

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



Tesis Doctoral

**SEGUIMIENTO DE REGIONES EN EL
ANÁLISIS CUANTITATIVO DE SECUENCIAS
DE IMÁGENES ECOCARDIOGRÁFICAS**

Autor:

Norberto Malpica González de Vega

Ingeniero de Telecomunicación

Directores:

Andrés de Santos y Lleó

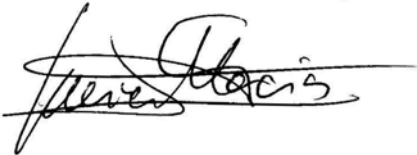
Doctor Ingeniero de Telecomunicación

Manuel Descó Menéndez

Doctor en Medicina e Ingeniero de Telecomunicación

2004

Tribunal formado por el Mgco. Y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día 17 de Mayo de 2004:

Presidente: 

Vocal: 

Vocal: 

Vocal: 

Secretario: 

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día 17 DE MAYO 2004 en Madrid

Calificación: sobresaliente "cum laude"

El presidente



El Secretario



Los Vocales



Resumen

Las técnicas de imagen por ultrasonidos permiten valorar la cardiopatía isquémica de una forma no invasiva, rápida y con un bajo coste. Recientemente han surgido nuevos métodos de adquisición que proporcionan información adicional para cada punto de la imagen. Es posible medir la velocidad en todos los puntos del miocardio mediante imágenes Doppler de tejidos, mientras que el uso de agentes de contraste permite medir la perfusión en toda la pared cardiaca. En ambos casos, para realizar un análisis cuantitativo regional es necesario obtener la evolución temporal de los valores de la imagen en determinados segmentos de la pared. Para ello, es necesario definir áreas de interés que correspondan a la misma región anatómica en cada cuadro a lo largo de toda la secuencia, para lo cual se debe compensar el movimiento cardiaco y del transductor. En esta tesis se abordan tres problemas relacionados con el reposicionamiento automático de regiones en secuencias de ecocardiografía.

En primer lugar, se desarrollan y evalúan métodos basados en flujo óptico para el seguimiento de regiones de interés definidas por el usuario en secuencias de ecocardiografía con contraste. Se evalúan tres métodos, dos basados en correspondencia de bloques y un método diferencial, para minimizar la intervención del usuario en el reposicionamiento de la región a lo largo de la secuencia. Se comparan también con el reposicionamiento completamente manual, obteniéndose una mejora significativa con todos los métodos propuestos. Entre los métodos evaluados, el método diferencial presentó los mejores resultados.

En segundo lugar se aborda el seguimiento automático de curvas marcadas por el usuario en el interior del miocardio, en secuencias de imágenes Doppler de tejido. Se ha diseñado un contorno activo abierto con una energía basada en el desplazamiento entre imágenes calculado por flujo óptico. Para obtener un seguimiento preciso se emplea una adquisición dual de imagen en escala de gris e imagen Doppler. Esto permite la obtención precisa de representaciones modo M anatómico.

En último lugar, para analizar cuantitativamente la perfusión regional, se aborda el problema de la segmentación y el seguimiento del miocardio completo en secuencias de ecocardiografía con contraste. Se propone un modelo basado en dos contornos activos guiados por flujo óptico para la segmentación simultánea de endocardio y epicardio. Las evoluciones de los contornos están ligadas entre sí mediante restricciones geométricas. Se realiza una evaluación respecto a la segmentación manual en secuencias adquiridas en tres vistas distintas, obteniéndose un alto nivel de concordancia.

Los métodos propuestos permitirán mejorar la fiabilidad del análisis regional del corazón, proporcionando información cuantitativa de forma automática o semiautomática.

Summary

Ultrasound imaging allows the assessment of ischemic cardiomyopathy in a non-invasive, fast and low-cost way. Recently, new modalities have been developed that provide new information for every point of the image. It is now possible to measure the speed of the myocardial wall using Doppler Tissue Imaging, and blood perfusion with the use of contrast agents. In both cases, to perform a quantitative regional analysis it is necessary to obtain the time evolution of image values in different myocardial segments. For a precise analysis, cardiac movement as well as transducer movement must be compensated, so that the regions of interest correspond to the same anatomical location in every frame of the acquired sequence. In this Thesis we solve three specific problems related to region repositioning in echocardiographic sequences.

In the first place, we develop and evaluate optical flow based methods to track regions of interest in myocardial contrast echocardiography sequences. Three methods are evaluated, two based on block-matching and a differential method, in order to minimize user intervention in the process of region tracking along the sequence. The differential method provided significantly better results than the other methods. They are also compared to a fully manual displacement, obtaining a statistically significant improvement with all of them.

Secondly, we approach the problem of automatic tracking of user defined curves on Doppler Tissue Imaging sequences. We propose the use of an open active contour guided by inter-frame displacement, computed using optical flow. To obtain a precise tracking, a dual acquisition of gray level and DTI images is used. Our method allows to automatically obtain precise anatomic M mode representations.

Finally, to analyze regional perfusion quantitatively, we consider the problem of segmentation and tracking of the complete myocardium in myocardial contrast echocardiography sequences. We propose a model based on two active contours guided by optical flow estimates for simultaneous segmentation of endocardium and epicardium. The evolutions of both contours are coupled by geometric restrictions. The model has been evaluated with respect to manual segmentations in sequences acquired in three different echocardiographic views, with a high level of concordance.

The proposed methods will allow to improve reliability of regional cardiac analysis, providing quantitative information automatic- or semiautomatically.

INDICE

1	Motivación y objetivos.....	1
1.1	Introducción	1
1.2	Objetivos.....	5
1.3	Estructura del documento.....	6
2	Introducción.....	9
2.1	El sistema cardiovascular	9
2.1.1	Cavidades del corazón.....	10
2.1.2	El ciclo cardíaco	11
2.2	Los ultrasonidos	13
2.2.1	Ondas de ultrasonido	13
2.2.2	Intensidad y potencia	13
2.2.3	Difracción	14
2.2.4	Interacción de la onda con un medio	14
2.3	Sistema básico de imagen por reflexión.....	16
2.3.1	Corrección de la atenuación	17
2.3.2	Propagación no lineal. Imagen de segundo armónico.....	18
2.4	Transductores	18
2.5	El haz de ultrasonidos	19
2.6	Consideraciones sobre el ruido	20
2.7	Modos de representación.....	21
2.7.1	Modo M	21
2.7.2	Imagen bidimensional	21
2.7.3	Imagen tridimensional.....	23
2.8	Artefactos de la imagen.....	24
2.9	Imágenes doppler de tejidos (TDI)	24

2.9.1	Mapas de color	28
2.9.2	Cuantificación de imágenes TDI	28
2.10	Ecocardiografía de contraste	30
2.10.1	Adquisición de imágenes con contraste	30
2.10.2	Técnicas de cuantificación para la evaluación de perfusión miocárdica	34
2.11	Efecto del movimiento cardíaco sobre la cuantificación	37
3	Antecedentes.....	39
3.1	Flujo óptico	39
3.1.1	Clasificación de técnicas.....	40
3.1.2	Métodos diferenciales	41
3.1.3	Métodos de correspondencia de bloques.....	42
3.1.4	Aplicaciones en imágenes cardíacas.....	44
3.2	Segmentación de imágenes médicas	45
3.3	Modelos deformables.....	47
3.4	Contornos activos	48
3.4.1	Representación	49
3.4.2	Funciones de energía.....	49
3.4.3	Optimización	53
3.5	Segmentación de secuencias de ecocardiografía	56
3.5.1	Detección del borde endocárdico	57
3.5.2	Detección de endocardio y epicardio	58
3.5.3	Segmentación de imágenes con contraste	58
3.6	Filtrado de imágenes por difusión	59
3.6.1	Difusión isotrópica.....	59
3.6.2	Filtrado de aumento de bordes (Edge Enhancing).....	61
3.6.3	Filtrado de realce de coherencia.....	61

3.7	Conclusiones.....	63
4	Seguimiento de Regiones de Interés en ecocardiografía miocárdica de contraste.....	65
4.1	Introducción	65
4.2	Métodos de flujo óptico	67
4.2.1	Técnicas de correspondencia de bloques	67
4.2.2	Técnicas diferenciales.....	69
4.3	Validación de los algoritmos.....	70
4.3.1	Adquisición de imágenes.....	71
4.3.2	Método de evaluación.....	72
4.3.3	Resultados.....	73
4.4	Discusión.....	78
4.5	Conclusiones.....	80
5	Obtención de imágenes modo M anatómico mediante técnicas de seguimiento de curvas.....	81
5.1	Introducción	81
5.2	Modelo de contorno activo	82
5.2.1	Energía interna.....	83
5.2.2	Procesamiento de los extremos	85
5.2.3	Energía de movimiento.....	85
5.2.4	Minimización	87
5.3	Evaluación del método	87
5.3.1	Adquisición de imágenes.....	87
5.3.2	Resultados.....	88
5.4	Conclusión.....	91

6 Segmentación y seguimiento del miocardio en secuencias de ecocardiografía con contraste.....	93
6.1 Introducción.....	93
6.2 Justificación del modelo de segmentación	95
6.3 Filtrado de las imágenes	97
6.4 Modelo de contorno activo	98
6.4.1 Energía externa o de la imagen.....	99
6.4.2 Energía interna	101
6.4.3 Energía de movimiento	101
6.4.4 Remuestreo de puntos de control	101
6.4.5 Acoplamiento entre curvas	102
6.4.6 Inicialización de las curvas	104
6.4.7 Ajuste de las curvas	104
6.5 Evaluación	105
6.5.1 Evaluación del filtrado.....	105
6.5.2 Evaluación de la segmentación	106
6.6 Resultados	107
6.6.1 Resultados del filtrado	107
6.6.2 Resultados de la segmentación	109
6.7 Obtención de Curvas de reperfusión.....	113
6.8 Discusión y Conclusiones	114
7 Conclusiones y líneas futuras	117
Bibliografía.....	121