



Università degli Studi di Cagliari

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria delle Tecnologie per
Internet

CDMA

Code Division Multiple Access



Introduzione

- ✓ È una forma di Spread Spectrum
- ✓ Nasce in ambito militare per risolvere due problemi:
 - Limitare la possibilità di interferenze da parte del nemico (jamming)
 - Nascondere l'effettiva presenza di una comunicazione in corso
- ✓ Il CDMA infatti si basa sull'utilizzo di portanti (carrier) simili al rumore presente nel canale

Noise-like carriers

- ✓ La potenza del segnale trasmesso è molto bassa, paragonabile al rumore



Introduzione

- ✓ Il CDMA fa utilizzo di una banda molto più larga di quella effettivamente necessaria per la trasmissione dell'informazione sorgente
- ✓ Più utenti condividono simultaneamente la stessa banda
- ✓ La distinzione tra utenti è effettuata grazie all'utilizzo di codici di modulazione "pseudo-random"



Vantaggi

- ✓ Incremento della capacità di traffico
- ✓ Aumento della qualità nelle comunicazione vocali
- ✓ Eliminazione dei problemi di multipath fading
- ✓ Riduce l'incidenza dei problemi di handover
- ✓ Riduce il numero di siti per quantità di traffico gestito
- ✓ Semplifica la gestione e la scelta dei siti
- ✓ Riduce i costi per via del minor numero di celle
- ✓ Riduce la potenza media di trasmissione
 - Riduce le interferenze verso altri dispositivi
 - Diminuisce il rischio di potenziali problemi di salute



Spread Spectrum

- ✓ Il CDMA fa parte delle tecniche Spread:
 - Il segnale occupa una banda molto più grande di quella necessaria per spedire l'informazione
 - La banda è allargata per mezzo di codici indipendenti dall'informazione spedita
 - Il ricevitore sincronizza il segnale col codice per rilevare l'informazione e permettere a più utenti di utilizzare simultaneamente la stessa banda



Codici

- ✓ Per *proteggere* il segnale, il codice utilizzato è pseudo-random:
 - È simile ad un segnale casuale ma è in realtà deterministico
 - Il ricevitore sa a priori quale è il codice
 - Sono simili al rumore: spesso vengono chiamati infatti pseudo-noise (PN)



Tipi di Spread Spectrum

- ✓ Ci sono tre modi per allargare la banda di un segnale:
 - Frequency hopping
 - Time hopping
 - Direct sequence



1 - Frequency hopping

- ✓ Il segnale è rapidamente commutato tra differenti **frequenze**
- ✓ L'hopping tra una frequenza e l'altra è stabilito dal codice pseudo-random
- ✓ Il ricevitore sa in anticipo in **quale frequenza** risulterà in ogni istante di tempo il segnale interessato



2 - Time hopping

- ✓ Il segnale è trasmesso in piccoli (in frequenza) burst
- ✓ Ogni burst è emesso in maniera pseudo-casuale
- ✓ Il ricevitore sa in anticipo **quando** aspettarsi il burst e **quanto** sarà lungo



3 - Direct Sequence

- ✓ L'informazione digitale è direttamente codificata ad una frequenza maggiore
- ✓ Il codice è generato in maniera pseudo-random e il ricevitore sa come rigenerare tale codice per estrarre l'informazione utile dal segnale complessivo



CDMA e Direct Sequence

- ✓ Il CDMA è basato sulla categoria Direct Sequence
- ✓ È tarato per un utilizzo con segnali digitali a 64 kbits/s:
 - Voce digitale
 - Fax
 - ISDN
 - Modem



Trasmissione del segnale

- ✓ In **trasmissione** si eseguono i seguenti passi:
 - Viene generato un codice pseudo-random
 - ❖ Il codice è univoco per ogni canale
 - ❖ Cambia ad ogni successiva connessione
 - I dati da trasmettere vengono modulati grazie al codice pseudo-random:
 - ❖ L'informazione è "spread" (allargata)
 - Il segnale ottenuto modula (moltiplicare) la portante
 - La portante modulata è amplificata e trasmessa

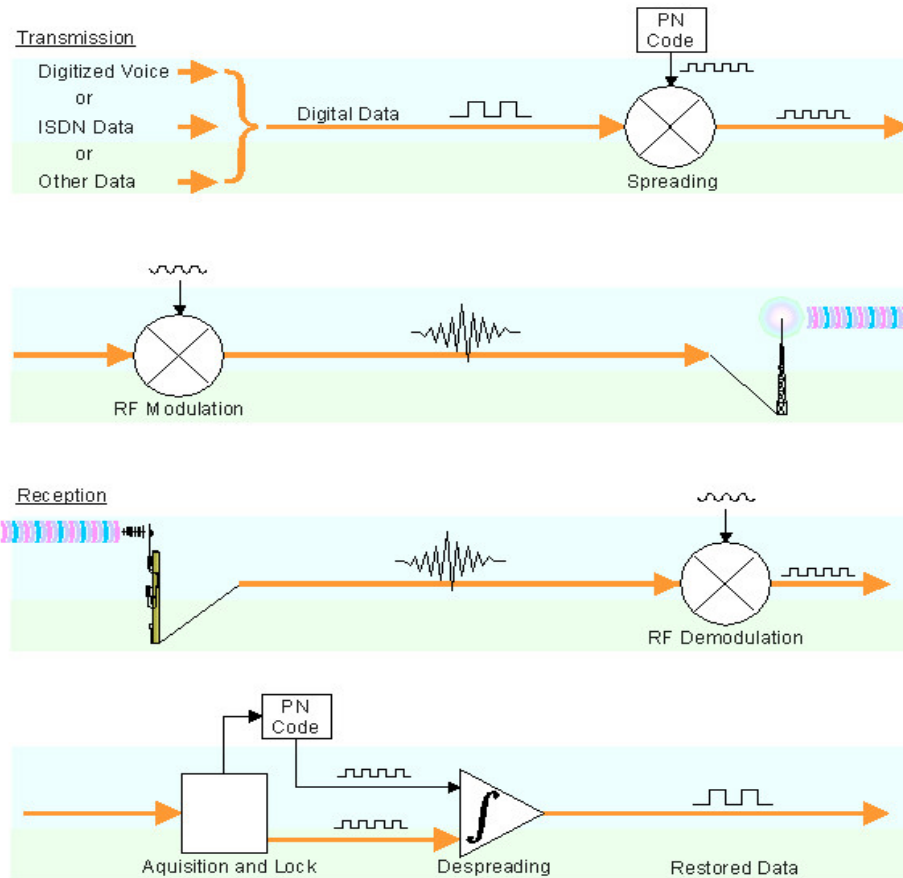


Ricezione del segnale

- ✓ Per la **ricezione** si eseguono i seguenti passi:
 - La portante è ricevuta e amplificata
 - Il segnale ricevuto è mixato con una portante generata localmente per rilevare il segnale spread
 - Viene generato un opportuno codice pseudo-random
 - Il segnale spread viene agganciato in fase (phase lock) col codice generato
 - Viene effettuata una correlazione col codice generato e il segnale spread per estrarre l'informazione presente



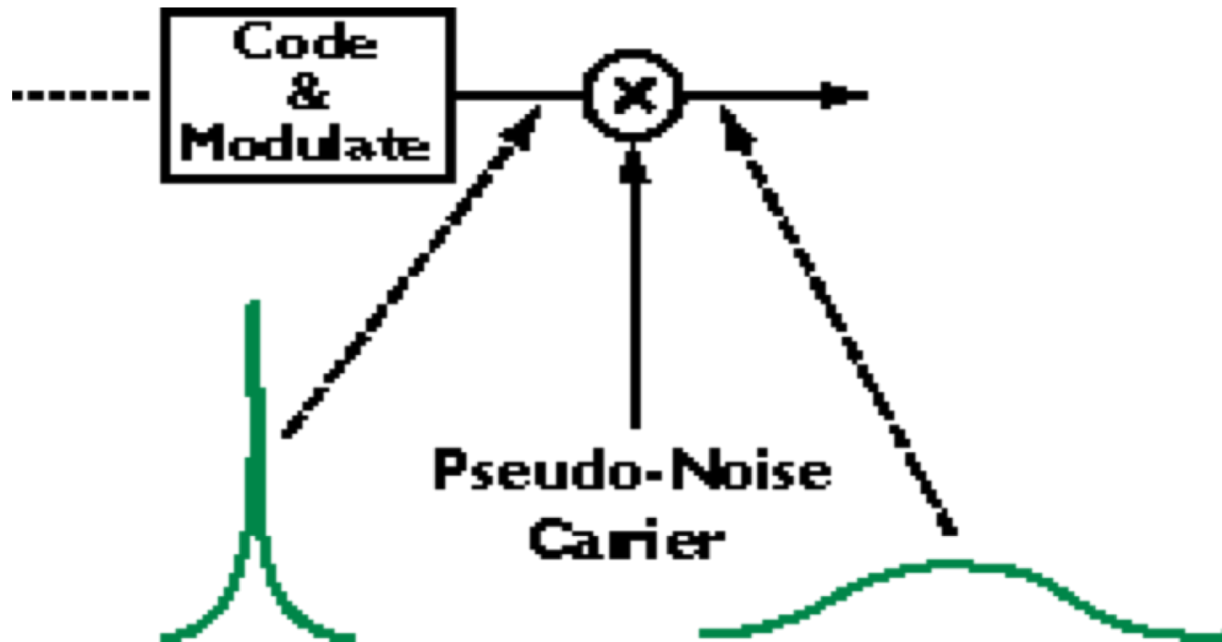
Schema CDMA



700132

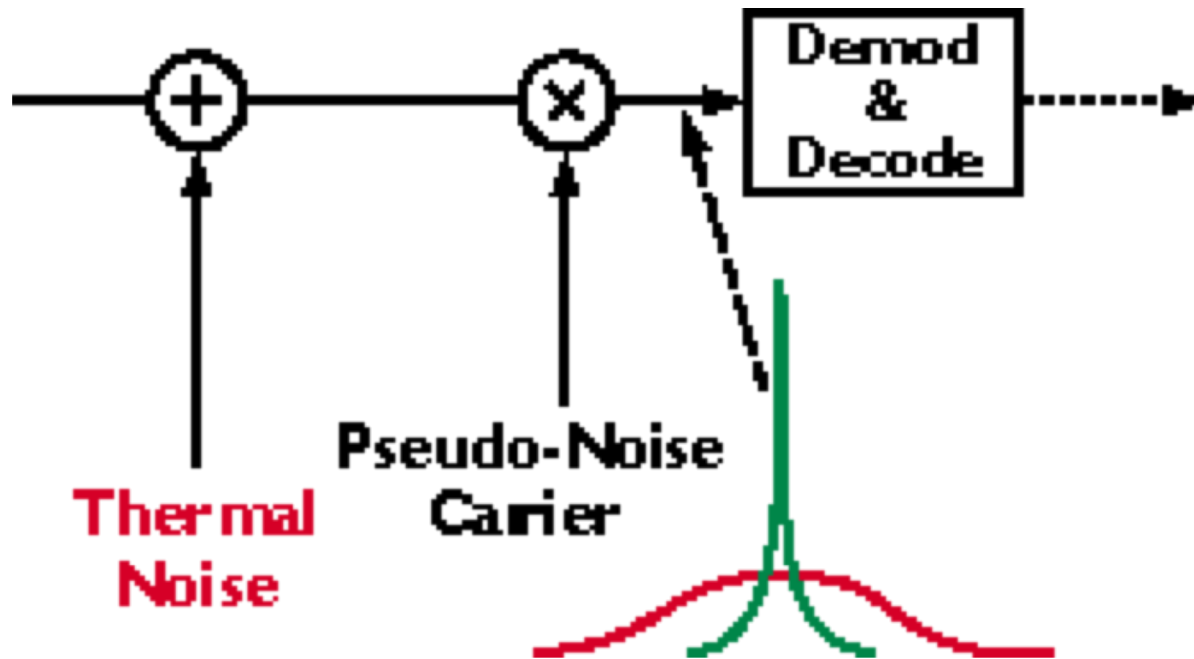


Trasmissione





Ricezione





Validità

- ✓ È espressa sempre dal teorema di Shannon:

C= capacità in bps

W = banda in Hz

N= potenza del rumore

S= potenza del segnale

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$\frac{C}{W} = 1.44 \log_e \left(\frac{S}{N} \right) \underset{\text{per } S/N \leq 0.1}{\approx} 1.44 \frac{S}{N}$$



Esempio

- ✓ Supponiamo che la potenza del rumore sia 100 volte più grande di quella del segnale, e l'information rate sia di 3Kbit/s
- ✓ Per garantire una trasmissione affidabile è necessaria una banda di:

$$\frac{C}{W} = 1,44 \frac{S}{N} \qquad W = \frac{C}{1.44} \frac{N}{S}$$

$$W = \frac{1 \cdot 10^2 \times 3 \cdot 10^3}{1.44} = 2.08 \cdot 10^5 \text{ Hz} = 208 \text{ KHz}$$



Considerazioni sul rumore

- ✓ Il rumore di fondo non è correlato col codice PN utilizzato per codificare l'informazione
- ✓ Quindi nonostante il segnale spedito sia **noise-like**, le interferenze sono minime
- ✓ Un filtraggio **narrowband** aumenta inoltre il SNR:
 - Si considera il rapporto W/R
 - ❖ W : spread bandwidth
 - ❖ R : data rate

$$\frac{C}{W} = 1.44 \frac{S}{N}$$

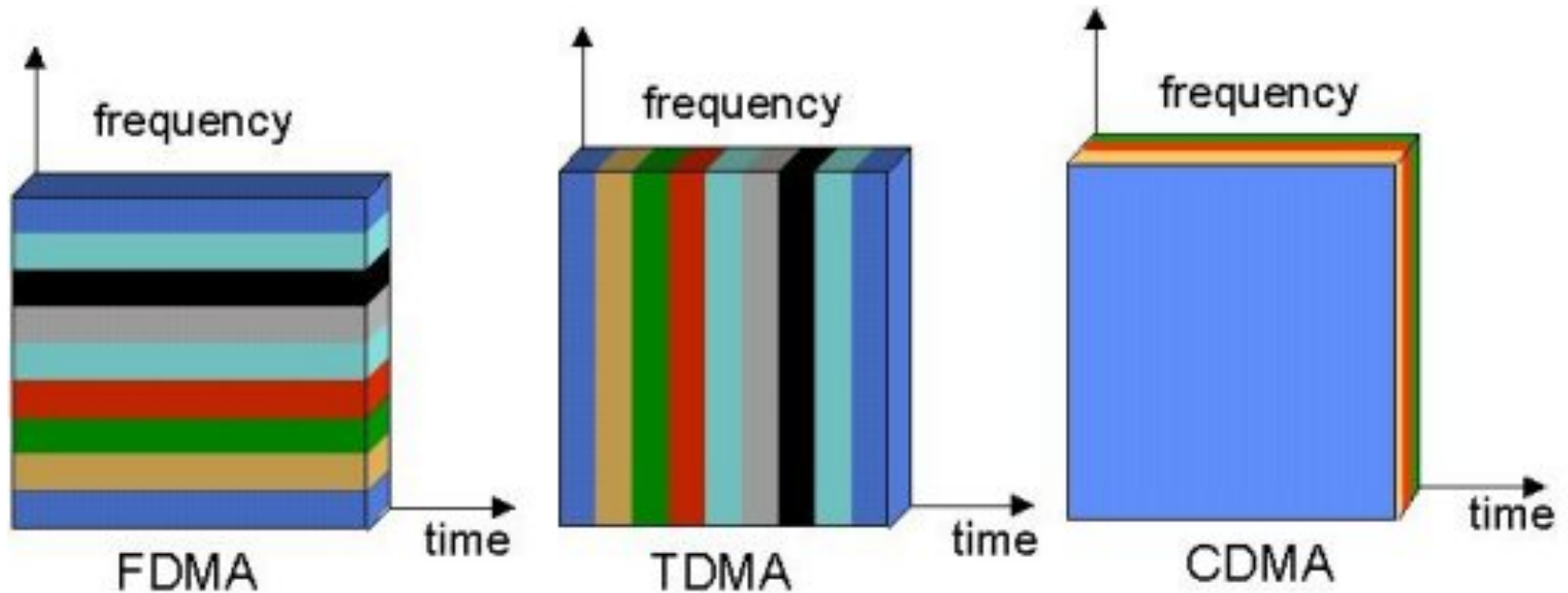


Schemi di accesso

- ✓ FDMA
 - Ad ogni comunicazione è associata una parte dello spettro
- ✓ TDMA
 - Ad ogni comunicazione è associato un istante di tempo
- ✓ CDMA
 - Ad ogni comunicazione è associato un codice



Schemi di accesso





Codifica

- ✓ Ogni singolo codice allarga la banda base della comunicazione prima della trasmissione e lo porta al livello di potenza del rumore sul canale
- ✓ In ricezione il segnale **de-spreaded** viene fatto passare su un **filtro narrowband** che elimina il rumore presente
- ✓ I segnali non correlati col codice non verranno de-spreaded



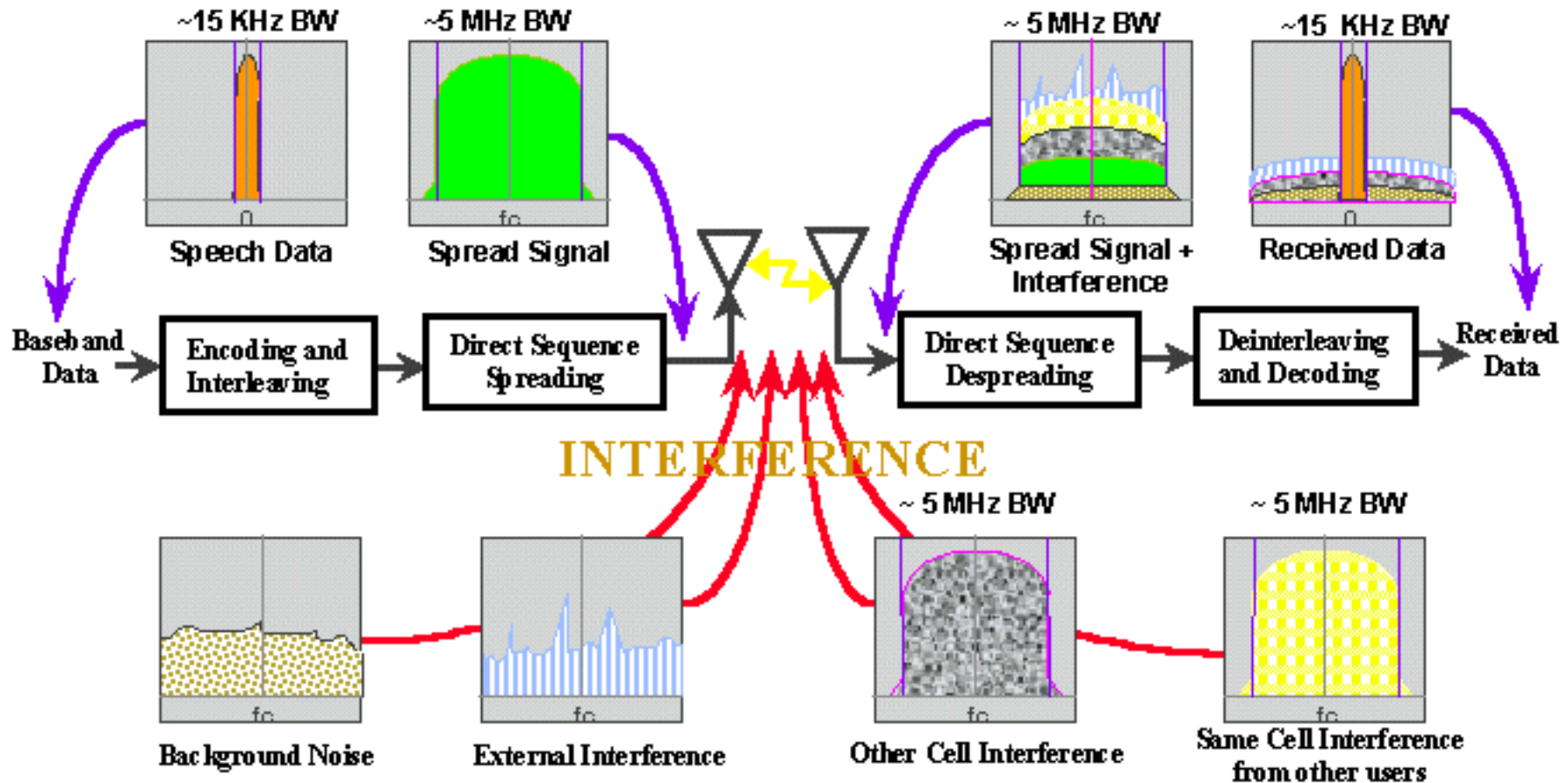
Codifica

- ✓ I codici PN sono una sequenza binaria attentamente scelta
- ✓ Il rate del segnale codificato mediante il PN viene chiamato

CHIP RATE



TX + RX





Codici

- ✓ I codici per il CDMA non vengono utilizzati per fornire una sicurezza alle comunicazioni ma per identificare univocamente la trasmissione di un utente
- ✓ Ogni codice PN è scorrelato dagli altri o da loro versioni traslate nel tempo → codici ortogonali
- ✓ Criteri come riuso e quantità di utenti impongono quanti e quali codici utilizzare



WCDMA

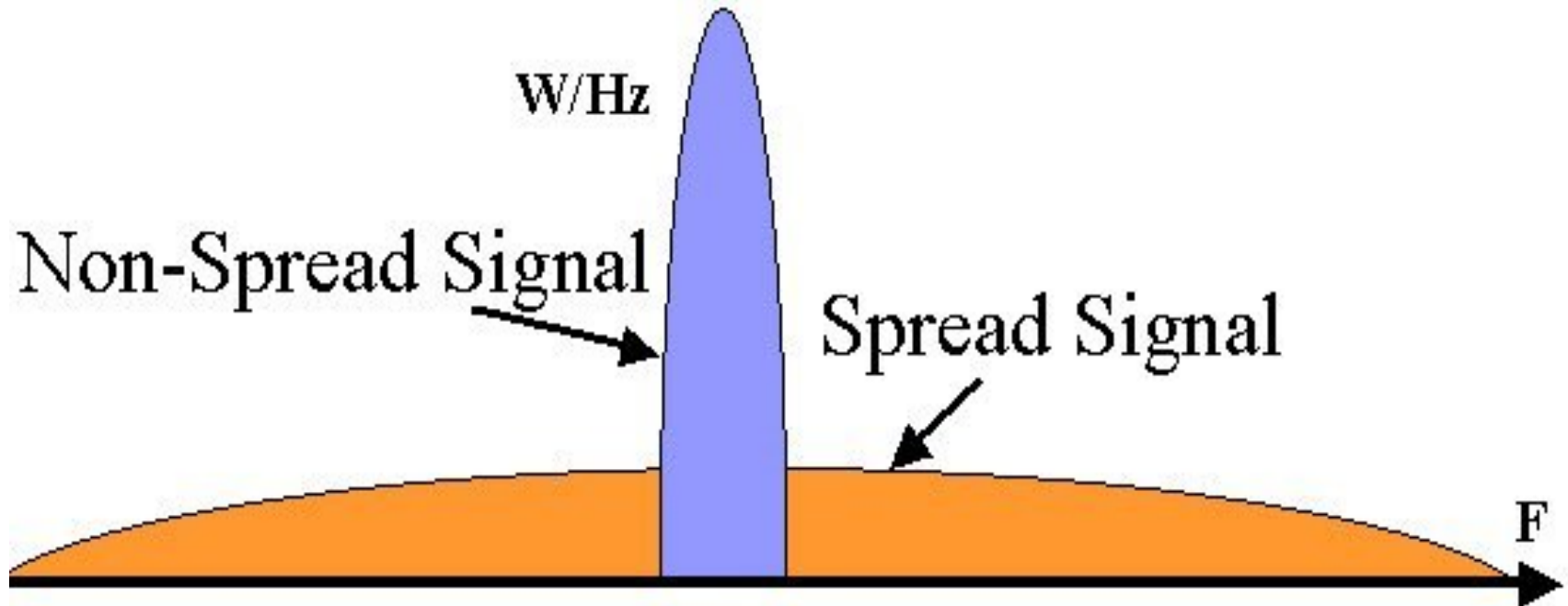
- ✓ Il WCDMA è un tipo di CDMA in cui si ha una elevato chip rate
 - wide band
 - Spreading factors: da 4 a 512
 - Es.: UMTS = 3.84 MChips/s

- ✓ Lo spreading in potenza viene misurato in dB:
 - Es.: UMTS = 21dB → spreading power factor= 128



Processo di spreading

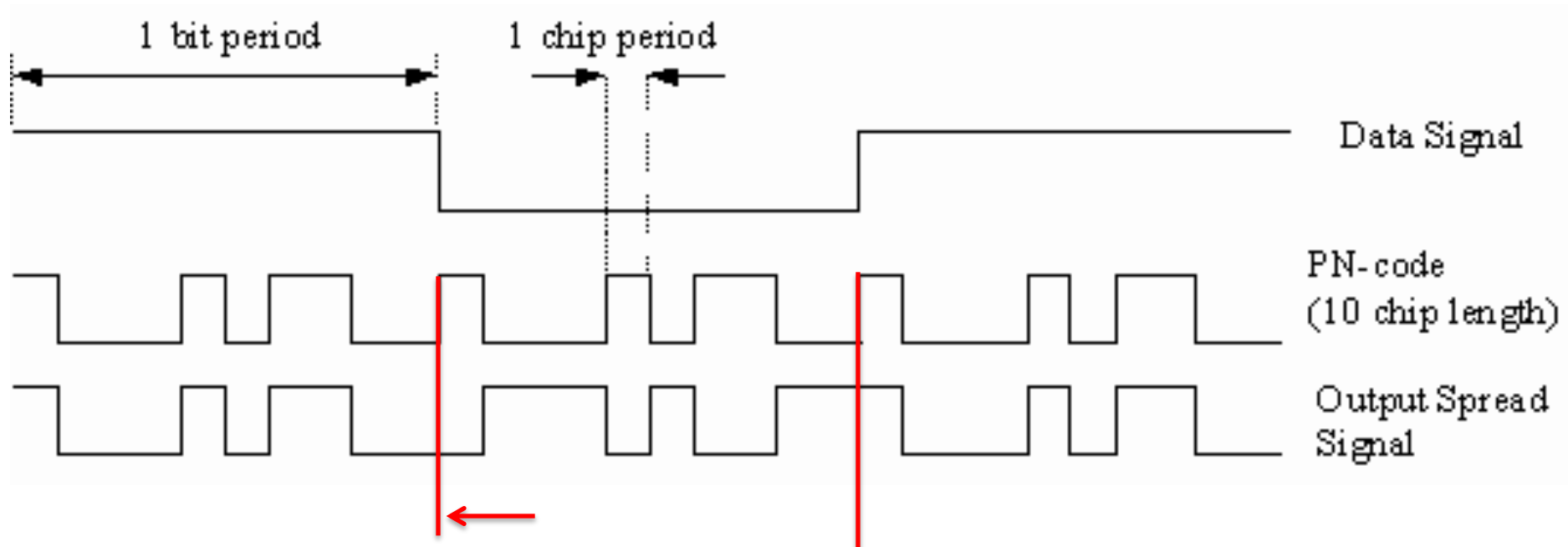
$$\text{Spreading factor} = \frac{\text{Chip rate}}{\text{Data rate}} \xrightarrow{\text{QPSK}} \left. \begin{array}{l} 30\text{kbit/s channel} \\ 15\text{k symbols/s} \end{array} \right\} = \frac{3840\text{k}}{15\text{k}} = \text{Spreading factor 256}$$



UMTS = 3.84 MChips/s



Spreading





Codici e scrambling

- ✓ Nel Forward Link (BTS→MS), vengono utilizzati codici detti di **Walsh** per discriminare i vari utenti, non sono pseudo-random ma perfettamente deterministici
- ✓ Sono basati sulle “matrici di Walsh”:
 - Matrici binarie
 - Di dimensione potenze di 2

$$W_{2^n} = \begin{bmatrix} W_n & W_n \\ W_n & \overline{W_n} \end{bmatrix}$$

$$W_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$W_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



Problemi

- ✓ Se un codice è traslato di 1/10 di tempo di chip si ottiene un altro codice:

È necessario che siano sincronizzati!!

- ✓ Questo non rappresenta un problema per il FWD link, poiché la BTS tiene sotto controllo tutti i dati spediti



Reverse Channel

- ✓ Nel tratto reverse (MS → BTS) c'è possibilità di sovrapposizione se si utilizzano i codici di Walsh per via della casualità dei ritardi:
 - Fading,
 - Propagazione
 - ...
- ✓ Si utilizzano altri codici, che minimizzano la possibilità di correlazione → **codici di Gold**



Power control

- ✓ Poiché tutti gli utenti trasmettono alle stesse frequenze, il fattore più importante per determinare la qualità delle chiamate e la capacità del canale è l'interferenza interna del sistema:
 - La potenza in trasmissione per ogni utente deve essere limitata ma sufficiente a garantire un SNR soddisfacente per la comunicazione



Controllo dinamico della potenza

- ✓ Come il MS si muove sul territorio cambiano le proprietà radio:
 - Slow/fast fading
 - Interferenze esterne
 - Shadowing
 - ...
- ✓ La potenza viene controllata dinamicamente sia da MS che da BTS per mantenere una certa qualità del link
- ✓ La potenza è tarata sul limite inferiore, perciò si aumenta la capacità di vita di amplificatori e batterie

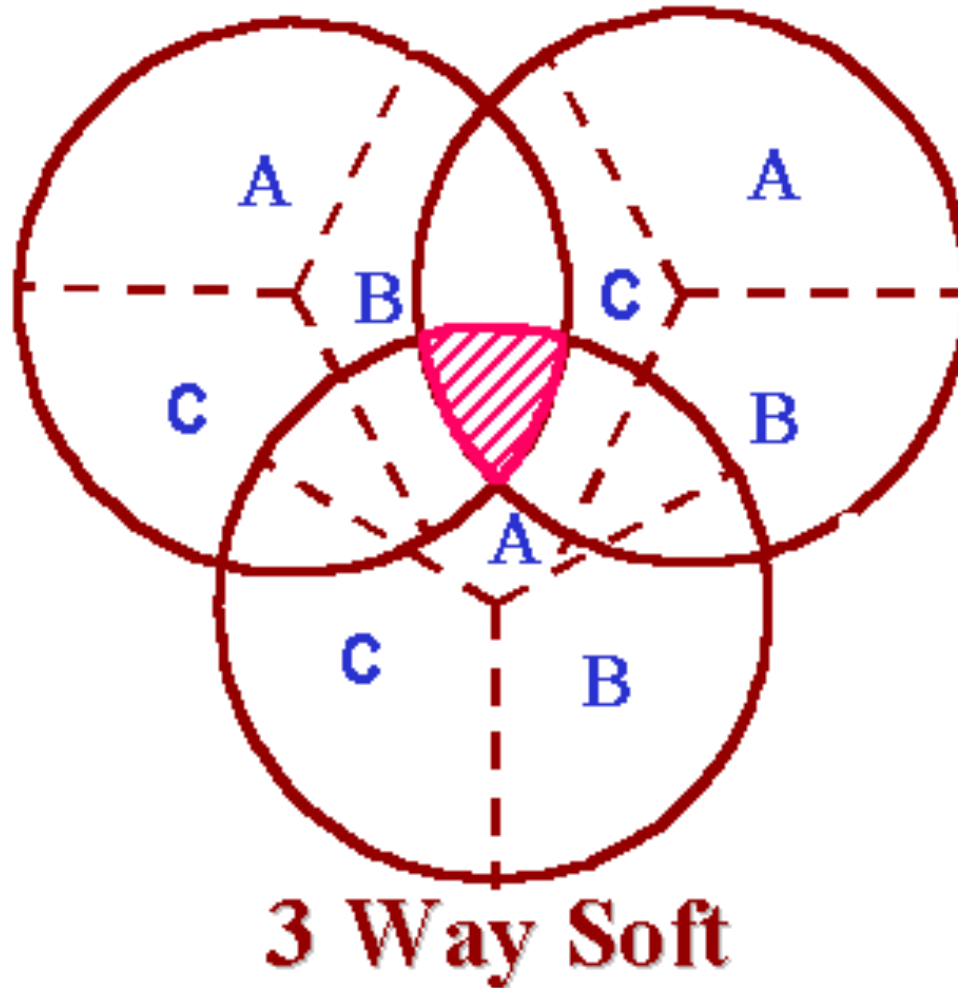


Handover

- ✓ Poiché le celle nel CDMA utilizzano tutte la stessa (larga) banda è possibile effettuare un soft handover e la procedura per ottenere l'handover è semplificata:
 - Minore potenza
 - In pratica è un handover di tipo software → nuovo codice associato alla nuova BTS
 - Possibilità di accedere contemporaneamente a più BTS



Three way soft handover



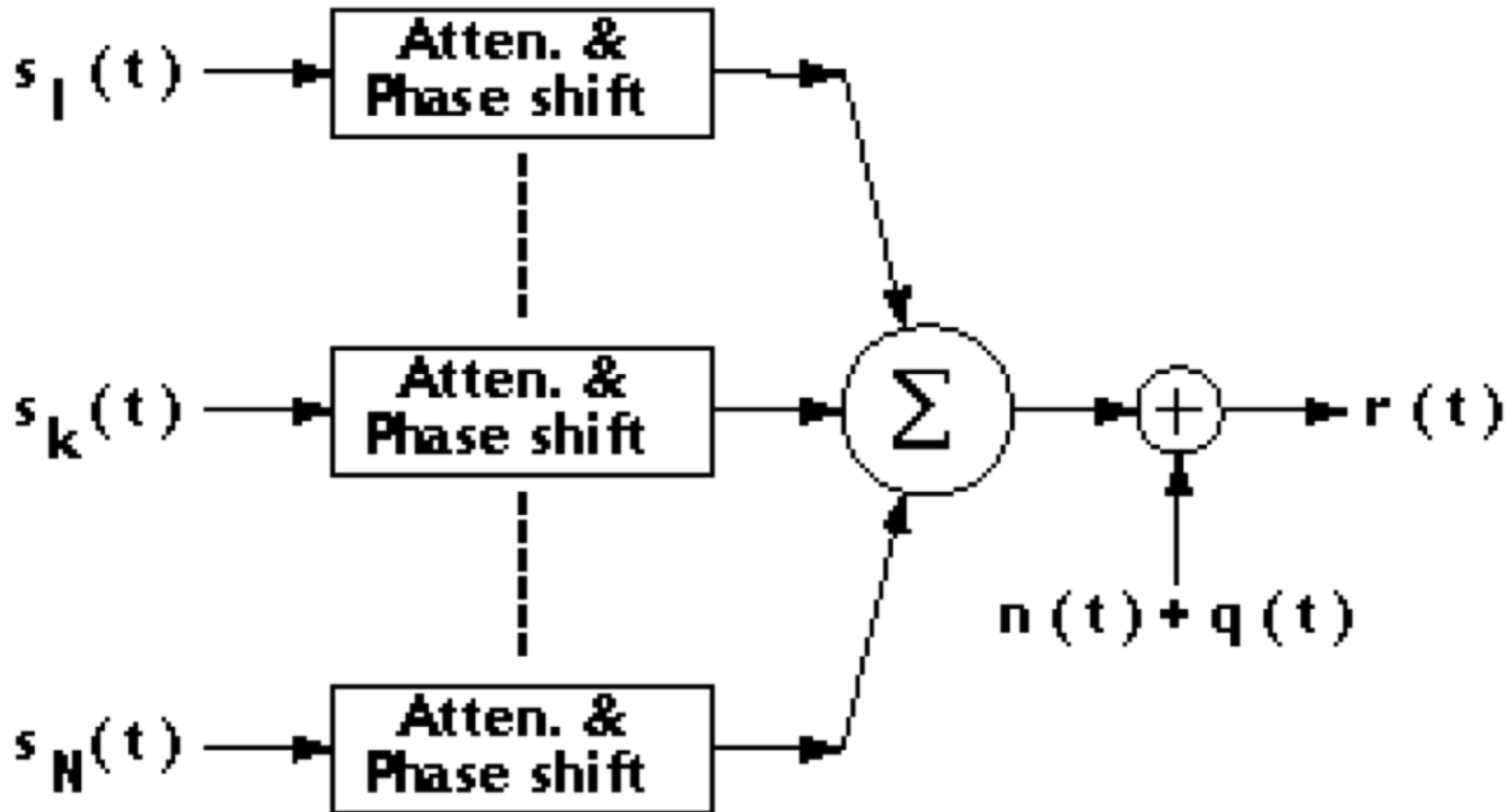


Multipath

- ✓ Poiché viene utilizzato un sistema wide-band, i cammini multipli anziché costituire un problema come in TDMA e FDMA, nel CDMA costituiscono un punto di forza:
 - Mediante ricevitori “rake” i segnali multipath vengono rilevati e utilizzati per rafforzare il segnale interessato



Multipath & rake receivers



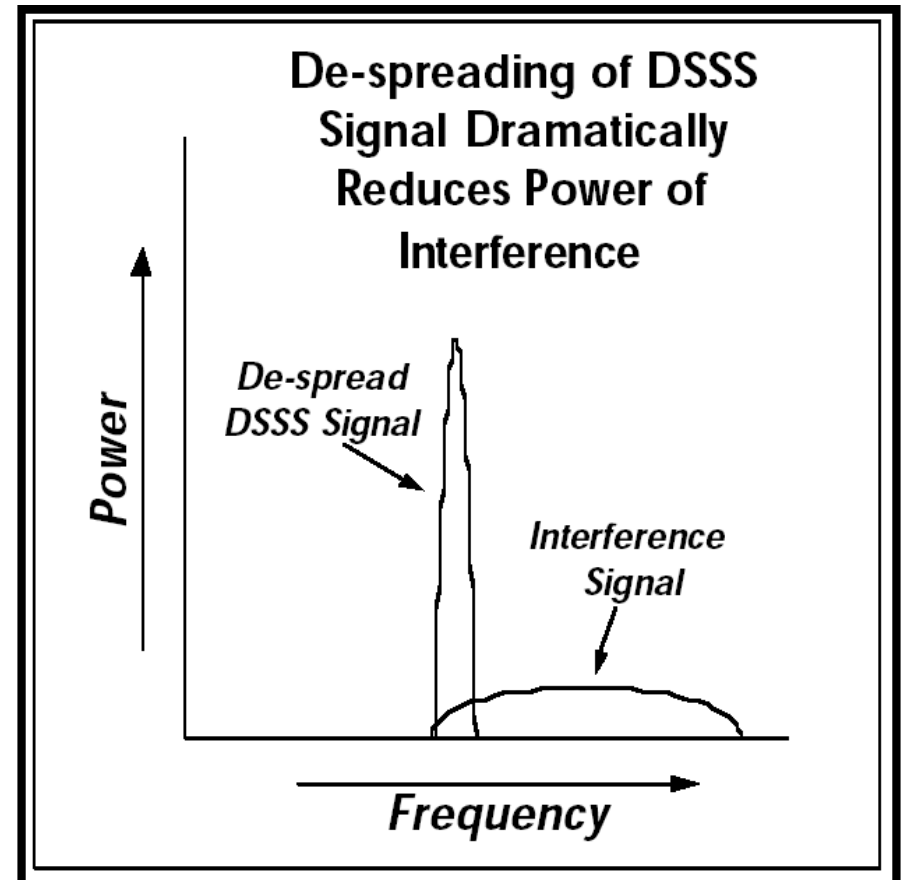
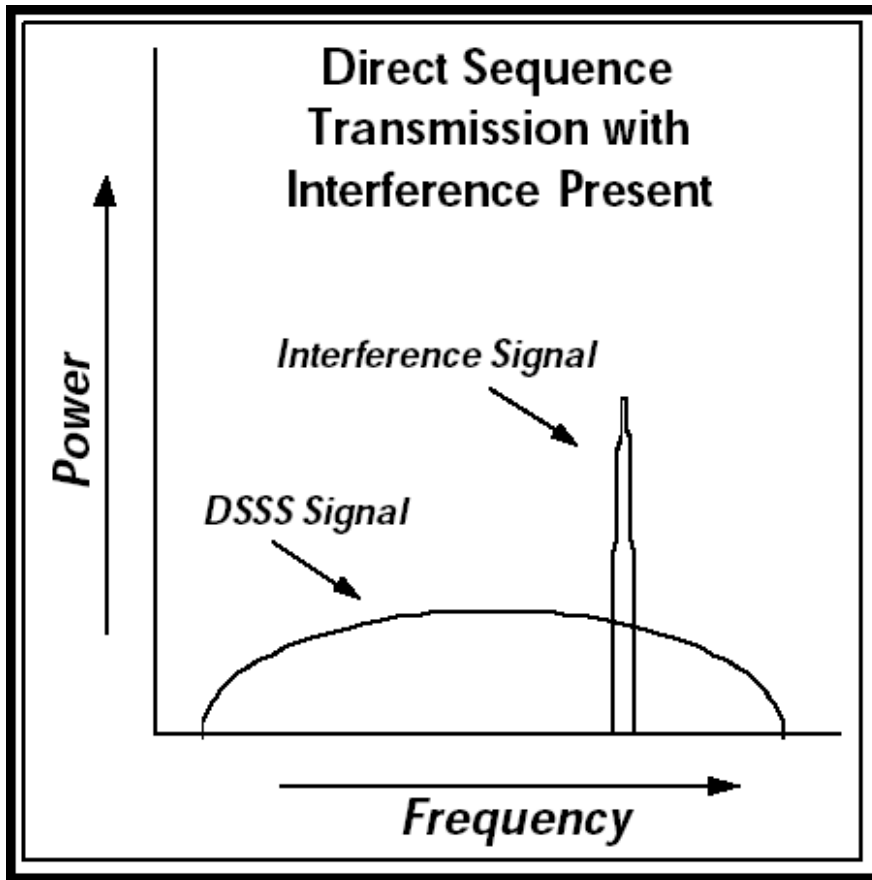


Chi lo usa

- ✓ Global Positioning System (GPS)
- ✓ lo standard IS-95 (Qualcomm), noto come cdmaOne.
- ✓ lo standard IS-2000 (Qualcomm), noto come CDMA2000
- ✓ Standard UMTS 3G (W-CDMA).

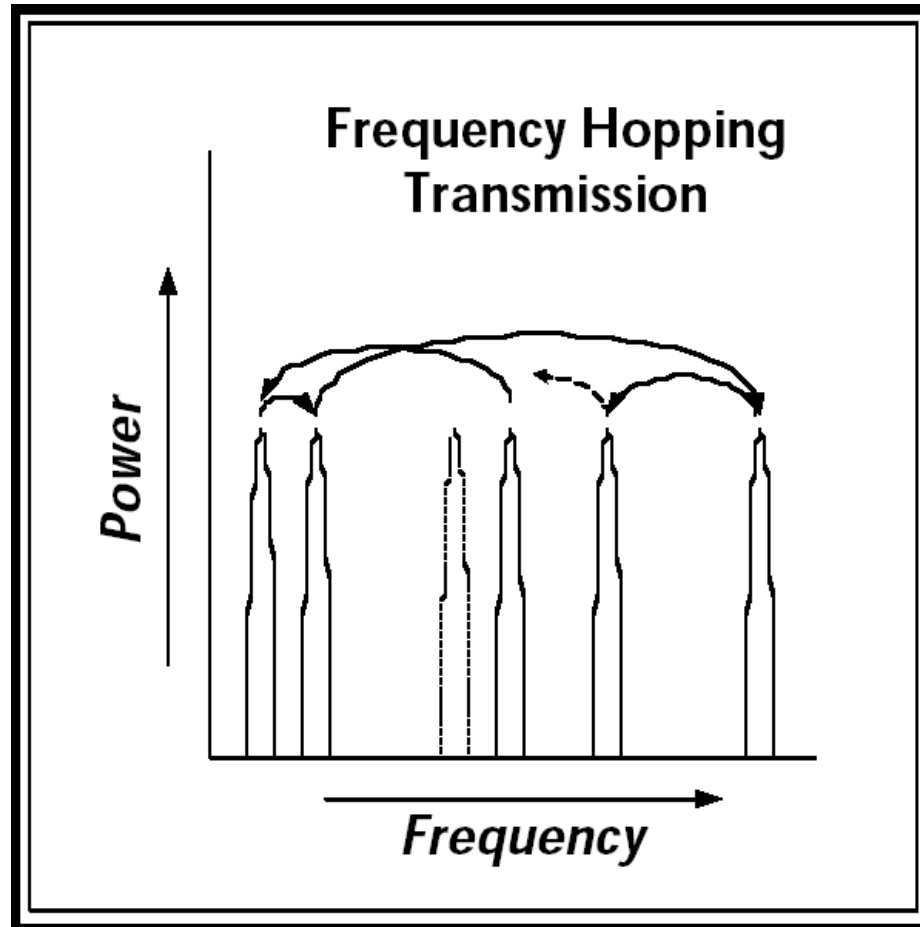


DSSS vs FHSS





DSSS vs FHSS





DSSS vs FHSS

- ✓ FH non opera sul gain di potenza
 - Il trasmettitore deve utilizzare più potenza
- ✓ Con FH è necessario sincronizzarsi sia in tempo che in frequenza