

ANÁLISIS ESPECTRAL DEL ELECTROENCEFALOGRAMAMedina Bañuelos V.Azpiroz Leehan J.Saldívar Salazar E.

Area de Ingeniería Biomédica - Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa.

RESUMEN

Se presenta la etapa de procesamiento para el análisis espectral automático del electroencefalograma. A partir del análisis de los diferentes métodos para el cálculo de la densidad espectral, se plantea el algoritmo más adecuado para esta aplicación en particular. Dicho algoritmo, así como el programa para el cálculo de las energías en las bandas de frecuencia de interés (alfa, beta, delta y theta), se integran a una unidad de adquisición de datos y a un módulo de presentación de resultados, para constituir un sistema completo dentro de una microcomputadora compatible con IBM-PC.

INTRODUCCION

En la interpretación clínica del electroencefalograma (EEG) se consideran principalmente dos aspectos: análisis de la morfología de la señal, es decir, reconocimiento de patrones asociados a una patología, y análisis del contenido en frecuencias de la misma. Este último se realiza considerando cuatro bandas de frecuencias de interés para el médico: delta (0.5 - 4 Hz), theta (4 - 7.9 Hz), alfa (8 - 13 Hz) y beta (más de 13 Hz). La información obtenida del análisis de estas bandas, en diferentes condiciones, se emplea para apoyar a corroborar un diagnóstico.

Actualmente existen varios equipos, disponibles comercialmente, dedicados exclusivamente al análisis espectral del EEG, a partir de la transformada de Fourier de la señal y el cálculo de la energía correspondiente a cada una de las bandas ya mencionadas [1]. Estos aparatos realizan un --

análisis bastante rápido, puesto que están dedicados a un propósito específico, de tal manera que el médico puede obtener sus resultados durante la misma sesión de adquisición. Sin embargo, presentan principalmente dos desventajas:

- a).- El simple cálculo de la transformada de Fourier no es una buena estimación del contenido en frecuencias cuando se aplica a señales estocásticas, ya que las suposiciones implícitas en la evaluación de la T. de F. no son válidas para este tipo de señales. En estos casos, el error introducido puede ser tan grande como la señal misma [2].
- b).- El costo tan elevado de estos equipos (más de 20,000 dólares) los hace poco accesibles.

En este trabajo se presenta un algoritmo para el cálculo eficiente del contenido en frecuencias del EEG y de las energías correspondientes a cada banda, instalado en una microcomputadora compatible con IBM-PC que, en conjunto con un sistema de adquisición [3] y un módulo de presentación de resultados [4], constituye un equipo poderoso de bajo costo para el análisis automático del EEG.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La función empleada para efectuar el análisis espectral de -- una señal estocástica es la densidad espectral de potencia ϕ , simplemente, densidad espectral. Existen varios métodos para evaluar esta función, que se mencionarán a continuación [5].

A.- Estimación de la Densidad espectral a partir del periodograma.

Este método consiste en partir la secuencia del tiempo que se quiere -- analizar en segmentos más cortos, calcular la transformada discreta de -- Fourier (TDF) de estos segmentos y promediar los resultados. La magnitud -- cuadrada de la TDF de cada segmento se conoce como periodograma. La estimación de la densidad espectral es más exacta mientras mayor sea el número -- de periodogramas que se promedia, y se puede mejorar aún más multiplicando los segmentos obtenidos por una función ventana, antes de calcular la --

TDF correspondiente. Por lo tanto, el procedimiento se realiza de la siguiente manera:

- Se divide la secuencia en intervalos de longitud L . Generalmente estos segmentos se traslapan una cantidad $L/2$.
- Se multiplica cada segmento por una función ventana, centrada en el valor central del segmento.
- Se evalúa la transformada discreta de Fourier empleando algún algoritmo de transformada rápida, es decir, se calcula el periodograma de cada segmento.
- Se promedian los periodogramas para obtener la estimación final de la densidad espectral.

B.- Estimación de la densidad espectral mediante el cálculo de la T. de F. de la función de autocovarianza.

En este método se evalúa la densidad espectral de una señal aleatoria calculando productos defasados de las señales muestreadas uniformemente. La función de autocovarianza es igual a la función de autocorrelación, eliminando el componente de D.C. (valor medio de la señal). La función de autocorrelación $r(\tau)$ de una señal $x(t)$ se define de la siguiente manera:

$$r(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) x(t + \tau) dt$$

Calculando la T. de F. de dicha función obtenemos:

$$\begin{aligned} F\{r(\tau)\} = S(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) x(t + \tau) d\tau e^{-j\omega t} dt \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) x(t + \tau) e^{-j\omega t} dt dt \end{aligned}$$

$$\text{Sea } t' = t + \tau \quad t = t' - \tau \quad dt = dt'$$

$$\begin{aligned} F\{r(\tau)\} &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) x(t') e^{-j\omega(t' - \tau)} dt dt' \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) x(t') e^{-j\omega t'} e^{j\omega \tau} dt dt' \end{aligned}$$

$$S(w) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) e^{jw\tau} d\tau \int_{-\infty}^{\infty} x(t') e^{-jw t'} dt'$$

$$S(w) = X^*(w) X(w) = |X(w)|^2$$

En la práctica se obtiene una mejor estimación de la densidad espectral $S(w)$ si se aplica una ventana a $r(\tau)$ antes del cálculo de la T. de F.

Como se puede observar de la relación obtenida, $S(w)$ puede obtenerse directamente en la frecuencia, sin necesidad de calcular la función de autocorrelación, que resulta ser una operación muy lenta, mediante el cálculo directo de la magnitud cuadrática de la T. de F. de la señal original (sin componente de D.C.). Los pasos para la realización del procedimiento completo son:

- Se adquiere la señal que se desea analizar, respetando el criterio de Nyquist para la toma de muestras, se calcula el valor medio y se resta de cada muestra.
- Se evalúa la TDF de la secuencia obtenida y se obtiene la magnitud cuadrática ($S(w)$).
- Se calcula la TDF inversa de $S(w)$, obteniendo así las muestras de la función de autocorrelación, que se multiplican por una ventana de la longitud de la secuencia.
- Finalmente, se calcula nuevamente la TDF de las muestras corregidas, para obtener la mejor estimación de la densidad espectral.

C. Estimación espectral a partir del modelo del proceso.

En los dos casos descritos, la estimación de la densidad espectral se realiza tomando una o varias secuencias de la señal que se quiere analizar.

Un procedimiento alternativo consiste en emplear un modelo general que representa a todo el proceso que está generando la señal, en este caso el EEG. A partir de los parámetros que definen al modelo se calcula el espectro del proceso, empleando el criterio de minimización de alguna función de error.

DESARROLLO

Los procedimientos A y B conducen a resultados idénticos; particular-

mente nosotros encontramos que es más sencillo el cálculo de la densidad espectral a partir de la función de autocorrelación.

El algoritmo incluye los siguientes procedimientos:

- Adquisición de 12 canales del EEG a una frecuencia de muestreo de --- 102.4 Hz. Las secuencias adquiridas (512 muestras) corresponden a 5 seg. de la señal para cada canal.
- Cálculo de las densidades espectrales de los 12 canales. El algoritmo empleado para el cálculo de la T.D.F. es el de decimación en tiempo, radix 2 [5]. Las muestras de la función de autocorrelación se suavizan con una ventana de Hamming.
- Cálculo de la energía contenida en las bandas delta, theta, alfa y beta, con la siguiente expresión:

$$E = \int_{f_1}^{f_2} S(w)dw$$

donde f_1 - frecuencia inferior de la banda

f_2 = frecuencia superior de la banda

La energía se expresa como un porcentaje de la energía total. Se encontró también la frecuencia de disparo correspondiente al máximo en cada banda, que también es un parámetro de utilidad para el médico.

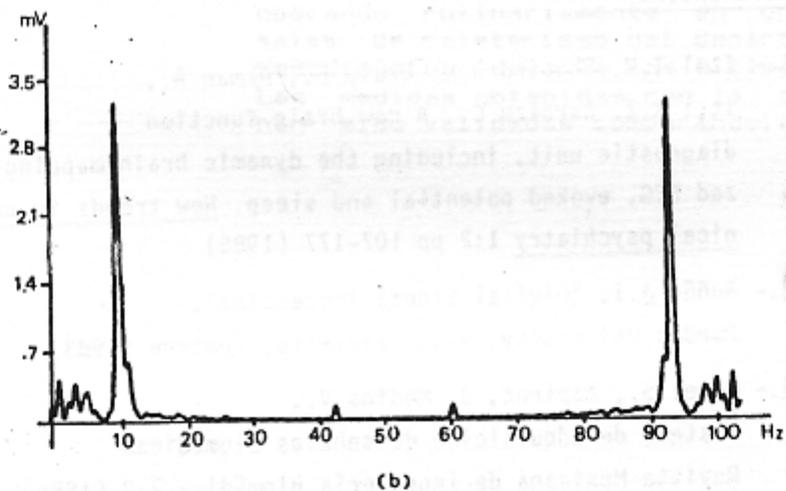
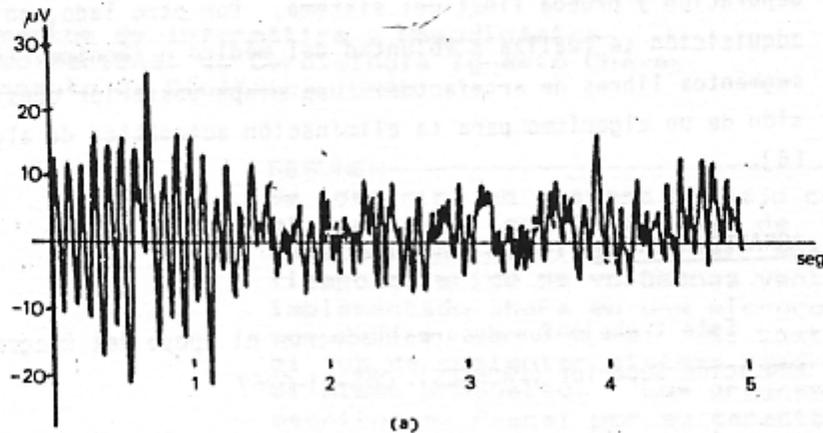
- El procedimiento anterior se realiza para secuencias de 5 segundos - cada una y los resultados de las energías se promedian.

El algoritmo se desarrolló totalmente en lenguaje Pascal, exceptuando el procedimiento de adquisición realizado en lenguaje ensamblador.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La figura 1a presenta el EEG típico de un sujeto en reposo (canal 5, configuración 10-20 bipolar frec. de muestreo 102.4 Hz). Se observa la aparición de una onda α , característica de la región occipital en personas normales. La densidad espectral de dicha señal (figura 1b) muestra el pico -

correspondiente a esta onda, con una frecuencia de disparo de 10.4 Hz. La energía correspondiente a cada banda (fig. 1(c)) se representa como un porcentaje de la energía total para el despliegue posterior de los resultados [4].



Porcentaje de Energía Frecuencia del Máximo (Hz)

Delta	0.14	0.80
Theta	0.10	5.00
Alfa	0.66	10.4
Beta	0.10	13.6

(c)

Fig. 1.- a) EEG de un sujeto normal canal 5, frec . de muestreo 102.4 Hz
 b) Densidad espectral de a)
 c) Energías para las 4 bandas de frecuencias en b)

El algoritmo se encuentra en funcionamiento instalado en una computadora compatible con IBM-PC. Se han realizado pruebas con 3 sujetos normales y 2 con retraso mental, aunque se iniciará una etapa de valoración, depuración y prueba final del sistema. Por otro lado, en este momento la adquisición se realiza a voluntad del médico o técnico, tratando de tomar segmentos libres de artefactos. Una etapa posterior consiste en la inclusión de un algoritmo para la eliminación automática de algunos artefactos [6].

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado con el apoyo del Programa Nacional de Educación Superior (PRONAES). C85-01-0267

REFERENCIAS

- 1.- Itil T.M, Shapiro D.M. Eralp E., Akman A., Itil K.Z. Garbizu C. A new brain function diagnostic unit, including the dynamic brain mapping of computer analyzed EEG, evoked potential and sleep. New trends in experimental and clinical psychiatry 1:2 pp 107-177 (1985)
- 2.- Auñón J.I. "Digital Signal Processing". Purdue University, West Lafayette, Indiana (1983)
- 3.- Gómez S., Azpiroz, J. Medina V., Sistema de adquisición de señales biomédicas Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica 7:2 (1986)
- 4.- Muñoz C. Procesamiento y presentación de resultados en el análisis automático del EEG. Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica 7:2 (1986)
- 5.- McGillem C.D., Auñón J. "Signal processing of event related brain potentials" Purdue University, West Lafayette, Indiana (1981).
- 6.- Saldivar E., Muñoz G. C., Medina V. Algoritmos para la detección de artefactos en el EEG Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica 7:2 (1986)