

# Sistemas de Comunicaciones Móviles. Principios básicos

Diego Méndez Romero

Universidad Carlos III de Madrid

Curso 2018-2019

# Índice

- 1 Principios fundamentales
  - Introducción
  - Capa física
  - Efectos de canal
- 2 Diseño de sistema móvil
  - Restricciones por cobertura
  - Restricciones por interferencia
  - Restricciones por tráfico

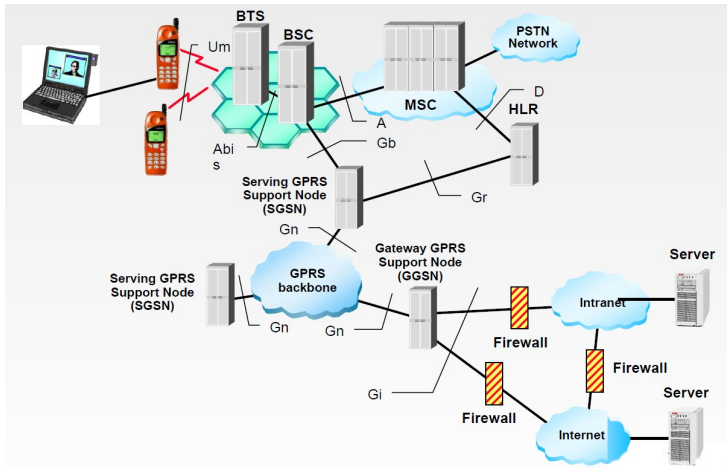
# Introducción

- Sistema de comunicaciones móviles
  - Transmisión de voz y datos (+ señalización)
  - Móviles  $\Rightarrow$  Movilidad de los terminales
  - Movilidad  $\Rightarrow$  Área de cobertura
  - Área de cobertura
    - Establecer
    - Mantener
    - Calidad
  - Dos sentidos de comunicación
    - Downlink (estación fija a terminal móvil)
    - Uplink (terminal móvil a estación fija)

# Composición

- Estaciones fijas
  - Estación base (BS)
    - Se controla desde una unidad de control
    - Son fuentes/destinatarias de tráfico
    - Envía información de señalización
  - Estación de control (CS)
    - Gobierna automáticamente el funcionamiento de otra estación radio
  - Estación repetidora (RS)
    - Retransmiten las señales recibidas (mayor cobertura)
- Estaciones móviles
  - Estación radioeléctrica prevista para su utilización en un vehículo en marcha o que efectúa paradas en puntos intermedios.
- Equipos de control
  - Equipos para el gobierno de estaciones base, generación y recepción de llamadas, etc.

# Ejemplo de una red GPRS



# Clasificación de sistemas móviles

- Acceso privado (PMR, *Private Mobile Radio*)
  - Área de cobertura limitada
  - Sin acceso a RTPC (PSTN)
  - Clientes
    - Empresas (uso en despachos)
    - Servicios públicos (policía, ambulancias, bomberos)
  - Ejemplo: Sistema TETRA (*Trans European Trunked Radio*) o walkie-talkies.
- Acceso Público
  - Gran cobertura
  - Conexión a RTPC (y resto de redes telefónicas) y/o Internet
  - Prestaciones similares (o superiores) a la telefonía fija e incorporación de nuevos servicios
  - Ejemplos: GSM, UMTS, LTE
- Telefonía inalámbrica
  - Poca cobertura
  - Conexión a PSTN
  - Ejemplo: DECT (*Digital European Cordless Telecom*)

# Clasificación de sistemas móviles

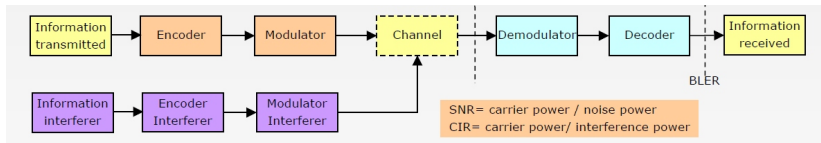
- Símplex
  - Utilizan la misma frecuencia para TX y RX, pero en diferentes instantes de tiempo
  - Ejemplo: PTT (Push to Talk)
- Half-dúplex
  - Uso de diferentes frecuencias para TX y RX ( $f_1$  y  $f_2$ )
  - Estación base incorpora un duplexor → estación base funciona en dúplex (retransmite las comunicaciones que recibe) y los terminales móviles en símplex
  - No permitido el uso simultáneo
- Full-dúplex
  - Uso de diferentes frecuencias para TX y RX ( $f_1$  y  $f_2$ )
  - Permitido el uso simultáneo (estación base y dispositivo móvil disponen de un duplexor).
  - Ejemplo: GSM, UMTS, etc.

# Introducción

- Estructura de la red
  - Red de acceso radio o interfaz aérea
    - Cómo se comparten los recursos radio entre móviles en el uplink
    - Cómo cada móvil puede distinguir su información en el downlink
  - Núcleo de red
    - Cómo se transmiten las comunicaciones entre diferentes redes de acceso
    - Cómo se interconectan distintos tipos de red
      - Móvil-Telefonía fija
      - Móvil-Internet



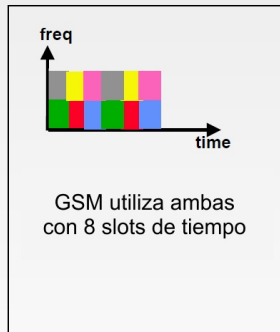
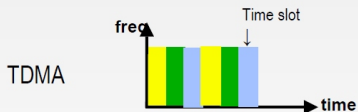
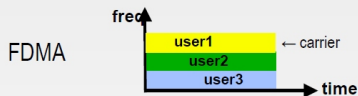
# Esquema general de comunicaciones



- Transmisor
  - MS (móvil) en Uplink
  - Estación en Downlink
- Receptor
  - MS (móvil) en Downlink
  - Estación en Uplink

- SNR
  - Relación señal a ruido
  - Medir sensibilidad a ruido
- CIR
  - Relación portadora a interferente
  - Medir sensibilidad a interferencia

# Técnicas de acceso múltiple



# Técnicas de acceso múltiple

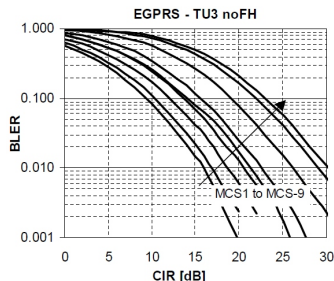
- GSM
  - Utiliza múltiples frecuencias o portadoras
  - Utiliza 8 slots de tiempo en cada portadora
  - Asigna slots a usuario o estación base para establecer comunicación
- UMTS
  - Utiliza WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*)
  - Misma frecuencia y ancho de banda para todos
  - Técnica de espectro ensanchado
    - Basada en código ortogonales
- LTE
  - Utiliza SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*)
    - Utiliza modulación de portadora única, multiplexación frecuencial ortogonal y equalización en el dominio frecuencial

# Alteraciones del canal

- Ruido
  - Fuentes externas
  - Del receptor
- Interferencias
  - Elementos
    - Móvil transmisor o receptor
    - Móvil interferente
  - Interferencia co-canal
    - Un sistema transmite en la frecuencia de otro sistema
  - Interferencia adyacente
    - Interferencia entre frecuencias próximas
- Fading
  - Multipath fading
  - Shadowing

# Medida de Calidad

- Bit Error Rate o Block Error Rate
  - Refleja la cantidad de errores de recepción de un sistema
  - Dependencias
    - Tipo de modulación
    - Esquema de codificación
    - Relación SNR
    - Relación CIR



# Modulaciones

- Diferentes modulaciones según sistema de comunicaciones móviles
  - Varias modulaciones alternativas en algunos sistemas
    - Ejemplo: EDGE puede usar GMSK y 8PSK
    - GMSK robusto, pero baja tasa binaria (1 bit/símbolo)
    - 8PSK menos robusto, pero mayor tasa binaria (3 bits/símbolo)
  - *Link Adaptation*
    - Mecanismo de cambio de modulaciones y/o esquema de codificación con una misma tecnología

# Esquemas de Codificación

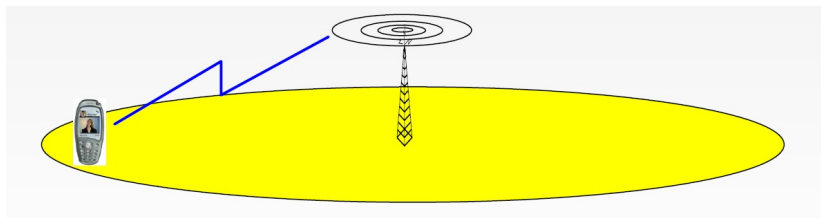
- Diferentes esquemas según sistema de comunicaciones móviles
- Diferente grado de protección frente a ruido
  - Mayor o menor redundancia
- Ejemplo: esquemas de modulación y codificación en EDGE

| Esquema | Modulación | Tasa de bloques (bits) | $R_b[kbps]$ |
|---------|------------|------------------------|-------------|
| MCS-9   | 8-PSK      | 2x592                  | 61.85       |
| MCS-8   | 8-PSK      | 2x544                  | 57.05       |
| MCS-7   | 8-PSK      | 2x448                  | 44.8        |
| MCS-6   | 8-PSK      | 592                    | 29.6        |
| MCS-5   | 8-PSK      | 448                    | 22.4        |
| MCS-4   | GMSK       | 352                    | 17.6        |
| MCS-3   | GMSK       | 296                    | 14.8        |
| MCS-2   | GMSK       | 224                    | 11.2        |
| MCS-1   | GMSK       | 176                    | 8.8         |

# Pathloss

- Pérdidas de trayecto (*pathloss*)

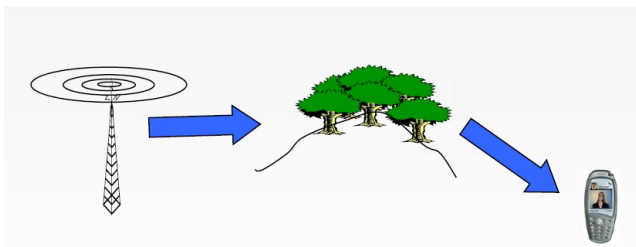
$$L_{\text{path}}[\text{db}] = 32 + 20\log(f[\text{MHz}]) + 20\log(d[\text{km}])$$





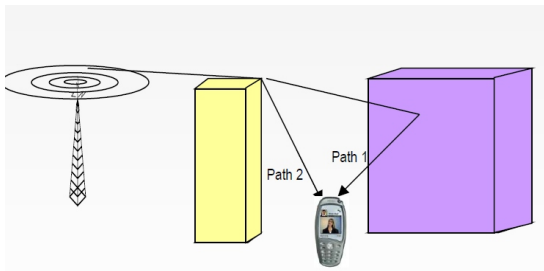
# Slow fading

- Pérdidas adicionales debidas a obstáculos en el camino de propagación
- También llamado *Shadowing* o *Shadow fading*
- Provoca variaciones en la media de la señal recibida
- Slow  $\Rightarrow$  Cambios en la media lentos en relación a la velocidad del terminal móvil
- Representado mediante una distribución log-normal



# Fast fading

- También denominado *Multipath fading*
- Propagación radio implica múltiples trayectorias de una misma señal que pueden coincidir en un punto debido a reflexiones y refracciones
- Diferentes caminos provocan señales de diferente amplitud y diferente fase
- Combinación de esas señales genera distorsión, degradando la señal



# Fast fading

- La amplitud y la fase depende de:
  - Localización del terminal
  - Frecuencia utilizada
  - Tiempo (si terminal está en movimiento)
- Cambios rápidos en el nivel de señal recibido
- Dos casos:
  - Co-fase (suma constructiva)
  - Anti-fase (suma destructiva)
- Caídas en la potencia (*fading dips*) de la señal total cuando las distintas contribuciones se sumen de forma regresiva → hasta 20 dB de pérdidas en entornos urbanos



# Cáculo del Link Budget

- Calcular la cobertura o rango celular en el Uplink y Downlink
- Intuición inicial del despliegue y dimensionado de equipos
- Dos opciones
  - Cobertura total → la mínima de ambas (generalmente, limita UL)
  - Diseñar para igualar ambas (controlando la potencia transmitida)
- Mínimo rendimiento en recepción
  - Establecido en normativa 3GPP
  - Valores de sensibilidad mínima en receptores (MS, Estación)
  - Especificados según banda de frecuencias, tipo de canal (urbano, rural), SNR
- Pérdidas
  - Pérdidas espacio libre
  - Pérdidas por componentes
  - Pérdidas corporales (3 dB para voz, 0 dB para datos)

# Balace de potencias

- Ecuación general

$$S_{RX} \leq P_{RX} = P_{TX} - L_{TX} + G_{TX} - L_{PathLoss} - L_A + G_{RX} - L_{RX}$$

- $P_{TX}$  Potencia transmitida
- $L_{TX}$  Pérdidas en el sistema transmisor
- $G_{TX}$  Ganancia de la antena de transmisión
- $L_{PathLoss}$  Pérdidas por propagación (modelo clásico o especializado)
- $L_A$  Pérdidas adicionales (márgenes de seguridad, fading, etc)
- $G_{RX}$  Ganancia de la antena receptora
- $L_{RX}$  Pérdidas del sistema de recepción
- $P_{RX}$  Potencia total recibida en el receptor
- $S_{RX}$  Sensibilidad del receptor
  - $S_{RX} = SNR + N =$  Relación señal a ruido más ruido en el receptor

# Modelos de propagación

- Definición
  - Relacionar las pérdidas de transmisión radio con la distancia, frecuencia y altura de la estación base

- Modelo clásico

$$L_{PathLoss}[db] = 32 + 20\log(f[MHz]) + 20\log(d[km])$$

- Modelo Vehicular Test

$$d[km] = 10^{R_{log}}$$
$$R_{log} = \frac{L_{PathLoss} - 80 - 21\log(f[MHz]) + 18\log(h_{bts})}{40(1 - 0,004h_{bts})}$$

- Modelos de interior o exterior
- Macroceldas, microceldas, picoceldas

# Modelos de propagación

- Modelo Okumura-Hata

- Entornos urbanos

$$L_{PathLoss} = 69,55 + 26,6\log(f[MHz]) - 13,82\log(h_{bts}) - a(h_m) + (44,9 - 6,55\log(h_{bts})\log(d[km]))$$
$$a(h_{bts}) = \begin{cases} (1,1\log(f[MHz]) - 0,7)h_{bts} - (1,56\log(f[MHz]) - 0,8) & \text{Ciudad pequeña} \\ 8,29(\log(1,54h_{bts}))^2 - 1,1 & \text{Ciudad grande, } f \leq 200MHz \\ 3,2(\log(11,75h_{bts}))^2 - 4,97 & \text{Ciudad grande, } f \geq 400MHz \end{cases}$$

- Modelo Cost-231

- Más complejo todavía



# Cálculo de interferencias

## ● Interferencias

- Número elevado de usuarios
- Aumenta el número de estaciones base y de MS
- Aumenta la reutilización de frecuencias
- Múltiples sistemas interferentes
- Evaluado mediante  $C/I$

# Cálculo de interferencias

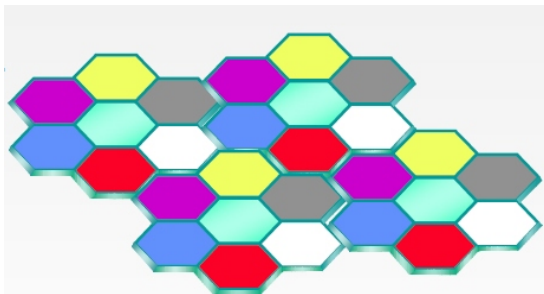
- Relación  $C/I$ 
  - $C$  Potencia de la portadora
  - $I$  Suma de potencias de sistemas interferentes
- Dos casos
  - Interferencia en DL
    - Receptor es MS, recibiendo de BTS
    - El resto de BTS pueden ser interferentes
    - Interferencia cocanal (misma frecuencia)
  - Interferencia en UL
    - Receptor es BTS, recibe de un MS
    - Otros MS en otras celdas pueden ser interferentes
    - Interferencia cocanal (misma frecuencia)
- Dos criterios de diseño
  - $C/I > (C/I)_{min}$ , con  $(C/I)_{min}$  la mínima relación que permite obtener una calidad de comunicación determinada al borde la de cobertura
  - $P(C/I > (C/I)_{min})$

# Cálculo de interferencias

- Distancia de Reuso
  - Distancia física mínima entre dos transmisores que utilizan la misma frecuencia para garantizar una determinada calidad
- Algoritmo de asignación de recursos
  - Frecuencia y potencia MS
  - Frecuencia y potencia de BTS
- Objetivo de diseño
  - Encontrar una asignación de recursos y distancia de reuso que permita garantizar una  $C/I$

## Cálculo de interferencias

- Organización en clusters de  $k$  celdas
- Mismas  $N$  frecuencias utilizadas en todos los clusters
- Diferentes frecuencias en cada celda de un cluster
  - $N/k$  frecuencias por celda



# Cálculo de interferencias

- Factor de reuso  $k$ 
  - Número de celdas por cluster
  - $k = ((i + j)^2) - ij$  con  $i, j = 0, 1, 2, 3, \dots$
  - $k = 1, 3, 4, 7, 9, \dots$
- Distancia de reuso (caso hexagonal)
  - $D = \sqrt{3k}R$
- Compromiso capacidad y calidad
  - Reuso bajo ( $k \downarrow$ )  $\Rightarrow$  Alta interferencia, Alta capacidad, Baja cobertura
  - Reuso alto ( $k \uparrow$ )  $\Rightarrow$  Baja interferencia, Baja capacidad, Alta cobertura
- Plan celular simétrico
  - 6 interferentes cocanal a  $D$
  - Otros seis a  $\sqrt{3D}$
  - Otros seis a  $2D$

# Cálculo de interferencias

- Sectorización
  - Mejorar  $C/I$
  - Reducir número de sistemas interferentes
  - Uso de antenas direccionales
  - Cada celda se divide en  $S$  sectores
    - $S = 3$ , ángulo  $120^\circ$
    - $S = 6$ , ángulo  $60^\circ$
  - Frecuencias asignadas a la celda se dividen entre sus sectores
  - Se reduce el número de interferentes de 6 a 2 (a distancia  $D$ )

# Cálculo de interferencias

- Factor de propagación  $\alpha$ 
  - Caracteriza aproximadamente las pérdidas de propagación de un emisor para diferentes entornos
  - $P_R = P_T/d^\alpha$
- Potencia de portadora
  - Peor caso, MS situado en el borde de la región de cobertura (a distancia R)
  - $C = P_T/R^\alpha$
- Potencia interferente total (caso hexagonal)
  - Se asumen BTS interferentes a distancia D (reuso) del MS
  - $I = N_I P_T/D^\alpha$
  - $N_I$  Número de sistemas interferentes a distancia D

$$\frac{C}{I} = \frac{P_T/R^\alpha}{N_I P_T/D^\alpha} = \frac{(D/R)^\alpha}{N_I} = \frac{(\sqrt{3k})^\alpha}{N_I}$$

# Número de terminales

- M terminales móviles en una celda
  - Tasa de llegadas ( $\lambda$ ) con distribución Poisson
  - Tiempo de servicio ( $1/\mu$ ) con distribución exponencial
  - Intensidad de tráfico ofrecido  $I_O = \lambda/\mu$  Erlangs
- Densidad de terminales ( $w$ )
  - Número de terminales por unidad de área (ejemplo:  $w = usuarios/km^2$ )
- Relación
  - $M = wA$  siendo  $A$  el área de una celda
  - Caso hexagonal  $A = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2$



# Análisis de tráfico

- Tráfico total de una celda
  - $I_T = MI_O$
- Número de canales
  - En general, número de frecuencias  $N_F$  por celda
  - En GSM, 8 canales por frecuencia, en total,  $8N_F$
- Condición de diseño
  - Probabilidad de bloqueo  $P_B$
  - Cola M/M/c/c  $\Rightarrow$  Erlang-B