



Implementación de un algoritmo de identificación de fuentes basado en un modelo matemático de medio conductor en un sistema digital

Manuel Alejandro Centeno Bautista¹, María Monserrat Morín Castillo¹, José Jacobo Oliveros Oliveros³, Héctor Ramírez Díaz², Alina Santillán Guzmán³, Claudia Netzahualcóyotl Bautista³

BUAP

¹ Facultad de Ciencias de la Electrónica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Pue., México; ² Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Eldorado, Eldorado, Sin., México; ³ Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Pue., México

INTRODUCCIÓN

La epilepsia es una enfermedad que afecta alrededor de 50 millones de personas en todo el mundo, esto quiere decir que es una de las principales enfermedades de tipo neurológico [1]. La epilepsia focal es un tipo de epilepsia en la que sólo se ve afectada una zona particular del cerebro y puede deberse a alguna lesión o factor congénito delimitado [2]. Cuando los pacientes no responden adecuadamente al tratamiento farmacológico se opta por realizar una cirugía para la resección de la zona dañada que produce los focos epilépticos. Una adecuada identificación permite que sólo sea resecada la parte afectada y así no lesionar otras zonas del cerebro, evitando posibles secuelas de la cirugía [3]. El presente trabajo muestra el uso de modelos matemáticos [4] a través de un algoritmo de recuperación de fuentes, basado en el problema inverso electroencefalográfico [5] para identificar los focos epilépticos a partir de los electroencefalogramas (EEG) de pacientes y ser una opción en el diagnóstico de la epilepsia.

METODOLOGÍA

Modelo matemático

- Cuasi-estático
- Capas conductoras
 - Círculos concéntricos
- Localización del foco epiléptico

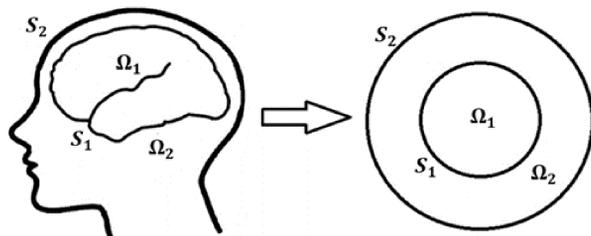


Fig. 1. Representación de la cabeza como círculos concéntricos. Caso bidimensional

Donde:

- Ω_1 —cerebro
- Ω_2 —resto de la cabeza
- S_1 —corteza cerebral
- S_2 —cuero cabelludo

$$V(R_2, \theta) = \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{2g_k^1 R_1^{k+1} R_2^k}{k[(\sigma_1 - \sigma_2)R_1^{2k} + (\sigma_1 + \sigma_2)R_2^{2k}]} \right) \cos(k\theta) + \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{2g_k^2 R_1^{k+1} R_2^k}{k[(\sigma_1 - \sigma_2)R_1^{2k} + (\sigma_1 + \sigma_2)R_2^{2k}]} \right) \sin(k\theta)$$



Problema Directo Electroencefalográfico

Problema Inverso Electroencefalográfico



$$g(\theta) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{R_2 \alpha_k}{R_2 (\alpha_k)^2 + \alpha R_1} [V_{k,\delta}^1 \cos k\theta + V_{k,\delta}^2 \sin k\theta], \quad \alpha_k = \frac{2R_1^{k+1} R_2^k}{k[(\sigma_1 - \sigma_2)R_1^{2k} + (\sigma_1 + \sigma_2)R_2^{2k}]}$$

Fig. 2. Descripción del Problema Directo e Inverso Electroencefalográfico.

Donde

V_k^1 y V_k^2 son los coeficientes de la serie de Fourier que representa el EEG

σ_1 y σ_2 denotan las conductividades de cada región

θ Es el ángulo de separación de las lecturas

g_k^1 y g_k^2 son los coeficientes de la serie de Fourier que representa la fuente

α corresponde al factor de regularización

R_1 y R_2 los radios del cerebro y de la cabeza

Implementación

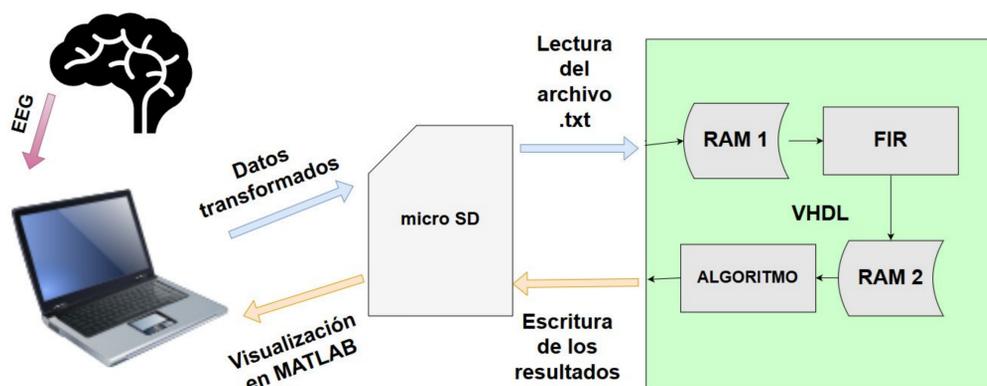


Fig. 3. Diagrama general del procesamiento del EEG. Desde la generación del registro electroencefalográfico hasta la visualización de los resultados del algoritmo

El preprocesamiento de las señales se realiza en MATLAB y se guarda en un archivo de texto en una memoria micro SD. Este archivo de texto tiene los datos en binario. En VHDL se realiza el procesamiento de los datos en el algoritmo. Los resultados son enviados a la tarjeta micro SD para poder visualizarse en MATLAB.

RESULTADOS

Para validar el algoritmo se diseña una fuente epiléptica. Por la forma en cómo se presentan los focos epilépticos se diseña una fuente con forma de función campana en MATLAB. Esta fuente se muestra en la Fig.4. Esto es con el propósito de ver el comportamiento del algoritmo únicamente con un evento tipo epileptógeno, sin otras fuentes (perturbaciones).

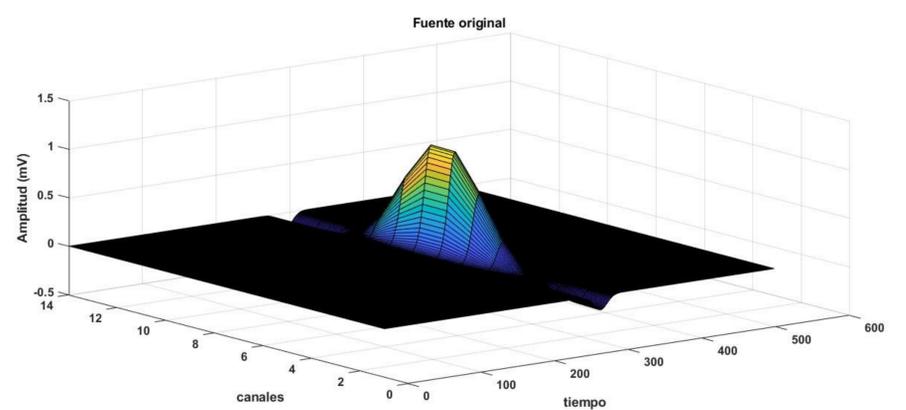


Fig. 4. Gráfica de la fuente original.

Con esta fuente se genera a su vez un EEG de 14 canales. El EEG se acondiciona para su lectura en VHDL. Después se filtra y se pasa por el algoritmo implementado en VHDL, el cual recupera la fuente como se ve en la Fig. 5.

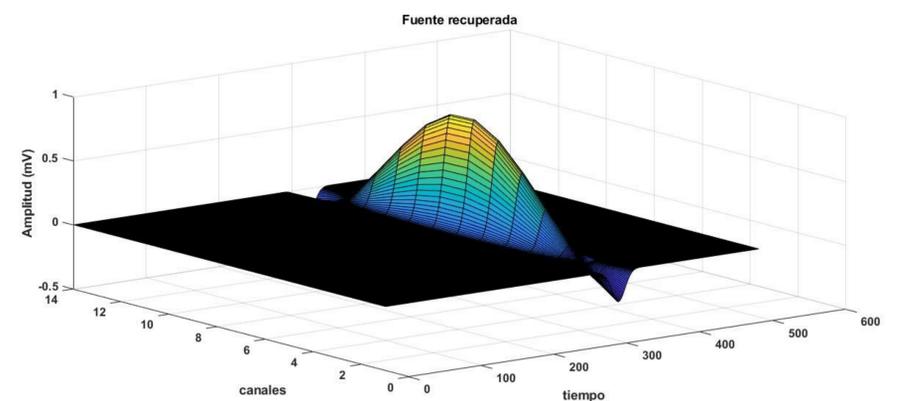


Fig. 5. Gráfica de la fuente recuperada.

CONCLUSIÓN

Las pruebas muestran que es posible recuperar la fuente en un ambiente sin perturbaciones, no obstante esta fuente no es idéntica a la fuente original. Se ha visto que el recuperar de forma exacta la fuente se ve influenciado por los coeficientes de Fourier del EEG. La forma en cómo se obtiene es parte del trabajo que se realiza para seguir mejorando el diseño del algoritmo.

El desplazamiento en el tiempo que se ve en la recuperación de la fuente corresponde al filtro implementado. Este detalle es considerado para el análisis de la señal en futuras mejoras.

REFERENCIAS

- [1] Megiddo I, Colson A, Chisholm D, Dua T, Nandi A, and Laxminarayan R (2016). Health and economic benefits of public financing of epilepsy treatment in India: An agent-based simulation model. *Epilepsia Official Journal of the International League Against Epilepsy* DOI: 10.1111/epi.13294.
- [2] "Estados de actividad cerebral: sueño, ondas cerebrales, epilepsia, psicosis" en *Tratado de Fisiología Médica*, A. C. Guyton, Ed. Elsevier, Barcelona, 2012, Cap. 59, pp. 723–726.
- [3] Sitthinamsuwan B, Usui N, Tottori T, Terada K, Kondo A, Matsuda K, Baba K, Inoue Y. Seizures with tonic posturing: Semiologic difference between supplementary sensorimotor area (SSMA) origin and extra-SSMA origin. *Epilepsia Official Journal of the International League Against Epilepsy*. 57(2) e 39–e44, 2016. DOI: 10.1111/epi.13283
- [4] Oliveros J, Morín M, Conde J and Fragueta A. A regularization strategy for the inverse problem of identification of bioelectrical sources for the case of concentric spheres. *Far esat journal of applied mathematics*. 77(1), 1-20, 2013
- [5] Oliveros J, Morín M, Aquino F and Fragueta A. Analysis of the inverse electroencephalographic problem for volumetric dipolar sources using a simplification. *Revista Mexicana de ingeniería biomédica*. 35(2), 115-124, 2014

