
LOS MOVIMIENTOS IMAGINARIOS IDENTIFICADOS EN LA SEÑAL ELECTROENCEFALOGRÁFICA

Los Movimientos Imaginarios Identificados en la Señal Electroencefalográfica

*M. en T. A. Adrian Alberto Ramos, Maestría en Tecnologías Avanzadas, UPIITA, IPN,
alberto_ra.21@hotmail.com,*

*Dra. Blanca Tovar Corona, Academia de Sistemas, Departamento de Ingeniería, UPIITA, IPN,
bltovar@ipn.mx,*

*Dra. Laura Ivoone Garay Jiménez, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, UPIITA, IPN,
lgaray@ipn.mx*

Resumen

Este artículo describe la experiencia y los resultados de la metodología empleada para abordar la extracción de parámetros y selección de los mejores para ser utilizados en la toma de decisiones para una interfaz cerebro-computadora (ICC) basada en movimientos imaginarios. El estado del arte menciona que este tipo de movimientos son identificables a partir de los registros de la señal electroencefalográfica. Algunos proponen métodos muy complejos, otros métodos muy sencillos, algunos usan electrodos superficiales y otros implantados. Pero no todo está reportado y van surgiendo preguntas como las siguientes: ¿Cuál es la mejor opción para una ICC con intención de control?, ¿Son los mismos criterios para usos en domótica que para auxiliar a un parapléjico?, ¿Se puede generalizar la solución o son personalizadas?, ¿Cuánto entrenar?, ¿Cualquiera puede usarla? El estudio sistemático del estado del arte en ICC's y las pruebas en laboratorio realizadas fue un reto que culminó con un cúmulo de experiencias y muchas preguntas más. Se demostró la viabilidad de utilizar las posiciones propuestas para los electrodos y se determinó un tiempo de registro mínimo de 4 segundos, necesario para obtener una identificación del comando de control con al menos el 90% de eficiencia tras una sesión corta de entrenamiento.

Introducción

El principal objetivo de este trabajo es analizar los diferentes métodos de estímulo en una interfaz cerebro computadora ICC o BCI por sus siglas en inglés (brain computer interface). Dentro de las técnicas que más llaman la atención [1][2][3], se encuentra la que utiliza la imaginación de los movimientos de alguna extremidad. Donde se registra la señal en el cuero cabelludo o intracranealmente y se identifica la señal electroencefalográfica de cada movimiento realizado. Las extremidades preferidas son las manos debido al área de control de éstas, por la complejidad y finura de estos movimientos, está asociada a una extensión más

amplia en comparación con las otras extremidades del cuerpo dentro de la zona sensomotora del cerebro (conocido como homúnculo) [4][5].

Así que, para probar la técnica de movimientos motrices imaginarios (MMI) se comenzó proponiendo el diseño del dispositivo de adquisición y adecuación de la señal electroencefalográfica que cuida la relación señal a ruido y acota la información a lo que se ha reportado como el rango de frecuencia predominante durante los MMI [6].

El equipo de electroencefalografía se diseñó y construyó con un ancho de banda de 8 a 30Hz, con una amplificación de 100,000 veces considerando que los movimientos motrices están asociados a las frecuencias Mu y Beta con una amplitud típica de $\pm 25 \mu V$. Estos valores están en el rango de los reportados en la bibliografía.

La señal electroencefalográfica asociada a este tipo de estímulo está presente en el homúnculo humano lo que equivaldría en el sistema internacional 10-20 a los canales C3 y C4. Una vez que el sistema fue caracterizado y validado en laboratorio, se generó un protocolo de prueba del sistema con sujetos sanos que nos permitió conocer los alcances de esta técnica.

Algunas de las preguntas que se plantearon al inicio eran, ¿Cómo se diferenciaban los registros electroencefalográficos cuando se abría y cerraba la mano?, ¿Qué diferencias hay entre los movimientos de la mano derecha e izquierda?, ¿Existe alguna diferencia entre imaginar el movimiento de la extremidad con realizarlo físicamente?, ¿De qué manera se imagina el movimiento el participante? ¿Es cierto que es muy difícil extraer la información y que no siempre se logra? Una vez establecida la metodología a seguir surgieron nuevas preguntas, las cuales son: ¿La metodología propuesta es útil para todos los usuarios que deseen utilizar una ICC?, ¿Qué tan factible es incluir la técnica de movimientos motrices imaginarios en las ICC's?, ¿Cómo se tienen que pre-procesar, procesar y analizar las señales para identificar la intención del movimiento como comando en la ICC?

Para resolver estas dudas, se realizaron una serie de experimentos previos, se definió una secuencia estándar de prueba y finalmente se analizaron los datos. En la siguiente sección (sección 2) se describe la metodología propuesta para los experimentos, los resultados de este protocolo y por qué nos llevaron a definir nuestra secuencia estándar dentro del protocolo final descrito en la sección 3. Se describen brevemente las técnicas de procesamiento que se emplearon, por qué se seleccionaron, cuáles fueron los resultados y cómo se comprobó la robustez de esta selección. Finalmente, en la sección 4 se concluye sobre cómo estos resultados pueden ser utilizados en un sistema ICC para identificar la intención de movimiento.

Sección 2. Protocolo y metodología propuesta

A partir de las referencias se sabe que la zona del homúnculo que se refiere a la zona asociada a la mano se cubre con los electrodos posicionados en los puntos FC3, FC4, C3, C4, CP3, CP4,

que forman parte de la posición definida por el estándar 10-10, utilizado ampliamente en el ámbito de las ICC no invasivas y es un derivado del estándar de referencia en clínica 10-20 [7][8]. Según Suolin Duan et al. [9] se sabe que los movimientos de la mano derecha se ven reflejados como cambios de energía en el hemisferio izquierdo y los movimientos de la mano izquierda se observan en el hemisferio derecho. También se ha reportado que no existe un patrón temporal específico en la señal identificable a simple vista, asociado a los movimientos y que es altamente dependiente de la capacidad de atención y concentración del participante [5].

Según lo reportado en la bibliografía, el movimiento real o imaginario propuesto para la intención de control de una ICC no dura más de 8 segundos [6]. Como pretendemos realizar una comparación entre los movimientos realizados físicamente con los imaginados, se generó una base de datos con los registros de cada mano, de los cuales, se propuso que los voluntarios realizarían físicamente o imaginaran la apertura y cierre de la mano derecha e izquierda, una a la vez, con base en que, la actividad de imaginar un movimiento genera el mismo proceso mental que al realizar el movimiento físico [10][11][12], a excepción de que la realización del movimiento no se lleva a cabo. Este tipo de información asociada a la intención es muy difícil de identificar a simple vista y resulta prácticamente imposible distinguir el artefacto de respuesta generado por el movimiento de las manos en el registro de la señal electroencefalográfica sin antes haber procesado la señal.

Con base en las características mencionadas en esta sección, en la siguiente sección se plantean los mejores métodos para extraer los parámetros de la señal electroencefalográfica.

Sección 3. Procesamiento de la señal

Los trabajos previamente reportados muestran que los parámetros de la señal electroencefalográfica registrada relacionados al movimiento imaginario pueden ser extraídos de diferentes maneras. Algunas técnicas son más fáciles de aplicar que otras, debido a la naturaleza de la técnica de generación en la intención de control de la ICC, lo que tienen en común es que todos plantean la necesidad de hacer una transformación de la información de la señal registrada para facilitar la identificación de características asociadas a la intención de control.

Es importante mencionar que primero se hizo el análisis de una parte de la base de datos para identificar los patrones de interés y después ese patrón se usó para identificar los movimientos con el resto de la base de datos, lo que es muy importante para validar la propuesta de generación del patrón.

Para realizar el pre-procesamiento de la señal se decidió utilizar las técnicas de transformada Wavelet y el análisis de componentes independientes, para descomponer la señal en diferentes sub-bandas y así seleccionar las sub-bandas asociadas al movimiento motriz, las cuales varían para cada persona por lo que se tiene que realizar el análisis en cada voluntario. Para llevar a

cabo este análisis se descompuso la señal electroencefalográfica de cada registro con la transformada discreta de Wavelet utilizada como un filtro multi-resolución, al nivel de descomposición 7. Se propuso el uso de una Wavelet madre tipo Daubechies 10 (Db10), y se seleccionaron las sub-bandas de interés que se muestran en la Tabla 1 debido a que fueron las más representativas de los cambios asociados a los diferentes movimientos. Una vez filtradas, se reconstruyeron las señales temporalmente con un ancho de banda de 2Hz.

Sub-banda	1	2	3	4	5	6	7
Rango (Hz)	8-9	10-11	14-15	20-21	24-25	26-27	30-31

Tabla 1. Sub-bandas de interés a partir de la reconstrucción con wavelet Daubechies en n=7.

Posteriormente al tener las señales reconstruidas, se realizó el análisis de componentes independientes a cada sub-banda, por lo que se generó un nuevo arreglo de señales, el cual contiene las señales reconstruidas de los 6 canales unipolares referenciados al electrodo central Cz, y se obtuvieron las componentes independientes asociadas a cada uno de los movimientos realizados.

El criterio que se consideró para la selección de las sub-bandas de interés asociadas a la intención de movimiento, fue que se observara que en esa sub-banda el patrón se repitiera en los análisis de los demás registros. Con esto, el patrón representante del conjunto de las sub-bandas seleccionadas más representativos fue obtenido cuando se realizó la correlación de los patrones de todos los segmentos bajo análisis contra todos los del mismo comportamiento y se seleccionó el patrón con el que se obtuviera el valor de similitud más alto.

Debido a que, los patrones característicos seleccionados para cada una de las sub-bandas no son artefactos en los que se reconoce alguna morfología típica de la señal y no pueden ser reconocidos a simple vista como lo son, por ejemplo, los parpadeos, tensar la mandíbula o la señal electroencefalográfica registrada con los ojos abiertos o cerrados. Es importante tener una base de datos supervisada, es decir, conocer la procedencia de cada uno de los registros y probar la eficiencia de la selección del patrón a través de la clasificación para cada sujeto de estudio previamente con los registros provenientes de su sesión de entrenamiento.

Para realizar la clasificación, se calculó la sumatoria de las correlaciones entre los patrones generados por el registro a clasificar y los patrones característicos seleccionados en cada una de las sub-bandas para los diferentes tipos de movimiento de la mano (derecha e izquierda), generados previamente y se asignó la clasificación del registro a donde se obtuviera el mayor valor de similitud.

Para comprobar la robustez de la metodología propuesta, se repitió la metodología 100 veces en las que se seleccionó el 66% de los registros de forma aleatoria para realizar el entrenamiento y seleccionar los patrones característicos del movimiento de cada mano,

después, se realizó la clasificación del 34% restante de los registros, y se realizó una matriz de confusión para medir así la eficiencia en la clasificación de datos correctos.

Por último, para analizar la viabilidad del uso de la técnica en línea, que sería el caso de identificar patrones asociados a órdenes en una ICC, se realizó el análisis de la eficiencia de clasificación obtenida a diferentes tamaños de ventana considerando desde 1 hasta 5 segundos, y poder así seleccionar el mejor tamaño de ventana teniendo en consideración las características más importantes para su aplicación en una ICC, las cuales son, la eficiencia mínima que se desea obtener y el tiempo que requiere que el usuario se concentre para su ejecución. En este caso se utilizó una frecuencia de muestreo de 256Hz, por lo tanto, las ventanas contienen desde 256 hasta 1280 datos.

Sección 4. Conclusiones

Se concluyó que el mejor tamaño de ventana para considerar un comando en la imaginación de los movimientos de la mano derecha e izquierda es de 4 segundos lo cual coincide con lo reportado en la bibliografía [14][15], donde el usuario de la ICC debe de concentrarse en realizar el movimiento por 4 segundos obteniéndose una eficiencia promedio de clasificación de datos correctos del 94.4% siendo mayor a la eficiencia reportada por Suolin Duan et al., quienes calcularon el coeficiente de sincronización y desincronización de la señal relacionada al evento.

Respondiendo a dos de las preguntas, se observó que, efectivamente la imaginación del movimiento genera patrones muy similares a los patrones obtenidos cuando se realiza el movimiento con la mano. Además, no todos los usuarios de ICC's son aptos para utilizar la técnica de movimientos motrices imaginarios. Debido a que, este método requiere una mayor capacidad de concentración y la eficiencia que obtiene cada usuario depende a su facilidad de poder concentrarse en imaginar el movimiento de una extremidad.

Se generó una metodología que permite inferir si el sujeto es buen candidato, cuál vector de parámetros es el más adecuado para él y qué tipo de clasificador da mejor respuesta lo que hace posible seguir explorando esta técnica que promete no solo dar comandos encendido/apagado, sino plantea la posibilidad de la identificación de niveles y asociarlos a un control proporcional, que es una técnica viable para ser usada en el control de dispositivos para los voluntarios. Debido a que los usuarios reportaron que este método de la imaginación de movimiento de la mano derecha e izquierda no es cansado de realizar en comparación con otro tipo de métodos como son potenciales evocados visuales de estado estable y P300, se puede plantear el uso combinado de técnicas para diversificar las posibilidades de control y así ampliar su alcance como generadores de intención de movimiento.

Referencias:

- [1] B. Amanpour and A. Erfanian, "Classification of Brain Signals Associated with Imagination of Hand Grasping, Opening and Reaching by Means of Wavelet-based Common Spatial Pattern and Mutual Information," pp. 2224–2227, 2013.
- [2] M. Feng, X. Wang, and S. Zheng, "A Novel Feature Extraction Method for Motor Imagery Based on Common Spatial Patterns with Autoregressive Parameters," vol. 1, pp. 225–230, 2013.
- [3] S. Hatamikia and A. M. Nasrabadi, "Subject transfer BCI based on Composite Local Temporal Correlation Common Spatial Pattern," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 64, pp. 1–11, 2015.
- [4] M. L. Cuadrado, J. A. Arias, M. A. Palomar, and R. Linares, "La vía piramidal: nuevas trayectorias," vol. 32, no. 12, pp. 1151–1158, 2001.
- [5] L. A. Ciencia, D. E. L. Cerebro, U. N. A. Introducción, P. Jóvenes, A. Europea, D. Para, E. L. Cerebro, and A. Street, *La ciencia del cerebro*.
- [6] S. Duan, "The Feature Extraction of ERD / ERS Signals Based on the Wavelet Package and ICA *," pp. 5621–5625, 2014.
- [7] C. M. Villar, B. R. García. "Técnicas de electroencefalografía". Comunicaciones Científicas Mexicanas, S.A. de C.V. México, DF. (1998).
- [8] G. Klem, H. Luders, H. Jasper, and C. Elger, "The ten-twenty electrode system of the International Federation," *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, vol. 10, no. 2, pp. 371–375, 1958.
- [9] R. Ortner, J. Scharinger, A. Lechner, and C. Guger, "How many people can control a motor imagery based BCI using common spatial patterns?", *2015 7th Int. IEEE/EMBS Conf. Neural Eng.*, pp. 202–205, 2015.
- [10] R. I. Cariño-escobar, "Similitud de imaginación de movimiento con movimiento real como clasificador para sistemas de interfaz cerebro-computadora," no. Im, 2014.
- [11] J. Annett, "Motor imagery: Perception or action?", *Neuropsychologia*, vol. 33, no. 11, pp. 1395–1417, 1995.
- [12] M. Jeannerod, "Mental imagery in the motor context", *Neuropsychologia*, vol. 33, no. 11, pp. 1419–1432, 1995.
- [13] McCullagh P. J., Ware M. P. and Lightbody G. (2010) *Brain Computer Interfaces for inclusion, in 1st Augmented Human International Conference* April 2010.
- [14] B. Amanpour and A. Erfanian, "Classification of Brain Signals Associated with Imagination of Hand Grasping, Opening and Reaching by Means of Wavelet-based Common Spatial Pattern and Mutual Information," pp. 2224–2227, 2013.
- [15] J. Cantillo-Negrete, J. Gutiérrez-Martínez, T. B. Flores-Rodríguez, R. I. Cariño-Escobar, and D. Elías-Viñas, "Caracterización de la actividad eléctrica cerebral relacionada con la imaginación del movimiento de la mano en sujetos sanos," *Rev. Investig. Clin.*, vol. 66, pp. 111–121, 2014