

CALCOLO DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO ALL'INTERNO DI UN TESSUTO ALLE FREQUENZE DELLA TELEFONIA MOBILE

G. Emili**, A. Schiavoni*, M. Francavilla*, L. Roselli**, R. Sorrentino**

* Telecom Italia Lab, Via G. Reiss Romoli 274, 10148 Torino - Italia. E-mail:
andrea.schiavoni@tilab.com; fax: +39 011 2285577

** DIEI – Università di Perugia, Via G. Duranti, 06125 Perugia – Italia. E-mail:
chips@diei.unipg.it; fax: +39 075 5853654

Abstract

The increasing diffusion of mobile communications is stimulating the study of the interaction mechanisms between electromagnetic fields and biological systems at radio frequencies. This work is devoted to the modeling of the interaction between electromagnetic fields and a tissue, represented with spherical and ellipsoidal cells. Different electromagnetic approaches have been used to analyze the problem, and in particular, the Lumped Elements FDTD technique has been used to model the cell's membrane represented with the Hodgkin-Huxley model, and the Floquet theorem to study a tissue by analyzing only few cells. The electromagnetic problem has been solved by using the FDTD technique to be independent from the geometry. Computations have been performed at GSM900 and GSM1800 frequencies by using the quasi-static FDTD technique. The results show the field distribution inside the tissue at GSM frequencies.

INTRODUZIONE

La crescente diffusione dei mezzi di comunicazione radiomobile sta creando un notevole interesse nei confronti dello studio delle interazioni fra campo elettromagnetico (EM) e i tessuti biologici. Il bisogno di stabilire precisi standard di sicurezza per regolare l'esposizione umana ai campi EM ha portato allo sviluppo di diversi filoni di ricerca al fine di descrivere i differenti aspetti del problema a vari livelli di definizione: livello di tessuto, di cellula e subcellulare.

A livello di tessuto, il corpo umano viene considerato come un insieme di mezzi con le caratteristiche elettriche dei vari tessuti. In questo modo non viene, però, tenuta in considerazione l'interazione fra le cellule e il campo elettromagnetico. La tecnica maggiormente usata in questo campo è il metodo FDTD ([1] [2]). Molti lavori sono stati pubblicati, in particolare sulla radiazione dei telefoni cellulari all'interno della testa umana (cfr. [3], [4], [5]).

A livello di cellula, ci sono stati molti contributi per ricavare un circuito equivalente della membrana cellulare, a partire dallo storico lavoro di Hodgkin e Huxley (HH) [6] e di seguito negli anni, con altri importanti lavori (cfr. [7], [8], [9]).

Considerando un livello di osservazione ancor più microscopico (subcellulare) passi avanti sono stati fatti nello studio del comportamento dei singoli canali di membrana come macchine a stati finiti di Markov (cfr. [10], [11]) e nell'analisi dell'effetto di campi EM nell'interazione fra ione ligando e sito recettore [12].

I metodi esposti precedentemente considerano solo un aspetto del problema: infatti, a livello di tessuto, l'interazione fra le cellule e il campo EM non viene considerata, mentre a livello cellulare e subcellulare non viene tenuta in considerazione la presenza delle cellule circostanti. In questo lavoro viene presentato un nuovo approccio per calcolare il campo elettromagnetico, attraverso il metodo FDTD, all'interno di un tessuto, composto da cellule eccitabili elettricamente: in questa maniera è possibile tenere in considerazione sia gli effetti dovuti ad ogni singola cellula sia quelli dovuti all'organizzazione delle cellule in un tessuto.

METODO

Per procedere all'analisi numerica del tessuto, lo si è considerato costituito, per semplicità, da cellule sferiche o ellissoidali; in realtà il metodo è più generale e permette di rappresentare cellule di qualsivoglia forma. Il tessuto è stato discretizzato con passi da 1 μm ; in ogni cella FDTD appartenente alla membrana cellulare è stato implementato, mediante la tecnica LE-FDTD [13], il modello di Hodgkin e Huxley [6] linearizzato per tenere conto degli effetti di membrana. Al fine di rappresentare la presenza delle altre cellule, il tessuto è stato modellato come una pila di cellule applicando ai bordi della stessa le condizioni al contorno mutate dal teorema di Floquet. L'analisi elettromagnetica è stata effettuata facendo incidere sul tessuto in questione un'onda uniforme piana alle frequenze di utilizzo del GSM. Il passo di discretizzazione spaziale è molto piccolo, se confrontato con la lunghezza d'onda dei segnali analizzati (GSM900 e GSM1800), pertanto la FDTD standard richiederebbe un passo di discretizzazione temporale molto piccolo ($\sim 10^{-3}$ ps) e conseguentemente un tempo di calcolo enorme. Questo problema è stato risolto utilizzando la tecnica FDTD quasi-statica (cfr. [15]), che ha reso possibile calcolare (usando eccitazioni di tipo sinusoidale) il valore a regime del campo elettromagnetico con poche iterazioni. Per dettagli maggiormente specifici sul metodo si veda [15].

RISULTATI

In questa sezione vengono presentati i risultati delle analisi a 900 MHz e 1800 MHz del tessuto, costituito sia da sfere che da ellissoidi.

Nelle figure 1 e 2 è riportato l'andamento del campo elettromagnetico sulla sezione ortogonale al piano dove giace il campo EM incidente, alle frequenze di 900 MHz e 1800 MHz, mentre nelle figure 3-4 è riportato il campo lungo l'asse centrale della struttura. Come si può notare dall'analisi delle figure 1-4 il campo elettrico non è costante all'interno della cellula e presenta forti variazioni proprio sulla membrana cellulare.

Nella figura 5 è rappresentato il modulo del campo elettrico, nel caso del tessuto rappresentato con cellule ellissoidali, alla frequenza di 900 MHz.

CONCLUSIONI

In questo articolo è stato affrontato il problema dell'analisi del campo elettromagnetico all'interno di un tessuto, alle frequenze GSM, proponendo un nuovo approccio che combina il metodo FDTD, l'inclusione del modello HH per la membrana cellulare, e alcune procedure (teorema di Floquet, il metodo quasi-statico) che permettono la simulazione di strutture molto più piccole della lunghezza d'onda dei segnali GSM.

La conoscenza del campo EM all'interno di un tessuto a livello microscopico è molto importante in quanto può dare risposte ai problemi di micro-dosimetria o permettere la dosimetria di nuovi esperimenti biologici, dove può essere importante la conoscenza del campo locale.



Figura 1: Andamento del campo elettrico su un piano (cellule sferiche, scala logaritmica, $f=900$ MHz)



Figura 2: modulo del campo elettrico su un piano (cellule sferiche, scala logaritmica, $f=1800$ MHz)

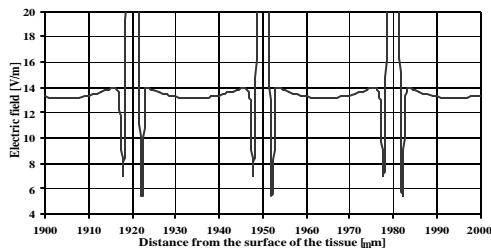


Figura 3: penetrazione del campo elettrico lungo l'asse centrale della struttura ($f=900$ MHz)

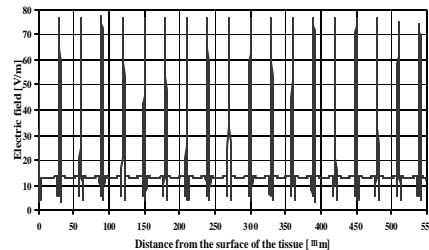


Figura 4: penetrazione del campo elettrico lungo l'asse centrale della struttura ($f=1800$ MHz)

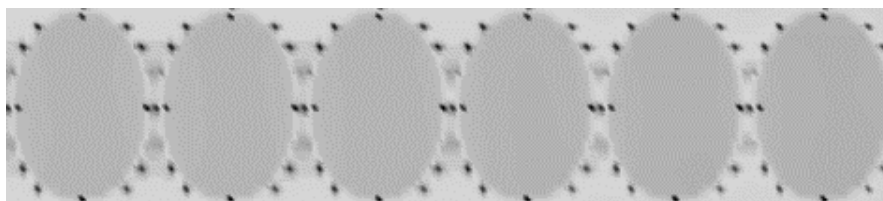


Figura 5: andamento del campo elettrico su un piano (scala logaritmica, cellule ellissoidali, 900MHz)

BIBLIOGRAFIA

- [1] K.S. Yee, Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equation in isotropic media, *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 14, pag. 302-307, 1966
- [2] A. Taflove, Computational electrodynamics, Artech House, Norwood, 1995, Massachusetts.
- [3] A. Schiavoni, P. Bertotto, G. Richiardi, P. Bielli, "SAR generated by commercial cellular phones – Phone modelling, head modelling and measurements", *IEEE Transactions on MTT*, vol. 48, no. 11, November 2000, pp 2064-2071.
- [4] P.J. Dimbylow, S.M. Mann, "SAR calculations in an anatomically realistic model of the head for mobile communication transceivers at 900 MHz and 1.8 GHz", *Phys. Med. Biol.* 39, 1994.
- [5] O.P. Gandhi, G. Lazzi, C.M. Furse, "Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol.44, Oct. 1996.
- [6] A.L. Hodgkin, A.F. Huxley: "A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve", *Journal of Physiology*, vol. 117, pp. 500-544, 1952.
- [7] C.A. Cain: "A theoretical basis for microwave and RF field effects on excitable cellular membranes", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 28 No. 2, pp 142-146, February 1980
- [8] J.A. Connor, C. F. Stevens, Inward and delayed outward membrane currents in isolated neural somata under voltage clamp, *Journal of Physiology*, vol. 213, pp.1-19., 1971.
- [9] P. Bernardi, G.D'Inzeo, S. Pisa: "A generalized ionic model of the neuronal membrane electrical activity", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 41 No. 2, pp. 125-133, February 1994
- [10] D. Colquhoun, A.G. Hawkes, The principles of the stochastic interpretation of ion-channel mechanisms, in *Single Channel Recordings*, Second Edition, Plenum Press, New York, 1995.
- [11] G.D'Inzeo, S. Pisa, L. Tarricone: "Ionic channel under electromagnetic exposure: a stochastic model", *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, Vol. 29, pp. 289-304, 1993.
- [12] A. Chiabrera, B. Bianco, E. Moggia, J.J. Kaufman: "Zeeman-Stark Modeling of the RF EMF interaction with ligand binding" *Bioelectromagnetics*, Vol. 21, pp. 312-324, August 2000.
- [13] P. Ciampolini, P. Mezzanotte, L. Roselli, D. Sereni, P. Torti, R. Sorrentino: "Simulation of HF circuits with FDTD technique including nonideal lumped elements", *IEEE International Microwave Symposium*, Orlando FL, pp 361-364, May 1995.
- [14] O. P. Gandhi, J. Chen, Numerical dosimetry at power line frequencies using anatomically based models, *Bioelectromagnetic supplement* 1:43-60, 1992.
- [15] G. Emili, A. Schiavoni, M. Francavilla, L. Roselli, R. Sorrentino, "Computation of the Electromagnetic Field inside a Tissue at Mobile Communications Frequencies", *To be published on MTT Transactions*, Jan 2003.