

SISTEMA MULTICANAL DE ADQUISICIÓN Y SEPARACIÓN DEL ECG MATERNO Y FETAL

Propuesta de Tesis de Maestría

Posgrado en Ingeniería Electrónica

Dr. José Sergio Camacho Juárez (FC-UASLP)

Dr. Bersaín Alexander Reyes (FC-UASLP)

Motivación

El electrocardiograma (ECG) desempeña un papel fundamental en la medicina al permitir a los profesionales de la salud detectar con precisión problemas cardíacos [1]. De manera análoga, el ECG fetal (ECGf) ofrece una ventana única al desarrollo cardíaco del feto, permitiendo a los médicos anticipar posibles complicaciones como la falta de oxígeno en la madre o problemas en el bebé por nacer [2]. En la actualidad, existen dos métodos clínicos principales para obtener un ECGf [3]. El primero utiliza electrodos invasivos en el cuero cabelludo durante el parto, proporcionando mediciones directas y fiables del corazón fetal, aunque con posibles riesgos para la madre y el bebé. Por otro lado, el método no invasivo utiliza electrodos en el abdomen materno, permitiendo un monitoreo seguro durante todo el embarazo. Sin embargo, la señal capturada es compleja, mezclando el ECGf con el ECG materno (ECGm), ruidos respiratorios y otras interferencias, lo que dificulta la identificación precisa del ECGf debido a la superioridad en intensidad de la señal materna [3].

Para abordar este reto, se han desarrollado diversos algoritmos que permiten separar y analizar las señales del ECGf de manera efectiva [4]. Estos métodos de detección generalmente comprenden varias etapas de procesamiento que son fundamentales para el análisis preciso de las señales. En primer lugar, se realiza un preprocesamiento de la señal para eliminar ruidos y artefactos que puedan afectar la calidad de los datos. Luego, se lleva a cabo la estimación del componente materno, que implica identificar y caracterizar la señal cardíaca de la madre que se mezcla con la señal fetal. Posteriormente, se procede a la eliminación del componente materno para aislar la actividad cardíaca específica del feto. Una vez separada la señal fetal, se realiza la estimación de la frecuencia cardíaca fetal (fHR) y se analiza la serie RR para detectar los latidos cardíacos. Finalmente, se lleva a cabo un postprocesamiento adicional para refinar y validar los resultados obtenidos durante las etapas anteriores del procesamiento de la señal [4].

Las técnicas utilizadas para la separación del ECGf y ECGm incluyen: filtrado adaptable, sustracción de plantillas, análisis tiempo-frecuencia, técnicas de separación de fuentes ciegas y redes neuronales. Entre estas estrategias, los algoritmos basados en el Análisis de Componentes Independientes (ICA) han mostrado resultados destacados [4]. El algoritmo de FastICA, en particular, ha sido ampliamente utilizado debido a su rápida tasa de convergencia en la extracción del ECGf, a pesar de que su sensibilidad al vector de pesos inicial puede afectar su rendimiento [5]. Recientemente, el algoritmo ST-FastICA combinó el Método de Retardos con FastICA y un clasificador automático. Los resultados mostraron que el tratamiento dado a los datos por ST-FastICA (utilizando 4 canales) permite lograr una separación robusta de los ECG [6].

Además, se ha presentado un método mejorado para la separación del ECGf del ECGm, capaz de realizar el procesamiento en tiempo real [7]. Se utiliza un algoritmo de reconstrucción mejorado (RLS, por sus siglas en inglés) propuesto por Pant et al. [8], lo que contribuye a mejorar la calidad de la señal reconstruida [7].

Por otro lado, un trabajo probó cinco configuraciones de electrodos para obtener el ECGf. La primera, Tipo 1, utiliza 5 electrodos dispuestos en forma circular alrededor del abdomen materno con un electrodo de referencia en el área del pubis. El Tipo 2, con 8 electrodos, ofrece dos opciones: una estructura triangular o dos círculos más pequeños en el abdomen. El Tipo 3, con 10 electrodos, utiliza seis electrodos activos dispuestos en una estructura hexagonal alrededor del ombligo. El Tipo 4, con 14 electrodos, implica múltiples derivaciones abdominales para el procesamiento de la señal fetal. Finalmente, el Tipo 5 es la configuración más compleja con 32 electrodos, cubriendo todo el abdomen y áreas circundantes. Además, en ese trabajo probaron de todas las configuraciones y se dieron cuenta que únicamente con cuatro canales era suficiente para poder obtener el ECGf [6].

Problema

El presente trabajo aborda la carencia actual de un sistema multicanal de adquisición capaz de separar eficazmente la señal del ECG fetal de la señal del ECG materno.

Propuesta

En éste trabajo se propone desarrollar e implementar un sistema multicanal de adquisición de las señales del ECGf de la señal del ECGm en mujeres embarazadas basado en la implementación del ST-FastICA con un algoritmo RLS. Además, se diseñará un protocolo experimental que incluya diferentes configuraciones de electrodos y condiciones simuladas para validar el rendimiento del sistema propuesto.

Objetivo

Diseñar y desarrollar un sistema de adquisición de la señal de ECGf y ECGm en mujeres embarazadas que permita el procesamiento y separación de ambas señales en tiempo real.

Objetivos específicos

Diseñar y desarrollar un simulador de cuatro canales que contengan las señales del ECGf y ECGm mezcladas en mujeres embarazadas.

Diseñar y desarrollar un sistema de adquisición de la señal de ECGf y ECGm de cuatro canales en mujeres embarazadas.

Implementar el algoritmo ST-FastICA con un algoritmo RLS que permita separar las señales de ECGf y ECGm en mujeres embarazadas.

Comparar los resultados del algoritmo de descomposición desarrollado con las señales de referencia correspondientes.

Metodología

Se diseñara y desarrollará un simulador de cuatro canales que sea capaz de generar señales previamente adquiridas en bancos de datos del ECGf y ECGm mezcladas. Este simulador permitirá generar conjuntos de datos controlados que imiten las condiciones reales de adquisición de las señales. Después, se diseñará y desarrollará un sistema de adquisición de señales para capturar las señales generadas por el simulador de cuatro canales. Este sistema consistirá en hardware para la adquisición de las señales y software para su procesamiento inicial, asegurando una correcta digitalización y registro de los datos de ECGf y ECGm.

Para el procesamiento de las señales, se desarrollará un algoritmo específico que permita separar de manera efectiva las señales del ECGf y ECGm. Este algoritmo se basará en técnicas de procesamiento de señales como el análisis de componentes independientes (ICA), filtros adaptables u otras metodologías avanzadas para la separación de fuentes. Se optimizará y ajustará el algoritmo utilizando los datos adquiridos del simulador.

Finalmente, se compararán los resultados obtenidos con el algoritmo desarrollado con los la señales de ECGf y ECGm descargadas previamente, y se llevará a cabo un análisis estadístico para validar y comparar las capacidades del nuevo algoritmo.

Requisitos previos

Para el desarrollo de este proyecto se considera necesario que el alumno posea conocimientos sólidos y experiencia en electrónica analógica, programación de Microcontrolador PIC, programación en lenguajes ensamblador, C++ y Phyton, adquisición y procesamiento de señales biomédicas, instrumentación biomédica avanzada y manejo de MATLAB. Se propone que el alumno involucrado en el proyecto curse materias optativas como Procesamiento de Señales en Tiempo Real, Sistemas Electrónicos Embebidos y Reconocimiento de Patrones.

Cronograma de Actividades (Julio de 2023 – Agosto de 2024)

| ACTIVIDAD | Año | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|
| | 2023 | | | | | | 2024 | | | | | | | |
| | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DECIEMBRE | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO |
| Revisión Bibliográfica | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Diseño y desarrollo de simulador de señales | X | X | X | | | | | | | | | | | |
| Diseño y desarrollo de Sistema de Adquisición de señales | | | | X | X | X | X | | | | | | | |
| Programación de algoritmo de separación del ECGf y del ECGm | | | | | | | X | X | X | X | X | | | |
| Comparación de resultados con otros algoritmos | | | | | | | | | | | X | X | X | X |
| Análisis de desempeño del sistema implementado | | | | | | | | | | | X | X | X | X |
| Análisis de desempeño del sistema implementado | | | | | | | | | | | X | X | X | X |
| Materia Procesamiento de Señales en Tiempo Real | | X | X | X | X | X | | | | | | | | |
| Materia Sistemas Electrónicos Embebidos | | X | X | X | X | X | | X | X | X | X | X | X | X |
| Materia Reconocimiento de Patrones | | | | | | | | X | X | X | X | X | X | X |
| Escritura de la tesis | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |

Referencias

[1] Reichlin, T., Abächerli, R., Twerenbold, R., Kühne, M., Schaer, B., Müller, C., Sticherling, C., & Osswald, S. (2016). Advanced ECG in 2016: Is there more than just a tracing? *Swiss Medical Weekly*, 146, w14303. <https://doi.org/10.4414/sm.w.2016.14303>

[2] Donofrio, M. T., Moon-Grady, A. J., Hornberger, L. K., Copel, J. A., Sklansky, M. S., Abuhamad, A., Cuneo, B. F., Huhta, J. C., Jonas, R. A., Krishnan, A., Lacey, S., Lee, W., Michelfelder Sr, E. C., Rempel, G. R., Silverman, N. H., Spray, T. L., Strasburger, J. F., Tworetzky, W., & Rychik, J.; American Heart Association Adults With Congenital Heart Disease Joint Committee of the Council on Cardiovascular Disease in the Young and Council on Clinical Cardiology, Council on Cardiovascular Surgery and Anesthesia, and Council on Cardiovascular and Stroke Nursing. (2014). Diagnosis and treatment of fetal cardiac disease: A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 129(21), 2183-242. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000437597.44550.5d>

[3] Li, R., Frasch, M. G., & Wu, H.-T. (2017). Efficient fetal-maternal ECG signal separation from two-channel maternal abdominal ECG via diffusion-based channel selection. *Frontiers in Physiology*, 8, 277. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00277>

[4] Jiménez-González, A., Castaneda-Villa, N. (2019). Blind extraction of fetal and maternal components from the abdominal electrocardiogram: An ICA implementation for low-dimensional recordings. *Biomedical Signal Processing and Control*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.101836>

[5] Yuan, L., Zhou, Z., Yuan, Y., & Wu, S. (2018). An improved FastICA method for fetal ECG extraction. Volume 2018, Article ID 7061456. <https://doi.org/10.1155/2018/7061456>

[6] Marchon, N., Naik, G., & Pai, R. (2017). ECG Electrode Configuration to Extract Real Time FECG Signals. *Procedia Computer Science*, 125, 501–508. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.065>

[7] Méndez Rubio, E., Castañeda Villa, N., & Jiménez González, A. (sin año). Extracción del electrocardiograma fetal mediante técnicas de separación ciega de fuentes: una implementación para registros abdominales de cuatro canales. En *Actas del 40 Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica SOMIB. Recuperado de [dx.doi.org/10.24254/CNIB.18.1](https://doi.org/10.24254/CNIB.18.1)

[8] Shashi Kumar, S., & Ramachandran, P. (2022). Review on compressive sensing algorithms for ECG signal for IoT-based deep learning framework. *Applied Sciences*, 12(16), 8368. <https://doi.org/10.3390/app12168368>