

Clasificación de señales EEG

¿Es posible la detección automática de focos epileptógenos?

Monografía vinculada a la conferencia del Prof. Ing. Franco Simini (NIB - Facultades de Medicina e Ingeniería) sobre "*Novell EEG: a new concept of brain electrical activity recording for emergency and clinical appraisal*" el 2 de Junio del 2015

Germán Mamberto
german.mamberto@gmail.com

Resumen. El presente documento pretende dar una introducción a la complejidad existente en el diagnóstico de la epilepsia y responder si es posible lograr una herramienta de apoyo para dicho diagnóstico. Para esto se describe cómo es posible identificar los grafoelementos epileptógenos, llamados spikes, mediante la herramienta del electroencefalograma, y por qué es tan importante generar esta herramienta de apoyo que logre detectar automáticamente dichos spikes. Se analiza y se brinda un breve resumen de las principales estrategias aplicadas para el desarrollo de esta herramienta, y luego se presenta una de las técnicas más utilizadas en los estudios al respecto, conocida como teoría de Wavelet. Se describe en qué consiste esta teoría, cuáles son sus propiedades como herramienta de análisis de señales y su relación con el análisis de Fourier.

Palabras claves. EEG, Epilepsia, spikes, wavelets.

1. Introducción

Las epilepsias constituyen uno de los trastornos neurológicos crónicos más comunes en el mundo, superando a varias enfermedades conocidas como ser el Parkinson. Se estima que la padecen 50 millones de personas, de las cuales cerca de 5 millones viven en Latinoamérica y el Caribe, donde al menos 60% de los pacientes no son diagnosticados o no reciben tratamiento. Faltan especialistas y los médicos generales a menudo no poseen los conocimientos adecuados sobre la epilepsia [1].

La herramienta de diagnóstico clásica para la Epilepsia es el electroencefalograma (EEG) el cual consiste en el registro eléctrico de las variaciones de las diferencias de potencial producidas por las células cerebrales [2]. Sin embargo, no todos los electroencefalografistas tienen un entrenamiento adecuado, además se suma el problema de que en muy pocos países existe la licenciatura en neurofisiología clínica. Como resultado de ello pueden existir errores de diagnósticos inducidos por incorrectas técnicas e informes EEG. Este problema real de salud mundial motiva esta investigación donde se intentará dar luz a la existencia de algún método automático de detección de focos epilépticos a través del análisis de las señales neuronales capturadas en el EEG.

2. Señales bioeléctricas

El EEG es una representación gráfica en tiempo real de la actividad cerebral fluctuante. Esta señal es obtenida mediante la colocación de electrodos apropiados en determinadas áreas del cuero cabelludo, y mediante el electroencefalógrafo donde se visualiza los ritmos cerebrales [3]. La representación del EEG se da en un monitor

representando una gráfica en 2D con los ejes de amplitud y tiempo, donde la amplitud de la señal está en el orden de los micro-voltios en el eje de las ordenadas y el tiempo en segundos en el eje de las abscisas [3].

Si bien los fenómenos que ocurren en la sinapsis son de naturaleza química, estos tienen efectos eléctricos laterales que se pueden medir. Los ritmos cerebrales capturados en un EEG suelen tener diferentes frecuencias eléctricas que se vinculan a las acciones y a diferentes estados de la conciencia. Frecuentemente se identifican cuatro ritmos importantes dentro del EEG de acuerdo a sus diferentes bandas (Figura 1), siendo considerado como ruido o artefacto cualquier señal que exceda la frecuencia de los 30 Hz [4].

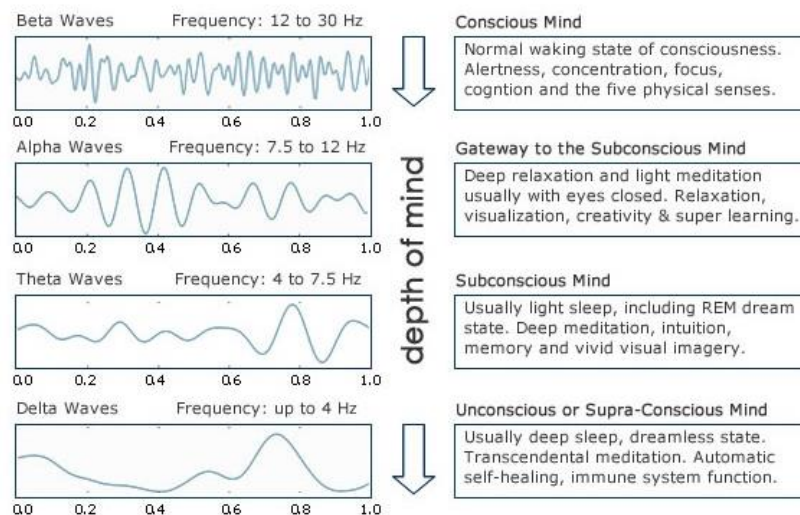


Figura 1. Características de las ondas cerebrales

Fuente: http://www.mind-your-reality.com/images/brainwaves_chart.jpg

3. Diagnóstico de Epilepsia

La epilepsia es un trastorno cerebral común caracterizado por ciertas descargas neuronales anormales en el cerebro que pueden provocar convulsiones y crisis de ausencia [5].

Su diagnóstico se basa generalmente en la presencia de focos epileptógenos típicos detectados mediante el EEG. Los grafoelementos típicos que indican estos focos se suelen llamar descargas paroxísticas, o más comúnmente spikes, y son ondas que aparecen y desaparecen de forma brusca en el trazado del electroencefalograma y que se diferencian de la actividad de fondo en morfología y amplitud. Son producidas por descargas anormales de las células del cerebro y puede darse tanto en forma parcial o generalizada, dependiendo del tipo de epilepsia. Si su duración es menor a 70 milisegundos y aparecen aisladas se las denomina puntas (spikes) y si dura entre 70 y 200 milisegundos son ondas agudas (sharp waves). También es frecuente las puntas que son seguidas de una onda lenta, denominadas punta-onda (spike and slow wave), o pueden aparecer varias puntas agrupadas, conocidas como polipunta (multiple spike) [2].

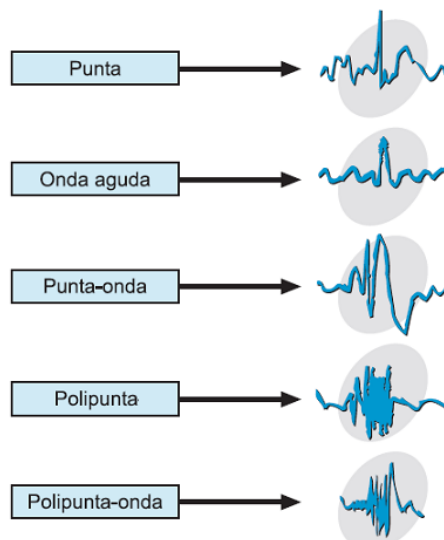


Figura 2. Tipos de grafoelementos epileptiformes en EEG

Fuente: Guías diagnósticas y terapéuticas de la Sociedad Española de Neurología 2012 (<http://www.epilepsiasen.net/system/files/GUIA%20OFICIAL%20SEN%20EPILEPSIA.pdf>)

Generalmente es muy difícil lograr un diagnóstico preciso de la epilepsia por varias razones: dos expertos humanos a menudo no marcan como spikes los mismos grafoelementos, la morfología de los spikes y la actividad de fondo es muy variable entre los pacientes, algunas puntas y ondas agudas pueden deberse a otros

factores y no ser por epilepsia [6], [7]. También existen diferentes patrones eléctricos normales dados por los artefactos, como ser el parpadeo, movimiento, sudoración y los sistemas eléctricos del ambiente, que a simple vista pueden ser confundidos con puntas y ondas agudas [6], [7].

4. Detección automática de spikes

Durante varios años el problema de detección automática de spikes ha sido abordado por varios métodos y diferentes enfoques. Sin embargo, las principales estrategias prácticamente siempre han seguido el mismo principio: en primer lugar segmentar el EEG previamente digitalizado para extraer atributos discriminativos (features) de las señales capturadas, y en segundo lugar proveer de un vector organizado con dichos atributos a un clasificador [8].

El enfoque habitual para el proceso de extracción de atributos de las señales EEG consiste en examinar los datos de EEG mediante la búsqueda de las características que se destaquen, ya sea por la morfología del grafoelemento o por eventos correlacionados asociadas con la epilepsia [5]. Los métodos para la extracción de estos atributos consisten en la realización de distintas combinaciones y transformaciones sobre las señales cerebrales recogidas en la etapa de adquisición. La extracción se puede hacer ya sea en el dominio del tiempo, en el dominio de la frecuencia, y/o en el dominio de tiempo-frecuencia. Dado que las señales del EEG son consideradas altamente no estacionarias [8], [9], en general, es más apropiado utilizar métodos en el dominio de tiempo-frecuencia. Los resultados de los estudios en la literatura han demostrado que el método de la Transformada Wavelet (TW) es sin dudas uno de los más prometedores para extraer estos atributos de las señales de EEG [9], [10]. A través de la descomposición wavelet de las señales EEG, las características transitorias se capturan y se localizan con precisión tanto en el contexto de tiempo como en el de la frecuencia [11].

Una vez extraídos los atributos relevantes de las señales EEG, se han usado diferentes tipos de clasificadores, tanto basados en umbrales como basados en aprendizaje de máquina [8]. La estrategia más utilizada ha sido alimentar una red neuronal artificial (RNA) con atributos obtenidos mediante el análisis de wavelet, y a veces combinándolo con otras técnicas como ser backpropagation neural network [12], bayesian neural network [13], polynomial neural network [14], chaos neural network [15], [16], fuzzy neural network [10], [11], [17], [18] y otras.

5. Transformada Wavelet

5.1. Transformada de Fourier

Las transformaciones matemáticas son aplicadas a las señales para obtener de ellas más información que aquella que se puede extraer de la señal pura. Entre un gran número de transformaciones existentes, sin dudas que la más conocida es la Transformada de Fourier (TF). Esta transformación permite descomponer una señal en sus componentes sinusoidales de diferentes frecuencias. En otras palabras, es una técnica matemática para transformar el punto de vista de una señal desde la base de tiempo a la base de la frecuencia, tal como se representa esquemáticamente en la figura 3 [19].



Figura 3. Esquema de la Transformada de Fourier

Fuente: S. Kouro, R. Rodrigo, and A. A. De Fourier, "Tutorial introductorio a la Teoría de Wavelet,"

Cuando pasamos una señal al dominio de la frecuencia se pierde la información referente al tiempo; más precisamente, cuando se observa una señal producto de la Transformación de Fourier, resulta imposible

determinar cuándo ocurre un determinado evento o cuándo está presente una determinada frecuencia. Si las propiedades de la señal que se está analizando no cambian demasiado en el tiempo, es decir, si se está trabajando con una señal estacionaria, esta desventaja no resulta muy relevante. Un ejemplo de su utilización es la caracterización espectral de los ritmos cerebrales, la separación de los diferentes ritmos y la estimación de las frecuencias dominantes de cada uno de ellos [19], [20]. Sin embargo, este no es el caso de las señales que nos interesan ya que las mismas presentan características no estacionarias o transitorias y la TF no está preparada para detectarlas [8], [9].

5.2. Transformada de Gabor

En un intento por mejorar la limitación presentada en el punto anterior, Denis Gabor adaptó la Transformada de Fourier para poder analizar una pequeña sección de la señal en un determinado tiempo, mediante una especie de ventana. Esta adaptación se conoce como STFT (Short Time Fourier Transform), la cual lleva una señal del plano del tiempo al plano bidimensional de tiempo y frecuencia, tal como se muestra en la figura 4. De esta forma una señal no estacionaria es dividida en una secuencia de segmentos de tiempo en los cuales la señal puede ser considerada como estacionaria y así aplicar la TF a cada segmento local de la señal [19], [20].



Figura 4. Esquema de la Transformada de Fourier por intervalos (STFT)

Fuente: S. Kouro, R. Rodrigo, and A. A. De Fourier, "Tutorial introductorio a la Teoría de Wavelet,"

La principal desventaja que presenta STFT es el compromiso que existe entre el dominio del tiempo y el de la frecuencia de una señal, ya que provee algo de información acerca de cuándo y a qué frecuencia de una señal ocurre un determinado evento. Sin embargo, solamente se puede obtener dicha información con una precisión limitada, la cual está acotada por el tamaño de la ventana. Mientras que el compromiso entre la información del tiempo y la frecuencia puede resultar útil, el inconveniente surge dado que una vez que se escoge un determinado tamaño para la ventana de tiempo, dicha ventana es la misma para todas las frecuencias. Para eventos o fenómenos que se manifiesten a frecuencias elevadas debe utilizarse ventanas temporales de corta duración, y en consecuencia puede perderse la información existente a bajas frecuencias. En forma inversa, es necesario utilizar ventanas de mayor duración para estudiar fenómenos de bajas frecuencias, con las que se pierde exactitud en el tiempo de ocurrencia de eventos a frecuencias mayores. Muchas señales requieren un acercamiento más flexible, de modo tal que sea posible variar el tamaño de la ventana para determinar con mayor precisión el tiempo o la frecuencia [19], [20].

5.3. Transformada Wavelet

Las limitaciones previamente mencionadas han sido superadas con la utilización de la Transformada Wavelet ya que es una técnica similar a STFT pero que utiliza ventanas con regiones de tamaño variable. El análisis Wavelet permite el uso de intervalos grandes de tiempo en aquellos segmentos en los que se requiere mayor precisión en baja frecuencia, y regiones más pequeñas donde se requiere información en alta frecuencia. Esta idea es la que se muestra en forma esquemática en la figura 5 [19], [20].



Figura 5. Esquema de la Transformada Wavelet

Fuente: S. Kouro, R. Rodrigo, and A. A. De Fourier, "Tutorial introductorio a la Teoría de Wavelet,"

Una forma sencilla de comprender el modo de operación de esta transformada es pensar que la señal en base de tiempo es pasada por varios filtros pasabajos y pasaaltos, los cuales permiten separar las porciones de la señal de alta frecuencia de aquellas de baja frecuencia. Este procedimiento se repite cada vez sobre algunas porciones de la señal correspondientes a aquellas frecuencias que han sido removidas de la señal original. Se continúa con este procedimiento hasta que se haya descompuesto la señal en un determinado número de niveles. De este modo, se tienen un grupo de señales que representan a la misma señal, pero todas ellas corresponden a diferentes bandas de frecuencias, y además podemos graficarlas en 3 dimensiones, teniendo el tiempo en un eje, la frecuencia en otro y la amplitud en el tercero. De este modo, es posible observar qué frecuencias ocurren en qué tiempo. Este mismo grupo de señales también puede servir para regenerar la señal original, puesto que básicamente se trata de una descomposición en una base ortogonal, al igual que otras transformaciones matemáticas conocidas. Esto implica que la Transformada Wavelet tiene la propiedad de invertibilidad [19], [20].

Una Wavelet es una señal de duración limitada y energía concentrada, cuyo valor medio es cero [8]. El objetivo de la Transformada Wavelet es descomponer la señal original en un grupo de señales que representan la correlación entre la señal original y una función patrón de características especiales, a la que se conoce como función wavelet madre. Mientras TF permite descomponer una señal en sus componentes sinusoidales de diferentes frecuencias, TW descompone la señal en versiones trasladadas, en tiempo, y con cambios de escala de una sola función, conocida como wavelet madre. Por lo tanto, TW es una función de dos variables: translación (τ) y escala (s). La translación está relacionada con la localización de la ventana en la medida que ésta se desplaza a través de la señal, mientras que la escala corresponde a una dilatación o una compresión de la misma. Las altas escalas corresponden a señales dilatadas y las escalas pequeñas corresponden a señales comprimidas; en relación con la frecuencia, las escalas menores corresponden a altas frecuencias, que suelen indicar información detallada de patrones ocultos de la señal, y las escalas mayores corresponden a bajas frecuencias, que suelen indicar información global de una señal como ser su tendencia [19] [21].

6. Conclusiones

A lo largo de los años cada vez hay mayores avances que buscan responder a la pregunta que motivó esta investigación. Si bien un diagnóstico preciso de la epilepsia es altamente complejo, se han desarrollado varios métodos y estudios empíricos que parecen aproximarse a una forma automatizada de detección que sirva de apoyo en el diagnóstico médico. Basado en el estado del arte actual, las técnicas más promisorias para la extracción de los atributos relevantes de las señales EEG y para la clasificación en spikes o no spikes, parecen ser el análisis mediante la Transformada Wavelet y los clasificadores basados en redes neuronales, respectivamente.

7. Bibliografía

- [1] C. Acevedo and C. Miranda, "Informe sobre la epilepsia en Latinoamérica," *Organ. Panam. la Salud. Panamá*, pp. 3–92., 2008.
- [2] E. Delamonica, "Electroencefalografía." Buenos Aires, 1984.
- [3] J. P. Ortiz González, M. Reinoso Avecillas, and M. Carpio Alemán, "Diseño y construcción de un prototipo de electroencefalógrafo para adquisición de señales cerebrales," 2010. .
- [4] J. V. Ponce Jurado, "Implementación de una interface cerebro-computador para la detección de posición con la ayuda de las señales EEG," 2014.
- [5] R. S. and a. M. T. E.M. Tamil, N.H. Kamarudin, "A Review on Feature Extraction & Classification Techniques for Biosignal Processing (Part 1: Electrocardiogram)," vol. 2, pp. 113–116, 2008.
- [6] S. B. Wilson and R. Emerson, "Spike detection: A review and comparison of algorithms," *Clin. Neurophysiol.*, vol. 113, no. 12, pp. 1873–1881, 2002.

- [7] S. Winesett and S. R. Benbadis, "Which Electroencephalogram Patterns Are Commonly Misread as Epileptiform?," *Touchneurology.Com*, pp. 101–104, 2008.
- [8] F. D. De Moraes and D. A. Callegari, "Automated Detection of Interictal Spikes in EEG: A literature review," p. 29, 2015.
- [9] H. Ocak, "Optimal classification of epileptic seizures in EEG using wavelet analysis and genetic algorithm," *Signal Processing*, vol. 88, no. 7, pp. 1858–1867, 2008.
- [10] A. Subasi, "Application of adaptive neuro-fuzzy inference system for epileptic seizure detection using wavelet feature extraction," *Comput. Biol. Med.*, vol. 37, no. 2, pp. 227–244, 2007.
- [11] D. Najummissa and T. R. Rangaswamy, "Detection and Classification of Epileptic Seizures using Wavelet feature extraction and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System," vol. 2, no. 3, pp. 10–12, 2012.
- [12] N. Benvenuto and F. Piazza, "The backpropagation algorithm," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 40, no. 4, pp. 967–969, 1992.
- [13] N. Mohamed, D. M. Rubin, and T. Marwala, "Detection of epileptiform activity in human EEG signals using Bayesian neural networks," *IEEE 3rd Int. Conf. Comput. Cybern. 2005. ICC 2005.*, vol. 10, no. 1, pp. 231–238, 2006.
- [14] V. Schetinin, "Polynomial Neural Networks Learnt to Classify EEG Signals," no. October, 2005.
- [15] L. D. Iasemidis and J. C. Sackellares, "Chaos Theory and Epilepsy," *Neurosci.*, vol. 2, no. 2, pp. 118–126, 1996.
- [16] C. Chen, J. Liu, and J. Syu, "Application of Chaos Theory and Data Mining to Seizure Detection of Epilepsy," vol. 25, pp. 23–28, 2012.
- [17] I. Güler and E. D. Ubeyli, "Adaptive neuro-fuzzy inference system for classification of EEG signals using wavelet coefficients.," *J. Neurosci. Methods*, vol. 148, no. 2, pp. 113–121, 2005.
- [18] A. Subasi, "Automatic detection of epileptic seizure using dynamic fuzzy neural networks," *Expert Syst. Appl.*, vol. 31, no. 2, pp. 320–328, 2006.
- [19] S. Kouro, R. Rodrigo, and A. A. De Fourier, "Tutorial introductorio a la Teoría de Wavelet," 2002.
- [20] A. N. Bermúdez Cicchino, "Técnicas de procesamiento de EEG para detección de eventos," *Postgradofcm.Edu.Ar*, 2013.
- [21] "Introducción a la Transformada Wavelet," *Señales y Sist. Univ. Navarra*, 2006.