

OTTIMIZZAZIONE DI ARRAY DI SENSORI MAGNETICI

Luca Di Rienzo

Dipartimento di Elettrotecnica
Politecnico di Milano
P.zza L. da Vinci,32
20133 - Milano

Array di sensori magnetici vengono comunemente utilizzati in diverse applicazione per la soluzione di problemi magnetici inversi, nei quali si vogliono ricostruire delle correnti elettriche elaborando un insieme di dati di campo magnetico, sia in regime statico che in regime lentamente variabile.

Una domanda importante che si pone in questo tipo di applicazioni è dove devono essere posizionati i sensori e quanti ne sono richiesti, ovvero il loro numero e la loro posizione ottimi.

La presente attività di ricerca si propone di rispondere a questi interrogativi nell'ambito di due applicazioni di *array* di sensori magnetici.

La prima applicazione è nel campo dei sistemi elettromedicali e riguarda *array* di sensori per la Magnetocardiografia, una tecnica che, in modo non invasivo, fornisce informazioni sull'attività elettrica del cuore umano per la rilevazione di disfunzioni cardiache. Allo stato dell'arte di tale tecnica il criostato limita le possibili posizioni dei sensori SQUIDs sui quali si basano tali sistemi. Nuovi sviluppi nella tecnologia dei sensori magnetici, come ad esempio quelli nel campo dei sensori ottici, prospettano la possibilità di prescindere dal criostato, rendendo quindi più libera la dislocazione dei sensori. Di conseguenza la domanda sul posizionamento e il numero ottimi dei sensori diviene ancora più critica [1-4].

L'analisi è stata condotta da un punto di vista numerico. Il problema diretto del calcolo del campo magnetico data la distribuzione di corrente nel cuore viene risolto tramite software commerciale di tipo *Boundary Element Method* (BEM), con uso di un modello creato dalla risonanza magnetica di un volontario. La distribuzione di corrente è descritta mediante un insieme di dipoli e la matrice *kernel* descrive la trasformazione lineare tra l'intensità dei dipoli e il campo magnetico nella posizione dei sensori. Una volta fissato il modello numerico e la distribuzione di dipoli, tale matrice dipende solo dalla configurazione del sistema sensoriale. Come funzione obiettivo possono essere scelti il numero di condizionamento della matrice *kernel* oppure altre figure di merito, come quelle definite in [1, 2].

Poichè la generazione della matrice *kernel* per una data configurazione del sistema sensoriale è pesante dal punto di vista computazionale, deve essere realizzato un calcolo previo su una griglia opportunamente densa di posizioni possibili per i sensori: di conseguenza lo spazio di ricerca dell'algoritmo di ottimizzazione risulta discreto.

La tecnica *Tabu Search* (TS) si è rivelata efficiente per questo tipo di problema [3], essendo in grado di non incorrere in minimi locali. In [3] i risultati dell'ottimizzazione TS sono stati confrontati con quelli ottenuti mediante *Particle Swarm Optimization* (PSO), dove l'algoritmo standard PSO è stato modificato opportunamente per adattarlo al problema discreto.

Mentre il lavoro descritto in [3] riguarda ancora una configurazione di sensori SQUIDs, quindi limitata dal criostato, la ricerca attuale [4] esplora configurazioni più libere con sensori

che possono posizionarsi sulla superficie di tutto il busto e mostra come si ottengano valori di minimo delle funzioni obiettivo notevolmente inferiori.

La seconda applicazione di array di sensori magnetici presa in considerazione riguarda la misura di correnti periodiche in sistemi a più conduttori nell'ambito delle protezioni elettriche [5].

In questo caso il problema non è mal posto e non vengono richieste tecniche di regolarizzazione, come per il problema precedente. Il modello elettromagnetico è quasi-stazionario e lineare. Il calcolo del campo magnetico date le correnti che fluiscono nei conduttori viene effettuato mediante software commerciale FEM e mediante un codice sviluppato in Matlab basato su una formulazione di tipo BEM. La funzione obiettivo viene definita in accordo con la teoria della *D-Optimality* e la tecnica di ottimizzazione scelta è quella della PSO [6]. Risultati preliminari con geometrie con due conduttori circolari o rettangolari mostrano come anche in questa applicazione la scelta ottima della posizione dei sensori riveste un'importanza critica per l' accuratezza del sistema di misura.

Bibliografia

- [1] L. Di Rienzo and J. Haueisen, "Theoretical lower error bound for comparative evaluation of sensor arrays in magnetostatic linear inverse problems," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 42, No. 11, November 2006, pp. 3669-3673.
- [2] L. Di Rienzo and J. Haueisen, "Numerical comparison of sensor arrays for magnetostatic linear inverse problems based on a projection method," *COMPEL, The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 26 Issue 2 2007, pp. 356-367.
- [3] S. Lau, R. Eichardt, L. Di Rienzo, and J. Haueisen, "Tabu search optimization of magnetic sensor systems for magnetocardiography," to appear on *IEEE Transactions on Magnetics*.
- [4] S. Lau, R. Eichardt, L. Di Rienzo, and J. Haueisen, "Optimal vest-like magnetic sensor array for magnetocardiography," submitted to the *X-th International Workshop on Optimization and Inverse Problems in Electromagnetism*, Ilmenau, Germany, September 14 – 17, 2008.
- [5] A. Manara, E. De Bortoli, L. Di Rienzo, and A. Piazzesi, "An improved current sensing device for low-voltage power circuit breakers," European Patent 1 166 132 B1, July 26, 2006.
- [6] L. Di Rienzo and Z. Zhang, "Optimization of magnetic sensor arrays for current measurement based on swarm intelligence and D-optimality," submitted to the *X-th International Workshop on Optimization and Inverse Problems in Electromagnetism*, Ilmenau, Germany, September 14 – 17, 2008.