

Sistema de Ayuda al Telediagnóstico de Enfermedades Cardiovasculares basado en el Análisis de Fonocardiogramas

Juan Martínez Alajarín, Ginés Doménech Asensi, Vicente Garcerán Hernández, Javier Garrigós Guerrero, Félix C. Gómez de León Hijes, José A. López Alcantud, José López Candell, J. Javier Martínez Álvarez, Alexis Rey Boué, Ramón Ruiz Merino, Javier Toledo Moreo, Juan Zapata Pérez
Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y Proyectos. Universidad Politécnica de Cartagena
Campus Muralla de Mar. Edificio Antiguo Hospital de Marina, 30202 Cartagena
Teléfono: 968 326464 Fax: 968 326400 E-mail: juanc.martinez@upct.es

Resumen. Gracias a los recientes avances producidos en electrónica y telecomunicaciones, la fonocardiografía se presenta actualmente, tras muchos años en el olvido, como un método sencillo, rápido, barato y no invasivo capaz de obtener un diagnóstico remoto y objetivo del estado funcional del corazón mediante sistemas electrónicos que procesen los sonidos cardíacos de forma adecuada. En este trabajo se presenta un sistema de ayuda al telediagnóstico de patologías cardiovasculares a partir del registro y procesamiento de sonidos cardíacos. El sistema es capaz de detectar los eventos que componen el ciclo cardíaco (sonidos y soplos), y transmitir a distancia tanto el informe del análisis realizado como las señales registradas íntegras, para obtener de forma remota el diagnóstico del médico especialista. La transmisión de las señales se realiza comprimiéndolas con un algoritmo especialmente desarrollado para señales fonocardiográficas, que produce tasas de compresión superiores a las de otros métodos de compresión de audio.

1 Introducción

La auscultación cardíaca es, junto con el electrocardiograma (ECG), el método primario utilizado para evaluar el estado cardiovascular del paciente. La aparición de las técnicas de imagen relegó a un segundo plano a la auscultación, conduciendo a su vez a un retroceso en su enseñanza, y como consecuencia, a una notable pérdida de las habilidades auscultatorias en el personal médico [1]. Sin embargo, el bajo coste y la constatación del potencial diagnóstico de los sonidos cardíacos, unido a la subreutilización de las técnicas de alta tecnología y a su alto coste (lo que restringe su disponibilidad a unos pocos centros y provoca demoras y saturaciones de las listas de espera), han hecho aparecer en los últimos años un interés renovado por la auscultación, dado que este método proporciona un método sencillo, rápido, barato y no invasivo, aunque carece de objetividad.

La tecnología existente en los campos de la electrónica, el procesamiento de señales y las telecomunicaciones han propiciado que exista en la actualidad un gran interés en desarrollar sistemas automáticos capaces de asistir al clínico en el diagnóstico del estado valvular del corazón mediante el análisis de sonidos y soplos cardíacos [2]. Un sistema de este tipo debe ser capaz de adquirir los sonidos cardíacos del paciente y proporcionar un diagnóstico objetivo, mediante algoritmos adecuados que analicen e interpreten de forma automática los sonidos registrados. Además, en muchos casos puede ser necesaria la transmisión de los datos registrados a un especialista en Cardiología para que, de forma remota, proporcione un diagnóstico más preciso. Por

este motivo se hace también muy conveniente disponer de un método eficiente de compresión de la señal fonocardiográfica (FCG), con el fin de ocupar los mínimos recursos durante el almacenamiento y la transmisión.

En este trabajo se presenta un sistema de ayuda al diagnóstico de enfermedades cardiovasculares capaz de registrar la señal y detectar los eventos básicos del ciclo cardíaco, lo que constituye un paso fundamental de cara al diagnóstico. El sistema sólo necesita para su funcionamiento la señal fonocardiográfica, sin requerir señales auxiliares como el ECG o el pulso periférico, lo que evita la necesidad de cables adicionales. Por último, también se presenta un método de compresión con pérdidas específico para la señal FCG, adaptado a sus características de frecuencia, lo que lo hace mucho más eficiente que los principales algoritmos de compresión de audio. El método se basa en descartar algunos de los coeficientes obtenidos de la descomposición del FCG mediante la transformada wavelet, empleando posteriormente otros métodos de codificación (Run-Length-Encoding, Huffman,...) para mejorar la tasa de compresión.

2 Procesamiento del FCG

Para la adquisición de sonidos cardíacos se ha empleado un estetoscopio electrónico modelo Androscope i-Stethos de la empresa Andromed. Este modelo es similar a los estetoscopios tradicionales, aunque dispone de salida eléctrica de datos para el registro de la señal.

Inicialmente, la señal FCG es almacenada en un PC portátil mediante un entorno de adquisición especialmente desarrollado para este caso. Además de las funciones típicas de este tipo de entornos, como almacenamiento de datos, zoom, reproducción, etc., el entorno desarrollado también incorpora características especiales para la auscultación cardíaca, como el registro de la zona de auscultación, del sensor empleado en el estetoscopio (campana o diafragma), o la realización de diversas maniobras que, ejecutadas durante la auscultación, ayudan al médico a diferenciar o descartar patologías.

El análisis de la señal FCG se ha realizado siguiendo un esquema jerárquico de procesamiento, dividiendo este análisis en cuatro niveles de abstracción (Envolventes, Eventos, Sonidos y Diagnóstico) y cada nivel en una serie de especialistas, que son bloques de procesamiento encargados de tareas específicas de análisis. De esta manera se consigue una doble finalidad. Por un lado, se dota a la estructura de análisis de unas características de modularidad que permiten abordar de manera relativamente independiente cada uno de los bloques. Por otro lado, se establece en el esquema de análisis una abstracción creciente, lo que permite trabajar con información semánticamente superior a medida que ascendemos en la jerarquía, quedando confinado el procesamiento numérico intensivo en los niveles inferiores. De entre las tareas realizadas en los especialistas de la jerarquía destacan la generación de envolventes y la detección de eventos.

En la primera de ellas se generan señales envolventes a partir de magnitudes instantáneas derivadas del FCG, como energía instantánea o frecuencia instantánea. Esto permite disponer de información tanto de intensidad como de frecuencia frente al tiempo, lo que ayuda enormemente a identificar el tipo de eventos y, por tanto, a obtener el diagnóstico final.

Para el segundo caso se ha adoptado un enfoque basado en la detección de los eventos que aparecen en el FCG. Este enfoque es similar al empleado al médico durante la auscultación, en el que el médico identifica inicialmente los eventos básicos de los ciclos cardíacos que escucha (sonidos y soplos), y a partir de ellos, del historial del paciente, y de sus características fisiológicas, es capaz de emitir un diagnóstico. En numerosos trabajos [2] no se realiza una identificación básica de los eventos del ciclo cardíaco, sino simplemente una asociación de patrones entre un determinado perfil de intensidad o energía del ciclo cardíaco y la patología asociada. Este método es más sencillo de implementar, aunque limita la información que se puede extraer del fonocardiograma a unas pocas patologías con perfiles muy bien diferenciados entre sí.

La detección de eventos tradicionalmente se ha basado en aplicar un umbral y considerar evento todo aquello que sobrepase el umbral. El método utilizado,

en cambio, se basa en la obtención de un conjunto de parámetros para cada máximo relativo de la envolvente de la amplitud del FCG, que indican si corresponde a un evento o no. La ventaja de este método radica en que el análisis realizado es local en lugar de global, lo que permite detectar eventos aún en presencia de soplos y sonidos adicionales, donde el método del umbral suele fallar.

En la Fig. 1 se muestra la detección de eventos realizada sobre un registro FCG correspondiente a una estenosis aórtica (estrechamiento de la válvula aórtica). Los eventos han sido detectados como sonidos principales (gris claro) y soplo mesosistólico causado por la estenosis (gris oscuro).

3 Compresión del FCG

Puesto que el FCG es simplemente la representación gráfica de los sonidos y soplos generados por el corazón, podría pensarse en un principio en utilizar técnicas estándar de compresión de audio. Sin embargo, estas técnicas han sido desarrolladas principalmente para la compresión con gran calidad de música o del habla, por lo que su aplicación a la compresión del FCG no es adecuada, dado que el rango de frecuencias de interés de la música o del habla es muy diferente al del FCG.

Para mejorar la eficiencia de la compresión del FCG, y por tanto, disminuir el uso de recursos durante su almacenamiento y transmisión, se ha desarrollado un método específico de compresión con pérdidas para esta señal. Este método (Fig. 2) está basado inicialmente en la descomposición del FCG con la transformada wavelet, con lo que se obtiene un conjunto de coeficientes derivados de la señal de entrada, a partir de los cuales se puede obtener su reconstrucción perfecta. Sin embargo, es posible eliminar aquellos coeficientes de valor muy pequeño (inferiores a un umbral determinado) que aportan muy poco a la reconstrucción de la señal, obteniendo así un cierto nivel de compresión con pérdidas (a mayor número de coeficientes eliminados, mayor compresión y mayores pérdidas).

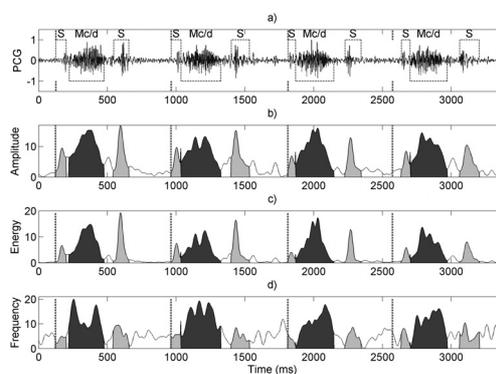


Figura 1. Eventos detectados en una señal FCG correspondiente a una estenosis aórtica. Los eventos han sido detectados como sonidos (gris claro) o soplos (gris oscuro).

Se obtiene así un vector de coeficientes umbralizados (TC) y un mapa de posición (SM) que indica los lugares donde se han mantenido los coeficientes y los lugares donde éstos se han anulado. El primero de estos vectores se comprime cuantizando los valores no nulos con un número de bits inferior al original (lo que introduce un error de cuantización). El vector SM es comprimido sin pérdidas, primero mediante codificación RLE (Run-Length-Encoding) y posteriormente mediante codificación Huffman.

En la Fig. 3 se presentan las tasas de compresión (CR) obtenidas frente a varios niveles de error (PRD) con el método propuesto para un registro de un corazón sano de 13.9 s. de duración, y se comparan con las obtenidas con el método OGG Vorbis, uno de los métodos más eficaces de compresión de audio. Los resultados obtenidos muestran que, para un mismo error, el método propuesto alcanza tasas de compresión de hasta 5 veces las del formato OGG. Por ejemplo, para PRD = 4% se obtienen resultados de $CR_{OGG\ Vorbis} = 4.6:1$ y $CR_{método\ propuesto} = 21:1$.

4 Conclusiones

Se ha presentado un sistema de ayuda al telediagnóstico del estado valvular del corazón, capaz de transmitir los datos de forma remota mediante un método eficaz de compresión de fonocardiogramas. El sistema desarrollado permite detectar correctamente los eventos presentes en el ciclo cardíaco, así como su tipo (sonidos, soplos) y morfología (en el caso de soplos), a partir de características tanto de intensidad como de frecuencia. Por otra parte, el método de compresión utilizado para la transmisión del FCG se ha desarrollado teniendo en cuenta las características particulares de esta señal, lo que permite obtener tasas de compresión mucho más altas que los métodos actuales de compresión de audio.

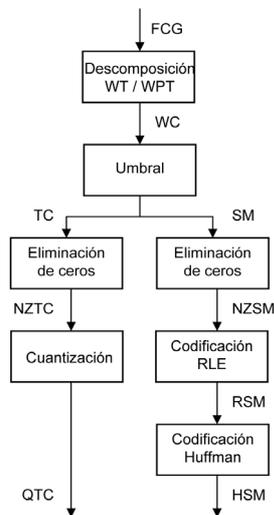


Figura 2. Esquema del método de compresión desarrollado específicamente para el FCG.

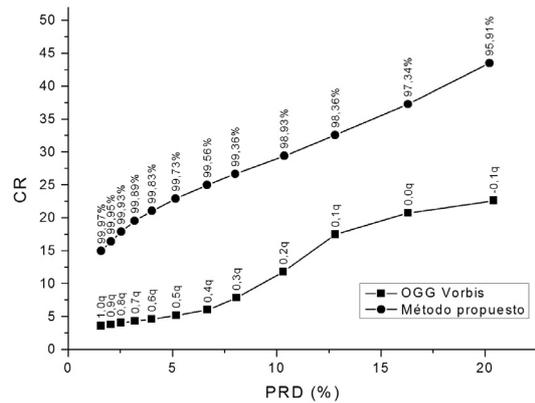


Figura 3. Comparación de los resultados (tasa de compresión, CR, frente a error, PRD) obtenidos con el método propuesto de compresión del FCG (indicando el porcentaje de energía de la señal original conservada tras el proceso de compresión y descompresión) y con el método de compresión de audio OGG Vorbis (indicando la calidad de la compresión), aplicados a un registro de un corazón sano de 13.9 s. de duración.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Fundación Séneca de la Región de Murcia y el Ministerio de Ciencia y Tecnología, mediante la concesión de los proyectos PB/63/FS/02 y TIC2003-09400-C04-02, respectivamente.

Referencias

- [1] S. Mangione, L.Z. Nieman. "Cardiac auscultatory skills of internal medicine and family practice trainees. A comparison of diagnostic proficiency". *Journal of American Medical Association (JAMA)*, pp. 717-722, vol. 278, no. 9. ISSN: 0098-7484 (1997).
- [2] T. Ölmez, Z. Dokur. "Classification of heart sounds using an artificial neural network". *Pattern Recognition*, pp. 617-629, vol. 24. ISSN: 0031-3203 (2003).
- [3] J. Martínez Alajarín, R. Ruiz Merino. "Efficient method for events detection in phonocardiographic signals". *Proceedings of SPIE*, vol. 5839 (aceptado para publicación) (2005).
- [4] J. Martínez Alajarín, R. Ruiz Merino. "Compresión de fonocardiogramas mediante las transformadas wavelet y wavelet packet". XXII Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica (CASEIB04), pp. 181-184. Santiago de Compostela, 11-13 Noviembre 2004. ISBN: 84-688-9318-8.