

Descomposición de bandas de energía como extracción de características para el reconocimiento de imaginación motora

Decomposition of energy bands as features extraction for the recognition of motor imagination

Iveth Moreno¹, Carlos Boya², José Serracín¹, Jacqueline Quintero¹, Mauricio Antelis³, Luis Hernández³, Rodney Moreno¹, Luis Gómez¹, Sofía Serracín¹, Emmanuel Batista¹

¹ Grupo ROBOPROC, Centro Regional de Chiriquí, Universidad Tecnológica de Panamá, ²Independiente, ³Extensión de Guadalajara, Instituto Tecnológico de Monterrey
iveth.moreno@utp.ac.pa, carlosallanb@gmail.com, jose.serracin@utp.ac.pa, jacqueline.quintero@utp.ac.pa, mauricio.antelis@itesm.mx, luisghdzrojas@gmail.com, rodney.moreno@utp.ac.pa, luisgomez0995@gmail.com, sofiaserracin28@gmail.com, elder6722@gmail.com

Resumen— En este artículo se presentan los resultados que se obtuvieron del análisis de las señales eléctricas, obtenidas con un equipo de interfaz cerebro-computadora, colocado en una persona que imagina movimientos de las extremidades superiores. En el análisis de la señal se aplica la descomposición de bandas de energía para la extracción de características a fin de detectar y clasificar las intenciones del usuario.

Palabras claves— Cerebro, EEG, Imaginación motora, interfaz cerebro-computadora.

Abstract— This article presents the results obtained from the analysis of electrical signals, obtained with a brain-computer interface equipment, placed in a person who imagines movements of the upper extremities. For the analysis of the signal the decomposition of energy bands for the extraction of characteristics is applied. The results were encouraging for this type of systems.

Keywords— Brain, brain-computer interface, EEG, motor imagination, wavelet, wavelet decomposition.

1. Introducción

En este artículo se habla de la efectividad de la descomposición de bandas de energía, como método para la extracción de características de señales de electroencefalografía (EEG). Dichas señales se obtuvieron de una interfaz cerebro-computadora. Para realizar este estudio, se utilizaron datos obtenidos con un equipo g.Nautilus BCI de dieciséis canales.

En [1] se define una interfaz cerebro-computadora, BCI del inglés Brain-Computer Interface, como un sistema que mide la actividad del sistema nervioso central y traduce la lectura de estas señales (EEG, ECoG, etc.) en “salidas artificiales” (brazos robóticos o sillas de ruedas), que les permiten a las personas reemplazar, restaurar, aumentar, suplantar o mejorar las “salidas naturales” que controla el sistema nervioso

central del cuerpo humano (extremidades superiores e inferiores).

Desde sus inicios la tecnología BCI ha tenido como principal aplicación o propósitos mejorar la calidad de vida de personas con discapacidad motora [2] [3] [4], pero por otro lado el avance de la tecnología y la reducción de costos para esta clase de equipos ha dado lugar a otras aplicaciones como monitorización de bioseñales en conductores [5], expresiones artísticas [6], meditación [7], entre otros.

BCI se basa en la posibilidad de medir la actividad eléctrica que existe en el cerebro, su procesamiento y salida para la interacción del cerebro con el exterior. El cerebro está compuesto por células llamadas neuronas, el agrupamiento de estas neuronas forman la materia gris del cerebro, estas neuronas reciben y procesan información proveniente de los receptores sensoriales [8], esta información es convertida en impulsos

eléctricos para enviarlos a otras neuronas, esta comunicación entre neuronas hace que el potencial (65 a 70 mV) de la neurona cambie de manera rápida, a este cambio es llamado potencial postsináptico [9]. Éste cambio en el potencial postsináptico se reflejan en forma de ondas eléctricas las cuales se clasifican en:

- **Ondas Alpha:** Varían de los 8 a 13 Hz y se obtienen de la región occipital del cerebro en personas despiertas, con los ojos cerrados o en estado de relajación.
- **Ondas Beta:** frecuencia de 13 a 30 Hz, se detectan en los lóbulos parietales y frontales, en estado de alerta o concentración.
- **Ondas Delta:** frecuencia de 0.5 a 4 Hz son detectadas en bebés, y el estado de sueño en adultos.
- **Ondas Thetas:** frecuencia de 4 a 8 Hz, son asociadas a estados de somnolencia.
- **Ondas Gamma:** Frecuencia de 30 a 100 Hz, son detectadas en tareas que en las que se utiliza la memoria de corto plazo. [9].

Por otro lado, el concepto de electroencefalografía (EEG) hace referencia a una técnica de adquisición de la señal eléctrica cerebral de forma no invasiva; en la que se registra la región emisora, la polaridad y los cambios espacio-temporales de dichas señales por medio de electrodos superficiales y basales que transforman las corrientes iónicas del tejido cerebral en corrientes eléctricas en la superficie craneal.

Hay varios sistemas para el posicionamiento de los electrodos, como lo son: Illinois, Montreal, Aird, Lennox, Marchall, etc. [10]. Pero en 1958 fue propuesto por la Federación Internacional de Sociedades de Electroencefalografía y Neurofisiología Clínica el uso estandarizado del Sistema Internacional diez-veinte.

Este sistema toma como puntos de referencia marcas craneales como lo son el “nasion”, que es la unión de la sutura nasal con la frontal localizándose aproximadamente a nivel de la zona media de las cejas; el “inion”, que está en el punto más bajo del cráneo y el punto pre-auricular en las orejas [11].

Se dice que el 10 hace referencia al 10% de la distancia que hay entre el “nasion” y el “inion” con el siguiente electrodo Fp1 y O1 respectivamente, pasando por el vertex (zona más alta del cráneo), que corresponde al electrodo Cz, de forma lineal; y que el

20 se refiere al 20% de distancia que hay entre cada dos electrodos dejando una equidistancia con cada electrodo vecino (ver figuras 1 y 2). Las letras corresponden con la inicial de cada lóbulo craneal; F para frontal, C para central, T para temporal, A para auricular, P para parietal y O para occipital. Los subíndices “z” pertenecen a la línea central del cráneo. Y los subíndices de números se colocan de izquierda a derecha, impares y pares de forma respectiva.

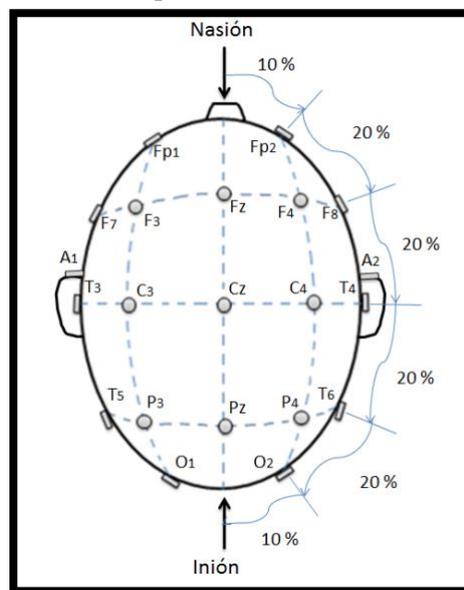


Figura 1. Diagrama del Sistema Internacional 10-20, vista superior.

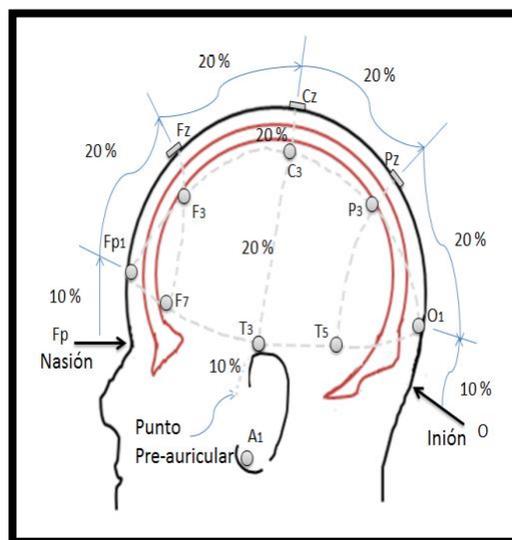


Figura 2. Diagrama del Sistema Internacional 10-20, vista lateral izquierda.

Además, las señales captadas se analizan mediante técnicas variadas, utilizando desde filtrados y redes neuronales y/o en ellas efectuar métodos matemáticos como transformadas de Fourier para obtención de las características de las señales u otros métodos.

El cerebro por su naturaleza genera señales con frecuencias variables a lo largo del tiempo, por lo que la aplicación de un método matemático como la transformada de Wavelet, la cual opera con frecuencias variables de eventos en el tiempo [12] puede ser efectivo.

La distribución de energía promedio, es un método gráfico - matemático, mediante el cual se observa el comportamiento energético de las señales obtenidas mediante electroencefalograma (EEG), de acuerdo a las frecuencias que presenta dichas señales. Este método en general, no es utilizado de forma directa, sino, como una etapa de pre procesado, para ser enviado por ejemplo a una red neuronal. Ejemplo de esto, en el estudio realizado en [13], por medio de reconocimiento de voz humana se pretende clasificar entre género masculino o femenino. Por otro lado, en [14], el propósito es la identificación de señales anormales en el cerebro, para determinar signos de epilepsia utilizando electroencefalograma (EEG). Además, en [15], se muestra la distribución de energía con la frecuencia de cada tipo de descarga y la desviación estándar, utilizando distribución promedio de energía. En el caso de este estudio, se propone utilizar el método directamente para discriminar de un pensamiento sobre otro, obtenido por medio del electroencefalograma (EEG).

El cerebro por su naturaleza genera señales con un espectro que va desde menos de un hertz hasta los 100 hertz. Dependiendo de la actividad detectada, ya sea en tiempo y espacio, algunas frecuencias presentan mas energías que otras. Cuando esta actividad esta presente debido a una intension muy enfocada por parte del usuario, las señales EEG generadas tienen una huella distintiva de energía en frecuencia. Aunque actualmente se utiliza la técnica de transformada de Fourier para realizar analisis y extracción de características en frecuencia, ésta tecnica genera un espacio de características del tamaño del la señal en el tiempo. En este documento, se utiliza una técnica basada en la transformada Wavelet para extraer características de la señal proveniente de la imaginacion motora

[13][14][15]; esta transformada es utilizada para obtener una huella de energía más compacta y representativa de las señales EEG generadas por la intension del usuario[12]. El objetivo es generar huellas de energía que corresponden a cuatro acciones básicas, imaginación de levantamiento de brazo izquierdo, imaginación de levantamiento de brazo derecho, parpadeo y descanso. Las huellas se crean a partir de múltiples muestras efectuadas de las acciones que se mencionan y se comparan entre sí a fin de establecer conglomerados de niveles de energía. Los conglomerados corresponden a la huella de energía y se obtienen valores muy característicos para cada acción.

2. Materiales y métodos

La fase experimental de este estudio consistió en adquirir datos de imaginación motora del movimiento de las extremidades superiores de personas sanas. Cada persona imaginó una rutina de pensamientos durante 3 minutos, de la siguiente manera: Descanso, Movimiento de la mano Derecha o Izquierda, “parpadeo”. Es importante aclarar que el pensamiento parpadeo va asociado, también a una acción física de mover las pestañas repetidamente. Esta acción permite tener un marco de referencia, entre pensamientos y una acción, que puede ser observada más claramente en las gráficas. Cada pensamiento tiene una duración de 3 segundos y el conjunto: descanso movimiento derecha o izquierda y parpadeo; 9 segundos. El movimiento de derecha o izquierda se le indica al usuario de manera aleatoria. El objetivo de estas tareas es la obtención de señales EEG desde varios pensamientos buscando extraer las características de las señales con la técnica de descomposición Wavelet.

Para adquirir los datos, se procedió a colocar el gorro BCI sobre la persona sana (ver la figura 3). La persona a su vez mira en una pantalla la palabra Descanso, Movimiento Derecha o Izquierda, Parpadeo; indicando estas palabras a la persona en que debe pensar, dentro de un ambiente controlado.

El gorro BCI contiene 16 electrodos colocados de acuerdo al Sistema 10/20. Las señales eléctricas obtenidas a través de los electrodos son enviadas a una etapa amplificadora y de filtrado, para luego enviar la señal a la computadora, donde se analizarán las señales obtenidas.

El objetivo de este estudio es evaluar la efectividad del método para la identificación de eventos, con intención de diferenciar entre la imaginación de movimiento del brazo izquierdo o la imaginación de movimiento del brazo derecho.

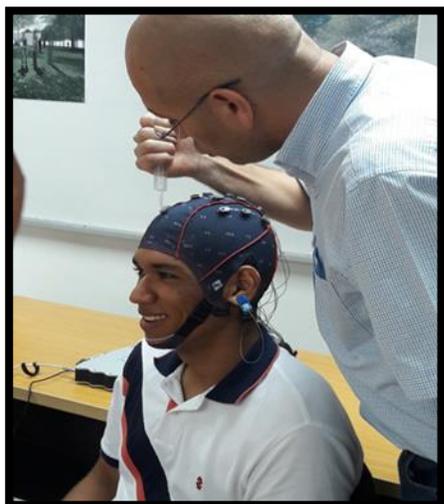


Figura 3. Sistema BCI no invasivo de 16 canales.

3. Resultados

En la Figura 4 se muestran las señales EEG del participante A, para los 16 canales, y en donde los números 1, 2, 3 y 4 superiores son las intenciones de imaginación motora que se le ha solicitado al participante A, donde 1 es el estado “Calma”, 2 el estado “mover a la derecha”, 3 el estado “mover a la izquierda” y el 4, “parpadeo”. Este último se utiliza para tener una referencia más clara entre cada prueba. Cada prueba se inicia con el estado de “Calma” y después con el estado de movimiento, ya sea para la izquierda o la derecha. Cada uno de estos estados tiene una duración de 3 segundos, siendo cada prueba de 9 segundos en total.

Se realizan 10 pruebas por cada sesión. En la figura 4, por claridad, se ha dividido con líneas de referencia azules cada estado de 3 segundos. De los cuatro estados, se observa que el estado “parpadeo” es una variación relativamente rápida, lo cual es proporcional al movimiento físico de cerrar los ojos rápida y repetidamente. Por otro lado, observando cada estado, es difícil visualmente diferenciar entre los estados calma y movimiento; y más aún, entre los movimientos derecha e izquierda.

Con el fin de lograr esta discriminación, se aplica la técnica de descomposición Wavelet, la cual permite obtener niveles de energía por banda de frecuencia. Como se conoce la señal que corresponde a cada uno de los estados, éstos son procesados por la descomposición Wavelet, obteniendo la energía de una serie de bandas de frecuencias como se muestra en la Tabla 1.

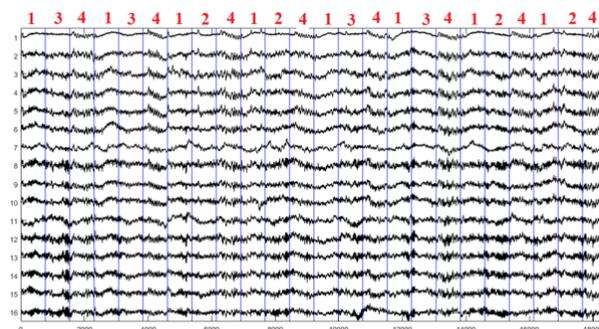


Figura 4. Grupo de señales adquiridas de la imaginación de movimiento de una persona.

Tabla 1. Rangos de las bandas de energía.

Nivel	Banda de frecuencia (Hz)
6	2-4
5	4-8
4	8-16
3	16-32
2	32-64
1	64-128

Se debe destacar el estado de parpadeo. Este se asignó a manera de control, de tal forma que se pudiese aislar dicha acción solo a estos momentos, y que de esa forma no interviniese con el resto de las señales. Es decir, solo se permitía parpadear en estos instantes.

La Figura 5 muestra la huella de energía del pensamiento-acción del evento de parpadeo. Cabe destacar que esta señal es solo a modo de referencia.

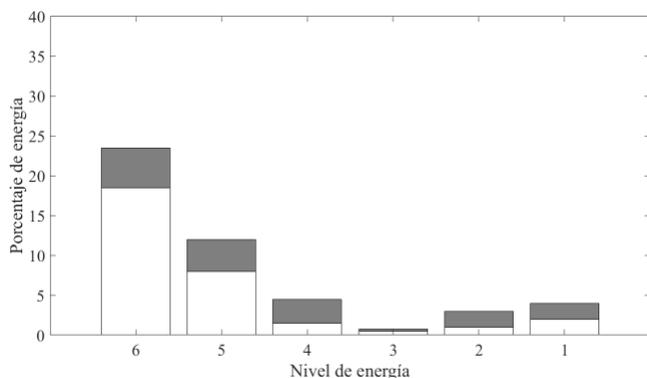


Figura 5. Huella de energía correspondiente al parpadeo. La desviación estándar se muestra en color gris.

El análisis de la señal correspondiente al estado de “descanso” se muestra en la Figura 6. La huella de energía se extrajo de las 8 señales EEG del estado de descanso del canal 2 (electrodo FC1). Éste estado originalmente consiste en 768 muestras en el tiempo, pero mediante la aplicación de la técnica, se reduce a una huella de 6 muestras, sin pérdida de representatividad.

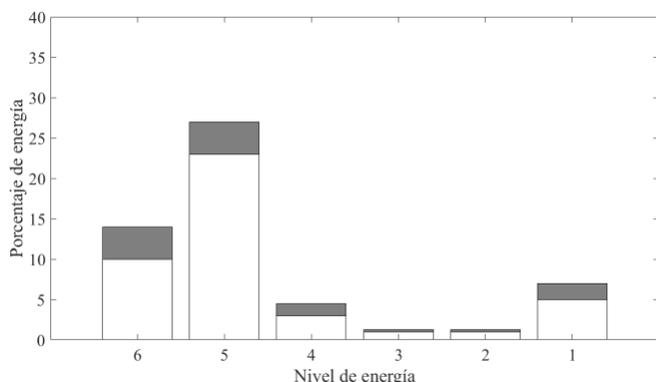


Figura 6. Huella de energía para el pensamiento Descanso. La desviación estándar se muestra en gris para cada nivel.

En la Figura 7, se representan las huellas de energía para el pensamiento “derecha” (Figura 7 a) e “izquierda” (Figura 7 b).

Para las gráficas 7 a) y 7 b) se utilizaron solo 4 señales EEG, tanto para la derecha como para la izquierda. Estas también provenían del canal 2. Es importante agregar, que este mismo análisis se realizó para los otros 15 canales presentando diferencias apreciables entre estados de pensamiento. Al observar las huellas de energía para cada pensamiento, se

concluye que se puede realizar una clasificación de cada uno de estos estados mediante la técnica propuesta.

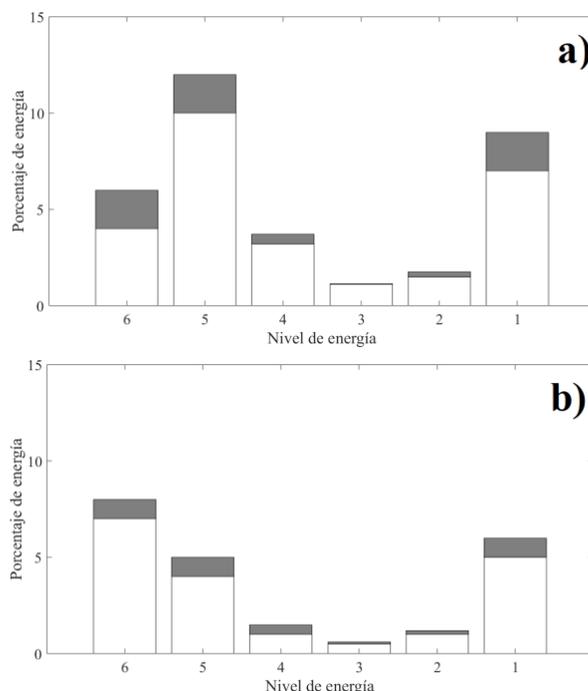


Figura 7. a) Huella de energía para “derecha”. b) Huella de energía para “izquierda”. Desviaciones estándar en gris.

4. Conclusión y discusión

Los resultados de este estudio indican que la aplicación del método de descomposición de bandas de energía para el análisis de las señales eléctricas obtenidas con un equipo BCI, son posibles; ya que se puede distinguir la banda de energía entre un evento y el otro. Sin embargo, hay que realizar más pruebas para diferenciar claramente entre la imaginación del movimiento de la mano derecha y la imaginación del movimiento de la mano izquierda.

Entre los trabajos futuros referentes al estudio, se pretende hacer una comparación de métodos para el análisis de las señales obtenidas con el equipo BCI, con miras a elegir el mejor método de análisis o una combinación de métodos; así como también controlar dispositivos en el entorno de un hogar, tales como abrir y cerrar puertas.

Referencias

- [1] J. R. Wolpaw y E. W. Wolpaw, Brain-Computer Interfaces, New York: Oxford.

- [2] F. V. Álvarez, A. F. Rodríguez, S. V. Moya y R. R. Angevin, «CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS MEDIANTE BCI,» de 7º Simposio CEA de Bioingeniería 2015, Interfaces Cerebro-computador (BCI) y Tecnologías Asistenciales, Málaga, 2015.
- [3] J. D. A. Molina y J. A. S. Tipán, Diseño e implementación de un prototipo Brain Computer Interface (BCI), para la manipulación de una pinza robótica utilizando comunicación bluetooth, Quito, 2014.
- [4] J. I. Serrano, M. D. D. Castillo, R. Raya, C. Bayón y E. Rocon, «BCI basado en la facilitación asociativa de la actividad cortical para el inicio de la marcha en Parálisis Cerebral,» de 7º Simposio CEA de Bioingeniería 2015, Interfaces Cerebro-computador (BCI) y Tecnologías Asistenciales, Málaga, 2015.
- [5] J. M. Morales, S. Romero, L. L. D. Stasi y C. Diaz-Piedra, «PLATAFORMA PARA LA MONITORIZACIÓN DE BIOSEÑALES EN CONDUCTORES,» de 7º Simposio CEA de Bioingeniería 2015, Interfaces Cerebro-computador (BCI) y Tecnologías Asistenciales, Málaga, 2015.
- [6] A. Nijholt, R. J. Jacob, M. Andujar, B. F. Yuksel y G. Leslie, «Brain-Computer Interface for Artistic Expression,» 2018.
- [7] I. Kosunen, A. Ruonala, M. Salminen, S. Järvelä, N. Ravaja y G. Jacucci, «Neuroadaptive Meditation in the Real World,» BCIforReal '17 Proceedings of the 2017 ACM Workshop on An Application-oriented Approach to BCI out of the laboratory, pp. 29-33, Marzo 2017.
- [8] A. Al-Cahalabi, M. Turner y S. Delamont, The Brain, New York: Oneworld Publications, 2006.
- [9] R. P. RAO, Brain-Computer Interfacing, Cambridge : CAMBRIDGE , 2013.
- [10] R. Navarro, «Instrumentación Biomédica Electroencefalografía. Departamento de Electrónica,» Universidad de Alcalá, Alcalá, España, 1998.
- [11] S. J., «Técnicas de toma de datos y análisis de Electroencefalografía,» Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2014.
- [12] «MatLab,» [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/discovery/wavelet-transforms.html>. [Último acceso: 25 febrero 2018].
- [13] E. F. Khalaf, K. Daqrouq y M. Sherif, «Wavelet Packet and Percent of Energy Distribution with Neural Networks Based Gender Identification System,» Journal of Applied Sciences, pp. 2940-2946, 2011.
- [14] I. Omerhodzic, S. Avdakovic, A. Nuhanovic y K. Dizdarevic, «Energy Distribution of EEG Signals: EEG Signal Wavelet-Neural Network Classifier».
- [15] C. Boya, M. Ruiz-Llata, J. Posada y J. A. Garcia-Souto, «Identification of Multiple Partial Discharge Sources using Acoustic Emission Technique and Blind Source Separation,» IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 22, pp. 1663-1673.