

## DETECCION AUTOMATICA DE CONTORNOS EN IMAGENES ECOCARDIOGRAFICAS.

*A. Gasull, F. Marqués, S. Sallent, L. Torres, J. Vidal.*

Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones. E.T.S.I. Telecomunicación. Barcelona.

### RESUMEN

Este artículo presenta un resumen de las principales técnicas empleadas en mejora y eliminación de ruido en imágenes ecográficas cardiacas así y como diversas técnicas de detección de contornos para el mismo tipo de imágenes. Se describen primeramente los principales métodos de preprocesado actualmente existentes y a continuación se presentan los métodos más empleados en la detección de contornos. Para terminar se presenta un algoritmo que detecta de forma totalmente automática el contorno exterior e interior de una imagen cardiaca paraesternal. A partir de este algoritmo se pueden extraer de forma sencilla parámetros cardiacos tales como grueso de paredes, volumen de la cavidad, etc.

### INTRODUCCION

El procesado digital de imagen es una aplicación muy extendida para mejorar la calidad de la imagen o realzar estructuras específicas de imágenes cardiacas. Todo este procesado se ha realizado normalmente en tiempo diferido y su uso en tiempo real no se ha estudiado. Con la inclusión de microprocesadores en sistemas ecocardiográficos de dos dimensiones, la eliminación de ruido y realce de imágenes ecocardiográficas es cada vez más factible.

Las limitaciones típicas de un equipo ecocardiográfico en dos dimensiones incluyen entre otras la apariencia ruidosa y la pobre definición de las imágenes. Estas degradaciones se deben parcialmente a efectos físicos tales como el "speckle" y a la baja energía de la señal reflejada de los contornos con cambios desfavorables en los ángulos de reflexión. Es debido a éstas y otras limitaciones que se convierte en casi imprescindible aplicar técnicas

---

<sup>1</sup> Este trabajo ha sido financiado por la empresa NTE de Barcelona.

de procesado, analógico o digital o una combinación de ambos, para mejorar la calidad de las imágenes obtenidas y poder extraer información de ellas.

Después de que la señal de ultrasonidos se ha digitalizado, convertida de coordenadas polares a cartesianas y almacenada en memoria, se pueden aplicar técnicas de procesado digital. Las técnicas más importantes de procesado digital de imágenes ecocardiográficas se pueden dividir en: 1) Operaciones puntuales, 2) Operaciones espaciales y 3) Operaciones temporales. Nos limitaremos en este estudio a imágenes estáticas con lo que no se explicarán técnicas de procesado empleadas en imágenes en movimiento.

## ADQUISICION DE IMAGENES

A pesar de la gran variedad en los resultados de los varios preprocesados que se han empleado en ecografía bidimensional, existen pocos artículos en la literatura que comparen la eficacia de las distintas técnicas empleadas. Nuestro primer trabajo ha consistido en probar la mayoría de los diversos métodos de suavizado y realce de imágenes publicados en la literatura y realizar un estudio comparativo de los resultados. A tal fin se obtuvieron imágenes ecográficas de dos sujetos normales empleando un equipo Toshiba Sonolayer SSH-60A. Los controles de ganancia se ajustaron como en funcionamiento clínico normal. Para simplificar la presentación de resultados se utilizará únicamente una de las imágenes llamada E.LOA. Dicha imagen es una vista parasternal a la altura de los músculos papilares, relativamente libre de ruido en la parte de la cavidad. Las imágenes se grabaron en un vídeo Panasonic VHS e introducidas en un ordenador personal tipo PC/AT a través de una placa de adquisición Matrox PIP-1024. A continuación dichas imágenes se transfirieron a un ordenador Vax/750 donde se realizó todo el procesado. La imagen se digitalizó con un tamaño de 512x512 y 256 niveles de gris. Para una mayor flexibilidad y rapidez de cálculo las imágenes se redujeron a un tamaño de 256x256. Los resultados de las distintas operaciones se visualizaron en el mismo PC/AT o se imprimieron en un "hardcopy" Mitsubishi P60B de 64 niveles de gris. El lector no debería extraer conclusiones erróneas de las imágenes presentadas debido a la mala calidad de la presentación de resultados del hardcopy.

## PREPROCESADO

### Resultados

La figura 1 muestra la imagen original E.LOA sobre la cual se realizaron distintos tipos de preprocesado. Estos se pueden resumir en los siguientes: Modificaciones de histograma, promediados y filtrado de mediana.

Modificaciones de histograma: Se realizaron las modificaciones siguientes: Ecualización, hiperbolización y transformación del nivel de gris mediante función de transferencia suministrada por el usuario. La ecualización proporciona una mejora visual de los contornos de la imagen. La hiperbolización proporciona también una mejora de contornos pero al mismo tiempo el contraste es mucho mayor y parece no ser tan sensible al ruido. Visualmente este proceso da mejores resultados, lo cual es lógico ya que la hiperbolización se utiliza para compensar el efecto del sistema visual humano. Por otra parte se probó una transformación de histograma que proporcionó realce de zonas concretas de la imagen. De esta forma se muestra de forma clara la zona de los músculos papilares. La figura 2 muestra los resultados obtenidos.

Promediados y filtro de mediana: Una técnica muy común para reducir ruido en imagen es el promediado. Por otra parte el filtro de mediana proporciona excelentes resultados en ambientes de ruido impulsivo. Se aplicó un promediado con una ventana uniforme de  $3 \times 3$  y también un promediado ponderado que daba un peso de cuatro al pixel central de la ventana, un peso de dos a los píxeles adyacentes diagonales y un peso de uno al resto de píxeles. Los resultados con respecto a la ponderación uniforme fueron prácticamente idénticos. Con respecto al filtrado de mediana, éste se aplicó con diferentes tamaños de ventana desde  $3 \times 3$  hasta  $9 \times 9$ . Visualmente se observó que a partir de  $5 \times 5$  se perdía excesiva información de contornos. La figura 3 muestra algunos de los resultados obtenidos.

Los resultados del anterior estudio indican que existen métodos bastantes efectivos de mejora y realce de imágenes ecográficas que pueden implementarse en tiempo real e incorporarse en equipos de ultrasonidos. Dichos métodos, como se comprobará más adelante, sirven también para facilitar la extracción de contornos y parámetros cardiacos.

## DETECCION DE CONTORNOS

La mayoría del trabajo realizado en detección de contornos de imágenes ecográficas se ha basado en la identificación manual de los contornos endocárdicos y epicárdicos. Este tipo de trabajo es tedioso y además depende en mucha medida del operador que lo realice, con lo cual los resultados obtenidos pueden ofrecer una gran

de procesado, analógico o digital o una combinación de ambos, para mejorar la calidad de las imágenes obtenidas y poder extraer información de ellas.

Después de que la señal de ultrasonidos se ha digitalizado, convertida de coordenadas polares a cartesianas y almacenada en memoria, se pueden aplicar técnicas de procesado digital. Las técnicas más importantes de procesado digital de imágenes ecocardiográficas se pueden dividir en: 1) Operaciones puntuales, 2) Operaciones espaciales y 3) Operaciones temporales. Nos limitaremos en este estudio a imágenes estáticas con lo que no se explicarán técnicas de procesado empleadas en imágenes en movimiento.

## ADQUISICION DE IMAGENES

A pesar de la gran variedad en los resultados de los varios preprocesados que se han empleado en ecografía bidimensional, existen pocos artículos en la literatura que comparen la eficacia de las distintas técnicas empleadas. Nuestro primer trabajo ha consistido en probar la mayoría de los diversos métodos de suavizado y realce de imágenes publicados en la literatura y realizar un estudio comparativo de los resultados. A tal fin se obtuvieron imágenes ecográficas de dos sujetos normales empleando un equipo Toshiba Sonolayer SSH-60A. Los controles de ganancia se ajustaron como en funcionamiento clínico normal. Para simplificar la presentación de resultados se utilizará únicamente una de las imágenes llamada E.LOA. Dicha imagen es una vista parasternal a la altura de los músculos papilares, relativamente libre de ruido en la parte de la cavidad. Las imágenes se grabaron en un vídeo Panasonic VHS e introducidas en un ordenador personal tipo PC/AT a través de una placa de adquisición Matrox PIP-1024. A continuación dichas imágenes se transfirieron a un ordenador Vax/750 donde se realizó todo el procesado. La imagen se digitalizó con un tamaño de 512x512 y 256 niveles de gris. Para una mayor flexibilidad y rapidez de cálculo las imágenes se redujeron a un tamaño de 256x256. Los resultados de las distintas operaciones se visualizaron en el mismo PC/AT o se imprimieron en un "hardcopy" Mitsubishi P60B de 64 niveles de gris. El lector no debería extraer conclusiones erróneas de las imágenes presentadas debido a la mala calidad de la presentación de resultados del hardcopy.

## PREPROCESADO

### Resultados

variabilidad. Todo esto ha conducido a numerosos grupos a proponer técnicas automáticas de detección de contornos en imágenes ecográficas (1,2,3). El resumen de toda esta investigación se centra básicamente en que para detectar contornos de imágenes ecográficas es preciso seguir los siguientes pasos: 1) Preprocesado o realce de las imágenes a tratar 2) Aplicación de un operador de contornos a la imagen 3) "Thinning de la imagen resultante y 4) "Filling gaps" para formar contornos continuos. Nuestro grupo de trabajo ha implementado toda esta secuencia de procesos en dos tipos de imágenes: la mencionada anteriormente E.LOA y otra de tipo más ruidoso. A continuación se hace un breve resumen de los resultados obtenidos.

Se eligió como técnica de preprocesado el filtrado de mediana con ventana de 5x5 que ya se ha explicado anteriormente. Sobre esta imagen se aplicaron detectores de contorno de tipo gradiente como son el Sobel, Laplace y Roberts. Los resultados obtenidos con el método de Laplace no merecen demasiada atención. Su efecto (incluso sobre imágenes previamente tratadas) es el de resaltar los más pequeños detalles de la imagen, dando lugar a contornos inconexos y muy rugosos. Los otros dos métodos dan lugar a imágenes muy similares y poco atractivas. También se aplicaron detectores del tipo plantilla como son el de Kirsch, Prewitt y Frei-Chen. Los contornos obtenidos por medio de Kirsch y Prewitt son del todo iguales a los obtenidos mediante el método de Sobel. El detector de Frei-Chen fue el que mejor resultado dio de entre los detectores clásicos, siendo necesario únicamente usar las máscaras correspondientes a los detectores de líneas, ya que las restantes siete aportan poca información sobre los contornos. Dado que los resultados obtenidos no eran satisfactorios, nuestra investigación se centró posteriormente en los métodos iterativos. De éstos se eligieron los de Kasvand, Martelli y Hueckel. Los resultados obtenidos con Kasvand y Martelli no mejoraron en absoluto los obtenidos con el método de Sobel por lo que se descartó todo posible trabajo futuro con estas técnicas iterativas. De hecho los contornos que aparecen resultan muy inconexos y siempre pierden el camino a seguir para cualquier parámetro de entrada a los algoritmos. El método de Hueckel dio lugar a contornos de cierta calidad y fue tenido en cuenta para posteriores procesados.

A las imágenes escogidas anteriormente se les aplicaron técnicas de "thinning" y posteriormente de "filling gaps". Por razones de espacio no se pueden mostrar ni comentar exhaustivamente los resultados obtenidos. La conclusión general es que ninguna de las técnicas empleadas fue capaz de detectar contornos y únicamente el método de Frei-Chen, sin ningún tipo de procesado posterior, fue capaz de cerrar algún tipo de contorno y eliminar algún tipo de

ruido espúreo al mismo tiempo. La figura 4 muestra los principales resultados obtenidos.

#### METODO RADIAL PARA LA DETECCION AUTOMATICA DE CONTORNOS

Debido al escaso éxito alcanzado con los métodos clásicos de detección de contornos, se ha tenido que replantear todo el proceso para introducir el conocimiento previo de las imágenes a procesar y de los contornos buscados. Este conocimiento se puede traducir en las siguientes consideraciones: 1) los dos contornos buscados (paredes interna y externa) tienen una forma muy parecida con una separación entre ellos prácticamente constante con variaciones máximas del 10%, 2) ambos contornos siguen una curva cóncava y 3) tienen cierta simetría circular, con un diámetro en un margen determinado.

Toda esta información es de gran valor para poder determinar los puntos que pueden ser del contorno y rechazar los que no pueden serlo. Se trata de buscar un método menos general que los que se habían usado, es decir más adaptado a estas imágenes, que pudiera incorporar de la manera más adecuada toda esta información. La forma más cómoda de hacerlo es a partir de un centro en el interior de la cavidad y trazar radios desde este punto, tal como se muestra en la figura 5. Para cada radio se trata la función unidimensional obtenida para poder extraer la posición de dos puntos (los dos contornos) teniendo en cuenta las anteriores consideraciones.

El método consiste en calcular primeramente el centro. Son varias las alternativas posibles para ello :se puede calcular el centro de masas, se puede usar la transformación de Hough o bien se puede usar un sencillo método binarizando la imagen y buscando la zona de diámetros más grandes tanto horizontal como verticalmente, dándonos su intersección el punto central. Esta última opción, aunque es poco precisa comparando con las otras, resulta de bajo coste computacional, Esta alternativa es suficientemente útil debido a que la posición del centro no es muy determinada.

Una vez se tiene este punto central, se transforma la imagen que se tenía muestreada en coordenadas cartesianas  $I(x_i, y_j)$ , a coordenadas polares  $I(\rho_i, \theta_j)$  con el origen en el punto calculado anteriormente. Este paso supone tener errores por la interpolación pero que resultan no ser determinantes para la extracción de los contornos.

Debido a la estructura de los contornos buscados la información que se tiene para cada  $\theta_j$ ,  $I(\rho_1, \theta_j)$ ,  $I(\rho_2, \theta_j)$ ,..., es susceptible de ser procesada para mejorar la búsqueda posterior. Así se puede

eliminar ruido haciendo un promediado entre radios adyacentes, o un alisado para cada radio, o incrementar los gradientes. Todo este preprocesado puede ayudar al realce de los puntos del contorno.

El siguiente paso es para cada radio  $\theta_j$  cuál es la posición  $r_i$  que se estima para el contorno interior y para el exterior. Para el primero se puede hacer buscando un gradiente elevado a partir del origen. Para el segundo se puede buscar la posición del máximo. Con ello se obtiene una función de la posición de cada contorno en función de  $\theta_j$ , tal como se muestra en la figura 6 para el contorno exterior de la imagen de prueba E. LOA.

El último paso a decidir, usando el conocimiento comentado anteriormente, es qué puntos de la función son correctos y qué puntos no lo son. A partir de los puntos correctos se usa una función continua que se aproxime con error mínimo a la función anterior interpolándose los puntos que se habían rechazado. El resultado final de esta función convertida en contorno se muestra en la figura 7 donde se han superpuesto los contornos obtenidos a la imagen original.

## CONCLUSIONES

Se ha descrito en este artículo un conjunto de técnicas de preprocesado y de detección de contornos para realizar automáticamente el análisis cuantitativo del corazón a partir de imágenes de ecografías. Se muestra que diversos métodos de preprocesado pueden ayudar a mejorar las imágenes sobretodo visualmente, mientras que los detectores de contornos típicos en procesado de imagen no son de utilidad en el análisis completamente automático. Por ello se ha desarrollado un método adaptado a este tipo de imágenes basado en la información radial a partir de un centro dentro de la cavidad, que permite obtener con gran exactitud los contornos deseados y por lo tanto poder realizar un análisis completamente automático de los parámetros cardíacos de interés.

## REFERENCIAS

1. García et al.: Real Time Computerization Of Two Dimensional Echocardiography. Amer. Heart. Journal, 101:783; 1981.
2. Skorton et al.: Digital Image Processing Of Two Dimensional Echocardiograms : Identification Of The Endocardium. Amer. Journal Cardiology 48:479, 1981.
3. Zhang L. and Geiser EA: An Effective Algorithm For Extracting Serial Endocardial Borders From Two Dimensional Echocardiograms. IEEE Trans. Bio Eng BME-31:441,1984.

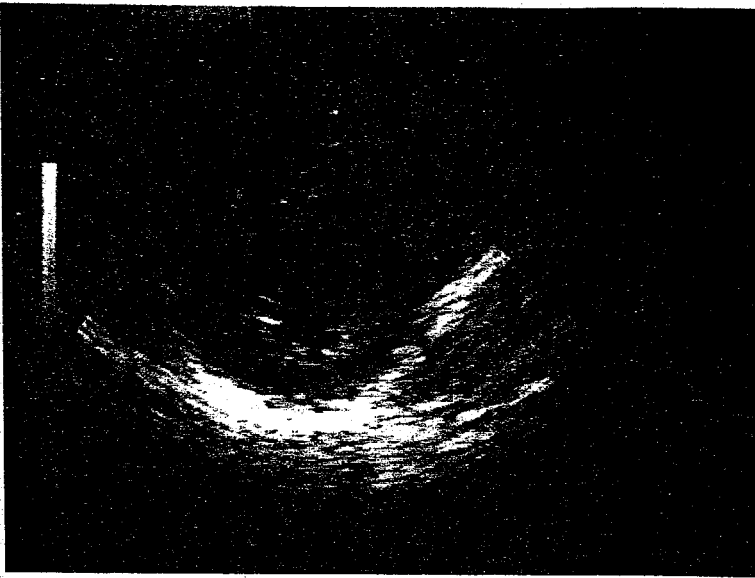


Fig1. Imagen original

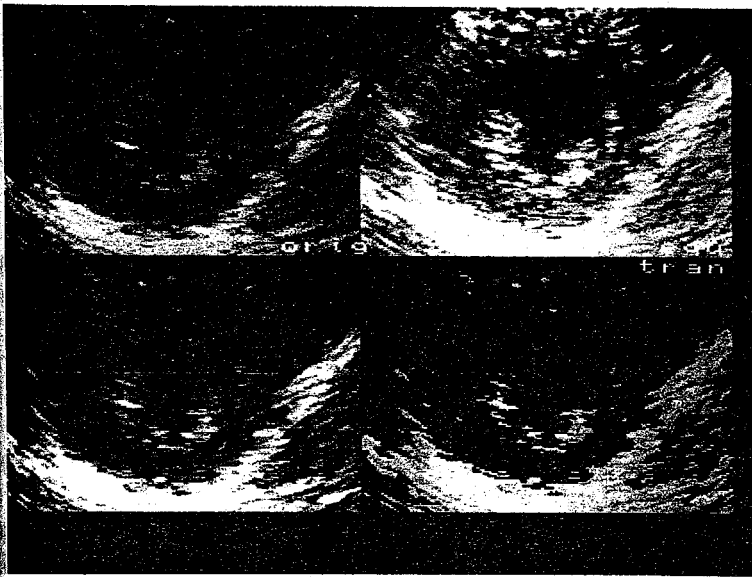


Fig 2. Modificación histograma  
1) Original, 2) Ecuilización,  
3) Hiperbol. 4) Transfor-  
mación

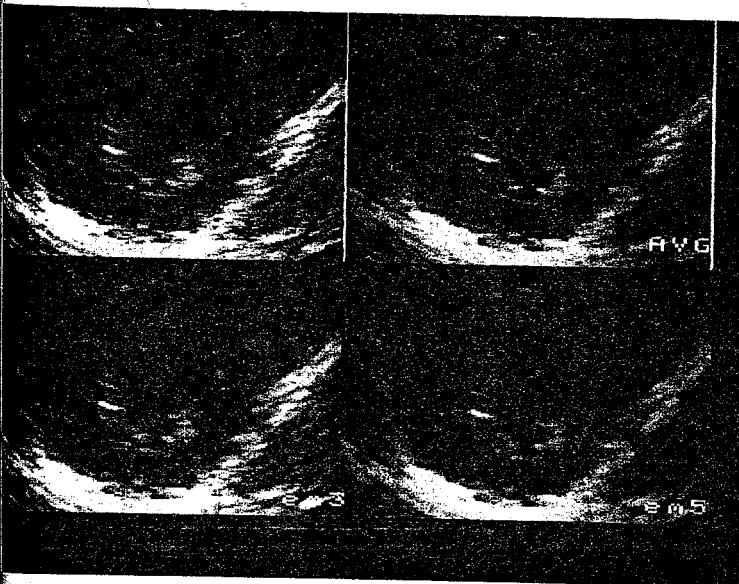


Fig 3. Suavizado  
1) Original, 2) Uniforme,  
3) Median 3x3, 4) Median  
5x5



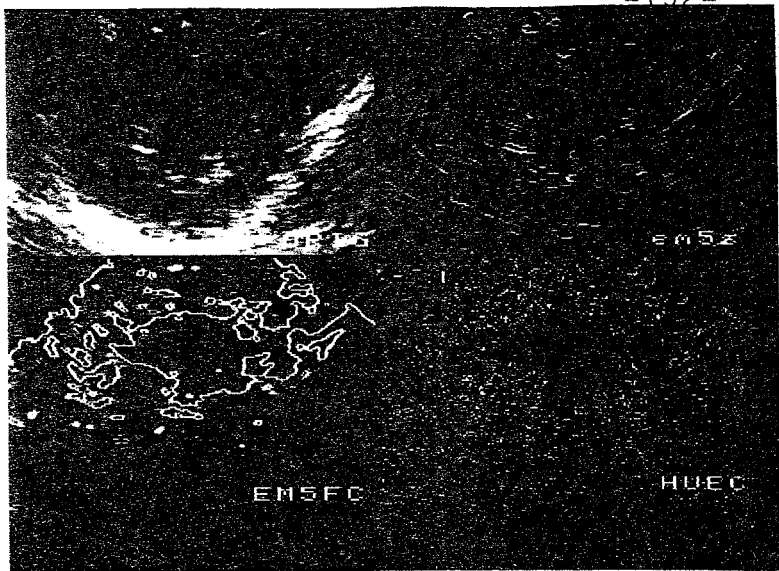


Fig 4. Detección contornos  
 1) Original, 2) Sobel,  
 3) Frei-Chen, 4) Hueckel

Fig 5.

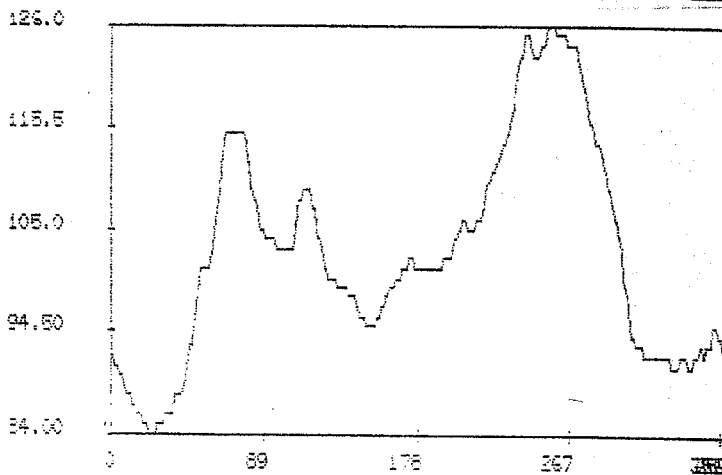
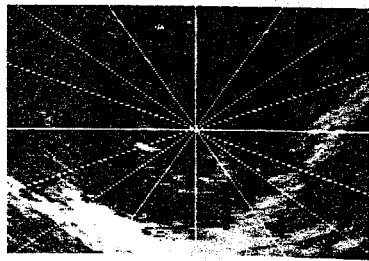


Fig 6. Función distancia

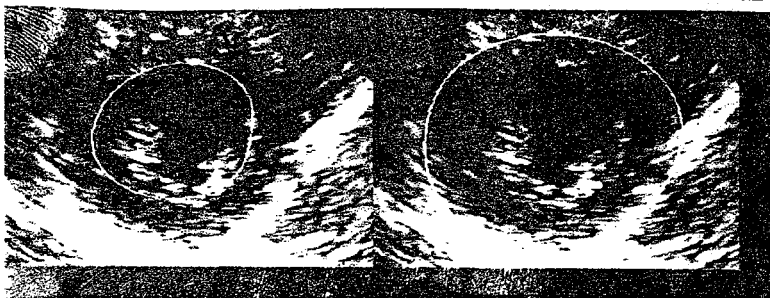


Fig 7. Resultados

F  
 D  
 J  
 ( )  
 ( )  
 ( )  
 H

INTRO

MUSCU  
 NUEVO  
 ENFER

TECNI  
 OPTIC  
 TIPO  
 DIFER

DE TI  
 A LO  
 ANEST  
 TOLEA  
 UTILE  
 MADRE

NEURO  
 BIOQU  
 PRES  
 MORF  
 ESTR

MATE

ANAT