



EXTRACCIÓN DEL ECG FETAL EN ELECTROCARDIOGRAFÍA NO INVASIVA POR MEDIO DE SEÑAL DE REFERENCIA

Ana Vivian Calderón Echeverría, Mateo Navas Luquez, Carolina Cristancho Lenis, Juan Manuel López López

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Bogotá, Colombia**

Resumen

Las técnicas de procesamiento de ECG fetal (FECG) son de suma importancia para el monitoreo de trastornos como encefalopatía y acidosis neonatal. Este proyecto se centró en la extracción de la FECG y de la frecuencia cardíaca fetal a partir de electrocardiografía no invasiva. Para el diseño y validación del método, se utilizaron un conjunto de bases de datos provenientes de Physionet: Index Challenge 2013a, Fetal ECG and abdominal ECG y Fetal ECG synthetic database. Se extrajeron registros que contenían cuatro canales abdominales, a los que se les aplicó técnicas de procesamiento para extraer las componentes del ECG fetal, mediante la implementación de filtros con sistemas de respuesta adaptativa y análisis multivariable. Adicionalmente, el algoritmo propuesto estima el cálculo de la frecuencia cardíaca, para finalmente visualizar la señal de FECG con su respectivo valor de frecuencia cardíaca.

Palabras clave: ECG fetal; filtros adaptativos; frecuencia cardíaca fetal

Abstract

Fetal ECG processing techniques (FECG) are paramount for monitoring disorders such as encephalopathy and neonatal acidosis. This project focused on the extraction of FECG and fetal heart rate from non-invasive electrocardiography. For the design and validation of the method, we used a set of databases from Physionet: Index Challenge 2013a, Fetal ECG and abdominal ECG and Fetal ECG synthetic database. The registers that were extracted, contained four abdominal channels, to which processing techniques were applied to extract the components of the fetal ECG, through the implementation of filters with adaptive response systems and multivariate analysis.

Additionally, the proposed algorithm estimates the calculation of the heart rate, to finally visualize the FECCG signal with its respective heart rate value.

Keywords: adaptive filters; fetal ECG; fetal heart rate

1. Introducción

La desaceleración de la frecuencia cardíaca fetal está asociada con el sufrimiento del feto. el monitoreo de esta puede ayudar al diagnóstico de múltiples afecciones. El método de monitoreo más confiable y preciso es por medio de electrocardiografía directa colocando un electrodo en el cuero cabelludo fetal, sin embargo, esto solo puede realizarse durante labor de parto y no es muy común debido a los riesgos asociados y la incomodidad que genera a la madre (Sarmiento-Alvarez, 2013).

Por otro lado, la electrocardiografía fetal no invasiva permite el monitoreo de la función cardíaca fetal, se realiza colocando diferentes electrodos en el abdomen materno y es de riesgo insignificante. Las señales adquiridas por este método presentan información que no está asociada a la actividad cardíaca fetal, esta es generada por artefactos maternos (respiración, actividad cardíaca) e interferencias externas (Castañeda, 2018).

El FECCG se puede extraer mediante técnicas de procesamiento de señales, sin embargo, usar solo filtros convencionales en frecuencia no es posible debido a que las señales de ECG materno y fetal están traslapadas tanto en tiempo como en frecuencia, por lo que se dificulta la separación y se requieren técnicas de procesamiento alternativas (Castañeda, 2018).

Las técnicas de procesamiento de FECCG son de suma importancia para el monitoreo trastornos como encefalopatía y acidosis neonatal, dado que estos trastornos afectan la actividad cardíaca del feto provocando anomalías en el intervalo PR y disminución del intervalo RR (Instituto Mexicano, 2010).

2. Métodos y materiales

Para la correcta cuantificación del FECCG es necesario eliminar la componente materna con una serie de filtros de respuesta especial, por ende, este procedimiento se basa en un sistema de atenuación y separación de componentes. En la figura 2 se encuentra el diagrama de bloques del algoritmo a implementar.

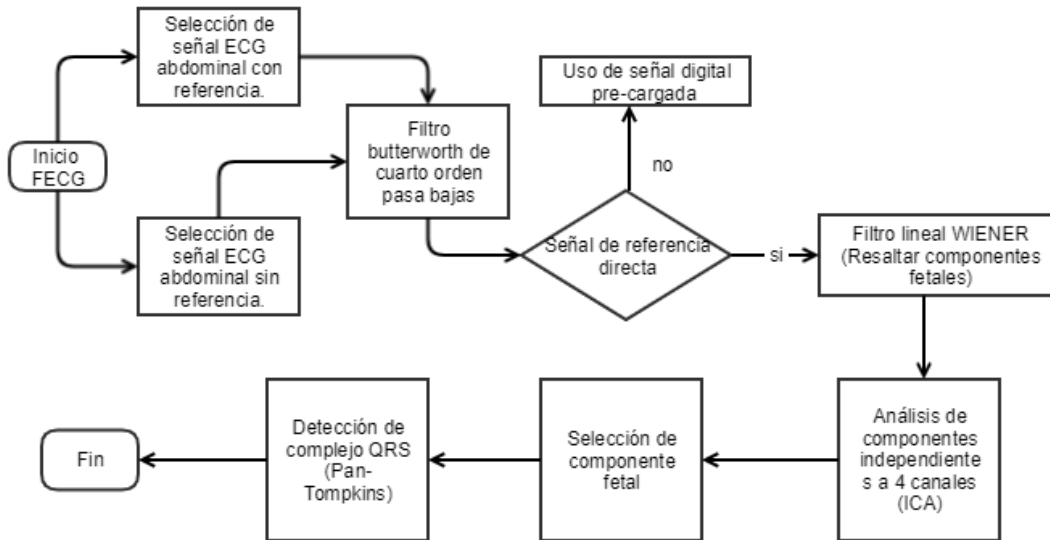


Figura 2. Algoritmo de extracción y cuantificación de la frecuencia cardiaca fetal.

Un filtro de respuesta adaptativa es aquel que modela la señal objetivo con respecto a la señal de referencia. Una aproximación simplificada del filtro Wiener-Hopf de este filtro se puede observar en la figura 1, en la cual la señal de entrada se nombra $x[n]$ y la señal deseada o modelo $d[n]$, a partir de estas se crea la estimación de la señal de error, y reconstruye la señal objetivo a partir de los coeficientes de auto correlación de la señal original y los coeficientes de correlación cruzada entre la original y la modelo (Semmlow, 2004).

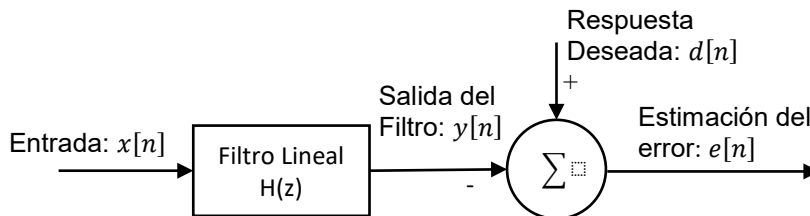


Figura 1. Señales y procesos en un filtro de Wiener (Semmlow, 2004)

Antes de procesar las señales, se realiza un preprocesamiento que consiste en un filtro Butterworth pasa-bajas de cuarto orden con frecuencia de corte de 45 Hz, esto con el fin de eliminar cualquier artefacto externo

La primera etapa del algoritmo consiste en un filtro de respuesta adaptativa, el cual modela la señal objetivo con respecto a la señal de referencia, en este filtro se analiza la autocorrelación de la señal a filtrar y la correlación cruzada entre la de referencia y la de entrada, después de esto solo es necesario calcular los coeficientes del filtro y para aplicar la respuesta de este procedimiento en un filtro de fase cero (Semmlow, 2004). Para el desarrollo del proyecto se aplica este filtro bajo dos condiciones diferentes, la primera en donde se tiene la señal de ECG propia de un feto, extraída únicamente durante el parto, y la segunda donde no se posee ninguna señal directa, por este motivo se utiliza una señal modelada por especialistas, para este procedimiento se ingresan 4 señales de electrocardiografía abdominal como señal de entrada y basándose en la información

proveniente de la base de datos se estima la señal de referencia, por último se estandariza una longitud del vector de coeficientes de correlación de diez, para que los coeficientes del filtro no sean tan agresivos con respecto a la señal de referencia, y no distorsione la señal de entrada (Semmlow, 2004) (Splinter, 2005).

Durante el desarrollo del proyecto se aplica este filtro bajo dos condiciones, la primera en donde se tiene la señal de ECG propia de un feto, extraída durante el parto, y la segunda donde no se posee ninguna señal directa, por este motivo se utiliza una señal modelar por especialistas dado que la actividad eléctrica cardiaca en un tiempo corto se puede comparar con una señal periódica (Semmlow, 2004), (Splinter, 2005).

La segunda fase del algoritmo consiste en la separación de los componentes maternos remanentes de la primera fase, para ello se implementa el análisis de componentes independientes (ICA), este procedimiento analiza la independencia estadística de las variables y separa las muestras en el número de fuentes originales (Castañeda, 2018).

Para este método, se tienen las cuatro señales en una matriz, la cual es ingresada como matriz de mezcla en la función ICA, se obtienen entonces cuatro señales de salida, estas se visualizan para determinar en cuál de ellas se concentra la mayor información del ECG fetal.

En la tercera y última sección del procesamiento se filtra la señal proveniente del método de separación de fuentes y se le aplica el filtro Wiener nuevamente para realzar los complejos QRS del feto donde la señal de entrada es la escogida en la fase anterior y la de referencia es la misma utilizada en la primera fase, posterior a esto se utiliza el algoritmo de detección de picos Pan-Tompkins para la cuantificación de la frecuencia cardiaca utilizando como entrada en este caso la señal que resulta del filtro adaptativo.

La fase experimental consiste en la prueba del algoritmo para la extracción de la frecuencia cardiaca fetal, y comparar este resultado con las anotaciones de las bases de datos, este procedimiento se realiza con el fin de conocer la efectividad del algoritmo.

Los registros de señal fueron obtenidos a través del espacio de trabajo PhysioNet, en el cual se centralizan las tres bases de datos implementadas en este estudio:

- **PhysioBank/Index Challenge 2013a:** Compendio de 75 registros con cuatro canales de ECG abdominal de mujeres en estado de gestación, con resolución de 16 bits y frecuencia de muestreo de 1k Hz (PhysioBank, 2016).
- **PhysioBank/ Abdominal and direct fetal ECG:** Registro académico de señales de FECG directo y abdominal, con resolución de 16 bits y frecuencia de muestreo de 1k Hz. Esta base de datos cuenta con 5 registros de 5 canales (ITAM Institute, 2016).
- **PhysioBank/ Fetal ECG Synthetic Database (fecgsynbdb):** Base de datos de 1750 señales, con señales sintéticas de FECG, con resolución de 16 bits y frecuencia de muestreo de 250 Hz (Goldberger, 2016).

3. Resultados

Como resultado final se obtiene la visualización de las fases propuestas en el algoritmo, inicialmente se muestran los canales abdominales y la señal de referencia que será utilizada posteriormente para su procesamiento, esta última se determinará según la base de datos utilizada, es decir si esta posee señal de referencia propia o es la precargada por el algoritmo (ver figura 3). Para permitir la visualización de las gráficas mencionadas se debe tener en cuenta los valores de la ganancia y frecuencia de muestreo de los registros utilizados, con el fin de obtener la magnitud correcta de las señales

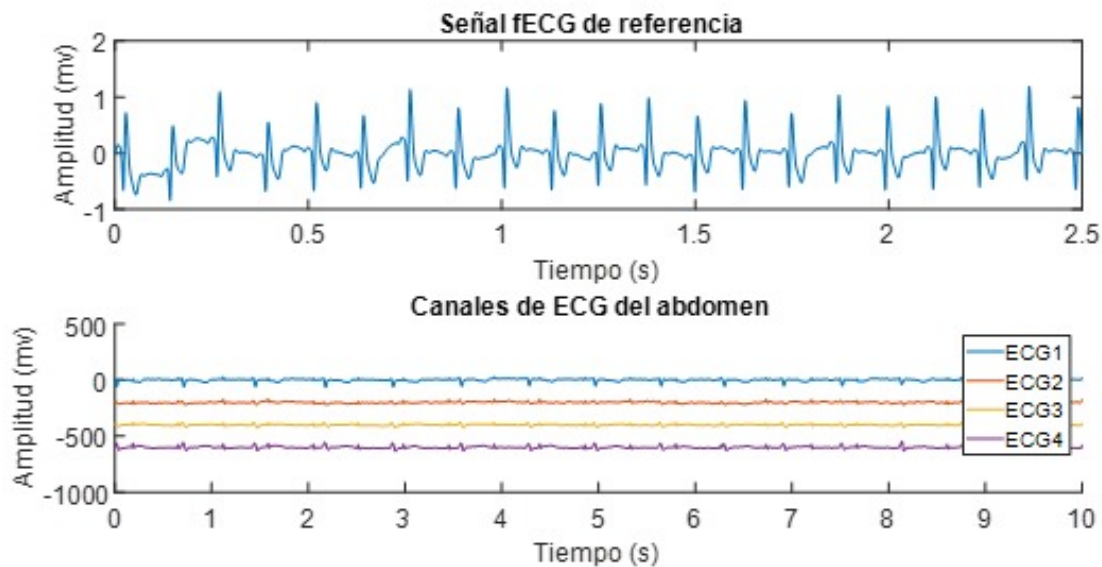


Figura 3. Canales abdominales y señal de referencia.

Posteriormente se procedió a realizar un análisis de componentes independientes, de tal forma que separe de los cuatro canales abdominales los componentes fetales y los componentes maternos, su resultado se interpreta gráficamente como se observa en la figura 4.

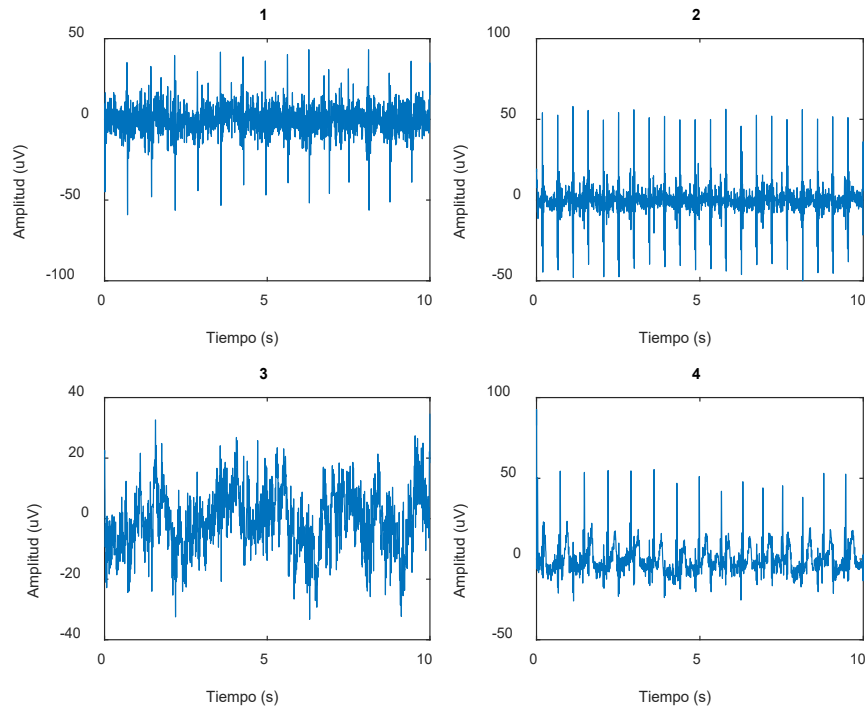


Figura 4. Análisis de componentes independientes.

En la figura 4 se presentan cuatro graficas discriminadas con números, estos corresponden a cada uno de los canales de salida una vez se realiza el análisis de componentes independientes (ICA). Con estos se deberá realizar un análisis y determinar cuál de los canales contiene mayor componente fetal, de tal forma que seleccionará una de ellas, con el fin de ser sometida nuevamente a un filtro adaptativo y posteriormente obtener la señal de ECG fetal.

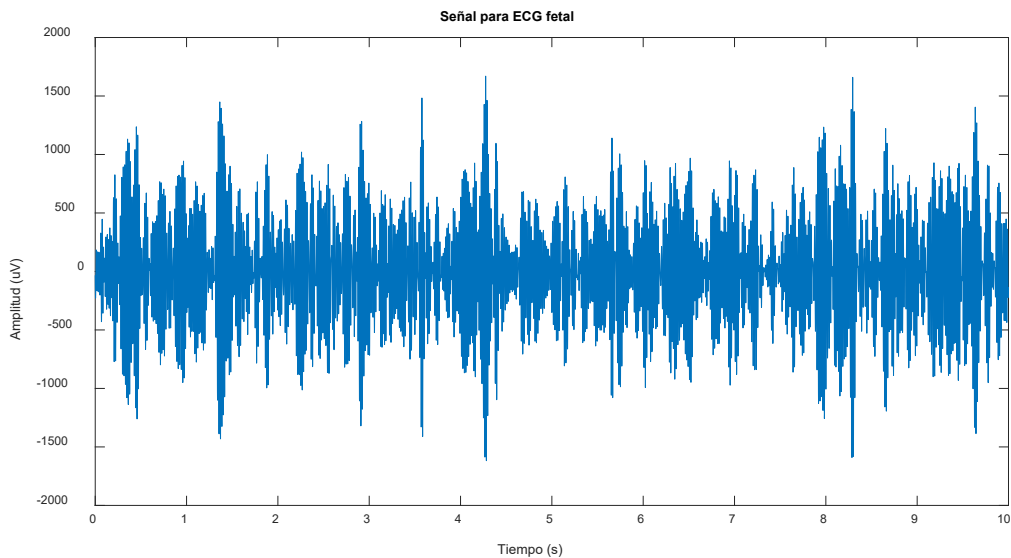


Figura 5. ECG materno y FECG.

Finalmente, se estima el cálculo de la frecuencia cardíaca fetal, mediante el algoritmo de Pan-Tompkins. De acuerdo a esto se toman los términos de frecuencia cardíaca real y experimental; el término de FC real indica al valor de la frecuencia cardíaca fetal obtenida a través de la señal de referencia que proporciona la base de datos; El segundo término FC experimental, indica el valor calculado por el algoritmo implementado.

Para verificar el funcionamiento del algoritmo se realizó un análisis con 69 registros encontrados por dos bases de datos diferentes, Abdominal and direct fetal ECG e Index Challenge 2013a. De acuerdo a las anotaciones de estas bases de datos se extrajo el valor real de la frecuencia cardíaca del feto y se verificó si el algoritmo detectaba la frecuencia, adicionalmente se calculó el error de la muestra tomando como valor teórico el proporcionado por las anotaciones.

Al cuantificar los resultados obtenidos por el algoritmo se observó que tiene un 74% de efectividad para la muestra de 69 registros aplicables, considerando una aceptación del 5% de error en la medida. La aceptación del error es considerada como consecuencia del primer gran módulo de procesamiento, el cual consiste en los filtros Weiner, dado que estos calculan el error cuadrático a partir de una señal de referencia fija para los casos donde no se posee señal directa, esta señal fija (sintética) pese a ser modelada bajo el criterio de los especialistas en señales fisiológicas complejas (Goldberger, 2016), y estar destinada a implementarse como recurso de investigación se queda rezagada frente al amplio intervalo de frecuencias que puede presentar el corazón de un feto, encontrándose entre un rango de 120-160 lpm. Otro posible factor de error para este tipo de algoritmo es el estado original de la señal, dado que el QRS materno es extremadamente grande incluso en los canales abdominales, como se puede apreciar en la figura 4, debido a que puede darse el caso de que algunos complejos QRS tanto fetales como maternos se hayan sincronizado en tiempo, por lo tanto la extracción de los artefactos fetales se vería afectada, inclusive al punto de que los coeficientes que se obtienen por medio de la correlación cruzada en el filtro Wiener atenúen esta muestra ya que no posee la potencia necesaria para diferenciarse de los artefactos maternos. Para una segunda etapa del modelo, se planea utilizar más señales de referencia para la base de datos Index Challenge 2013a con el objetivo de mejorar la exactitud.

4. Conclusiones

El algoritmo tiene buenos resultados de funcionamiento, sin embargo, para mejorarlos y aumentar el porcentaje de efectividad, se necesitaría cargar la señal sintética de acuerdo a cada frecuencia cardíaca esto ayudaría a que la señal se modelara mejor con ayuda del filtro Wiener y facilitara la extracción de los componentes fetales, así como su posterior cálculo de frecuencia cardíaca. De acuerdo a estudios realizados anteriormente por diferentes autores, los métodos de extracción del FECCG son realizados con una cantidad de registros limitados, de las cuales cuatro de cada cinco señales presentan una respuesta de verdaderos positivos, es decir, una exactitud del 80 %, comparable con el desempeño del método planteado en este trabajo.

5. Referencias

Artículos de revistas

- K, Zea-Espinosa. N, Castañeda Villa. A, Jiménez González. (2018). Extracción automática del ECG fetal en registros abdominales de cuatro canales mediante la atenuación del ECG materno y el análisis por componentes independientes. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México.
- L, Sarmiento-Alvarez. Y, Flórez-Ordóñez. A, González- Salvador. J, Millet Roig. (2013). Estimación de la Frecuencia Cardíaca Fetal en el ECG Fetal no Invasivo. Universidad Santo Tomás sede Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia

Libros

- K Najarian, R Splinter. (2005). Biomedical Signal and image processing Ed.2. Ch. 9.
- John L Semmlow. (2004). Biosignal and Biomedical Image Processing. CH. 10.

Fuentes electrónicas

- PhysioBank. (2016). Index Challenge 2013a. Consultado el 14 de marzo de 2019 en <https://physionet.org/physiobank/database/challenge/2013/set-a/>
- ITAM Institute. PhysioBank (2016). Abdominal and Direct Fetal Electrocardiogram Database. Consultado el 17 de marzo de 2019 en <https://physionet.org/physiobank/database/adfecgdb/>
- Goldberger. L, Amaral. H, Stanley. PhysioBank (2016). Fetal ECG Synthetic DataBase. Consultado el 15 de marzo de 2019 en <https://physionet.org/physiobank/database/fecgsynadb/>
- J. Guerrero Martínez (2011). Series temporales. Universidad de Valencia. Consultado el 15 de marzo de 2019 en: http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/1-5/ib_material/IB_T6_OCW.pdf
- Instituto Mexicano del seguro social (2010). Diagnóstico y tratamiento de la asfixia neonatal. Guía de práctica clínica. Consultado el 17 de marzo de 2019 en <http://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/guiasclinicas/632GRR.pdf>

Sobre los autores

- **Ana Vivian Calderón Echeverría:** Estudiante de Ingeniería Biomédica, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito – Universidad de Rosario ana.calderon@mail.escuelaing.edu.co
- **Mateo Navas Luquez:** Estudiante de Ingeniería Biomédica, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito – Universidad de Rosario mateo.navas@mail.escuelaing.edu.co
- **Carolina Cristancho Lenis:** Estudiante de Ingeniería Biomédica, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito – Universidad de Rosario carolina.cristancho@mail.escuelaing.edu.co

- **Juan Manuel López López:** Ing. Electrónico, Magister en Ingeniería. Área: Electrónica y de Computadores, Doctor en Ingeniería, Profesor Asistente de Ingeniería Biomédica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. juan.lopezl@escuelaing.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)