

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102011901923094A1

Publication Date

20120907

Applicant

SISVEL TECHNOLOGY S.R.L.

Title

SISTEMA E PROCEDIMENTO DI TRASMISSIONE MULTI-ANTENNA E
RELATIVO TERMINALE MOBILE

trasmissione e di capacità delle reti.

La standardizzazione procede quindi a ritmi che erano inusuali per il settore delle telecomunicazioni fino allo scorso decennio, ma ora lo stimolo determinato dalla continua necessità di banda, richiesta dalle varie nuove applicazioni dati, spinge ad introdurre tecnologie sempre nuove e con prestazioni sempre maggiori.

La crescente necessità di banda si scontra però con la limitatezza della risorsa radio. Infatti, le frequenze radio adibite ai servizi di telecomunicazioni mobili sono limitate e, in genere, sono assegnate rigidamente ad alcuni operatori che non possono occupare frequenze per le quali non hanno licenza. Di conseguenza non è in genere possibile aumentare l'occupazione di frequenze per far fronte ai continui aumenti di traffico.

Le soluzioni tecniche per aumentare la capacità delle reti, data una banda disponibile di radiofrequenze, si possono classificare in due categorie principali:

- le tecniche che consentono il maggior riuso delle frequenze realizzate, tipicamente, incrementando il numero di celle (che quindi sono sempre più piccole, tanto che si parla in gergo di coperture pico-cellulari);
- le tecniche che adottano metodi di trasmissione e di modulazione sempre più efficienti, che consentano di trasmettere una quantità sempre maggiore di dati sulla

banda di radiofrequenze di volta in volta disponibile.

Sia l'aumento del numero di celle, sia l'efficienza di trasmissione sono comunque caratterizzate dall'avere limiti fisici ed economici.

I limiti delle coperture pico-cellulari sono dovuti alle interferenze intercella che aumentano all'avvicinarsi delle celle; inoltre, l'aumento del numero di stazioni radio base fa esplodere i costi trasmissivi dovuti alla necessità di realizzare i collegamenti tra le stazioni radio base e i punti di accesso alla rete di trasposto. In teoria, quanto più una rete cellulare si avvale di un numero elevato di celle, tanto più deve dotarsi di una infrastruttura trasmissiva di distribuzione per collegare le stazioni radio base e tanto più tende a somigliare ad una rete di trasmissione di tipo fissa.

Anche i costi di gestione della rete aumentano in funzione dell'aumento delle stazioni radio base.

I limiti economici sono comunque legati a considerazioni di convenienza e dunque non costituiscono un limite teorico assoluto.

Diverso è il caso dei limiti tecnici, che invece caratterizzano in modo assoluto ogni determinata tecnologia.

I limiti dell'efficienza di trasmissione a cui si può ambire sono dati dal fatto che quanto più le modulazioni

sono spinte, tanto più il rapporto Segnale-Disturbo (in gergo: SNR - Signal to Noise Ratio) peggiora, sino a diventare insostenibile per il funzionamento del sistema.

Ecco perché si assiste ad una intensa ricerca volta a ottimizzare le tecnologie di trasmissione allo scopo di sfruttare al massimo la banda radio disponibile.

Al fine quindi di offrire una risposta ai problemi sopra esposti sono state sviluppate nel tempo le tecniche MIMO e le tecniche basate sull'impiego di "Antenne Vettoriali" (dette anche "Smart Antennas" o "sistema multi-antenna" o "multi-radiatore").

In particolare, le tecniche MIMO esprimono un concetto proposto per la prima volta da Arogyaswami Paulraj e Thomas Kailath nel 1994: si tratta di tecniche di trasmissione/ricezione basate sull'impiego di trasmettitori e ricevitori multi-antenna. In una sua realizzazione tipica, la trasmissione MIMO prevede di generare "N" segnali sulla stessa portante, separati però "spazialmente". La separazione spaziale consiste nell'irradiare i segnali da più antenne poste in posizioni opportunamente diverse e captandoli in ricezione con un sistema di ricezione costituito da più antenne anch'esse spazialmente separate, nell'ipotesi che i vari cammini di propagazione fra le antenne trasmettenti e le antenne riceventi abbiano funzioni di trasferimento diverse a causa

dei cammini multipli di propagazione.

Il fatto che un segnale originato da un'antenna trasmittente si propaghi fino ad un'antenna ricevente attraverso un certo numero di cammini multipli di propagazione è generalmente noto con il nome di "multipath".

Questa condizione di propagazione "multipath", è quella che si riscontra normalmente nelle coperture cellulari in ambienti urbani. Per effetto del "multipath", il segnale che giunge in un punto dove è posta un'antenna ricevente risulta essere la somma di un certo numero di segnali, uno per ogni diverso cammino che il segnale originato può percorrere per arrivare al punto di ricezione detto. Tali distinti segnali differiscono essenzialmente per la diversa fase con cui la portante si presenta al punto di ricezione, ciò si spiega in quanto diversa è la lunghezza di ogni cammino di propagazione.

E' chiaro quindi che possono verificarsi casi in cui le portanti sono sfasate in modo da sommarsi in modo costruttivo, e casi in cui le portanti si combinano in modo distruttivo. Tali differenze nel modo di combinarsi delle portanti dipendono dal punto esatto in cui avviene la ricezione, e gli effetti possono essere molto diversi (anche opposti) a distanze confrontabili con la lunghezza d'onda delle portanti, ossia, nel caso delle attuali reti

radiomobili, a distanze dell'ordine dei centimetri.

Il fenomeno appena esposto, per cui uno stesso segnale può apparire intenso in un punto e molto debole in un altro punto molto vicino, è noto con il nome di "multipath fading" o "fading veloce".

Ritornando all'applicazione delle tecniche MIMO, si osserva quindi che segnali diversi originati da punti diversi sono caratterizzati da diversi "multipath" e di conseguenza da diversi "multipath fading".

Un modo tipico per gestire il "multipath fading" consiste nel dotare il ricevitore di almeno due antenne poste a distanza pari a circa un quarto della lunghezza d'onda della portante, in modo tale che laddove il segnale da ricevere sia minimo nel punto di ricezione in cui è posizionata un'antenna, non sarà minimo contemporaneamente anche nel punto di ricezione occupato dall'altra antenna.

Nel caso di una trasmissione MIMO, i diversi segnali trasmessi sulla stessa portante interferiscono ovviamente tra di loro, ma in ricezione sono distinguibili grazie alla diversità dei cammini di propagazione che hanno percorso.

Nel caso di trasmissioni MIMO i vari segnali trasmessi da punti diversi appaiono con diverse intensità (con diversi "fading") sui vari elementi riceventi dei ricevitori: infatti, nei sistemi di ricetrasmissione che applicano tecniche MIMO, non solo i trasmettitori, ma anche

i ricevitori, devono essere sistemi multi-antenna.

In un sistema MIMO si sfrutta dunque il "multipath fading" per distinguere segnali diversi trasmessi su una stessa portante ma da punti distinti.

Nel caso di una trasmissione MIMO, in ricezione si può estrarre da ciascun elemento del sistema d'antenna ricevente un segnale che è dato da una somma di tutti i segnali trasmessi, ciascuno trasformato secondo una diversa funzione di trasferimento. Per ricostruire i segnali originali trasmessi, è pertanto necessario risolvere un sistema costituito da tante equazioni quante sono gli elementi riceventi nel sistema d'antenna in ricezione.

E' chiaro che in un ambiente di propagazione non caratterizzato da un sufficiente e significativo "multipath", le varie funzioni di trasferimento sarebbero tutte molto simili, praticamente uguali, e quindi il sistema non sarebbe risolvibile.

Da un punto di vista fisico si può dire che quanto più le funzioni di trasferimento sono simili, e tanto più i vari segnali si disturbano a vicenda, costituendo ciascuno rumore per gli altri, e contribuendo renderli irriconoscibili.

Per facilitare la soluzione del sistema sopra menzionato, e quindi potere distinguere i vari segnali trasmessi sulla stessa portante, le tecniche MIMO si

avvalgono anche di un ulteriore accorgimento detto "precoding". Il "precoding" prevede che ognuno dei singoli segnali sia trasmesso, non solo da un'antenna diversa, ma anche con uno sfasamento ed un'ampiezza regolati. L'obiettivo del "precoding" è quello di rendere il più possibile semplice il sistema di equazioni che deve essere risolto in ricezione: il caso limite e ottimale è quello di determinare una situazione di propagazione tale che il sistema da risolvere in ricezione sia caratterizzato da una matrice quasi diagonale, il che corrisponderebbe ad un caso in cui ogni antenna ricevente riceva in modo significativo un segnale diverso e solamente uno, e gli altri siano ricevuti da ciascuna antenna in modo molto attenuato.

In applicazioni più sofisticate, le tecniche MIMO si avvalgono di un ulteriore accorgimento che prevede che ognuno dei singoli segnali sia trasmesso da più di un radiatore e che le varie componenti (ossia le repliche dello stesso segnale irradiate da radiatori diversi) abbiano anch'esse fase ed ampiezza diverse e regolabili.

Da un punto di vista fisico, e come sarà meglio chiarito nel seguito, il fatto che ogni singolo segnale trasmesso sia irradiato da vari radiatori corrisponde ad introdurre un effetto di direttività nelle trasmissioni dei singoli segnali.

Si noti però come i parametri con cui effettuare il

"precoding" devono essere aggiornati in modo continuo, in quanto le condizioni di "multipath fading" variano in modo molto veloce: basta infatti che il ricevitore (che, si ricorda, è in genere un terminale radiomobile) si sposti di pochi centimetri ed il sistema varia in modo sostanziale.

Il "precoding" si deve pertanto basare su algoritmi molto sofisticati per l'aggiornamento dei parametri di "precoding", e tali algoritmi si devono avvalere in modo continuo di informazioni di feedback comunicate dal ricevitore al trasmettitore.

L'efficienza del "precoding" è molto importante per determinare le prestazioni del sistema: in genere, gli algoritmi possono essere anche molto onerosi dal punto di vista computazionale e per questi motivi, attualmente, vi è una notevole e molto vivace attività di ricerca volta all'ottimizzazione di tale aspetto delle tecniche MIMO.

In definitiva, un sistema MIMO deve la sua efficienza al semplice fatto che su una stessa portante è possibile trasmettere più flussi informativi, a spese della generazione di una notevole quantità di disturbi che comunque è possibile gestire sfruttando gli effetti del "multipath fading" e le suddette tecniche di "precoding".

E' chiaro come il "multipath fading" sia indispensabile al buon funzionamento di MIMO, di conseguenza tale tecnologia si applica a situazioni di

propagazione in cui i percorsi multipli siano abbastanza omogenei, e non sia prevalente una componente "diretta" dei segnali, quindi in situazioni di copertura complesse. In generale, vista l'attenuazione che il segnale subisce a causa delle riflessioni multiple, è preferibile che la sorgente trasmissiva emetta a potenze il più possibile elevate, di conseguenza è meno problematico realizzare trasmissioni MIMO in Down-Link, dove il trasmettitore può essere alimentato da rete, piuttosto che in Up-Link, dove la risorsa energetica è limitata dalla capacità della batteria della stazione mobile, denominata nel seguito anche terminale (radio)mobile o semplicemente terminale.

In sintesi, si può dire che le tecniche MIMO rappresentano una risposta promettente al problema di un più efficiente sfruttamento della banda radio, e che gli algoritmi con cui vengono aggiornati i parametri di "precoding" costituiscono un passaggio chiave per fare in modo che le prestazioni delle tecniche MIMO applicate ai sistemi radiomobili abbiano la migliore efficienza possibile.

Un'ulteriore tecnologia nota su cui si basa la presente invenzione è costituita dalle "Antenne Vettoriali", più comunemente note con le denominazioni anglofone "Smart Antennas" o "Array Antennas".

Le cosiddette "Antenne Vettoriali" sono anch'esse

antenne composte di una pluralità di elementi radianti (radiatori) così come le antenne impiegate per le trasmissioni MIMO.

Alimentando opportunamente i diversi radiatori si possono realizzare trasmissioni direttive il cui puntamento è regolabile elettronicamente, senza necessità di movimenti fisici del sistema d'antenna.

Le "Antenne Vettoriali" sono utilizzabili anche in ricezione, e con procedimenti analoghi a quelli usati in trasmissione (cioè sfasando i segnali captati da ciascun elemento) è possibile aumentare il guadagno del sistema complessivo in determinate direzioni di ricezione. Tuttavia nel contesto di questa invenzione ci si concentra sulla copertura Down-Link e pertanto sui sistemi trasmittenti.

Nel caso di trasmissione con una "Antenna Vettoriale", ogni singolo elemento irradia lo stesso segnale trasmesso dagli altri elementi d'antenna, ma con una sfasatura della portante opportunamente regolata. A causa del diverso punto di origine delle varie trasmissioni, queste componenti si ricombinano con una sfasatura che è diversa a seconda della direzione di propagazione: ciò avviene perché alla sfasatura imposta in origine si aggiunge la sfasatura data dalla geometria del sistema trasmittente che varia in funzione della direzione di trasmissione. E' quindi possibile regolare tutta la trasmissione in modo tale che

vi siano direzioni di trasmissione in cui l'interferenza sia massimamente costruttiva, ed altre direzioni di trasmissione in cui l'interferenza sia massimamente distruttiva. Il sistema, considerato nel suo insieme, realizza un'antenna direttiva regolabile che, entro certi angoli, non richiede spostamenti meccanici, ma solo regolazioni (realizzabili via software) degli sfasamenti iniziali.

L'effetto di formazione di un lobo di trasmissione in una particolare direzione è noto con il termine "beamforming".

Va notato come la capacità direttiva di tali sistemi d'antenna sia strettamente legata al numero di elementi d'antenna, essendo più direttive le antenne costituite da un elevato numero di elementi (e quindi le antenne più direttive risulteranno più grandi).

Da quanto appena detto appare evidente un'analogia tra il "precoding" ed il "beamforming": in entrambi i casi, infatti, si verifica la trasmissione di un segnale da più punti distinti, in cui ad ogni componente può essere applicata una fase diversa. Nonostante tale elemento di analogia fisica, le due procedure, il "beamforming" ed il "precoding", sono nella pratica due procedure diverse, e vengono considerate tecniche distinte perché mirano a scopi diversi.

La prima, il "beamforming", in genere viene realizzata con un numero consistente di radiatori per ottenere fasci di trasmissione relativamente stretti. Una buona direttività, come già detto, richiede un numero di elementi dell'ordine della decina o, più propriamente, delle decine. Inoltre, il calcolo delle sfasature può essere effettuato molto agevolmente in catena aperta, nota la geometria della "Antenna Vettoriale", in funzione delle direzioni di propagazione su cui si vuole ottenere la massima irradiazione.

L'efficacia in trasmissione di una "Antenna Vettoriale" non è condizionata dal fatto che in ricezione vi sia un'antenna costituita da più elementi.

La seconda, il "precoding", può essere realizzata anche con pochi radiatori, al limite solamente due antenne (ed è questo il caso attualmente più in uso).

Nel "precoding" il calcolo degli sfasamenti viene in genere effettuato in catena chiusa per ottimizzare la separazione di due o più segnali su un dispositivo ricevente multi-antenna che quindi deve fornire un feedback continuo (o molto frequente) al trasmettitore.

E' chiaro che le tecniche di "precoding" richiedono un numero di calcoli che aumenta rapidamente all'aumentare dell'ordine di antenna (ossia all'aumentare del numero di elementi che costituiscono l'antenna).

Le tecniche MIMO sono già impiegate in alcuni sistemi radiomobili, e nei sistemi in corso di standardizzazione è previsto che vengano impiegate in modo maggiore: tuttavia, a causa della complessità della tecnica, è prevedibile che l'applicazione sarà limitata a impieghi a ordine d'antenna ridotto: ossia si farà spesso ricorso a due o quattro elementi di trasmissione ed altrettanti elementi di ricezione.

Si noti che un ordine ridotto corrisponde ad un riuso ridotto della frequenza, e quindi si pone un limite all'efficienza del sistema complessivo.

La tecnologia delle "Antenne Vettoriali", pur essendo una tecnologia già matura in molte applicazioni, non è ancora impiegata nei sistemi di copertura cellulare. La principale causa di questo mancato impiego è che la posizione della stazione mobile all'interno della cella non era determinabile con una precisione utile allo scopo e nemmeno erano disponibili standard tecnologici che permettessero l'utilizzo di una eventuale informazione sufficientemente precisa sulla localizzazione del terminale, inoltre i percorsi radio coinvolti nelle trasmissioni su reti a copertura cellulare sono normalmente percorsi riflessi e quindi non è quasi mai vero che per trasmettere verso un terminale sia conveniente trasmettere nella direzione della congiungente trasmettitore-

ricevitore.

Questi ed altri problemi di varia natura hanno fatto sì che fino ad oggi non si sia trovato un metodo fattibile per determinare la direzione di puntamento delle antenne nelle reti radiomobili e, di fatto, hanno impedito l'applicazione delle "Antenne Vettoriali" per la realizzazione di coperture cellulari.

Il tentativo di combinare le tecniche MIMO con il "beamforming" tipico delle "Antenne Vettoriali" costituisce, allo stato dell'arte, un argomento su cui l'industria del settore è fortemente impegnata, ma al momento le soluzioni adottate non sono sufficientemente efficienti e di agevole implementazione.

Infatti, come già detto, se i parametri necessari per determinare il "beamforming" (ossia gli sfasamenti da applicare alle componenti di uno stesso segnale che viene trasmesso da più elementi radianti allo scopo di trasmetterlo in modo direttivo) vengono calcolati in catena chiusa avvalendosi di feedback continui da parte del terminale, la complessità di calcolo è tale che è necessario limitare l'ordine dell'antenna (ossia il numero di elementi radianti) limitando così anche il potenziale riutilizzo delle frequenze e la direttività di trasmissione.

Se invece si percorresse la strada di determinare il "beamforming" attraverso il calcolo in catena aperta dei

necessari parametri di sfasamento, si incorrerebbe nel problema di dover scegliere correttamente la direzione di puntamento ottima in un ambiente di propagazione complesso e caratterizzato da molte riflessioni.

Quest'ultimo problema può essere affrontato attraverso una sorta di feedback implicito da parte del terminale, intendendo con "feedback implicito" il fatto che il terminale non trasmette esplicitamente un segnale indicativo di come sta ricevendo, ma tale informazione viene comunque ricavata. E' infatti possibile che nel punto di trasmissione vi sia anche un ricevitore direttivo capace di "ascoltare" i segnali provenienti dal terminale mobile che quindi, oltre che essere un ricevitore, deve anche trasmettere verso tale stazione radio base, e di determinare la direzione di propagazione ottima scegliendo quella in cui è massima l'intensità con cui riceve.

Questa modalità è stata messa a punto recentemente a livello sperimentale ed è stata esposta, ad esempio, in "A Proposal of DPC Beamforming for Open Loop Multiuser MIMO Transmissions" - Tomoko Matsumoto, Noriaki Miyazaki and Satoshi Konishi - KDDI R&D Laboratories, Inc. - IEEE ICC 2010 proceedings.

Pur essendo ancora abbastanza complesso l'insieme di elaborazioni necessarie ad implementare la tecnica ivi proposta, i vantaggi che si possono ottenere sono

sostanziali: è possibile implementare antenne di ordine superiore, e si raggiungono efficienze di sfruttamento dello spettro molto interessanti.

Tuttavia, tale tecnica presenta un limite strutturale: essa richiede infatti che i canali di propagazione siano simmetrici, in quanto la direzione di trasmissione è determinata sulla base della qualità della ricezione nella medesima direzione.

Tale assunzione non è in generale vera: è infatti possibile (e vantaggioso) che le coperture di alcune reti di prossima generazione siano caratterizzate dall'impiego di stazioni radio distinte e posizionate in punti diversi per supportare la trasmissione radio Up-Link (UL = da terminale a stazione radio base) e la trasmissione Down-Link (DL = da stazione radio base a terminale).

Scopo quindi della presente invenzione è quello di risolvere i suddetti problemi della tecnica anteriore fornendo un sistema ed un procedimento di trasmissione multi-antenna, in particolare impiegati per realizzare la copertura cellulare di Down-Link in una rete per comunicazioni mobili, che consentano di applicare contemporaneamente le tecniche MIMO e la trasmissione direttiva tipica di una "Antenna Vettoriale" anche composta da molti elementi (quindi molto direttiva).

Un altro scopo della presente invenzione è quello di

fornire un sistema ed un procedimento di trasmissione multi-antenna, in particolare impiegati per realizzare la copertura cellulare di Down-Link in una rete per comunicazioni mobili, nei quali il calcolo e l'ottimizzazione dei parametri della "matrice di precoding" (ossia l'insieme dei parametri che devono essere costantemente aggiornati per consentire l'efficiente trasmissione dei segnali) è notevolmente semplificato rispetto ai metodi noti, anche nel caso di ordini di MIMO considerevoli.

Inoltre, uno scopo della presente invenzione è quello di fornire un sistema ed un procedimento di trasmissione multi-antenna, in particolare impiegati per realizzare la copertura cellulare di Down-Link in una rete per comunicazioni mobili, che consentano una significativa riduzione del rapporto Segnale-Disturbo (SNR).

Un altro scopo della presente invenzione è quello di fornire un sistema ed un procedimento di trasmissione multi-antenna, in particolare impiegati per realizzare la copertura cellulare di Down-Link in una rete per comunicazioni mobili, che consentano di superare il vincolo che la copertura sia simmetrica semplificando ulteriormente le elaborazioni necessarie per determinare il "beamforming".

I suddetti ed altri scopi e vantaggi dell'invenzione,

quali risulteranno dal seguito della descrizione, vengono raggiunti con un sistema di trasmissione multi-antenna come quello descritto nella rivendicazione 1.

Inoltre, i suddetti ed altri scopi e vantaggi dell'invenzione vengono raggiunti con un procedimento di trasmissione multi-antenna come quello descritto nella rivendicazione 3.

Inoltre, i suddetti ed altri scopi e vantaggi dell'invenzione vengono raggiunti con un terminale mobile come quello descritto nella rivendicazione 12.

Forme di realizzazione preferite e varianti non banali della presente invenzione formano l'oggetto delle rivendicazioni dipendenti.

Risulterà immediatamente ovvio che si potranno apportare a quanto descritto innumerevoli varianti e modifiche (per esempio relative a forma, dimensioni, disposizioni e parti con funzionalità equivalenti) senza discostarsi dall'ambito di protezione dell'invenzione come appare dalle rivendicazioni allegate.

La presente invenzione verrà meglio descritta da alcune forme preferite di realizzazione, fornite a titolo esemplificativo e non limitativo.

In generale, il sistema ed il procedimento di trasmissione multi-antenna secondo la presente invenzione riguarda le comunicazioni mobili e, in particolare, si

riferiscono ad un sistema di trasmissione da impiegare per realizzare la cosiddetta copertura "Down-Link" (da stazione di rete a stazione mobile d'utente), ovvero la copertura radio per effettuare le comunicazioni da rete a terminali mobili. In particolare, così come si vedrà nel prosieguo con maggiore dettaglio, nel sistema e nel procedimento di trasmissione multi-antenna secondo la presente invenzione è prevista una particolare modalità di utilizzo della tecnologia delle "Antenne Vettoriali" (che, come già detto, costituisce una particolare tecnica per realizzare antenne direttive) integrata con tecnologia MIMO (Multiple Input Multiple Output).

Il sistema ed il procedimento secondo la presente invenzione si basano sulla disponibilità, che è prevista nelle reti future, dell'informazione sulla posizione degli apparati coinvolti nelle reti radiomobili, ed in particolare dei dispositivi ricevitori costituiti dai terminali mobili. Ad esempio, lo standard LTE/LCS (Long Term Evolution / LoCalization Services) stabilisce che sui canali di controllo del sistema venga costantemente comunicata alla rete la posizione del terminale. Questa può essere per esempio comunicata dal terminale mobile alla rete mediante propri mezzi di rilevamento (Localizzatore GNSS, sistemi di tri- o multilaterazione, eccetera) o rilevata dalla rete mediante qualsiasi metodo, usualmente

in cooperazione con il terminale mobile (per esempio tri- o multilaterazione con diverse stazioni radio base).

In futuro si potrebbe per esempio obbligare il terminale mobile a comunicare la propria posizione a determinati intervalli temporali (ai fini di eventuali aggiornamenti del data-base), o in corrispondenza di un cambio di cella, o in generale ogni qual volta ciò sia ritenuto utile dalla rete radiomobile. In via addizionale o alternativa la trasmissione della posizione potrebbe avvenire su esplicita richiesta della stazione radio base per esempio su un canale radio di segnalazione, vuoi su un messaggio di richiesta apposito, vuoi in occasione di una trasmissione di messaggi di segnalazione o di pacchetti dati diretti al sistema di trasmissione, per esempio la prima volta che entra in contatto radio con essa.

Il caso LTE è citato come esempio emblematico, in quanto lo standard LTE dovrebbe costituire lo standard maggiormente diffuso per realizzare le reti radiomobili del futuro, tuttavia, è prevedibile che l'informazione sulla localizzazione, per la grande importanza che può avere in relazione allo sviluppo di un gran numero di servizi, sarà presente in tutti i sistemi per comunicazioni mobili del futuro e, con l'evolvere della tecnologia, tale informazione sarà disponibile in modo sempre più diffuso (probabilmente all'inizio solamente in ambienti a copertura

GPS o Galileo o altri sistemi di posizionamento satellitari, ma via via anche in un numero crescente di ambienti indoor) e sarà sempre più precisa.

Nota la posizione dei terminali radiomobili, è possibile, per la stazione radio base dotata di un'antenna di tipo "vettoriale", indirizzare il fascio trasmissivo nella direzione più idonea affinché il ricevitore del terminale radiomobile che si trova in tale posizione riceva al meglio la trasmissione ad esso diretta.

Nel caso di ambiente aperto tra stazione e terminale mobile, tale direzione è quella determinata dalla congiungente stazione-terminale mentre, nel caso di ambienti di propagazione complessi, il sistema secondo la presente invenzione prevede la conoscenza a priori, per ciascun "luogo" in cui si trova il terminale mobile, della direzione di propagazione ottimale.

Il sistema secondo la presente invenzione comprende quindi vantaggiosamente almeno un data-base associato ad almeno una cella di copertura della rete per comunicazioni mobili contenente le direzioni di propagazione da associare a ciascun "luogo" o posizione che possa essere occupata dai ricevitori dei terminali radiomobili che possono venirsi a trovare in quella posizione della cella. Tale invenzione può comunque essere applicata anche limitatamente ad una o più aree di una o più celle radiomobili in cui l'impiego

della presente invenzione consentisse di risolvere problemi tecnici altrimenti non risolvibili in modo ritenuto conveniente con tecniche note o risultasse comunque vantaggiosa rispetto ad esse.

Ovviamente le posizioni in cui un terminale mobile può essere localizzato sono definibili con la precisione data dalla localizzazione che, a titolo di esempio, può essere dell'ordine dei pochi metri. Si osserva comunque che non tutte le posizioni devono necessariamente essere definite con la medesima precisione, infatti possono esistere "luoghi" abbastanza grandi raggiunti da un medesimo fascio. Ad esempio, un terminale mobile che si trovasse all'interno di una stanza, anche piuttosto grande ma con una sola finestra, sarà raggiunto bene da un fascio trasmissivo diretto verso la finestra di tale ipotetica stanza, ciò indipendentemente dal punto preciso in cui il terminale si trovi all'interno di tale stanza.

Inoltre, così come si vedrà in seguito con maggior dettaglio, il procedimento di trasmissione multi-antenna per la copertura radio Down-Link (da stazione radio base a terminale) secondo la presente invenzione in una rete per comunicazioni mobili mediante un sistema di trasmissione come quello precedentemente descritto comprende le fasi di:

- a) rilevare la posizione del terminale mobile;
- b) memorizzare tale posizione nel data-base;

c) determinare almeno una direzione di trasmissione di almeno un fascio trasmissivo da almeno una di tali antenne trasmittenti multi-radiatore in funzione della posizione memorizzata nel data-base, preferibilmente mediante una tecnica di trasmissione di tipo MIMO.

La costruzione di tale data-base può essere effettuata in fase di installazione di una rete, oppure può essere costruito mediante opportuni algoritmi di apprendimento da attivare durante l'operatività del sistema. In tale seconda ipotesi, il data-base è inizialmente vuoto, o parzialmente vuoto (ossia sussistono posizioni a cui non sono associate le relative direzioni di propagazione ed eventualmente i relativi parametri trasmissivi), e quindi la determinazione della direzione ottima deve essere effettuata con procedure più onerose, che però verrebbero attivate una volta sola per ogni "luogo" o aree aventi la stessa direzione di puntamento ottimale. E' quindi tollerabile una maggiore inefficienza in tale fase, e quindi una significativa lentezza nell'allocazione delle risorse radio necessarie all'instaurazione della connessione.

L'impiego di suddetti algoritmi di apprendimento può basarsi su molte tecniche e possono essere ottimizzati, velocizzati e resi più efficienti. In ogni caso, la praticabilità tecnica di tali algoritmi è certamente garantita applicando modalità molto semplici come ad

esempio il ricorso ad una trasmissione direttiva che scandisca un angolo vasto: in tale caso il terminale mobile potrebbe comunicare la qualità di ricezione associata ad ogni direzione, e l'algoritmo non dovrebbe far altro che scegliere la direzione migliore ed associarla alla posizione del terminale memorizzandola nel data-base.

Si osserva che il principio appena usato per descrivere un possibile algoritmo di apprendimento è stato citato per argomentare la fattibilità, ma sono possibili certamente molte migliorie che ne riducano la complessità ed il tempo necessario all'esecuzione. In ogni caso la complessità di tale algoritmo appena descritto (seppure sommariamente) è analoga a quella che viene accettata nella tecnica "Tomoko Matsumoto et al." precedentemente citata, e che però ha lo svantaggio di dover essere attuata in occasione di ogni connessione, e non solo in una fase iniziale per il popolamento di un data-base.

Algoritmi del tipo di quello sopra menzionato, non solo servono per popolare il data-base all'inizio, ma possono anche essere usati regolarmente per aggiornare i dati del data-base stesso. Infatti la direzione migliore di trasmissione può cambiare nel tempo in funzione di cambiamenti dell'ambiente di propagazione quale ad esempio, la costruzione di un nuovo edificio.

Anche i criteri con cui si procede all'aggiornamento

del data-base possono essere oggetto di migliorie e di ottimizzazioni. Il calcolo (o ricalcolo) della direzione di propagazione migliore associata ad una determinata posizione può avvenire in varie circostanze, ad esempio quando il dato non è presente (come avviene all'inizio oppure quando l'operatore decidesse di cancellare i dati in quanto la zona di copertura viene interessata da significativi cambiamenti in termini di caratteristiche di propagazione), oppure quando il terminale lo richiedesse perché il segnale non è ricevuto con qualità adeguata, oppure, di tanto in tanto, quando la rete è abbastanza scarica e quindi possono essere utilizzate delle frequenze allo scopo di aggiornare o affinare il dettaglio e/o la precisione del data-base, oppure sulla base di altri criteri determinabili a piacere dall'operatore.

Utilizzando quindi l'informazione sulla localizzazione del terminale è pertanto possibile combinare la tecnica MIMO e la tecnica delle "Smart Antennas" che consentono di effettuare trasmissioni direttive: il sistema secondo la presente invenzione comprende quindi opportuni mezzi di elaborazione cooperanti con le antenne trasmittenti ed il data-base per determinare la direzione di trasmissione di almeno un fascio trasmissivo in funzione della posizione, preferibilmente mediante una tecnica di trasmissione di tipo MIMO, tali mezzi di elaborazione essendo quindi atti

ad associare tale direzione di trasmissione alla posizione del terminale mobile in modo tale che la direzione di trasmissione risulti idonea, se non ottimale, a raggiungere il ricevitore terminale mobile stesso.

Si approfondisce ora la descrizione dell'invenzione fornendo un'ulteriore descrizione della stessa riferendosi ad un particolare caso in cui l'antenna radiante sia composta di "M" elementi radianti ed "N" sia il fattore di riuso a cui si vuole puntare.

In generale, se il sistema multi-antenna trasmittente è composto da "M" elementi radianti (antenne) e su una stessa portante si intende trasmettere un numero "N" di segnali, essendo ciascuno degli "N" segnali trasmesso "M" volte perché "M" sono le antenne disponibili, la trasmissione complessiva richiederà "N" x "M" parametri (complessi), associabili ciascuno alla fase (e all'ampiezza) con cui ogni singola componente di ogni singolo segnale verranno trasmessi da ciascun singolo elemento radiante.

Tenere costantemente aggiornata questa matrice di parametri di dimensione "N" x "M" (corrispondenti a fasi di segnali in trasmissione) è particolarmente oneroso al crescere di "N" ed "M", e la ricerca delle combinazioni ottime, che sono quelle che rendono più semplice la soluzione del sistema che deve essere risolto in ricezione,

può essere un problema abbastanza complesso se deve essere fatto in tempo reale.

Come già detto in precedenza, quindi, le tecniche di arte nota sono applicabili normalmente con ordini bassi, ossia con "N" ed "M" piccoli. La fattibilità tecnica di tali soluzioni costituirà quindi un limite alla dimensione della suddetta matrice "N" x "M".

Nel caso della presente invenzione, così come nel caso del documento di arte nota "Tomoko Matsumoto et al.", che però non è applicabile in generale e presenta comunque un certo livello di complessità, ci si concentra principalmente sul significato fisico degli "N" X "M" parametri della matrice sopra delineata (d'ora in poi matrice di "precoding") allo scopo di semplificare il calcolo di tale matrice di "precoding".

L'invenzione prevede appunto questa modalità di utilizzo della tecnologia delle "Antenne Vettoriali", integrata, nel caso di implementazione più interessante, con la tecnologia MIMO. Secondo l'insegnamento di questa invenzione, il calcolo e l'ottimizzazione dei parametri della matrice di "precoding" è facilitato dall'utilizzo di particolari informazioni di localizzazione. Tale semplificazione consiste nell'uso di un data-base in cui siano associate a ciascuna posizione occupata da un terminale mobile, le informazioni necessarie a configurare

una "Antenna Vettoriale" affinché possa trasmettere nella direzione più idonea a raggiungere il terminale mobile in questione.

In tal modo qualora la stazione radio base riceve la segnalazione che un certo terminale mobile si trova in una posizione già presente nel data-base, o in una posizione ritenuta sufficientemente vicina ad essa i mezzi di elaborazione utilizzano la direzione di puntamento ad essa associata per puntare le trasmissioni verso tale terminale mobile senza la necessità di fare alcun calcolo di parametri in catena chiusa, velocizzando enormemente i tempi di instaurazione della trasmissione, se tali parametri sono noti per una data direzione di puntamento. In alternativa, o in aggiunta, alle informazioni sulla direzione di trasmissione idonea possono essere stati memorizzati nel data-base direttamente uno o più parametri necessari per configurare il puntamento ottimale del sistema multi-antenna, diminuendo notevolmente ed ulteriormente i tempi intercorrenti tra la ricezione della segnalazione dal terminale e la trasmissione del conseguente segnale di risposta in quanto viene eliminata la necessità di effettuare tali calcoli o ne viene ridotta notevolmente la complessità.

Si osservi che gli "M" parametri che determinano le fasi di trasmissione delle componenti di ogni singolo

segnale sugli "M" elementi d'antenna, possono essere espressi come "M-1" valori di sfasamento relativo delle varie componenti tra di loro e quindi tali primi "M-1" parametri determinano (per quanto precedentemente spiegato) quale sia la direzione di massimo irradimento, ed un ulteriore M-esimo parametro che determina la fase della portante del segnale nella direzione di massimo irradimento.

Secondo tale modellizzazione, si può concludere che il valore medio di campo elettrico associato ad un determinato segnale in una zona relativamente grande (determinata dall'ampiezza di irraggiamento del fascio) è funzione di "M-1" parametri, mentre la fase della portante nella direzione di massimo irradimento è funzione di un solo parametro, e di conseguenza è un solo parametro quello che influenza il "fading veloce", ossia le disomogeneità di campo nell'ambito di distanze piccole e confrontabili con la lunghezza d'onda delle portanti.

Mentre non è necessario aggiornare con continuità i parametri che determinano la direzione di massimo irraggiamento, è invece necessario ottimizzare con continuità il parametro che determina la fase della portante nella direzione di massimo irradimento. Di conseguenza solamente quest'ultimo parametro necessita di essere aggiornato con i noti metodi di determinazione dei

parametri di "precoding" mediante calcoli in catena chiusa, e mediante le note tecniche MIMO basate sullo sfruttamento di sistemi multi antenna in ricezione vengono utilizzate per discriminare il segnale utile dai segnali interferenti che sono presenti nella zona di ricezione.

Questa modellizzazione chiarisce come la scelta migliore dei primi "M-1" parametri sia abbastanza stabile nel corso di una chiamata, in quanto non varia in funzione di piccoli spostamenti del terminale mobile, mentre solamente l'ottimizzazione dell'ultimo parametro richiede aggiornamenti più veloci e continui.

Non solo: i primi "M-1" parametri, essendo funzione della posizione del terminale mobile con l'approssimazione nell'ordine dei metri possono, in teoria, essere calcolati in catena aperta a partire dalla posizione del terminale (con l'approssimazione detta), mentre solo l'ultimo parametro dovrà essere aggiornato con un feedback frequente da parte del terminale come avviene nelle classiche trasmissioni che si avvalgono delle tecniche MIMO.

E' a questo punto chiaro come, dal punto di vista concettuale, sia necessario associare a ciascun sistema di trasmissione un data-base che, a sua volta, associ la posizione del ricevitore alla direzione di trasmissione che deve essere impostata, e come, nota la direzione di trasmissione, sia relativamente semplice il calcolo dei

parametri che devono essere impostati sulla "Antenna Vettoriale" per trasmettere in tale direzione. Da un punto di vista pratico, è quindi chiaro come anche tali calcoli, seppure semplici, possano essere evitati, memorizzando nel data-base direttamente i parametri di trasmissione che debbono essere impostati nella "Antenna Vettoriale" per trasmettere nella direzione voluta.

Con questo accorgimento, gran parte dei parametri della matrice di "precoding" ($M-1 \times N$) sono facilmente calcolabili in catena aperta oppure, se già pre-calcolati e disponibili nel suddetto data-base, non devono nemmeno essere più calcolati.

Si osserva che la ricerca su tale data-base, che sarà certamente molto grande, è un'operazione molto semplice in quanto la chiave di ricerca primaria, che viene utilizzata per il reperimento dei dati, è costituita dalla posizione del terminale mobile ed è quindi una chiave per sua natura ordinata ed ordinabile.

E' chiaro come le tecniche MIMO in genere si applichino in ambienti di propagazione complessa (tant'è che in assenza di propagazione di tipo "multipath" non possono funzionare); ed è altresì chiaro, comunque, che si ricorre a tali tecniche in ambienti caratterizzati da molto traffico: è pertanto realistico proporre l'applicazione di algoritmi di apprendimento in cui, all'inizio la direzione

di propagazione ottima per ogni data posizione viene determinata con stime più complesse (e conseguenti tempi di calcolo più lunghi), ma poi, rapidamente, ogni sito trasmittente si comporrà una propria mappa in cui ad ogni posizione approssimata corrisponderà una direzione di propagazione ottima predeterminata (perché appresa in precedenza).

Il sistema ed il procedimento di trasmissione secondo la presente invenzione trovano quindi la loro implementazione preferita nell'impiego di una infrastruttura di copertura cellulare in DL per reti radiomobili, in cui si utilizzi una "Antenna Vettoriale" per determinare un opportuno "beamforming" e la tecnica MIMO con "precoding" (in particolare la tecnica MU-MIMO), ed in cui gli algoritmi di determinazione della "matrice di precoding" ottima siano notevolmente semplificati, determinando " $M-1$ " x " N " parametri in catena aperta sfruttando le informazioni di localizzazione che potranno essere disponibili in virtù dell'applicazione di varie tecniche di localizzazione (anche evolutive), e aggiornando in modo continuativo solamente " N " parametri mediante l'effettuazione di calcoli continui inseriti in un processo retro-azionato tipico delle tecniche MIMO.

E' chiaro che l'applicazione pratica degli insegnamenti della presente invenzione è legata alla

capacità di determinare la posizione del terminale all'interno della cella di Down-Link.

Di conseguenza, tutte le tecniche di localizzazione di un terminale mobile, costituiscono ulteriore arte nota utile per l'invenzione: è chiaro che vi sia una significativa aspettativa riguardo ad un progressivo miglioramento di tali tecniche di localizzazione nel corso del tempo, e pertanto anche le prestazioni dell'invenzione potranno trarne un ulteriore beneficio.

Un modo immediato, e già citato in precedenza, è quello di demandare al terminale mobile stesso, opportunamente dotato di mezzi di rilevamento, la determinazione della propria posizione e di comunicarla alla rete, ed in particolare al data-base mediante opportuni mezzi di comunicazione, avvalendosi di opportune procedure, alcune delle quali sono già delineate a livello di standardizzazione. Il modo con cui il terminale mobile determina la propria posizione potrebbe basarsi, ad esempio, su una localizzazione tramite il sistema Galileo (quando questo sarà operativo, oppure tramite uno degli altri sistemi di navigazione satellitare quale, ad esempio, il sistema GPS) a cui associare alcuni ulteriori algoritmi per quando il terminale non è in vista dei satelliti (trovandosi in ambienti "deep indoor"), oppure sviluppando algoritmi basati su triangolazioni con la rete terrestre.

In aggiunta, è possibile prevedere che il procedimento secondo la presente invenzione può inoltre prevedere di attivare procedure di hand-over in modo tale da spostare un terminale mobile da un canale radio all'altro nel corso di una trasmissione. Infatti, considerato che, mediante la presente invenzione, possono essere note tutte le posizioni di tutti i terminali serviti da una cella e le relative direzioni di trasmissione da utilizzare per ciascun terminale mobile, allora risulta possibile organizzare le trasmissioni in modo da utilizzare la stessa portante nella comunicazione con terminali posti in posizioni raggiungibili trasmettendo in direzioni il più possibile divaricate. Per esempio, se una cella trasmette su due portanti e deve servire dieci terminali mobili, la rete provvederà ad organizzare le trasmissioni in modo che le direzioni di trasmissione siano alternate nelle due portanti: è chiaro che per mantenere questo genere di ottimizzazione, non solo si deve seguire il movimento dei terminali ma anche le attivazioni e disattivazioni di connessioni, per cui si rende necessario effettuare degli hand-over non solo quando tale terminale mobile si muove ma anche quando cambia il contesto delle altre connessioni attive.

Altre modalità con cui un terminale mobile può localizzarsi con la precisione sufficiente per una

conveniente applicazione degli insegnamenti della presente invenzione verranno certamente sviluppate nell'ambito della soluzione al problema (che è un problema a se stante) della localizzazione, ad esempio attraverso il consolidamento di tecniche di "fingerprinting" (tecniche basate sulla creazione di mappature degli ambienti dettagliando punto per punto le presenze di campi elettromagnetici con particolari caratteristiche spettrali) o attraverso l'adozione di infrastrutture "ad hoc", o attraverso metodi di localizzazione collaborativa.

Un'ulteriore strada alternativa è che sia la rete a stimare la posizione del terminale mobile. Questa strada è certamente interessante, ma necessita di disporre di informazioni che siano sufficienti allo scopo, ed in particolare sono necessarie ulteriori evoluzioni. Il principale vantaggio indotto dalla presente invenzione consiste nel fatto che si riesce ad ottenere la separazione ottimale nel sistema di ricezione del segnale utile dai segnali di disturbo (in quanto i secondi risultano molto più attenuati) molto rapidamente e semplificando di molto i calcoli da effettuare per la trasmissione: questo beneficio consente quindi di aumentare il numero di trasmissioni su portanti alla stessa frequenza a parità di SNR tollerabile, e di facilitare la realizzazione di impianti a maggiore complessità (antenne trasmettenti con molti elementi e

gestione di molti segnali sulle stesse portanti); la conseguenza finale e tangibile è che risulta aumentata la capacità complessiva del sistema a parità di banda disponibile.

Un ulteriore vantaggio consiste nel fatto che, mentre le tecniche MIMO funzionano bene in presenza di "multipath" complessi, mediante l'applicazione degli insegnamenti della presente invenzione si riesce ad ovviare a questa limitazione in quanto, qualora il ricevitore mobile si trovasse in vista del trasmettitore, la sola applicazione di un "beamforming" sufficientemente direttivo, basterebbe al ricevitore per distinguere ed isolare il segnale utile ad esso diretto.

Ovviamente, la presente invenzione riguarda anche un apparato ricevitore, in particolare appartenente al sistema di trasmissione multi-antenna per la copertura radio Down-Link sopra descritto, atto ad implementare il procedimento secondo la presente invenzione.

In particolare, il terminale mobile secondo la presente invenzione può comprendere mezzi di elaborazione atti a cooperare con il data-base al fine di segnalare in feedback al sistema proprie informazioni di funzionamento, come per esempio la qualità di ricezione, ed il sistema ed il procedimento possono verificare che tale qualità della ricezione segnalata dal terminale sia quella attesa per la

posizione che esso occupa e memorizzata nel data-base: in caso contrario è possibile comandare un aggiornamento dei parametri memorizzati nel data-base. Inoltre il terminale mobile può inviare al sistema di trasmissione informazioni relative alla propria posizione corrente rilevata mediante qualsiasi mezzo a sua disposizione.

L'invenzione rende quindi applicabile in modo vantaggioso uno schema di copertura asimmetrico, Macro-Cellulare in Down-Link e Pico-Cellulare in Up-Link. Infatti, nella sua applicazione preferita, l'invenzione manifesta i suoi benefici più interessanti nella copertura DL, e ciò consentirebbe di non esasperare la riduzione della dimensione delle celle DL. Per quanto riguarda invece la copertura UL, si potrebbe convenientemente decidere di aumentare la capacità attraverso l'aumento delle stazioni riceventi.

L'invenzione prevede l'utilizzo della tecnologia delle "Antenne Vettoriali" in modo estensivo, superando e gestendo le ragioni che ne hanno sinora precluso l'impiego; tale tecnologia porta benefici generali ad ogni sistema di copertura cellulare in quanto viene drasticamente abbattuta l'interferenza inter-cella determinata dal riuso delle frequenze. Questo fatto ha un impatto positivo nella pianificazione cellulare con ricadute positive anche nella capacità della rete nel suo complesso.

E' chiaro che i vantaggi maggiori dell'applicazione della presente invenzione si hanno nella versione in combinazione con l'adozione di tecniche MU-MIMO in cui i vari segnali trasmessi sulla stessa frequenza sono destinati a utilizzatori diversi, che quindi si trovano in generale in punti diversi.

Si noti che l'applicazione degli insegnamenti della presente invenzione non determina solamente la somma dei vantaggi dell'applicazione delle tecniche MIMO e dei vantaggi dell'impiego delle "Antenne Vettoriali", ma la combinazione delle due tecnologie migliora in modo notevole le prestazioni della ricezione MIMO, in quanto il segnale ricevuto sarà caratterizzato da un SNR molto migliore di quello corrispondente ad una stessa trasmissione MIMO realizzata con antenne non direttive.

La quantificazione di tale miglioramento di SNR dipende da come i differenti segnali destinati a differenti utilizzatori sono distribuiti nelle varie direzioni: è chiaro che la maggior convenienza si ha nel trasmettere sulla stessa portante segnali in direzioni il più possibile divaricate. Quest'ultimo effetto si può ottimizzare attraverso la definizione di nuove topologie di copertura cellulare e attraverso l'individuazione di nuovi algoritmi di assegnazione dei canali. Ad esempio, per ottimizzare l'assegnazione dei canali, potrà essere prevista

l'esecuzione di hand-over, oltre che per gestire gli spostamenti delle stazioni mobili, anche in occasione di set-up o rilasci di connessioni da parte di altri utilizzatori operanti nelle vicinanze.

Inoltre, si noti come l'insieme dei segnali da trasmettere sulla stessa portante previsto da MIMO può essere sia spazialmente separato (ossia trasmesso da punti fisici virtuali diversi, e quindi con "multipath fading" diversi della portante nei punti di ricezione), sia (e soprattutto) irradiato in direzioni diverse.

Il ricevitore MIMO pertanto può avvalersi di una ulteriore facilitazione utile nel discernere tra i vari segnali; infatti il segnale diretto verso il ricevitore in generale apparirà di intensità maggiore rispetto agli altri, trasmessi alla stessa frequenza ma in direzioni diverse.

L'impiego di "Antenne Vettoriali" come "multi-antenne MIMO" apre anche ad una serie di opportunità per ottimizzazioni ed innovazioni tecnologiche per la realizzazione fisica di tali sistemi multi-antenna in modo efficiente. Infatti si può pensare di sfruttare la molteplicità degli elementi tanto per realizzare la separazione spaziale funzionale alle tecniche MIMO quanto per controllare il "beamforming". Si evidenzia infatti come una "Antenna Vettoriale", essendo già un sistema multi-

antenna, può in principio essere gestito come un trasmettitore MIMO.

Si noti poi che il ricevitore MIMO può essere, in teoria, utilizzato senza modifiche di tipo hardware secondo questa modalità di trasmissione MIMO combinato con la tecnologia delle "Antenne Vettoriali", infatti, come già detto, l'efficacia di una "Antenna Vettoriale" non impone requisiti sulle caratteristiche del ricevitore.

Si sono descritte alcune forme preferite di attuazione dell'invenzione, ma naturalmente esse sono suscettibili di ulteriori modifiche e varianti nell'ambito della medesima idea inventiva. In particolare, agli esperti nel ramo risulteranno immediatamente evidenti numerose varianti e modifiche, funzionalmente equivalenti alle precedenti, che ricadono nel campo di protezione dell'invenzione come evidenziato nelle rivendicazioni allegate.

RIVENDICAZIONI

1. Sistema di trasmissione multi-antenna per la copertura radio Down-Link (da stazione radio base a terminale mobile) in una rete per comunicazioni radiomobili comprendente una pluralità di antenne trasmittenti multi-radiatore ("Smart Antennas" o "Array Antennas") atte a realizzare trasmissioni direttive controllabili anche senza movimenti meccanici con almeno un terminale mobile, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre almeno un data-base associato ad almeno una cella di copertura di detta rete per comunicazioni mobili e contenente informazioni relative ad una posizione di detto terminale mobile ed almeno mezzi di elaborazione cooperanti con dette antenne trasmittenti e detto data-base per determinare almeno una direzione di trasmissione di almeno un fascio trasmissivo da almeno una di dette antenne trasmittenti multi-radiatore in funzione di detta posizione, detti mezzi di elaborazione essendo atti ad associare una detta direzione di trasmissione a detta posizione di detto terminale mobile e detta direzione di trasmissione essendo idonea a raggiungere detto terminale mobile.

2. Sistema di trasmissione secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la fase della portante di detto fascio trasmissivo in detta direzione di trasmissione da almeno una di dette antenne trasmittenti multi-radiatore

in funzione di detta posizione del terminale mobile è determinata mediante una tecnica di trasmissione di tipo MIMO.

3. Sistema di trasmissione secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto terminale mobile è dotato di mezzi di rilevamento di una propria detta posizione e di mezzi di comunicazione per comunicare detta posizione a detto data-base.

4. Procedimento di trasmissione multi-antenna per la copertura radio Down-Link (da stazione radio base a terminale mobile) in una rete per comunicazioni radiomobili mediante un sistema di trasmissione comprendente almeno una antenna trasmittente multi-radiatore diretta ad almeno un terminale mobile ed almeno un data-base associato ad almeno una cella di copertura di detta rete per comunicazioni mobili e contenente informazioni relative ad una posizione di detto terminale mobile ed almeno mezzi di elaborazione cooperanti con detta antenna trasmittente e detto data-base, detti mezzi di elaborazione essendo atti ad associare una detta direzione di trasmissione a detta posizione di detto terminale mobile e detta direzione di trasmissione essendo idonea a raggiungere detto terminale mobile, caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:

- a) rilevare una posizione di detto terminale mobile;
- b) memorizzare detta posizione in detto data-base;

c) determinare almeno una direzione di trasmissione di almeno un fascio trasmissivo da almeno una di dette antenne trasmittenti multi-radiatore a detto terminale mobile in funzione di detta posizione memorizzata in detto data-base.

5. Procedimento di trasmissione secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che la fase della portante del fascio trasmissivo in detta direzione di trasmissione è determinata mediante una tecnica di trasmissione di tipo MIMO.

6. Procedimento di trasmissione secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che la fase c) comprende la sottofase in cui detto data-base associa a ciascuna detta posizione di detto terminale mobile almeno uno dei parametri che devono essere impostati nella "Smart Antenna" per trasmettere in detta direzione idonea al raggiungimento di detto terminale mobile.

7. Procedimento di trasmissione secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che la fase c) comprende la sottofase di determinare detta posizione di detto terminale mobile necessaria per la configurazione di una corretta detta direzione di trasmissione in detto sistema di trasmissione che supporta una copertura Down-Link mediante elaborazioni effettuate da elementi di rete.

8. Procedimento di trasmissione secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che le fasi b) e/o c) vengono

effettuate utilizzando degli algoritmi di apprendimento.

9. Procedimento di trasmissione secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto di comprendere la possibilità di attivare procedure di hand-over per spostare le trasmissioni verso detto terminale mobile da un canale radio ad un altro in modo tale che dette direzioni di trasmissione sono alternate in diverse portanti.

10. Procedimento di trasmissione secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto di comprendere la possibilità di confrontare una informazione di qualità di ricezione segnalata da detto terminale mobile con quella attesa per detta posizione che detto terminale mobile occupa e memorizzata in detto data-base.

11. Procedimento di trasmissione secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto di comprendere la fase di aggiornare detto data-base se detta informazione di qualità di ricezione segnalata da detto terminale mobile non corrisponde con quella memorizzata in detto data-base.

12. Procedimento di trasmissione secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che la fase a) comprende la fase di ricevere informazioni sulla posizione corrente di un detto terminale mobile dal detto terminale mobile.

13. Terminale mobile in grado di ricevere trasmissioni da detto sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 3 ed atto ad implementare il procedimento di

trasmissione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 4 a 12.

14. Terminale mobile secondo la rivendicazione 13, caratterizzato dal fatto di comprendere mezzi di elaborazione atti a cooperare con detto data-base per trasmettere in feedback a detto sistema proprie informazioni di funzionamento.

15. Terminale mobile secondo la rivendicazione 13 caratterizzato dal fatto di essere in grado di inviare a detto sistema di trasmissione informazioni sulla propria posizione corrente in corrispondenza di almeno uno tra i seguenti eventi:

- a) ricezione di un comando da parte di detto sistema di trasmissione;
- b) invio di una richiesta di connessione su un canale radio di servizio verso detto sistema di trasmissione;
- c) scadenza di un predeterminato intervallo temporale;
- d) rilevazione di un cambio di cella radiomobile.

CLAIMS

1. Multi-antenna transmission system for radio Down-Link (from base radio station to mobile terminal) coverage in a network for radio-mobile communications comprising a plurality of multi-radiator transmitting antennas (“Smart Antennas” or “Array Antennas”) adapted to perform directive transmissions that can be controlled also without mechanical movements with at least one mobile terminal, characterised in that the system further comprises at least one data-base associated with at least one coverage cell of said network for mobile communications and containing information related to a position of said mobile terminal and at least processing means cooperating with said transmitting antennas and said data-base to determine at least one transmission direction of at least one transmission beam from at least one of said multi-radiator transmitting antennas depending on said position, said processing means being adapted to associate said transmission direction to said position of said mobile terminal and said transmission direction being suitable for reaching said mobile terminal.
2. Transmission system according to claim 1, characterised in that the phase of the carrier of said transmission beam in said transmission direction from at least one of said multi-radiator transmitting antennas depending on said position of the mobile terminal is determined through a transmission technique of the MIMO type.
3. Transmission system according to claim 1, characterised in that said mobile terminal is equipped with means for detecting its own position and with communicating means for communicating said position to said data-

base.

4. Multi-antenna transmission process for the radio Down-Link (from base radio station to mobile terminal) coverage in a network for radio-mobile communications through a transmission system comprising at least one multi-radiator transmitting antenna directed to at least one mobile terminal and at least one data-base associated with at least one coverage cell of said network for mobile communications and containing information related to a position of said mobile terminal and at least processing means cooperating with said transmitting antenna and said data-base, said processing means being adapted to associate said transmission direction to said position of said mobile terminal and said transmission direction being suitable to reach said mobile terminal, characterised in that the process comprises the steps of:

- a) detecting a position of said mobile terminal;
- b) storing said position in said data-base;
- c) determining at least one transmission direction of at least one transmission beam from at least one of said multi-radiator transmitting antennas to said mobile terminal depending on said position stored in said data-base.

5. Transmission process according to claim 4, characterised in that the phase of the carrier of the transmission beam in said transmission direction is determined through a transmission technique of the MIMO type.

6. Transmission process according to claim 4, characterised in that step c) comprises the sub-step wherein said data-base associates to each of said positions of said mobile terminal at least one of the parameters that must be

set in the “Smart Antenna” for transmitting along said suitable direction for reaching said mobile terminal.

7. Transmission process according to claim 4, characterised in that step c) comprises the sub-step of determining said position of said mobile terminal necessary for the configuration of a correct transmission direction in said transmission system that supports a Down-Link coverage through processing performed by network elements.

8. Transmission process according to claim 4, characterised in that steps b) and/or c) are performed by using learning algorithms.

9. Transmission process according to claim 4, characterised in that it comprises the chance of activating hand-over procedures to move the transmissions towards said mobile terminal from one radio channel to another in such a way that said transmission directions are alternated in different carriers.

10. Transmission process according to claim 4, characterised in that it comprises the change of comparing reception quality information signalled by said mobile terminal with the expected reception quality for said position that said mobile terminal occupies and stored in said data-base.

11. Transmission process according to claim 10, characterised in that it comprises the step of updating said data-base if said reception quality information signalled by said mobile terminal does not correspond with those stored in said data-base.

12. Transmission process according to claim 4, characterised in that step a) comprises the step of receiving information about the current position of one of said mobile terminals from said mobile terminal.

13. Mobile terminal capable of receiving transmissions from the system according to any one of claims 1 to 3 and adapted to perform the transmission process according to any one of claims 4 to 12.

14. Mobile terminal according to claim 13, characterised in that it comprises processing means adapted to cooperate with said data-base for feedback transmitting to said system its own operating information.

15. Mobile terminal according to claim 13, characterised in that it is able to send to said transmission system information about its own current position next to at least one among the following events:

- a) reception of a command by said transmission system;
- b) transmission of a connection request on a radio service channel towards said transmission system;
- c) expiry of a pre-set time interval;
- d) detection of a radio-mobile cell change.