

FILTRADO SE SEÑALES FONOCARDIOGRÁFICAS MEDIANTE TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Jaime Jalomo Cuevas

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán
jaimejc@itcg.edu.mx

Salvador Alcázar Michel

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán

Cristian Omar Cortez Olguín

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán
contra314@gmail.com

Ramón Chávez Bracamontes

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán
ramonitcg@hotmail.com

Jorge Horacio Mejía García

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán
jhmejia7@hotmail.com

Resumen

En este artículo se muestra la implementación de filtros adaptables en el tratamiento de señales fonocardiográficas. Se presenta la aplicación de una metodología para la medición de sonidos cardíacos mediante un sensor piezoeléctrico conectado a la tarjeta de sonido de la computadora. Algunas ventajas que muestra la técnica aquí presentada es la del uso de un sensor de principios de funcionamiento sencillo y de bajo costo, así como de las facilidades de las herramientas de la computación. Se analiza el efecto nocivo del ruido en las señales de medición y la implementación de un método para su tratamiento.

Palabra(s) Clave: Algoritmo de los mínimos cuadrados, filtro adaptable, señal fonocardiográfica, ruido de la medición.

Abstract

In this paper, we show an adaptive filter scheme in phonocardiogram (PCG) signal treatment problem. An applied methodology for heart sound measurement by piezoelectric sensor connected to the computer sound board is presented. Some advantages of the proposed technique are the use of a cheap and simple function sensor and the effectiveness of computing tools. We analyze the harmful noise effect on measured signals and a treatment method applied.

Keywords: *Adaptive filter, least squares, noise measurement, phonocardiography signal.*

1. Introducción

Las señales fonocardiográficas o fonocardiogramas (PCG por sus siglas en inglés) son señales no estacionarias que deben de ser procesadas mediante técnicas complejas de filtrado y procesamiento para poder ser utilizadas como parte de los procedimientos médicos convencionales. Las técnicas básicas en el dominio de la frecuencia ofrecen ventajas como facilidad para su implementación, ya que los circuitos electrónicos análogos cumplen muy bien con las especificaciones de este tipo de técnicas, sin embargo, se han desarrollado algoritmos dentro de las teorías de la inteligencia artificial [1], que permiten usar las computadoras como unidad de procesamiento, dando flexibilidad al diseño y haciendolo adaptable para diferentes tipos de problemas. Así se se planea investigar las capacidades de los sistemas de inteligencia artificial como alternativa para tratar con problemas clásicos como el de la cancelación de ruido en señales bioeléctricas. Por otra parte existe un interés por parte de los grupos de investigación en expandir las áreas de aplicación de las nuevas técnicas basadas en la inteligencia artificial [2]. En este trabajo se muestran los resultados derivados de la implementación de los filtros adaptables aplicados al problema del filtrado del ruido de las señales fonocardiográficas. Este problema es

recurrente en las aplicaciones bioelectrónicas pues algunas tecnologías de medición son más sensibles a la contaminación por ruido, además de que los ambientes de medición agregan algunas componentes de ruido a la señal. Las técnicas de PCG por tradición han sido implementadas en la práctica médica, complementándose con las técnicas de ECG. Sin embargo, la componente intuitiva que acompaña a los estudios con PCG tienden a resurgir, dados los desarrollos tecnológicos y el hecho de que las señales se pueden “escuchar”, dándole otro ángulo al análisis del diagnóstico, lo cual no puede hacerse con las señales ECG. Para poder cumplir con las condiciones de la solución al problema del filtrado de las señales PCG, se debe de validar que las señales obtenidas tengan la calidad del sonido que le permita al especialista el poder identificar los sonidos del corazón de manera clara. En nuestro trabajo se ha logrado la vinculación con especialistas del ramo de la cardiología que se encuentran laborando en el sistema de hospitales ISSSTE de nuestro país, lo cual le da aun más relevancia al estudio. Las señales usadas en este trabajo fueron obtenidas de una prueba de condición de corazón acelerado, que es aproximadamente el doble del corazón sano de condición normal [3], medidas en una persona después de realizar un esfuerzo físico moderado. Las señales se grabaron mediante la tarjeta de audio de la computadora a una frecuencia de muestreo de 44100 muestras por segundo con ocho bits de resolución utilizando un sensor piezoeléctrico como el que se presenta en la figura 1.

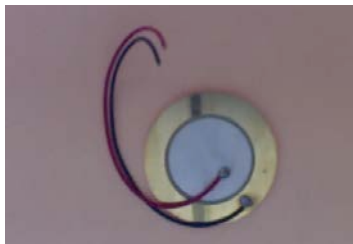


Figura 1 Sensor piezo eléctrico estándar.

Para llevar a cabo la implementación del algoritmo se realizó un proceso de prefiltrado de las componentes de 60 Hz de la línea de suministro de energía más los ocho primeros armónicos, pues se conjetura que estos tienen una distribución

diferente a la fuente de ruido principal y deben de ser removidos antes para garantizar la eficiencia del filtro adaptable [4]. Este proceso fue realizado mediante ocho filtros digitales de rechazo de banda de tipo Butterworth. La implementación del filtro adaptable se realizó con código de Matlab a través de un programa con diferentes comandos del toolbox del procesamiento de señal. Estudios similares reportan la aplicación de los filtros de Kalman y las técnicas de separación de fuentes independientes como alternativa al tratamiento de las señales [5].

2. Metodología

Método de filtrado adaptable de señales PCG

En primer término, se llevaron a cabo las mediciones de las señales PCG del corazón mediante un sensor piezoeléctrico como el mostrado en la figura 1, para después realizar el procesamiento mediante las herramientas de Matlab. La implementación de metodología de filtrado se realiza mediante filtros adaptables (figura 2), los cuales son sistemas digitales que tienen características para resolver el problema del filtrado de ruido de bajo condiciones distintas de las técnicas clásicas [4,1], pues en el caso clásico es necesario el conocimiento de las propiedades estadísticas del ruido agregado, mientras que en el caso del filtrado adaptable lo que se requiere es de una señal de referencia correlacionada con la señal de información que se encuentra mezclada con el ruido.

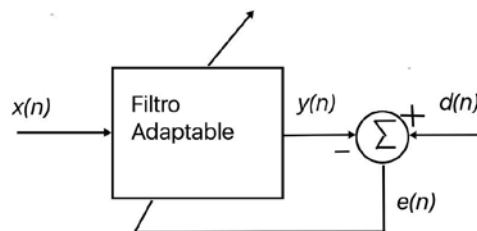


Figura 2 Problema de filtrado adaptivo general.

Filtros adaptivos lineales

En general, cualquier sistema con un número finito de parámetros que afectan como $y(n)$ es calculado de $x(n)$ puede ser usado como filtro adaptable. Así, defina el vector de coeficientes o parámetros $W(n)$ con ecuación 1.

$$\mathbf{W}(n) = [w_0(n) \ w_1(n) \ \dots \ w_{L-1}(n)]^T \quad (1)$$

Donde $\{w_i(n)\}$, $0 \leq i \leq L-1$ son los L parámetros del sistema en tiempo n . Con esta definición, podemos establecer una relación general de entrada-salida para el filtro adaptable, ecuación 2.

$$y(n) = f(\mathbf{W}(n), y(n-1), y(n-2), \dots, y(n-N), x(n), x(n-1), \dots, x(n-M+1)) \quad (2)$$

Donde $f(\cdot)$ representa una función lineal o no lineal bien definida y M y N son enteros positivos.

Algoritmo de los mínimos cuadrados

El algoritmo de optimización que se implementa para los filtros adaptables tiene una estructura que se deriva de procesos algebraicos que se originan en la propuesta de funcionales de error con ecuación 3.

$$J_{LMS}(n) = \frac{1}{2} e^2(n) \quad (3)$$

A partir de esta funcional y mediante derivadas implícitas se llega a la definición de la ley de actualización de los parámetros del filtro adaptable, ecuación 4.

$$\mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) + \mu(n)e(n)\mathbf{X}(n) \quad (4)$$

3. Resultados

Se realizaron pruebas de filtrado que validan la hipótesis sobre la eficiencia de los filtros adaptables en la solución al problema de la reducción de ruido en señales PCG. En nuestras pruebas se usó una señal de referencia correlacionada con la señal a filtrar, para esto se tomó una señal del corazón de la misma persona la cual se trató que mediante el filtrado convencional por filtros digitales de tipo Butterworth, en donde primeramente se eliminaron las componentes del ruido de suministro de alimentación de 60 Hz y sus primeras ocho armónicas por medio de filtros de rechazo de banda y después se aplicó un filtro pasa-bajas con

una frecuencia de corte de 125 ciclos/minuto correspondientes al latido de un corazón bajo actividad física y que son equivalentes a 2.083 Hz.

En la figura 3 se presenta la señal medida del corazón para la cual se utilizó un sensor piezoeléctrico en donde se puede apreciar la cantidad de ruido agregado. Se realizaron mediciones en laboratorio en donde se obtuvo un vector de 4.5 segundos de duración con un tamaño de 197632 muestras de acuerdo a la especificación mencionada en la introducción.

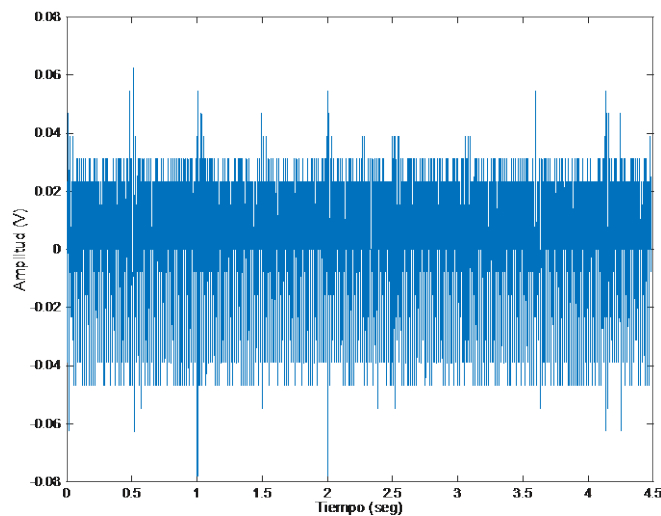


Figura 3 Señal medida con un sensor piezoeléctrico.

A continuación, se realizó un pre-filtrado de la señal de 60 Hz correspondiente a la frecuencia de suministro de energía de acuerdo a lo que recomienda la teoría y la práctica en ingeniería de audio, así como de sus primeros siete armónicos [6]. Para la realización de esta etapa del trabajo se usó la herramienta “sptool” de Matlab, en donde se desarrollaron ocho filtros de rechazo de banda para las frecuencias 60, 120, 240, 300, 360, 420 y 480 Hz.

Finalmente se realizó el filtrado de la señal mediante una estructura de filtro adaptable de sexto orden, en donde se usó como referencia, una señal obtenida mediante filtrado convencional pasa bajas tomada en otro momento sobre la misma persona y bajo condiciones de esfuerzo físico igualmente, la cual se muestra en la figura 4.

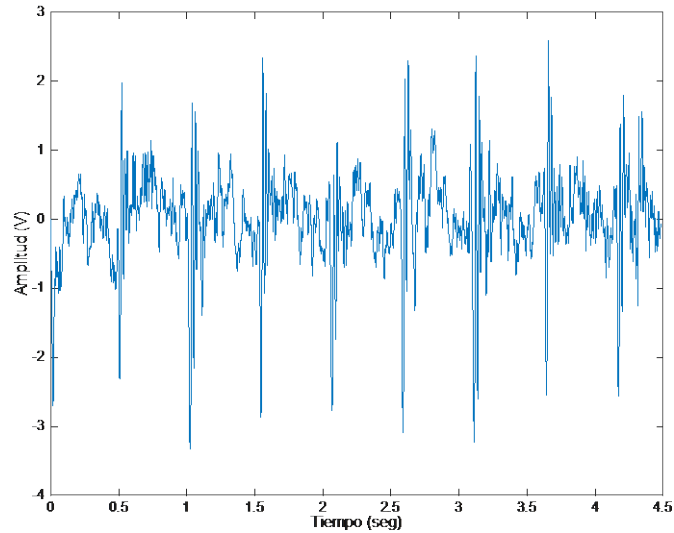


Figura 4 Señal de referencia para el filtro adaptable.

De esta forma después de aplicar el filtrado adaptable se obtiene la gráfica de la figura 5.

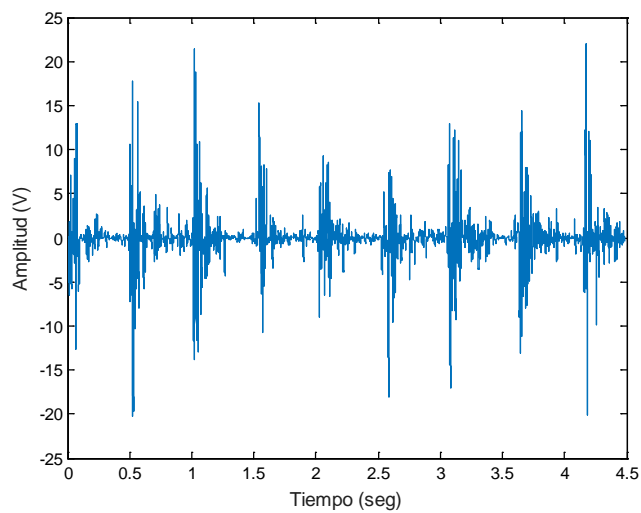


Figura 5 Señal resultado del filtrado adaptable.

En la figura 6 se presenta la gráfica del proceso de aprendizaje en función del error cuadrático medio de la respuesta del filtro, en esta gráfica se puede observar un error más grande al principio (en las primeras 1000 muestras), el cual se va disminuyendo hasta mantenerse en un valor medio, también puede observarse el efecto de los pulsos del corazón en donde el error se eleva para volver a un valor

bajo, esto se debe a que las señales de audibles del corazón no son señales estacionarias.

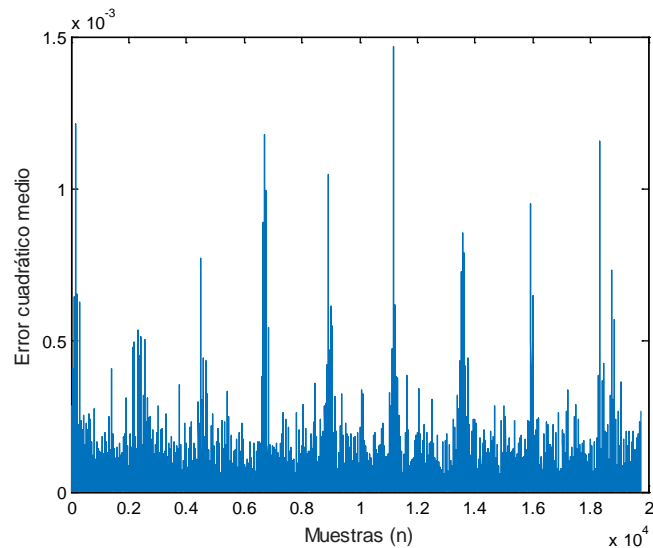


Figura 6 Gráfica de aprendizaje del filtrado adaptable.

4. Discusión

En este trabajo se presenta una metodología para el filtrado de señales PCG, mediante la aplicación de filtros adaptables. Los resultados obtenidos dan muestra de una buena eficiencia de filtrado dadas las condiciones de ruido de la señal sin filtrar. Se ha validado la eficiencia del pre-filtrado de la señal de 60 Hz de la línea de suministro de energía, así como de las primeras ocho armónicas de la misma para la obtención de una buena eficiencia. La evaluación realizada por el especialista médico es positiva para su uso en diagnósticos médicos como herramienta complementaria.

Los autores agradecen a la Tecnológico Nacional de México por el apoyo económico otorgado en la convocatoria 2016 de “Apoyo a la Investigación Científica, Aplicada, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2016 en los Programas Educativos de los Institutos Tecnológicos y Centros”, para la realización de este proyecto y al Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán por las facilidades otorgadas.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Haykin S. (1996), *Adaptive Filter Theory*, USA, Prentice Hall, Pag. 339-346.
- [2] Abbas A. (2009), *Phonocardiography signal processing*, Connecticut, Morgan & Claypool, Pag. 4-5.
- [3] Fuller J. (2010), *Instrumentación quirúrgica, principios y práctica*, Madrid, Ed. Medica Panamericana, Pag. 924-927.
- [4] Madisetti V. (1999), *Digital Signal Processing Handbook*, USA, McGraw Hill, Pag 480-483.
- [5] Patil S. Heart, "Sound enhancement using Kalman filter and independent component analysis algorithm", *International journal of emerging technology and advanced engineering*, India, 2017, Pag. 458-461.
- [6] Ballou G. (2008), *Handbook for sound engineers*, USA, Elsevier, Pag. 296-297.