

Optimización mediante algoritmos genéticos de un sistema de compresión de fonocardiogramas basado en PDA

J. Garrigós Guerrero, J. Martínez Alajarín, A. Ros Vidal, R. Ruiz Merino

Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y Proyectos, Universidad Politécnica de Cartagena
Cartagena, España, {javier.garrigos,juanc.martinez,ramon.ruiz}@upct.es

Resumen

La compresión del fonocardiograma depende de varios parámetros, cada uno de los cuales puede tomar un conjunto de valores. La determinación del conjunto óptimo de estos valores mediante la exploración sistemática de todo el espacio de búsqueda que definen resulta computacionalmente muy costosa. En este trabajo se han utilizado algoritmos genéticos para determinar el conjunto óptimo de estos valores, obteniéndolo en un tiempo considerablemente inferior. Además, el algoritmo de compresión se ha implementado en un dispositivo PDA, que registra la señal fonocardiográfica por la entrada de audio, la visualiza, la comprime, y la transmite finalmente a través de redes inalámbricas a un servidor. Los resultados obtenidos han permitido comprobar que los modernos dispositivos PDA disponen ya de recursos suficientes (velocidad, exigencias de comunicación, ...) para la compresión y transmisión del FCG.

1. Introducción

En los últimos 20 años, la auscultación cardiaca ha sido relegada a un segundo plano como consecuencia de la aparición de las técnicas diagnósticas de imagen, lo que ha llevado a un retroceso en su enseñanza y, como consecuencia, a una notable pérdida de las habilidades auscultatorias en el personal médico [1]. Sin embargo, los avances producidos en los campos de la Electrónica y las Telecomunicaciones, y el potencial diagnóstico de los sonidos cardiacos, unido a la sobreutilización de las técnicas de alta tecnología y a su alto coste, han hecho aparecer en los últimos años un interés renovado por la auscultación, enfocado principalmente a desarrollar sistemas automáticos de telediagnóstico, que ayuden al médico a discriminar entre hallazgos fisiológicos y patológicos (priorizando así las listas de espera de los servicios ecocardiográficos), y que permitan monitorizar el estado cardiovascular de enfermos que se recuperan de patologías cardiacas.

En este trabajo se presenta una aplicación desarrollada para PDA que permite capturar, visualizar, comprimir y transmitir de forma eficiente a través de red inalámbrica señales fonocardiográficas a un servidor. El fonocardiograma (FCG) es comprimido con el algoritmo descrito en [2], desarrollado específicamente para esta señal. Este algoritmo depende de varios parámetros, con universos de discurso heterogéneos. La determinación del

conjunto óptimo de valores para cada parámetro mediante la exploración sistemática de todo el espacio de búsqueda resulta computacionalmente muy costosa. En cambio, se han empleado algoritmos genéticos implementados sobre un computador PC para determinar el conjunto óptimo de estos valores, obteniéndolo en un tiempo considerablemente inferior. Los resultados obtenidos han permitido comprobar que, a pesar de las limitadas prestaciones (velocidad, consumo, ...) de los dispositivos PDA, éstos son adecuados para la carga computacional y las exigencias de comunicación que la compresión y transmisión de la señal FCG requieren en nuestro caso.

2. Compresión del FCG

La señal FCG es adquirida del estetoscopio electrónico a una frecuencia de muestreo de 8000 Hz, monocal, y con precisión de 16 bits. Esto supone un ancho de banda de 128 kbps para la señal sin comprimir. Para reducir los recursos necesarios para el almacenamiento en el PDA y la transmisión al portátil PC, el FCG se comprime con un método específico desarrollado para esta señal [2]. Este método está basado en la transformada wavelet, utilizando posteriormente métodos adicionales para aumentar la tasa de compresión (Figura 1).

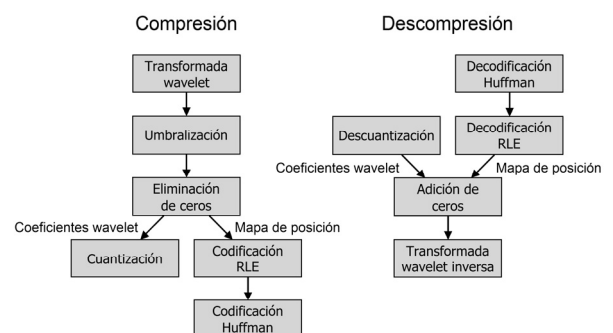


Figura 1. Proceso de compresión (izquierda) y descompresión (derecha) del FCG

La compresión del FCG con este método depende de los siguientes parámetros: el filtro utilizado en la descomposición wavelet, el nivel hasta el que se realiza dicha descomposición, el número de bits con el que se cuantizan los coeficientes wavelet (inferior al original, 16), y la longitud de las ventanas en las que se divide el

FCG para ser comprimidas independientemente unas de otras.

La compresión obtenida respecto a la señal original se cuantifica normalmente mediante la tasa de compresión y el error producido al comprimir la señal. La tasa de compresión (CR , *Compression Rate*) se define como:

$$CR = \frac{L_x}{L_c}$$

donde L_x es el tamaño de la señal original \mathbf{X} y L_c es el tamaño de la señal comprimida \mathbf{C} . Por otra parte, el error resultante del proceso compresión/descompresión (o error de reconstrucción), se define como la raíz cuadrada de la diferencia cuadrática media (PRD , *Percent Root-mean-square Difference*), modificada para ser independiente del valor medio de \mathbf{X} :

$$PRD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2}} \times 100$$

donde x_i es la señal original, \hat{x}_i es la señal reconstruida, y μ_x es la media de \mathbf{X} .

3. Optimización mediante algoritmos genéticos

El algoritmo de compresión del FCG depende de los siguientes parámetros: función madre wavelet, nivel de descomposición wavelet, longitud de la ventana de compresión, y número de bits de cuantización de los coeficientes wavelet.

Una tarea fundamental para obtener las máximas prestaciones de este método de compresión es determinar el conjunto óptimo de valores para todos los parámetros de los que depende. Debido a la heterogeneidad y restricciones en los universos de discurso, se han utilizado para ello optimizadores basados en algoritmos genéticos (AG). Los AG [3] son algoritmos numéricos de optimización basados en los conceptos de la selección natural y la evolución. Estos principios los convierten en métodos de búsqueda estocásticos robustos, que resultan efectivos para problemas de optimización que no se resuelven fácilmente con métodos de optimización tradicionales.

El flujograma del AG utilizado en nuestro caso se muestra en la Figura 2. En una etapa preliminar, cada parámetro a ser optimizado se codifica como un gen. Una cadena de genes conteniendo el conjunto de parámetros del problema forma un cromosoma. Cada individuo en una población queda caracterizado por su cromosoma (genotipo). Entonces, las tareas ejecutadas por el optimizador basado en AG son:

1. Generar una población inicial asignando valores aleatorios para los cromosomas de cada individuo.
2. Evaluar y jerarquizar cada individuo de la población de acuerdo con una función de idoneidad (aptitud) o *fitness*.
3. Si el criterio de terminación (aptitud deseada o número máximo de iteraciones excedido) es satisfecho por algún individuo en la población actual, finalizar el algoritmo. En caso contrario, continuar con el paso 4.
4. Seleccionar los individuos que se reproducirán en la siguiente generación en función de su aptitud.
5. Realizar la recombinación y mutación de los individuos seleccionados (padres) para producir la siguiente generación (hijos).
6. Reemplazar la última población con los nuevos individuos e ir al paso 2.

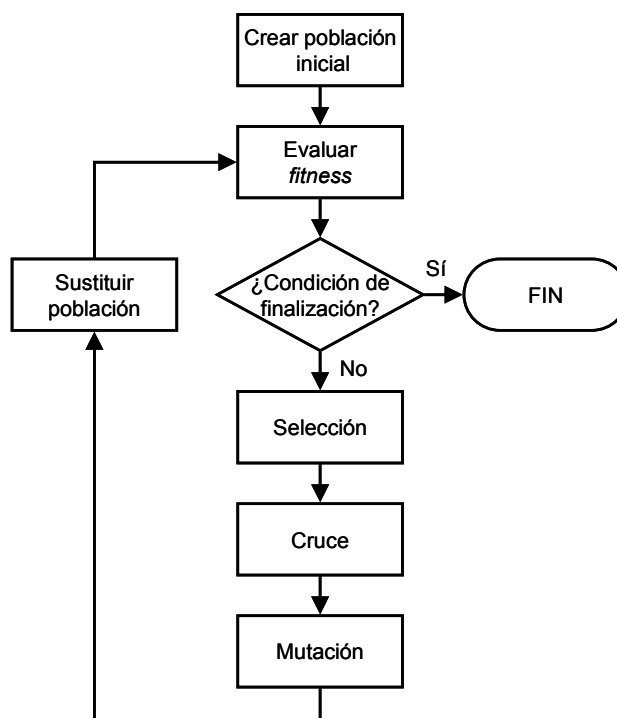


Figura 2. Optimización de los parámetros de compresión del FCG empleando algoritmos genéticos

Los parámetros específicos y los procedimientos utilizados en nuestra implementación del AG se discuten en mayor detalle en la Sección 5.

4. Implementación en PDA

En la actualidad, el empleo de dispositivos PDA en telemedicina se está popularizando, gracias a la versatilidad y al reducido tamaño de estos dispositivos. En nuestro caso, se ha utilizado como plataforma de desarrollo un modelo iPAQ h5550 PocketPC de Hewlett-Packard con sistema operativo Microsoft PocketPC 2003. La tecnología WiFi que viene integrada en este PDA permite conexión a una red local, proporcionando la comunicación de estos dispositivos sin ningún tipo de cable.

Se ha desarrollado una aplicación para PDA (Figura 3) que permite: 1) la captura de los sonidos cardiacos por la entrada de audio del PDA, 2) la visualización de la señal capturada en la pantalla, incorporando funciones de zoom, 3) la compresión/descompresión del FCG mediante el algoritmo descrito en [2], y 4) la transmisión a través de red inalámbrica de la señal comprimida a un ordenador PC, donde ésta se procesa.



Figura 3. Aplicación para PocketPC que permite capturar, visualizar, comprimir y enviar vía WiFi señales FCG

La implementación del algoritmo permite la selección de los distintos parámetros (cuyos valores óptimos han sido previamente obtenidos mediante los AG) para poder obtener la máxima eficacia en la compresión.

Debido a las limitadas prestaciones de la plataforma PocketPC, los algoritmos originales desarrollados en MATLAB tuvieron que ser optimizados para reducir al máximo la carga computacional del procesador. Ello incluyó el perfilado del algoritmo para optimizar las rutinas con mayor cuota de tiempo, así como la utilización de tipos de datos adaptados a las características particulares de esta plataforma.

Una vez comprimido el FCG, se genera un fichero que contiene, además de la señal comprimida, todos aquellos parámetros necesarios para poder descomprimir la señal (generando un fichero de sonido .WAV) una vez recibido dicho fichero en el servidor a través de conexión inalámbrica TCP/IP. Para esto se desarrolló además otra aplicación para PC que permitiese actuar, no sólo como cliente, sino también como servidor, y recoger así los ficheros enviados por el PDA.

5. Resultados

Los AG se han ejecutado durante 100 iteraciones, y el tamaño de la población en nuestro caso ha sido de 50 individuos. Los cromosomas constan de 4 genes, cada uno de ellos con un número diferente de bits, ya que los valores posibles que pueden tomar son distintos en cada caso. En la Tabla 1 se indican los genes utilizados con el número de bits empleado. La función de aptitud (*fitness*)

se ha definido en función de la tasa de compresión (CR), del error de reconstrucción (PRD) y del tiempo empleado (T) en realizar la compresión:

$$fit = K \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{CR} \right)^{0.1} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{PRD}{20} \right)^{0.5} \right) \cdot \left(\frac{1}{T+1} \right)^{0.05}$$

tomando $K = 0.28188$. El algoritmo utilizado ha sido de selección por torneo, que ha sido referido como la técnica más efectiva para muchas aplicaciones [4]. En esta técnica, un subconjunto de n individuos (con $2 \leq n \leq 6$) son elegidos de forma aleatoria de entre la población. Estos individuos compiten y aquél con mayor aptitud gana el torneo y es seleccionado para reproducirse. El proceso se repite N veces hasta que se determinan todos los padres de la nueva población. En la versión estocástica de este algoritmo hay una probabilidad P_t de que el ganador del torneo sea el individuo con mayor aptitud, y una probabilidad de $1-P_t$ de que sea el de menor aptitud. El valor tomado para n y P_t en nuestro caso fue de 5 y 1, respectivamente.

Gen	Nº de bits	Valores
Filtro wavelet	4	Db1 a Db16
Nivel de descomposición	3	2 a 9
Nº de bits de cuantización	3	8 a 15
Log ₂ de longitud de ventana	2	9 a 12

Tabla 1. Valores posibles de los genes del cromosoma y número de bits empleado en cada gen

La recombinación de los individuos seleccionados se lleva a cabo mediante los operadores de cruce y mutación, que se aplican con probabilidades $P_c = 0.7$ y $P_m = 0.05$, respectivamente. En nuestro caso se utilizó un algoritmo de cruce por dos puntos, de acuerdo con el cual, cada cromosoma se divide en tres partes mediante dos puntos de cruce igualmente distanciados. Cada pareja de padres genera una pareja de hijos idénticos a los primeros si $P_{parents} > P_c$ (con la probabilidad de cruce de los padres, $P_{parents}$, determinada aleatoriamente). Sin embargo, si $P_{parents} < P_c$, el cromosoma del primer hijo estará formado por las partes 1 y 3 del padre número uno y la parte 2 del padre número dos, mientras que el segundo hijo estará formado por las partes 1 y 3 del segundo padre y la parte 2 del primer padre.

La mutación tiene la habilidad de explorar porciones del espacio de soluciones que no están representadas en la población actual. Para implementar este operador, todos los bits del cromosoma de cada individuo (hijo) se mantienen sin cambio para la siguiente generación si $P_{bit} > P_m$, y se cambia en caso contrario. La probabilidad de mutación, P_{bit} , es determinada aleatoriamente para cada bit.

La optimización con los AG se aplicó a los 5 primeros segundos de 6 registros (1 registro de un corazón sano y 5 con diferentes patologías), para dar generalidad a los

resultados obtenidos. El valor fijado como objetivo de cada compresión fue retener el 99.9% de la energía de los coeficientes wavelet del registro original. Los resultados que se obtuvieron en cada caso se muestran en la Tabla 2.

Re-gistro	Filtro wavelet	Nivel de descomposición wavelet	Nº de bits de cuantización	Log ₂ de longitud ventana
Reg1	Db12	4	8	12
Reg2	Db13	4	8	12
Reg3	Db16	4	8	12
Reg4	Db15	4	8	12
Reg5	Db14	4	8	12
Reg6	Db12	4	8	12

Tabla 2. Parámetros de compresión del FCG obtenidos con los AG para cada registro

En esta tabla se observa cómo en todos los casos se optimizó la compresión para un nivel de descomposición wavelet de 4, con longitud de ventana de $2^{12} = 4096$ muestras (aproximadamente 0.5 segundos), y empleando 8 bits para cuantizar los coeficientes wavelet. Para el filtro wavelet no se obtuvo un valor único, aunque sí un rango de filtros con prestaciones muy similares en todos los casos (Db12-Db16).

6. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado una aplicación de los algoritmos genéticos a la optimización del conjunto de parámetros empleados en la compresión del FCG, con el fin de determinar el compromiso adecuado entre precisión y rendimiento para la utilización de nuestros algoritmos sobre plataformas de bolsillo, teniendo en cuenta sus limitaciones en cuanto a prestaciones.

Este algoritmo de compresión, con los valores de los parámetros obtenidos, se ha implementado en una aplicación para PDA sobre PocketPC que permite adquirir, visualizar, comprimir y transmitir la señal a través de red inalámbrica, reduciendo los recursos necesarios para la transmisión y el almacenamiento del FCG.

Se ha obtenido así un sistema totalmente portátil capaz de transmitir de forma inalámbrica los sonidos cardiacos en cualquier situación (consulta, hogar,...) de forma eficaz para obtener un diagnóstico remoto del estado cardiovascular del paciente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, mediante la concesión del proyecto TIC2003-09400-C04-02.

Referencias

- [1] Mangione S, Nieman LZ. Cardiac auscultatory skills of internal medicine and family practice trainees. A comparison of diagnostic proficiency. *Journal of American Medical Association (JAMA)*, vol 278 no 9, pp 717-22, 1997 (ISSN: 0098-7484).
- [2] Martínez-Alajarin J, Ruiz-Merino R. Compresión de fonocardiogramas mediante las transformadas wavelet y wavelet packet. *Actas del XXII Congreso de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica (CASEIB 2004)*, pp 181-4, Santiago de Compostela, España, 10-13 de Noviembre, 2004 (ISBN: 84-688-9318-8).
- [3] Coley DA. *An Introduction to genetic algorithms for scientists and engineers*. New York: World Sci., 1999.
- [4] Goldberg DE, Deb K. A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms. *Foundations of Genetic Algorithms*, pp 69-93, Morgan Kaufman, 1991.