CAMPI ELETTROMAGNETICI E TELEFONIA MOBILE: ESPOSIZIONE UMANA A SEGNALI UMTS

Mauro Cappelli[*], Luciano Tarricone[°], Andrea Abrardo[§], Giuliano Benelli[§]

[*]DIEI - University of Perugia, Via G. Duranti, 93, 06125, Perugia, Italy (currently with DIE - University of Rome "La Sapienza")
[°]Dip. Ingegneria dell'Innovazione, University of Lecce, Via Monteroni, 73100, Lecce, Italy
[§]Dip. Ingegneria dell'Informazione, University of Siena, Via Roma, 56, 53100, Siena, Italy

tarricone@diei.unipg.it

Abstract

The large-scale introduction of the Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) must be forwarded by a suitable evaluation of possible effects of its radiowave signals on end-users. For this purpose, a rigorous characterization of its radio-signals must be performed from the bioelectromagnetic researcher's point of view, putting forwards the relevant parameters characterizing the system and its interaction with living bodies, time, spectral and power behaviour being among the most important issues. In this paper UMTS radiowave signals are accurately investigated. An algorithm is proposed for the numerical generation of such signals, with specific attention to the biological parameters, so that real operating conditions can be accurately simulated, and bioelectromagnetic interactions studied.

INTRODUZIONE

L'introduzione di un nuovo sistema di telecomunicazione comporta sempre una seppur minima ridefinizione dell'ambiente elettromagnetico circostante. Risulta dunque estremamente importante evidenziare i parametri tipici che caratterizzano il sistema, sottolineandone sia gli aspetti legati ai valori di potenza emessa (necessari, ad esempio, al calcolo del SAR) sia quelli legati alle frequenze coinvolte sia, infine, gli aspetti legati all'evoluzione temporale del segnale (conoscenza essenziale per valutare l'eventuale interazione con sistemi biologici dotati di propri tempi di reazione). Un tale tipo di analisi è stata per altro condotta da più parti relativamente al caso di segnali di tipo GSM (cfr. tra gli altri [1], [2], [3]).
Sulla base di tali premesse, saranno di seguito descritti i risultati della standardizzazione del nuovo sistema di comunicazione radiomobile UMTS. Successivamente, verrà presentata una simulazione di un semplice collegamento di UPLINK e ne verranno riportati i risultati salienti. Una parte significativa è dedicata alla presentazione di uno degli elementi più critici del sistema, il Power Control, simulato nelle due tipiche condizioni di traffico (pedestre e veicolare). Sarà infine dato un rapido cenno ad una delle possibili applicazioni di tale algoritmo al caso dell'esposizione di sistemi biologici a livello cellulare.

DESCRIZIONE DELLO STRATO FISICO

Descriveremo in tale sezione lo strato fisico basato sulla WCDMA adottata dal 3GPP Group (cfr.[4], [5]) come tecnica di accesso.
La WCDMA è una DS-CDMA (Direct Sequence-Code Division Multiple Access) a banda larga nella quale i bit di informazione relativi ad ogni utente sono espansi (*spreading*) su una banda più ampia tramite la moltiplicazione con degli opportuni codici generati in modo *quasi-random*; i simboli così generati vengono chiamati *chips*. Il raggiungimento di bit-rate elevate (fino a 2 Mbps) è possibile grazie al ricorso a fattori di spreading variabili e a connessioni multicodice.
Ad una trasmissione di 3.84 Mcps (relativa alla massima bit-rate consentita di 2 Mbps) corrisponde una banda di 5 MHz (mentre una DS-CDMA a banda stretta, come ad es. IS-95, impiega 1 MHz di banda) che l'operatore può ripartire gerarchicamente per aumentare la capacità del sistema.
Ogni utente viene allocato in frame di durata pari a 10 ms, all'interno dei quali la data-rate non varia, mentre può variare fra un frame e l'altro. Tale gestione dinamica dell'interfaccia radio viene effettuata

dalla rete per ottimizzare la portata. Ogni frame viene a sua volta suddiviso in 15 *slot* (ognuno di durata pari a 0.666ms) capaci di alloggiare 2560 chip.
Vi sono due modalità operative possibili: la FDD e la TDD. Nel primo caso, vengono impiegate portanti spaziate di 5 MHz per la trasmissione in UPLINK e in DOWNLINK; nel caso della TDD, invece, un'unica portante viene utilizzata per le due tratte. In quanto segue ci occuperemo esclusivamente della modalità FDD.
Schematicamente, la WCDMA impiegata nel sistema UMTS può vedersi suddivisa in tre fasi principali: le prime due sono dette, nell'ordine, *spreading* e *scrambling*; ad esse segue poi la fase di modulazione vera e propria. La forma d'onda scelta per la codifica binaria dei dati (e dei dai codici di *spreading* e di *scrambling*) è del tipo NRZ con ampiezze +1 e -1. L'operazione che i codici di *scrambling* realizzano non comporta un allargamento della banda ma permette l'attuazione di funzionalità necessarie alla gestione del sistema. Le operazioni di *spreading* e *scrambling*, nella tratta di UPLINK, sui canali fisici DPDCH e DPCCH sono riportate in fig.1, dove i codici di *spreading* sono chiamati C_c (nel caso del DPCCH, *Dedicated Physical Data Channel*) e $C_{d,n}$ (nel caso del DPDCH, *Dedicated Physical Control Channel*). Lo schema di modulazione è una QPSK con sagomatura del tipo *root-raised cosine* (con fattore di roll-off pari a 0.22), in modo da ridurre i problemi di interferenza inter-chip introdotti dalla dispersione temporale del canale.

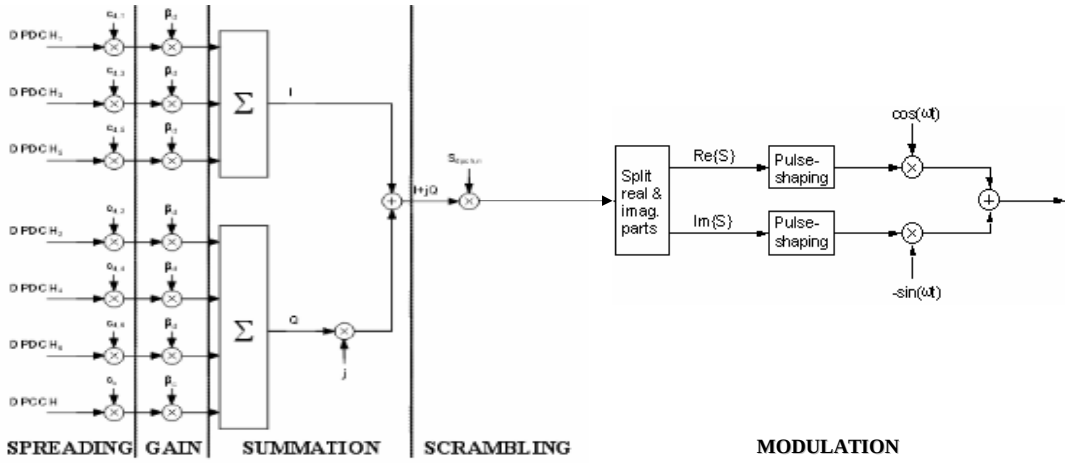

Fig. 1. Descrizione dettagliata delle fasi di Spreading, Scrambling e Modulazione, rispettivamente.

Come si è appena visto, nella tecnica WCDMA la risorsa condivisa è la *potenza* (così come nel caso della FDMA e della TDMA le risorse condivise sono la *frequenza* e il *tempo*, rispettivamente). Infatti, la distinzione fra i vari utenti viene effettuata ricorrendo a dei codici associati univocamente agli utenti stessi; in tal modo, il controllo della potenza è determinante nel prevenire la "copertura" di un segnale da parte di segnali ad esso vicini e il *Near-Far Problem*. In altri termini, se la potenza associata ai segnali interferenti risultasse eccessiva, il segnale in esame non sarebbe rilevabile. La tecnica WCDMA è considerata, in questo senso, *limitata in interferenza* (l'interferenza va qui intesa associata ad ogni utente che non sia quello in esame).
Emerge pertanto la necessità di operare un controllo molto accurato dei livelli di potenza effettivamente necessari, in tempo reale (Power Control). In particolare, l'UMTS assicura un controllo di potenza fino al livello del time-slot (Fast Power Control): la potenza può cioè essere variata in conseguenza di diversi fattori (pathloss, carico, tipo di sito, interferenza, QoS, tipo di servizio, ...) anche una volta per ogni slot (cioè 1500 volte al secondo).

ALGORITMO PROPOSTO

Sulla base delle caratteristiche descritte presenteremo anzitutto un semplice algoritmo di generazione di un segnale temporale UMTS nella tratta di UPLINK; dopodiché sarà presentata un'accurata procedura per la simulazione del Power Control, che rappresenta l'elemento cruciale dell'intero sistema.

La situazione di esposizione simulata si riferisce ad un caso estremamente semplificato, il quale può tuttavia essere preso come punto di partenza per la costruzione di modelli via via più complessi. Si considera infatti come primo caso la trasmissione da parte di una stazione mobile (MS), ferma o in moto lento (così da poter trattare il caso di massima bit-rate). Si ipotizza che la MS sia l'unica a trasmettere nella cella considerata (si suppongono cioè trascurabili i contributi derivanti da altre stazioni mobili) e si suppone la condizione di assenza di trasmissione da parte della BTS verso la MS in esame e verso tutte le altre MS della cella ovvero si suppone la condizione di interferenza trascurabile tra segnali di UPLINK e DOWNLINK. Per semplicità di calcolo si considera un impulso ideale anziché un impulso di tipo *root-raised cosine*. Si considera un solo canale dati (DPDCH) e un canale di controllo (DPCCH); tale configurazione, seppur minima, può senz'altro ritenersi fra quelle tipiche, almeno nella fase iniziale del servizio. Si sceglie infine α_d=1 e α_c =0.33.
Si può a questo punto ottenere una situazione più realistica tenendo conto della presenza del sistema di controllo della potenza (Power Control): ciò può essere fatto considerando il semplice modello CLPC mostrato in fig. 2 (accanto allo schema di principio della generazione di un segnale di tipo UMTS in fase di UPLINK). Per maggiori dettagli riguardo all'implementazione del modello e alla scelta dei parametri si rimanda a [5], [8], [9].

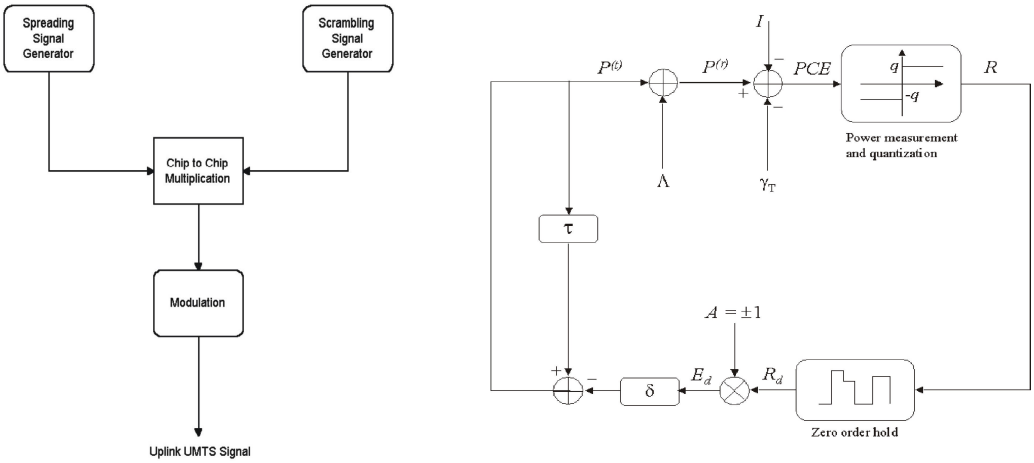

Fig. 2. Diagramma di flusso per la generazione del segnale in UPLINK e schema a blocchi del Closed-Loop Power Control.

I risultati delle simulazioni condotte allo scopo di generare la sequenza dei livelli di potenza trasmessa sono riportati in fig. 3 per i due tipici valori di velocità: v=3km/h (pedestre) e v=120 km/h (veicolare).

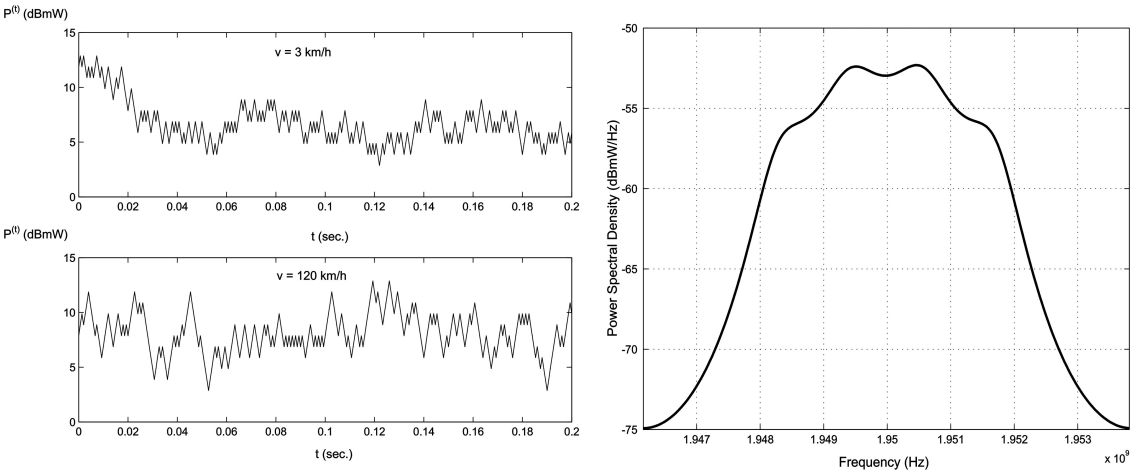

Fig. 3. a) Potenza trasmessa (dBm) per due differenti velocità del mobile (3km/h e 120km/h); b) Densità spettrale di potenza relativa al caso v=3km/h.

Come ci si attendeva, ad una maggiore velocità della stazione mobile corrispondono fluttuazioni più rapide della potenza trasmessa. È da sottolineare poi che la potenza trasmessa è sempre sotto i 20 dBm (che corrisponde grossomodo alla massima potenza trasmessa dalla MS nel sistema UMTS).
Sempre in fig. 3 viene infine riportato lo spettro del segnale nel caso v=3km/h.

CONCLUSIONI

In questo lavoro le principali caratteristiche del segnale UMTS sono state studiate nell'ottica di una valutazione radioprotettiva. A partire da una descrizione degli standard è stato offerto un semplice algoritmo in grado di generare un segnale di tipo UMTS nella tratta di UPLINK. È stato inoltre fornito una accurata procedura per l'introduzione nell'algoritmo di un anello di Power Control e sono stati forniti dei risultati relativi ai tipici casi di velocità del mobile. Tale procedimento è stato impiegato, come possibile esempio di applicazione, per la valutazione della risposta dei canali di membrana cellulare ad uno stimolo siffatto (cfr. [7]). L'utilità di un tale lavoro risulta per di più accresciuta dalla indisponibilità attuale di terminali definitivi mediante i quali condurre una affidabile campagna di misure. E' altresì evidente che i risultati ottenuti possono vedersi come un suggerimento della strada da seguire, in particolar modo nei riguardi di quanti necessitano di modelli semplificati per la caratterizzazione di un segnale elettromagnetico tipico di un sistema radiomobile di terza generazione allo scopo di studiarne l'effetto su sistemi biologici.

BIBLIOGRAFIA

[1] G. F. Pedersen, *Amplitude Modulated RF Fields Stemming from a GSM/DCS-1800 Phone*, Wireless Networks, no. 3, pp. 489-498, 1997.
[2] G. F. Pedersen, J. B. Andersen, *RF and ELF Exposure from Cellular Phone Handsets: TDMA and CDMA Systems*, Radiation Protection Dosimetry, vol. 83, no. 1-2, pp. 131-138, 1999.
[3] F. Apollonio, G. D'Inzeo, L. Tarricone, *Modelling of Neuronal Cell Exposed to RF Fields from Mobile Telecommunication Equipment*," Bioelectrochemistry and Bioenergetics, vol. 47, pp. 199-205, 1998.
[4] 3GPP, *Technical Specification Group Radio Access Network*, 1999-2000
[5] H. Holma, A. Toskala, "*WCDMA for UMTS*". John Wiley and Sons, 2000.
[6] F. Adachi, M. Sawahashi, K. Okawa, *Tree-structured Generation of Orthogonal Spreading Codes with Different Lengths for Forward Link of DS-CDMA Mobile*, Electronics Letters,
vol. 33, no. 1, pp. 27-28, 1997.
[7] M. Cappelli, L. Tarricone, *A Bioelectromagnetic Overview of the Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)*, 2002 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Seattle (WA), pp. 2265-2268, June 2002
[8] ETSI, *Selection Procedures for the choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS*, UMTS TR 101 112 V3.2.0.
[9] M. Gudmundson, *Correlation Model for Shadow Fading in Mobile Radio Systems*, Electronics Letter, vol. 27.