

# Adquisición, procesamiento y clasificación de señales EEG para el diseño de sistemas BCI basados en imaginación de movimiento

Germán Rodríguez Bermúdez<sup>1</sup>, Pedro J. García Laencina<sup>1</sup>, Domitien Brizion<sup>1,2</sup>, Joaquín Roca Dorda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitario de la Defensa (CUD) de San Javier, Santiago de la Ribera-Murcia, España

<sup>2</sup>Ecoles d'officiers de l'armée de l'air, Base Aérienne 701, Salon-de-Provence, France

E-mail: german.rodriguez@ cud.upct.es, pedroj.garcia@cud.upct.es

**Resumen.** El desarrollo de sistemas de interfaz cerebro ordenador (Brain Computer Interface, BCI) se fundamenta en el procesamiento y análisis de señales electroencefalográficas (EEG). Tras introducir brevemente los fundamentos de esta tecnología emergente, este trabajo describe una eficiente metodología de diseño para sistemas BCI basados en imaginación de movimiento. Esta metodología ha sido implementada utilizando Simulink-MATLAB para el procesamiento de señales EEG. Los experimentos realizados sobre seis sujetos voluntarios muestran la viabilidad de la metodología desarrollada.

## 1. Introducción

En la última década, se han conseguido desarrollar eficientes sistemas de comunicación BCI (Brain Computer Interface) [1-4]. Las aplicaciones que ofrece son múltiples, abarcando desde el sector clínico hasta la industria de seguridad y defensa. El objetivo de este trabajo es introducir los fundamentos de los sistemas BCI basados en imaginación de movimiento [1-3]. Para ello, en la Sección 2 se describe una eficiente metodología de diseño que emplea equipamiento comercial de la reconocida empresa g.tec [4] y software desarrollado en MATLAB-Simulink. A continuación, la Sección 3 describe los experimentos que se han realizado sobre seis sujetos voluntarios. Por último, la Sección 4 presenta las principales conclusiones de este trabajo.

## 2. Desarrollo de Sistemas BCI-EEG

En general, un sistema BCI (Figura 1) se compone de varios bloques de procesamiento de señal que trabajan de forma consecutiva. Sobre el usuario del sistema se ubican unos electrodos de forma estratégica que captan la señal EEG que éste genera en cada momento. Esta señal es amplificada y preprocesada con el objetivo de eliminar la mayor cantidad de artefactos posible y dejarla de forma adecuada para ser abordada por la etapa de aprendizaje máquina. La etapa de aprendizaje máquina primero realiza la extracción de características de la señal EEG obteniendo vectores de datos "característicos de la señal" y, seguidamente, clasifica dichos vectores obteniendo una predicción. La predicción del clasificador puede ser usada como señal de realimentación mostrándola al usuario a través de señales visuales, acústicas o mediante el control de diversas aplicaciones [1-3].

La Figura 2 muestra el software empleado para el experimento realizado, que es una evolución del software BCI para paradigmas de imaginación de movimiento desarrollado por la empresa gTec

mediante Simulink [4]. El *recuadro 1*, marcado en rojo, contiene los bloques de adquisición de datos y preprocesado de señal y además permite visualizar la señal de entrada y grabarla.

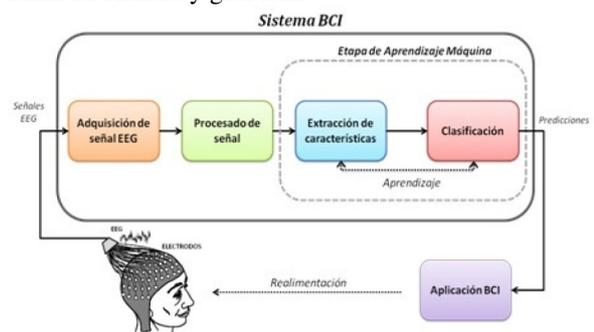


Fig. 1. Esquema general de sistema BCI-EEG.

El *recuadro 2*, en azul, contiene el bloque de extracción de características, que además permite el almacenamiento en un fichero de las características calculadas junto con las señales de sincronización del sistema. El *recuadro 3* en color verde contiene el bloque de clasificación de señales que también ha sido modificado con respecto al software original y, finalmente, el *recuadro 4* en color naranja contiene el bloque de realimentación original.

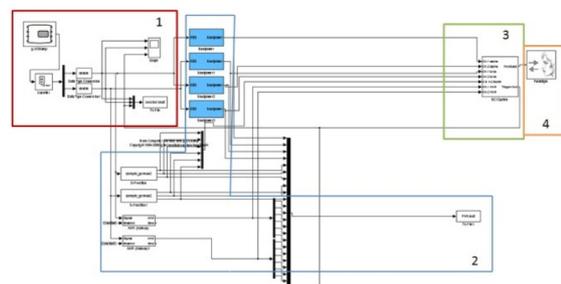


Fig. 2. Imagen del software Simulink desarrollado para los experimentos.

### 2.1. Adquisición y Preprocesamiento

La adquisición de datos se ha realizado con electrodos pasivos Ag/Cl y un amplificador g.USBamp muestreando a 256Hz con 8 bits de

resolución. Se han configurado dos canales bipolares y en cada uno de ellos se han establecido tres filtros: Un filtro paso alto a 0,5Hz, un paso bajo a 30Hz y un Notch a 50Hz para eliminar ruido de la red eléctrica.

### 2.3. Extracción de características

Tal y como se puede ver en el *recuadro 2*, para este bloque se han utilizado tres métodos que trabajan en paralelo. Por ello, no solo dispone de módulos de cálculo de PSD (*Power Spectral Density*) para las bandas Alpha y Beta, como el software original de g.tec [4], sino que se han desarrollado módulos de cálculo de los parámetros de Hjorth y se han incluido módulos de modelado adaptativo autoregresivo, AAR, desarrollados en Biosig [5]. Atendiendo a [3], se ha establecido el orden del modelo AAR a 6.

### 2.4. Clasificación

Para el bloque de clasificación, al igual que g.tec [4], se ha empleado un FLD (*Fisher Discriminant Lineal*). Al tener una extracción de características que proporciona vectores de gran dimensión, se ha redimensionado tanto el tamaño del vector de pesos como el número de entradas de características del módulo de clasificación.

### 2.5. Realimentación

Para generar la realimentación se mantiene el módulo Simulink original. La realimentación se realiza con una línea azul en pantalla que muestra la predicción en los periodos de clasificación. Su posición (derecha e izquierda) indica cual de las clases está prediciendo y su tamaño nos indica el grado de fiabilidad de la predicción. Se debe tener en cuenta que se puede desactivar este bloque, lo que es especialmente útil en las sesiones iniciales de entrenamiento del clasificador.

## 3. Experimentos y Resultados

### 3.1. Sujetos y Registro

Un total de seis voluntarios (Figura 3) participaron en este estudio compuesto por dos sesiones de imaginación de movimiento de una de sus manos. Todos ellos estaban libres de medicación y, por otra parte, no presentaban ninguna anomalía del sistema nervioso central. Tal y como se ha comentado más arriba, los experimentos se han realizado con equipamiento BCI de la empresa g.tec [4].



Fig. 3. Cuatro de los seis Sujetos (S1, S2, ..., S6) que participaron voluntariamente en el experimento.

Dado que se considera el paradigma de imaginación de movimiento de una de las manos, se ha utilizado la configuración de canales bipolares en las dos posiciones C3 -hemisferio izquierdo- y C4 -hemisferio derecho- y, además, un quinto electrodo en la posición de referencia Cz -ver Figura 4(a)-. Como tierra se utilizó un electrodo de pinzas en la oreja derecha. Los cinco electrodos pasivos se sitúan sobre el cuero cabelludo de los sujetos utilizando un casco estandarizado para BCI -ver Figura 4(b)- y, antes de situarlos, se aplicó gel para mejorar la adquisición de señal EEG -ver Figura 4(c)-. Todos los electrodos están conectados al equipo g.USBamp, que se ocupa de la adquisición, digitalización y amplificación de las señales EEG -ver Figura 4(d)-. Los datos son procesados y analizados por el software descrito en la Sección 2.

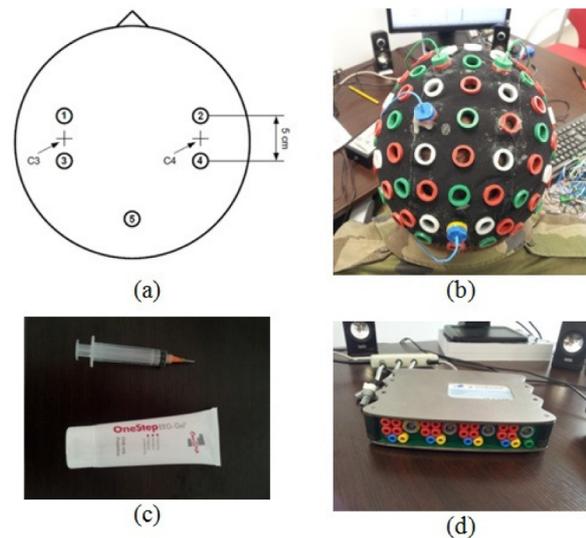
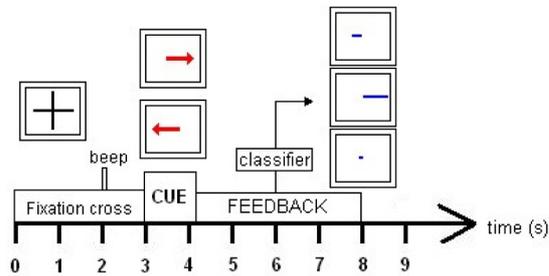


Fig. 4. Registro de señal EEG: (a) Disposición física de los cinco electrodos; (b) Casco con electrodos; (c) Gel conductor; (d) Amplificador g.USBAMP.

### 3.2. Descripción de los experimentos

La duración media de cada experimento son 180 minutos (aprox.) y se compone de cinco sesiones distintas: las dos primeras sesiones sin realimentación y las tres restantes con realimentación. Durante el experimento, el sujeto se sitúa frente a un ordenador situado a 1m.

Cada sesión consta de 40 intentos (20 “mano izquierda” y 20 “mano derecha”) de una duración aproximada de 9 segundos. Una sesión se inicia con la presentación en pantalla de una cruz. A continuación, en  $t = 2s$ , se reproduce un tono de advertencia (“beep”) para indicar al sujeto que tiene que concentrarse. Un segundo más tarde, desaparece la cruz, y se muestra una flecha roja apuntando hacia la derecha o hacia la izquierda durante unos cinco segundos aproximadamente. Dependiendo de la dirección de la flecha, el sujeto tiene que imaginar el movimiento de su mano izquierda o derecha.



**Fig. 5.** Diagrama temporal de un intento de imaginación de movimiento de mano derecha/izquierda con realimentación.

Las señales EEG adquiridas en cada intento entre  $t = 3s$  y  $t = 7.5s$  son procesadas y clasificadas. Posteriormente, se producen unos instantes sin representación por pantalla (relajación) de duración aleatoria hasta un máximo de  $t = 9s$ . El intervalo aleatorio se utiliza con el fin de evitar una sincronización del cerebro.

Con respecto a las *sesiones sin realimentación*, el FLD entrenado utiliza las características extraídas de las señales EEG durante el intervalo de clasificación, es decir, se calcula el vector de pesos del discriminante lineal utilizando las señales EEG adquiridas sin realimentación como conjunto de entrenamiento.

Una vez que el FLD ha sido entrenado, éste es utilizado durante las *sesiones con realimentación* (Figura 5) para mover la barra azul en función del valor continuo obtenido como salida del clasificador (ver Sección 2.5).

### 3.3. Resultados obtenidos

La Tabla 1 muestra la probabilidad de acierto (%) obtenida por el clasificador para cada sujeto, en cada sesión (SR, Sin Realimentación; CR, Con Realimentación), considerando la extracción de características clásica basada en PSD.

**Tabla 1.** Resultados de clasificación (probabilidad de acierto, %) obtenidos considerando características PSD.

Sujeto	Sesión SR	Sesión CR	Sesiones SR y CR
S1	67.50	65.00	61.30
S2	65.00	65.00	61.30
S3	67.50	52.50	60.00
S4	67.50	60.00	56.30
S5	57.50	67.50	58.80
S6	72.50	80.00	76.30
Promedio	66.25	65.00	62.30

Por otro lado, en la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos considerando todas las técnicas de extracción de características: PSD, Hjorth y AAR.

**Tabla 2.** Resultados de clasificación (probabilidad de acierto, %) obtenidos considerando todas las características PSD, Hjorth y AAR.

Sujeto	Sesión SR	Sesión CR	Sesiones SR y CR
S1	80.00	90.00	75.00
S2	90.00	87.50	71.25
S3	85.00	87.50	73.75
S4	90.00	87.50	70.00
S5	75.00	87.50	66.25
S6	90.00	100.00	83.75
Promedio	85.00	90.00	73.33

## 4 Conclusiones

La tecnología BCI constituye un campo emergente de investigación que ofrece un amplio rango de aplicaciones en el ámbito de la ingeniería biomédica. Dentro de los distintos paradigmas BCI, uno de los más estudiados es la imaginación de movimiento. Los resultados experimentales en seis sujetos muestran las grandes capacidades de la metodología de diseño presentada en este artículo.

## Referencias

- [1] Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D. J., Pfurtscheller, G., and Vaughan, T. M. (2002) Brain-computer interfaces for communication and control, *Clin Neurophysiol.*, vol. 113, no. 6, pp. 767-791.
- [2] Bashashati, A., Fatourehchi, M., Ward, R. K. and Birch G. E. (2007) A survey of signal processing algorithms in brain-computer interfaces based on electrical brain signals, *Journal of Neural Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. R32-R57.
- [3] Rodríguez-Bermudez, G. and, García-Laencina, P.J. (2012) Automatic and adaptive classification of electroencephalographic signals for brain computer interfaces, *Journal of Medical Systems*, vol. 36, no. 1, pp. 51-63.
- [4] g.tec Medical Engineering: <http://www.gtec.at/>
- [5] Biosig project: <http://biosig.sourceforge.net/>