

Sistemi di Telecomunicazione

Anno Accademico 2007/2008

Acquisizione e Sincronizzazione Iniziale di Codice in Sistemi 3G (UMTS)

ing. Francesco Benedetto (fbenedet@uniroma3.it)

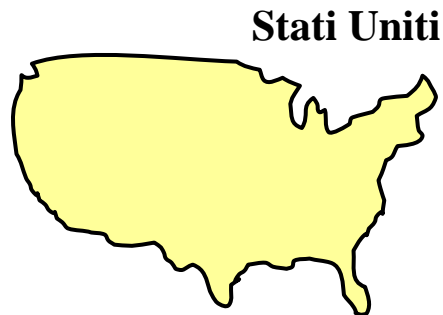
*Digital Signal Processing, Multimedia, and Optical Communication Lab.
Applied Electronics Dept. – Univ. Roma Tre*

Introduzione ai Sistemi 3G



- Trasformazione del telefono cellulare in un terminale multimediale completo capace di assicurare comunicazioni universali e a banda larga.
- 144 kb/s (preferibilmente 384 kb/s) per gli utenti ad alta mobilità con una grande copertura di area e 2 Mb/s per gli utenti a bassa mobilità con una copertura locale.
- Soft Handover: stazione mobile simultaneamente collegata a due o più BTS.

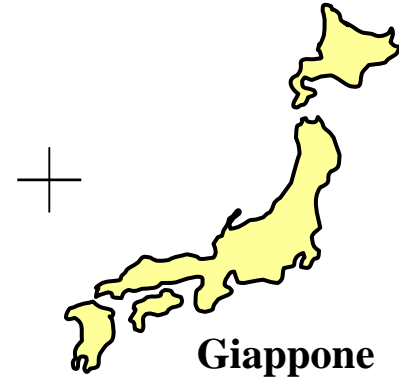
Sistemi 3G



IS-2000



Stazioni base SINCRONE



W-CDMA

Wideband Code Division
Multiple Access



Stazioni base ASINCRONE

Sincronizzazione

La sincronizzazione di codice è una procedura fondamentale nei sistemi radio-mobili: per eseguire le funzioni di despreading e di decodifica è essenziale che il codice portato dal segnale ricevuto sia perfettamente allineato con il codice generato localmente al ricevitore.

Nei sistemi radiomobili di terza generazione (3G) la procedura di sincronizzazione permette alla Mobile Station di sincronizzarsi con la Base Station e di apprendere il codice di *scrambling* da essa utilizzato.

Sistemi 3G



- I codici di spreading sono usati per differenziare i canali fisici del trasmettitore ed i codici di scrambling sono usati per differenziare i trasmettitori.
- Un riferimento di sincronizzazione quale il GPS (sistema di posizionamento globale) è solitamente impiegato per realizzare il sincronismo di tempo fra le stazioni base in IS-2000 (fonte di sincronizzazione esterna).
- In W-CDMA, il problema di acquisizione non consiste soltanto nel determinare la sincronizzazione del codice di scrambling ricevuto, ma anche nell'identificare il particolare codice ricevuto.

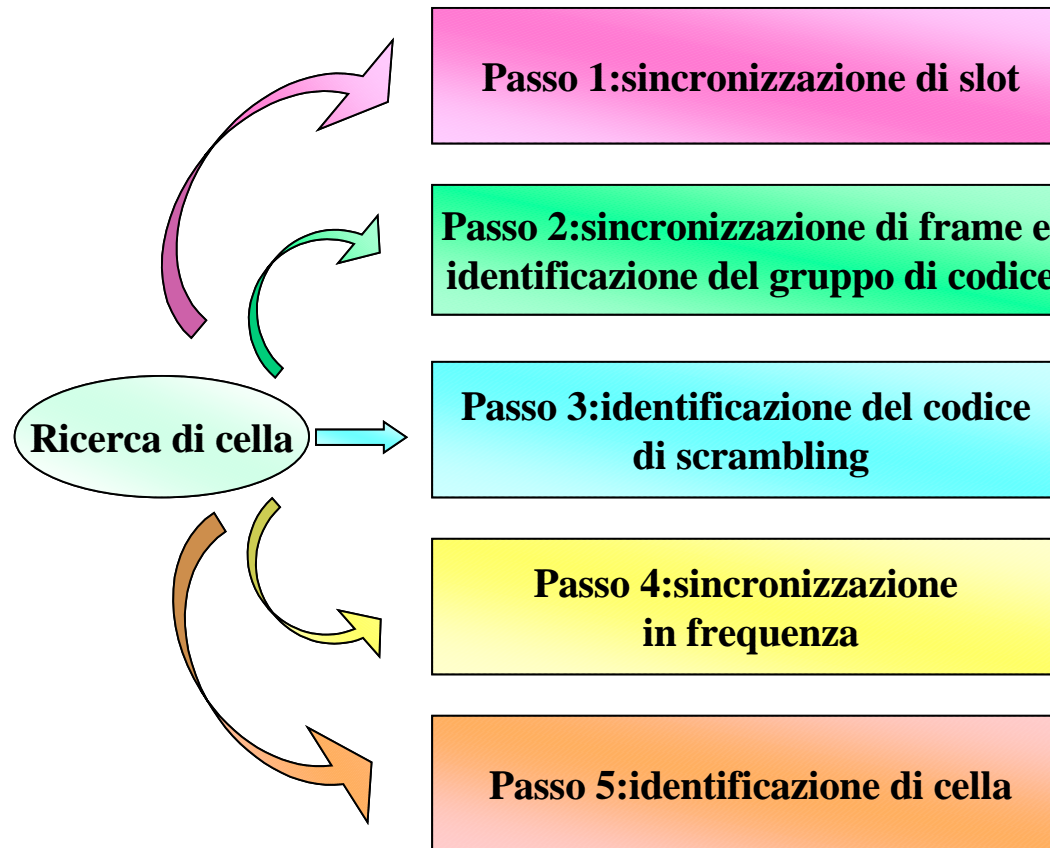
Acquisizione di Codice in UMTS

Poiché l'acquisizione di codice richiede abitualmente un tempo piuttosto lungo, si cerca continuamente di velocizzare il processo per efficienti comunicazioni DS/SS.

Nel sistema cellulare basato sulla tecnica di accesso W-CDMA, il processo di ricerca di una cella di riferimento, di acquisizione del codice e di sincronizzazione temporale da parte di una stazione mobile viene definito “*cell search*”.

NOTA: Si definisce cella temporale uno dei possibili allineamenti tra il codice ricevuto e il codice generato localmente. L'insieme di tutte le celle determina la regione temporale di incertezza, all'interno della quale ricercare l'allineamento corretto.

Ricerca di Cella



Ricerca di Cella

Nel W-CDMA la ricerca di cella si divide in cinque passi :

1. L'acquisizione di slot.
2. L'acquisizione di frame e l'identificazione del gruppo a cui il codice di scrambling appartiene.
3. L'identificazione del codice di scrambling.
4. L'acquisizione di frequenza.
5. L'identificazione della cella.

La ricerca di cella influisce sulle prestazioni del sistema in termini di switch-on delay (all'accensione del mobile), stand-by time (durante lo stato inattivo) e qualità del collegamento (durante lo stato attivo), quindi riveste un aspetto molto critico nella progettazione di algoritmi e ricevitori efficienti.

Ricerca di Cella

- Ricerca di cella iniziale:

occorre all'accensione del mobile e necessita l'esecuzione di tutti e cinque i passi della ricerca di cella. In questo caso il processo è effettuato dal mobile per individuare la cella che, nel cammino di propagazione verso la relativa stazione base, consente la minore perdita di potenza (errore di frequenza elevato ~ 20 KHz).

- Ricerca di cella target:

si realizza durante lo stato attivo (active mode search) e lo stato inattivo (idle mode search) del mobile; richiede solo lo svolgimento dei primi tre passi della ricerca di cella. In questo caso il processo è effettuato dalla stazione mobile per identificare le celle candidate all'operazione di handover (errore di frequenza ~ 200 Hz).

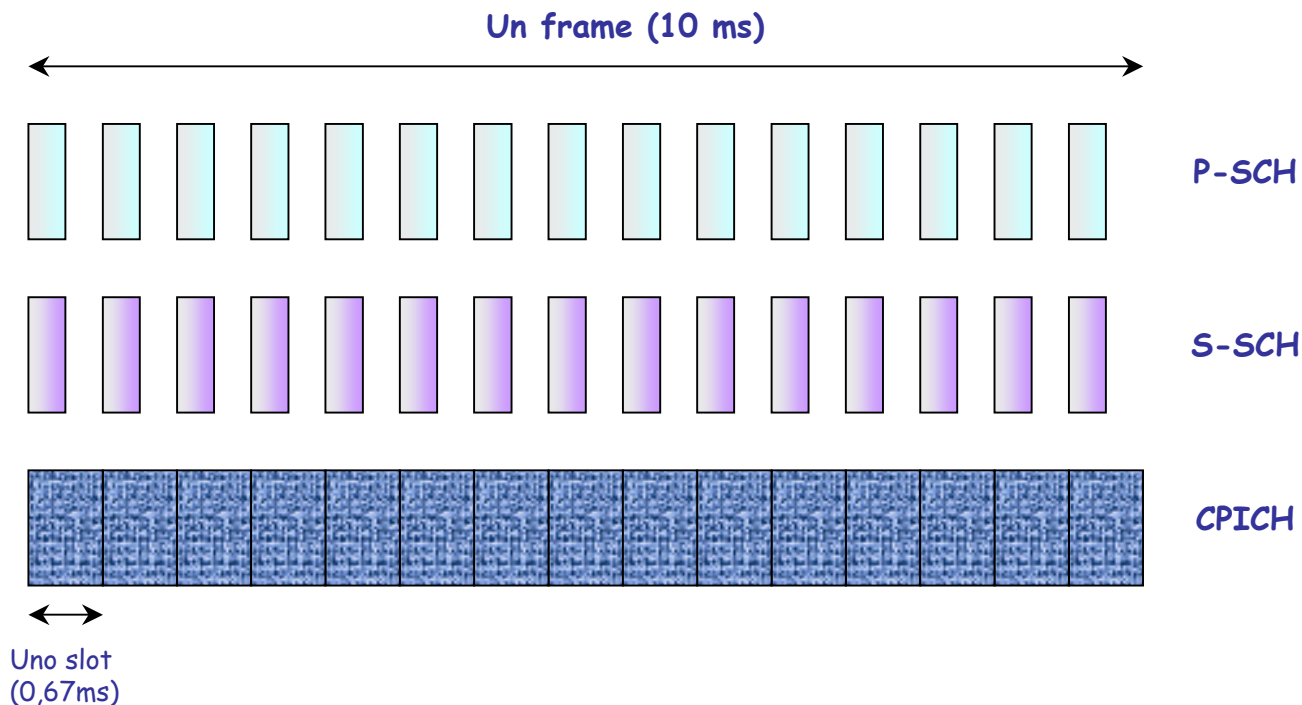
Canali di Sincronizzazione

Nel W-CDMA una cella è identificata principalmente dal suo codice di scrambling. Esistono 512 codici di scrambling basati su sequenze di Gold di lunghezza $2^{18}-1$ troncate ad un intervallo di frame, ossia 38400 chip.

I 512 codici primari di scrambling sono divisi in 64 gruppi, ognuno da 8 codici. Si cerca quindi di identificare il gruppo di codice a cui il codice di scrambling appartiene e contemporaneamente ottenere la sincronizzazione di frame.

Canali di Sincronizzazione

Per facilitare la ricerca di cella vengono utilizzati 3 canali, il canale di sincronizzazione primario (P-SCH), il secondario (S-SCH) e il Common Pilot Channel (CPICH). I primi due costituiscono il canale di sincronizzazione (SCH).



Il frame di 38400 chip (10 ms) è diviso in 15 slot, di 2560 chip (0.67 ms).

Canale SCH

La sequenza del **P-SCH** viene trasmessa dalla stazione base in ogni slot nella stessa posizione, e ciò viene sfruttato per individuare il confine di slot. Tutte le celle, quindi tutte le stazioni base, utilizzano la stessa sequenza sul canale di sincronizzazione primario. E' quindi necessario un correlatore per trovare il confine di slot dei segnali in down-link.

Il canale di sincronizzazione secondario **S-SCH** viene utilizzato per identificare il confine di frame e il gruppo di codice di scrambling a cui appartiene il codice da individuare. Ci sono 16 possibili sequenze, corrispondenti ai 16 simboli S-SCH. Un frame (15 slot) di questi 15 simboli S-SCH costituiscono una parola di codice delle 64 parole contenute in un dizionario (**codebook**).

Canale S-SCH

La stessa parola di codice viene ripetuta dalla stazione base ogni frame. Identificando la parola di codice trasmessa in ogni frame si apprende il gruppo di codice.

Le 64 parole di codice sono scelte in modo da avere diversi shift di fase, ed ogni shift di fase di una parola di codice è differente da tutti gli shift di fase di tutte le altre parole di codice. In questo modo il confine di frame può essere individuato identificando l'inizio corretto della sequenza dei simboli S-SCH che formano la parola di codice.

Per minimizzare l'interferenza cross-canale le 16 sequenze S-SCH e quella P-SCH sono mutuamente ortogonali

Canale CPICH

Usato per trasportare i simboli pilota comuni in down-link, è moltiplicato per il codice di scrambling della cella in down-link. In ogni time slot ci sono *10* simboli pilota, ognuno di 256 chip. Tutti i simboli sono modulati QPSK e i valori della modulazione dei simboli pilota sono noti quando il mobile conosce il confine di frame.

La sequenza di spreading del canale CPICH viene scelta dall'insieme dei codici ortogonali a spettro espanso variabile (Orthogonal Variable Spreading Factor-OVSF), mantenendo quindi l'ortogonalità tra il CPICH e gli altri canali in down-link espansi con i codici OVSF.

Sincronizzazione

I passi da affrontare per la sincronizzazione temporale e del codice sono quindi i seguenti:

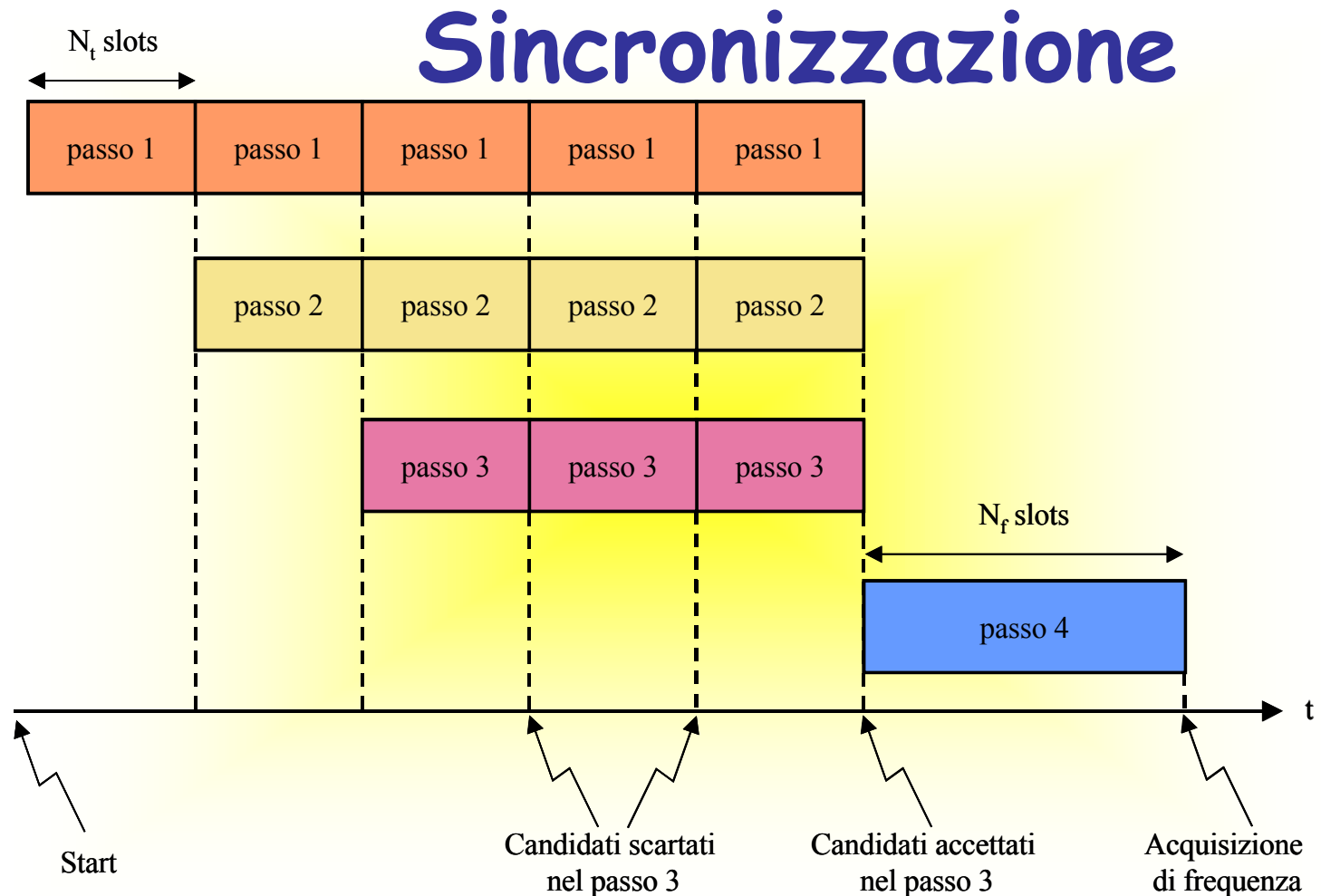
- Individuazione del confine di slot basato sul P-SCH (usando un correlatore).
- Individuazione del confine di frame e identificazione del gruppo di codice basato sul S-SCH (utilizzando correlatori e un decoder RS).
- Individuazione del codice di scrambling basato sul CPICH (utilizzando correlatori).

Sincronizzazione

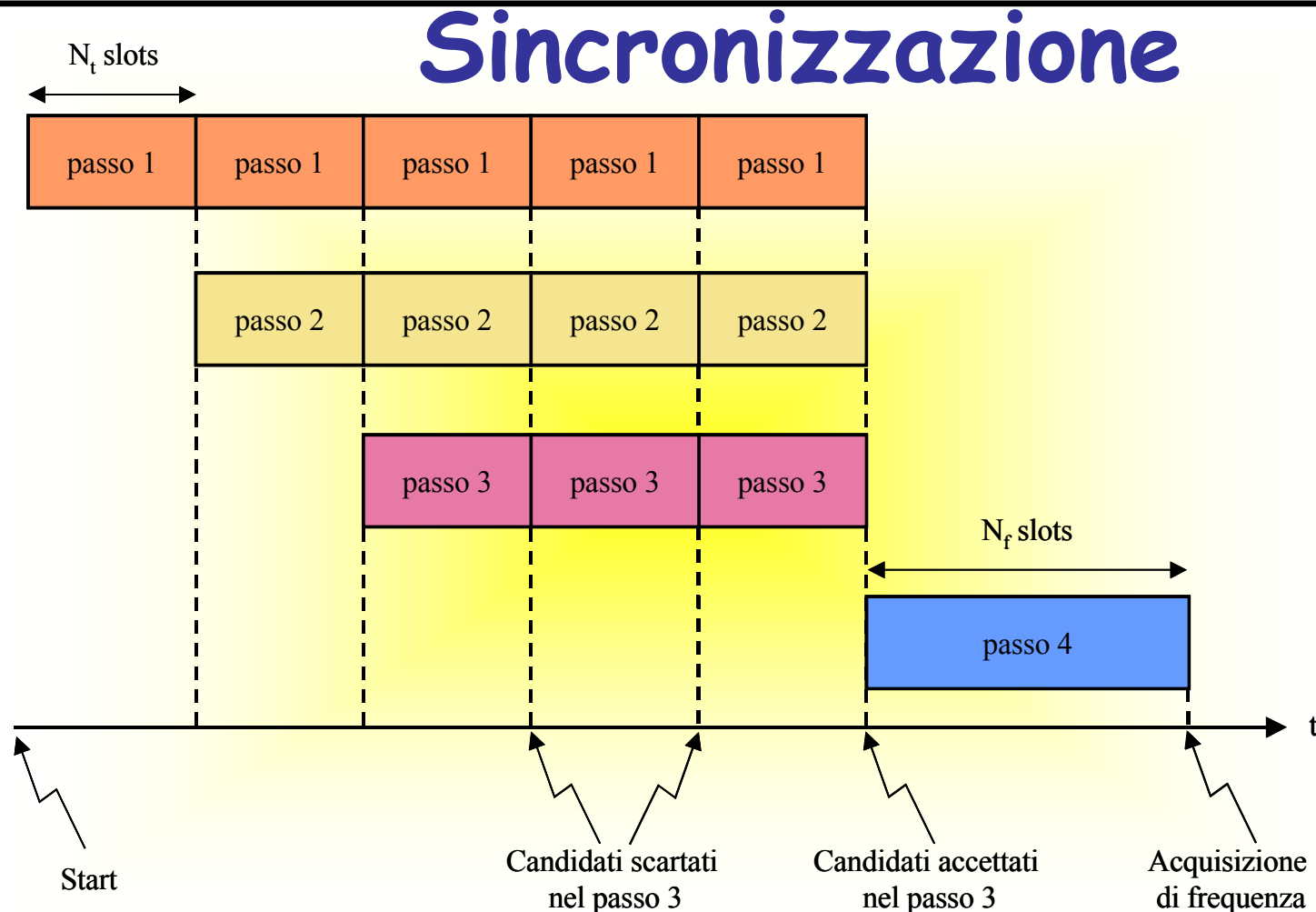
Per la ricerca di cella iniziale, lo scopo finale è quello di decodificare l'identità della cella del segnale acquisito. Per far ciò, c'è bisogno di altri due passi:

- Acquisizione di frequenza basata su CPICH (per ridurre l'errore iniziale di frequenza così che il radiomobile possa decodificare l'informazione broadcast).
- Individuazione dell'identità di cella (leggendo l'informazione broadcast).

Nel caso di ricerca target non esiste ambiguità nella corrispondenza tra codice di scrambling downlink e identità della relativa cella, quindi l'identificazione del codice di scrambling e la sincronizzazione ad esso sono sufficienti per identificare una cella.



Il primo passo genera sempre una lista di candidati per il confine di slot. Il secondo passo fornisce una lista di candidati di coppie confine di frame-gruppo di codice al passo tre per l'identificazione del codice di scrambling.



Lo stadio 4 è attivato solo quando il relativo candidato è rivelato con estrema sicurezza. Il tempo di acquisizione può essere definito come l'intervallo di tempo che intercorre tra l'istante di attivazione del processo e l'istante in cui termina l'esecuzione del terzo passo.

Sincronizzazione

Il tempo di acquisizione può essere definito come l'intervallo fra il tempo in cui il processo distribuito inizia ed il tempo in cui la fase 3 termina il processo.

Se la fase 3 utilizza K_3 cicli prima di accettare un codice rilevato e terminare il processo distribuito, il tempo di acquisizione vale:

$$T_{acq} = (K_3 + 2)N_t T_{slot}$$

Fasi di Sincronizzazione

-Fase 1:

- il ricevente prima determina la locazione del Codice Comune di Sincronizzazione (CSC).
- si effettuando una correlazione a finestra scorrevole di una replica generata localmente del CSC con il segnale ricevuto e rilevando un picco di correlazione alla posizione del CSC.

Fasi di Sincronizzazione

-Fase 2:

- il ricevente determina il gruppo di codice di scrambling rilevando quale gruppo identificazione di codice (GIC) è stato trasmesso tramite correlazione del segnale ricevuto con ciascuno dei codici brevi alle posizioni di CSC determinate nella fase 1.

Fasi di Sincronizzazione

-Fase 3:

- ogni gruppo consiste di L/N codici di scrambling. In più, poiché 15 CSC compaiono in ogni periodo del codice di scrambling, abbiamo bisogno di determinare che queste 15 posizioni corrispondono all'inizio del periodo del codice di scrambling.
- questo processo inoltre provoca la sincronizzazione della struttura realizzando un totale di $15(L/N)$ ricerche in questa fase.

Sincronizzazione in W-CDMA

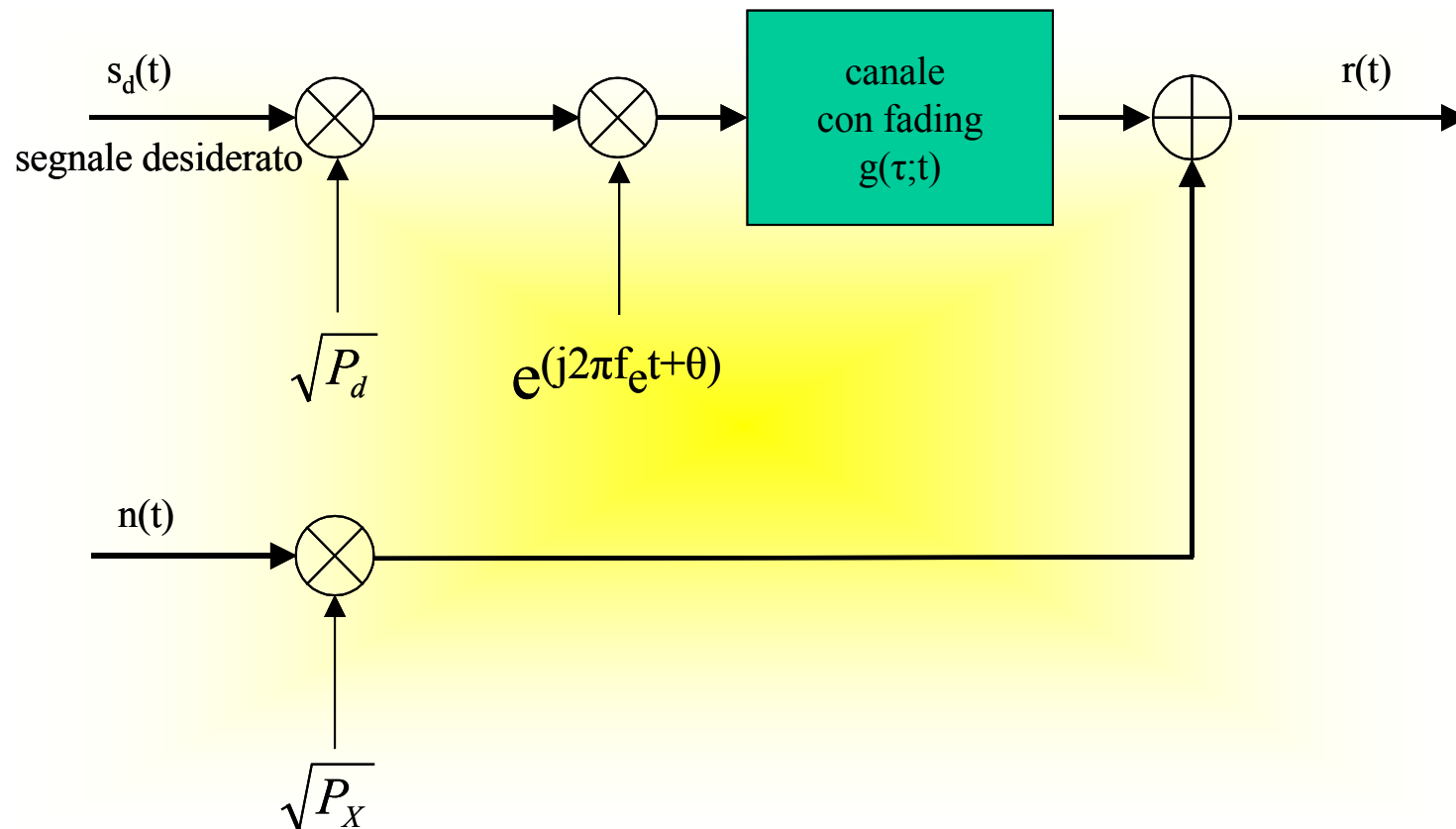
BS non sincronizzate } vantaggio di non avere sincronizzazione esterna
 svantaggio di avere diversi codici di scrambling
 ➔ lungo tempo di acquisizione

- Inserimento nel SCH di un codice breve. Questo canale è chiamato CSC (Canale Comune di Sincronizzazione)
- Viene trasmesso un ripetuto GIC (Gruppo Identificativo di Codice), scelto da un set di 256 chips di codici Gold ortogonali
- Rilevazione del codice breve (con correlatori)
 ➔ determinazione del codice di scrambling trasmesso

Sincronizzazione

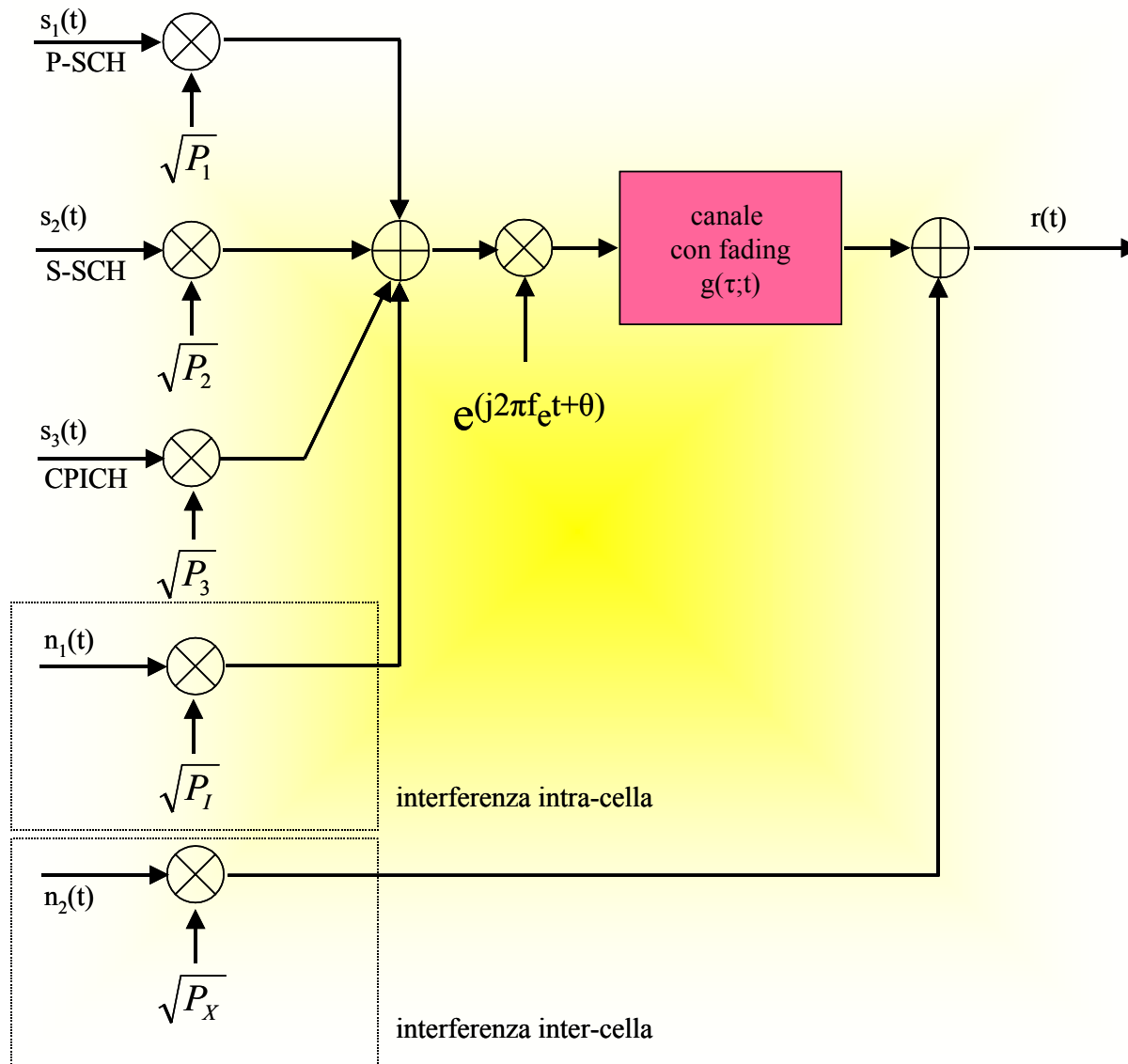
Numero di codici primari di scrambling		⇒	512 (8 codici x 64 gruppi)
Lunghezza del frame		⇒	38400 chips (10ms) diviso in 15 slots
Lunghezza dello slot		⇒	2560 chips
Chip-rate		⇒	3,84 Mcps/s
Codici di diffusione	Cod. lungo	⇒	Sequenza pseudo-casuale
	Cod.breve		Sequenza Gold ortogonale
Modulaz.	Dati	⇒	QPSK
	Codifica		BPSK

Modello del Sistema



Il segnale desiderato a potenza unitaria $s_d(t)$ è moltiplicato per il fattore di potenza P_d e il rumore complesso gaussiano a varianza unitaria è moltiplicato per il fattore P_x , quindi il rapporto segnale-rumore (SNR) è dato da P_d/P_x .

Modello del Sistema



Modello del Sistema

Relativamente ai primi due passi della ricerca di cella, il segnale desiderato è il canale di sincronizzazione (P-SCH+S-SCH), mentre per il terzo e quarto passo il segnale desiderato è il CPICH.

Il termine $e^{(j2\pi f_e t + \theta)}$ rappresenta l'effetto dell'errore di frequenza f_e , con fase θ uniformemente distribuita in $[0, 2\pi]$. Il segnale desiderato transita attraverso un blocco che simula un canale con fading tempo variante e selettivo in frequenza, caratterizzato dalla risposta impulsiva $g(\tau; t)$; successivamente al segnale risultante è sommata la componente rumorosa $n(t)$.

Fattori di Carico

- Fattore di carico P-SCH



$$\alpha = \frac{P_1}{(P_1 + P_2)}$$

- Fattore di carico S-SCH



$$\beta = \frac{(P_1 + P_2)}{(P_1 + P_2 + P_3 + P_I)}$$

- Fattore di carico CPICH



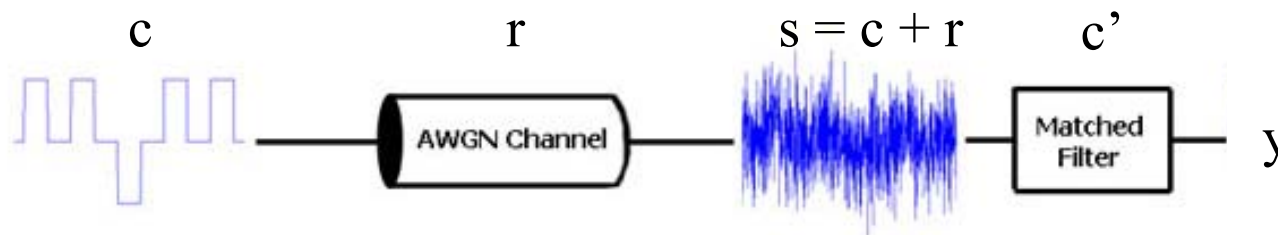
$$\gamma = \frac{P_3}{(P_1 + P_2 + P_3 + P_I)}$$

- Fattore di geometria



$$G = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + P_I)}{P_X}$$

Detection del codice Matched Filter

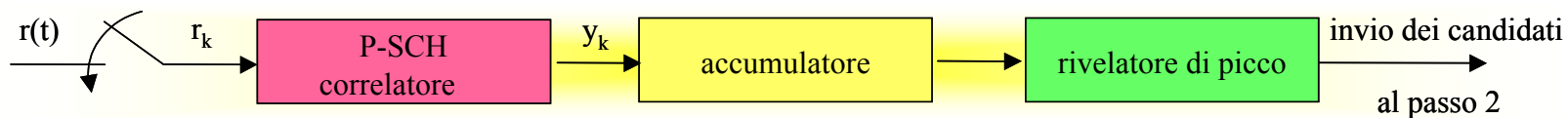


$$y = s \cdot c' = (c + r) \cdot c' = c \cdot c' + r \cdot c' = \sum_{n=1}^N c_n \cdot c'_n + \sum_{n=1}^N r_n \cdot c'_n$$

- Se $c = c'$ allora il correlatore è un filtro adattato al codice e ne rileva la sua presenza tramite l'analisi del picco di energia ($\approx N$).
- Se $c \neq c'$ allora l'uscita del correlatore dà un risultato che è quasi zero.

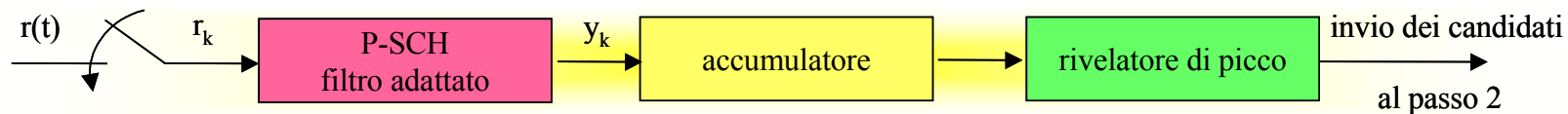
Passo 1:

Sincronizzazione di Slot



- La stazione mobile utilizza la sequenza P-SCH per acquisire la sincronizzazione di slot.
- La sincronizzazione di slot è ottenuta rivelando i valori di picco sul segnale all'uscita del filtro adattato.
- La sincronizzazione di slot deve essere il risultato di una decisione attendibile al fine di minimizzare il tempo necessario per la ricerca di cella.
- Le osservazioni sono effettuate su più slots e i risultati rivelati all'uscita del filtro adattato sono combinati in modo non coerente.

Passo 1: Sincronizzazione di Slot



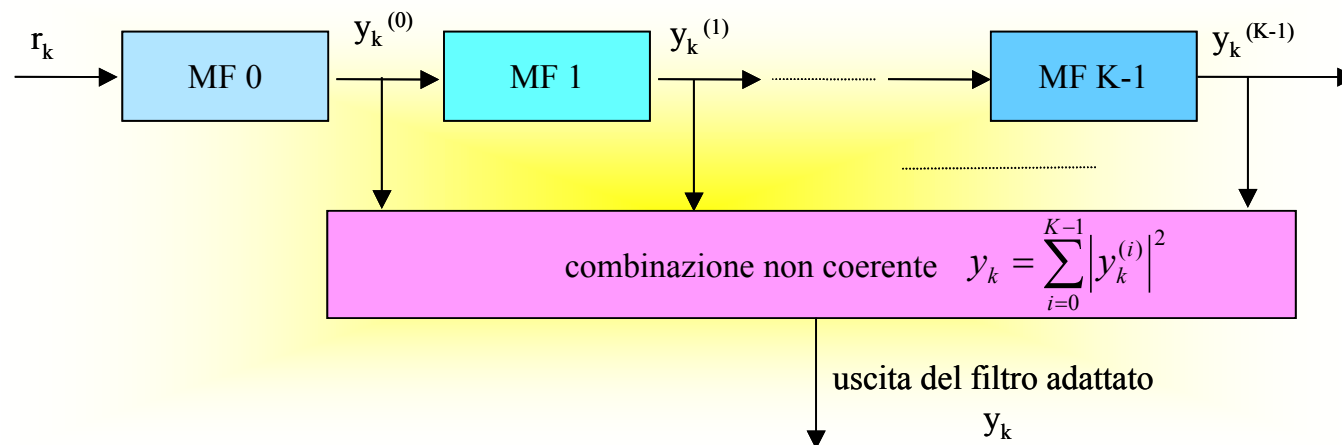
$$y_k = \sum_{l=0}^{255} r_{k-l} c_{255-l}^{(0)} \quad \rightarrow \quad r_k = \sqrt{\alpha \cdot P_d} \sum_{l=0}^{L-1} g_{l,k} c_k^{(0)} e^{j2\pi f_e (kT_c - \tau_l) + \vartheta} + n_k$$

- Nella ricerca di cella iniziale, l'errore di frequenza è dell'ordine dei 20 kHz, quindi l'impiego della prima relazione comporterebbe un'elevata perdita di coerenza a causa della componente esponenziale presente nella seconda eq. che determina una rotazione di fase sul campione del segnale ricevuto r_k .
- Ciò comporta una forte degradazione del rapporto segnale-rumore all'uscita del filtro adattato. Per ovviare a questo problema, la sequenza P-SCH può essere trattata come una concatenazione di sequenze più corte

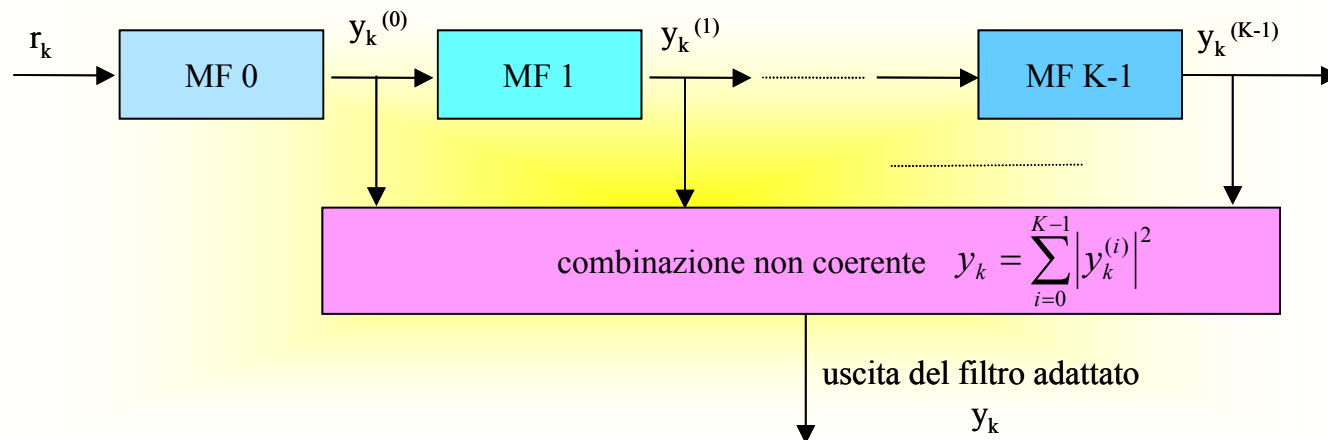
Passo 1:

Sincronizzazione di Slot

- Il filtro adattato alla sequenza P-SCH è, quindi, composto da più filtri ciascuno dei quali adattato ad una delle sequenze corte.
- Le uscite dei suddetti filtri adattati sono combinate in modo non coerente, per evitare rotazioni di fase dovute alla propagazione del segnale attraverso diversi filtri adattati.



Passo 1: Sincronizzazione di Slot



$$y_k = \sum_{i=0}^{K-1} |y_k^{(i)}| \quad \rightarrow \quad y_k^{(i)} = \sum_{l=0}^{M-1} r_{k-iM-l} c_{255-iM-l}^{(0)}$$


M è la lunghezza di ogni sequenza corta e K è il numero di sequenze corte in modo tale che $KM = 256$.

La lunghezza di ogni sequenza corta, M , determina le prestazioni della sincronizzazione di slot in presenza dell'errore di frequenza.

Passo 1:

Sincronizzazione di Slot

Un valore di M molto elevato comporta una maggiore rotazione di fase nel passaggio attraverso il filtro adattato e una maggiore perdita di incoerenza; tuttavia un valore elevato di M migliora le prestazioni in quanto incrementa la soppressione del rumore, quindi M deve essere ottimizzato per diversi errori di frequenza.


$$SNR(M) = \frac{1}{P_N} * \frac{\sin^2(\pi f_e M T_c)}{M \sin^2(\pi f_e T_c)}$$

Per quanto riguarda la ricerca di cella iniziale, con un errore di frequenza di 20 kHz, la scelta migliore è $M = 64$.

Nel caso di ricerca target con un errore di frequenza tipicamente minore di 200 Hz, la scelta ottimale è $M = 256$.

Passo 2:

Sincronizzazione di Frame

Nel secondo passo, le operazioni del ricevitore iniziano con la correlazione tra il segnale del canale SCH con le 15 sequenze S-SCH, accumulando poi le correlazioni su N_t slots. La parola di codice formata sarà una delle 64 parole di codice, ognuna con 15 confini di frame ipotizzati.


Il numero totale delle ipotesi è 960 (64 parole di codice, ognuna con 15 possibili shift nel tempo). Alla fine, l'ipotesi con la più grande metrica accumulata viene scelta come coppia confine di frame-gruppo del codice e verrà data al terzo passo per l'identificazione del codice di scrambling.

Passo 3: Identificazione Codice di Scrambling

- Il codice di scrambling primario in downlink può essere identificato correlando il canale CPICH con tutti i possibili codici di scrambling nel gruppo identificato.
- Tipicamente, nella ricerca di cella iniziale, il numero di codici di scrambling in un gruppo è pari ad $N_{sc} = 8$, nella ricerca di cella target assume tipicamente i valori 1 o 2.
- Si correla ogni simbolo CPICH ricevuto con N_{sc} possibili codici di scrambling. La correlazione è eseguita in modo coerente su 256 o 64 chips in base al valore dell'errore di frequenza.

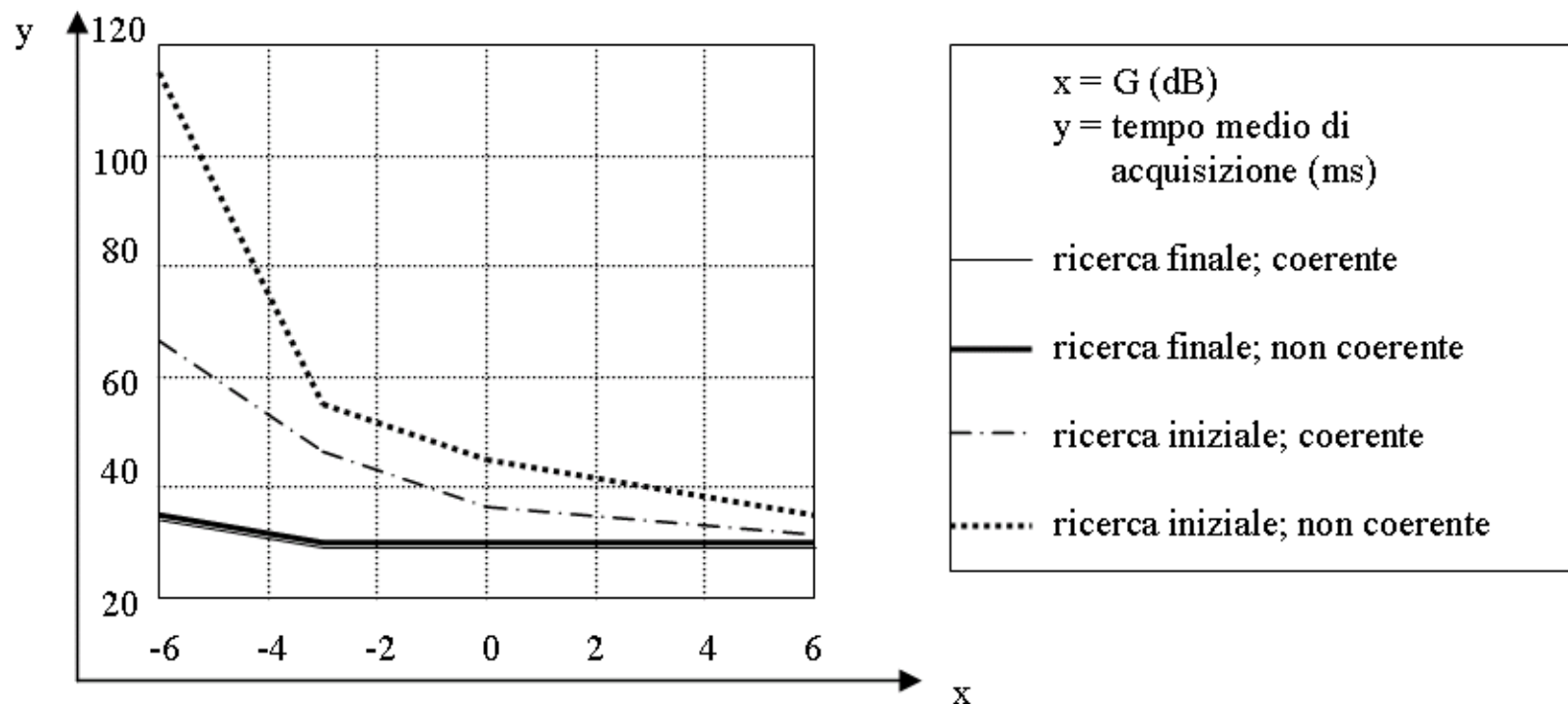
Passo 3: Identificazione Codice di Scrambling

- Si considerano $10 N_t$ simboli (N_t slots ciascuno caratterizzato da 10 simboli) e per determinare il codice di scrambling più probabile viene utilizzato un voto di maggioranza.
- Il codice di scrambling rivelato è accettato solo se la relativa metrica (numero di voti) supera una data soglia, predeterminata al fine di ottenere una certa probabilità di falso allarme.
- Indicando con D la soglia di rivelazione, essendo $J = 10N_t$, la probabilità di falso allarme può essere approssimata nel seguente modo:

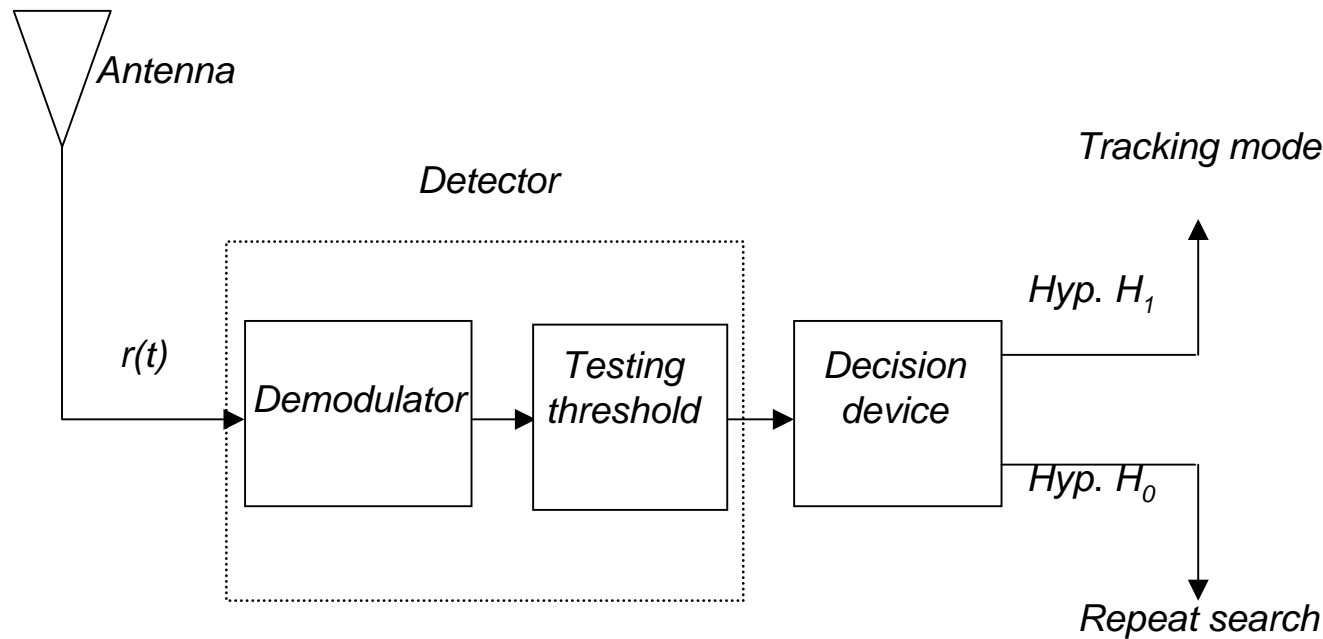

$$P_{FA} = N_{SC} \sum_{j=D+1}^J \binom{J}{j} \left(\frac{1}{N_{SC}} \right)^j \left(\frac{N_{SC}-1}{N_{SC}} \right)^{J-j}$$

Passo 3: Prestazioni

Quando la MS è al bordo della cella, usando la rilevazione coerente nella fase 2 si riduce significativamente il tempo medio di acquisizione.



Sistema di Acquisizione



Sincronismo - ipotesi H_1 (presenza di segnale):

$\Gamma = \Gamma' = [|\mu + \varepsilon'_1|; \dots; |\mu + \varepsilon'_K|]^T$ essendo il modulo del valore atteso del campione di cross-correlazione $\mu = |E[R_k]| \neq 0$.

Non Sincronismo - ipotesi H_0 (assenza di segnale):

$\Gamma = \Gamma'' = [|\varepsilon''_1|; \dots; |\varepsilon''_K|]^T$, in questo caso essendo gli altri codici utente ortogonali, il modulo del valore atteso del campione di cross-correlazione $\mu = |E[R_k]| = 0$.

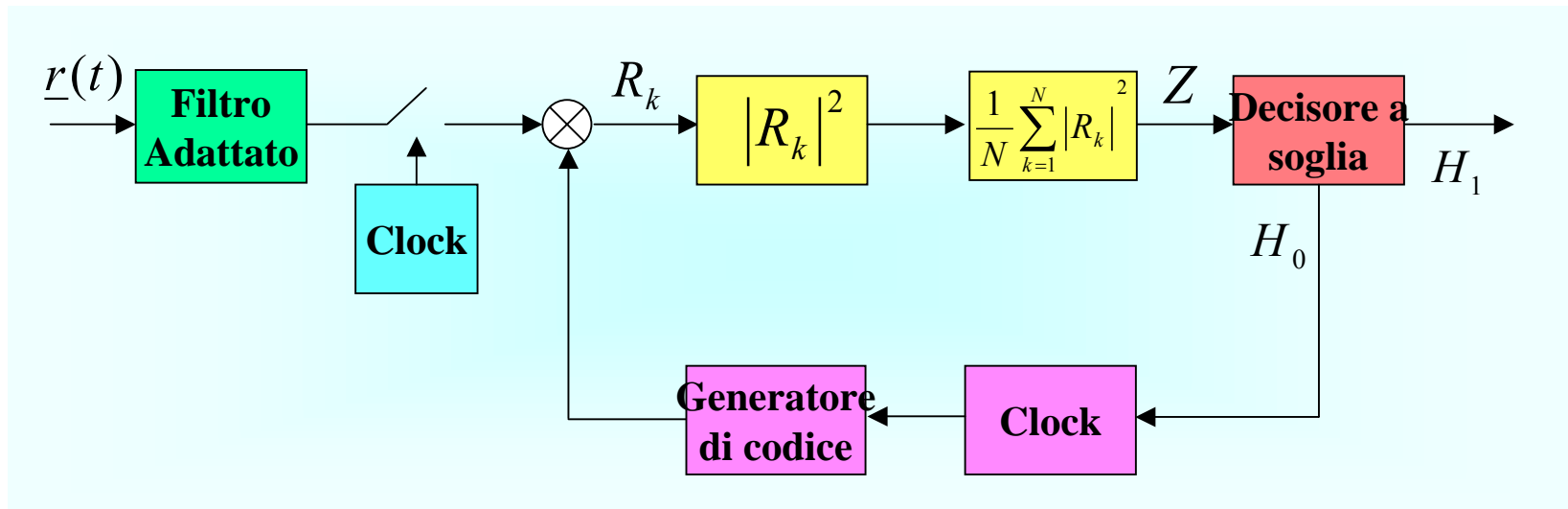
Stato dell'Arte

Per limitare il costo computazionale dei dispositivi di decisione, al fine di velocizzare il processo, sono impiegate alcune variabili di test unidimensionali $\tau = f(\Gamma)$, funzioni scalari della sequenza osservata Γ .

Esempio: la variabile di test del *conventional power test* può essere interpretata come il valore atteso effettuato su K simboli dei moduli quadri dei campioni di cross-correlazione R_k .

Power Detector

- **Variabile di test:** combinazione di diverse osservazioni su più slot per incrementare l'affidabilità della decisione e quindi diminuire il tempo medio di acquisizione



$$Z = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |R_k|^2$$



Variabile di test del Power Detector