

Brain-Computer Interface (BCI) **aplicado al entrenamiento cognitivo y control domótico para prevenir los efectos del envejecimiento**

El Grupo de Ingeniería Biomédica de la Universidad de Valladolid nos propone el empleo de sistemas BCI (*Brain-Computer Interface*), que traducen las intenciones del usuario en comandos de control, como herramienta de entrenamiento cognitivo que ayude a prevenir los efectos del envejecimiento. También desarrollará una aplicación BCI asistiva que permita el control de dispositivos domóticos y electrónicos presentes en una vivienda.

Roberto Hornero, Rebeca Corralejo y Daniel Álvarez

Grupo de Ingeniería Biomédica (GIB). Universidad de Valladolid

Brain-Computer Interface (BCI)

Desde que, en 1929, Hans Berger aplicó por primera vez la técnica de la electroencefalografía, esta ha sido usada fundamentalmente por médicos y científicos para investigar el funcionamiento del cerebro. También se ha

especulado sobre la posibilidad de usar el electroencefalograma (EEG) para descifrar intenciones, de forma que una persona pudiera controlar determinados dispositivos a partir de su actividad cerebral. Así, se define *Brain-Computer Interface* (BCI), o interfaz cerebro-ordenador, como un siste-

ma de comunicación que monitoriza la actividad cerebral y traduce determinadas características, correspondientes a las intenciones del usuario, en comandos de control de un dispositivo. Bajo esta definición, los sistemas BCI pueden resultar muy útiles para las personas dependientes

de avanzada edad o con grave discapacidad, ya que suponen un nuevo canal de comunicación.

Existen diferentes métodos para registrar la actividad cerebral: EEG, electrocorticografía (ECoG), magnetoencefalografía (MEG), tomografía por emi-

sión de positrones (*Positron Emission Tomography*, PET) o imágenes de resonancia magnética funcional (*functional Magnetic Resonance Imaging*, fMRI). La ECoG es una técnica invasiva, es decir, requiere de una intervención para la colocación de electrodos en la superficie cortical. Por su parte, las técnicas MEG, PET y fMRI requieren de instalaciones y equipos de alto coste. Por ello, el método más empleado para el registro de la actividad cerebral en sistemas BCI es el EEG, ya que se trata de una técnica sencilla, no invasiva, portátil y de bajo coste.

Los sistemas BCI se pueden clasificar en dos grupos según la naturaleza de la señal de entrada: sistemas BCI endógenos y exógenos.

Los sistemas BCI endógenos dependen de la capacidad del usuario para controlar su actividad electrofisiológica, como puede ser la amplitud del EEG en una banda de frecuencia específica sobre un área concreta del córtex cerebral. Los sistemas BCI basados en imágenes motoras (ritmos sensoriomotores) o en potenciales corticales lentos (*Slow Cortical Potentials*, SCP) son sistemas

endógenos y requieren de un período de entrenamiento intensivo. A continuación se describen ambos sistemas:

- BCI basado en potenciales corticales lentos. Los SCP son cambios lentos de voltaje generados sobre el córtex cerebral, con una duración variable entre 0.5 y 10 segundos. Los SCP negativos se asocian típicamente con el movimiento y otras funciones que implican una activación cortical. Se ha demostrado que las personas pueden aprender a controlar estos potenciales.

- BCI basado en imágenes motoras o ritmos sensoriomotores. Se basa en un paradigma de dos o más clases de imágenes motoras (movimiento de la mano derecha o izquierda, de los pies, de la lengua, etc.) u otras tareas mentales (rotación de un cubo, realización de cálculos aritméticos, etc.). Este tipo de tareas mentales producen cambios en la amplitud de los ritmos sensoriomotores μ (8-12 Hz) y β (16-24 Hz), registrados sobre la zona somatosensorial y motora del córtex cerebral. Estos ritmos presen-



De izquierda a derecha: Gonzalo Gutiérrez, Rebeca Corralejo, José Víctor Marcos, María García, Carlos Gómez, Laura Martín, Roberto Hornero, Jesús Poza y Alejandro Bachiller (Grupo de Ingeniería Biomédica de la Universidad de Valladolid) / Foto: D. Juan Miguel Lostau.

Grupo de Ingeniería Biomédica

El Grupo de Ingeniería Biomédica (GIB) de la Universidad de Valladolid es un grupo de investigación multidisciplinar, cuyas líneas de investigación se centran principalmente en el procesamiento de señales e imágenes médicas, así como en desarrollo de sistemas *Brain-Computer Interface* (BCI) dirigidos a personas discapacitadas y mayores. Actualmente, está formado por cuatro Profesores de la E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación, seis Contratados de Investigación y siete médicos de diferentes especialidades, que colaboran en las diversas líneas de investigación. Desde su creación, el grupo ha experimentado un notable crecimiento en cuanto al número de integrantes, proyectos de investigación desarrollados de ámbito nacional e internacional, artículos publicados en revistas científicas y premios recibidos. Toda esta información se detalla en la página web del grupo: <http://www.gib.tel.uva.es/>

tan variaciones tanto para la ejecución de un movimiento real como para la imaginación de un movimiento o la preparación al mismo.

Los sistemas BCI exógenos dependen de la actividad electrofisiológica evocada por estímulos externos y no necesitan de una etapa intensiva de entrenamiento. A continuación, se describen las principales características de los sistemas exógenos basados en potenciales evocados P300 o en potenciales evocados visuales de estado estable (*Steady State Visual Evoked Potentials*, SSVEP).

- BCI basado en potenciales evocados P300. El potencial P300 es un pico de amplitud que aparece en el EEG aproximadamente unos 300 ms después de haberse producido un estímulo auditivo o visual poco frecuente. Habitualmente, se presenta al usuario una tanda de estímulos de los que solo unos pocos tienen relación con la intención del usuario. De esta forma, los estímulos de interés, al ser infrecuentes y estar mezclados con otros estímulos mucho más comunes, provocan la aparición de un potencial P300 en la actividad cerebral del usuario. Dicho potencial se observa principalmente en las zonas central y parietal del córtex cerebral.

- BCI basado en potenciales evocados visuales de estado estable. Los potenciales evocados visuales se detectan en el EEG registra-

do sobre la zona visual del córtex cerebral tras haberse aplicado un estímulo visual al usuario. Estos potenciales se hacen estables si la tasa de presentación del estímulo visual está por encima de 6 Hz (6 repeticiones por segundo). Cuando el usuario enfoca su mirada en una imagen que parpadea a una frecuencia determinada, es posible detectar dicha frecuencia analizando el espectro de la señal EEG, ya que aumenta la amplitud del SSVEP en la frecuencia de la imagen parpadeante y en su segundo y tercer armónico.

El procesamiento de la señal en sistemas BCI se divide habitualmente en cuatro etapas. En primer lugar, se realiza una etapa inicial de pre-procesado en la que se filtran las señales EEG y se eliminan algunos de los posibles artefactos que se encuentran superpuestos a la señal de interés (parpadeo, movimiento de los ojos, electrocardiograma, movimientos musculares, etc.). Después, se realiza una segunda etapa que consiste en la extracción de determinadas características específicas de la señal EEG. A continuación, se aplican métodos de selección de características que escogen las más significativas dentro del conjunto extraído, que codifican la intención del usuario. Finalmente, los algoritmos de clasificación

traducen el conjunto de características seleccionado en un comando concreto, relacionado con la intención del usuario.

Aplicaciones de los sistemas BCI

Envejecimiento y dependencia son dos términos cada vez más interrelacionados. El incremento de la esperanza de vida de la población en los países occidentales lleva asociado un aumento progresivo de la situación de dependencia. La evolución hacia sociedades más envejecidas demanda nuevas soluciones para asistir a las personas de avanzada edad que ven limitadas sus capacidades para realizar actividades de la vida diaria y que requieren ayuda para su ejecución. En este sentido, los sistemas BCI pueden resultar de gran utilidad, ya que facilitan una nueva forma de interactuar con los diferentes dispositivos presentes en su entorno habitual. Así, es posible satisfacer algunas necesidades fundamentales de comunicación, confort, ocio y desplazamiento. Por tanto, estos sistemas contribuyen a un incremento de la autonomía de las personas en situación de dependencia, mejorando tanto su calidad de vida como su integración en la sociedad.

Las aplicaciones más habituales están dirigidas a faci-



tar la comunicación, el control de sillas de ruedas y prótesis o el control del entorno. También se han desarrollado aplicaciones orientadas al control del ordenador y la navegación a través de Internet.

Las aplicaciones orientadas a facilitar la comunicación se han desarrollado a partir de sistemas BCI, que presentan al usuario las letras del abecedario en forma de matriz o de teclado de ordenador. El usuario forma palabras y frases mediante la selección de las letras que las conforman. La técnica de selección de letras y caracteres se ha implementado con sistemas BCI de varios tipos: basados en P300, en potenciales corticales lentos o en imágenes motoras. Actualmente, se está dedicando un gran interés y esfuerzo en el desarrollo de sistemas que combinen la selección de letras con la navegación por Internet, de forma que existen aplicaciones BCI para la publicación de mensajes en *Twitter* y navegadores BCI para la exploración de páginas web.

También se han empleado diferentes tipos de sistemas BCI, basados en P300 o en imágenes motoras, para el control del movimiento de sillas de ruedas. Dichos sistemas permiten activar o parar el movimiento de la silla, girarla a la derecha o a la izquierda



Conjunto de dispositivos electrónicos presentes habitualmente en el hogar, que podrían controlarse mediante la aplicación BCI propuesta para incrementar la autonomía de las personas mayores dependientes: televisión, reproductor de DVD, luces, equipo de música, disco duro multimedia, calefactor, ventilador y teléfono.

e incluso desplazarse hasta un punto cercano que el usuario ha seleccionado. Además, las sillas están dotadas de sensores y otros dispositivos que permiten detectar posibles obstáculos y ayudan a esquivarlos para garantizar siempre la seguridad del usuario. Una aplicación similar, de control de trayectorias, movimientos y giros, que ha sido implementada con sistemas BCI, es la de teleoperación de robots, es decir, control de robots que pueden estar ubicados a miles de kilómetros de distancia.

Por último, ya se está investigando en la aplicación de sistemas BCI orientados a la rea-

*Envejecimiento
y dependencia
son dos términos
cada vez más
interrelacionados*

lización de tareas mentales que mejoren las capacidades cognitivas de los usuarios. Las primeras aplicaciones desarrolladas resultan prometedoras, aunque desde el punto de vista del entrenamiento cognitivo y del retraso de los efectos del envejecimiento, queda aún un largo camino por recorrer.

En el proyecto «Brain-Computer Interface for cognitive training and domestic assistance against the effects of ageing», financiado en la convocatoria de proyectos Cero de la Fundación General del CSIC, se pretende desarrollar nuevas aplicaciones asistivas mediante sistemas BCI basados en

imágenes motoras y en potenciales P300. Estas aplicaciones permitirán entrenar diferentes procesos cognitivos y controlar múltiples dispositivos de climatización y calefacción, de iluminación, de entretenimiento (TV, DVD, equipos de música, etc.) y de comunicación (control del teléfono).

Proyecto Cero de la Fundación General CSIC: «Brain-Computer Interface for cognitive training and domestic assistance against the effects of ageing»

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el envejecimiento es el deterioro progresivo y generalizado de las funciones,

que produce una pérdida de respuesta adaptativa al estrés y un mayor riesgo de sufrir enfermedades relacionadas con la edad. El envejecimiento puede conllevar situaciones de discapacidad y dependencia con el paso del tiempo. En 2008, se estimaba que había más de 3.7 millones de personas discapacitadas en España. Casi 3 millones tenían algún impedimento para realizar actividades de la vida diaria (AVD) y de ellas, más de 1.7 millones eran personas mayores de 64 años. Una aplicación BCI de control doméstico permitiría a muchas de estas personas interactuar con su entorno habitual e incrementar su autonomía personal. Ade-

más, las tareas mentales empleadas en algunos tipos de sistemas BCI podrían resultar útiles para aquellas personas en etapas iniciales de envejecimiento, de forma que sirvan para prevenir o frenar su deterioro cognitivo.

Este Proyecto Cero nace con el objetivo de desarrollar nuevas herramientas que faciliten la vida diaria de las personas mayores. Para ello, se propone el empleo de sistemas BCI. Se pretende, por un lado, prevenir o frenar el deterioro cognitivo asociado al envejecimiento y, por otro lado, facilitar el acceso de las personas dependientes a los dispositivos presentes en su entorno habitual.

En primer lugar, se propone el desarrollo de una aplicación de entrenamiento cognitivo empleando un sistema BCI basado en imágenes motoras. Este tipo de sistemas BCI necesitan una etapa intensiva de entrenamiento. En dicha etapa, los usuarios han de realizar diferentes tareas mentales (visualización del movimiento de las manos, pies, lengua, rotación de un cubo, operaciones aritméticas, etc.). El objetivo consiste en adaptar esas tareas mentales para que sean tareas de entrenamiento cognitivo válidas para las personas mayores. De esta forma, la realización de varias sesio-

nes de entrenamiento con la aplicación desarrollada favorecerá la lentificación del proceso de deterioro cognitivo, e incluso podría llegar a mejorar las capacidades cognitivas de los usuarios.

La aplicación BCI de entrenamiento cognitivo empleará los ritmos sensoriomotores μ (8-12 Hz) y β (16-24 Hz). Estos ritmos presentan variaciones sobre la zona motora del córtex cerebral cuando se realiza un movimiento y, también, cuando un usuario observa el movimiento o lo imagina. Para identificar adecuadamente la intención del usuario, se realizará una revisión en profundidad del estado del arte de los métodos de procesamiento de la señal EEG para el control de sistemas BCI basados en imágenes motoras. Se estudiarán métodos de análisis espectral basados en la transformación de Fourier, en *wavelets* o en modelos autorregresivos; métodos de filtrado espacial como el método de patrones espaciales comunes (*Common Spatial Patterns*, CSP) y métodos no lineales. Para llevar a cabo la selección y clasificación de características se estudiarán métodos evolutivos y de reconocimiento de patrones, como algoritmos genéticos, clasificador discriminante lineal, clasificador de Bayes, máquinas de soporte vectorial o redes neuronales.



Usuario realizando pruebas con un sistema BCI. En la fotografía se puede observar el montaje de electrodos necesario para el registro de la actividad EEG, así como el amplificador de señales biomédicas empleado, que destaca por su pequeño tamaño.

Las tareas cognitivas implementadas en la aplicación BCI de entrenamiento serán diseñadas en colaboración con los terapeutas y usuarios mayores del Centro de Referencia Estatal (CRE) de Discapacidad y Dependencia de San Andrés del Rabanedo (León). Las tareas propuestas se dividirán en diferentes grupos y niveles de dificultad para evaluar el progreso de las habilidades cognitivas del usuario. Así, se pretende que la aplicación entrene y refuerce las capacidades cognitivas de los usuarios, de forma que permita prevenir o frenar los efectos del envejecimiento.

En segundo lugar, se desarrollará una aplicación de control domótico empleando un sistema BCI basado en potenciales evocados P300. El objetivo consiste en facilitar la interacción de las personas mayores en situación de dependencia con los dispositivos electrónicos presentes en el hogar, de forma que puedan llevar una vida más cómoda e independiente. Puesto que los sistemas BCI basados en P300 no requieren de una etapa de entrenamiento, esta aplicación va dirigida a personas en etapas más avanzadas del envejecimiento y en situación de dependencia, con el objetivo de incrementar su autonomía en el hogar y mejorar su calidad de vida. Esta aplicación

El objetivo es facilitar la interacción de las personas mayores con los dispositivos electrónicos del hogar

tendrá en cuenta las principales necesidades de los usuarios finales: entretenimiento, confort, comunicación, etc. Para ello, permitirá controlar los dispositivos domóticos y electrónicos más habituales dentro del hogar y sus principales funcionalidades:

- Televisor: encender, apagar, subir o bajar el volumen, silenciar, seleccionar canales, acceder al menú de configuración, etc.
- Reproductor de DVD: encender, apagar, explorar el contenido del DVD, reproducir, pausar o parar una película, etc.
- Equipo de música: encender, apagar, subir o bajar el volumen, silenciar, cambiar a la función radio o CD, seleccionar una pista o emisora, etc.

- Disco duro multimedia: encender o apagar, explorar el contenido del disco duro, reproducir, pausar o parar una película, etc.

- Teléfono: colgar, descolgar, marcar un número de teléfono, acceder a la agenda, consultar las listas de llamadas perdidas, recibidas y realizadas, etc.

- Luces: encender, apagar, cambiar de color y aumentar o disminuir la intensidad de la luz.

- Calefacción: encender, apagar, subir o bajar la temperatura, activar o desactivar el temporizador, etc.

- Ventilador: encender, apagar, aumentar o disminuir la potencia, activar o desactivar el temporizador, etc.

La aplicación de control domótico empleará los potenciales P300 que se producen cuando se muestra al usuario un estímulo infrecuente mezclado con múltiples estímulos frecuentes. Para ello, se mostrará al usuario una serie de imágenes representando los diferentes dispositivos y comandos a ejecutar, que se irán iluminando aleatoriamente. El sistema BCI identificará qué opción de entre todas las mostradas en la pantalla fue la que provocó el potencial P300 en el usuario

al iluminarse. Así, se identificará la intención del usuario y se ejecutará el comando oportuno. Para identificar adecuadamente la intención del usuario, se revisará en profundidad el estado del arte de los métodos de procesamiento de la señal EEG en sistemas BCI basados en P300. Se estudiarán métodos de minimización de artefactos y de detección de pico en el dominio del tiempo. Para la selección y clasificación de características se estudiarán métodos como el discriminante lineal de Fisher, el discriminante lineal paso a paso (*StepWise Linear Discriminant Analysis*, SWL-DA), la correlación de Pearson o las redes SVM.

Al igual que para la aplicación de entrenamiento cognitivo, se tendrá en cuenta a los terapeutas y usuarios del CRE de Discapacidad y Dependencia. De nuevo, la evaluación de la aplicación domótica será realizada por usuarios mayores del centro, que realizarán diferentes sesiones con la aplicación controlando los dispositivos de su entorno.

Finalmente, ambas aplicaciones serán evaluadas de forma global. En concreto, se analizará si el haber realizado tareas de entrenamiento cognitivo con la primera aplicación favorece una mejora de las habilidades cognitivas y, por tanto, un mejor control de la aplicación domótica. ■