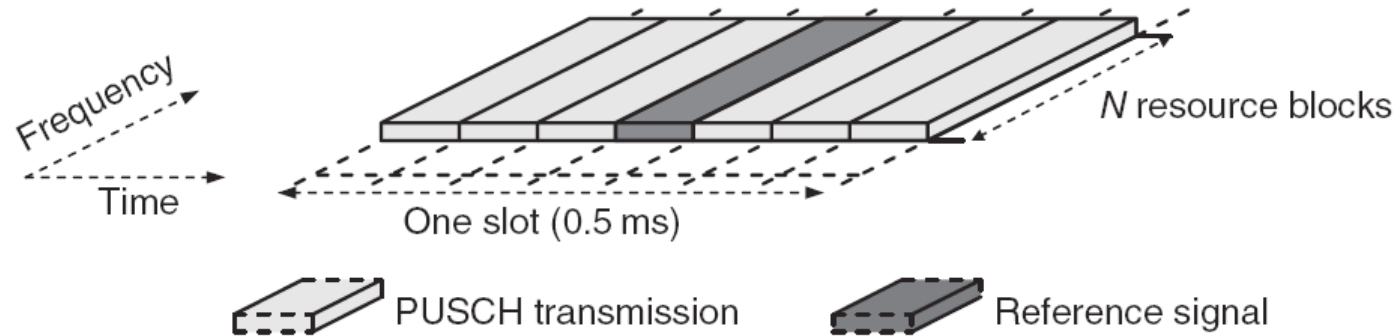
Señales de referencia de célula en DL

Con multiplexación espacial mediante 4 flujos (puertos de antena)



- En los puertos tercero y cuarto hay la mitad de símbolos. Será utilizable con baja movilidad.

Señales de referencia para demodulación en UL

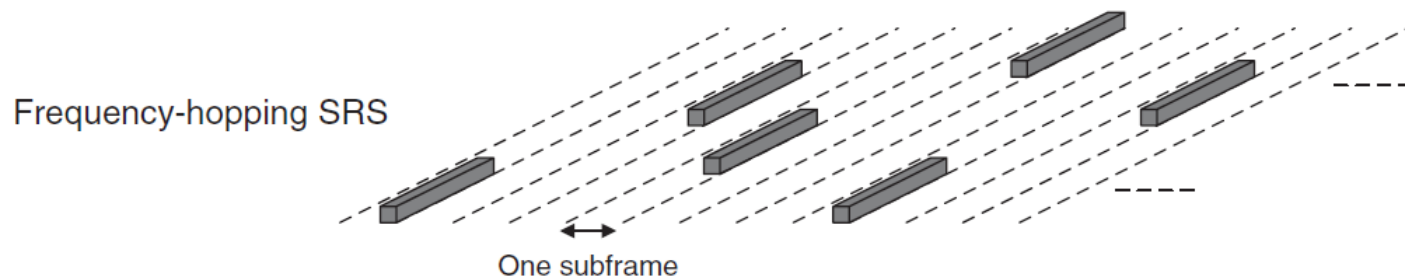
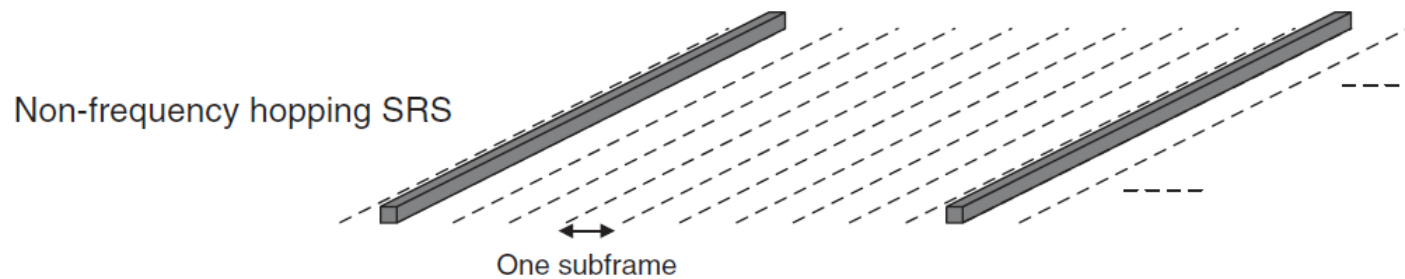
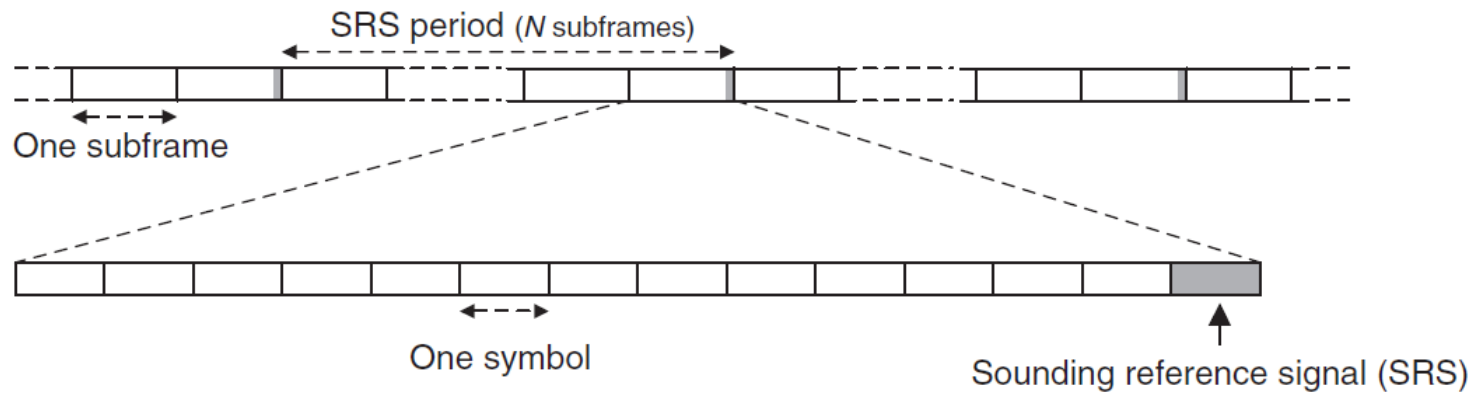


- Se denominan *demodulation reference signals* (DRS).
- Se utilizan como **referencia para la demodulación**.
- Se transmiten en PUSCH y PUCCH.
- Cubren el ancho de banda de la transmisión.
- Ocupan todas las subportadoras (para mantener PAPR baja). Se transmiten en el intervalo 4^º, ó 3^º si se usa prefijo cíclico ampliado.

Señales de referencia para sondeo en UL

- Se denominan *sounding reference signals* (SRS).
- Se utilizan para que la base pueda hacer una **estimación del estado de canal** (necesaria para planificación y adaptación de tasa).
- Se envían con un periodo entre 2 y 160 ms. Ocupan el último símbolo de la subtrama
- Pueden cubrir un ancho de banda mayor que el de la transmisión normal; idealmente todo el disponible en la estación base.
- Hay dos modalidades:
 - De banda ancha: ocupan cada vez toda la banda de interés.
 - De banda estrecha, con saltos de frecuencia: señal más estrecha que por medio de saltos cubre la banda de interés.

Señales de referencia para sondeo en UL

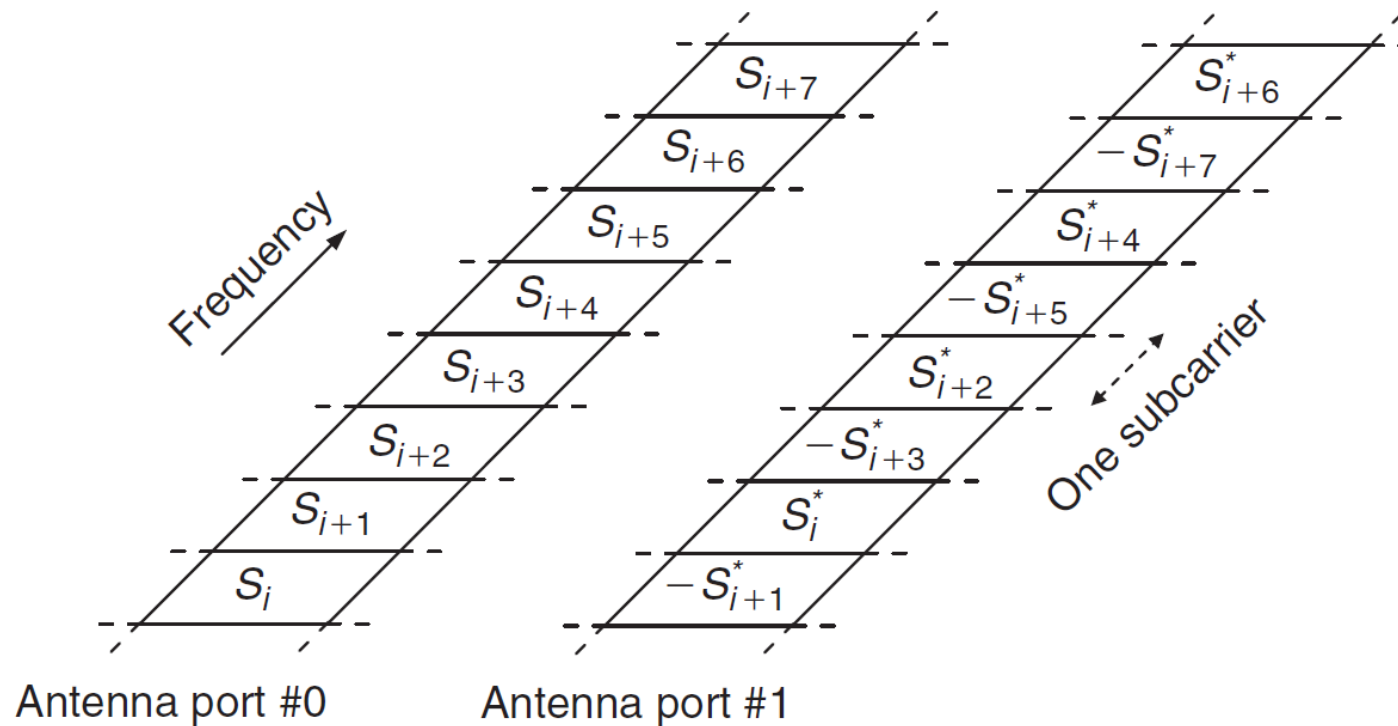


5. Transmisión multiantena, MBSFN

Transmisión multiantena en DL

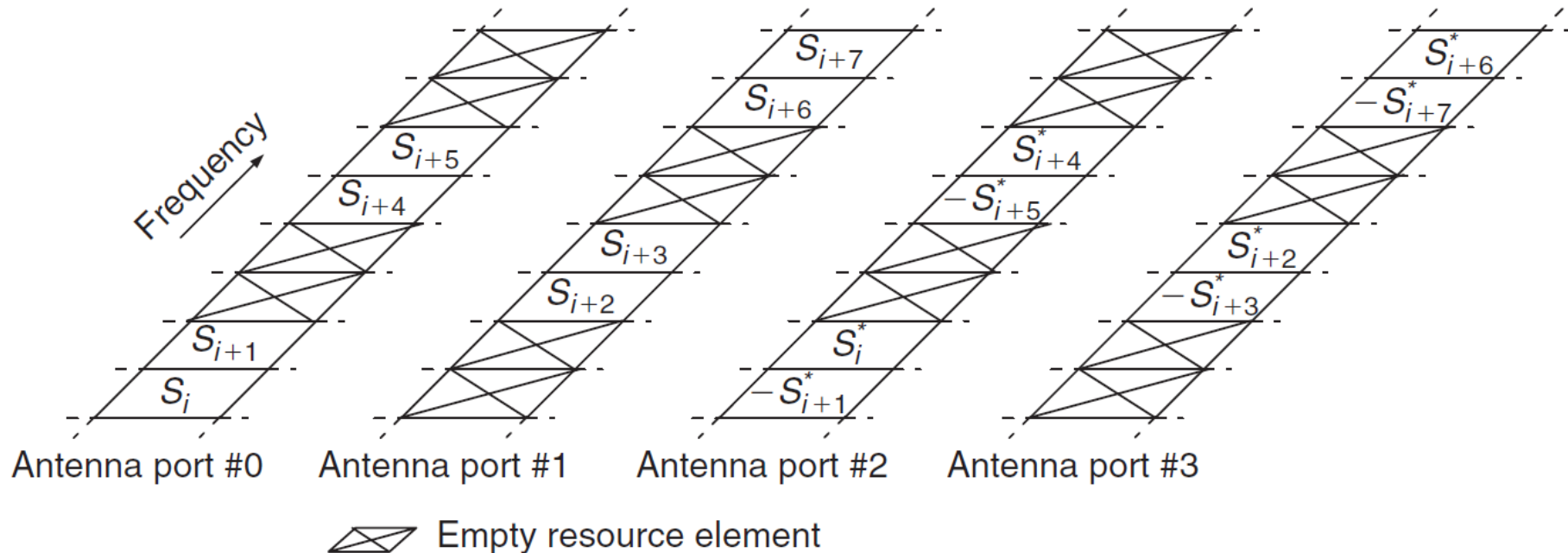
- Diversidad de transmisión en bucle abierto:
 - Con 2 puertos de antena: SFBC (*Space-Frequency Block Coding*)
 - Con 4 puertos de antena: SFBC/FSTD (*Frequency-Shift Transmit Diversity*)
 - Conformación de haz (*beamforming*) arbitraria, usando señales de referencia específicas para cada móvil.
- Multiplexación espacial en bucle abierto:
 - *Cyclic-Delay Diversity*: aplica matrices de pre-codificación que introducen diversificación en frecuencia, sin realimentación del móvil (sí se realimentan otras informaciones del canal)
- Diversidad de transmisión en bucle cerrado, basada en conjuntos predefinidos de vectores de pre-codificación y realimentación:
 - Conformación de haz (*codebook-based beamforming*).
- Multiplexación espacial en bucle cerrado, basada en conjuntos predefinidos de matrices de pre-codificación y realimentación.
 - Con 2 puertos de antena y 2 flujos.
 - Con 4 puertos de antena y 2, 3 ó 4 flujos.

Diversidad de transmisión en DL: SFBC



- 2 puertos de antena
- Se utiliza pre-codificación de Alamouti en frecuencia

Diversidad de transmisión en DL: SFBC/FSTD



- 4 puertos de antena
- Se utiliza pre-codificación de Alamouti en frecuencia en pares de antenas (SFBC), y diversificación de antenas por pares (FSTD)

Multiplexación espacial/diversidad de transmisión en bucle cerrado en DL

- Existe un conjunto predefinido de vectores (para diversidad de transmisión: un flujo) o matrices (para multiplexación espacial: varios flujos) de precodificación: “*codebook*”.
- El móvil debe indicar a la base (realimentación) el vector o matriz más apropiado.
- En general, el vector o matriz más apropiado varía con la frecuencia, por lo que la realimentación debe ser dependiente de la frecuencia.
- El número de vectores o matrices es reducido (compromiso)
- Ejemplo: para 2 puertos de antena:

One layer

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} +1 \\ +1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} +1 \\ -1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} +1 \\ +j \end{bmatrix} \quad \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} +1 \\ -j \end{bmatrix}$$

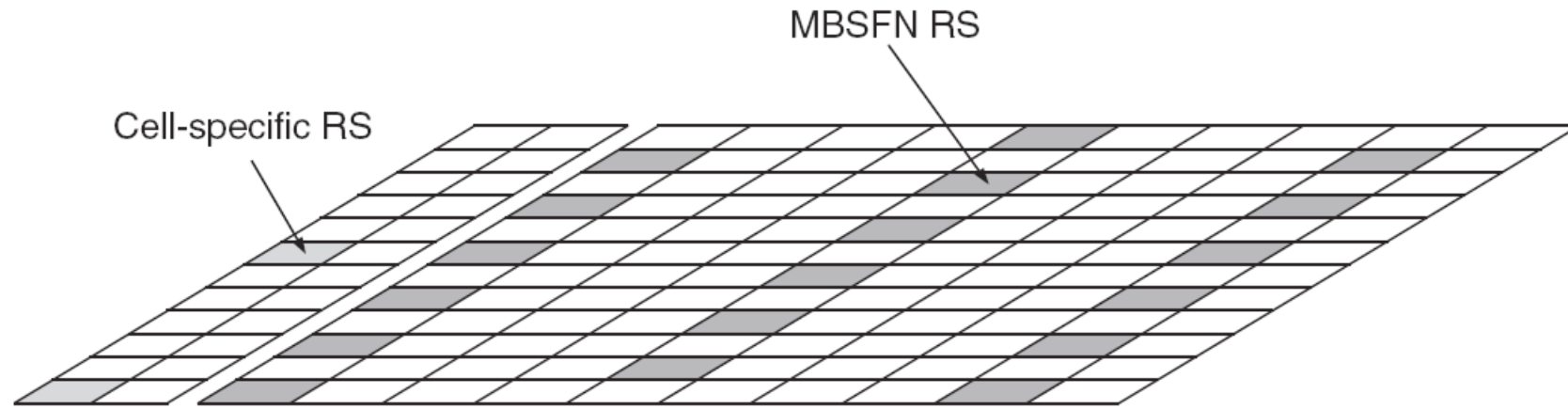
Two layers

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{2} \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ +j & -j \end{bmatrix}$$

MBSFN

- MBSFN (*Multicast/Broadcast over Single Frequency Network*) es un modo de transmisión en DL que consiste en enviar la misma información desde varias bases.
- Se utiliza el concepto SFN mediante OFDM.
- El móvil ve la **señal agregada** como una señal única que ha atravesado un canal multitrayecto con **gran dispersión temporal**.
- Las bases participantes forman el “área de MBSFN”.
- Se utilizan el canal de transporte MCH y el canal físico PMCH.
- No se utilizan diversidad de transmisión ni multiplexación espacial.
- Las subtramas del PMCH tienen una estructura especial:
 - Parte *unicast*: equivale a la zona de señalización de las tramas no MBSFN. Ocupa 2 símbolos como máximo. Puede usar prefijo cíclico normal o ampliado.
 - Parte MBSFN: usa siempre prefijo cíclico ampliado.

Señales de referencia MBSFN



- La posición de los símbolos de referencia es la misma para todas las bases del área de MBSFN. De esa forma la estimación refleja correctamente el canal de propagación equivalente.
- Debido a la gran dispersión temporal del canal equivalente, se requiere mayor densidad en frecuencia de señales de referencia.

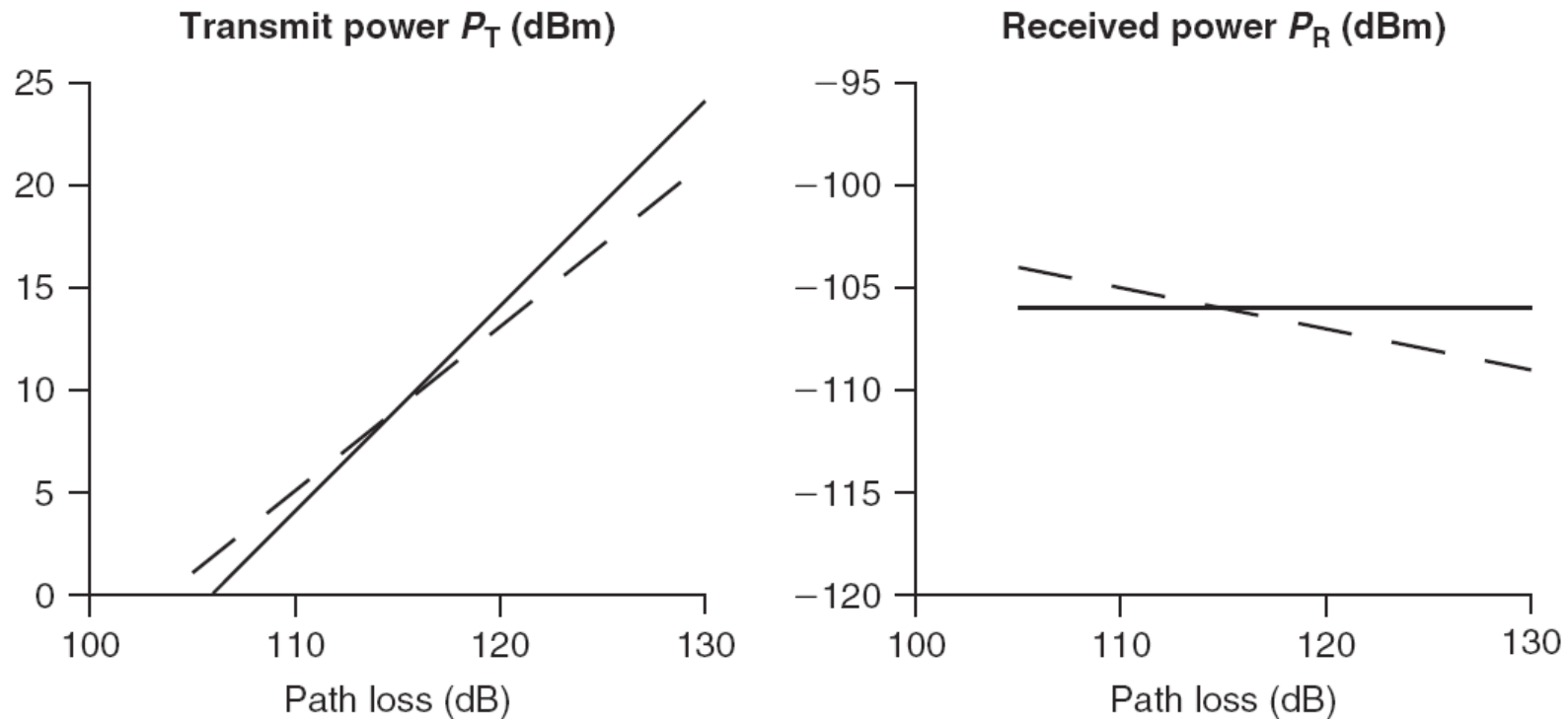
6. Procesos asociados a la transmisión:
adaptación de tasa binaria, control de potencia,
planificación de usuarios.

Adaptación de tasa binaria

- Existen 29 formatos de modulación y codificación (MCS). Cada uno determina un valor de eficiencia espectral (bit/s/Hz) bruta, es decir, sin descontar retransmisiones.
- Cada uno de ellos puede utilizarse con un número variable de RB, en función de la planificación hecha por la base.
- Restricciones generales:
 - El MCS debe ser el mismo en todos los RB asignados
 - El número de flujos espaciales debe ser el mismo en todos los RB
- Restricciones en UL:
 - Deben asignarse a un usuario RB contiguos en frecuencia
 - No se utiliza multiplexación espacial (sí en LTE-A).
- Se realimentan tres tipos de información sobre el estado del canal:
 - CQI (*Channel Quality Indicator*): puede ser *wideband* o *frequency-selective*.
 - RI (*Rank Indicator*): siempre es *wideband*.
 - PMI (*Pre-coding Matrix Indicator*): puede ser *wideband* o *frequency-selective*.

Control de potencia

Respecto a sistemas anteriores, se introduce la posibilidad de compensación **parcial** de la pérdida de propagación: compromiso entre control de potencia y adaptación de tasa binaria.

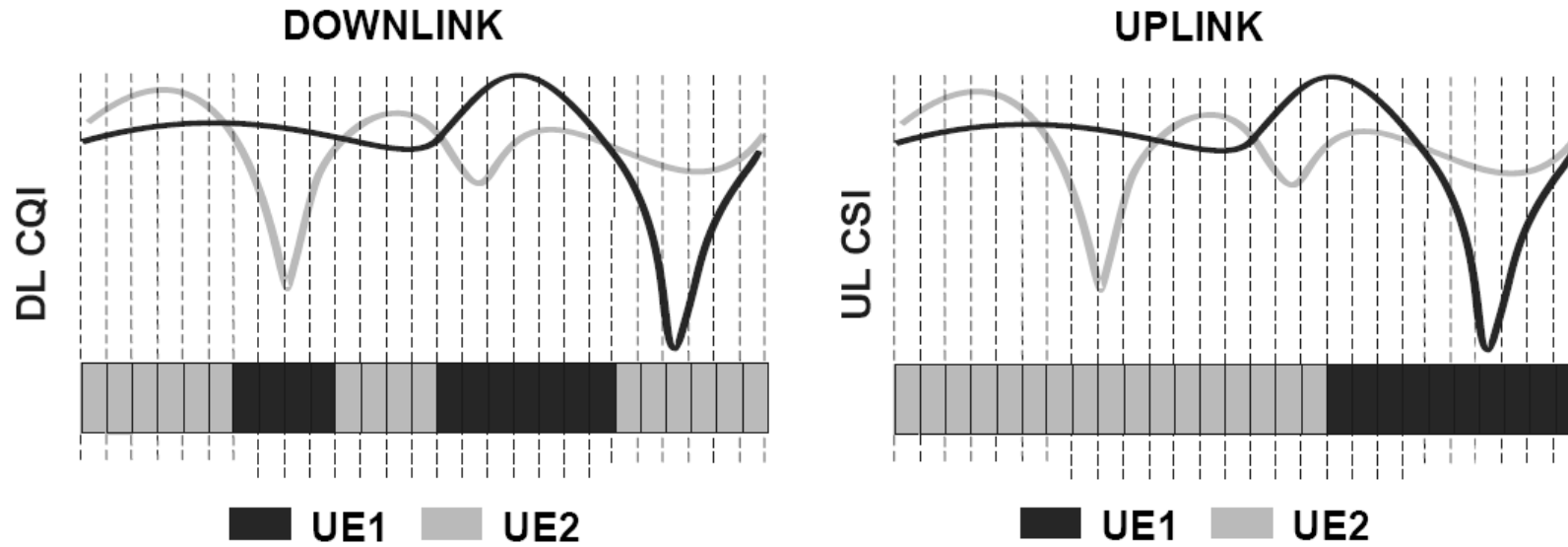


Planificación (*scheduling*)

- La planificación tiene una resolución en frecuencia de un RB (180 kHz, normalmente), y en tiempo de una subtrama (1 ms).
- El número de RB existentes en la base varía entre 6 y 110, según el ancho de banda total disponible en la base.
- La información de planificación (asignación de RB a usuarios) para DL y UL se envía en canales PDCCH, uno para cada usuario planificado simultáneamente.
- Hay diferentes formatos para los mensajes del PDCCH: compromiso flexibilidad de asignación - carga de señalización.
- Restricciones en UL:
 - Deben asignarse a cada usuario RB contiguos en frecuencia
 - No se utiliza multiplexación espacial (sí en LTE-A)
 - El MCS no puede cambiar entre retransmisiones
- La planificación puede hacerse **dependiente del canal**: se aprovechan máximos del canal en **tiempo y frecuencia**, pero requiere **realimentación** y **señales de sondeo** en sentido ascendente.
- A veces la planificación no es dependiente del canal (p. ej. alta movilidad). Se asignan RB separados en frecuencia para tener **diversificación**.

Planificación dependiente del canal

Efecto de la restricción de subportadoras contiguas en UL



7. Planificación radio

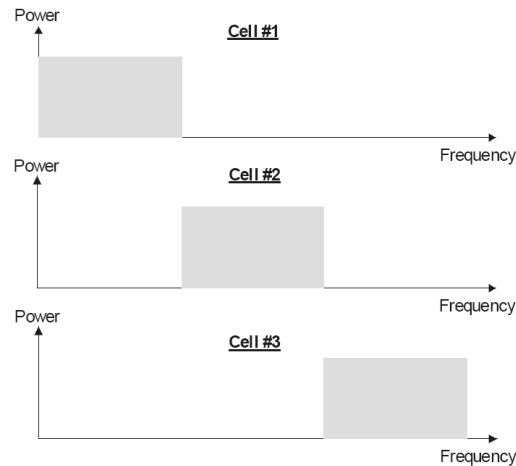
Planteamiento de la planificación radio

- Proceso complicado, debido a la complejidad de la tecnología LTE
- No existen modelos teóricos: debe recurrirse a simulación
- La simulación es más compleja que en sistemas UMTS, debido a la planificación dependiente del canal, que obliga a simular de forma explícita en el nivel de sistema las variaciones del canal multitrayecto (en tiempo y en frecuencia)
- Debe recurrirse a herramientas de simulación específicas.

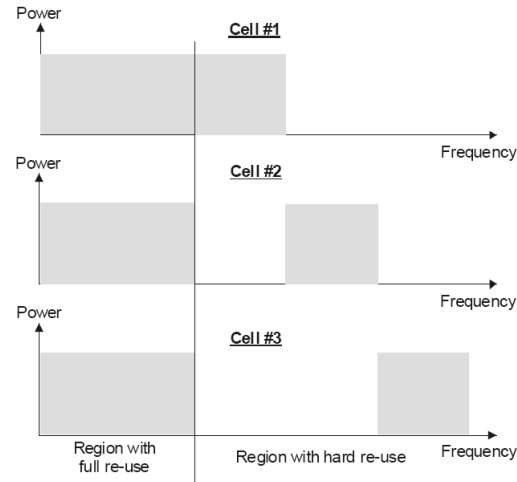
Reutilización de frecuencias

Se introducen métodos nuevos de reutilización de frecuencias:

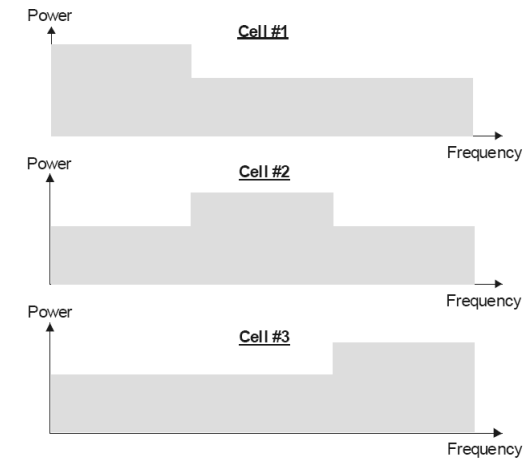
- Estáticos: *hard / fractional / soft / ...*
- Dinámicos: coordinación de interferencias entre células (*inter-cell interference coordination, ICIC*)



Hard



Fractional



Soft