

Device for haptic feedback in Brain-Computer Interface experimentation

Fabio Aloise^{1,2}, Alessandro Amadoro^{1,3}, Donatella Mattia¹, Fabio Babiloni^{1,4}, Angelo Emanuele Fiorilla¹, Serenella Salinari³, Maria Grazia Marciani^{1,5}, Febo Cincotti¹

¹NEILab, Fondaz. Santa Lucia IRCCS, Roma ; ²Alfameg srl, Roma; ³Dip. di Informatica e Sistemistica, Univ. "La Sapienza", Roma, Italy; ⁴Dip. di Fisiologia Umana, Univ. "La Sapienza", Roma, Italy; ⁵Dip. di Neuroscienze, Univ. "Tor Vergata", Roma, Italy;

Email: f.aloise@hsantalucia.it

Abstract. Nowadays the technological progress gives disabled people the possibility to live in a better life condition, making them able to use electronic devices to interact with the surrounding environment. In this field, unusual, non-conventional channels like the Brain-Computer Interfaces (BCIs) play a potentially important role for the social inclusion of severely disabled individuals. One of the most important limits that this technology is facing in these days is the continuous need to instruct the subject about the state of the system through a visual feedback.

In this paper we describe the implementation of a hardware/software system aimed at delivering haptic stimuli as a feedback from a BCI. The system proved to be effective in freeing the subject's visual channel while he/she was using the BCI to control electronic appliances.

Keywords: Brain-Computer Interface, haptic interface, Robotic navigation, Severe Motor Impairment

1 Introduzione

“Il Brain-Computer interface (BCI) fornisce agli utenti canali di comunicazione che non dipendono dai normali canali di uscita del cervello rappresentati dai nervi periferici e muscoli” [1]. Questa è la definizione di BCI maggiormente accettata. In altri termini, un dispositivo BCI può rilevare i pattern di attivazione del cervello e, ogniqualvolta l'utente produce la volontaria modifica di questi pattern, esso è in grado di rilevarla e di tradurla in un'azione associata ad una volontà dell'utente.

I BCI si classificano in base al tipo di attività elettroencefalografica (EEG): generata internamente dal soggetto (endogena) o legata a stimoli esterni a cui l'EEG del soggetto 'reagisce' (esogena o evocata). Un dispositivo BCI basato su attività endogena EEG consente all'utente, dopo un periodo di addestramento, la generazione spontanea di stati mentali usati per il colloquio con esso [2-4].

Di fondamentale importanza in un sistema BCI è l'utilizzo del Feedback, sia esso usato per permettere al soggetto di imparare a modulare il proprio EEG (endogeno) o

semplicemente per somministrare al soggetto gli stimoli e registrarne le reazioni (esogeno).

Viene da sé come questa tipologia di feedback impegni il canale visivo del soggetto impedendogli o comunque rendendone difficile il suo utilizzo per altri scopi.

Le esperienze internazionali di ricerca hanno evidenziato come le applicazioni dei BCI non siano più limitate all'interazione dei soggetti con il monitor di un computer, bensì si cerca di usare tali sistemi per aumentare il grado di indipendenza di soggetti affetti da gravi problemi motori, ad esempio per il controllo ambientale [5]. Da qui la necessità di implementare un feedback aptico che lasci libero il canale visivo del soggetto.

L'idea di utilizzare un feedback aptico nasce all'interno del progetto europeo MAIA [6], che si pone come scopo lo sviluppo di protesi non invasive per quei soggetti che hanno perso in parte o del tutto le capacità motorie, nella fattispecie l'obiettivo è lo sviluppo di un sistema di guida di una sedia a rotelle basato sui segnali provenienti dal BCI, che lascerebbe così libero il soggetto di concentrare la vista sul percorso da seguire senza essere distratto dal feedback BCI.

Il sistema descritto in questo articolo si propone come scopo la realizzazione di una guida virtuale per carrozzine attraverso il BCI, permettendo così al soggetto di effettuare un opportuno training del sistema MAIA.

2 Overview del sistema

Il sistema realizzato implementa un modulo software, denominato DiSMo, in grado di prelevare i segnali in ingresso provenienti dal BCI, analizzarli e pianificare una strategia di controllo per l'azionamento del simulatore e degli attuatori vibrotattili, che realizzano l'interfaccia aptica (figura 1).

Oltre al modulo DiSMo i dispositivi usati sono :

- Sistema BCI (BCI2000)
- Simulatore MAIA
- Attuatori elettromeccanici (Tactor)

2.1 Brain-Computer Interface

Il sistema BCI utilizzato è il BCI2000, e un framework general-purpose per la ricerca sul brain-computer interface, usato per acquisizione dei segnali EEG per BCI endogeni oriented o per la generazione di stimoli per potenziali evocati per BCI esogeni oriented.

Il BCI2000 è costituito da quattro moduli che interagiscono tra di loro:

- la sorgente che permette di digitalizzare il segnale EEG registrato associato ad immaginazione di atti motori;
- un blocco di elaborazione capace di estrarre le caratteristiche d'interesse e di tramutarle in un segnale di controllo che comanda un' applicazione;

- l' applicazione utente, rappresentata da un dispositivo virtuale per il movimento di un cursore su uno schermo;
- il modulo operatore da dove è possibile configurare il sistema.

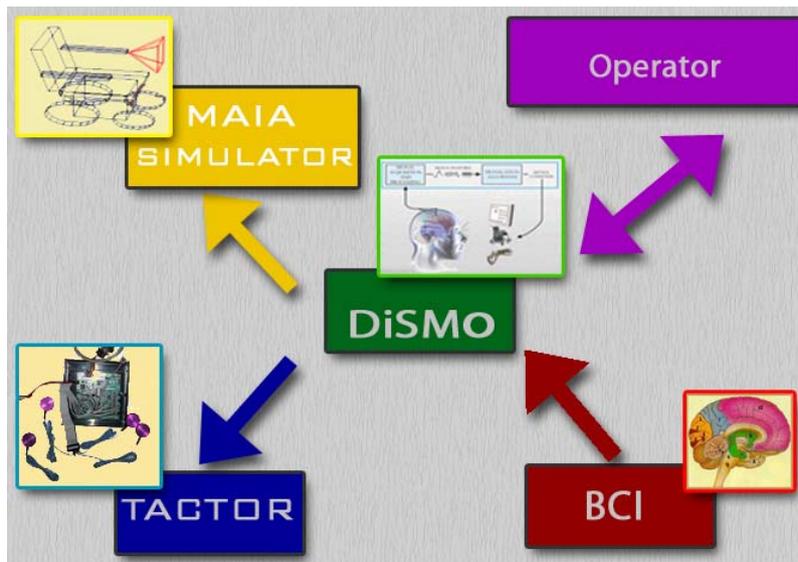


Figura 1. Schema a blocchi del sistema. Al centro è mostrato il modulo decisionale, le frecce che collegano i vari blocchi mostrano la direzione dei flussi informativi. I segnali in ingresso dal modulo BCI vengono interpretati dal DiSMo, il quale in base alle scelte dello sperimentatore pianifica una strategia di controllo azionando in maniera opportuna il simulatore ed i tactor.

2.2 MAIA simulator

Il MAIA simulator è un software in grado di riprodurre la navigazione di un corpo in un ambiente in cui sono presenti ostacoli. Tale software è stato sviluppato nell'ambito del progetto MAIA dall'unità di ricerca della Katholieke Universitaat di Leuven [7]. È possibile azionare il simulatore attraverso messaggi codificati in stringhe di testo, scambiate utilizzando il protocollo di comunicazione TCP/IP. La movimentazione può avvenire lungo le quattro classiche direzioni di moto (forward, backwards, left e right); inoltre, tale simulatore è dotato di un sistema di *obstacle avoidance*, che consente la navigazione in ambienti contenenti diversi tipi di ostacolo.

2.3 Tactor

I tactor sono attuatori elettromeccanici in grado di produrre vibrazioni, se sottoposti al passaggio di corrente. Tali attuatori vibrano a frequenze situate in un intervallo

ristretto centrato intorno ai 250 Hz, valore distintamente percepibile dalle terminazioni nervose poste sull'epidermide.

L'utilizzo come interfaccia aptica nasce dalla possibilità di intervenire su alcuni parametri di funzionamento, al fine di codificare messaggi facilmente identificabili e decifrabili dal soggetto. La codifica di tali messaggi avviene attraverso la selezione di una maschera di accensione, l'assegnazione di un valore di intensità di vibrazione e di una frequenza di battimento[8-9].

2.4 DiSMo

Il cuore del sistema è il Dispatcher System Module (DiSMo), un software implementato utilizzando il linguaggio java; questo consta di differenti moduli comunicanti tra loro via socket. I messaggi tra i moduli del sistema vengono scambiati in UDP, mentre la comunicazione con i dispositivi esterni avviene tramite protocollo TCP/IP. I vari moduli del sistema sono organizzati in maniera gerarchica: al centro è posta una unità decisionale la quale si interfaccia con una classe che trasforma gli output del BCI in input interpretabili dal sistema. Sulla base di tali informazioni e delle impostazioni scelte ad inizio sessione dall'utilizzatore, è possibile pianificare una strategia di controllo da comunicare ai dispositivi esterni. La comunicazione degli ordini pianificati non avviene in modo diretto, ma passa attraverso ulteriori moduli che implementano una trasformazione tra comandi di alto livello, provenienti dall'unità centrale, in istruzioni semplici da inviare ai dispositivi. La classificazione di ogni determinato stato mentale corrisponde alla volontà di eseguire una determinata task; rilevato tale intento, il sistema elabora una strategia d'azione per i vari dispositivi. Al simulatore vengono inviati messaggi che ne ordinano il movimento in una determinata direzione, mentre l'interfaccia aptica viene comandata attraverso l'invio di messaggi che indicano al soggetto, in tempo reale, verso quale target si sta dirigendo e quanto sia lontano dal conseguimento dell'obiettivo.

3 Conclusioni

Il sistema MAIA rappresenta un passo avanti nel miglioramento delle condizioni di vita per i soggetti affetti da disabilità motorie complete o parziali, in quanto consente lo spostamento del soggetto all'interno dell'ambiente domestico o esterno. Passaggio obbligato è l'utilizzo di un sistema di simulazione evoluto che guidi il paziente in maniera graduale all'utilizzo del sistema. Una sperimentazione recente ha dimostrato la validità di utilizzo delle interfacce aptiche come forma alternativa a quella visiva [10]; i maggiori benefici di tale operazione vanno ricercati nella possibilità di utilizzare la vista per assolvere ad altre funzioni. I risultati ottenuti mostrano delle percentuali di successo raggiunte ancora inferiori, se paragonate a quelle ottenute servendosi di un feedback visivo; ciò nonostante, una adeguata fase di training conduce a sensibili miglioramenti delle performance.

Seppur ancora in fase embrionale, il progetto mostra un grande potenziale; è prevista fin da subito una sperimentazione che ne mostrerà l'utilizzabilità da parte dei

soggetti che hanno già acquisito familiarità con il sistema BCI, al fine di valutare le sue reali potenzialità. Inoltre si sta valutando la possibilità di integrare sistemi di realtà virtuale per dare al paziente sensazioni di controllo il più simili possibili alla realtà.

4 Acknowledgments

This work is supported by the European IST Programme FET Project FP6-003758. This paper only reflects the authors' views and funding agencies are not liable for any use that may be made of the information contained herein.

5 References

1. Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, Pfurtscheller G, and Vaughan TM. "Brain-computer interfaces for communication and control". *Clin. Neurophysiol.* 113, 767–791, March 2002.
2. Pfurtscheller G and Neuper C. "Motor imagery and direct brain-computer communication". *Proceedings of the IEEE*, 89: 1123–1134, 2001.
3. Birbaumer N, Elbert T, Caravan AGM and Roch B. "Slow potentials of the cerebral cortex and behavior." *Physiol Rev*, 70:1–41, 1990.
4. Schalk G, McFarland DJ, Hinterberger T, Birbaumer N, Wolpaw JR "BCI2000: A general- purpose brain-computer interface (BCI) system", *IEEE Trans Biomed Eng.* 51, 1034–43, 2004.
5. Aloise F, Cincotti F, Babiloni F, Marciani MG, Morelli D, Paolucci S, Oriolo G, Cherubini A, Bruscino S, Sciarra F, Mangiola F, Melpignano A, Davide F, Mattia D. "The ASPICE Project Inclusive design for the motor disable". *International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*. Venezia, Italy. 23-26 May, 2006
6. Millán J. del R., Renkens F., Mouriño J., and Gerstner W.. "Non-invasive brain-actuated control of a mobile robot by human EEG." *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, 51:1026–1033, 2004.
7. Lew E, Nuttin M, Ferrez PW, Degest A, Butfield A, Vanacker G, Millan JR. "Non-invasive brain-computer interface for mental control of a simulated wheelchair". *Proceeding of 3rd International BCI Workshop and Training Course 2006*. Graz Austria. 21-25 Sept 2006, Pp. 112-113
8. Marchesi S, Frisoli A "Interfacce uomo-macchina per l'ausilio percettivo, cinematico e cognitivo" [online]. 2005 [cited 2005 Oct 1]. Available from: URL: http://integrazione.mymedia.it/interfacce_aptiche.pdf
9. Brown L M et al. "A first investigation into the effectiveness of Tactons". *Proceedings of the First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, Volume 0, Pp. 167-176
10. Kauhanen L, Palomaki T, Jylanki P, Aloise F, Nuttin M, and Millan JR. "Haptic feedback compared with visual feedback for BCI". *Proceeding of 3rd International BCI Workshop and Training Course 2006*. Graz Austria. 21-25 Sept 2006, Pp. 66-67