



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA NUMERO	102008901638118
Data Deposito	20/06/2008
Data Pubblicazione	20/12/2009

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	04	L		

Titolo

NODO EVOLUTO SICURO PER APPLICAZIONI ON-THE-MOVE A LARGA BANDA IN RETI A TOPOLOGIA MAGLIATA E RELATIVO METODO DI GESTIONE.

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale
di SELEX COMMUNICATIONS S.P.A.
di nazionalità italiana

5 con sede: VIA PIERAGOSTINI, 80
GENOVA (GE)

Inventori: ARMANI Claudio, LORETI Pier Paolo, MAZZENGA
Franco, CIPOLLA Vincenzo, MARABISSI Dania, PORZIO GIUSTO
Pietro

10 ***

La presente invenzione è relativa ad una struttura
ed un metodo di comunicazione di nodi evoluti per
applicazioni radio mobili a larga banda. In generale, la
presente invenzione è adatta a garantire la connettività
15 in reti i cui nodi sono in numero limitato e possono
avere struttura a maglia incompleta e variabile nel
tempo.

L'area di applicabilità dell'invenzione è
estremamente ampia e si estende dalle reti militari
20 tattiche per missione operativa (controllo del
territorio, peace-keeping) sino alle reti civili per
ottimizzazione di copertura del territorio (reti
montane, reti cittadine con funzioni di relay installate
sui mezzi in movimento), includendo le reti militari
25 strategiche, le reti ad uso delle forze di sicurezza

(polizie), reti per le emergenze nazionali-internazionali ed, infine, le reti per l'informatizzazione della pubblica amministrazione.

In particolare, la presente invenzione si applica a
5 reti a topologia magliata compatibili con la tecnologia WiMAX.

Come è noto, WiMAX, acronimo di Worldwide Interoperability for Microwave Access e definito dallo standard IEEE 802.16e-2005, è una tecnologia che
10 consente l'accesso a reti di telecomunicazioni a banda larga e senza fili.

L'acronimo è stato definito dal WiMAX Forum, un consorzio formato da più di trecento aziende il cui scopo è sviluppare, supervisionare, promuovere e testare
15 l'interoperabilità di sistemi basati sullo Standard IEEE sopra citato.

Nei sistemi tradizionali, le tecnologie radio strutturate per essere utilizzate in reti gerarchiche di tipo punto-multipunto, tipicamente in uso nei sistemi
20 radiomobili per la gestione delle reti cellulari pubbliche (e previste anche dallo standard WiMAX) sono differenti dalle tecnologie radio ideate per l'uso in reti paritarie di tipo magliato, tipicamente in uso in nicchie di mercato anche rilevanti come la sensoristica
25 o le reti per la sicurezza militare e per le polizie.

Questo fatto ha generato e genera tuttora discontinuità nello sviluppo tecnologico e non consente, in generale, il riuso delle soluzioni in modo orizzontale, indipendentemente cioè dall'applicazione di rete alla quale ci si riferisce.

Scopo della presente invenzione è quello di proporre un'architettura di nodo che permetta di ottenere un sistema di radiocomunicazione integrante le caratteristiche di entrambe le topologie di rete esistenti.

Secondo la presente invenzione vengono realizzati una struttura di nodo per applicazioni radio mobili a larga banda e il relativo metodo di gestione delle comunicazioni, come definiti rispettivamente nelle rivendicazioni 1 e 10.

Per una migliore comprensione dell'invenzione, ne viene ora descritta una forma di realizzazione, a puro titolo di esempio non limitativo e con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1 mostra un esempio di rete a topologia magliata a cui si applica l'invenzione;

- la figura 2 mostra l'architettura di un nodo secondo l'invenzione, utilizzabile nella rete di figura 1;

- la figura 3 mostra lo schema della struttura di

un sottolivello MAC del nodo di figura 2 e la sua
connessione ai sottolivelli adiacenti;

- la figura 4 mostra lo schema concettuale della
struttura di un sottolivello fisico del nodo di fig. 2;

5 - le figure 5 e 6 mostrano differenti schemi del
sottolivello fisico di figura 4;

- la figura 7 mostra uno schema di flusso della
procedura di sincronizzazione in assenza di GPS;

10 - la figura 8 mostra la sequenza temporale
concettuale di sincronizzazione in assenza di GPS;

- le figure 9a e 9b illustrano la struttura di uno
slot rispettivamente per una stazione radio base BS ed
una stazione mobile MS;

15 - la figura 10 mostra una codifica OFDMA
utilizzabile nel sottolivello fisico del nodo di fig. 2;

- le figure 11a e 11b mostrano l'allocazione dati
in un frame secondo lo standard WiMAX e secondo il
presente nodo, come vista da una stazione mobile;

20 - la figura 12 mostra uno schema a blocchi della
struttura del sottolivello fisico di figura 4; e

- la figura 13 mostra uno schema logico di gestione
del sottolivello fisico di figura 4.

La figura 1 mostra un esempio di una rete magliata
1 compatibile con lo standard WiMAX e formata da una
25 pluralità di nodi 2, qui otto nodi identificati con N1-

N8. La rete magliata 1 presenta la struttura descritta nella domanda di brevetto italiano TO2007A000441 a nome della richiedente, in cui ciascun nodo N1-N78 è costituito da una stazione radio base BS e da una
5 stazione utente o stazione mobile MS.

Ciascun nodo N1-N8 ha un differente ruolo topologico, definito dal fatto che esso sia o meno affiliato ad un altro nodo o a sua volta affili o meno altri nodi. In particolare, un nodo (qui il nodo N1)
10 avente funzioni master e tipicamente non affiliato ad alcun altro nodo, viene definito nodo radice ("root node"), altri nodi che sono sia affiliati sia affilianti (qui nodi N2, N3, N7) vengono definiti nodi interni ("internal nodes"), mentre i nodi che non hanno altri
15 nodi affiliati (qui, i nodi N4, N5, N6 e N8) vengono definiti nodi foglia ("leaf nodes"). A seconda del ruolo di ciascun nodo N1-N8 nella rete magliata 1 (radice, intermedio o foglia), la stazione radio base BS e la stazione mobile MS dei nodi N1-N8 possono essere
20 entrambe attive, tipicamente nel caso di nodo intermedio (nell'esempio, i nodi N2, N3 e N7); può essere attiva la sola stazione radio base BS, tipicamente nel caso del nodo radice N1; oppure può essere attiva la sola stazione mobile MS, tipicamente nel caso dei nodi foglia
25 N4-N6 e N8.

I nodi 2 comunicano utilizzando intervalli temporali o "slot" all'interno di una trama unica in tutta la rete; in particolare, secondo lo standard 802.16.2005, ogni trama può comprendere fino otto slot; e le trame si presentano periodicamente. Inoltre, come descritto nella summenzionata domanda di brevetto italiano TO2007A000441, ad ogni nodo 2 viene assegnato uno o più slot in modo schedulato a trama cadenzata, e la stazione mobile MS di ciascun nodo interno N2, N3 e N7 può diventare attiva solo quando la stazione radio base BS associata non è impegnata nella comunicazione.

In tale tipo di topologia, secondo quanto indicato nella citata domanda di brevetto italiano TO2007A000441, sono consentite comunicazioni bidirezionali stazione radio base BS/stazione mobile MS (cioè relay multiplo verso relay multiplo e relay multiplo verso stazione mobile) ma non sono permesse comunicazioni fra stazioni radio base BS o fra stazioni mobili MS; ogni stazione mobile MS si sincronizza e comunica con una sola stazione radio base BS. In pratica, nello schema di figura 1, la stazione mobile MS1 del nodo radice N1, che qui non è affiliato ad altri nodi, è utilizzata solo per misure, mentre la sua stazione radio base BS1 è collegata alle stazioni mobili MS2, MS3 e MS6 dei nodi intermedi N2, N3 nonché del nodo foglia N6; le stazioni

radio mobili BS2 e BS7 dei nodi intermedi N2 e N7 sono collegate alle stazioni mobili MS4, MS5 e MS8 dei nodi foglia N4, N5 e N8; la stazione radio base BS3 del nodo intermedio N3 è collegato alla stazione mobile MS7 del
5 nodo intermedio N7; mentre le stazioni radio base BS4-BS6 e BS8 dei nodi foglia N4-N6 e N8 non sono collegate ad altre stazioni mobili e sono usate solo in procedure di gestione straordinaria.

Il nodo radice di una rete ha la funzione di
10 costruire la struttura ("backbone") della rete stessa, definendo così il ruolo assunto da ciascun nodo nella struttura della trama ("frame") temporale di comunicazione utilizzata nella rete. A tale scopo, il nodo radice invia, a ciascun nodo della rete, dei
15 comandi tali da consentire le differenti funzionalità della rete stessa.

Fra l'altro, il nodo radice esegue gli algoritmi di controllo della rete mesh e sovrintende alle seguenti operazioni:

20 • Gestione del backbone: procedura che consente modifiche alla topologia della rete come cambi di ruolo in funzione del movimento e di possibili nuovi ingressi/uscite verso e dalla rete compresa la rilocalizzazione in rete del nodo radice

25 • Gestione dell'ingresso in rete di nuovi nodi:

procedura che consente l'affiliazione, con il ruolo di nodo leaf, di un nuovo nodo precedentemente non connesso alla rete;

- Gestione mobilità: procedura che autorizza/vieta gli handover (cambio di ruolo topologico) dei nodi della rete;

- Scoperta di nuovi nodi/reti: procedura che programma i periodi in cui i nodi foglia devono portarsi in esplorazione alla ricerca di dati su eventuali nuovi nodi/reti;

- Gestione dei link failure: procedura per coordinare le operazioni di mantenimento della topologia in seguito a problemi di connessione relativi a nodi interni;

- Raccolta misure: procedura che consente la creazione di una matrice di visibilità dei nodi e la distribuzione di tale matrice di visibilità a tutti i nodi della rete.

Per poter implementare gli algoritmi di controllo sopra indicati, i nodi 2 della rete scambiano messaggi per mezzo di segnalazione dedicata e coordinati dal nodo radice. Ciascun nodo radice o interno della rete utilizza un proprio preambolo nei messaggi e i diversi preamboli utilizzati all'interno della rete sono noti al nodo radice. La scoperta di nuovi nodi/reti può avvenire

a seguito della procedura di raccolta misure, durante la quale la sezione mobile MS di un nodo della rete identifica un preambolo, emesso dalla sezione radio base di un nuovo nodo/rete e generalmente differente da
5 quelli utilizzati nella rete. Dato che la procedura di misura è prerogativa della sezione mobile MS dei nodi, essa consente l'individuazione di nuovi nodi da parte di tutti i nodi della rete (anche il nodo radice può attivare periodicamente la propria sezione mobile MS a
10 tale scopo). Dato che, tuttavia, i nodi foglia hanno la propria stazione radio base BS inattiva e non emettono alcun preambolo, essi non potrebbero essere rilevati dalla procedura di misura. Questa situazione è tuttavia svantaggiosa, in quanto l'incontro tra due reti tende a
15 configurarsi spesso come incontro tra due nodi di tipo foglia. Per superare questa limitazione, il nodo radice attiva periodicamente tutti i nodi foglia della sua rete in modo "esplorazione" delle aree circostanti.

Ogni nodo 2 presenta una architettura estesa ai
20 primi due livelli ("layer") del modello ISO-OSI, e specificamente il livello fisico ed il livello connessione dati ("data link"); inoltre, tutte le funzioni relative alla gestione delle comunicazioni all'interno della rete sono definite entro i primi due
25 livelli sopra menzionati. Nella fattispecie, il livello

di connessione dati è chiamato livello MAC (Media Access Control). I due livelli, fisico e MAC, sono poi a loro volta organizzati in sottolivelli architetturali. Ogni sottolivello definisce un insieme di servizi per il sottolivello a lui superiore ed è caratterizzato attraverso i punti di accesso al Servizio (SAP).

La Figura 2 mostra l'architettura dei nodi 2 come architettura a due pile o "stack" protocollari base: lo stack della stazione radio base BS (BS STACK) e lo stack della stazione mobile MS (MS STACK). In dettaglio, in base allo standard IEEE 802.16e-2005, entrambe le pile BS STACK e MS STACK comprendono un livello fisico, indicato con PHY, ed un livello MAC. Il livello fisico è in parte condiviso dalle due pile.

In particolare, in modo noto, il livello MAC comprende un sottolivello MAC SSCS (Service Specific Convergence Sublayer), costituente un'interfaccia ai livelli superiori; un sottolivello CPCS (Common Part Convergence Sublayer), che fornisce le funzionalità base del livello MAC ed un sottolivello di sicurezza SSL che provvede ad eseguire le funzioni necessarie per la realizzazione di comunicazioni sicure. Inoltre, il livello fisico PHY comprende un sottolivello PHY DIG-RADIO, che esegue l'elaborazione digitale dei segnali ricevuti/inviati verso l'esterno e include le unità di

conversione analogico/digitale, le unità di elaborazione per rice-trasmittitori OFDMA e o CDMA (ad esempio, unità IFFT/FFT, ricevitori a filtri accoppiati -matched filter receivers-, unità per stima di canale e la
5 sincronizzazione, unità di codifica e decodifica di canale). Il livello fisico PHY comprende inoltre un sottolivello RF che gestisce le varie frequenze utilizzate. Interfacce SAP (Service Access Point) sono previste fra i vari sottolivelli.

10 Un sottolivello MAC, denominato sottolivello MESH, posizionato entro il sottolivello MAC SSCS e condiviso dalle due pile, si occupa sia dell'elaborazione dei messaggi dati ("Data Unit") necessari per l'esecuzione di specifiche funzioni di controllo (quali l'accensione
15 e lo spegnimento della rispettiva stazione radio base BS e la gestione delle associazioni fra i nodi 2) sia del supporto all'instradamento dei messaggi dati (PDU/SDU Protocol/Service Data Units) dalla stazione radio base BS alla sezione mobile BS e viceversa. In particolare,
20 esso include le funzioni tipiche di un Network Layer (ad es. Switching, Routing, Flow Classification), quelle di un Logical Link Control (LLC) e quelle che consentono di gestire il rispettivo nodo 2 in base al suo ruolo all'interno della rete magliata.

25 Inoltre, il sottolivello MESH abilita la

comunicazione tra i due sottolivelli MAC SSCS delle pile BS e MS. Il sottolivello MESH coopera con i due sottolivelli MAC SSCS e utilizza proprie interfacce SAP (MESH MAC SAP) per le comunicazioni con i sottolivelli
5 CPCS.

I nodi 2 della rete comunicano utilizzando segnalazioni MESH attraverso una successione di trasmissioni di pacchetti trasferiti al livello MAC secondo le medesime modalità con le quali il WiMAX
10 standard trasferisce il management channel (entro il primary management channel). Il trasporto dei messaggi di segnalazione MESH verso l'interfaccia di antenna avviene per mezzo dei sottolivelli MAC-CPCS, SSL, PHY-DIG-RADIO e PHY-FRAMING di figura 2 con l'incapsulamento
15 nel payload di una MAC PDU (Protocol Data Unit). Inoltre, i messaggi MESH rispettano il formato delle MAC PDU di Management (si veda §6.3.2.3 di IEEE Std 802.16e-2005) con le seguenti avvertenze:

- i CID (Connection Identificative) utilizzati
20 sono il Fragmentable Broadcast ed il Primary Management;
- i valori del campo Type (rif. Table-14 di IEEE Std 802.16e-2005) riservati per gli scopi del MESH layer sono nel range 150-179.

L'instradamento e l'inoltro dei messaggi di
25 segnalamento MESH sono eseguiti direttamente dal

sottolivello MESH e non viene demandato a protocolli di routing/trasporto previsti per la trasmissione di ulteriori segnalazioni/dati. Ciò comporta che il sottolivello MESH ha un suo indirizzamento, un suo
5 protocollo di routing per la compilazione delle tabelle di routing ed una propria modalità di instradamento dei messaggi. L'indirizzo dei nodi MESH è un indirizzo MAC specifico, aggiuntivo rispetto a quello della sezione radio base BS e della sezione mobile MS del nodo.

10 I meccanismi di instradamento del livello MESH costruiscono delle tabelle di routing MESH che contengono entry "specifiche" del tipo <MESH destination address, next-hop MAC address, n-hops, node-role>, dove:

- MESH destination address: indirizzo MAC del nodo
15 di destinazione;

- next-hop MAC address: indirizzo del successivo nodo nel percorso da estremo ad estremo;

- n-hops: identifica il numero di nodi coinvolti nel percorso da estremo ad estremo (e.g. zero nel caso
20 di connessione diretta, il numero di salti nel caso di connessione con rimando);

- node-role: si intende il ruolo (leaf, internal o root) del nodo identificato dal MESH destination address.

25 L'architettura del nodo 2 di figura 2 prevede

inoltre un sottolivello PHY-FRAMING comune ad entrambe le pile e disposto fra il rispettivo sottolivello PHY DIG-RADIO e il sottolivello RF comune, per consentire l'accesso a divisione di tempo a quest'ultimo. Il
5 sottolivello PHY-FRAMING impone una nuova sovrastruttura di trama a quelle già presenti in Wireless MAN-OFDMA nello standard IEEE 802.16e-2005, come spiegato più in dettaglio in seguito.

I sottolivelli descritti definiscono un piano
10 dati/controllo ("Data/Control Plane") collegato ad un piano di gestione o "management plane" che supporta funzioni operative e di gestione del rispettivo nodo 2, realizzabili in modo noto e quindi non descritte.

In dettaglio, il piano dati/controllo gestisce sia
15 l'accesso delle stazioni radio mobili BS al canale radio (gestione delle risorse radio) sia la topologia della rete mesh.

La gestione delle risorse radio della rete è divisa in due livelli: i) la gestione all'interno di una trama
20 WiMAX, controllata direttamente da appositi moduli appartenenti ai sottolivelli MAC-CPCS delle pile BS STACK ed MS STACK; ii) la gestione della "convivenza" fra diverse stazioni radio mobili, controllata invece dal sottolivello MESH. Tale convivenza richiede la
25 decisione sugli intervalli di tempo (inizio trasmissione

e durata) utilizzabili dallo specifico nodo per le trasmissioni (come spiegato più in dettaglio in seguito con riferimento alla struttura del sottolivello PHY FRAMING). L'attribuzione di tale decisione al
5 sottolivello MESH consente quindi il controllo ad alto livello delle allocazioni di capacità radio fornite alle diverse stazioni radio base.

L'associazione fra i nodi 2, e di conseguenza la modifica della topologia della rete, possono avvenire
10 sia in modo diretto (comandando delle nuove associazioni mediante il sottolivello MESH del nodo con ruolo radice) sia in modo indiretto (favorendo la scelta di alcune associazioni rispetto ad altre, ma lasciando il controllo dell'associazione al nodo che cambia la
15 propria associazione diretta). Il modo indiretto è usualmente impiegato per i casi nei quali i nodi di tipo "foglia" intendano cambiare il proprio nodo "padre". In caso di ingresso in rete di un nuovo nodo, che non faceva parte della rete, la rete adotta un principio di
20 massima egualità tra nodi, cercando di incentivare al massimo l'ingresso di nuovi nodi. Per fare ciò, il nodo radice lascia al nodo che sta tentando l'ingresso nella rete di decidere su quale altro nodo tentare la procedura di affiliazione.

25 Con riferimento nuovamente alla figura 2, il piano

di gestione, avente funzione di configurazione e di monitoraggio di allarmi e guasti attraverso una console centralizzata, comprende un'unità 10 di gestione del sottolivello MESH, un'unità 12 di gestione del sottolivello MAC SSCS, un'unità 14 di gestione dei sottolivelli CPCS e SSL ed un'unità 16 di gestione del sottolivello fisico PHY, ciascuna collegata con i rispettivi sottolivelli di entrambe le pile BS e MS. Le unità 10-16 sono collegate con un centro di gestione rete 18, formato da un sistema di calcolatori esterni e avente la funzione di gestire e supervisionare la rete stessa, in modo di per sé noto e quindi non descritto in dettaglio.

SOTTOLIVELLO MESH

In ciascun nodo 2, il sottolivello MESH è costituito da un'unica entità computazionale/funzionale che integra tutti i processi, le funzionalità ed i protocolli previsti per il funzionamento della rete mesh e che interagisce con i sottolivelli MAC delle pile BS e MS presenti nel nodo, nel modo illustrato in figura 3.

In dettaglio, il sottolivello MESH presenta sei interfacce I1-I6 con cui il sottolivello MESH stesso comunica con gli stack BS ed MS presenti nel nodo. Qui, le tre interfacce "dispari", I1, I3 ed I5, sono utilizzate per le comunicazioni con il lato BS mentre le

tre interfacce "pari", I2, I4 ed I6, sono adoperate per le comunicazioni con il lato MS. Inoltre, le interfacce I1-I4 sono collegate ai sottolivelli MAC CPCS e le interfacce I5 e I6 sono collegate ai sottolivelli MAC
5 SACS.

Le interfacce I1-I6 sono raggruppate logicamente in tre coppie omogenee dal punto di vista della tipologia del tipo di dati scambiati. In particolare:

- le interfacce I1 ed I2 sono dedicate alla
10 trasmissione e ricezione dei messaggi del sotto-livello MESH verso altri nodi; esse sono in diretta comunicazione con i blocchi appartenenti ai sottolivelli MAC CPCS e trasmettono e ricevono i messaggi di gestione MESH (come descritto più in dettaglio in seguito) per
15 spedirli verso le interfacce radio dei nodi nel sottolivello PHY RF).

- le interfacce I3 ed I4 sono dedicate allo scambio di messaggi di controllo delle pile BS e MS, rispettivamente, e permettono di lavorare con altri
20 moduli software costituenti la struttura logica del livello MAC e presenti nei sottolivelli MAC CPCS sia dello stack BS che dello stack MS;

- le interfacce I5 ed I6 sono dedicate allo scambio di messaggi con gli strati protocollari
25 superiori (quali strati 802.1D, moduli di switching,

moduli di routing, etc., di tipo noto e quindi non mostrati) per il controllo del routing/switching e a tale scopo cooperano con i moduli di switching Ethernet previsti nei sottolivelli MAC SSCS.

5 Si noti che, sebbene l'interfaccia I1 verso gli altri sottolivelli della pila BS sia unica, essa permette di comunicare sia mediante canali broadcast che mediante canali unicast verso le singole MS.

10 Le interfacce I1-I5 sono collegate con un solo blocco funzionale, indicato con 20, che integra tutte le procedure, le funzionalità ed i protocolli del sottolivello MESH. Il blocco funzionale comprende una pluralità di moduli 21-27 che comunicano fra loro mediante messaggi interni che si muovono lungo le linee
15 e incapsulano alcune funzionalità realizzate via software attraverso uno o più processi.

In dettaglio, il blocco funzionale 20 comprende i seguenti moduli, collegati reciprocamente e con le interfacce I1-I6 come mostrato:

- 20 1. Modulo MESH Controller 21;
 2. Modulo Dispatcher 22;
 3. Modulo HO (Handover) Controller 23;
 4. Modulo Exploration Controller 24;
 5. Modulo Measure Controller 25;
25 6. Modulo Topology Manager 26; e

7. Modulo Switching IW (Inter-Working) 27.

I moduli 21-27 di Figura 3 operano in modo diverso in funzione del ruolo (root, leaf o internal) del nodo all'interno della rete mesh, come sotto indicato.

5 1. Modulo MESH Controller 21

Il modulo MESH Controller 21 è l'entità che gestisce le principali caratteristiche operative della rete tra le quali: creazione della rete, connessione ad una rete formata, merging e splitting di una rete in più
10 di una sotto-rete. Esso viene attivato all'accensione del rispettivo nodo e durante tale fase di accensione, così come durante tutte le fasi di transizione, assume il controllo diretto della pila BS e/o della pila MS, a seconda del ruolo topologico del nodo; esso inoltre
15 gestisce il rispettivo nodo, quando questo fa parte di una rete mesh, in base alla posizione topologica del nodo stesso come nodo foglia, nodo interno o come nodo radice. Nel caso che il rispettivo nodo di cui il modulo MESH Controller 21 fa parte sia un nodo radice, esso
20 decide il ruolo degli altri nodi all'interno della rete, in particolare in caso in cui sia necessaria una modifica topologica (allontanamento di nodi, avvicinamento di nodi, modifica della posizione topologica dei nodi presenti). Inoltre, a seconda della
25 posizione del rispettivo nodo nella topologia, il MESH

Controller 21 varia la modalità di utilizzo della sua sezione BS e della sua sezione MS. Il mesh controller 21 comprende inoltre una matrice di visibilità dei nodi 28, includente una lista di nodi in visibilità, anche se non collegati direttamente alla stazione radio base BS del nodo considerato.

2. Modulo Dispatcher 22

Il modulo Dispatcher 22 è un modulo software che instrada i messaggi MESH verso gli altri nodi e verso gli altri sottolivelli del rispettivo nodo. Il modulo Dispatcher 22 è attivo indipendentemente dal ruolo del nodo, ma le sue funzionalità sono completamente attivate solo nei nodi interni, in cui è necessario instradare messaggi attraverso le interfacce I1 e I2 verso entrambi i sottolivelli MAC CPCS sia della pila BS che della pila MS). Viceversa, nel caso di nodo radice o foglia, i messaggi vengono normalmente instradati solo attraverso la pila BS o solo verso la pila MS.

3. Modulo HO Controller 23

Questo modulo gestisce gli handover della sezione mobile MS, ovvero le fasi di modifica di affiliazione nella rete di figura 1. In particolare, il modulo HO Controller 23 esegue differenti procedure di handover, a seconda che il nodo abbia un ruolo topologico foglia, interno o radice cooperando con le procedure di handover

dello standard IEEE 802.16e-2005. A tale scopo, il modulo HO Controller 23 è collegato al modulo MESH Controller 21 e, attraverso il modulo Dispatcher 22, al sottolivello MAC CPCS della pila MS. In particolare, sulla base delle informazioni di ruolo topologico fornite dal modulo MESH Controller 21:

- Ruolo topologico foglia: il modulo HO Controller 23 lascia operare la pila MS in modo "libero", ossia la pila MS agisce in base alle regole degli handover previsti nello standard IEEE 802.16e-2005. In questo caso, il modulo HO Controller 23 si comporta come in un tipico sistema radiomobile civile e non è direttamente controllato dallo strato MESH.

- Ruolo topologico interno: il modulo HO Controller 23 gestisce direttamente la procedura di handover, indicando al sotto-livello MAC-CPCS ed ai livelli inferiori del proprio lato MS a quale stazione radio base BS di quale altro nodo si deve connettere. In questa modalità di funzionamento, il controllo della esecuzione degli handover avviene in modo centralizzato mediante richiesta esplicita al nodo radice della propria rete MESH;

- Ruolo topologico radice: in questa situazione, la stazione MS del nodo non è connessa ad alcun altro nodo e, dunque, il modulo HO Controller 23 non è

operativo; inoltre la pila MS esegue misure quando la rispettiva pila BS non è in funzione.

4. Modulo Exploration Controller 24

Il modulo Exploration Controller 24 gestisce le
5 fasi di esplorazione dello spazio circostante attraverso
l'attivazione di funzioni dei sottolivelli MAC-CPCS e
PHY DIG-RADIO della propria stazione radio base BS che
presiedono alla creazione di una trama di esplorazione;
questa, di fatto, è una trama convenzionale senza
10 informazione applicativa. Sebbene solo i nodi nel ruolo
Leaf possono accendere la propria stazione radio base BS
in modalità di esplorazione, il modulo Exploration
Controller 24 è operativo anche quando il nodo è
Internal o Root, collaborando di fatto alla procedura di
15 esplorazione. In particolare:

- In modalità Leaf, il modulo Exploration
Controller 24 gestisce le accensioni della sezione radio
base BS del proprio nodo in funzione delle indicazioni
ricevute dal nodo radice e riporta a quest'ultimo le
20 informazioni relative a nuovi nodi rilevati secondo lo
standard IEEE 802.16e-2005.

- In modalità Internal o Root, il modulo
Exploration Controller 24 invia appositi comandi ai nodi
Leaf che sono connessi alla propria stazione radio base
25 BS quando essi devono andare in esplorazione, secondo

quanto stabilito dal nodo radice. Come si vedrà in seguito, i nodi Internal possiedono tutte le indicazioni di esplorazione al fine di coordinare le misure, mentre i nodi Leaf sono informati solo quando devono eseguire
5 una esplorazione.

5. Modulo Measure Controller 25

Il modulo Measure Controller 25 gestisce le procedure di raccolta misure da parte della stazione mobile MS del nodo quando attivato dal nodo radice o in
10 fase di ingresso in una nuova rete. Esso opera secondo le procedure previste nello standard IEEE 802.16e-2005; qui però le misure servono sia per individuare il miglior punto di ingresso nella rete (cioè a quale nodo affiliarsi), sia per raccogliere i dati di visibilità
15 reciproca fra i nodi della rete al fine di consentire/valutare cambiamenti alla topologia della rete. A seconda del ruolo del nodo all'interno della rete, si distinguono i seguenti casi:

- In modalità Leaf, il modulo Measure Controller
20 25 non è operativo.

- In modalità Internal e Root, e in base ai comandi del nodo radice, il modulo Measure Controller 25 controlla l'effettuazione delle misure da parte della stazione mobile MS negli intervalli di tempo previsti e
25 utilizzando i messaggi dello standard IEEE 802.16e-2005

per la gestione della mobilità.

In particolare, il modulo Measure Controller 25
effettua la verifica del preambolo associato ad un
messaggio proveniente da un diverso nodo e identifica
5 eventuali nodi "estranei" alla rete in seguito al
rilevamento di un preambolo diverso da quelli in uso
nella rete. In questo caso, il modulo Measure Controller
25 manda una apposita segnalazione al nodo radice, per
l'attivazione delle procedure di acquisizione del nuovo
10 nodo.

6. Modulo Topology Manager 26

Il modulo Topology Manager 26 ha il compito di
gestire la topologia della rete ed ha diversi compiti a
seconda del ruolo del nodo:

15 • Nei nodi interni, il modulo Topology Manager 26
ha la funzione di ricostruire la topologia del sotto-
albero composto dai nodi ad esso direttamente o
indirettamente affiliati.

• In modalità Root, il modulo Topology Manager 26
20 si occupa anche della gestione della topologia, con
l'esecuzione degli algoritmi sopra indicati.

• I nodi con ruolo leaf hanno il modulo Topology
Manager 26 disattivato.

7. Modulo Switching IW 27

25 Il modulo Switching IW 27 coopera con il

sottolivello MAC SSCP, avente funzioni di switching/routing, trasferendo le informazioni topologiche della rete ai livelli superiori (non mostrati) della struttura di nodo 2 di figura 2, al fine
5 di agevolarne il compito.

I sette moduli 21-27 componenti il sottolivello MESH sopra descritti sono presenti in ogni nodo della rete. Pertanto, durante l'evoluzione dinamica della rete stessa, i moduli costituenti il blocco funzionale 20 di
10 ogni nodo cooperano tra di loro per assicurare il mantenimento della rete.

I sette moduli 21-27 comunicano mediante i messaggi mesh. Dal punto di vista logico, il modulo MESH Controller 21 del nodo radice comanda i moduli MESH
15 Controller 21 degli altri nodi della rete al fine di gestire la capacità trasmissiva della rete stessa, cioè controlla l'uso delle macroslot del sotto-livello PHY-Framing di figura 2. In particolare, il nodo root comanda ai diversi nodi le configurazioni trasmissive da
20 adottare e i moduli MESH Controller 21 dei diversi nodi elaborano i comandi ricevuti in modo da applicare le configurazioni previste. Inoltre, al fine di verificare e ottimizzare le risorse trasmissive del sottolivello PHY-Framing dei diversi nodi, il modulo MESH Controller
25 21 del nodo radice comunica con i moduli Exploration

Controller 24 dei diversi nodi al fine di attivare le procedure di esplorazione periodiche da parte dei nodi della rete.

Inoltre, come già indicato, il modulo MESH Controller 21 del nodo radice può cambiare la topologia della rete, comandando implicitamente od esplicitamente delle nuove associazioni MS-BS, ovvero nuove affiliazioni di nodi, cooperando con i moduli HO Controller 23 e i MESH Controller 21 dei nodi interessati.

Il modulo MESH Controller 21 del nodo radice raccoglie le informazioni topologiche della rete mediante i messaggi inviatigli dai moduli MESH Controller 21 dei diversi nodi inviano inoltre messaggi che segnalano le connessioni esistenti con gli altri nodi e lo stato topologico dei nodi affiliati. I moduli Measurement Controller 25 forniscono invece informazioni circa le visibilità radio dei nodi nella rete.

I moduli MESH Controller 21 del nodo radice e dei nodi interni cooperano inoltre nell'aggiornamento delle informazioni di switching quando si vuole ridurre il tempo di cambiamento delle associazioni topologiche a seguito ad esempio di un Handover.

In questo modo, il sottolivello MESH è in grado di cooperare con gli altri sottolivelli delle pile BS e MS

per implementare le diverse funzioni previste diversi a seconda dello stato topologico del nodo (radice, interno, foglia o autonomo).

SOTTOLIVELLO PHY-FRAMING

5 Il sottolivello PHY-FRAMING è strutturato su più sottolivelli in grado di associare ad una divisione temporale dei segnali una tecnica di accesso multiplo e una protezione dell'informazione basata sul salto di frequenze (frequency hopping) utile per alcune
10 applicazioni (es. militari). A tale scopo, il sottolivello PHY-FRAMING è articolato in tre sottolivelli (si veda la figura 4):

- Un sottolivello TDM (Time Division Multiplexing), indicato in seguito anche sottolivello
15 TDM o TDM SL, per il multiplexing temporale delle comunicazioni;

- Un sottolivello di accesso multiplo sullo slot temporale del sottolivello TDM (indicato in seguito anche sottolivello MA o MA SL);

20 - Un sottolivello sicurezza, per la gestione della sicurezza della comunicazione (frequency hopping, indicato in seguito anche sottolivello SEC o SEC SL).

In dettaglio, il sottolivello TDM per il multiplexing delle comunicazioni prevede una struttura
25 di trama suddivisa in N slot temporali. Uno stesso nodo

può avere più slot consecutivi allocati (multislot, come mostrato nell'esempio di figura 4, contenente otto slot, di cui quattro sono accorpati a due a due per formare due multislot SL3-SL4 e SL6-SL7 associati
5 rispettivamente alla stazione radio base BS3 e alla stazione radio base BS5). Ogni risorsa temporale del sottolivello TDM è quindi suddivisa secondo una logica a divisione di tempo TDD (Time Division Duplex). Il sottolivello MA fornisce la possibilità a più stazioni
10 mobili MS appartenenti a nodi affiliati al nodo cui appartiene la stazione radio base BS considerata (ad es. le stazioni mobili MS4 e MS5 dei nodi N4, N5 di figura 1 affiliate al nodo N2 cui appartiene la stazione radio base BS2) di accendere contemporaneamente (nello stesso
15 slot) al mezzo di comunicazione sfruttando una tecnica di accesso multiplo quale la modalità OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) o CDMA (Code Division Multiple Access).

Il sottolivello SEC integra i sottolivelli TDM e MA
20 in modo da proteggere le trasmissioni attraverso la tecnica del frequency hopping. Infatti, ciascuno slot SL1-SL8 è associato ad una banda di frequenze centrata su differenti frequenze f_n-f_{n+7} .

In pratica, il sottolivello SEC non è indipendente
25 dagli altri, in particolare dal sottolivello TDM, perché

i salti di frequenza fra slot adiacenti avvengono conformemente alla divisione di tempo TDM, come mostrato in figura 4, nella quale l'indice della frequenza della portante centrale f_k viene incrementato ad ogni slot temporale (subisce un salto di frequenza). Tuttavia, in caso di più slot adiacenti, la frequenza centrale f_k è la medesima in tutto gli slot adiacenti.

Sottolivello TDM

La trama del sottolivello TDM ha durata T_f e comprende N slot sfalsate nel tempo di una quantità pari a T_f/N e di durata pari a T_f/N . La trama del sottolivello TDM è ottenuta sovrapponendo (sommando) le trame del sottolivello MA, come mostrato in figura 4.

La Figura 5 mostra la struttura generale di trama dei sottolivelli TDM e MA nel caso di trama suddivisa in N slot (SL1-SLN) aventi stessa durata; inoltre gli slot possono avere durate diverse l'uno dall'altro (multi-slot, come nel caso di figura 4).

Ogni riga della Figura 5 corrisponde ad una trama del sottolivello MA che è suddivisa, secondo la logica TDD, in una sottotrama di downlink (DL) e una sottotrama di uplink (UL) di dimensioni variabili. Più stazioni mobili MS di nodi affiliati possono connettersi alla stazione radio base BS che opera in un dato slot secondo le politiche di accesso multiplo decise dal sottolivello

MA, concentrando le proprie trasmissioni entro lo slot assegnato a quella stazione radio base BS. La figura 6 mostra un esempio di sottotrane per la rete di figura 1, in cui le stazioni mobili MS2, MS3 e MS6 concentrano le proprie trasmissioni entro lo slot assegnato alla stazione radio base BS1 a cui sono collegate. In pratica, i nodi interni sono attivi, quanto alla propria stazione radio base BS, in un primo slot di sottolivello MA e sono attivi, quanto alla propria stazione mobile MS, in un differente slot di sottolivello MA.

Come visibile nelle figure 4-6, le trasmissioni entro la trama del sottolivello TDM sono ortogonali, ovvero le sottotrane di downlink DL sono separate temporalmente dalle sottotrane di uplink UL.

Ogni trama di sottolivello MA viene trasmessa con un diverso sfasamento temporale, multiplo della lunghezza dello slot. Questo sfasamento è calcolato rispetto ad un unico riferimento temporale per tutta la rete, il che richiede una sincronizzazione di rete tra le sezioni BS di tutti i nodi.

Nel sottolivello fisico PHY FRAMING è presente una temporizzazione universale, data dalla rete o dal segnale GPS, alla quale l'orologio interno di ciascun nodo si allinea, via software, salvo gli scostamenti che intervengono nei periodi di tempo in cui il nodo perde

la sincronizzazione. Pertanto, se è disponibile il segnale GPS, la sincronizzazione di rete viene attuata tramite tali segnali; se non sono disponibili segnali GPS, il nodo radice impone la sincronizzazione di rete e
5 la trasferisce alla sezione mobile MS dei nodi ad esso affiliati. In questo secondo caso, la temporizzazione della sezione radio base BS di tali nodi affiliati viene derivata da quella ricevuta dalla rispettiva stazione mobile MS e viene a sua volta trasferita alla stazione
10 mobile MS dei nodi a loro affiliati; in questo modo, in tutti i nodi interni e foglia della rete, la temporizzazione viene ricevuta dal nodo affiliante e (solamente nel caso dei nodi interni) trasferita al/ai nodo/i affiliato/i.

15 Tutti i dispositivi vengono progettati in modo da lavorare in entrambe le modalità, come mostrato nello schema a blocchi di figura 13. Come prima scelta il dispositivo usa, se disponibile, il segnale GPS dal quale ottiene un riferimento di tempo universale e al
20 quale allinea il suo orologio interno. Se il segnale GPS è assente, la temporizzazione viene ricavata dal nodo radice attraverso la procedura sotto descritta. La scelta sull'impostazione del tipo di sincronizzazione non è fissa, ma viene effettuata da ciascun nodo della
25 rete sulla base della disponibilità del segnale GPS o

meno (il segnale GPS può non essere assicurato per tutta la durata di attività della rete).

La temporizzazione utilizzata dalla sezione mobile MS di ciascun nodo tiene conto del ritardo dovuto alla propagazione del segnale nel collegamento fra la sezione mobile MS del nodo in questione e la sezione radio base BS del nodo a cui essa è affiliata tramite un anticipo o "timing advance" avente lo scopo di compensare tale ritardo e ottenere un allineamento temporale fra la sezione radio base BS di un nodo e la sezione mobile BS del nodo affiliato. Nel caso di assenza del segnale GPS, tale ritardo viene calcolato con la procedura sotto descritta con riferimento alla figura 7.

In dettaglio, durante la procedura di affiliazione di un nodo N_1 ad un nodo "affiliante" N_i di una rete, o in seguito a perdita del segnale GPS, all'istante t_i il nodo affiliante N_i (ad esempio un nodo root) invia, tramite la propria stazione radio base BS_i , un frame DL (passo 30), che viene ricevuto in un istante $t = t_i + TD$ dalla sezione mobile MS_1 del nodo N_1 in via di affiliazione, in cui TD è il ritardo di propagazione. La sezione base MS_1 del nodo in via di affiliazione N_1 risponde, trasmettendo un messaggio opportuno, al nodo affiliante N_i (passo 32; qui si trascurano eventuali ritardi interni nel rilevamento del frame DL e

nell'invio della risposta). Non appena il nodo affiliante N_i riceve il messaggio di ritorno (all'istante $t=t_i+RTD$, in cui RTD -Round Trip Delay- è il ritardo di propagazione totale, passo 34), esso
5 determina il valore del ritardo di propagazione TD .

La sezione radio base BS_i affiliante trasmette quindi tale valore del ritardo di propagazione TD al nodo in via di affiliazione N_1 (passo 38), che lo riceve entro il proprio sotto-livello di PHY-FRAMING e lo
10 fornisce alla propria stazione radio base BS_1 (passo 40). In questo modo, la sezione BS_1 può calcolare l'inizio della sua trama, anticipandola, rispetto al momento iniziale rilevato dei frame ricevuti, in modo da tenere conto del ritardo di propagazione TD , e
15 allinearsi con la trama del nodo N_i .

La stessa procedura viene ripetuta per tutti i nodi successivi affiliantisi, determinando rispettivi ritardi di propagazione TD_2 , TD_3 , ecc. Ciascun nodo N_i può quindi calcolare, rispetto al momento di inizio frame
20 ricevuto (inizio di frame "percepito"), l'anticipo da utilizzare per compensare il proprio ritardo di propagazione e in tal modo allinearsi alla trama del nodo radice, come mostrato per esempio in fig. 8.

In particolare, la figura 8 mostra la sequenza
25 temporale di sincronizzazione nel caso di un nodo radice

N0, un nodo N1 affiliato al nodo radice N0 ed un nodo N2 affiliato al nodo N1. Come si nota, il nodo N1 (dopo aver ricevuto il valore del proprio ritardo TD1, aver calcolato, tramite la propria stazione mobile BS1, l'istante t_0 , in cui il nodo radice N0 aveva inviato la propria trama DL) tramite la propria stazione radio base BS1 invia la propria trama di DownLink al successivo nodo N2 all'istante $t_1' = t_0' - TD1$ (in cui l'apice indica che il tempo non è assoluto, ma riferito all'inizio del frame). Analogamente, dopo la procedura di sincronizzazione, il nodo N2 conosce il proprio ritardo TD2 e l'istante t_1' e può generare la propria trama di downlink DL2 in anticipo, tenendo conto del proprio ritardo TD2.

In generale, la stazione radio base BS di ciascun nodo può anche trasmettere in uno slot non contiguo a quello in cui è attiva la sua stazione mobile MS, ma utilizzare frame successivi.

Nel caso di presenza del segnale GPS, ogni nodo può calcolare direttamente il proprio ritardo di propagazione TD rispetto al nodo a cui esso è affiliato.

Il ritardo di propagazione totale RTD, e quindi l'anticipo TD che ciascun nodo non radice utilizza per l'invio sincronizzato dei propri frame, vengono calcolati periodicamente dai nodi della rete in modo da

tenere conto della mobilità dei nodi. Inoltre, essi vengono calcolati anche ogni volta che c'è un handover.

La sincronizzazione di rete è inoltre gestita inserendo opportuni tempi di guardia: un primo tempo di guardia DUTG (Downlink/Uplink Transition Gap) tra la sottotrama di downlink DL e la sottotrama di uplink UL, e un secondo tempo di guardia UDTG (Uplink/Downlink Transition Gap) tra la sottotrama di uplink UL e la sottotrama di downlink DL (figure 9a e 9b, mostranti la suddivisione dello slot come visto da una generica stazione radio base BS e il corrispondente slot come visto dalla stazione mobile MS affiliata a tale stazione radio base BS). I tempi di guardia DUTG e UDTG sono dimensionati in modo da includere i transitori con cui si passa da trasmissione e ricezione, e viceversa, nonché il transitorio dovuto al cambio di frequenza legato al sottolivello SEC (frequency hopping); di conseguenza i tempi di guardia dipendono anche dalle capacità di switch frequenziale del sottolivello PHY DIG-RADIO.

Per tenere conto dei ritardi di propagazione TD sopra discussi con riferimento alle figure 7-8, ciascun generico slot comprende un ulteriore tempo di guardia di compensazione chiamato PDC (Path Delay Compensation).

Tale tempo di guardia compensazione PDC si

distribuisce diversamente tra la stazione mobile MS e la stazione radio base BS, anche in funzione della reciproca distanza e dipende dal raggio di copertura di ogni singolo nodo di rete: per garantire, per es., una portata di 13 km, esso deve essere maggiore di 86,7 μ s.

In particolare, affinché il segnale in uplink (da una stazione mobile MS alla stazione radio base BS collegata a questa) arrivi alla stazione radio base BS all'interno del macroslot corrente, la trasmissione è anticipata di un tempo variabile T_k pari al ritardo di propagazione totale RTD specifico di quella stazione mobile MS, in modo da tenere conto sia del ritardo di ricevimento dell'inizio del frame sia del ritardo di propagazione della trasmissione in uplink. In generale:

$$0 \leq T_k \leq PDC,$$

con $T_k = 0$ per BS e MS alla minima distanza

e $T_k = PDC$ per BS e MS alla massima distanza.

La struttura a trame interallacciate del sottolivello SL fa sì che un nodo che vuole entrare nella rete mettendosi in ascolto sulla frequenza di lavoro, riceva i segnali di più stazioni radio base BS, fra loro sfalsati nel tempo, e debba decidere su quale slot temporale tentare l'accesso. Il sottolivello PHY FRAMING prevede quindi che un nodo che tenta l'accesso sia in grado di operare prima una scelta su quale slot

temporale del sottolivello SL tentare l'accesso. Tale procedura avviene sotto il coordinamento del modulo MESH-Controller 21 (figura 3).

Sottolivello MA

5 Il sottolivello MA fornisce la possibilità ad una pluralità di nodi di accedere ad uno stesso slot. In particolare, più stazioni mobili MS possono comunicare con la stazione radio mobile BS del nodo a cui è stata assegnata una risorsa di tempo TDM, sfruttando una
10 tecnica ad accesso multiplo quale OFDMA o CDMA.

In questo modo, le comunicazioni fra una stazione radio base BS e le rispettive stazioni mobili MS possono essere distinte e recuperate o attraverso l'uso di codici distinti (CDMA) o attraverso un'opportuna
15 divisione delle risorse tempo-frequenza (OFDMA).

Ad esempio, la figura 10 mostra l'associazione di uno slot attribuito ad una stazione radio base BSi generica nel caso di utilizzazione di una tecnica ad accesso multiplo OFDMA.

20 Nel presente caso, la suddivisione TDM dell'omologo sottolivello è trasparente alle stazioni mobili MS: la trama del sottolivello MA (a cui accedono le stazioni mobili MS) può avere una durata temporale virtualmente pari a T_f , anche se in realtà i nodi sono abilitati a
25 comunicare solo nello slot assegnato al sottolivello TDM

di durata T_f/N (figura 11b, come spiegato più in dettaglio in seguito). In questo modo le stazioni mobili MS connesse percepiscono solo una stazione radio base BS con trama T_f e non percepiscono la presenza del sottolivello TDM che sta sopra, quindi le stazioni mobili MS non hanno strutture hardware o software aggiuntive per gestire tale sottolivello TDM.

Per fare questo, ogni stazione radio base BS, e di conseguenza le stazioni mobili MS affiliate ad essa, devono limitare le proprie comunicazioni entro lo slot di competenza pur non essendoci un tale limite fisico. In altre parole, a livello fisico, la durata della trama è pari a T_f , ma i dati possono essere allocati solo in una porzione di questa. Per fare questo vengono limitate le sottotrame di uplink e downlink. Per la sottotrama di downlink è sufficiente rendere adattativo il limite tra downlink e uplink (già presente in standard attuali). Per la trama di uplink, le zone previste dallo standard WiMAX IEEE 802.16-2005 vengono utilizzate in modo diverso da quanto previsto dallo standard stesso. Nei sistemi multi-portante, infatti, dove l'allocazione dei dati avviene in due dimensioni tempo-frequenza, può succedere che i dati vengano allocati prima nel tempo, fino alla fine del frame, e poi in frequenza. Per esempio nello standard WiMAX citato, l'allocazione dei

dati nella trama avviene per righe (come mostrato in fig. 11a). Ciò significa che la trasmissione di dati comincia riempiendo la prima riga (ad una prima frequenza), fino in fondo al frame (quindi per tutto il tempo disponibile), e poi riempiendo successivamente le righe seguenti (ciascuna ad una diversa frequenza). Il presente nodo evoluto, fig. 11b, sfrutta il concetto di zona previsto nello standard WiMAX e alloca i dati per righe, delimitando le porzioni tempo-frequenza nella sottotrama MA all'interno dello slot.

In pratica, nel presente caso, ciascuno slot è formato da una pluralità prefissata di righe, in cui ciascuna riga è associata ad una rispettiva frequenza (secondo quanto definito nel sottolivello MA) ed ha una durata temporale pari esattamente a T_f/N , per cui i dati vengono allocati per righe solo fino a questo limite. Quindi, per ciascuna stazione mobile MS, le zone vengono usate in modo da non trasmettere dati dopo il tempo T_f/N ; dopo T_f/N c'è solo una zona virtuale con dati nulli, non utilizzabile dalla stazione mobile MS (zona DN in figura 11b).

Sottolivello SEC

Tale sottolivello, come indicato sopra, ha lo scopo di permettere un salto di frequenze (Frequency Hopping), utile per motivi di sicurezza. Come è noto, il frequency

hopping è un metodo di trasmissione in cui i segnali radio vengono trasmessi modificando regolarmente la frequenza della portante secondo un codice pseudocasuale predeterminato (sequenza di hop), noto sia al
5 trasmettitore che al ricevitore.

Il numero delle frequenze di hop, K , dipende da tre parametri: range di frequenze in cui opera il sistema (B_{min} , B_{max}); distanza tra le frequenze di hop (Δhop , passo di hop); e larghezza di banda del segnale (B) e
10 viene calcolato secondo la seguente formula:

$$K = \left\lceil \frac{B_{max} - B_{min}}{\Delta hop} \right\rceil$$

con $\Delta hop \geq B$. Ad esempio, $B_{min} = 200$ MHz, $B_{max} = 400$ MHz e $B = 5$ MHz o 10 MHz.

K rappresenta anche il guadagno di processo. Un
15 valore maggiore di K aumenta le caratteristiche di sicurezza della trasmissione. Ad esempio, $K=20$. La frequenza di hop è tale da avere una commutazione ad ogni periodo di slot (dato dal sottolivello TDM). Nel caso di trasmissione in multi-slot, ovvero in più slot
20 consecutivi allocati ad una stazione radio base BS, la frequenza non cambia, mentre il contatore che scandisce la sequenza dei salti si incrementa regolarmente, slot per slot, come evidenziato in Figura 4.

L'adozione del salto in frequenza è comunque utile
25 per eliminare eventuali sorgenti di interferenza che

possono essere generate intenzionalmente o da altri sistemi che operano sulla stessa banda. Se, ciò nonostante, si creano situazioni di interferenza, è possibile ridurre la frequenza di hop ovvero cambiare
5 frequenza, comunque in modo coordinato con il sottolivello TDM.

In figura 12 è mostrato uno schema a blocchi del nodo 2. In dettaglio, un'antenna 50 è collegata ad un mixer 51 che converte in frequenza il segnale ricevuto
10 al fine di abbassarne la frequenza e consentirne un campionamento da parte di un convertitore A/D 52.

Il convertitore A/D 52 genera campioni IQ, ad esempio a 14 bit, e li fornisce ad un blocco FPGA (Field Programmable Gate Array) 53 che esegue trattamenti del
15 segnale (es. filtraggi di banda, decimazione ed interpolazione) in preparazione alle operazioni eseguite da un blocco DSP (Digital Signal Processor) PHY 54 collegato ad esso. I blocchi 51-53 formano un'unità di trattamento segnali 58.

20 Il blocco DSP PHY 54 ha la funzione di eseguire le funzioni del livello fisico, dal calcolo delle trasformate FFT/IFFT alle operazioni legate alla trasmissione/ricezione OFDMA e fornisce i dati elaborati ad una unità di elaborazione centrale CPU 55, da cui
25 riceve anche i dati da elaborare e trasformare in

segnali analogici, tramite i blocchi 53, 52 e 51 da trasmettere all'esterno mediante l'antenna 50.

La CPU 55 si occupa di supervisionare e coordinare le fasi sia del livello fisico PHY che dei livelli superiori (MAC) e a livello logico copre il ruolo di controllore. Le altre funzioni logiche risiedono interamente in altri blocchi DSP, indicati con DPS AL 56. Una linea dati 57 consente l'invio di segnali di controllo dalla CPU 55 ai blocchi 51-54, 56 del nodo 2 e lo scambio di segnalazioni/dati necessari per il funzionamento. La linea dati 57 permette anche lo scambio di dati digitali fra i blocchi FPGA, DSP e CPU 53-56.

In pratica, il convertitore A/D 52, il blocco FPGA 53, il blocco DSP PHY 54 e parte della CPU 55 formano il sottolivello PHY-DIG-RADIO di figura 2.

La figura 13 mostra uno schema logico di gestione dei sottolivelli PHY del nodo di figura 2.

In dettaglio, un blocco di sincronizzazione 60, appartenente al sottolivello PHY-FRAMING di figura 2 e implementato, ad esempio, mediante un DSP e circuiteria elettronica dedicata, comprende un'unità di ricerca GPS 61 collegata all'antenna 50. L'unità di ricerca GPS 61 rileva l'eventuale presenza di un segnale GPS e controlla un orologio interno 62 sulla base

dell'eventuale segnale GPS rilevato o, se questo non è disponibile, della sincronizzazione di frame, includente il "timing advance" sopra descritto con riferimento al sottolivello TDM. A tale scopo, l'unità di ricerca GPS attiva o disattiva selettivamente un'unità di elaborazione del segnale GPS 63 e un'unità di sincronizzazione di frame 64, che vengono connesse selettivamente all'orologio interno 62. In questo modo, l'orologio interno 62 è sincronizzato con i clock degli altri nodi appartenenti alla rete e genera un riferimento "universale".

L'orologio interno 62 fornisce quindi il riferimento temporale universale ad un controllore PHY 65 che riceve anche informazioni di controllo dai livelli superiori in modo da generare riferimenti temporali necessari ai controllori dei tre sottolivelli descritti (controllore TDM 66, controllore OFDMA/CDMA 67 e controllore TRANSEC 68).

In dettaglio, il controllore TDM 66 fornisce ad un gestore slot/macroslot TDM 70 la temporizzazione necessaria per generare gli slot/macroslot e consentire di costruire la struttura con gli opportuni tempi di guardia. Il controllore TDM 66 fornisce al controllore OFDMA/CDMA 67 l'istante di inizio degli slot e/o macroslot e la loro durata; sulla base di tali

informazioni, il controllore OFDMA/CDMA 67 genera i parametri relativi allo slot corrente (CP - prefisso ciclico, dimensione FFT, numero e caratteristiche dei burst, durata di uplink e downlink, ecc.), forniti
5 quindi ad un generatore frame OFDMA/CDMA 71.

Il generatore frame OFDMA/CDMA 71 crea il macroslot sulla base dei parametri in ingresso e, nel caso di modulazione OFDMA, genera i simboli OFDMA allocando i burst.

10 Il controllore TRANSEC 68 si sincronizza con i dati in ingresso provenienti dal controllore TDM 66, e fornisce ad un sintetizzatore di frequency hopping FH 72 i parametri necessari per generare la frequenza di hop relativa al macroslot corrente, sulla base anche di
15 eventuali macroslot, come sopra indicato.

Il gestore macroslot TDM 70, il generatore frame OFDMA/CDMA 71 e il sintetizzatore FH 72 sono infine collegati alle unità di elaborazione dati e segnali 51-53 di figura 12, qui identificate genericamente di
20 blocco RF 75, per il trattamento e la trasmissione dei segnali.

Grazie alla struttura e alle procedure descritte, i nodi sono in grado di costituire un sistema di radiocomunicazione autonomo, auto-formante, auto-
25 mantenente, resiliente e con caratteristiche di

sicurezza di interfaccia radio tali da potere essere
certificato CC, EAL4+ ed ulteriori livelli. Ciascun nodo
contiene al proprio interno tutte le capacità per
garantire la connessione radio tra loro, per
5 controllarla nonché per instradare le comunicazioni (di
traffico e di servizio) nel loro percorso in rete dal
nodo che li ha generati al nodo di destinazione
attraverso i nodi ripetitori.

Risulta infine evidente all'architettura di nodo
10 qui descritta ed illustrata possono essere apportate
modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito
protettivo della presente invenzione, come definito
nelle rivendicazioni allegate.

RIVENDICAZIONI

1. Struttura di nodo (2) per applicazioni radio mobili a larga banda, configurata in modo da consentire il collegamento con ulteriori nodi (2) secondo un ruolo selezionabile dinamicamente fra un ruolo di gestore di rete, un ruolo di nodo intermedio ed un ruolo di foglia, in cui il ruolo di gestore di rete comporta l'esecuzione di una funzione di assegnazione di ruoli di rete, una gestione di una trama di comunicazione ed una gestione di una connessione di trasmissione in downlink e di una connessione di ricezione in uplink con almeno un primo nodo fra detti ulteriori nodi; il ruolo di nodo intermedio comporta l'esecuzione di una gestione di una connessione di ricezione in downlink e di una connessione di trasmissione in uplink ad un secondo nodo e la gestione di una connessione di trasmissione in downlink e di una connessione di ricezione in uplink con almeno un terzo nodo, diverso dal secondo nodo, per funzioni di scambio dati; e il ruolo di foglia comprende solo una gestione di una connessione di ricezione in downlink e di una connessione di trasmissione in uplink per le funzioni di scambio dati,

la struttura di nodo (2) comprendendo una stazione radio base (BS) configurata in modo da eseguire detta funzione di gestione di connessione di trasmissione in

downlink e ricezione in uplink ed una stazione mobile (MS) configurata in modo da eseguire detta gestione di ricezione di downlink e di trasmissione di uplink, la stazione radio base e la stazione mobile essendo formate
5 ciascuna da una rispettiva pila (BS STACK; MS STACK) di livelli di controllo includenti ciascuna un livello di gestione di funzioni di connessione dati (MAC) ed un livello di gestione di connessione fisica (PHY),

detto livello di gestione di funzioni di connessione
10 dati (MAC) comprendendo un'unità di interfaccia superiore (MAC SSCS); un'unità di gestione di funzionalità di connessione base (CPCS) ed un'unità di gestione di funzioni di sicurezza (SSL), per ogni pila di livelli di controllo, ed un'unità di elaborazione di
15 informazioni di rete (MESH LAYER), comune ad entrambe dette pile di livelli di controllo e collegata a dette unità di interfaccia superiore (MAC SSCS) e a dette unità di gestione di funzionalità di connessione base (CPCS) di entrambe dette pile,

20 e detto livello di gestione di connessione fisica (HY) comprendendo un'unità di gestione di intervalli di tempo di comunicazione (PHY FRAMING) ed un'unità di generazione di segnali di dati (PHY RF), comuni ad entrambe dette pile.

25 2. Struttura di nodo secondo la rivendicazione 1, in

cui detta unità di elaborazione di informazioni di rete (MESH LAYER) comprende un'unità computazionale (20) includente:

un modulo controllore di rete (21) connesso ad una
5 matrice di connettività di nodi (28), atta a contenere informazioni di connessione e di ruolo di ulteriori nodi della rete collegati a detta struttura di nodo attraverso della stazione radio mobile (BS), il modulo controllore di rete (21) essendo collegato alle unità di
10 gestione di funzionalità di connessione base (CPCS) di entrambe le pile per lo scambio di messaggi di controllo di ruolo;

un modulo di instradamento messaggi (22) collegato al modulo controllore di rete (21) e alle unità di
15 gestione di funzionalità di connessione base (CPCS) di entrambe le pile, atto a gestire lo scambio dei messaggi di controllo di ruolo generati o ricevuti dal modulo controllore di rete (21);

un modulo di gestione di cambiamento di ruolo (23),
20 collegato al modulo controllore di rete (21) e al modulo di instradamento messaggi (22), atto a gestire fasi di cambio di ruolo della struttura di nodo;

un modulo di gestione topologia (26), collegato al modulo controllore di rete (21) e al modulo di
25 instradamento messaggi (22), atto a verificare

condizioni di connessione fra la struttura di nodo e gli
ulteriori nodi e a comandare cambiamenti di ruolo, il
modulo di gestione topologia (26) essendo attivo solo in
caso di struttura di nodo avente ruolo di gestore di
5 rete; e

un modulo di trasferimento di informazioni
topologiche (27), collegato al modulo di gestione
topologia (26) e alle unità di interfaccia superiore
(MAC SCS) di entrambe le pile, atto a trasferire
10 informazioni topologiche fra questi.

3. Struttura di nodo secondo la rivendicazione 2, in
cui l'unità computazionale (20) comprende inoltre:

un modulo di controllo di esplorazione (24),
collegato al modulo controllore di rete (21) e al modulo
15 di instradamento messaggi (22), atto a comandare
procedure di esplorazione attraverso la stazione radio
base (BS) della struttura di nodo; e

un modulo di controllo misure (25), collegato al
modulo controllore di rete (21) e al modulo di
20 instradamento messaggi (22), atto a comandare procedure
di misura di condizioni di visibilità degli ulteriori
nodi e a fornire, al modulo controllore di rete (21),
dati di visibilità misurati di aggiornamento della
matrice di connettività di nodi (28).

25 4. Struttura di nodo secondo una qualsiasi delle

rivendicazioni 1-3, in cui l'unità di gestione di intervalli di tempo di comunicazione (PHY FRAMING) comprende un controllore di trama in tecnica a modulazione di tempo (SL TDM, 66), atto a controllare l'invio di unità dati verso gli ulteriori nodi (2) in intervalli di tempo prefissati nella trama di comunicazione; un controllore di accesso multiplo (SL MA, 67), atto a controllare l'invio delle unità dati verso gli ulteriori nodi in modo ortogonale in tecnica OFDMA/CDMA; ed un controllore di sicurezza (SL SEC, 68), atto a comandare variazioni di frequenza di trasmissione di dette unità dati in intervalli di tempo successivi utilizzando un codice pseudocasuale.

5. Struttura di nodo secondo la rivendicazione 4, in cui l'unità di gestione di intervalli di tempo di comunicazione (PHY FRAMING) comprende un'unità di sincronizzazione (30-40, 60) includente un orologio interno (62) avente un ingresso di sincronismo; un modulo di ricerca GPS (61), atto a ricercare un segnale GPS e generare un comando di attivazione/disattivazione sincronizzazione GPS; un modulo di elaborazione segnale GPS (63) ed un modulo di generazione interna sincronismo (64), riceventi detto comando di attivazione/disattivazione sincronizzazione GPS e collegati alternativamente a detto orologio interno (60).

6. Struttura di nodo secondo la rivendicazione 5, configurata in modo da essere connessa in condizione di ricezione e trasmissione in uplink ad un nodo gerarchicamente superiore avente ruolo di gestore rete o interno, in cui il modulo di generazione interna sincronismo (64) viene attivato in caso di struttura di nodo avente ruolo interno o di foglia e comprende mezzi (32) atti a rilevare un istante di inizio di trama ricevuta proveniente da detto nodo gerarchicamente superiore, mezzi atti a ricevere un'informazione di ritardo rispetto a detto nodo gerarchicamente superiore, e mezzi atti a generare un segnale di sincronismo per detto orologio interno (60) in anticipo rispetto a detto istante di inizio di trama.

7. Struttura di nodo secondo la rivendicazione 5, configurata in modo da essere connessa in condizione di trasmissione e ricezione in downlink ad un nodo gerarchicamente inferiore avente ruolo interno o foglia, in cui l'unità di gestione di intervalli di tempo di comunicazione (PHY FRAMING) comprende mezzi (30) atti a trasmettere una trama (DL) al nodo gerarchicamente inferiore, mezzi (34) atti a ricevere una risposta dal nodo gerarchicamente inferiore e mezzi (36) atti a calcolare un'informazione di ritardo di detta risposta rispetto a detta trama trasmessa.

8. Struttura di nodo secondo la rivendicazione 5, configurata in modo da essere connessa in condizione di trasmissione in uplink ad un nodo gerarchicamente superiore avente ruolo di gestione rete o interno, in cui l'unità di gestione di intervalli di tempo di comunicazione (PHY FRAMING) comprende mezzi di determinazione (63; 64) di un ritardo di propagazione di segnali trasmessi da detto nodo gerarchicamente superiore a detta struttura di nodo; e mezzi (65-66) atti a determinare un anticipo di trasmissione in uplink a detto nodo gerarchicamente superiore pari a detto ritardo di propagazione.

9. Rete radio mobile a larga banda, comprendente una pluralità di nodi secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-8.

10. Metodo di gestione delle comunicazioni in una rete radio mobile a larga banda comprendente una pluralità di nodi (2) aventi ciascuno una stazione radio base (BS) ed una stazione mobile (MS), comprendente le fasi di:

assegnare un ruolo di gestore della rete ad un primo nodo;

in cui il primo nodo esegue le fasi di:

assegnare, ad ulteriori nodi della rete, ruoli topologici scelti fra intermedio e foglia, in cui

ciascun nodo con ruolo intermedio è affiliato al nodo con ruolo di gestore di rete o ad un nodo con ruolo intermedio e affilia un nodo con ruolo intermedio o di foglia;

5 assegnare una trama di comunicazione comprendente una pluralità di intervalli temporali, associando almeno un intervallo temporale a ciascun nodo con ruolo di gestore di rete e intermedio, in cui ciascun nodo con ruolo di foglia comunica con il nodo di gestore di rete
10 o intermedio a cui esso è affiliato entro l'intervallo temporale associato al rispettivo nodo a cui esso è affiliato;

 in cui le trasmissioni di unità di dati da ciascun nodo con ruolo di gestore di rete e intermedio verso i
15 rispettivi nodi affiliati sono gestite nella rispettiva stazione radio base (BS) e la trasmissione di unità di dati da ciascun nodo affiliato verso il rispettivo nodo affiliante sono gestite nella rispettiva stazione mobile (BS) e dette fasi di assegnare ruoli topologici e
20 assegnare una trama di comunicazione vengono eseguite in un livello di elaborazione di informazioni di rete (MESH LAYER) comune a dette stazioni radio base e mobile;

 e in cui dette unità di dati vengono trasmesse negli intervalli temporali assegnati a ciascun nodo sotto il
25 controllo di un livello di gestione di intervalli di

tempo di comunicazione (PHY FRAMING) comune a dette stazioni radio base e mobile.

11. Metodo secondo la rivendicazione 10, in cui detto livello di elaborazione di informazioni di rete
5 (MESH LAYER) esegue fasi di:

gestione della struttura di rete, includente la fase di modificare dinamicamente i ruoli assegnati ai nodi della rete;

gestione dell'ingresso in rete di nuovi nodi,
10 includente la fase di affiliare nodi non appartenenti a detta pluralità di nodi come nodi con ruolo di foglia o interno;

gestione mobilità, includente le fasi di autorizzare e vietare cambiamenti di ruolo di detti nodi;

15 scoperta di nuovi nodi e nuove reti, comprendente le fasi di stabilire periodi di tempo di esplorazione ed inviare comandi verso i nodi con ruolo di foglia per l'attivazione di fasi di esplorazione alla ricerca di nuovi nodi;

20 gestione dei problemi di connessione di nodi con ruolo interno, comprendente le fasi di coordinare operazioni di mantenimento delle connessioni fra i nodi della rete; e

raccolta misure, includente le fasi di creare una
25 matrice di visibilità dei nodi e distribuire detta

matrice di visibilità ai nodi della rete.

12. Metodo secondo la rivendicazione 10 o 11, in cui la fase di associare un intervallo temporale comprende le fasi di:

5 assegnare una prima porzione di detti intervalli temporali a trasmissioni da nodi con ruolo intermedio o di gestore di rete verso rispettivi nodi affiliati e assegnare una seconda porzione di detti intervalli temporali a trasmissioni dai rispettivi nodi affiliati
10 verso detti nodi con ruolo intermedio o di gestore di rete.

13. Metodo secondo la rivendicazione 12, in cui dette trasmissioni di unità dati comprendono l'allocazione di dati per righe, in cui ciascuna riga è
15 associata ad una rispettiva frequenza e presenta una durata temporale (T_f/N) pari alla rispettiva porzione di detti intervalli temporali e ciascun intervallo temporale comprende un numero prefissato di righe.

14. Metodo secondo una qualsiasi delle
20 rivendicazioni 10-13, in cui la fase di assegnare ruoli topologici comprende affiliare un gruppo di nodi con ruolo interno o di foglia ad un singolo nodo con ruolo di gestore di rete o interno, e la fase di associare un intervallo temporale comprende modulare trasmissioni fra
25 detto singolo nodo e detto gruppo di nodi con una

tecnica scelta fra OFDMA e CDMA.

15. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 10-14, in cui la fase di associare un intervallo temporale comprende la fase di:

5 associare ciascun intervallo temporale ad una propria banda di frequenze.

16. Metodo secondo la rivendicazione 15, in cui la fase di associare un intervallo temporale comprende la fase di associare una pluralità di intervalli temporali consecutivi ad uno stesso nodo con ruolo di gestore di rete o interno, in cui detta pluralità di intervalli temporali consecutivi sono associati ad una stessa banda di frequenze.

17. Metodo secondo la rivendicazione 15 o 16, in cui ciascuna banda di frequenza viene scelta secondo un codice pseudocasuale.

18. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 10-17, comprendente inoltre la fase di sincronizzare detti nodi della rete, includente le fasi di:

ricercare un segnale GPS;

in caso di risultato positivo di detta fase di ricercare, sincronizzare detta pluralità di nodi in base al segnale GPS;

25 in caso di risultato negativo di detta fase di

ricercare, generare un segnale di sincronizzazione interna da parte di detto nodo con ruolo di gestore di rete e sincronizzare detti nodi con ruolo interno o di foglia sulla base di detto segnale di sincronizzazione
5 interna.

19. Metodo secondo la rivendicazione 18, in cui la fase di generare un segnale di sincronizzazione interna comprende le fasi di:

calcolare un primo ritardo di propagazione di un
10 primo messaggio di sincronizzazione da detto nodo con ruolo di gestore di rete ad un proprio nodo affiliato;

calcolare rispettivi ritardi di propagazione di ulteriori messaggi di sincronizzazione da rispettivi nodi con ruolo interno a rispettivi nodi affiliati;

15 inviare detti rispettivi ritardi di propagazione a detti rispettivi nodi affiliati;

e in cui la fase di sincronizzare comprende anticipare trasmissioni da detto proprio nodo affiliato a detto nodo con ruolo di gestore di rete di un tempo
20 pari a detto primo ritardo di propagazione e anticipare trasmissioni da detti rispettivi nodi affiliati a detti rispettivi nodi con ruolo interno di un tempo pari a detti rispettivi ritardi di propagazione.

20. Metodo secondo la rivendicazione 12 o 13 o una
25 qualsiasi delle rivendicazioni 14-19, qualora dipendenti

dalla rivendicazione 12, comprendente inoltre la fase di inserire un intervallo di guardia (DUTG+PDC) fra dette prima e seconda porzione di detti intervalli temporali, in cui ciascuna trasmissione da un nodo affiliato verso un rispettivo nodo affiliante in detta seconda porzione viene anticipata di un tempo correlato ad una distanza fra detto nodo affiliato e il rispettivo nodo affiliante.

p.i.: SELEX COMMUNICATIONS S.P.A.

10

Elena CERBARO

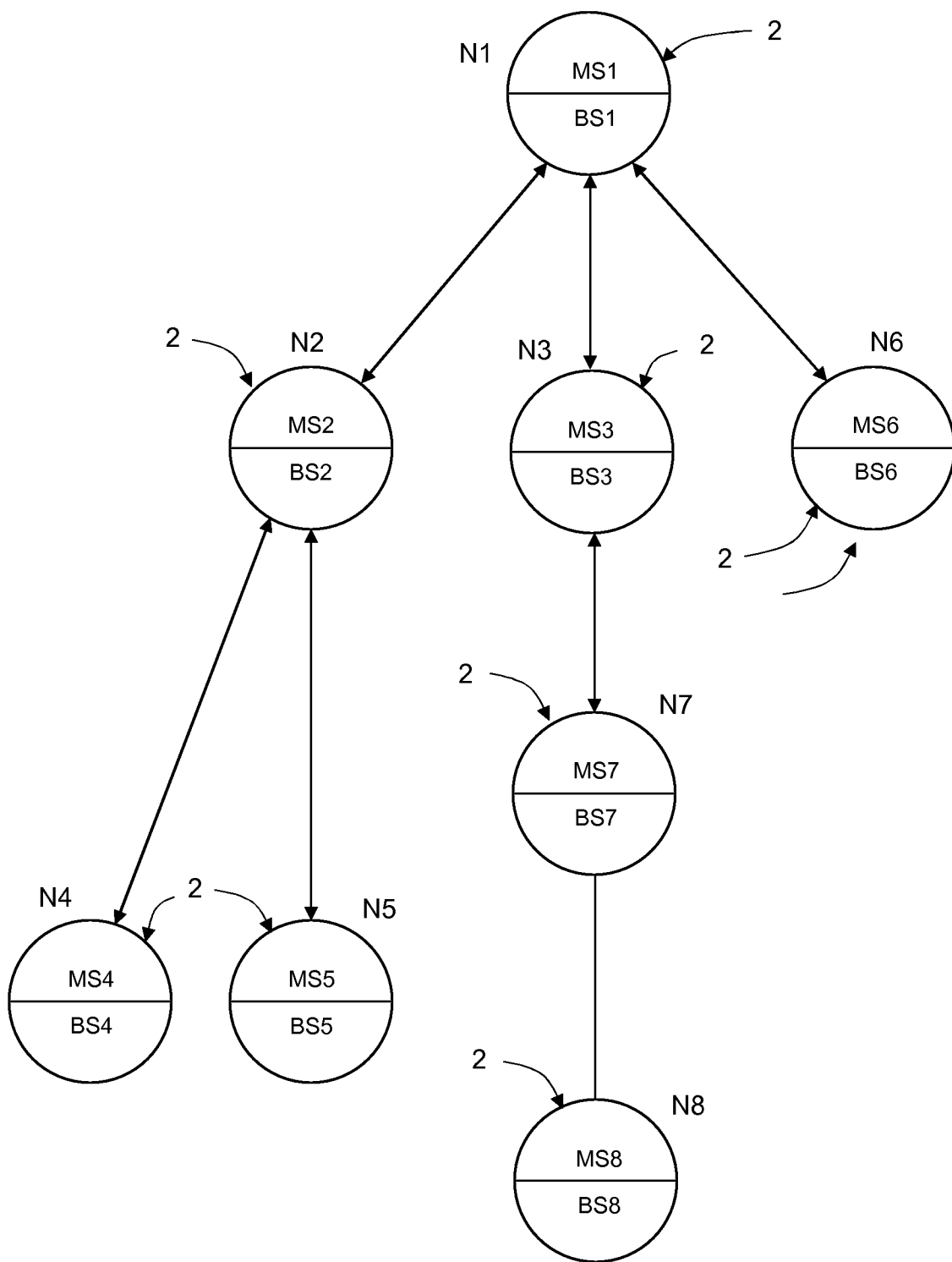


Fig.1

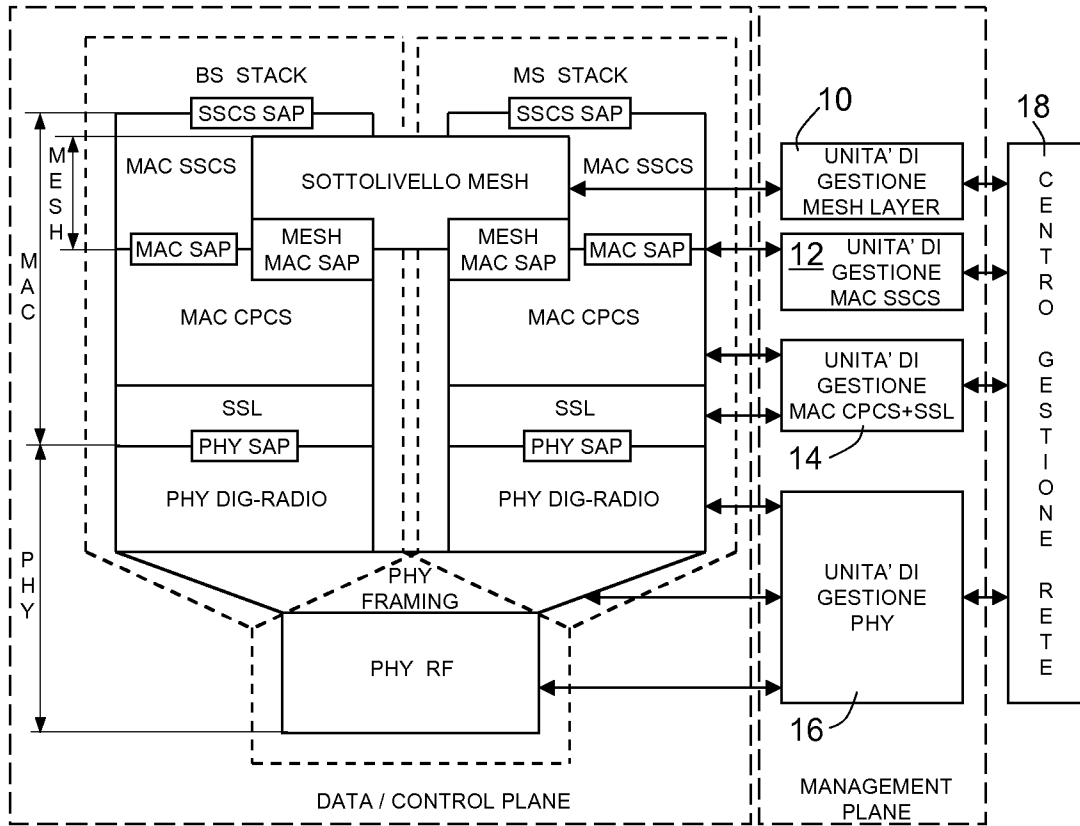


Fig.2

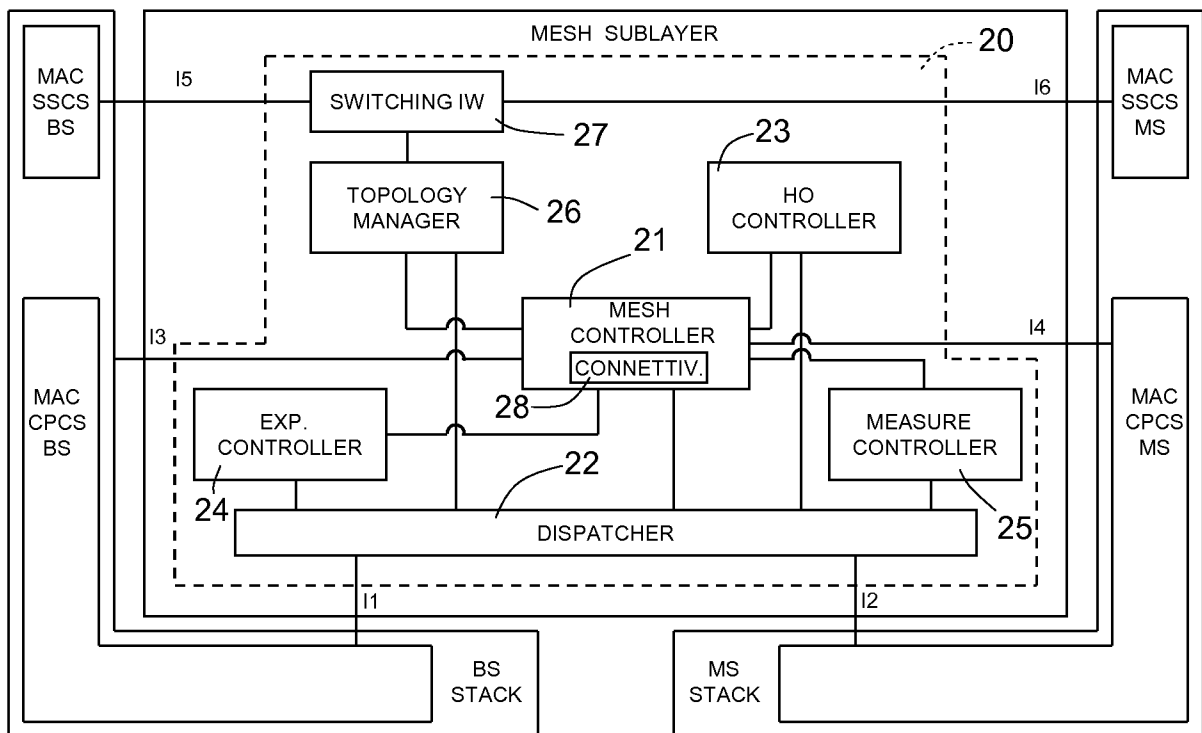


Fig.3

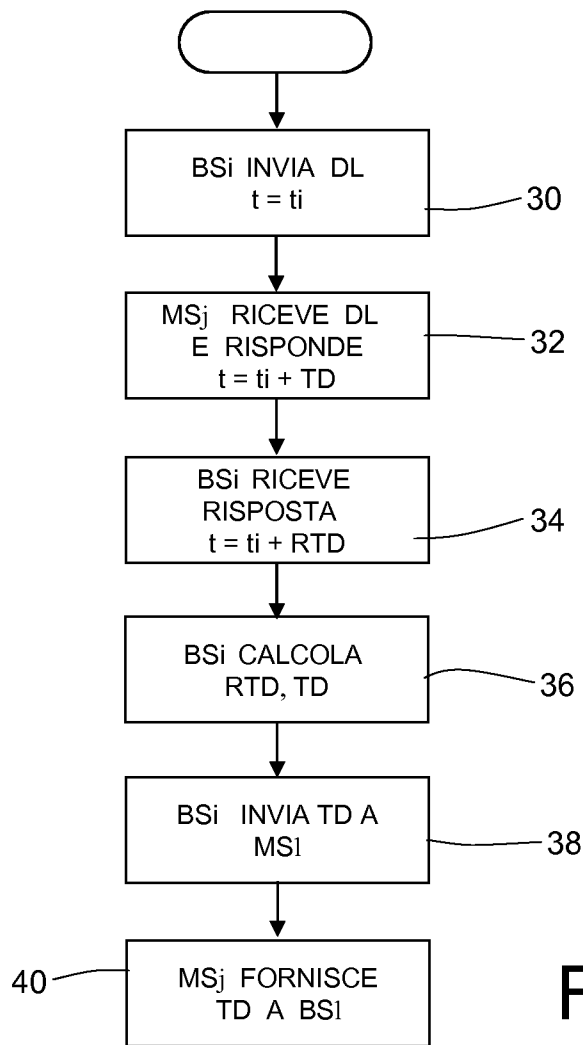


Fig.7

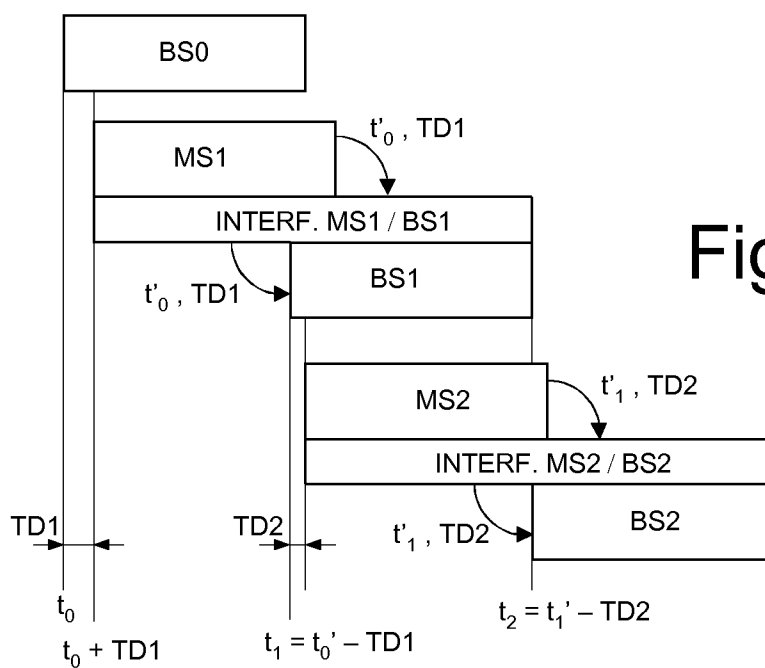


Fig.8

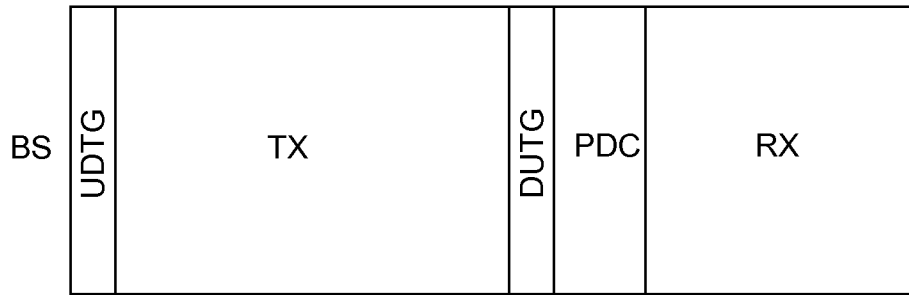


Fig.9a

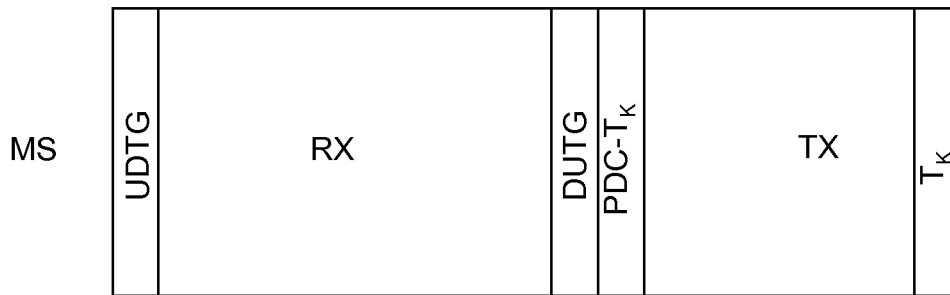


Fig.9b

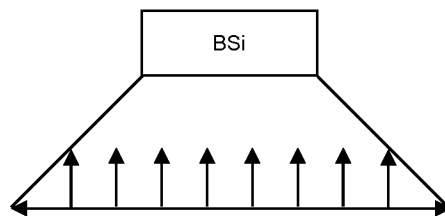


Fig.10

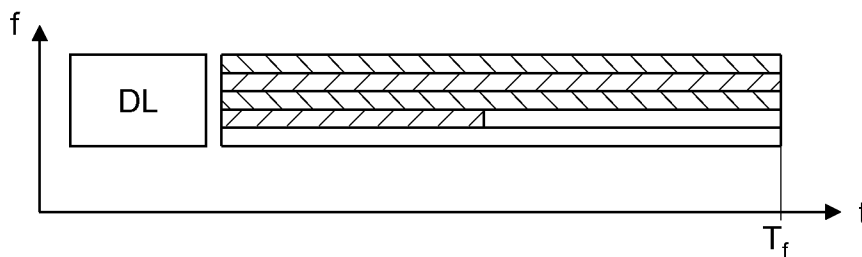


Fig.11a

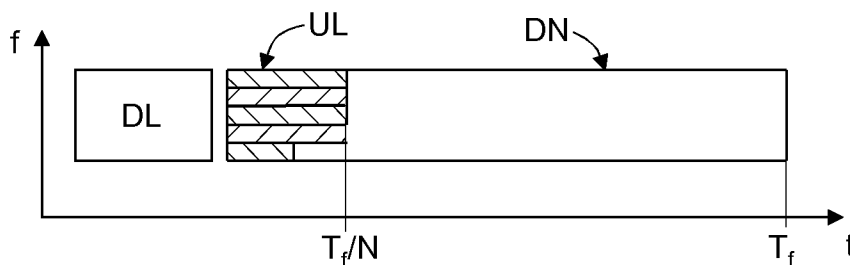


Fig.11b

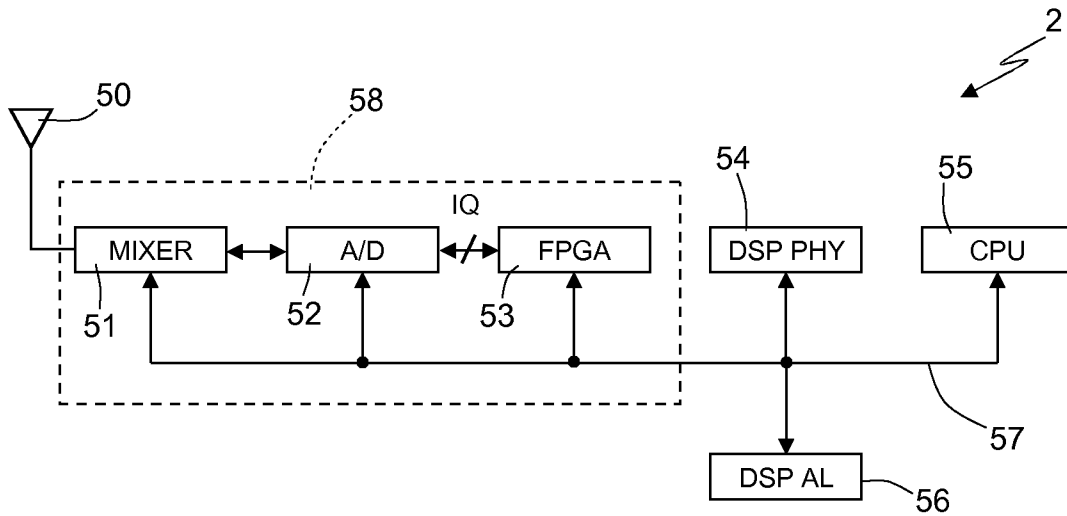


Fig.12

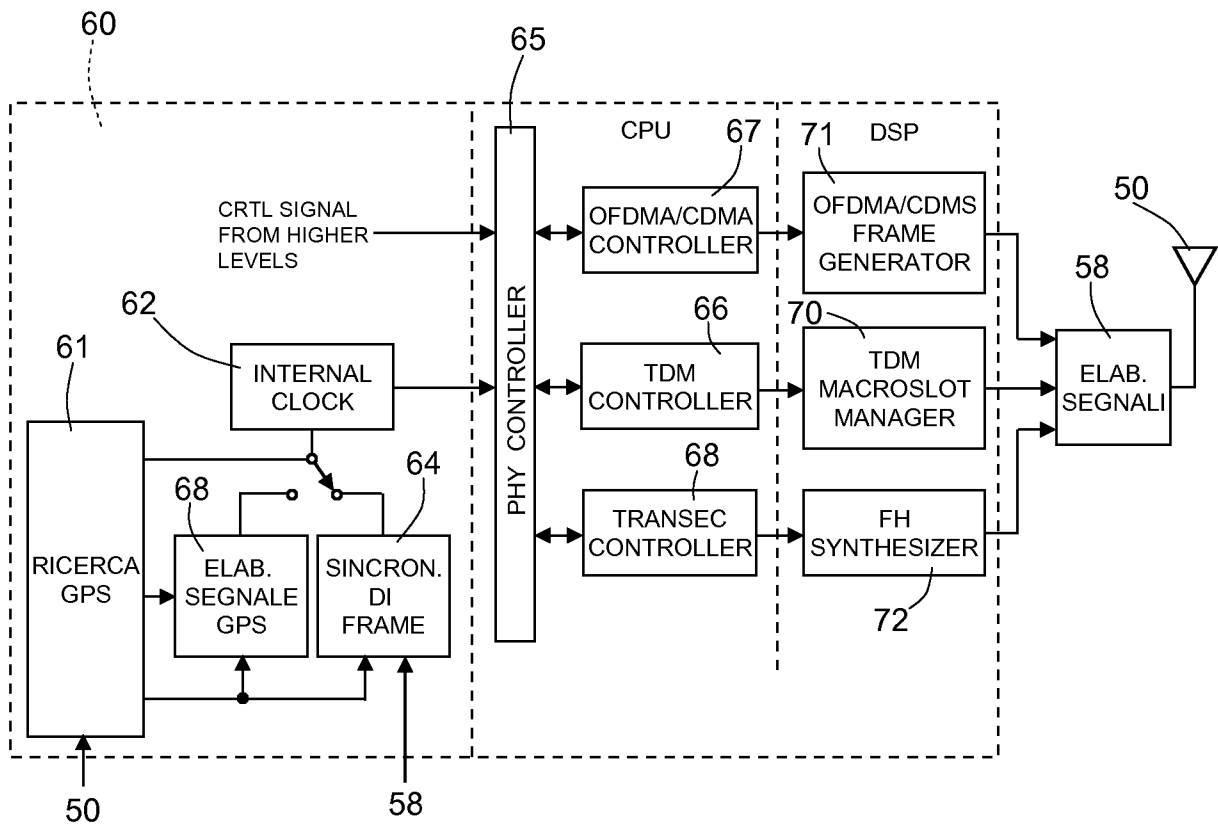


Fig.13