
Tecnología de Señales Cerebrales para Control de Interfaces Cerebro-Computadora

M en C Ma. Antonieta Abud Figueroa

mabud@ito-depi.edu.mx

M en C Gustavo Peláez Camarena

gpelaez@ito-depi.edu.mx

M en S.C Alma Ivonne Sánchez

alivsaga@hotmail.com

Instituto Tecnológico de Orizaba

Abstract

Los avances en la tecnología de adquisición y procesamiento de señales cerebrales proporcionan hoy en día la facilidad de desarrollar interfaces cerebro-computadora que permitan a personas con discapacidad realizar en forma autónoma tareas para las que hoy en día requieren asistencia. En este trabajo se muestran diferentes técnicas de adquisición de señales cerebrales y los tipos de señal más utilizados en estas interfaces; se presenta también un análisis de diferentes tecnologías tanto de hardware como de software disponibles en el mercado para la construcción de este tipo de interfaces.

1. Introducción

Una Interfaz Cerebro Computadora (BCI, *Brain Computer Interface*) es un medio de comunicación de una persona con la computadora a través de sus señales cerebrales. Actualmente los avances en la tecnología permiten contar con dispositivos ligeros y de bajo costo que proveen la detección de señales cerebrales lo que ha incrementado al interés en el desarrollo de BCIs.

Este artículo presenta las técnicas existentes para el registro de la actividad cerebral, así como las señales más utilizadas para el desarrollo de BCIs. Se aborda también el análisis de algunas de las principales herramientas de hardware y software disponibles actualmente para el trabajo con BCIs.

2. Conceptos

Todas las actividades realizadas por el cuerpo humano conllevan una actividad cerebral compleja en la que se ven implicadas muchas neuronas las cuales se comunican unas con otras mediante pequeños impulsos eléctricos generados por reacciones químicas que tienen lugar en las sinapsis (regiones de comunicación entre las neuronas) (Figura 1) (Mora&Torres, 2013). Estos impulsos eléctricos varían dependiendo del tipo de actividad realizado, por lo que

proporcionan información acerca de la acción que se encuentra desarrollando la persona. Cabe aclarar que, aunque el individuo no logre llevar a cabo la función deseada (como personas con discapacidades físicas), basta con que su cerebro construya la actividad a desarrollar, para que se registren las señales bioeléctricas producidas por el trabajo cerebral (Abdulkader et al, 2015). A esta generación en la mente de la orden para que el cuerpo efectúe una cierta actividad, se le llama intención, la cual es independiente de que la acción se efectúe o no.

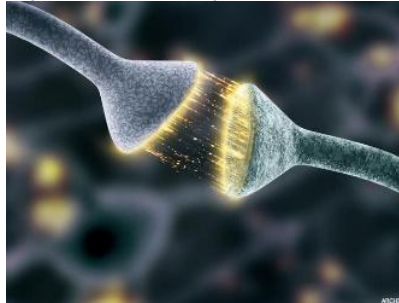


Figura ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.. Sinapsis del cerebro.

2.1 Técnicas para registrar la actividad bioeléctrica cerebral

Las principales técnicas mediante las cuales es posible realizar una lectura de las señales bioeléctricas del cerebro son: la Electroencefalografía (EEG), que consiste en colocar electrodos sobre el cráneo los cuales recogen las señales emitidas por el cerebro, y la Electroencefalografía (ECoG), la cual utiliza electrodos directamente sobre la superficie del cerebro para obtener las señales, siendo ésta la menos utilizada por ser más invasiva. En ambas técnicas se utiliza un electroencefalógrafo, dispositivo que detecta la señal y la amplifica. Existen otras técnicas, pero requieren de dispositivos costosos, instalaciones especiales y personal capacitado, por lo tanto, se descartan en este estudio.

2.1.1 Electroencefalografía (EGG)

La EGG es una técnica no invasiva, fácil de realizar y económica que consiste en colocar electrodos en la superficie del cráneo. Para mejorar la conductividad eléctrica algunas veces se utiliza un gel conductor en los electrodos. La señal, a pesar de no adquirirse directamente del cerebro, presenta buena calidad por lo que actualmente la más utilizada en las BCIs (Strehl, 2006). La resolución varía de acuerdo al número de electrodos y no ofrece datos fiables de las partes más internas del cerebro. Actualmente existen dispositivos ligeros y de control inalámbrico que ofrecen la libertad de movimientos al sujeto que la porta (Figura 2).



Figura 2. Colocación de electrodos de EEG.

2.2. Clasificación de los Sistemas BCI

Los sistemas BCI se clasifican en dos grupos de acuerdo al origen del estímulo: sistemas endógenos y exógenos.

2.2.1. Sistemas Endógenos

En los sistemas BCI endógenos es el sujeto de prueba quien tiene la iniciativa de generar las señales, controlando su actividad cerebral. Este tipo de sistemas requieren de un tiempo de entrenamiento grande para que el individuo aprenda a controlar sus potenciales cerebrales. Dentro de estos sistemas se encuentran los basados en Potenciales Corticales Lentos, actualmente no utilizados debido a su baja tasa de transferencia, y los basados en Imágenes Motoras, también llamados Ritmos Sensorial Motores (McCullagh et al, 2010), que se basan en respuestas cerebrales a la realización de tareas mentales del sujeto de prueba; como por ejemplo el movimiento de una mano.

2.2.2. Sistemas Exógenos

En este tipo de sistemas la actividad cerebral se provoca con estímulos externos, por lo cual no requiere de periodos de entrenamiento para obtener resultados favorables. En este grupo figuran los basados en Potenciales Evocados P300 y los basados en Potenciales Evocados Visuales de Estado Estable (McCullagh et al, 2010).

2.2.3. BCI Basada en Potenciales Evocados P300

En este caso se obtiene la información cerebral mediante el potencial P300, el cual es generado por el cerebro cuando el sujeto recibe un estímulo visual o auditivo poco frecuente que estaba esperando, estrategia conocida como *oddball* (evento raro) (Ceres et al, 2011); por ejemplo, como una carta previamente establecida en un mazo, cuando aparece la carta, el cerebro genera una reacción cuyo aumento repentino de voltaje forma una onda característica; esta se genera, por lo general, 300 ms después de la aparición del estímulo. En la Figura 3 se ilustra el potencial P300; a línea azul es la respuesta cerebral a estímulos frecuentes de no interés, la línea roja representa la respuesta a los estímulos de interés poco frecuentes, el incremento de amplitud aproximadamente a los 300 se le conoce como onda P300 o potencial P300.

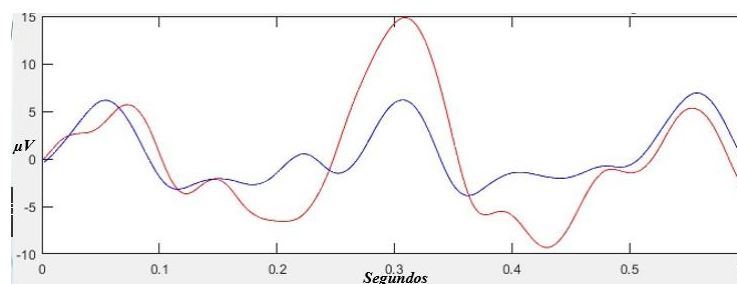


Figura 3. Representación gráfica del potencial P300.

2.2.4. BCI basada en Potenciales Evocados Visuales de Estado Estable (SSVEP)

En este paradigma, llamado SSVEP (*Steady-State Visually Evoked Potentials*, Potenciales Evocados de Estado Estable) se aplica al sujeto un estímulo visual que se ilumina a cierta frecuencia; como respuesta, su cerebro genera impulsos eléctricos a la misma frecuencia que el estímulo. Esto es útil cuando se colocan estímulos emitidos a diferentes frecuencias, al obtener el registro cerebral y conocer la frecuencia del mismo, es posible saber en cuál de los estímulos el sujeto enfoca su atención (Abdulkader ,2015). En la Figura 4 (Strehl, 2006) se muestra al sujeto dos figuras ajedrezadas que representan los comandos "On" y "Off", las figuras se iluminan a frecuencias diferentes, por lo que, al recibir la señal cerebral y procesarla, es posible deducir el comando que el sujeto desea ejecutar.

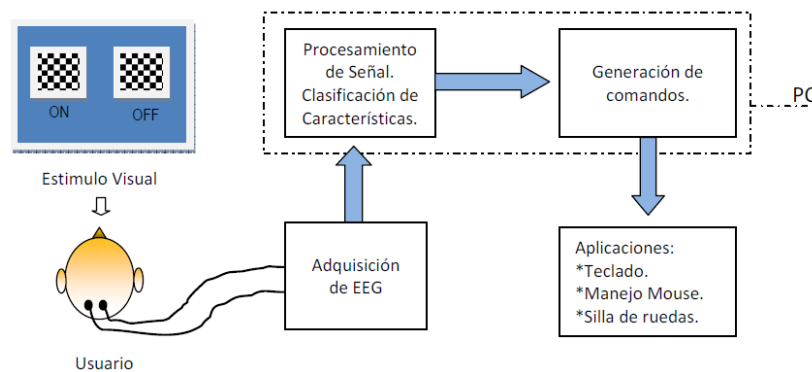


Figura 4. Utilización de los Potenciales Evocados visuales de Estado Estable.

3. Dispositivos para Adquisición

Para la captura de la actividad cerebral, existen en el mercado diversas alternativas de hardware. A continuación, se muestran los más utilizados.

3.1 Diadema MindWave.

Fabricada por la empresa NeuroSky, esta diadema, mostrada en la figura 5, posee un electrodo frontal para la recepción que capta las ondas cerebrales y el pestañeo la cual es enviada a la computadora a través de una señal *bluetooth*. Provee, además, una API en Java para interactuar con la diadema y su documentación. Tiene un costo de US \$129 (Neurosky, sf). Debido a su único electrodo su aplicación es limitada.



Figura 5. Diadema MindWave de la empresa NeuroSky.

3.2. Diadema EPOC+ EGG.

Desarrollada por la empresa EMOTIV, posee 14 electrodos y conexión inalámbrica por *bluetooth*. Proporciona un control avanzado de interfaces BCI al proveer un conjunto de señales de alta calidad que detectan expresiones faciales: parpadeo, guiño izquierdo, guiño derecho, surco (ceño), levantar la frente (sorpresa), sonreír, apretar los dientes (mueca), mirar a la izquierda, mirar a la derecha, risa, mueca derecha, mueca izquierda; emociones: emoción instantánea, excitación a largo plazo, frustración, compromiso, meditación, interés/afinidad; y comandos mentales: empujar, halar, ascensor, soltar, izquierda, derecha, rotar las agujas del reloj, girar en sentido antihorario, rotar hacia delante, girar hacia atrás, girar a la izquierda, gira a la derecha y desaparecer. Cuenta con un SDK propio para el desarrollo de aplicaciones. Su precio es de US \$799. El dispositivo se muestra en la figura 6. (Emotiv, sf)



Figura 6. Diadema EPOC de la empresa EMOTIV.

3.3. Diadema Insign

También desarrollada por la empresa EMOTIV, ofrece 5 sensores EEG + 2 sensores de referencia que permiten detectar expresiones faciales: parpadeo, guiño izquierdo, guiño derecho, surco (ceño), levantar la frente (sorpresa), sonreír, apretar los dientes (mueca); emociones: emoción instantánea, excitación a largo plazo, estrés, compromiso, relajación, interés/afinidad, atención; y comandos mentales: empujar, halar, ascensor, soltar, izquierda, derecha, rotar las agujas del reloj, girar en sentido antihorario, rotar hacia delante, girar hacia atrás, girar a la izquierda, gira a la derecha, desaparecer, otras definidas por el usuario. Proporciona información en profundidad sobre la actividad cerebral permitiendo el desarrollo de aplicaciones a través de un SDK propio. Tiene un precio de US \$299. Se muestra el dispositivo en la figura 7. (Emotiv, sf)



Figura 7. Diadema Emotiv Insight de la empresa EMOTIV

4. Software

Para el análisis de las señales obtenidas a partir de un EGG, se encuentran diversas alternativas de software. En esta sección se muestran algunos de los más comunes.

4.1 Emotiv SDK

Este software es desarrollado por la empresa EMOTIV para uso con sus dispositivos. Se encuentra escrito con C++ y se compila con Microsoft Visual Studio. La API de Emotiv se expone como una interfaz ANSI C por lo que aplicaciones C o C++ pueden incorporar los desarrollos realizados en el SDK. Emotiv ofrece 3 versiones: *basic* que es sin costo, *advanced* con un costo de UD\$30.00 mensuales and *prime* con el mismo costo.

Los SDK vienen con módulos configurables para el control de las diferentes señales: *Emotiv Suite*, para imitar las expresiones faciales del usuario; *Affectiv Suite*, para detectar ciertos movimientos o niveles de interés emocional como excitación, compromiso, tensión, aburrimiento, meditación y frustración; *Cognitiv Suite*, para controlar el movimiento de un objeto virtual; y *Expressive Suite*, para detectar las expresiones faciales tales como guiños, posición de los ojos, sonreír, entre otros. (Emotiv, sf)

4.2. BCI2000

Software de licencia libre para fines de educación e investigación, desarrollado por el Brain-Computer Interface R&D Program en el Centro Wadsworth del departamento de salud del estado de Nueva York. BCI2000 soporta 19 sistemas diferentes de adquisición de señales cerebrales. Ofrece procesamiento para osciladores de EEG, potenciales evocados, actividad ECoG y potenciales de acción simple. Permite movimientos del cursor y deletreo, así como estimulación visual y auditiva configurable que puede sincronizarse a las señales cerebrales. Maneja además otros dispositivos como *joysticks*, teclados o seguidores de ojos (SchalkLab, sf). Almacena datos en un formato nativo, pero ofrece herramientas para la importación y conversión de datos.

4.3. BCILab

Herramienta de código abierto basada en MathLab para el diseño, prototipado, pruebas, evaluación y experimentación desarrollada por C. Kothe en el Swartz Center. Posee una interfaz gráfica y de *script* que provee 5 módulos: procesamiento de señales, extracción de características, aprendizaje máquina, paradigmas BCI, *plugins* en línea y marco de trabajo. Sus principales características son la implementación de prototipado rápido, pruebas en tipo real, evaluaciones fuera de línea para aplicaciones BCI y evaluación comparativa de métodos BCI (SCCN, sf).

4.4. OpenVibe

Herramienta multiplataforma libre y de código abierto que ofrece un servidor de adquisición de señales cerebrales genérico compatible con más de treinta dispositivos. Permite el análisis de la señal EEG y el desarrollo de aplicaciones BCI. Proporciona un lenguaje gráfico fácil de utilizar que permite la configuración del servidor de adquisición y el diseño y prueba de la aplicación BCI. Ofrece diversos algoritmos para el procesamiento de señales como transformada de Fourier, combinaciones lineales, filtrado espacial y temporal entre otros, así como métodos de clasificación como son análisis de discriminante lineal, clasificador de multiclase y máquina vectorial. Permite la conexión con Matlab a través de un plugin y la facilidad de usar lenguaje de *script* Python (OpenVibe, sf).

5. Conclusiones

La idea de conectar el cerebro a una computadora no es tan nueva. La investigación en esta área se remonta a finales de los años noventa. Sin embargo, actualmente el número de dispositivos para adquisición de señales y plataformas de software amigables y de bajo costo para BCI se ha incrementado significativamente, lo que establece un panorama alentador para el incremento en la investigación en esta área. Gran parte de los desarrollos se centran en la rehabilitación de personas con discapacidad buscando restaurar la función después de una enfermedad neurológica o lesión y en aplicaciones de apoyo que permita a personas discapacitadas mejorar su calidad de vida, dándoles más independencia y capacidad de realizar actividades que sólo pueden realizar con asistencia de otra persona.

Referencias y Recursos Electrónicos

Abdulkader S. N., Artia A., Mostafa S. y Mostafa M., 2015, Brain computer interfacing: Applications and challenges, *Egyptian Informatics Journal*, vol. 16, pp. 213-230.

Ceres R., Mañanas M. Á. and Azorín J. M., 2011, Interfaces y Sistemas de Rehabilitación y Compensación Funcional para la Autonomía Personal y la Terapia clínica, *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 8, no. 2, pp. 5-15.

Emotiv. "Epoc+". Recuperado (14 de noviembre de 2016) de <http://www.emotiv.com/epoc>

Emotiv. "Insight". Recuperado (14 de noviembre de 2016) de <http://www.emotiv.com/insight>

McCullagh P. J., Ware M. P. and Lightbody G., 2010, Brain Computer Interfaces for inclusion, in *1st Augmented Human International Conference.*, April 2010.

NeuroSky. "NeuroSky. Body and Mind Quantified". Recuperto (14 de noviembre 2016) de <http://neurosky.com>.

OpenVibe. "Software for Brain Computer Interfaces and Real Time Neurosciences". Recuperado (21 de noviembre de 2016) de <http://openvibe.inria.fr>.

SCCN Swartz Center for computational Neuroscience, BCI Lab, Recuperto (14 de noviembre 2016) de <https://sccn.ucsd.edu/wiki/BCILAB#BCILAB>.

Schalklab, BCI 2000, Recuperado (30 de enero de 2017) de <http://www.schalklab.org/links/bci2000>

Strehl U., Leins U., Goth G., Klinger C., Hinterberger T. and Birbaumer N., 2016, Self-regulation of Slow Cortical Potentials: A New Treatment for Children With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder, *Pediatrics*, vol. 118(5)