

Avances en las Interfaces Cerebro - Máquina

Joaquín A. Macaroff Pérez

jomax1398@gmail.com

Grupo IDEAS, Facultad de Ingeniería, UCASAL

Resumen

Imagine un mundo en el cual los seres humanos sean capaces de mover a voluntad las prótesis que necesiten, controlar los dispositivos móviles sin necesidad de “tocarlos”, manipular un vehículo no tripulado desde la distancia como si fuese una extensión del cuerpo, detectar la falla que tiene algún dispositivo solo con hacer contacto físico; únicamente utilizando el poder de sus mentes y que además puedan recibir estímulos, de los elementos o programas que manipulen, para lograr tomar el mejor curso de acción. Suena a ciencia ficción ¿verdad?... pero resulta que ya existen diversas investigaciones que pueden convertir esta “ciencia ficción” en una realidad.

Las interfaces cerebro-máquina constituyen un conjunto de diversas tecnologías que permiten establecer un diálogo entre el hombre y la máquina, haciendo uso de las señales eléctricas producidas por el cerebro. Para abreviarlo se utiliza la nomenclatura anglosajona BMIs (brain-machine interfaces) y son el principal foco de estudio para intentar hacer realidad las ideas anteriormente expuestas.

Este trabajo busca como principal objetivo brindar conocimientos generales acerca de las BMIs para despertar el interés en el tema, que podría servir de guía para realizar futuros proyectos de investigación relacionados con el tema.

Palabras Clave

BMI, Interfase cerebro-máquina.

Abstract

Imagine a world in which human beings are able to move the prostheses they need at will, control mobile devices without having to “touch” them, manipulate an unmanned vehicle from a distance as if it were an extension of the body, detect failure who has a device just by making physical contact; only using the power of their minds and that they can also receive stimuli, from the elements or programs that they manipulate, in order to take the best course of action. It sounds like science fiction, right? ... but it turns out that there are already various investigations that can turn this “science fiction” into a reality.

Brain-machine interfaces constitute a set of various technologies that allow a dialogue between man and machine to be established, making use of the electrical signals produced by the brain. For short, the Anglo-Saxon nomenclature BMIs (brain-machine interfaces) are used and they are the main focus of study to try to make the above ideas come true.

The main objective of this work is to provide general knowledge about BMIs to awaken interest in the subject, which could serve as a guide to carry out future research projects related to the subject.

Keywords:

BMI, Brain-machine interface

Introducción

Las interfaces cerebro-máquina, en inglés brain-machine interfaces (BMIs) son tecnologías en desarrollo que emplean los continuos avances realizados en el campo de la neurociencia y ciencias de la computación para captar la actividad cerebral, interpretarla y poder transmitir la información obtenida a algunos dispositivos y probablemente también a medios virtuales que tengan algún impacto en el mundo externo (el que nos rodea), es decir, que el usuario pueda interactuar con los mismos a través de algún estímulo producido por sus pensamientos y pueda corregir el accionar de estos dispositivos mientras los usa, conforme a los resultados obtenidos.

El término BMIs fue acuñado por Jacques J. Vidal (1973) en [1], quien las describió a las BMIs como “formas de utilizar las señales cerebrales en un diálogo hombre-computadora” y “como un medio de control sobre procesos externos tales como computadoras o dispositivos protésicos”. Por otra parte, en [2] se presentan la historia de las BMIs en 4 etapas principales: el origen, los pioneros, el surgimiento de un nuevo campo de investigación y la historia moderna.

En la actualidad, toda la comunidad científica acepta el hecho de que el cerebro emite señales eléctricas en variadas frecuencias que son conocidas como ondas cerebrales [3]. Estas frecuencias se clasifican en ondas Gamma, Beta, Alpha, Theta y Delta; las mismas se pueden presentar en diversas situaciones en las que se ve envuelta nuestra actividad cerebral de acuerdo con cómo se indica en la Figura 1.

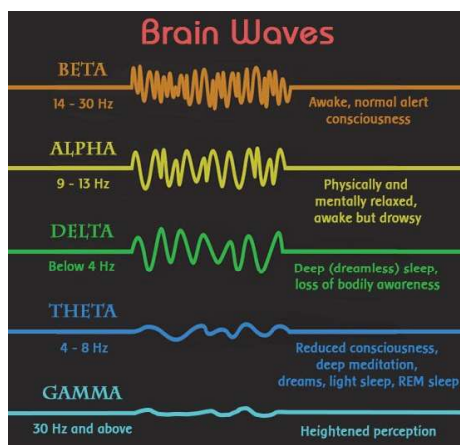


Figura 1: Actividad Cerebral

Las interfaces cerebro-máquina tiene el potencial de ayudar a las personas con una amplia gama de trastornos clínicos. Por ejemplo, se ha demostrado el control neuroprotésico humano de cursores informáticos [4], las extremidades robóticas o sea aquellos dispositivos que cumplen las mismas funciones, apoyando las actividades diarias del individuo [5] y los sintetizadores de voz que permiten la producción artificial del habla [6] utilizando no más de 256 electrodos que conectan al cerebro con dicha tecnología.

A medida que aumenta la comprensión de los aspectos neurocientíficos del cerebro, es probable que la tecnología vaya más allá del ámbito de las funciones motoras, tal vez, ayudando con la recuperación de la memoria, la toma de decisiones y algún otro tipo de funciones cognitivas como pueden ser la de orientación, las gnosias (capacidad que tiene el cerebro para reconocer información previamente aprendida como pueden ser objetos, personas o lugares a través de nuestros sentidos), entre otras.

De lo anteriormente expuesto, se puede deducir que las aplicaciones para las BMIs se encuentran limitadas por la imaginación humana y por el desarrollo de nuevas tecnologías producidas gracias al continuo avance de las investigaciones que se realizan sobre las mismas.

Este campo tiene un gran potencial de impacto social dado que puede mejorar la calidad de vida de las personas, pero existen serias preocupaciones éticas que se deben considerar [7] como la privacidad, la responsabilidad, identidad personal, el ámbito legal, entre otros.

Independientemente de lo que depare el futuro, las BMIs están marcando un camino en los campos de estudios en constante expansión de la neurociencia, la tecnología y la informática.

Este trabajo consta de 3 secciones, en la Sección 1 se explica el funcionamiento básico de una interfaz cerebro-máquina y luego en la Sección 2 se exponen las formas en las que se obtienen las señales producidas por la actividad cerebral, formas que muchas veces dan el nombre a las BMIs (BMIs invasivas, BMIs semiinvasivas o BMIs no invasivas) para finalmente en la Sección 3 brindar las conclusiones obtenidas acerca del trabajo realizado.

2. ¿Cómo Funciona?

El propósito de la BMIs es detectar y cuantificar las características de las señales cerebrales que indican las intenciones del usuario y traducirlas simultáneamente al lenguaje manejado por los dispositivos externos para que cumplan con la intención del usuario. La forma en la que esto se lleva a cabo se puede apreciar en la gráfica de la Figura 2 en la cual se muestran los equipos y etapas propias de las BMIs.

Por lo tanto, todo equipo y componente que forman parte de una interfaz cerebro-máquina se integra principalmente por sensores, decodificador y efectores o actuadores [8], los cuales se describen brevemente:

Sensores: son dispositivos que captan magnitudes físicas, en este caso variaciones eléctricas. Los sensores que usan las BMIs son dispositivos formados por electrodos que se encargan de captar la información procedente de la actividad cerebral en forma de señales digitales que puedan ser procesadas por ordenadores. Esta actividad cerebral puede involucrar un conjunto local de neuronas individuales o agregados de cientos, miles o millones de neuronas simultáneamente.



Figura 2: Etapas y equipos involucrados en las BMIs

Decodificadores: son algoritmos matemáticos encargados de procesar, filtrar el ruido y amplificar la señal obtenida por los sensores derivados del proceso neurofisiológico que refleja la intención del usuario. Estos componentes son esenciales para lograr garantizar el correcto funcionamiento de una interfaz cerebro-máquina.

Efectores o actuadores: son dispositivos que reflejan cual es la forma en la que interactúa el usuario con el entorno mediante las BMIs

(prótesis, brazo robótico, cursores informáticos). Y además debe contemplar tres secuencias o etapas esenciales [9] tal y como se muestran en la Figura 2:

1º Secuencia: Adquisición de señal

El proceso de adquisición de señal requiere la obtención de las señales eléctricas procedentes del cerebro. Estas señales pueden ser registradas desde el cuero cabelludo, la superficie del cerebro o desde la actividad neuronal. Dado que la intensidad de las señales capturadas suele ser bajas, se necesita amplificarlas. Luego, para poder ser comprendidas por alguna aplicación del ordenador se las deben digitalizar. (Por ejemplo, registrar la señal de tomar un vaso de agua procedente de la actividad cerebral de un determinado sujeto).

2º Secuencia: Procesamiento de la señal

En esta etapa, las señales obtenidas de la secuencia anterior son analizadas y procesadas para obtener las señales de control. El procesamiento de la señal puede realizarse a través de las siguientes suboperaciones:

Preprocesamiento: La primera parte del procesamiento de la señal consiste en preparar el registro de la señal digital a procesar como una mejora para hacer que las características sean más claras de detectar. Algunas técnicas de filtrado pueden ser aplicadas. (Siguiendo con el ejemplo, se debe garantizar que las condiciones sean las adecuadas, preparando previamente al sujeto para que no se distraiga con algún otro evento)

Extracción de rasgos distintivos: Consiste en extraer señales con rasgos específicos. En general los sensores (como por ejemplo el EEG) registran no solo cierta señal eléctrica del cerebro, sino que también varias señales no deseadas. Esas señales no deseadas pueden sesgar (alterar) el análisis del sensor, obteniendo información errónea. Por lo tanto, las señales digitales se encuentran sujetas a los procedimientos de extracción. (Separar las señales procedentes de los demás sentidos para que se registren solo aquellas relacionadas con mover, agarrar y levantar el vaso para poder tomar agua)

Clasificación de la señal: algoritmo de traducción. En esta operación, un algoritmo de traducción, se ocupa de traducir la información obtenida a un lenguaje entendible por los dispositivos externos (efectores o actuadores) que cumplen la intención del usuario. Las señales son clasificadas en las diferentes frecuencias y formas que presentan; un algoritmo de clasificación puede utilizar métodos lineales o no lineales. (Esa señal es traducida por medio de un programa para que, por ejemplo, un brazo robótico pueda cumplirla).

3° Secuencia: Manipulación de datos

Una vez que las señales son clasificadas, la salida es manipulada para que se adapten a los efectores o actuadores. Estos proporcionan retroalimentación creando un bucle de control que cierra el ciclo. (Es decir, se operan esas instrucciones para que lleguen correctamente al brazo robótico en todo momento y para que no ocurra algún inconveniente).

La retroalimentación sensorial es muy importante para el control del movimiento. En las BMIs básicas la única retroalimentación que reciben los usuarios es la visual. Sin embargo, se ha demostrado que se puede utilizar un enfoque basado en el aprendizaje para proporcionar una señal más intensa de retroalimentación sensorial artificial [10]. Esto sigue una nueva estrategia para restaurar la propiocepción a quienes utilizan las BMIs.

En el presente trabajo no se abordará este aspecto particular de las BMIs, aunque si se reconoce la complejidad de los componentes tecnológicos requeridos para que las BMIs puedan cumplir estas funciones.

3. Formas en las que se obtienen las señales eléctricas producidas por el cerebro

Hasta aquí se describió cómo funcionan las BMIs básicas; se aborda ahora abordaremos el análisis de la secuencia de adquisición de señal para entender cuáles son las diversas maneras que existen actualmente para obtenerlas.

La actividad neuronal se puede resumir como el movimiento de las cargas eléctricas que producen campos eléctricos y magnéticos

debido a la interacción que ocurre entre las millones de neuronas que conforman el sistema nervioso. Las interfaces cerebro-máquina intentan detectar esa actividad cerebral, generada por ciertos estímulos, empleando los sensores adecuados, los que se conectan cerca de determinadas regiones del cerebro y facilitan la detección de los campos eléctricos y magnéticos para su posterior análisis.

Se emplean diferentes métodos para obtener las señales emitidas por el cerebro. Se dividen en invasivos, semi-invasivos (indicados por [11] y [12]) y no invasivos (según lo dicho por [13]) dependiendo de la capa del cerebro de donde se desee adquirir la señal. Esto se observa en la Figura 3 que muestra la relación entre los distintos métodos de obtención de señales y la capa del cerebro donde se toman los datos.

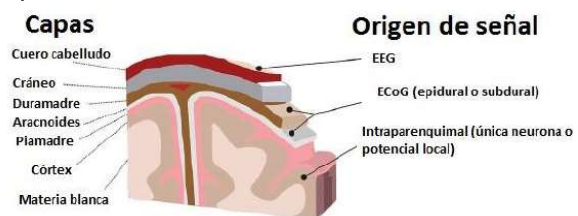


Figura 3: Señales y Capas del Cerebro Fuente: [13]

A continuación, se explican brevemente cada uno de estos métodos señalados.

Métodos invasivos

Los métodos invasivos requieren intervención quirúrgica dado que los electrodos deben estar en contacto directo con el cerebro para obtener la mejor calidad de señal en el área de córtex o materia blanca del mismo. Este tipo de intervención se suele utilizar en personas que sufren de parálisis o también podría utilizarse para restaurar la visión conectando el cerebro con cámaras externas.

Pese a presentar la mejor calidad de señal, los riesgos clínicos que tiene tal cirugía para el individuo lo hacen el método menos común y con mayores consecuencias adversas utilizado por las BMIs.

Métodos semi-invasivos

Los electrodos son implantados en el cráneo, pero afuera del cerebro. La electrocorticografía (ECoG) usa la misma tecnología que los EEG,

pero los electrodos están incrustados en una delgada almohadilla de plástico que se coloca por encima de la corteza.

Con este método se logra una buena calidad de señal, pero significativamente menor a la obtenida por los métodos invasivos. La ventaja es que no requieren de una intervención quirúrgica tan compleja por lo que el riesgo clínico es mucho menor.

Métodos no invasivos

Para adquirir las señales no se requiere ningún tipo de intervención quirúrgica dado que las mismas se obtiene con elementos que actúan por encima del cuero cabelludo por tal motivo las señales registradas no son tan precisas en comparación a los dos métodos anteriores.

Una de las formas más utilizadas para lograr la implementación de las interfaces cerebro-máquina es la electroencefalografía o el electroencefalograma (EEG – Electroencephalography), método de monitorización electrofisiológico que registra la actividad eléctrica del cerebro, a través de electrodos colocados directamente sobre el cuero cabelludo con ayuda de un gel líquido conductor, de modo que tome las medidas correspondientes a la actividad eléctrica presente en una amplia superficie del cerebro. Este es el más utilizado, dado que el montaje necesario para realizar las mediciones de las señales es sencillo, barato y los resultados que otorga son los suficientemente buenos para una gran parte de las aplicaciones que se pueden desempeñar con las BMIs. Algunos dispositivos como el casco Mindwave [14] constituyen alternativas más económicas basadas en la electroencefalografía.

Otro método no invasivo y de gran interés es la imagen por resonancia magnética funcional (fMRI - Functional Magnetic Resonance Imaging). Su funcionamiento se basa en el análisis de los cambios que se producen en el flujo de la sangre en el cerebro, teniendo siempre presente que el comportamiento de este flujo está ligado a la actividad cerebral. Para ello, se evalúa el diferente comportamiento magnético entre la sangre rica en oxígeno y la sangre pobre en oxígeno y volumen de sangre

en ciertas zonas del cerebro. Para poder realizar estos análisis se hace uso de los escáneres basados en las propiedades de la resonancia magnética nuclear.

También cabe destacar como alternativa no invasiva la magnetoencefalografía (MEG Magnetoencephalography), que consiste en el análisis de la actividad magnética del cerebro a partir del fenómeno de la inducción magnética. Los procesos neurofisiológicos que producen las señales analizables mediante MEG son los mismos que permiten un análisis mediante EEG. Las ventajas de MEG respecto de EEG se deben a que los campos magnéticos son menos afectados por el cuero cabelludo y huesos que los campos eléctricos, produciendo una mejor adquisición de señales. Sin embargo, el uso de MEG es poco viable debido al equipamiento electrónico necesario para realizarla.

Hasta aquí se expuso lo que se investigó y entendió respecto de cómo capturar la señal eléctrica neuronal y dejarla a disposición para procesarla e interpretarla mediante distintas tecnologías propias de las BMIs, pero no fue posible entender las formas en que estas señales pueden “volver” a la persona para que esta pueda tomar decisiones que permitan una mejor calidad de vida. El tema es muy complejo, y se debe avanzar detalladamente en las temáticas enunciadas para poder llegar a entender las BMIs en esta que sería su fase final.

4. Conclusión

Existen diversas líneas de investigación incipientes en las que se destacan los problemas éticos, el procesamiento de las señales, la manipulación de datos, las formas de lograr una retroalimentación efectiva, la aplicación de las BMIs para detectar fallas en alguna máquina, la implementación adecuada de BMIs para controlar un brazo protésico, la simulación de sentidos como podría ser el del tacto, el uso de inteligencia artificial (IA) para el apoyo de las BMIs, entre otros.

La tecnología de las BMIs cada vez está tomando mayor relevancia en el mundo. Existen empresas, universidades y grupos de investigadores que invierten una gran suma

de dinero y tiempo para seguir las explorando y lograr una implementación adecuada de las mismas como es el caso de Neuralink y Facebook [15] o Brain and Cognitive Sciences research lab MIT, Biomedical Functional Imaging and Neuroengineering Laboratory of Carnegie Mellon University o The University of Tokyo, JP, Life Science Center of TARA [16].

No sería sorpresa que en los próximos años este tipo de tecnologías se conviertan en uno de los principales temas de investigación en el mundo debido a los grandes cambios que promete.

Luego de lo expuesto en el presente trabajo, como proyecto futuro se pretende investigar y avanzar en el estudio profundo de estas tecnologías para lograr implementar en su totalidad una interfaz cerebro-máquina básica que permita controlar un brazo protésico desarrollando o utilizando un sensor basado en EEG. También es intención avanzar en la investigación para desarrollar otras formas en las que se logre obtener una retroalimentación efectiva que apoye al funcionamiento de las BMIs, y de ser posible, lograr que por ejemplo al utilizar la prótesis de un brazo mediante las BMIs sea posible sentir la textura del objeto que se agarre o el calor que transmite para actuar en consecuencia, es decir, simular el sentido del tacto.

Una vez logrado un avance importante sobre lo dicho, la investigación puede continuar con la reducción o eliminación de los elementos físicos como los cables involucrados en las BMIs, de manera que su uso resulte más cómodo para el usuario.

Será un trabajo apasionante que demandará mucho tiempo, esfuerzo, recursos e investigaciones; existirán instancias para trabajar de forma colaborativa con otras universidades o instituciones interesadas en el tema y de seguro arroje diversos resultados prometedores acerca del desarrollo de las BMIs en la Argentina.

Este trabajo se elaboró en el Grupo IDEAS, de la Facultad de Ingeniería de la UCASAL, espacio creado para el desarrollo de capacidades de investigación e innovación, en aquellos alumnos interesados en estas actividades.

Referencias Bibliográficas

- [1] Jacques J. Vidal, «Toward Direct Brain-Computer Communication,» *Annual Review of Biophysics and Bioengineering*, vol. 2, pp. 157-180, 1973.
- [2] C. S. Nam, A. Nijholt and F. Lotte, "Introduction: Evolution of Brain-Computer Interfaces," Francis (CRC Press), 2018.
- [3] GLOOM, «Mental Health Daily,» 15 04 2014. [En línea]. Available: <https://mentalhealthdaily.com/2014/04/15/5-types-of-brain-waves-frequencies-gamma-beta-alpha-theta-delta>. [Último acceso: 28 08 2019].
- [4] T. Aflalo, «Decoding motor imagery from the posterior parietal cortex of a tetraplegic human,» *Science*, p. 906–910, 2015.
- [5] C. I. Penaloza and S. Nishio, "BMI control of a third arm for multitasking," *Science Robotics*, 2018.
- [6] G. K. Anumanchipalli, J. Chartier y E. F. Chang, «Speech synthesis from neural decoding of spoken sentences,» *Nature* 568, p. 493–498, 2019.
- [7] U. Asgher, N. S. Naz, K. Sardar, K. Sardar, Mehjabeen y A. Raza, «Ethical Issues of Brain-Computer Interface,» *IJCSNS*, vol. 18, nº 5, pp. 21-27, 2018.
- [8] A. M. ASTOBIZA, T. AUSÍ, M. T. R. M. FERRER, M. A. PAYÁ y D. LÓPEZ, «Traducir el pensamiento en acción: Interfaces cerebro-máquina y el problema ético de la agencia,» *Revista de Bioética y Derecho*, nº 46, pp. 29-46, 2019.
- [9] Rabie A. Ramadan, S. Refat, Marwa A. Elshahed y Rasha A. Ali, «Chapter 2 Basics of Brain Computer Interface,» 2017.
- [10] O. J. S. P. Dadarlat MC, «A learning-based approach to artificial sensory feedback leads to optimal integration,» *Nat Neurosci*, nº 18, p. 138–144, 2015.

- [11] Z. Koudelková y M. Stmiska, «Introduction to the identification of brain waves based on their frequency,» de *MATEC Web of Conferences 210*, 2018.
- [12] «NeurotechEDU – Educational Materials for Neurotechnology,» [En línea]. Available: <http://learn.neurotechedu.com/introtobci/#top-of-page>. [Último acceso: 29 08 2019].
- [13] Á. M. García, «Diseño de interfaces cerebro-máquina controlados mediante registros de EEG,» de 2.2.3. *Adquisición de señales*, Madrid, Escuela Politécnica Superior – Universidad Autónoma de Madrid, 2015, pp. 22-23.
- [14] «Neurosky,» [En línea]. Available: <https://store.neurosky.com/pages/mindwave>. [Último acceso: 1 09 2019].
- [15] GARFIELD BENJAMIN, 09 2019. [En línea]. Available: https://elpais.com/tecnologia/2019/08/23/actualidad/1566558959_777866.html.
- [16] Jeff Coleman, «Medium,» 04 08 2018. [En línea]. Available: <https://medium.com/@askwhy/brain-computer-interface-with-artificial-intelligence-and-reinforcement-learning-9c94b0454209>. [Último acceso: 1 09 2019].