

Técnicas de Acceso al Medio

Enrique Alexandre

Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones

Curso 2021/2022

Índice

1. Introducción
 - Motivación
 - Distintas aproximaciones
 - Representación intuitiva
 - Ejemplo: telefonía móvil
2. FDMA
 - Introducción
 - Modo full duplex
 - Ventajas e inconvenientes
3. TDMA
 - Introducción
 - Parámetros importantes
 - Ejemplo: GSM
 - Ejemplo: GSM
 - Ejemplo: Enlace ascendente PON
 - Ventajas e inconvenientes
4. SDMA
5. CDMA
 - Introducción
 - Técnicas DS
 - Problema cerca-lejos
 - Técnicas FH
 - Ventajas e inconvenientes
6. OFDMA
 - Introducción
 - Funcionamiento
 - Funcionamiento
 - Número de usuarios
 - Ventajas e inconvenientes
 - OFDMA vs. FDMA
 - OFDMA vs. CDMA
7. NOMA
 - Introducción
 - NOMA vs. OMA
 - NOMA vs. OFDMA

Introducción

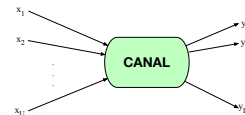
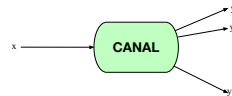
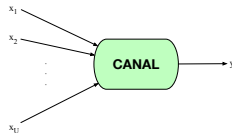
Motivación

- Recursos escasos en un sistema de telecomunicación
 - Ancho de banda
 - Potencia
 - Número de portadoras disponibles
- ¿Qué se hace cuando varios usuarios quieren acceder a estos recursos?
 - Dividir y asignar dichos recursos
 - Frecuencia
 - Tiempo
 - Código

Introducción

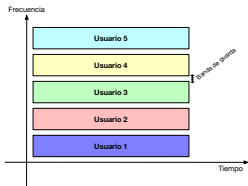
Distintas aproximaciones

- **MAC** (Multiple-Access Channel)
 - Ej.: GSM, Wi-Fi
- **BC** (Broadcast Channel)
 - Ej.: Radio, TV
- **IC** (Interference Channel)
 - Ej.: Redes militares



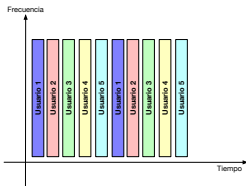
Introducción

Representación intuitiva



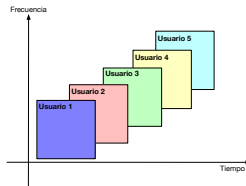
FDMA

A cada usuario se le asigna una frecuencia



TDMA

A cada usuario se le asigna un slot de tiempo



CDMA

A cada usuario se le asigna un código

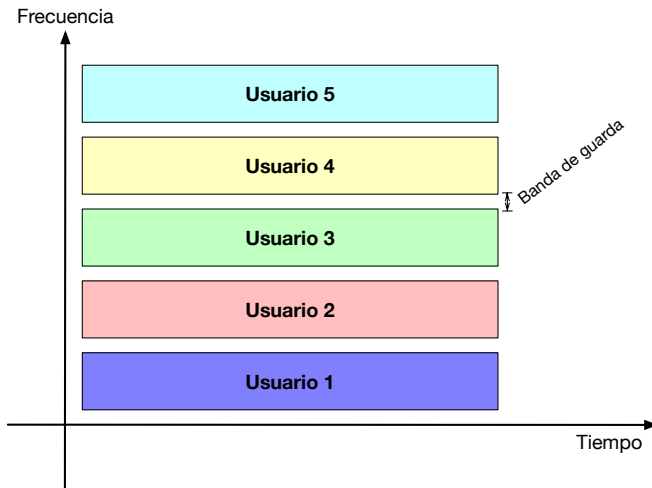
Introducción

Ejemplo: telefonía móvil

- **1G:** FDMA
- **2.xG:** TDMA (con alguna variación)
- **3.xG:** CDMA
- **4G:** OFDMA + MIMO
- **5G:** NOMA

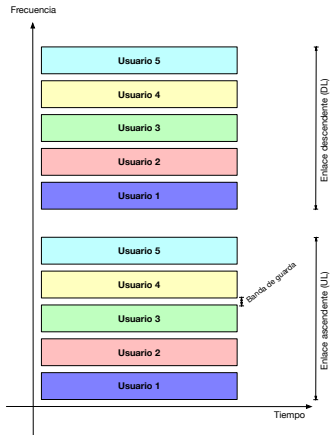
FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Definición



FDMA

Modo full duplex



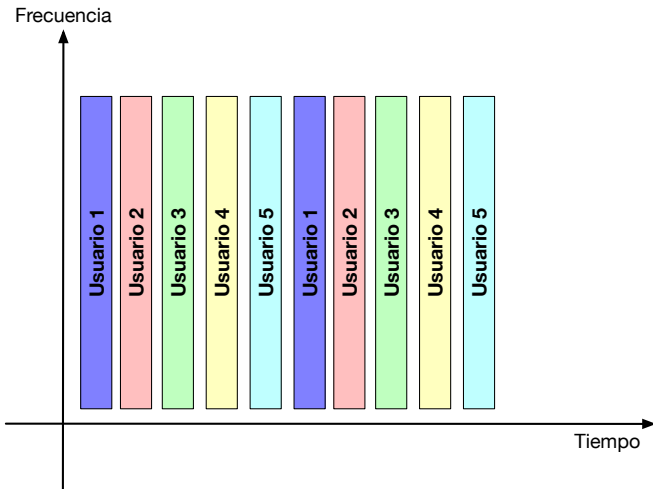
FDMA

Ventajas e inconvenientes

- Ventajas:
 - Compatible con modulaciones analógicas y digitales
 - Implementación muy sencilla
- Inconvenientes:
 - No aprovecha bien el espectro disponible (en comparación con TDMA y CDMA)
 - Es un sistema rígido
 - Posible interferencia entre canales
- Aplicaciones:
 - FM comercial: $BW=150\text{kHz}$, guarda de 25kHz
 - Fibra óptica

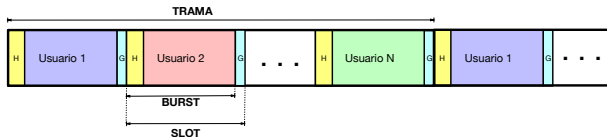
TDMA (Time Division Multiple Access)

Introducción



TDMA

Parámetros importantes

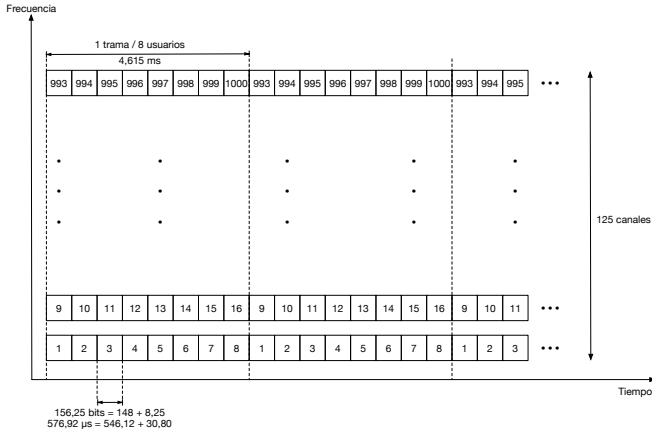


- B_{TRAMA} , T_{TRAMA} : N° de bits y duración de la trama
- N : N° de slots por trama
- B_{SLOT} : N° de bits en cada slot
- B_{BURST} : N° de bits de información por burst:

$$B_{\text{BURST}} = B_{\text{SLOT}} - G$$
- H : Bits de overhead por slot
- G : Bits/tiempo de guarda

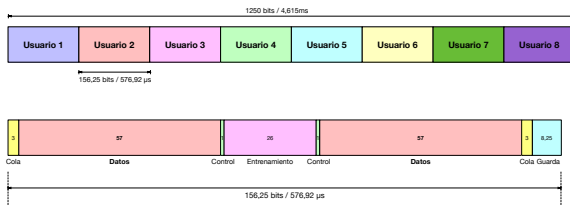
TDMA

Ejemplo: GSM



TDMA

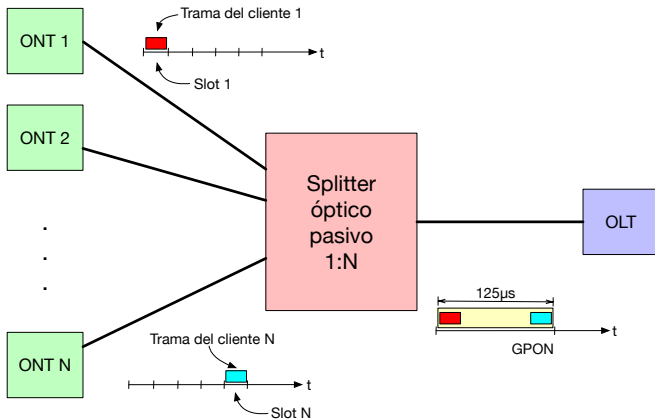
Ejemplo: GSM



- $B_{\text{SLOT}} = 156,25 \text{ bits}$
- $B_{\text{BURST}} = 148 \text{ bits}$
- $H = 34 \text{ bits}$
- $G = 8,25 \text{ bits}$
- $T_{\text{SLOT}} = 576,92 \mu\text{s}$
- $T_{\text{BURST}} = 546,12 \mu\text{s}$
- $T_{\text{TRAMA}} = 4,615 \text{ ms}$
- $C = \frac{B_{\text{BURST}}}{T_{\text{BURST}}} = \frac{148}{546,12} = 271 \text{ kbps}$
- $R_{\text{bu}} = \frac{B_{\text{BURST}} - H}{T_{\text{TRAMA}}} = \frac{114}{4,615 \text{ ms}} = 24,7 \text{ kbps}$

TDMA

Ejemplo: Enlace ascendente PON



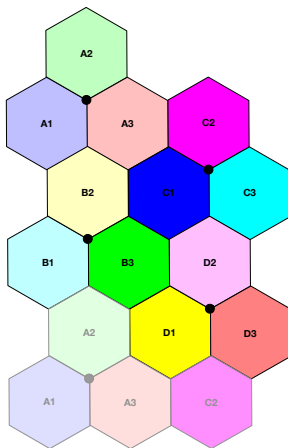
TDMA

Ventajas e inconvenientes

- Ventajas:
 - Versatilidad. Se pueden asignar más o menos slots a cada usuario.
 - Buen rendimiento espectral
- Inconvenientes:
 - Complejidad. Requiere sincronización estricta
 - Limitado a sistemas digitales
- Aplicaciones:
 - Telefonía móvil 2.xG (en combinación con FDMA)

SDMA (Spatial Division Multiple Access)

- Se utilizan antenas directivas para cubrir distintas zonas del espacio con distintos haces de radiación.



CDMA (Code Division Multiple Access)

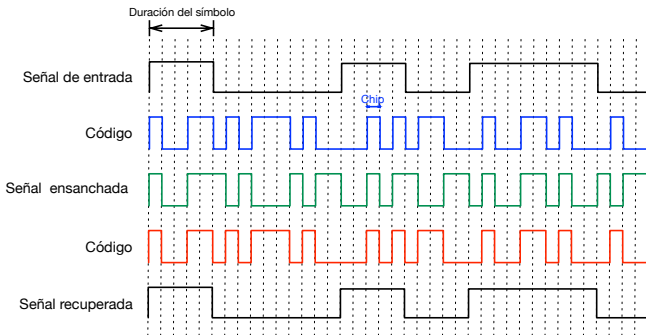
Introducción

- Los usuarios transmiten simultáneamente y en las mismas frecuencias.
- ¿Cómo se separa cada comunicación?
 - Técnicas de espectro ensanchado (SS, Spread Spectrum):
 - **DS:** Direct Sequence
 - **FH:** Frequency Hoping
 - **TH:** Time Hoping

CDMA

Técnicas DS

- Cada usuario dispone de un código que utiliza para codificar la señal enviada:



CDMA

Técnicas DS

- Sólo aquellos usuarios con el código correcto podrán interpretar la señal recibida.
- Para el resto será indistinguible del ruido.
- La probabilidad de error para M usuario es:

$$P_e = Q\left(\frac{1}{\sqrt{\frac{M-1}{3P_g} + \frac{N_0}{2E_b}}}\right)$$

(siendo $P_g = \frac{W_c}{W_x}$ la ganancia del proceso)

- Si no hay ruido, la probabilidad de error se simplifica:

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{3P_g}{M-1}}\right)$$

CDMA

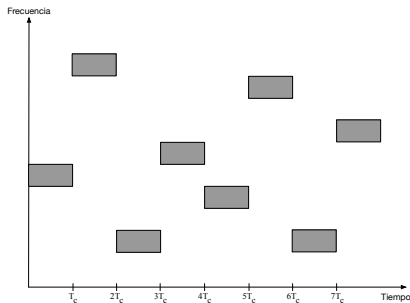
Problema cerca-lejos

- Es uno de los principales problemas de los sistemas CDMA
- Caso típico: telefonía móvil
- Puede haber problemas al detectar una señal débil en presencia de otras de mayor potencia
- Solución: técnicas de control de potencia
- Ventaja añadida: ahorro de batería

CDMA

Técnicas FH (Frequency Hopping)

- Surgieron en la II Guerra Mundial como técnicas para guiar torpedos sin poder ser detectados por el enemigo.
- La señal va saltando de una frecuencia a otra siguiendo una secuencia pseudoaleatoria



CDMA

Ventajas e inconvenientes

- Ventajas:
 - Señal transmitida con baja densidad espectral de potencia \Rightarrow afecta poco a otros sistemas.
 - Privacidad
 - No existen slots de transmisión
 - Uso eficiente del espectro
 - Disminución de problemas por multitrayecto \Rightarrow Receptor RAKE
- Inconvenientes:
 - El rendimiento se degrada al aumentar los usuarios
 - Problema cerca-lejos

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

Introducción

- Los datos se reparten entre varias subportadoras ortogonales y equiespaciadas en frecuencia:

$$\int_0^T \cos(2\pi f_k t) \cos(2\pi f_i t) = 0 \quad \forall k \neq i$$

- Cada subportadora funciona como un canal que transporta sus propios datos
- Puede verse como una técnica de espectro ensanchado

OFDMA

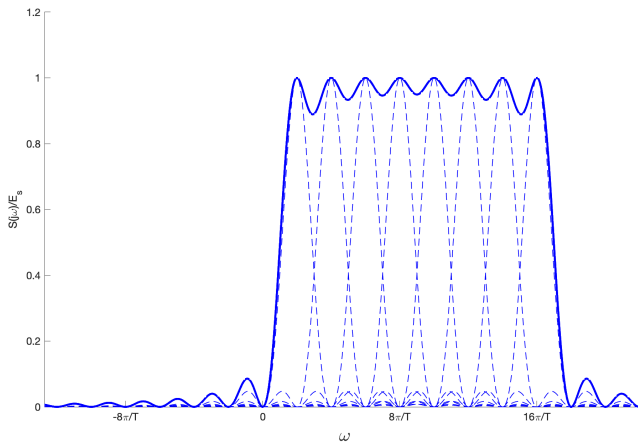
Funcionamiento

- ¿Cómo se aplica esta idea al acceso múltiple?
- Se asigna a cada usuario un cierto número de portadoras entre las que reparte el flujo total de datos
- Cada subflujo modula a cada portadora
- A cada usuario se le puede asignar, en cada slot de tiempo, un cierto número de portadoras ortogonales

OFDMA

Funcionamiento

- Espectro de 8 señales OFDM:



OFDMA

Número de usuarios

- Según en teorema de Nyquist generalizado, el número máximo de usuarios es $2WT$ (siendo W el ancho de banda)
- ¿Cómo se puede ampliar este número?
 - No asignar las portadoras de forma permanente
 - Técnicas CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Ej. Ethernet
 - Usar señales “casi” ortogonales \Rightarrow Interferencia multiacceso (MAI).

OFDMA

Ventajas e inconvenientes

- Ventajas:
 - Se reduce el riesgo de interferencia entre subcanales
 - Robusto frente a multitrayecto
 - No es necesario utilizar filtros pasobanda como en FDMA
- Inconvenientes:
 - Es necesaria una sincronización estricta
- Aplicaciones:
 - Wi-Fi (IEEE 802.11)
 - WiMax (IEEE 802.16)

OFDMA

OFDMA vs. FDMA

- OFDMA es **más eficiente** en ancho de banda
- OFDMA permite **mayor velocidad** de datos
- OFDMA es **menos robusto** frente a interferencia multitrayecto

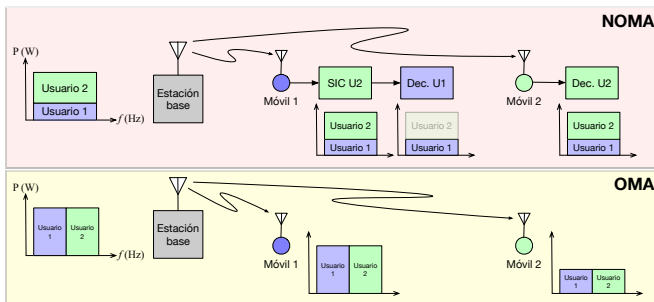
OFDMA

OFDMA vs. CDMA

- En OFDMA la información se transmite utilizando varias **portadoras ortogonales**
- En CDMA todos los usuarios **comparten frecuencias** y se utilizan códigos
- CDMA permite **comunicaciones más seguras** en entornos ruidosos

NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access)

Introducción



NOMA

NOMA vs. OMA

- En OMA, cada frecuencia se asigna a un usuario, aunque tenga malas condiciones de canal \Rightarrow **Afecta a todo el sistema**
 - NOMA comparte la misma frecuencia con todos los usuarios
- En OMA, los usuarios con mejores condiciones de canal tienen mayor prioridad \Rightarrow **Problema con conexiones masivas**
 - NOMA proporciona mejores condiciones y menor latencia
- NOMA es **prácticamente compatible** con las arquitecturas actuales

NOMA

NOMA vs. OFDMA

