

Simulación computacional de la actividad eléctrica cerebral

Lizette P. Castro, L. A. Torres

Universidad Iberoamericana León
Blvd. Jorge Vértiz, 37000 León, Gto., México
lizettepaulina@yahoo.com

Resumen. El cerebro humano es un órgano donde se puede hacer un modelado de la actividad eléctrica cortical registrada en la superficie del cráneo (EEG); esto puede contribuir a caracterizar el funcionamiento normal y distinguirlo de la anormalidad. Asimismo, permite una mejor comprensión de los fenómenos eléctricos que subyacen a procesos tan importantes como el pensamiento, la memoria y el aprendizaje. Se realizaron estudios comparativos entre el EEG registrado convencionalmente y un modelo físico basado en la ecuación de un potencial generado por un dipolo eléctrico, a través de una simulación computacional utilizando la técnica de Monte Carlo. La simulación permite generar registros de ondas de baja frecuencia, similares a la actividad alfa fisiológica del EEG y estimar la localización de posibles fuentes de actividad anormal.

1 Introducción

La modelación es una herramienta que tiene gran utilidad para comprender el funcionamiento de los sistemas vivos. El cerebro humano puede considerarse como un sistema biológico complejo que puede ser modelado a través de técnicas computacionales. En este trabajo se presenta la simulación de registros electroencefalográficos (EEG), generados por un sistema de Monte Carlo acoplado para la actividad eléctrica de una región del cerebro.

El modelo utilizado está basado en un potencial (V) generado por un dipolo subcortical, registrado en el cuero cabelludo. En donde la cabeza humana es modelada por tres esferas concéntricas [1,2]. Esta simplificación preserva elementos importantes de la cabeza, con el propósito de que el modelo se asemeje en forma y con determinados parámetros a la cabeza real [1,3]. En combinación con la simulación del potencial de un dipolo profundo, se considera también a la cabeza como un circuito simple resistor-capacitor (RC), que produzca un EEG similar a los obtenidos en registros de pacientes normales. Para esto se propone el circuito RC simulado en donde la entrada de voltaje sea el potencial generado por el dipolo [4].

El primer requerimiento para un modelo simple como el que se presenta, es que la salida de la actividad eléctrica de la simulación Monte Carlo se aproxime a la actividad eléctrica de un registro normal de EEG.

2 Antecedentes

La trascendencia de estudiar al cerebro humano mediante la interpretación de los registros de EEG nos obliga a considerar la simulación como una parte potencialmente importante para el diagnóstico, en el trabajo diario del especialista ó investigador en el área de neurociencias y una oportunidad para la interacción entre ingenieros en sistemas computacionales. El explicarse cuantitativamente el origen de la actividad eléctrica, así como la posible correlación entre la forma de onda de los registros EEG y algún trastorno en el funcionamiento cerebral, ha sido uno de los motivos para indagar en el estudio del cerebro mediante modelos físicos y matemáticos en conjunto con las herramientas computacionales.

En la actualidad los distintos métodos para localizar las diferentes fuentes de potencial en el cerebro difieren entre sí por los modelos que se usan para representar a la cabeza, las formulas usadas en el cálculo del potencial en el cuero cabelludo, la forma en que la referencia del electrodo es tratada y, sobre todo, los métodos computacionales aplicados a las neurociencias [5].

Los resultados obtenidos del Monte Carlo en este trabajo están basados en un modelo de tres capas esféricas [1,2] y un circuito RC simulado [4]. El potencial sobre cualquier punto del cuero cabelludo esta basado en una ecuación que proporciona el potencial [1]. En otros trabajos se han propuesto modelos de circuito RC [4] para obtener las señales, sin embargo la relevancia de éste, consiste en mostrar resultados en donde el voltaje de entrada al circuito RC sea considerado el mismo potencial simulado.

El primer requerimiento para la construcción del modelo es que la salida del circuito RC produzca una salida similar a la del EEG que se produce en un paciente normal. El planteamiento de general puede ser formulado de la siguiente forma: dada una caja negra con dos salidas, ¿qué circuito podría dar una salida que produzca un voltaje con formas de onda similares a las del EEG, de tal manera que se involucren parámetros de la cabeza real de una persona, como son los radios del cerebro, cráneo, cuero cabelludo y sus resistividades respectivas.

3 Metodología

La cabeza es modelada por tres esferas concéntricas [2]. La esfera interna representa al cerebro, la intermedia al cráneo y la externa al cuero cabelludo (fig. 1). Para generar el voltaje mediante el modelo de las 3 esferas concéntricas. Una vez generado, se le hizo pasar como voltaje de entrada a través del circuito RC simulado.

En este modelo el radio del cerebro y del cráneo fue de 8 y 8.5 cm respectivamente, mientras que el de la cabeza fue de 9.2 cm [2]. Para el cerebro y el cuero cabelludo la resistividad se consideró de 2.22 Ohms y la del cráneo de 177 Ohms.

Estos valores numéricos indican un valor típico fisiológico promedio. Los radios fueron normalizados al radio de la cabeza, los resultados finales fueron $a = 0.87$, $b = 0.92$ y $c = 1.0$. La conductividad ya normalizada a la del cráneo fue $C1 = C3 = 1.0$ y $C2 = 0.0125$

El modelo de tres capas esféricas, que se aplicó en el Monte Carlo, proporciona el potencial (V) generado por el dipolo en el cuero cabelludo. Está dado por la siguiente ecuación [1].

$$V = \frac{1}{4\pi SR^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{X(2n+1)^3}{d_n(n+1)n} b^{n-1} [nm_r P_n(\cos \alpha) + m_r P_n'(\cos \alpha) \cos \beta]$$

donde:

R es el radio externo de la cabeza (cuero cabelludo).

S es la conductividad del cerebro.

X es la conductividad del cráneo / la conductividad del cerebro.

b es la distancia del dipolo al centro /R.

• es el ángulo polar sobre un punto en la superficie.

• es el ángulo azimutal.

r1 y r2 son el radio del cerebro y del cráneo respectivamente

P_n son los polinomios asociados de Legendre.

Posteriormente a la generación de los potenciales, éstos fueron introducidos en las ecuaciones básicas del circuito RC simulado. Los voltajes de salida del circuito fueron registrados de tal manera que los rangos de frecuencia pudieran ser modificados.

4 Resultados

Se obtuvieron registros EEG, al hacer distintas corridas de 1000 eventos cada una, inicialmente sin hacer pasar al potencial por el Monte Carlo que simula el circuito RC. Después se muestran resultados obtenidos al introducir la señal de potencial en el circuito simulado (fig. 2).

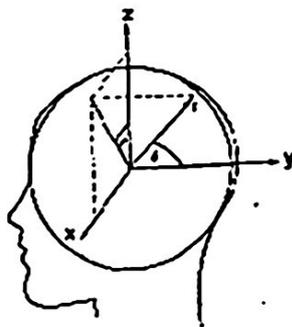


Fig 1. Modelo del cerebro basado en 3 esferas concéntricas

Una vez que se obtienen tanto los registros del EEG real (fig. 3) como los simulados del EEG, se hace el análisis estadístico que consiste en la comparación entre las señales reales y las simuladas (EEG y EEG). Esto se hizo mediante un ajuste por mínimos cuadrados; el cual permitió seleccionar la mejor curva simulada [6,7]. La señal equivalente o la más aproximada fue aquella en donde la suma es mínima. La siguiente ecuación se utilizó para efectuar el cálculo de la comparación:

$$\text{Suma} = \sum_{i=1}^n (v(i)_{cal} - v(i)_{obs})^2$$

donde:

$V(i)_{cal}$ -> son los potenciales generados por el Monte Carlo (EEG_{sim}),

$V(i)_{obs}$ -> son los potenciales proporcionados por el registro real de un paciente normal.

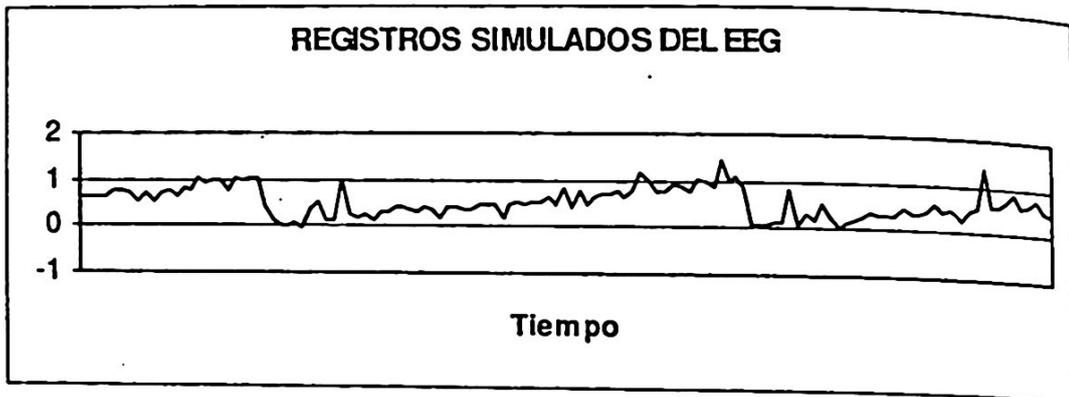


Fig. 2. Registros simulados para una corrida de 1000 eventos



Fig. 3. Registros reales obtenidos de la actividad eléctrica de un paciente normal

Los gráficos de los registros tienen una duración de dos segundos y sus voltajes que se proporcionan van desde -29.9 hasta 35.9 microvolts.

5 Conclusiones

Las señales que se obtuvieron mediante el modelo de acoplamiento permiten generar actividad eléctrica, la cual se asemeja en algunos intervalos a las frecuencias que se registran en un EEG real. Se pueden detectar tanto ondas lentas como rápidas cuyas frecuencias varían entre 4 y 13 Hz.

El simulador permitirá manipular distintos parámetros, así como complicar la configuración del circuito para intentar la simulación de registros EEG de algunos trastornos que causan paroxismos como la epilepsia.

Referencias

- [1] Salu Y, Cohen L., Rose D., Kuffa C., Hallet M. *An improved method for localizing electric Brain Dipoles.*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol 37, No. 7, pp. 699-705, July 1990.
- [2] Yao Dezhong. *High-resolution EEG mapping: a spherical harmonic spectra theory and simulation results.* Clinical Neurophysiology 111, pp. 81-92, Agosto 2000.
- [3] Niderhauser Joel. *Simple electric model for epilepsy.* IEEE potentials, pp. 35-39, February 2002.
- [4] Eshel Y., Witman S., Rosenfeld M., Abboud S. *Correlation between skull thickness asymetry and scalp potential estimated by a numerical model of the Head.* IEEE Transactions of Biomedical Engineering, Vol 42, No. 3, pp. 242-249, March 1995.
- [5] Lyle Borge-Graham. *Facilitating the science in computational neuroscience.* Nature neuroscience, Sup p 1191, Vol 3, November 2000.
- [6] Rosenfeld M., Tanami R., Abboud S. *Numerical solution of the potential due to dipole sources in volume conductors with arbitrary geometry and conductivity.* IEEE tranasactions on biomedical engineering, pp. 679, vol. 43, No. 7, July 1996.
- [7] Pardey J., Roberts S. *A review of parametric modelling techniques for EEG analysis.* Med. Eng. Physics, Vol 18, 2-11, January 1996.