

El lenguaje del pensamiento

The language of thought

Alberto Andreu Marín

Universidad de Jaén

Campus Las Lagunillas s/n 23071 – Jaén

aandreu@ujaen.es

Resumen: Actualmente se están llevando a cabo muchos estudios sobre el reconocimiento e interpretación de ondas cerebrales con diferentes resultados. Uno de los ámbitos más prometedores es el de la denominada “habla imaginada”, palabras que se piensan, pero no se dicen. En esta línea, se están alcanzando buenos resultados utilizando un vocabulario reducido (cinco palabras), consiguiendo incluso que una persona pueda comunicarse con un ordenador a través de su pensamiento, con la única ayuda de un hardware de adquisición de ondas cerebrales superficial.

No obstante, ¿somos capaces de interpretar las señales eléctricas que genera nuestro cerebro? Lo que a priori parece ciencia ficción ya se utiliza en diversos ámbitos: medicina, seguridad o incluso videojuegos, siendo solo algunos ejemplos del amplio abanico de posibilidades que presentan las interfaces Cerebro-Ordenador o BCI (del inglés *Brain-Computer Interface*).

Palabras clave: Electro-encefalograma(EEG), Brain-Computer Interface (BCI), sensor cerebral, habla imaginada.

Abstract: Many studies are currently being conducted on the recognition and interpretation of brain waves with different results. One of the most promising areas is that of the denomination “imagined speech”, words that are thought, but not said (5 words), even getting a person to communicate with a computer through their thinking, with the only help of superficial brainwave acquisition hardware.

However, are we able to interpret the electrical signals generated by our brain? What seems science fiction is already used in various fields: medicine, security or even video games are just a few examples of the wide range of possibilities presented by the Brain-Computer Interface (BCI).

Keywords: Electroencephalogram (EEG), Brain-computer Interface (BCI), brain sensor, imagined speech.

1 Justificación de la investigación propuesta

Aunque el desarrollo de interfaces cerebro computador no es una tarea reciente, en los últimos años están alcanzando relevancia debido a las posibilidades que presentan. Uno de los usos más generalizados se encuadra dentro del campo de la medicina, más concretamente en la rehabilitación de pacientes, estableciendo un canal de comunicación paciente-ordenador orientado a individuos con problemas de movilidad (Pfurtscheller et al., 1997).

Además de la medicina, existen otros campos que comienzan a interesarse por este tipo de sistemas. La Neuropolítica trata de reconocer, por medio del análisis de EEGs, si un candidato es más o menos idóneo, mostrando una imagen del candidato a la persona que se está monitorizando. De esta forma se puede saber, a través del análisis de EEGs, si el candidato es del agrado del individuo estudiado (Vecchiato et al., 2010).

El mundo del videojuego tampoco quiere quedarse atrás en este sentido, algunas marcas están desarrollando ya nuevas interfaces

cerebro-ordenador ordenador que mejorarán la experiencia de juego, complementándose con las interfaces ya existentes. Otros campos, como el de la seguridad, comienzan a fijarse en el cerebro como una forma inequívoca de reconocer a una persona.

El habla imaginada es otro de los campos sujetos a estudio, actualmente todos los sistemas que se están desarrollando se basan en un vocabulario muy restringido (de 3 a 5 palabras), pero suficiente para poder desplazar un cursor en una pantalla, por ejemplo. Estos sistemas normalmente van dirigidos a personas con movilidad reducida y dificultad en el habla, que no pueden comunicarse con el mundo exterior.

2 Origen y trabajo relacionado

Existe un creciente número de grupos de investigación centrados en el procesamiento del lenguaje imaginado. El departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Toronto o el departamento de Ciencias de la Computación del INAOE (Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica) en México son solo algunos ejemplos.

El origen de este trabajo se basa en estudios previos realizados por el departamento de Ciencias de la Computación del INAOE (Figura 1), que cuentan con una experiencia de varios años en el ámbito del reconocimiento del habla

imaginada a partir de diferentes formas de analizar un EEG (Erik F. González-Castañeda et al., 2016).

1. Análisis de la señal EEG mediante la descomposición en sus diferentes rangos frecuenciales. Se utiliza la misma técnica que se usa para el análisis de sonidos, solo que aplicada a ondas cerebrales. Esta técnica se basa en DWT (Discrete Wavelet Transform) y RWE (Relative Wavelet Energy).
2. Sonificación. Se trata de escalar las diferentes frecuencias del EEG a frecuencias audibles (EEG 2 tones). Una vez escalados, se aplican las mismas técnicas usadas en el apartado anterior, mejorando los resultados en la fase de clasificación.
3. Textificación. Es la técnica más innovadora, se apoya en la transformación de los EEGs en texto, esta modificación está basada en modelado de *bumps* con el fin de reducir la gran cantidad de datos registrados a través de los EEGs. El *bump* representa una función paramétrica utilizada para la descomposición atómica en el mapa de tiempo-frecuencia. Normalmente se usan *bumps* semielipsoides (La Roca et al., 2013), guardando las zonas con mayor energía registradas en el EEG.

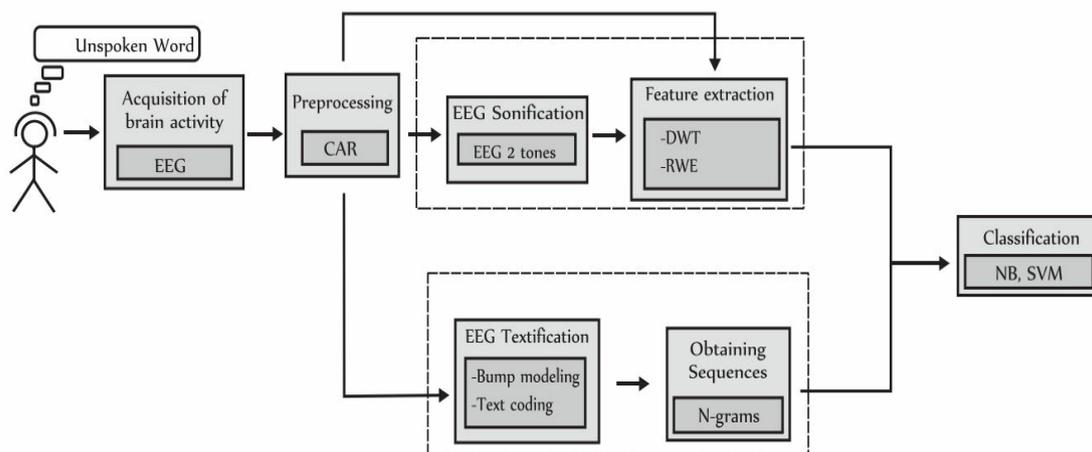


Fig. 1. Métodos usados para la clasificación de señales EEG durante el habla imaginada.

Además de para reconocer el lenguaje imaginado, el análisis de EEGs se está aplicando, con muy buenos resultados, en el reconocimiento del movimiento imaginado. Se sabe que cuando imaginamos un movimiento, se

genera en el cerebro el fenómeno de desincronización (ERD y ERS). Este fenómeno consiste en la alteración de la onda cerebral en el área del cerebro donde se localiza el movimiento de las articulaciones (Norman et al., 2016). Tal

efecto es sabido que puede apreciarse en el EEG hasta 2 segundos antes de realizarse físicamente el movimiento (Pfurtscheller et al., 1997).

3 Descripción de la investigación propuesta, incluyendo las hipótesis principales

En los últimos años las interfaces cerebro ordenador (BCIs) están experimentando un rápido desarrollo debido, entre otras cosas, a la aparición de nuevos sistemas de adquisición de ondas cerebrales. Están proliferando muchas empresas dedicadas al desarrollo de este tipo de hardware (Emotiv, Neurosky, GTEC). Un aspecto primordial en estos sistemas es la cantidad y posición de los electrodos. Dependiendo de ello, el hardware podrá ser utilizado para registrar la actividad eléctrica de unas áreas del cerebro u otras.

Aprovechando esta coyuntura, la investigación trata de identificar el habla imaginada (palabras que se piensan pero no se dicen) a partir del análisis de EEGs generados a través de sistemas comerciales económicos de adquisición de ondas cerebrales. La idea es identificar un vocabulario reducido compuesto por cinco palabras (arriba, abajo, derecha, izquierda y pulsar), que permitirá a una persona mover el cursor del ordenador únicamente con el pensamiento.

Pero ¿qué tiene esto que ver con el procesamiento del lenguaje? La codificación en texto o textificación de EEGs mejora el resultado de la clasificación. Es en este punto en el que surge el concepto de un “lenguaje del cerebro.” ¿Puede existir algún tipo de lenguaje subyacente contenido en esa textificación?

Aplicar estas técnicas a diferentes entornos como el movimiento imaginado o los sentimientos puede aportar un enfoque diferente a la hora del reconocimiento de los EEGs asociados a estos ámbitos.

Junto a la sonificación y la textificación, también proponemos la imagenificación, esto es, la transformación de los EEGs en imágenes 2D de modo que el uso de técnicas de procesamiento de imágenes contribuya en el reconocimiento del habla imaginada.

En definitiva, se trata de un cambio de dominio, del dominio del análisis de la señal EEG a otros dominios bien estudiados, como son análisis de

voz, texto e imágenes, dominios con algoritmos de categorización ya contrastados.

Los últimos resultados presentados remarcan la mejora que experimentan estos sistemas a la hora de la clasificación cuando se realiza la textificación de los EEGs, más concretamente cuando se usan secuencias de N-gramas. En los experimentos realizados puede observarse el incremento en el porcentaje de acierto de los clasificadores, arrojando sus mejores resultados con la ordenación de secuencias en trigramas. Esto nos plantea, como mínimo, dos hipótesis:

1. El orden en las secuencias textificadas. No basta con extraer determinados indicadores o huellas del EEG, sino que hay que aproximarse a este como una secuencia temporal.
2. Del mismo modo que una sílaba no es una buena unidad para, por ejemplo, la recuperación de información, parece que la textificación de un *bump* tiene una granularidad excesivamente fina.

4 Metodología y experimentos propuestos

Para la experimentación se ha optado por seguir las siguientes etapas:

1. Reproducir los últimos experimentos y textificar los EEGs obtenidos.
2. Encontrar relaciones o series temporales.
3. Aplicar técnicas de clasificación y aprendizaje automático.
4. Generar una base de datos sobre EEGs propia.
5. Contrastar los resultados con bases de datos ya existentes.

Cabe destacar la generación de una base de datos propia. Para llevar a cabo esta tarea se ha diseñado un primer experimento, que consta de las siguientes fases (Figura 2):

1. Preparación: el sujeto se relaja e intenta poner la mente en blanco.
2. Objetivo: se muestra al sujeto un estímulo visual de lo que tiene que imaginar.
3. Imaginación de la palabra: el sujeto dispone de 3 segundos para imaginar la palabra.
4. Verificación del objetivo: el sujeto señala en el gráfico el objetivo para realizar la comprobación de que el

sujeto ha pensado lo que debía.

5. Descanso: el sujeto dispone de 2 segundos para descansar después de imaginar cada palabra.

Para la realización completa del experimento, cada individuo deberá repetir la imaginación de cada una de las palabras un número n de veces.

Para el registro de los EEGs, se utiliza el sistema de adquisición de datos EPOC+ de Emotiv; este hardware presenta 14 sensores distribuidos por todo el cuero cabelludo y una tasa de muestreo máxima de 256Hz. Además el sistema incorpora un software específico (Emotiv Xavier TestBench) que facilita mucho la tarea de adquisición de los datos.

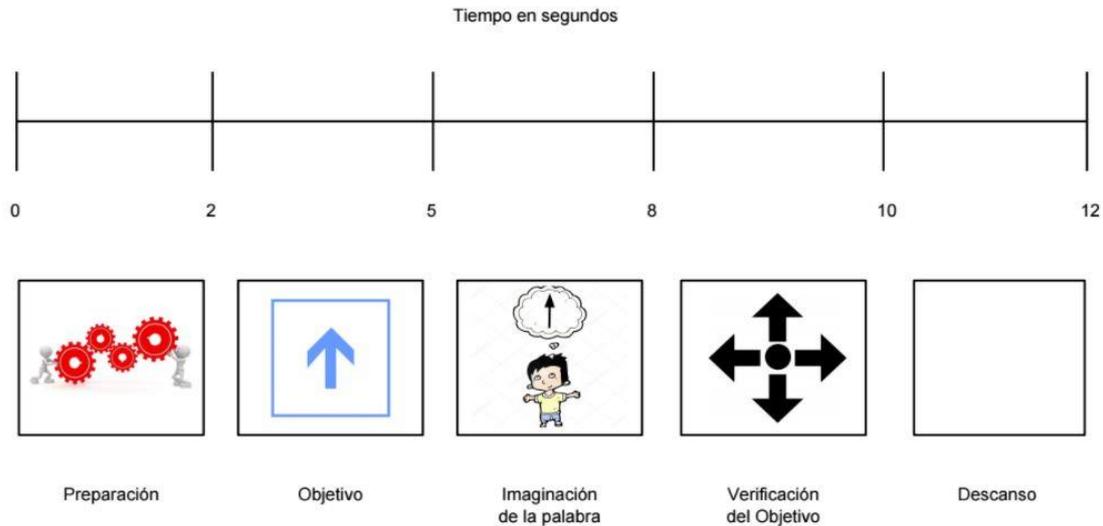


Fig. 2. Diseño del experimento

5 Conclusiones

Actualmente el mercado de los sistemas de adquisición de ondas cerebrales se encuentra inmerso en una evolución rápida y constante, no solo por parte de empresas que ya se encuentran posicionadas en el sector, sino por nuevas empresas que están surgiendo al amparo de esta tecnología, muestra del interés que esta tecnología está suscitando.

Aunque esta investigación se encuentra en su fase inicial, los experimentos que ya se han realizado resultan bastante esperanzadores; los resultados obtenidos una vez aplicada la obtención de secuencias de los EEGs textificados sugieren que el orden es clave a la hora de realizar su caracterización.

Se está avanzando mucho en este ámbito, aunque todavía queda mucho por hacer. Los próximos retos pasan por la mejora de los sistemas de adquisición de ondas cerebrales, haciéndolos, si cabe, más asequibles y aumentando la calidad en la adquisición de los datos, eliminando al máximo la gran cantidad de interferencias que sufren estos sistemas que

obligan a su utilización en entornos muy controlados. Además, existen otros problemas relacionados con los cambios que experimenta la señal cerebral cuando un individuo entrena continuamente la pronunciación imaginada de una palabra, obligando a desarrollar sistemas que evolucionen conjuntamente. Estas son las principales barreras a las que se debe enfrentar un investigador que pretenda iniciarse en este entorno, en el que todavía queda mucho por descubrir.

Agradecimientos

Este trabajo está parcialmente subvencionado por el proyecto REDES (TIN2015-65136-C2-1-R) del MICINN del Gobierno de España.

Bibliografía

- Chen, D., Wan, S., Xiang, J., & Bao, F. S. (2017). A high-performance seizure detection algorithm based on Discrete Wavelet Transform (DWT) and EEG. *PLoS one*, 12(3).
- González-Castañeda, E. F., Torres-García, A. A., Reyes-García, C. A., & Villaseñor-

- Pineda, L. (2016). Sonification and textification: Proposing methods for classifying unspoken words from EEG signals. *Biomedical Signal Processing and Control*, 37, 82-91.
- La Rocca, D., Campisi, P., & Solé-Casals, J. (2013, September). Eeg based user recognition using bump modelling. In *Biometrics Special Interest Group(BIOSIG), 2013 International Conference of the BIOSIG Special Interest Group* (pp. 1-12). IEEE.
- Norman, S. L., Dennison, M., Wolbrecht, E., Cramer, S. C., Srinivasan, R., & Reinkensmeyer, D. J. (2016). Movement Anticipation and EEG: Implications for BCI-Contingent Robot Therapy. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 24(8), 911-919.
- Panzner, M., & Cimiano, P. (2016). Comparing Hidden Markov Models and Long Short Term Memory Neural Networks for Learning Action Representations. In *Machine Learning, Optimization, and Big Data: Second International Workshop, MOD 2016, Volterra, Italy, August 26-29, 2016. Revised Selected Papers* (Vol. 10122).
- Pfurtscheller, G., Neuper, C., Flotzinger, D., & Pregenzer, M. (1997a). EEG-based discrimination between imagination of right and left hand movement. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 103(6), 642-651.
- Pfurtscheller, G., Neuper, C., Andrew, C., & Edlinger, G. (1997b). Foot and hand area mu rhythms. *International Journal of Psychophysiology*, 26(1), 121-135.
- Pfurtscheller, G., & Da Silva, F. L. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical Neurophysiology*, 110(11), 1842-1857.
- Porbadnigk, A., Wester, M., & Jan-p Calliess, T. S. (2009). EEG-based speech recognition impact of temporal effects. *2nd International Conference on Bio-inspired System and Signal Processing (Biosignals 2009), Porto, Portugal*.
- Torres-García, A. A., Reyes-García, C. A., Villaseñor-Pineda, L., & García-Aguilar, G. (2016). Implementing a fuzzy inference system in a multi-objective EEG channel selection model for imagined speech classification. *Expert Systems With Applications*, 59, 1-12.
- Vecchiato, G., Toppi, J., Cincotti, F., Astolfi, L., Fallani, F. D. V., Aloise, F., Mattia, D., Bocale, S., Vernucci, F., & Babiloni, F. (2010, August). Neuropolitics: EEG spectral maps related to a political vote based on the first impression of the candidate's face. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE* (pp. 2902-2905). IEEE.
- Vialatte, F. B., Martin, C., Dubois, R., Haddad, J., Quenet, B., Gervais, R., & Dreyfus, G. (2007). A machine learning approach to the analysis of time-frequency maps, and its application to neural dynamics. *Neural networks*, 20(2), 194-209.
- Zhao, S., & Rudzicz, F. (2015, April). Classifying phonological categories in imagined and articulated speech. In *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2015 IEEE International Conference on* (pp. 992-996). IEEE.