

Acceso Múltiple CDMA

Jhon Jairo Padilla
Aguilar

PhD. Ingeniería
Telemática

Relación S/N y ancho de banda

Fórmula de Shannon:

$$C = W \log_2 [1 + (P/N_0 W)]$$

C: Capacidad del canal (bits/seg)

N_0 : Densidad espectral de
Potencia de ruido blanco

P: Potencia de la señal

W: ancho de banda

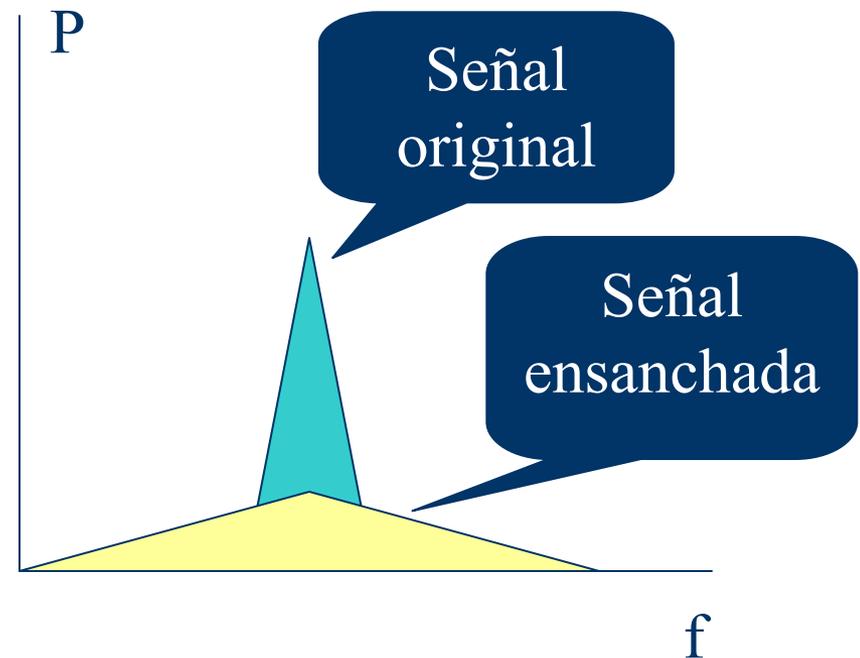
La capacidad puede mantenerse si se reduce S/N=
 $P/N_0 W = E_b/N_0$ y se aumenta el ancho de banda

Espectro Ensanchado (SS- Spread Spectrum)

Espectro Ensanchado

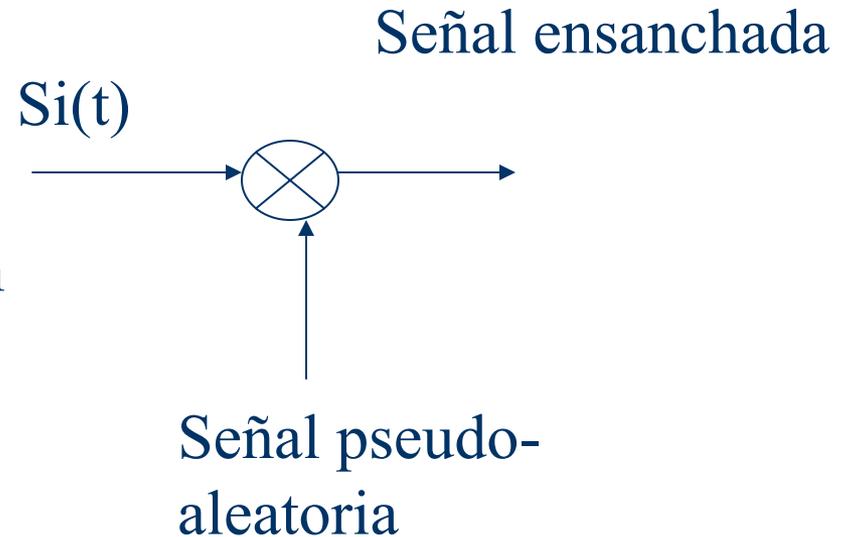
Definición:

Los sistemas de espectro (SS-Spread Spectrum) ensanchado son aquellos en que el ancho de banda de las señales transmitidas es mucho mayor que el mínimo necesario para transportar la información



Principio Básico de SS

La señal original se mezcla con una señal de mayor ancho de banda y de carácter pseudo-aleatorio. El resultado es una señal de espectro ensanchado



Principio de SS

- La señal pseudoaleatoria es generada a partir de una **secuencia de números casi aleatoria**.

- La secuencia de números pseudoaleatoria se genera a partir de un **número inicial llamado “semilla”** mediante algoritmos bastante complejos.

- En el **receptor** se toma la señal ensanchada y se mezcla con la señal pseudoaleatoria original (**Se requiere la misma secuencia pseudo-aleatoria y por tanto el mismo algoritmo y la misma semilla**). Como resultado se obtiene la señal original

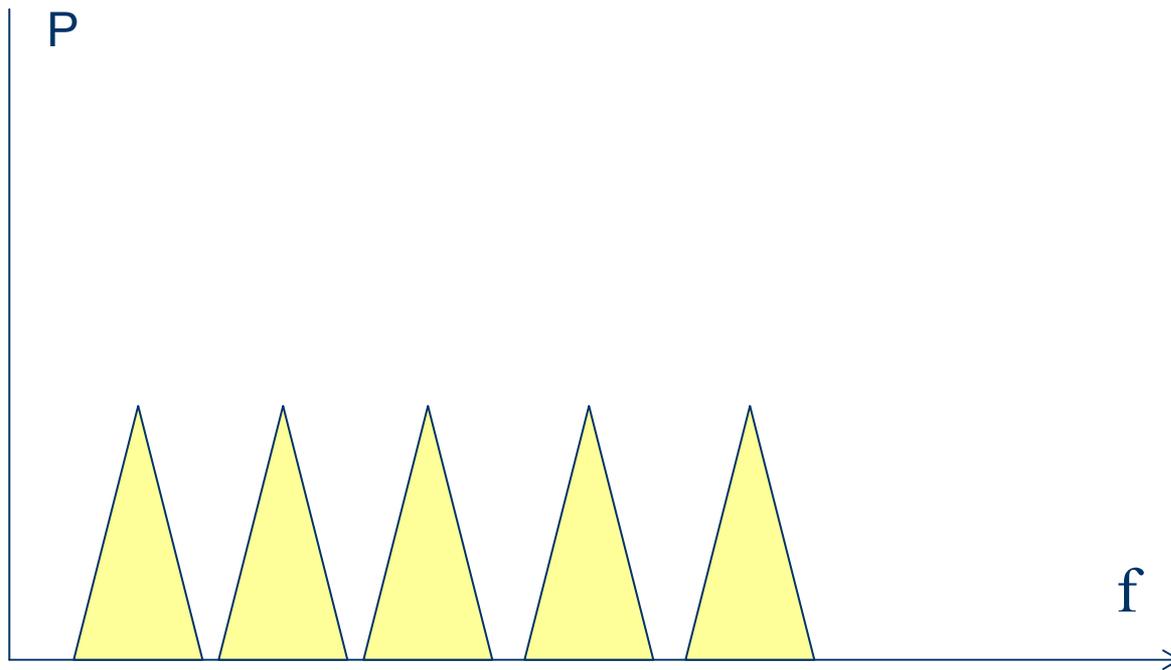
Ventajas del Spread Spectrum

- ❑ Reducción de la densidad espectral de potencia (se confunde con el ruido, ideal en comunicaciones militares)
- ❑ Privacidad (Se requiere conocer la secuencia pseudo-aleatoria)
- ❑ Protección frente a interferencias
- ❑ Resolución temporal y protección frente a multitrayecto (Se pueden recuperar las diferentes señales- Receptor Rake)

Tipos de técnicas SS

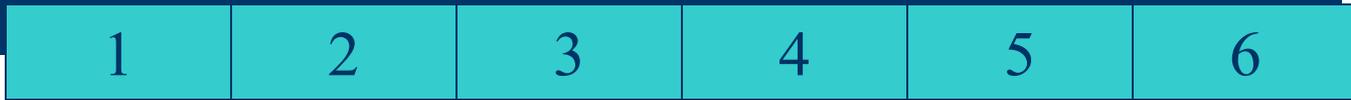
- ❑ Salto de frecuencia (FH-Frequency Hopping)
- ❑ Salto de Tiempo (TH- Time Hopping)
- ❑ Secuencia Directa (DS-Direct Sequence)
- ❑ Técnicas multiportadora (MC, Multicarrier): mezcla de DS y FH (cada bit se mezcla con la secuencia de chips y luego el bit ensanchado modula una portadora que varía para cada bit)

Frequency Hopping



Time Hopping

slot



trama

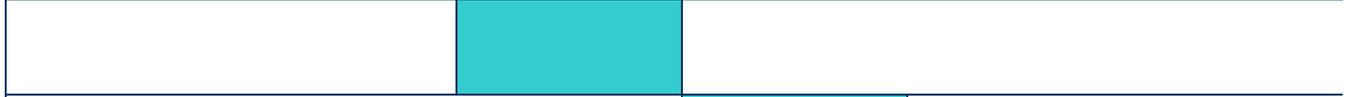
T1



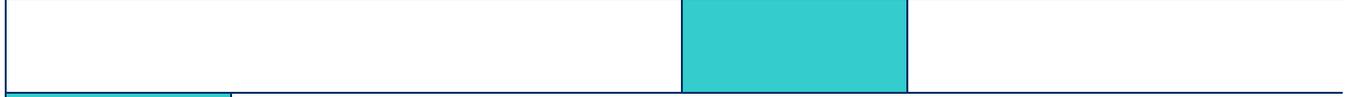
T2



T3



T4

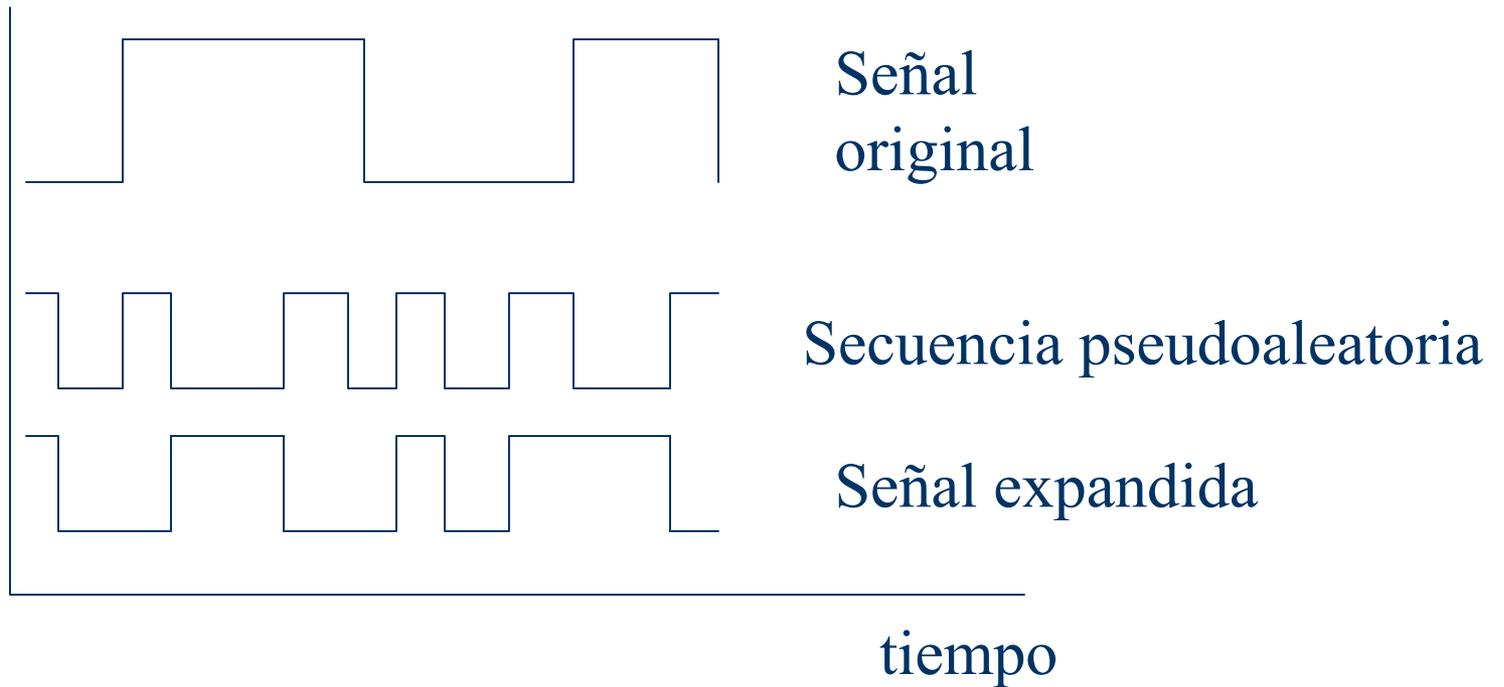


T5

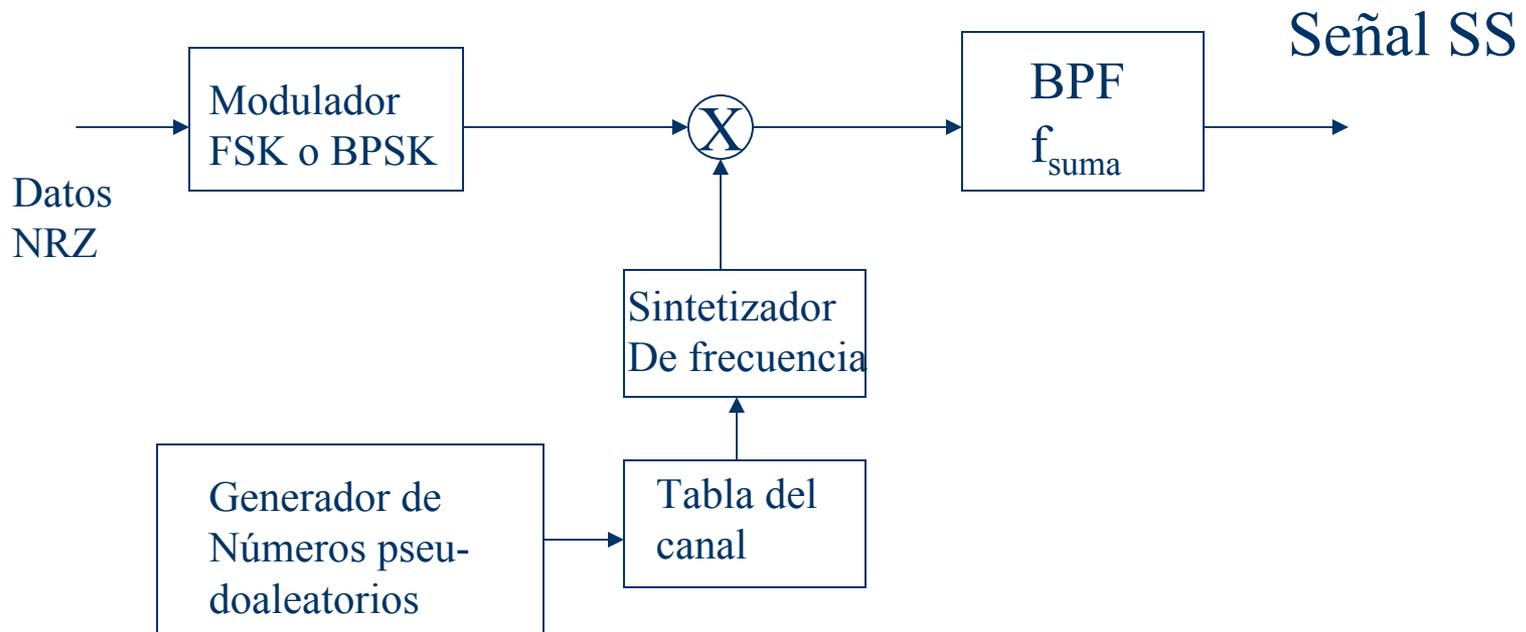


↓ secuencia

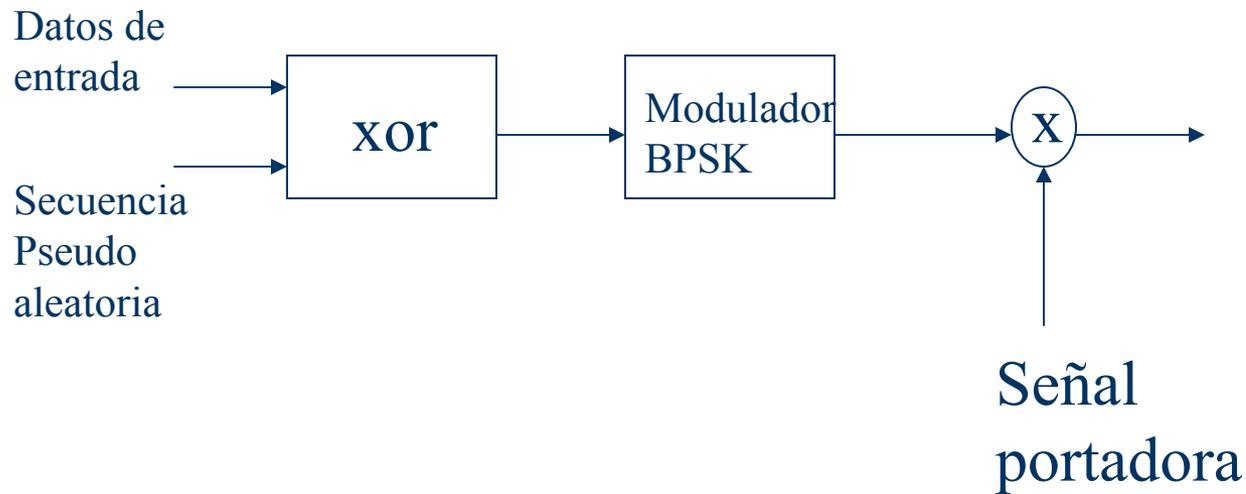
Secuencia Directa



Transmisor de FH-SS



Transmisor DS-SS

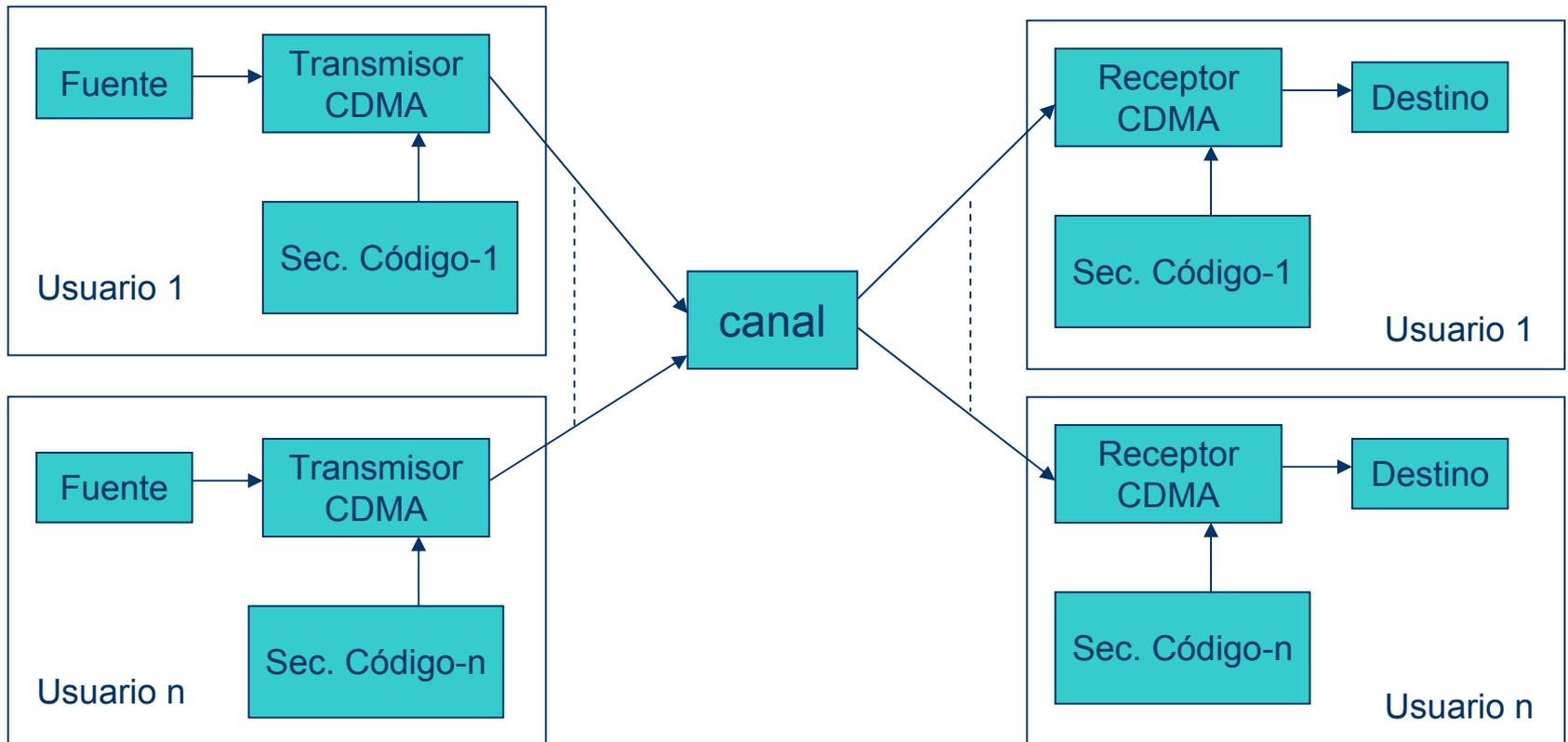


CDMA: Acceso Múltiple por División de Código

Introducción

- CDMA en su variante de secuencia directa viene aplicándose desde principios de los años 90s en sistemas de comunicaciones móviles comerciales.
- Los usuarios transmiten en la misma banda de frecuencias y en forma continua en el tiempo.
- Los usuarios agregan/extraen su información del medio de transmisión utilizando una secuencia de código que les ha sido asignada.

Sistema DS-CDMA



Características de los códigos

- Los códigos asignados a los diferentes usuarios deben ser ortogonales.
- *Condición de ortogonalidad:* La autocorrelación entre las dos secuencias de código debe ser cero.
- Al ser ortogonales las secuencias de código, en el receptor sólo se obtendrá la parte de la señal que le corresponde a él mismo.
- PERO: La condición de ortogonalidad limita el número de secuencias de código que se pueden utilizar.

Secuencias de código

- Hay dos tipos:
 - Ortogonales (secuencias de Walsh, Códigos OVSF)
 - No ortogonales (Secuencias Gold, $S(2)$, Golay generalizadas)

Secuencias de Walsh

- Usadas en IS-95
- Cada secuencia se elige como una fila o columna de la matriz de Hadamard definida por:

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

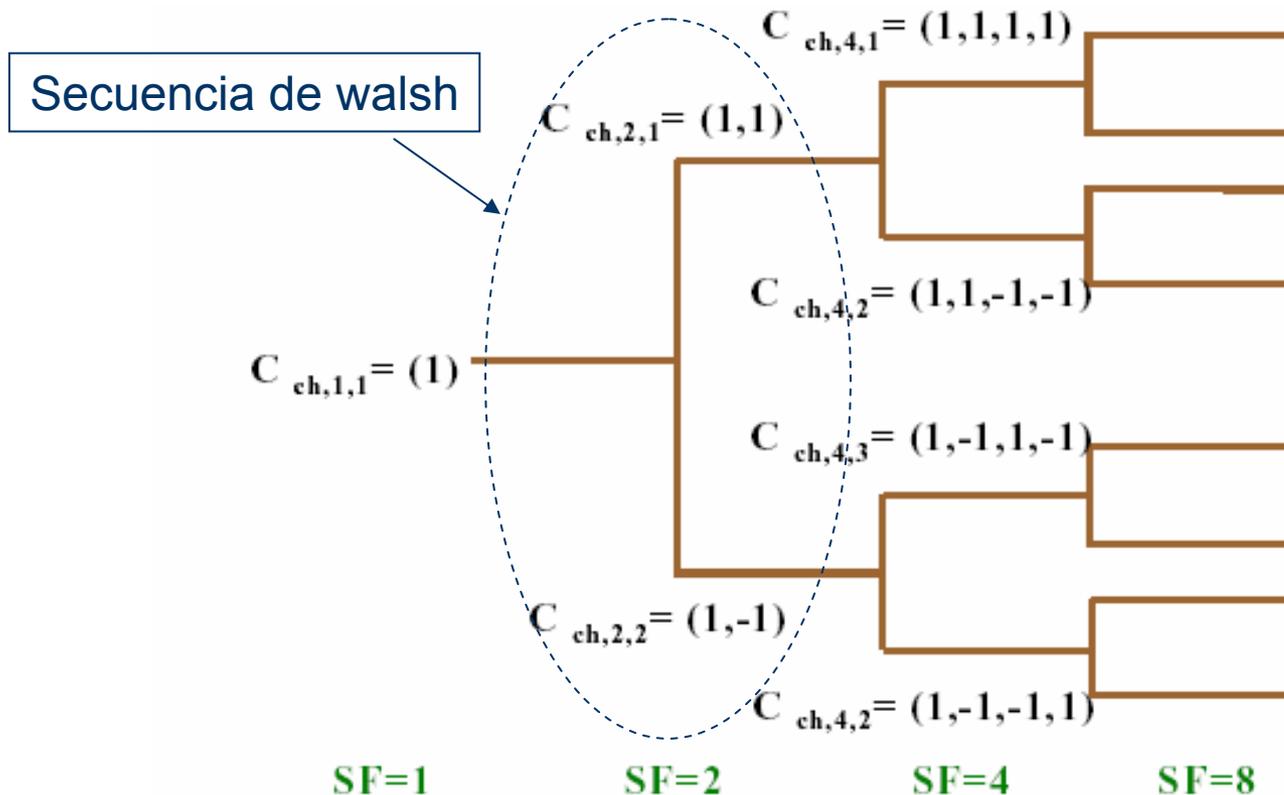
- A partir de esta matriz se obtienen secuencias de m bits con un procedimiento recursivo así:

$$H_m = \begin{bmatrix} H_{m-1} & H_{m-1} \\ H_{m-1} & -H_{m-1} \end{bmatrix}$$

Secuencias OVVSF

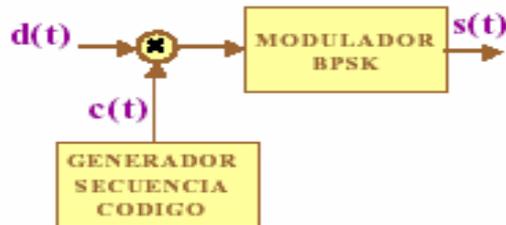
- OVVSF: Orthogonal Variable Spread Factor
- Usadas en sistemas 3G (modo FDD de UMTS), con factores de ensanchamiento entre 4 y 256

Generación de secuencias OVVSF



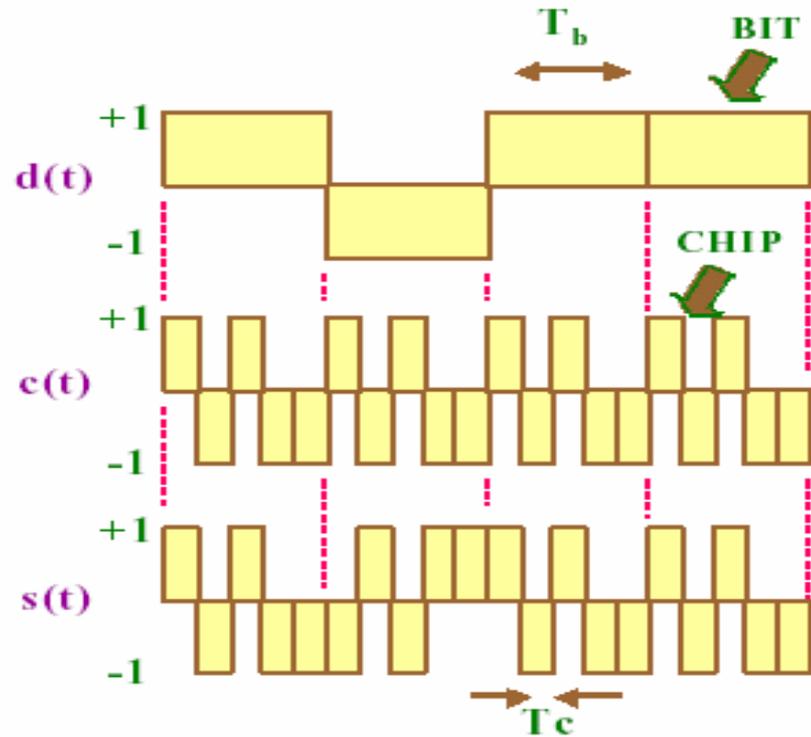
Ensanchamiento espectral con DS-CDMA

Transmisor DS-CDMA:



$$G_p = \frac{T_b}{T_c}$$

Ensanchamiento espectral



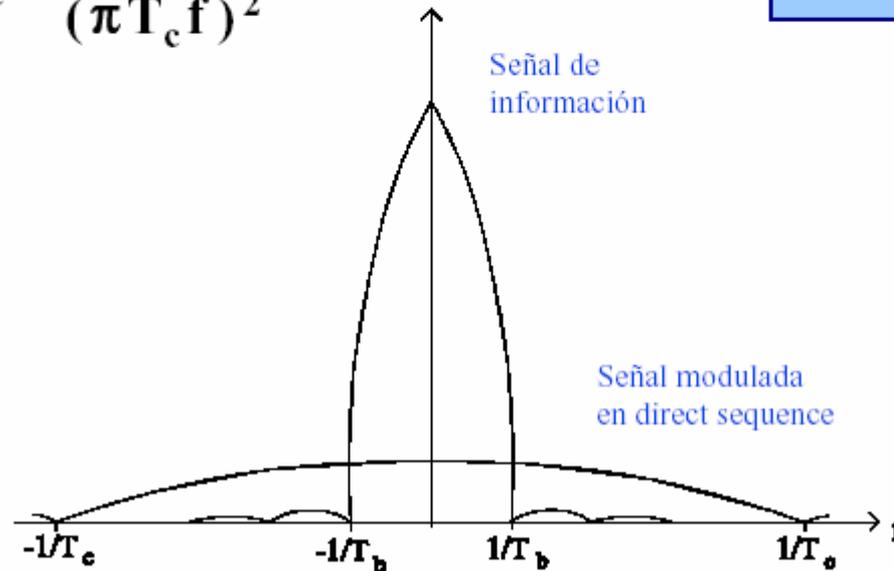
Espectro CDMA y Ganancia de procesamiento

$$S_m(f) = T_b \frac{\sin^2(\pi T_b f)}{(\pi T_b f)^2}$$

$$S_c(f) = T_c \frac{\sin^2(\pi T_c f)}{(\pi T_c f)^2}$$

Ganancia de procesamiento

$$G_p = 10 \log \frac{T_b}{T_c}$$



Probabilidad de error en CDMA

M USUARIOS + RUIDO BLANCO

• Si tenemos M usuarios habrá $M-1$ interferencias.

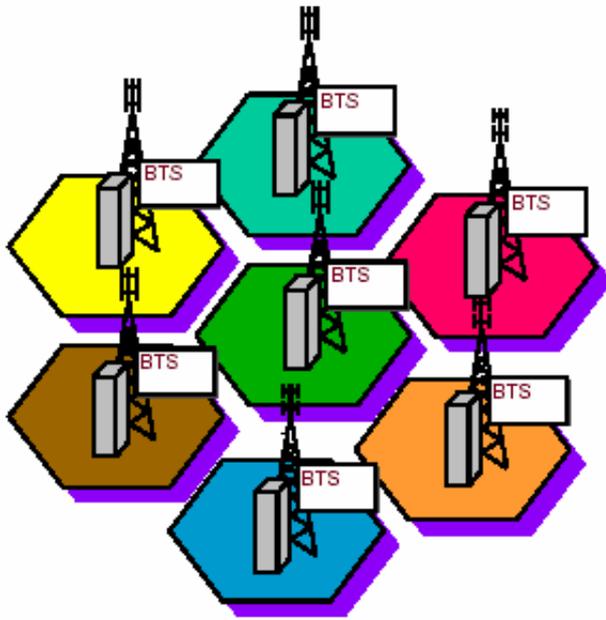
$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{A^2 T_b^2}{2 \left(N_o T_b + \frac{A^2}{2} T_b T_c (M-1) \right)}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{N_o}{E_b} + \frac{(M-1)}{G_p} \right)^{-1/2}$$

M USUARIOS + RUIDO BLANCO + INTERFERENCIA DE BANDA ESTRECHA

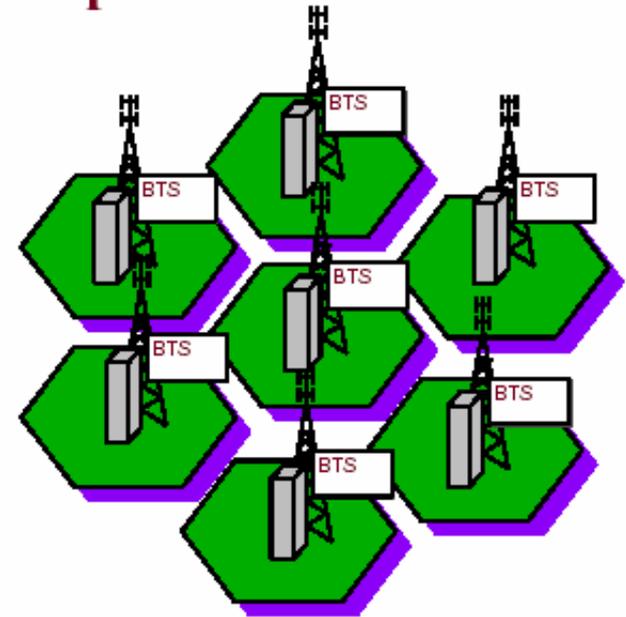
$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b T_b}{N_o T_b + \frac{A^2}{2} T_b T_c (M-1) + \frac{I^2}{2} T_b T_c}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{N_o}{E_b} + \frac{(M-1)}{G_p} + \frac{I^2 / A^2}{G_p} \right)^{-1/2}$$

CDMA EN UN ENTORNO MULTICELULAR

Caso TDMA: Cluster para evitar interferencia cocanal



Caso CDMA: soporta reuso completo de frecuencias



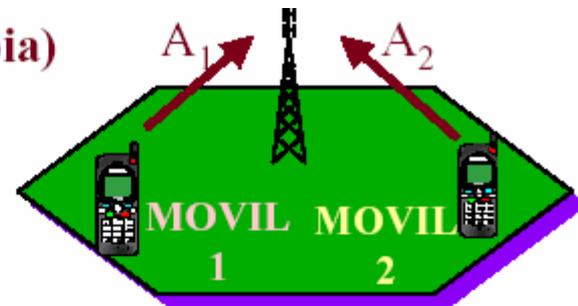
Componentes de interferencia en CDMA multicelular

A) Interferencia intracelular (célula propia)

Con control de potencia ideal:

$$P_{T1} = A_1 \quad P_{R1} = 1 \text{ (normalizada)}$$

$$P_{T2} = A_2 \quad P_{R2} = 1 \text{ (normalizada)}$$



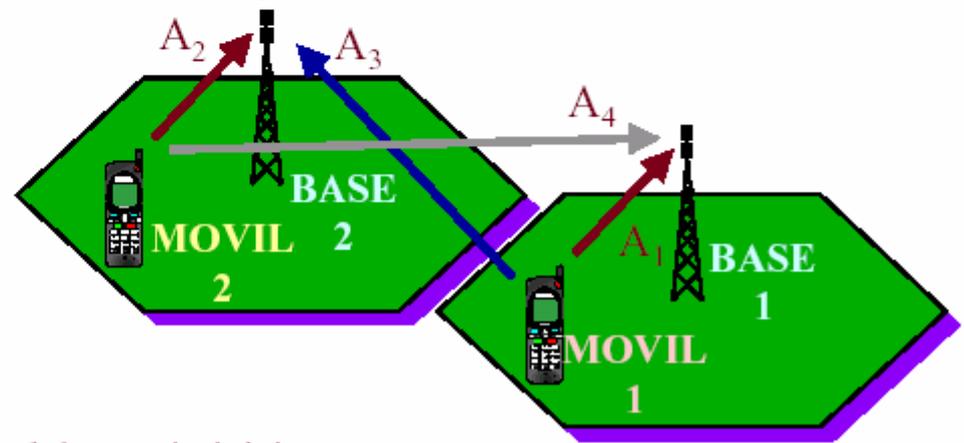
B) Interferencia intercelular (células vecinas)

$$P_{T2} = A_2 \quad P_{R2,2} = 1 \text{ (normalizada)}$$

$$P_{R1,2} = A_2 / A_4 \text{ (normalizada)}$$

$$P_{T1} = A_1 \quad P_{R2,1} = A_1 / A_3 \text{ (normalizada)}$$

$$P_{R1,1} = 1 \text{ (normalizada)}$$



$P_{Ri,j}$: potencia recibida en la base i-ésima del usuario j-ésimo

Problema Cerca-Lejos

- Las amplitudes de las señales deseada e interferentes influyen de manera importante en la probabilidad de error obtenida.
- Si la señal deseada se recibe con un nivel excesivo, producirá interferencia a los restantes usuarios.
- Las probabilidades de error de todos los usuarios se igualan cuando todos reciben con la misma amplitud. Por tanto, el número de usuarios que pueden ser atendidos simultáneamente es máximo cuando todas las amplitudes recibidas son iguales.
- Esta es una condición adicional de control de potencia en Sistemas CDMA.

Cálculo de la capacidad en CDMA

- **CDMA ofrece la propiedad de “SOFT CAPACITY” de manera que no hay bloqueo en el sentido de no encontrar canales disponibles (suponiendo que el número de secuencias código no es restrictivo) como en el caso de TDMA. Es decir, puede aceptarse la entrada de un nuevo usuario a costa de degradar la calidad de TODOS los demás.**
- **Para un cierto nivel de calidad en términos de tasa de error, puede definirse un umbral para la probabilidad de sufrir degradación de calidad como criterio para fijar la capacidad de un sistema CDMA.**

Cálculo de la capacidad en CDMA

- Un requerimiento de calidad en términos de tasa de error supone:

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right) = \frac{G_p}{(M-1)(1+f)} \geq \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{min}$$

- Definimos la probabilidad de que se degraden las prestaciones:

$$P_{degr} = \Pr ob \left\{ \frac{G_p}{(M-1)(1+f)} < \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{min} \right\} = \Pr ob \left\{ M > 1 + \frac{G_p}{(1+f) \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{min}} \right\}$$

- Para una población que genera llamadas con una tasa λ , de duración media $(1/\mu)$ y con factor de actividad vocal α se tiene:

$$P\{M = a\} = \frac{(\alpha\lambda / \mu)^a}{a!} \exp(-\alpha\lambda / \mu) \quad \lambda = \lambda_u \times N$$

(λ / μ) son Erlangs/sector, λ_u tasa de llegadas por usuario y N número de usuarios registrados

Cálculo de la capacidad en CDMA

- **Llamando:**

$$A = 1 + \frac{G_p}{(1+f) \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{min}}$$

resulta:

$$P_{degr} = 1 - \sum_{a=0}^A \frac{(\alpha\lambda / \mu)^a}{a!} \exp(-\alpha\lambda / \mu)$$