INTERFAZ CEREBRO MÁQUINA PORTÁTIL PARA ACCIONAR UN BRAZO HUMANOIDE

Daniel Herrera Sánchez, Sebastián Giraldo Pérez

Universidad EIA
Envigado, Colombia

Resumen

En Colombia las prótesis de miembro superior más usadas son aquellas cuya función es similar a la pinza. Dicha función suele ser accionada por movimientos físicos del portador, en especial de los músculos ubicados sobre el omóplato, bíceps y tríceps. Una de las posibles soluciones a este problema es utilizar los sistemas de interfaz cerebro máquina (ICM), los cuales han permitido que personas en circunstancia de discapacidad, controlen sistemas digitales con el pensamiento (esto incluye los brazos humanoides), pero generalmente requiere una computadora con alto poder computacional para su uso. Este proyecto propone una ICM portátil que permitirá mover un brazo humanoide a través de ondas cerebrales captadas de un usuario. Por lo tanto, el proyecto genera una alternativa al control de prótesis de miembro superior, para aquellos que no pueden desarrollar movimientos para accionarlas. No obstante, la ICM no solo sería funcional para este fin, también se podría integrar con otros sistemas digitales, lo que permitiría desarrollar interfaces útiles para toda clase de usuarios, entre ellos las personas en circunstancia de movilidad reducida. Para llevar esto a cabo, lo primero que se debe hacer es identificar las características de las señales. Además, se debe implementar un sistema de adquisición de señales EEG portátil. Se identifican algunas posiciones en la corteza cerebral que permiten utilizar un número mínimo de electrodos para poder diferenciar entre tres clases: abrir, cerrar y no ejecutar ningún movimiento. Se implementa un protocolo de entrenamiento para poder adquirir los datos que sirven como base para la extracción de características en la señal de EEG empleando filtros y CSP. Luego de esto se utiliza LDA con el fin de que el algoritmo sea capaz de asociar estas características a una clase determinada. Para el desarrollo del algoritmo se utiliza Python como lenguaje de programación, ya que este es un lenguaje open-source muy bien documentado y para el cual sus usuarios desarrollan librerías que pueden realizar funciones prácticas para este proyecto.

Palabras clave: ICM; brazo humanoide; reconocimiento de patrones; CSP; LDA; Python

Abstract

The most used upper limb prosthetics in Colombia are the ones whose function is like a pincer's. Those are usually activated by physical movements from the portrayer, especially in the muscles located over the scapula, biceps and triceps. A possible solution for this problem is to use Brain Computer Interface (BCI) systems. These have allowed handicapped people to control digital systems (including humanoid arms), but those usually require a computer with a high processing power to use them. This project proposes a portable BCI which will allow to move a humanoid arm through the brainwaves of a certain user. Therefore, this project proposes an alternative way to control upper limb prosthetics for those who cannot realize movements to activate them. However, the mentioned BCI would not just be useful for this end, but it could also be integrated with other digital system, allowing to develop useful interfaces for all kinds of users, including people with reduced mobility. To carry this out, the first thing to do is to identify the signal's features. Besides, a portable EEG waves system must be implemented. Some positions in the cerebral cortex were identified to be able to minimize the number of electrodes and still allow the system to differentiate between three classes: to open, to close and to not execute any movement at all. A training protocol is then implemented to acquire the data that serves as base for the feature extraction in the EEG signal, employing filters and CSP. Thereafter, LDA is used to make the algorithm able to associate such features to a determined class. To develop this algorithm, Python is used as programming language, as this is an open source, well documented language and for which their users develop libraries that can be practical for this project.

Keywords*: BCI; humanoid arm; pattern recognition; Common Spatial Pattern (CSP); Linear Discriminant Analysis (LDA); Python*

1. Introducción

En Colombia más de sesenta mil personas padecen de parálisis o pérdida de sus miembros superiores (Dane, 2004); para recuperar la movilidad en algunos casos requieren de prótesis, las cuales pueden ser accionadas a través de movimientos del usuario o electromiografía. En este proyecto se plantea la alternativa de accionarla a través de comandos del pensamiento, empleando una Interfaz Cerebro Máquina (ICM). De antemano, se agradece a los lectores de este documento por su tiempo y atención.

2. Metodología

En la etapa inicial del proyecto se construyó el brazo humanoide. Los pasos a seguir en esta etapa eran los siguientes: Desarrollar una búsqueda de archivos CAD en internet para imprimir en 3D estas piezas, diseñar y elaborar las piezas adicionales necesarias, definir los motores y poleas necesarias para accionar el brazo, determinar la fuente de

alimentación, seleccionar un microcontrolador para accionar los motores y por último ensamblar todos los componentes. En la siguiente ilustración se muestra el resumen de esta primera etapa:

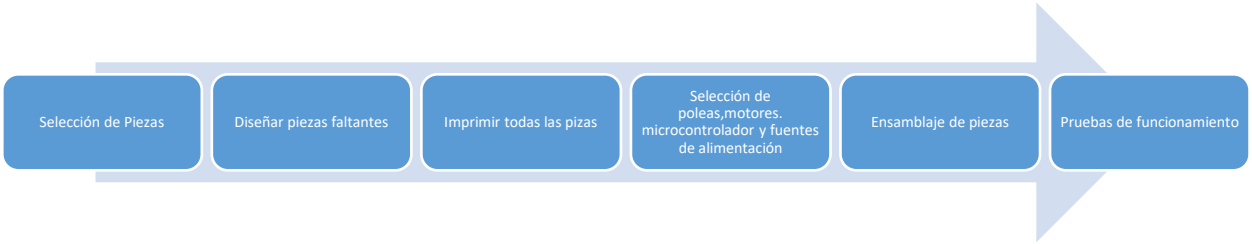

Ilustración 1-Primera Etapa-Brazo Humanoide

En la segunda etapa del proyecto se determinó el sistema de adquisición a utilizar y se implementaron pruebas de funcionamiento y se desarrolló un código para interpretar estas señales. Este código consistía en desarrollar un programa que extrajera las características de las señales de EEG cuando se piensa en ejecutar diferentes movimientos. Esto es posible ya que al igual que existen características que diferencian a un niño de un adulto mayor, existen métodos para diferenciar los pensamientos del ser humano (Cicchino, 2011). Una vez extraídas estas características era necesario clasificar las señales según el pensamiento ejercido por el usuario. En este caso se diferenciaron entre tres grupos a saber: pensar en mover la mano derecha, mover el pie izquierdo y pensar en cualquier otro asunto excepto los dos anteriores. Cuando nacemos no es tan fácil que podamos determinar las diferencias entre un adulto y un niño y requerimos entrenamiento o experiencia para diferenciar estos grupos de personas, de igual manera una máquina requiere un entrenamiento para poder diferenciar los diferentes grupos. A este proceso se le llama aprendizaje de máquina. Cuando una máquina está entrenada con las características adecuadas, es capaz de clasificar las señales de EEG en los grupos mencionados. Para determinar la efectividad de esta clasificación se implementan unas pruebas con datos de señales EEG de pacientes que estuvieran pensando en las acciones ya descritas. En la siguiente ilustración se muestra el resumen de esta segunda etapa:

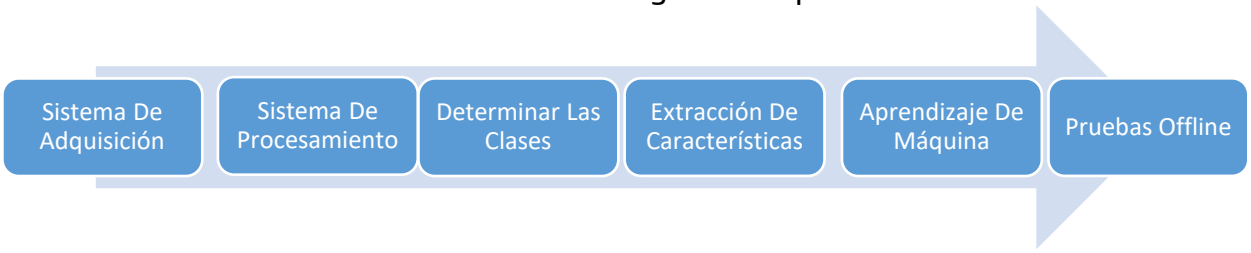

Ilustración 2-Segunda más tercera –ICM offline

En la tercera etapa se integra el código de extracción de características a la adquisición de los datos y su clasificación en los tres grupos mencionados en tiempo real. Después se hacen unas pruebas en tiempo real, con el paciente y se manda una señal según el evento identificado. En la siguiente ilustración se muestra el resumen de la tercera etapa:

Ilustración 3- Tercera etapa más tercera -ICM online Ilustración

En la última etapa de este proyecto se accionó el brazo humanoide a través del pensamiento. De tal manera que el brazo humanoide abría cuando el usuario pensaba en mover el brazo derecho, cerraba la mano cuando pensaba en mover el pie izquierdo o se mantenía en su último estado si el usuario pensaba en cualquier otra acción o asunto. En la siguiente ilustración se muestra el resumen de la cuarta etapa:

Ilustración 4- Cuarta etapa-Acción del brazo humanoide

3. Resultados

En la primera etapa se construyó un brazo humanoide con la capacidad de abrir, cerrar la mano y mover cada dedo de manera independiente. Para las pruebas iniciales el brazo era accionado por comandos de voz, potenciómetros y desde el teclado de un computador. Un aporte importante que se hizo fue el diseño de engranes que permitieran la rotación del brazo humanoide. En la siguiente imagen se exhibe el resultado final:

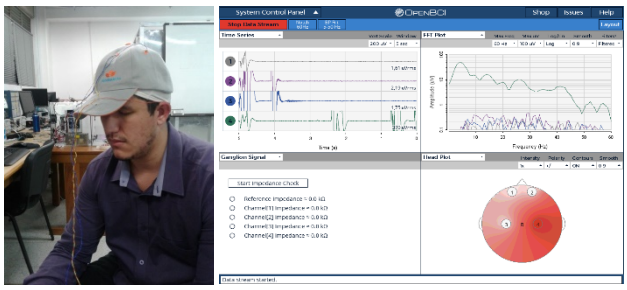

Ilustración 6- Interfaz de adquisición de EEG

En la segunda etapa se implementó un sistema de adquisición portátil de EEG, el cual va adherido a una gorra y se desarrolló la adquisición de los datos en tiempo real haciendo uso de cuatro electrodos. Esto requirió de un proceso investigativo para determinar cuáles eran los mínimos electrodos necesarios para diferenciar los diferentes grupos de pensamientos. Partiendo de 118 electrodos se logró disminuir mediante el procesamiento de las señales a los 4 electrodos mencionados. El sistema definitivo se exhibe a continuación:

Con los datos ya adquiridos se procedió a extraer las características de la señal. Para este caso se analizó la entropía de Shannon, Wavelet, Correlación cruzada, la amplitud de la señal y siendo el más significativo CSP (Common Spatial Pattern). Con estas características se procedió a entrenar la máquina para que pudiera distinguir entre los diferentes grupos, usando como método de clasificación LDA (Linear Discriminant Analysis). Los resultados del entrenamiento se muestran en la siguiente matriz de confusión:

	Precisión	Recall	F1-score	Support
Brazo	0.88	0.96	0.92	24
Pie	0.97	0.93	0.93	31
Avg/ Total	0.93	0.93	0.93	55

Tabla 1-Matriz de confusión

Según esta matriz de confusión en total se logró acertar el 88% de las veces que la persona pensó en brazo y el 97% de las veces que la persona pensó en pie.
Con estos resultados se toma la decisión de acoplar el código para que funcione en tiempo real. Se hicieron diferentes modificaciones para que funcionara en tres diferentes sistemas operativos a saber Windows, Ubuntu y Raspbian. Al poder ejecutar el código en el sistema operativo Raspbian abría la posibilidad de ejecutarlo en un sistema embebido, en este caso se seleccionó una Raspberry. Con todos estos elementos listos se procedió a hacer pruebas con el usuario en tiempo real, donde aleatoriamente se le indicaba al usuario que acción debía pensar para accionar el brazo humanoide. Los resultados son los siguientes:

Ilustración 7-Prueba en tiempo real

	Eventos totales	Acertados	Falsos Positivos	Recall	Precisión	Exactitud
Abrir	14	14	0	1	1	1
Cerrar	9	8	1	0,9	0,9	0,89
Nada	7	6	1	0,88	0,75	0,86
Total	30	28	2	0,93	0,88	0,92

Tabla 2-Resultados pruebas en tiempo real

Según los datos de esta prueba se logró ejecutar las acciones de abrir, cerrar y ningún comando con una precisión del 88% y una exactitud del 92 %.

4. Conclusiones

- Se logró implementar una interfaz cerebro máquina para accionar un brazo humanoide mediante la integración de elementos mecánicos, electrónicos y de programación, la cual ejecuta esta función en tiempo real, con una precisión del 88% y una exactitud del 92%, abriendo así el camino a futuras aplicaciones en el área, tales como manejo de exoesqueletos, domótica y acceso a la red a través del pensamiento. Además, el sistema es altamente portátil y a un muy bajo costo (menos de 200 dólares).
- Se desarrolló un sistema mecánico de un brazo humanoide mediante el uso de herramientas de prototipado rápido. Además de ejecutar el movimiento de pinza cuenta con la posibilidad de mover de manera independiente sus dedos y puede realizar el movimiento de rotación de muñeca gracias al diseño y al acople de un sistema de engranes creado por los autores de esta tesis.
- Se implementó un sistema portátil de adquisición de las señales EEG humanas en tiempo real. Se desarrolló una reducción de canales hasta un punto fiable con respecto a la precisión.
- Se desarrolló un algoritmo que preprocesa la señal de EEG, extrae sus características y diferencia entre tres clases. Este algoritmo se puede ejecutar en Windows, Ubuntu y Raspbian (permite implementación en un sistema embebido).
- Si bien LDA y CSP son empleados para dos clases, mediante el procesamiento de las señales se logró extraer un tercer estado con buenos resultados en la exactitud y precisión.
- El sobrelapar las ventanas de datos en un 20% se logra una mejoría en al menos un 13 % sobre los resultados finales. También el aplicar filtros Laplacianos mejora en un 12% la precisión del algoritmo.
- Se logró implementar una interfaz cerebro máquina para accionar el brazo humanoide mediante comandos del pensamiento ejecutados por el usuario. Este

sistema es portátil, presenta una autonomía de más de dos horas y un peso de 1,2 Kg

5. Referencias

- Berlin Institute of Technology. (27 de febrero de 2017). *bbci*. Obtenido de http://www.bbci.de/competition/iv/results/index.html
- Cicchino, A. N. (2011). *Técnicas de procesamiento de EEG para.* Argentina: Universidad Nacional De La Plata.
- Dane. (2004). Información estadística de la discapacidad. Dane, 12. Retrieved from http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/discapacidad/inform_estad.pdf Nordin, M. (2004). biomecanica basica del sistema musculoesqueletico.
- OpenBCI. (22 de marzo de 2017). *OpenBCI*. Obtenido de Ganglion Data Format: http://docs.openbci.com/Hardware/08-Ganglion_Data_Format#ganglion-data-format-interpreting-the-eeg-data.

6. Acerca de los autores

- **Daniel Herrera Sánchez**, Estudiante de décimo semestre de ingeniería Biomédica (correo Danielherresan@gmail.com).
- **Sebastián Giraldo Pérez**, Estudiante de décimo semestre de ingeniería Mecatrónica (correo sebasgiraldop@hotmail.com).

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2017 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)