

Identificación del sonido S1 y sonido S2 de un PCG mediante filtros digitales y sintetizador sustractivo

Jorge Alberto Morales Gaitán

Temas selectos de ingeniería biomédica: Procesamiento de señales de audio

1 Introducción

La auscultación permite obtener información sobre los sonidos torácicos producidos por los distintos mecanismos de los órganos que componen la caja torácica, principalmente las válvulas del corazón para estimar la actividad cardíaca, pero este método ha sido opacado por otras técnicas de diagnóstico como la ecocardiografía, ambas tienen la desventaja de requerir entrenamiento y constante práctica para poder reconocer la información e interpretarla, en el caso de la auscultación se requiere mayor tiempo de práctica [1].

El estetoscopio es la principal herramienta para la auscultación, desde su creación por René-Théophile-Hyacinthe Laënnec, ha evolucionado hasta llegar al estetoscopio digital que permite digitalizar las señales acústicas para su transmisión a distintos dispositivos para análisis, visualización gráfica y generar archivos clínicos, el estetoscopio digital también abre la posibilidad de automatizar la interpretación acústica, mediante el uso del fonocardiograma [1].

El fonocardiograma es la grabación de las señales acústicas del corazón, compuestas por dos vibraciones principales: sonidos del corazón y murmullos, y se clasifican como S1, S2, S3 y S4. El sonido S1 corresponde al inicio de la sístole ventricular y se puede dividir en dos componentes: el componente mitral (M1) y el componente tricúspide (T1), relacionados con el cierre de la válvula mitral y el cierre de la válvula tricúspide respectivamente. El sonido S2 se relaciona con el fin de la sístole ventricular y comienzo de la diástole, dividiéndose en sus componentes aórtico (A2) y pulmonar (P2). Por último están los sonidos S3 y S4 que son de menor amplitud y suelen ser relacionados a anomalías del ciclo cardíaco debido a envejecimiento o alguna enfermedad en particular. Cabe destacar que cada componente y sonido tiene distintas bandas de frecuencia, por esta situación se proponen distintas herramientas matemáticas para su análisis, la primera de estas es la Fast Fourier Transform (FFT) que entrega los aspectos más relevantes de los sonidos cardíacos, pero algunos valores pueden estar alterados debido a la propiedad no estacionaria de los sonidos cardíacos, la Short-time Fourier Transform (STFT) permite obtener la duración de cada sonido tanto en frecuencia como en tiempo, pero con una baja resolución, Wavelet Transform combina las transformadas anteriores por lo que aprovecha los componentes en

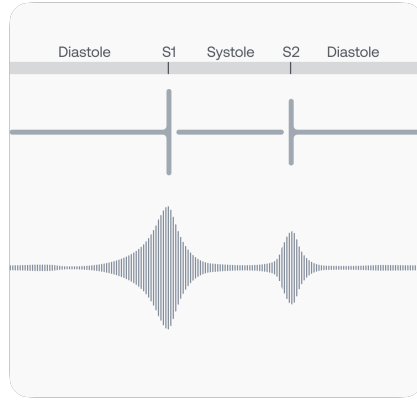


Fig. 1: Ejemplo de fonocardiograma. Recuperado de Eko Team Content and Press. Phonocardiogram. Accessed November 5, 2021. <https://www.ekohealth.com/learning/phonocardiogram-v1>

tiempo y frecuencia con buena resolución [2].

2 Objetivos

Varios autores recomienda el uso de wavelet como pre-procesamiento para remover el ruido, para después implementar algoritmos de machine learning o deep learning, o cualquier otro método [3], [4], [5]. Pero no son algoritmos aplicados a señales tiempo real por lo que se propone en el presente trabajo la implementación de filtros resonadores para resaltar componentes en un determinado ancho de banda.

Sonido cardiaco	Rango de frecuencia
S1	10-180 Hz
S2	50-250 Hz

Table 1: Rango de frecuencias de los sonidos cardiacos. Recuperado de Debbal SM, Bereksi-Reguig F. Computerized heart sounds analysis. Comput Biol Med. 2008;38(2):263-280. doi:10.1016/j.compbiomed.2007.09.006

3 Metodología

Un filtro resonador es un filtro recursivo que produce un pico local en respuesta a un polo cercano al círculo unitario y una frecuencia central, por lo que se buscaría

una interfaz gráfica para escoger esta frecuencia central y resonar el sonido S1 o S2 para una mejor apreciación, así como también implementar un banco de filtros para aplicar a las señales de tiempo real el banco de filtros tendría los filtros resonadores. Un banco de filtros permite dividir una señal en sub señales, cada una a su vez con una sub banda del espectro de la señal original y cada sub banda tiene frecuencias centrales. [9].

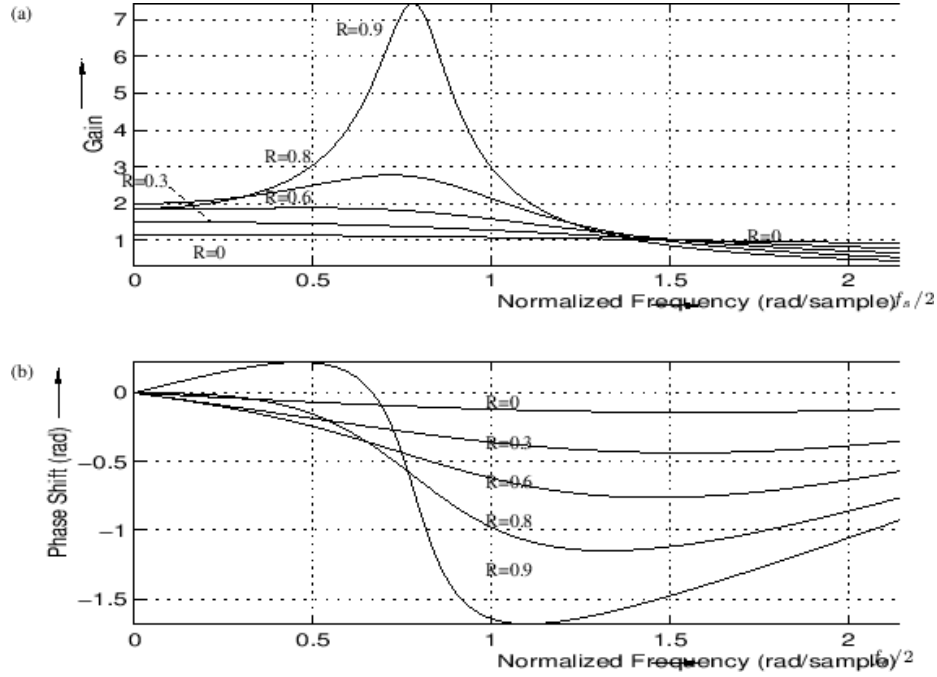


Fig. 2

Fig. 3: Respuestas en frecuencia y fase de Filtro resonante. Recuperado de Smith, J.O. "Partial Fraction Expansion", in Introduction to Digital Filters with Audio Applications, online book, 2007 edition.

Pero antes del banco de filtros debe haber un sistema que adecue la señal, desde la toma física de la señal hasta la salida antes del banco de filtros, para esto, se optó por la implementación de un sintetizador sustractiva debido a que permite extraer ciertas frecuencias con un filtro para obtener el efecto deseado [10], con el fin de remover todo el ruido de la entrada física de audio, en este caso el micrófono genérico de la computadora. El sintetizador recibe dos entradas canales 1 y 2 que son recibidos por un mezclador para tener una sola señal, se aplica una reducción de resolución para cuantizar los valores de la señal, mejorando el proceso de las siguientes etapas. Se realiza un filtrado mediante un Filtro

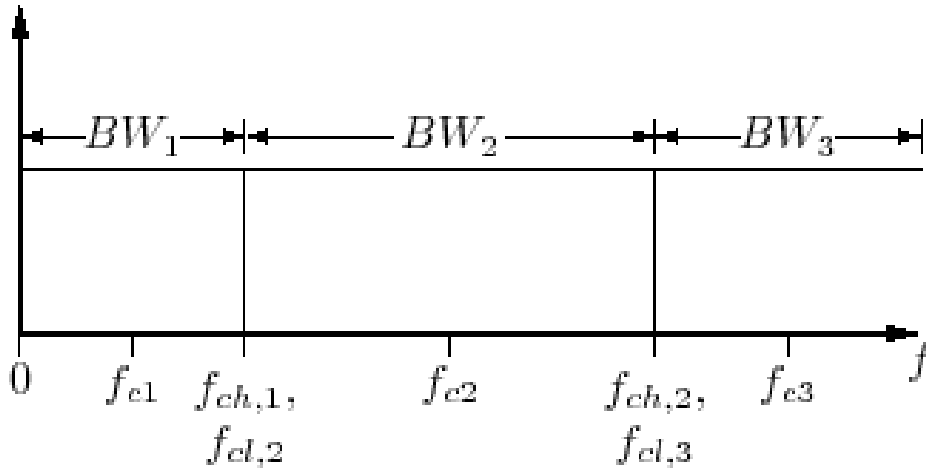


Fig. 4: Diagrama que muestra un banco de 3 filtros con sus respectivos anchos de banda y frecuencias centrales. Recuperado de Smith, J. O., Cassidy, R. J. (2008, June 5). What is a Filter Bank?. Center for Computer Research in Music and Acoustics. https://ccrma.stanford.edu/rea/simple/aud_fb/What_Filter_Bank.html

controlado por voltaje, o VCF, esto debió a que es una parte esencial del sintetizador y permite la caracterización de tono de cada sonido, cuestión relevante en un fonocardiograma, se puede derivar de un filtro pasabanda resonante, teniendo las mismas características [11]. En la última etapa del sintetizador se aplica una saturación suave para amplificar la señal y a su vez evitar distorsión. El reductor de resolución y el VCF son modulados por una envolvente exponencial que se activa al detectar la entrada de audio física.

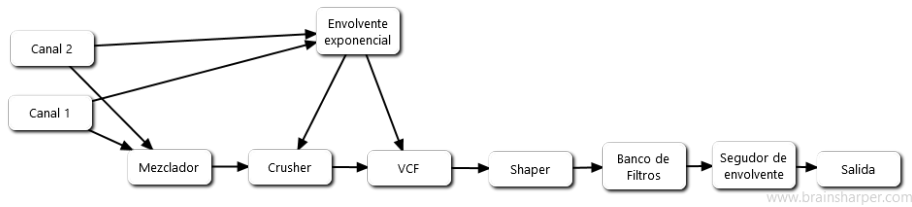


Fig. 5: Diagrama de la implementación

Una vez implementado el sintetizador, la salida se conecta al banco de filtros pasabanda resonantes, un banco de solo dos filtros debido a que los componentes de interés son el sonido 1 y sonido 2, se especifican las frecuencias centrales de los filtros dentro del rango de frecuencias de los sonidos cardíacos 1, a la salida

de cada filtro se implementa un seguidor de envolvente para estimar la energía en cada banda.

Se implementa una interfaz gráfica que permite ajustar las frecuencias centrales del banco de filtros, la ganancia de los amplificadores y los índices de la señal moduladora 5. Para probar el sintetizador implementado y el banco de filtros se utilizó un conjunto de grabaciones recuperadas del canal de Youtube de la empresa Thinklabs realizadas con el estetoscopio digital Thinklabs One, para dar el efecto de procesamiento en tiempo real se ciclaron permitiendo una mejor apreciación de la interfaz implementada [12].

4 Resultados

La interfaz gráfica permite visualizar tres ondas, de arriba hacia abajo: la primera correspondiente a la entrada sin ningún procesamiento, la segunda la salida del primer filtro y la última correspondiente al segundo filtro, respectivamente la primera onda busca identificar el primer sonido y la segunda el segundo sonido cardiaco, también permite visualizar en que frecuencia central de cada filtro existe una mayor energía o elevación de tono en cada onda mediante un espectrograma.

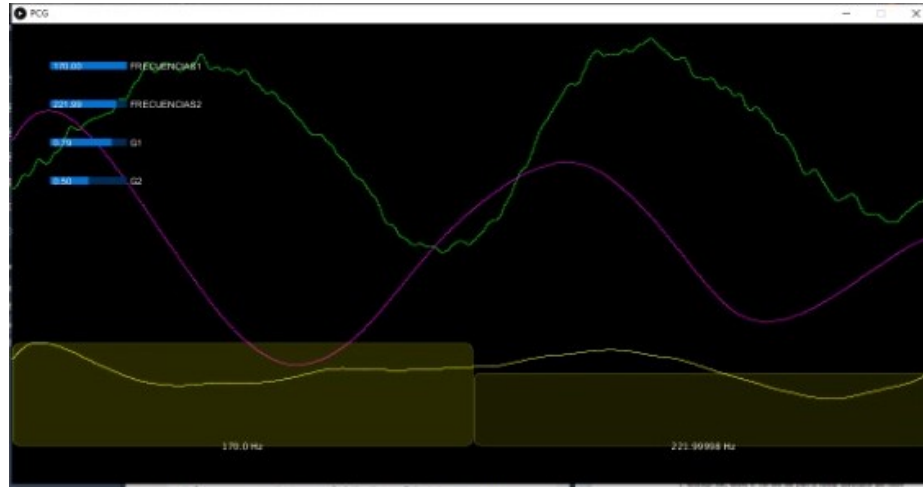


Fig. 6: Interfaz gráfica. La línea verde corresponde a la señal de entrada, las líneas rosa y amarilla corresponde a la salida del banco de filtros, los bloque naranjas corresponden izquierda a la energía del primer filtro que busca S1 y derecha correspondiente al filtro que busca a S2.

La onda de entrada es más sensible al ruido, mientras que las otras dos ondas dependen de la frecuencia central y la modulación por lo que muestran

una respuesta más suavizada. Desafortunadamente, las gráficas suelen interferir entre sí.

5 Conclusiones

La implementación funciona desde el punto de vista teórico, desde que se puede apreciar la señal cruda y las salidas finales muestran dos ondas suavizadas que no son sensibles al ruido, sino que dependen de la modulación y la frecuencia central para reaccionar a la señal, en el aspecto técnico, el hecho de la interferencia entre las gráficas, a la par de la respuesta rápida del espectrograma dificulta la visualización de las ondas, por lo que en futuros trabajos, se debe separar en ventanas cada componente de la interfaz. El hecho de modular la frecuencia central y las ganancias abre la oportunidad a un algoritmo de automatización.

References

1. Montinari MR, Minelli S. The first 200 years of cardiac auscultation and future perspectives. *J Multidiscip Healthc.* 2019;12:183-189. doi:10.2147
2. Meziari F, Debbal SM, Atbi A. Analysis of phonocardiogram signals using wavelet transform. *J Med Eng Technol.* 2012;36(6):283-302. doi:10.3109/03091902.2012.684830
3. Tseng KK, Wang C, Huang YF, Chen GR, Yung KL, Ip WH. Cross-domain transfer learning for pcg diagnosis algorithm. *Biosensors.* 2021;11(4). doi:10.3390/bios11040127
4. Tang H, Dai Z, Jiang Y, Li T, Liu C. PCG Classification Using Multidomain Features and SVM Classifier. *Biomed Res Int.* 2018;2018. doi:10.1155/2018/4205027
5. Raza A, Mehmood A, Ullah S, Ahmad M, Choi GS, On BW. Heartbeat sound signal classification using deep learning. *Sensors (Switzerland).* 2019;19(21). doi:10.3390/s19214819
6. Debbal SM, Bereksi-Reguig F. Computerized heart sounds analysis. *Comput Biol Med.* 2008;38(2):263-280. doi:10.1016/j.compbiomed.2007.09.006
7. Smith, J.O. "Partial Fraction Expansion", in *Introduction to Digital Filters with Audio Applications*, online book, 2007 edition.
8. Eko Team Content and Press. Phonocardiogram — Meta. Accessed November 5, 2021. <https://www.ekohealth.com/learning/phonocardiogram-v1>.
9. Smith, J. O., Cassidy, R. J. (2008, June 5). What is a Filter Bank? Center for Computer Research in Music and Acoustics.
10. Rise, S. (2014). Subtractive Synthesis — The Synthesizer Academy. <https://synthesizeracademy.com/subtractive-synthesis/>.
11. Rise, S. (2014). Voltage-Controlled Filter (VCF) — The Synthesizer Academy. <https://synthesizeracademy.com/voltage-controlled-filter-vcf/>.
12. Thinklabs. (2016, July 11). Heart Sounds - YouTube.