

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102011901947561A1

Publication Date

20121123

Applicant

UNIVERSITA DEGLI STUDI ROMA TRE

Title

METODO DI ACQUISIZIONE E SINCRONIZZAZIONE DI CODICE.

"METODO DI ACQUISIZIONE E SINCRONIZZAZIONE DI CODICE"

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ad un metodo di acquisizione e sincronizzazione
5 di codice in ambienti LTE (Long Term Evolution), in particolare a procedure da adottare per il calcolo di una variabile di test.

La fase di acquisizione e sincronizzazione di codice è una procedura di fondamentale importanza in tutti i sistemi radio-mobili. Un terminale, prima di connettersi alla rete, deve eseguire una serie di operazioni preliminari per
10 sincronizzarsi correttamente, sia nel tempo e sia in frequenza con la stazione radio-base relativa alla cella di appartenenza.

La sincronizzazione in frequenza è necessaria per compensare gli errori di accuratezza dovuti alle imperfezioni degli oscillatori presenti nei terminali mobili, mentre la sincronizzazione temporale è indispensabile per ricevere e trasmettere
15 correttamente le informazioni desiderate, rispettando la particolare struttura in trame del sistema di telecomunicazione adottato.

L'insieme di queste operazioni è generalmente indicato con il termine di "ricerca di cella". La ricerca di cella è necessaria in due situazioni principali: quando il terminale accede per prima volta al sistema (Ricerca di cella iniziale) e quando il terminale si
20 trova in stato inattivo (idle mode search) o in stato attivo (active mode search), per monitorare le celle vicine e individuare quelle candidate per l'handover (Ricerca di cella target).

La fase di ricerca di cella incide fortemente sulle prestazioni del sistema di telecomunicazioni, poiché influisce sul ritardo di accensione dei dispositivi terminali, sul
25 tempo di stand-by e sulla qualità del collegamento radio. Per assistere il terminale in

questa fase, nei diversi sistemi di telecomunicazioni, sono stati introdotti dei canali di "sincronizzazione".

I segnali, trasposti su tali canali, hanno strutture ben precise, la cui definizione è uno degli aspetti più critici nel progetto di un sistema di telecomunicazioni.

5 Allo stato dell'arte, il tempo impiegato da un terminale per l'acquisizione e sincronizzazione di codice, o tempo di Ricerca di Cella, costituisce certamente un collo di bottiglia dell'intero sistema, sia in termini di accesso alla rete, sia in termini generali di prestazioni del sistema, sia in termini di prestazioni del terminale mobile.

10 Pertanto, lo scopo della presente invenzione è quello di risolvere i problemi lasciati ancora aperti dalla tecnica nota e ciò è ottenuto attraverso un metodo di acquisizione e sincronizzazione di codice come definito nella rivendicazione n. 1.

Ulteriore oggetto della presente invenzione è un programma per elaboratore come definito nella rivendicazione 15.

15 Ancora ulteriore oggetto della presente invenzione è un apparato terminale per telecomunicazioni che adotta un metodo secondo la presente invenzione, come definito nella rivendicazione 16.

Ulteriori caratteristiche del dispositivo dell'invenzione in oggetto sono definite nelle corrispondenti rivendicazioni dipendenti.

20 La presente descrizione sarà condotta con particolare riferimento alla ricerca di cella nel sistema cellulare Long Term Evolution (LTE), presentando una soluzione innovativa le cui prestazioni superano quelle delle strategie convenzionali, garantendo al tempo stesso un aumento della complessità computazionale del tutto trascurabile.

25 Il sistema Long Term Evolution (LTE) si presenta come l'evoluzione dei sistemi di terza generazione e garantisce elevati data-rate, supporto alla mobilità superiore a quello degli standard attuali, e ottimi livelli di Qualità del Servizio.

E' tuttavia da intendersi che la presente invenzione è utilizzabile in altri ambiti, ove sia sentita la stessa esigenza ed ove siano applicate procedure analoghe di accesso ad una rete.

La presente invenzione, superando i problemi della tecnica nota, comporta
5 numerosi ed evidenti vantaggi.

In particolare, la presente invenzione permette di aumentare efficacemente le prestazioni dei ricevitori convenzionali attraverso operazioni che possono essere eseguite con algoritmi a bassa complessità computazionale.

Inoltre, le prestazioni dei terminali mobili sono incrementate grazie alla possibilità di
10 completare rapidamente tutte le fasi di ricerca di cella, acquisizione di codice e sincronizzazione in tempo e in frequenza con la stazione base relativa alla cella di appartenenza.

Un ulteriore vantaggio è dato dal fatto che l'innovazione si inserisce dal lato ricevitore e quindi non richiede nessuna modifica degli standard (LTE o altro) già
15 implementati a livello di mercato. Inoltre è importante sottolineare come l'invenzione possa essere applicata efficacemente a tutti gli standard LTE proposti per la definizione del P-SCH (a pattern non ripetitivo, a pattern ripetitivo e ripetitivo simmetrico-periodico).

I vantaggi derivanti dall'adozione di questa invenzione sono evidenti e trovano
20 applicazione in diversi campi non solo tecnici o industriali ma anche commerciali. Essa permette, infatti, di velocizzare le operazioni di sincronizzazione e di acquisizione di codice e questo comporta una più rapida esecuzione del processo di ricerca di cella iniziale, tempi di accensione e di stand-by ridotti, elevate qualità del collegamento radio e più rapida gestione delle operazioni di handover. Gli operatori di rete mobile e i
25 produttori di dispositivi possono trarre evidenti benefici dall'adozione dell'invenzione

che permette di aumentare la qualità dei servizi offerti e massimizzare la soddisfazione degli utenti finali.

Questi ed altri vantaggi, assieme alle caratteristiche ed alle modalità di impiego della presente invenzione, risulteranno evidenti dalla seguente descrizione dettagliata di sue forme di realizzazione preferite, presentate a scopo esemplificativo e non limitativo, facendo riferimento alle figure dei disegni allegati, in cui:

- le figure da 1a a 1d illustrano esempi di canali P-SCH (Primary Synchronization Channel), su cui è trasmesso il segnale PSS;
- la figura 2 è uno schema a blocchi esemplificativo di un tipico power detector;
- 10 - la figura 3 è una rappresentazione del modulo dell'autocorrelazione di una sequenza di ZC;
- la figura 4 illustra un esempio di ordinamento casuale eseguito sui campioni del segnale di sincronizzazione PSS; e
- le figure da 5a a 5c sono grafici che mostrano la probabilità di rilevazione P_d in
15 funzione del SNR, per 10^5 simulazioni Montecarlo e $P_{fa}=10^{-3}$, rispettivamente per il *best case*, *worst case* e *middle case*, per differenti valori (128, 256) della lunghezza della IFFT.

La presente invenzione sarà nel seguito descritta nel dettaglio facendo riferimento alle figure suindicate.

20 La ricerca di cella in un sistema LTE

La ricerca di cella in un sistema LTE si basa sulla rilevazione di due segnali di sincronizzazione che sono trasmessi periodicamente nelle trame di downlink.

Prima di descrivere la struttura di questi due segnali è opportuna una breve panoramica sulle caratteristiche dello strato fisico LTE, con particolare riferimento alla
25 tratta di downlink.

La tecnica di accesso al mezzo in LTE è la Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (OFDMA). Si tratta di una tecnica di accesso multiplo, basata sulla modulazione OFDM, che consiste nell'assegnare a ciascun utente un sottoinsieme delle sottoportanti in cui viene suddivisa la banda disponibile, per un determinato intervallo di tempo. La trasmissione in downlink avviene secondo una struttura in tempo e in frequenza ben determinata: i dati sono organizzati in trame, ogni trama ha una durata di 10ms e consiste in 10 sottotrame (di 1ms) ciascuna delle quali contiene due time-slot (di 0.5ms). Ogni time-slot comprende un numero di simboli OFDM che dipende dalla lunghezza del prefisso ciclico (6 o 7 simboli).

10 Nel dominio della frequenza le risorse sono organizzate in sottoportanti, ogni slot è costruito da 12 sottoportanti, che nel loro insieme sono indicate come Resource Block (RB). La più piccola unità nel dominio della frequenza è il Resource Element (RE) che consiste in una sottoportante per la durata di un simbolo OFDM.

Il sistema LTE supporta sia la Frequency Division Duplexing (FDD) che la Time Division Duplexing (TDD), la struttura delle trame e la divisione in blocchi sono le stesse nei due casi ma l'assegnazione degli slot ai vari scopi è diversa nei due casi.

La ricerca di cella in un sistema LTE si basa su due segnali di sincronizzazione, trasmessi in broadcast nelle trame di downlink di ogni cella: il Primary Synchronization Signal (PSS) e il Secondary Synchronization Signal (SSS).

20 La detection di questi due segnali, non soltanto permette la sincronizzazione in tempo e in frequenza, ma fornisce al terminale altre informazioni fondamentali quali: l'identità di cella, la lunghezza del prefisso ciclico (CP) dei simboli OFDM e permette anche di determinare se la cella opera in modalità TDD o FDD.

I due segnali di sincronizzazione sono trasmessi periodicamente ogni 5ms, quindi due volte all'interno di una singola trama, sempre nella stessa posizione (che varia in funzione della modalità TDD o FDD). La posizione del PSS è scelta in modo da

25

permettere al terminale di individuare l'inizio di slot (i.e. l'ultimo simbolo del primo e dell'undicesimo slot), senza preventivamente conoscere la lunghezza del prefisso ciclico.

Il segnale SSS si trova ad una distanza fissata dal segnale PSS e questo ne
5 consente la detection coerente, nell'ipotesi, ragionevole, che il tempo di coerenza del canale sia maggiore dell'intervallo temporale che intercorre nella trasmissione dei due segnali di sincronizzazione.

Mentre il PSS trasmesso in una cella è sempre lo stesso, le due ripetizioni del SSS sono tra loro differenti e questo consente al terminale mobile di acquisire
10 correttamente l'inizio di trama. I due segnali di sincronizzazione permettono anche di individuare l'identità della cella. Ci sono 504 physical layer identities (N_{ID}^{cell}), raggruppate in 168 gruppi (physical-layer-identities-groups $N_{ID}^{(1)}$ di tre identità $N_{ID}^{(2)}$. Queste tre identità sono generalmente assegnate alle celle sotto il controllo dello stesso nodo B. Le tre $N_{ID}^{(2)}$ sono individuate da tre possibili PSS, mentre 168 differenti
15 SSS indicano l'identità del gruppo $N_{ID}^{(1)}$.

Quindi, la ricerca di cella in un sistema LTE consiste in due fasi:

1. rilevamento del segnale PSS: dal rilevamento del segnale PSS il terminale apprende l'identità di strato fisico di cella e l'istante di inizio dello slot (i.e. acquisizione iniziale di codice)
- 20 2. rilevamento del segnale SSS: dal rilevamento del segnale SSS il terminale apprende la sincronizzazione di trama, l'identità di cella, la lunghezza del prefisso ciclico.

L'acquisizione iniziale di codice è la prima fase fondamentale nel processo di sincronizzazione e deve essere eseguita con ritardi ridotti e prestazioni elevate.

La caratterizzazione del PSS è una fase estremamente critica. Il PSS è notoriamente generato come una sequenza di Zadoff-Chu di lunghezza NZC pari a 63, secondo la formula seguente:

$$d_u(n) = \begin{cases} e^{-j\frac{\pi un(n+1)}{63}} & n = 0,1,\dots,30 \\ e^{-j\frac{\pi u(n+1)(n+2)}{63}} & n = 31,32,\dots,61 \end{cases} \quad (1)$$

- 5 Le tre diverse sequenze, scelte per rappresentare i tre possibili PSS, sono generate al variare del parametro u detto radice (root) della sequenza.

Tabella 1: indici delle radici per il segnale PSS

$N_{ID}^{(2)}$	radice - u
0	25
1	29
2	34

10

Le sequenze di ZC sono state selezionate per le loro ottime proprietà di auto e cross-correlazione:

1. Sono periodiche di periodo N_{ZC} ;
2. La trasformata di Fourier Discreta DFT di una sequenze di ZC è ancora una
- 15 sequenza di ZC, coniugata, scalata in ampiezza e traslata nel tempo;
3. L'autocorrelazione ciclica è ideale;
4. La cross-correlazione tra due sequenze differenti e con N_{ZC} primo è costante;
5. Due versioni traslate della stessa sequenza sono tra loro ortogonali.

Il segnale PSS ottenuto con la formula (1) nel dominio della frequenza, è poi riportato nel dominio del tempo attraverso una IFFT di dimensioni opportune, preferibilmente di 128 o 256 punti.

Il canale su cui è trasmesso il segnale PSS, detto Primary Synchronization Channel (P-SCH), deve essere strutturato in modo da facilitare la rilevazione del corretto offset di tempo e frequenza, a questo scopo nella tecnica nota sono state proposte diverse soluzioni.

Tipicamente, il P-SCH è costituito da diverse ripetizioni temporali dello stesso segnale, nell'esempio in Figura 1a ed 1b, il P-SCH è costituito da K blocchi della stessa lunghezza (nelle figure K vale rispettivamente 2 o 4), e il prefisso ciclico CP è inserito all'inizio del simbolo OFDM che costituisce il P-SCH.

Una ulteriore soluzione nota, simile alla precedente, è quella illustrata nella Figura 1c, in cui il simbolo B rappresenta l'opposto simmetrico di A. Infine, è stata anche proposta una soluzione che prevede una struttura non periodica, in cui il segnale è ripetuto una sola volta, come raffigurato nella Figura 1d.

Il ricevitore ottimo, in presenza di rumore gaussiano bianco, è rappresentato da un ricevitore a filtro adattato (power detector o energy detector), di cui la figura 2 mostra uno schema a blocchi classico.

La rilevazione si basa sulla regola di massima verosimiglianza: il segnale ricevuto, all'uscita del filtro adattato, è posto in cross-correlazione con un segnale di riferimento traslato temporalmente per cercare l'offset di tempo che corrisponde al massimo della cross-correlazione. Per garantire una maggiore robustezza alle variazioni di fase aleatorie introdotte dal canale, si segue il cosiddetto approccio non coerente, secondo il quale il ricevitore calcola il modulo quadro della cross-correlazione stimata, mediando i risultati ottenuti su un numero W di realizzazioni:

$$Z_k(\tau) = \frac{1}{W} \sum_{w=1}^W |R_w(\tau)|^2 \quad (2)$$

Tale valore è poi confrontato con una soglia opportuna predeterminata per determinare la presenza o meno del segnale d'interesse. Il valore di soglia è scelto seguendo la procedura probabilità di falso allarme costante (CFAR) in cui si stabilisce la soglia in modo da non superare un limite prefissato di Probabilità di Falso Allarme. Valori tipici di soglia sono 10^{-3} o 10^{-4} .

Secondo la presente invenzione, il classico power detector non rappresenta la soluzione ottimale per l'acquisizione di codice in una rete LTE.

In particolare, si possono individuare due problematiche principali legate alle proprietà stesse delle sequenze di ZC.

L'autocorrelazione ciclica delle sequenze di ZC è sostanzialmente ideale, ma lo stesso non si può dire della auto-correlazione lineare, che anzi presenta dei picchi secondari non trascurabili, come mostrato in figura 3.

Pertanto, la presente invenzione si pone come alternativa alla metodologia fino ad oggi attuata, in grado di superare queste difficoltà, attraverso una metodologia estremamente più efficace e, al tempo stesso, priva di una maggiore complessità computazionale, caratteristica che consente di non gravare sulle risorse hardware, già particolarmente limitate, dei terminali mobili.

In particolare, un metodo secondo la presente invenzione è implementato tramite un elaboratore, ad esempio in un apparato terminale di una rete per telecomunicazioni.

Il metodo è utilizzato per calcolare una variabile di test $Z_k(\tau)$ all'interno di una procedura di acquisizione e sincronizzazione di codice del terminale in una rete digitale per telecomunicazioni.

La procedura avviene attraverso l'elaborazione del segnale di sincronizzazione PSS trasmesso da una stazione base della rete e ricevuto dal terminale e di una copia

generata in locale al ricevitore del segnale PSS ed utilizzata come segnale di riferimento PSSR.

Il metodo prevede l'esecuzione di un ordinamento casuale dei campioni del segnale di sincronizzazione PSS ricevuto dal terminale, così da ottenere un segnale di
5 sincronizzazione randomizzato PRND.

Preferibilmente, tale ordinamento casuale dei campioni del segnale di sincronizzazione PSS comprende una permutazione di tipo random e/o pseudo-random degli stessi.

In alternativa, l'ordinamento dei campioni potrà anche essere ottenuto tramite un
10 sottocampionamento del segnale, preferibilmente di tipo casuale, ad esempio un sottocampionamento di tipo aperiodico.

Quindi, il segnale di sincronizzazione così randomizzato PRND, viene suddiviso in almeno due blocchi di sincronizzazione BS_w (FIG. 4). Nel seguito si indicherà con WB il numero di blocchi di sincronizzazione BS_w .

15 Il numero WB di blocchi di sincronizzazione BS_w è determinato in base alle specifiche esigenze di progetto. Esso potrà ad esempio essere selezionato in maniera casuale.

Tuttavia, al fine di ottenere prestazioni migliori, come sarà reso evidente, è preferibile utilizzare il numero minimo di blocchi di sincronizzazione, cioè $WB=2$.

20 Anche la lunghezza di ciascun blocco di sincronizzazione BS_w è determinata sulla base delle esigenze specifiche e dei risultati voluti, quindi, ad esempio, in maniera casuale. Tuttavia, essendo il segnale PSS ad oggi utilizzato secondo lo standard in vigore (e quindi il segnale randomizzato PRND) composto da 62 campioni, si ritiene preferibile suddividere il segnale in blocchi di pari lunghezza, preferibilmente in due
25 blocchi di sincronizzazione, ciascuno comprendente 31 campioni.

Similmente, la presente invenzione prevede che operazioni analoghe siano eseguite anche sul segnale di riferimento PSSR generato in locale al ricevitore.

In particolare, quindi, il metodo prevede l'esecuzione di un ordinamento casuale dei campioni del segnale di riferimento PSSR generato in locale al terminale, così da
5 ottenere un segnale di riferimento randomizzato SRND.

Preferibilmente, tale ordinamento casuale dei campioni del segnale di riferimento PSSR comprende una permutazione di tipo random e/o pseudo-random degli stessi.

In alternativa, l'ordinamento dei campioni potrà anche essere ottenuto tramite un sottocampionamento del segnale, preferibilmente di tipo casuale, ad esempio un
10 sottocampionamento di tipo aperiodico.

Preferibilmente, l'ordinamento casuale (o pseudo-casuale) del segnale di riferimento PSSR è realizzato con il medesimo algoritmo adottato per il segnale di sincronizzazione PSS. Infatti, in tal modo, i codici sono sincroni in corrispondenza di un solo offset temporale, anche se sempre differenti di blocco in blocco.

15 Quindi, il segnale di riferimento così randomizzato SRND, viene suddiviso in almeno due blocchi di riferimento BR_w . Il numero e la lunghezza dei blocchi di riferimento BR_w sarà pari a quella dei blocchi di sincronizzazione BS_w già determinati.

A questo punto, per ciascun blocco di sincronizzazione BS_w determinato, il metodo prevede di calcolare una cross-correlazione R_w con un rispettivo blocco di riferimento
20 BR_w .

Una variabile di test $Z_k(\tau)$ viene quindi calcolata come funzione delle cross-correlazioni R_w .

Preferibilmente, la variabile di test $Z_k(\tau)$ è calcolata per ogni blocco di sincronizzazione e/o di riferimento, secondo la seguente relazione:

25
$$Z_k(\tau) = \frac{1}{W} \sum_{w=1}^W |R_w(\tau)|^2$$

in cui W è il numero, predefinito, di realizzazioni su cui mediare il risultato.

Benchè finora le operazioni di ordinamento casuale e di divisione in blocchi, siano state descritte come operate nel dominio del tempo, è da intendersi che le stesse operazioni possano essere operate, tanto per il segnale di sincronizzazione quanto per
5 il segnale di riferimento, anche nel dominio frequenziale dei coefficienti OFDM od anche in ulteriori domini trasformati orto-normali, bi-univocamente determinabili a partire dal dominio temporale e/o dal dominio frequenziale. Naturalmente, qualora si operi in domini diversi dal tempo, la variabile di test potrà essere valutata nello stesso dominio, infatti, anche la DFT-FFT e la sua inversa, definite dalla modulazione OFDM,
10 sono, opportunamente scalate, trasformazioni ortonormali.

Pertanto, alla luce di questa considerazione, si continuerà per semplicità descrittiva a far riferimento ad operazioni eseguite nel dominio del tempo.

Da quanto sopra si evince che i valori delle cross-correlazioni R_w , a differenza di quanto accade nella tecnica nota, sono diversi per ogni replica del segnale di
15 sincronizzazione, proprio in virtù dell'ordinamento casuale introdotto.

Il valore della variabile di test è poi confrontato con una soglia predefinita per determinare la presenza o meno del segnale d'interesse.

Il valore di soglia è preferibilmente scelto seguendo una procedura di probabilità a falso allarme costante (CFAR, constant false alarm rate) in cui viene stabilita la soglia
20 in modo da non superare un limite prefissato di Probabilità di Falso Allarme (valori tipici per applicazioni in questo campo sono di 10^{-3} o 10^{-4}).

Tale valore di soglia è anche quello che, al contempo, permette al sistema di massimizzare la probabilità di acquisizione del codice (e dell'offset temporale) cercato.

Tale strategia permette di ridurre al minimo gli errori di costo massimo (i falsi allarmi
25 appunto) che altrimenti costringerebbero il terminale mobile ad effettuare operazioni di sincronizzazione e tracking temporale (con operazioni molto costose dal punto di vista

della complessità computazionale richiesta) per acquisire un codice che si rivelerà, soltanto dopo lungo tempo (un penalty time appunto), una falsa acquisizione dovuta a rumore.

In generale, il processo di acquisizione di codice e di sincronizzazione ha una
5 duplice funzione: non solo determinare la presenza del segnale di interesse (una delle tre possibili sequenze di Zadoff-Chu trasmesse dalla stazione radio-base), ma anche ripristinare il sincronismo tra trasmettitore e ricevitore. Il ritardo temporale τ , in corrispondenza del quale la variabile di test supera la soglia, fornisce inoltre al terminale mobile l'informazione necessaria per individuare l'inizio temporale della
10 trama e recuperare così l'offset di fase corretto.

In una ricerca seriale, il ricevitore continua a provare in sequenza tutti i possibili offset, per ciascuna delle tre sequenze di ZC fino a che non viene individuato quello corretto, solo allora può iniziare la trasmissione.

Si comprende dunque la necessità di concludere la fase di acquisizione e di
15 sincronizzazione di codice nel più breve tempo possibile.

La soluzione offerta dalla presente invenzione raggiunge tale risultato, attraverso un'elaborazione che prevede una permutazione randomica dei segnali che, preferibilmente, varia casualmente ad ogni iterazione dell'algoritmo ed una
suddivisione in blocchi degli stessi segnali randomizzati (FIG. 4). In questo modo i
20 blocchi sono costituiti di volta in volta da diversi campioni del segnale d'interesse PSS. La cross-correlazione tra il blocco di sincronizzazione e il corrispettivo blocco di riferimento, fornisce ogni volta un risultato diverso, perché diversi sono i valori sui si calcola la cross-correlazione. In questa maniera, la successiva operazione di media effettuata su un certo numero di ripetizioni del segnale di ingresso, non solo permette
25 di mitigare gli effetti dovuti alla presenza di rumore sul canale, ma abbatte efficacemente le code della cross-correlazione.

Di seguito sono riportati i risultati di diverse simulazioni numeriche, eseguite per verificare la validità dell'invenzione.

Nei grafici riportati nelle figure da 5a a 5c è mostrata la Probabilità di rilevazione (Probability Detection - Pd) al variare del rapporto segnale rumore (SNR), per tre
5 diversi casi del ritardo temporale tra trasmettitore e ricevitore (perfetta sincronia; completa asincronia; caso operativo tipico intermedio).

Il valore della soglia, per individuare l'offset di corretta sincronizzazione, è stato scelto seguendo la procedura CFAR, in corrispondenza di un valore tipico di Pfa ($P_{fa}=10^{-3}$). Allo scopo di analizzare a fondo l'effettiva applicabilità della soluzione
10 proposta, è stato dapprima considerato il *best case*, ovvero il caso ideale di perfetta sincronizzazione tra il trasmettitore e il ricevitore (figura 5a). Successivamente, per valutare le prestazioni del nuovo metodo anche in situazioni estremamente critiche, è stato considerato il cosiddetto *worst case* (figura 5b). Questo rappresenta la condizione operativa più critica e corrisponde ad una ritardo di sincronizzazione tra il
15 trasmettitore e il ricevitore, pari a metà di un chip.

Infine, abbiamo considerato anche un terzo caso intermedio, *middle case*, che rappresenta le tipiche situazioni operative (figura 5c).

I grafici mostrano il confronto tra il metodo convenzionale e la soluzione innovativa nei tre casi applicativi, per IFFT su 128 e 256 punti.

20 I grafici evidenziano come le prestazioni della soluzione proposta siano superiori a quelle del classico rilevatore in tutti gli scenari considerati. Questi evidenziano i vantaggi derivanti dall'adozione della nostra invenzione che permette di raggiungere prestazioni elevate, senza alcun aumento della complessità computazionale.

E' naturalmente da intendersi che il metodo secondo la presente invenzione può
25 essere applicato a tutti gli standard LTE per il PSS: a pattern non ripetitivo, a pattern ripetitivo e a pattern ripetitivo simmetrico-periodico con due o quattro ripetizioni.

La presente invenzione è stata fin qui descritta con riferimento a sue forme di realizzazione preferite. È da intendersi che possono esistere altre forme di realizzazione che afferiscono al medesimo nucleo inventivo, tutte rientranti nell'ambito di protezione delle rivendicazioni qui di seguito riportate.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo implementato tramite un elaboratore, per calcolare una variabile di test ($Z_k(\tau)$) all'interno di una procedura di acquisizione e sincronizzazione di codice di un terminale in una rete digitale per telecomunicazioni, attraverso l'elaborazione di un segnale di sincronizzazione (PSS) trasmesso da una stazione base di detta rete e ricevuto da un terminale ed un segnale di riferimento (PSSR) generato in locale su detto terminale, il metodo comprendendo i seguenti passi:

- eseguire un ordinamento casuale dei campioni del segnale di sincronizzazione (PSS) ricevuto, ottenendo un segnale di sincronizzazione randomizzato (PRND);
- suddividere il segnale di sincronizzazione randomizzato (PRND) in almeno due blocchi di sincronizzazione (BS_w);
- eseguire un ordinamento casuale dei campioni del segnale di riferimento (PSSR) generato, ottenendo un segnale di riferimento randomizzato (SRND);
- suddividere il segnale di riferimento randomizzato (SRND) in blocchi di riferimento (BR_w), in numero e lunghezza pari a detti blocchi di sincronizzazione (BS_w);
- per ciascun blocco di sincronizzazione (BS_w) calcolare una cross-correlazione (R_w) con un rispettivo blocco di riferimento (BR_w);
- calcolare detta variabile di test ($Z_k(\tau)$), come funzione di dette cross-correlazioni (R_w) calcolate.

2. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui detti passi di ordinamento casuale, di suddivisione in blocchi e di calcolo, sono eseguiti nel dominio del tempo.

3. Metodo secondo la rivendicazione 2, in cui detta variabile di test ($Z_k(\tau)$) è calcolata, per ogni blocco di sincronizzazione e/o di riferimento (BS_w, BR_w), secondo la seguente relazione:

$$Z_k(\tau) = \frac{1}{W} \sum_{w=1}^W |R_w(\tau)|^2 ,$$

5 in cui W è il numero, predefinito, di realizzazioni su cui mediare i risultati ottenuti.

4. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui detti passi di ordinamento casuale, di suddivisione in blocchi e di calcolo, sono eseguiti nel dominio della frequenza.

10 5. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui detti passi di ordinamento casuale, di suddivisione in blocchi e di calcolo, sono eseguiti in un dominio trasformati ortonormale, bi-univocamente determinabile a partire dal dominio del tempo o dal dominio della frequenza.

15 6. Metodo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 5, in cui detto ordinamento casuale dei campioni del segnale di sincronizzazione (PSS) comprende una permutazione di tipo random degli stessi.

20 7. Metodo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 6, in cui detto ordinamento casuale dei campioni del segnale di sincronizzazione (PSS) comprende una permutazione di tipo pseudo-random degli stessi.

25 8. Metodo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 7, in cui detto ordinamento casuale dei campioni del segnale di sincronizzazione (PSS) comprende un sottocampionamento casuale.

9. Metodo secondo la rivendicazione 8, in cui detto sotto-campionamento casuale è di tipo aperiodico.

5 **10.** Metodo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 9, in cui detto ordinamento casuale dei campioni del segnale di riferimento (PSSR) è realizzato con il medesimo algoritmo adottato per il segnale di sincronizzazione (PSS).

11. Metodo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 10, in cui detto numero (WB) di
10 blocchi di sincronizzazione (BS_w) è pari a due.

12. Metodo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 11, in cui detto numero (WB) di blocchi di sincronizzazione (BS_w) è selezionato in maniera casuale.

15 **13.** Metodo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 12, in cui la lunghezza di ciascuno dei blocchi di sincronizzazione (BS_w) è determinata in maniera casuale.

14. Metodo secondo la rivendicazione 11, in cui detto segnale di sincronizzazione randomizzato (PRND) è composto da 62 campioni e la lunghezza di ciascuno dei due
20 blocchi di sincronizzazione (BS_w) è pari a 31 campioni.

15. Programma per elaboratore atto ad implementare un metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 14 quando eseguito su un elaboratore.

25 **16.** Apparato terminale per telecomunicazioni, caratterizzato dal fatto di comprendere mezzi per eseguire un programma secondo la rivendicazione 15.

CLAIMS

1. A computer implemented method for calculating a test variable ($Z_k(\tau)$) inside a code acquisition and synchronization procedure of a terminal in a digital telecommunication network, through the processing of a synchronization signal (PSS) transmitted from a base station of said network and received from a terminal and a reference signal (PSSR) locally generated on said terminal, the method comprising the following steps:

- performing a random sorting of samples of the received synchronization signal (PSS), obtaining a randomized synchronization signal (PRND);
- 10 - splitting the randomized synchronization signal (PRND) into at least two synchronization blocks (BS_w);
- performing a random sorting of samples of the generated synchronization signal (PSSR), obtaining a randomized reference signal (SRND);
- splitting the randomized reference signal (SRND) into reference blocks (BR_w),
15 equal in number and length to said synchronization blocks (BS_w);
- for each synchronization block (BS_w), calculating a cross-correlation (R_w) with a respective reference block (BR_w);
- calculating said test variable ($Z_k(\tau)$), as a function of said calculated cross-correlations (R_w).

20

2. The method according to claim 1, wherein said random sorting, splitting into blocks and calculating steps are performed in the time domain.

3. The method according to claim 2, wherein said test variable ($Z_k(\tau)$) is calculated,
25 for each synchronization and/or reference block (BS_w , BR_w), according to the following relationship:

$$Z_k(\tau) = \frac{1}{W} \sum_{w=1}^W |R_w(\tau)|^2,$$

where W is the predefined number of realizations on which the results obtained are to be averaged.

5 **4.** The method according to claim 1, wherein said random sorting, splitting into blocks and calculating steps are performed in the frequency domain.

5. The method according to claim 1, wherein said random sorting, splitting into blocks and calculating steps are performed in an orthonormal transform domain,
10 univocally determinable from the time domain or the frequency domain.

6. The method according to one of the claims 1 to 5, wherein said random sorting of the samples of the synchronization signal (PSS) comprises a random-type permutation thereof.
15

7. The method according to one of the claims 1 to 6, wherein said random sorting of the samples of the synchronization signal (PSS) comprises a pseudorandom-type permutation thereof.

20 **8.** The method according to one of the claims 1 to 7, wherein said random sorting of the samples of the synchronization signal (PSS) comprises a random subsampling.

9. The method according to claim 8, wherein said random subsampling is of non-periodic type.
25

10. The method according to one of the claims 1 to 9, wherein said random sorting of the samples of the reference signal (PSSR) is performed with the same algorithm adopted for the synchronization signal (PSS).

5 **11.** The method according to one of the claims 1 to 10, wherein said number (WB) of synchronization blocks (BS_w) is equal to two.

12. The method according to one of the claims 1 to 11, wherein said number (WB) of synchronization blocks (BS_w) is selected in a random manner.

10

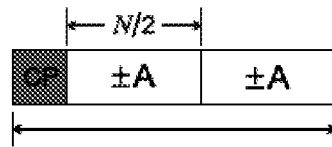
13. The method according to one of the claims 1 to 12, wherein the length of each of the synchronization blocks (BS_w) is determined in a random manner.

14. The method according to claim 11, wherein said randomized synchronization
15 signal (PRND) is comprised of 62 samples and the length of each of the two synchronization blocks (BS_w) is equal to 31 samples.

15. A computer program, apt to implement a method according to any one of the claims 1 to 14 when executed on a computer.

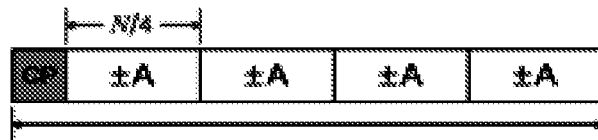
20

16. A telecommunication terminal apparatus, characterized in that it comprises means for executing a program according to claim 15.



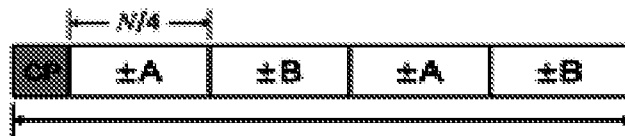
Un simbolo di sincronizzazione

FIG. 1a



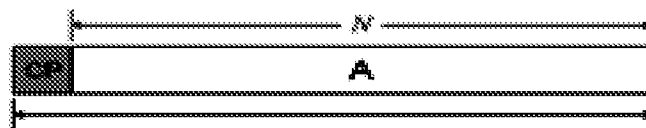
Un simbolo di sincronizzazione

FIG. 1b



Un simbolo di sincronizzazione

FIG. 1c



Un simbolo di sincronizzazione

FIG. 1d

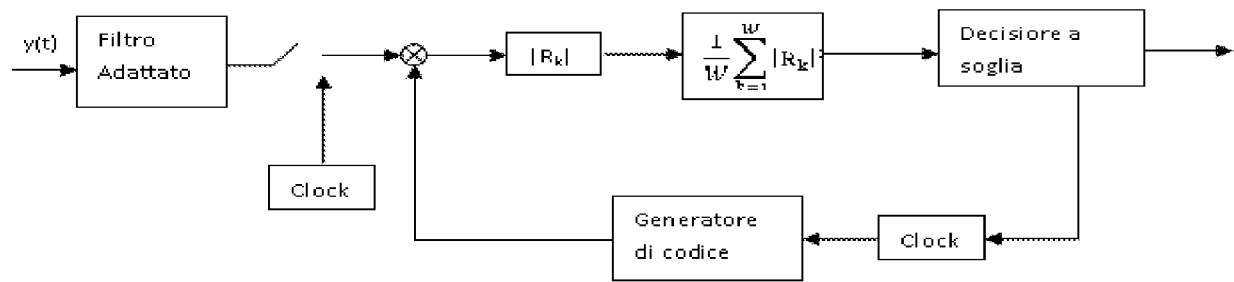


FIG. 2

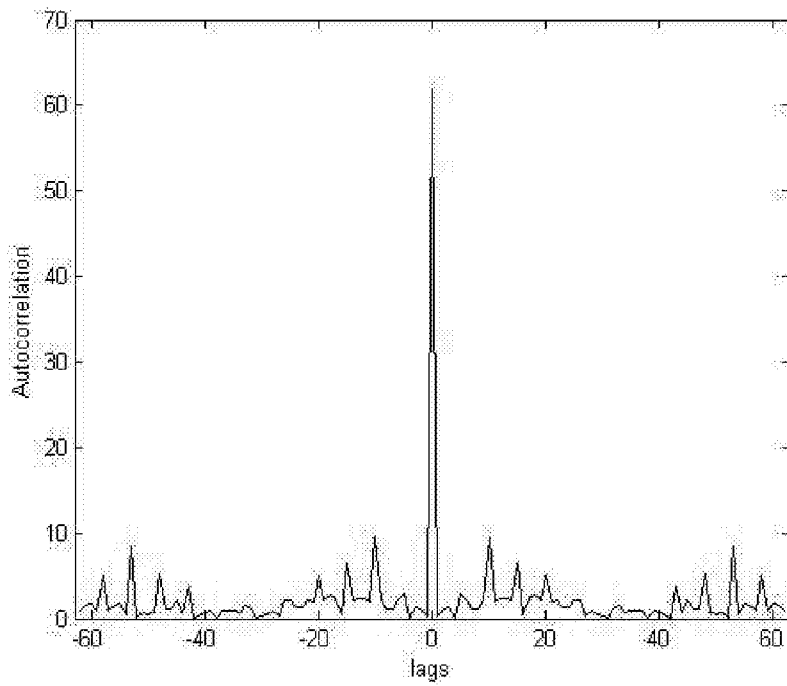


FIG. 3

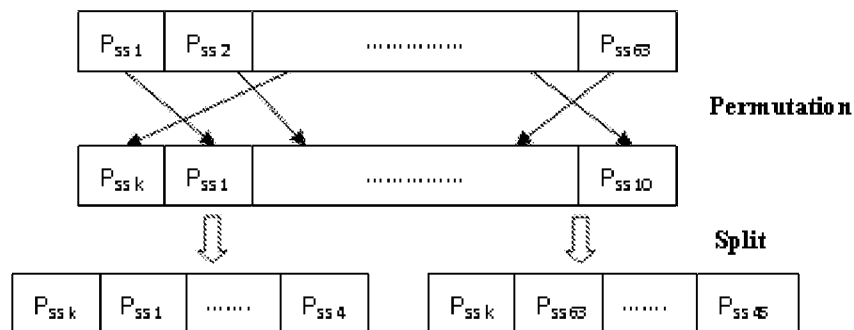


FIG. 4

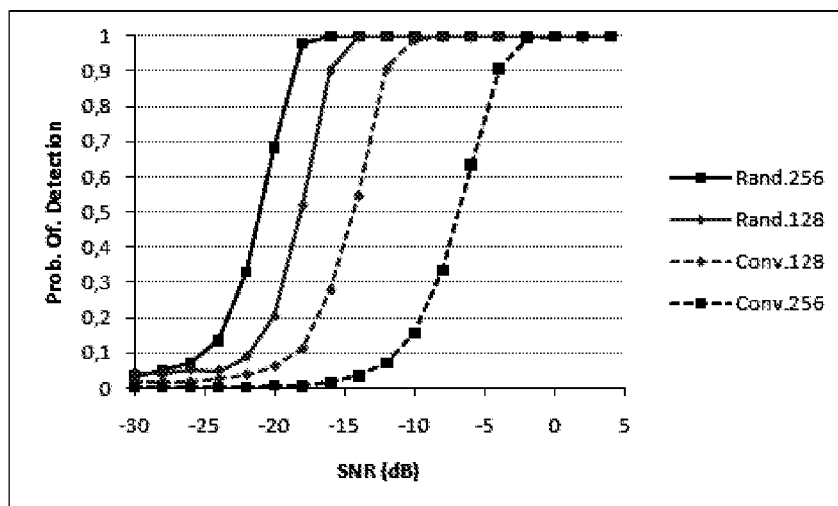


FIG. 5a

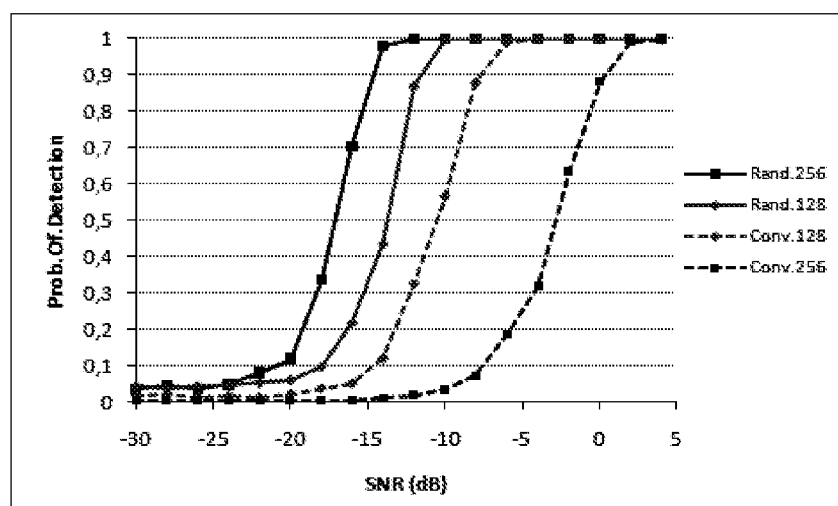


FIG. 5b

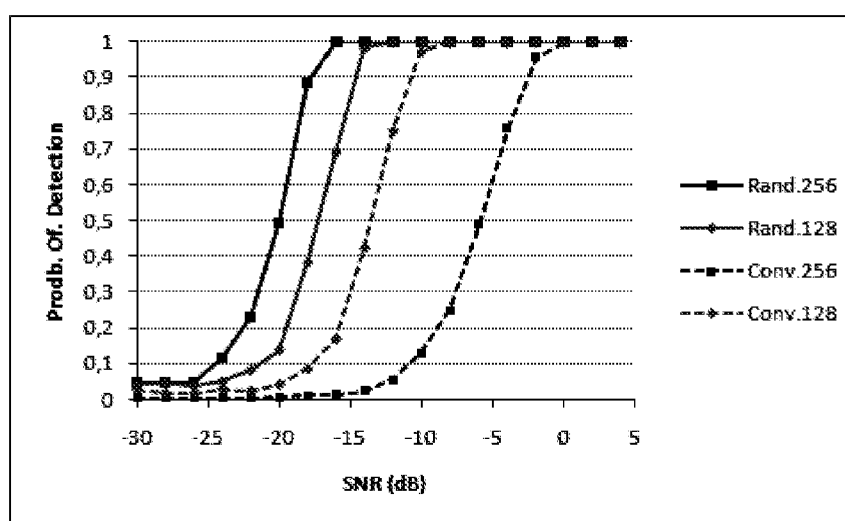


FIG. 5c