

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
TELECOMUNICACIÓN



INSTITUTO DE ÓPTICA "DAZA DE
VALDÉS" – CONSEJO SUPERIOR DE
INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
- ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE TELECOMUNICACIÓN

**NEW CONTRIBUTIONS ON MOTION ESTIMATION
THROUGH OPTICAL FLOW TECHNIQUES APPLIED TO
CARDIAC MAGNETIC RESONANCE IMAGING**

NUEVAS CONTRIBUCIONES EN ESTIMACIÓN DE MOVIMIENTO MEDIANTE
TÉCNICAS DE FLUJO ÓPTICO APLICADO A IMAGEN DE RESONANCIA MAGNÉTICA
CARDIACA

NOEMÍ CARRANZA HERREZUELO

INGENIERO DE TELECOMUNICACIÓN

DIRECTORES DE TESIS: DR. GABRIEL CRISTÓBAL PÉREZ

DRA. MARÍA JESÚS LEDESMA CARBAYO

2009

Tribunal nombrado por el Mgco. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día 30 de ENERO de 1909

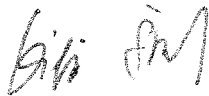
PRESIDENTE:



VOCAL:



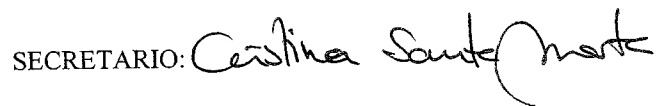
VOCAL:



VOCAL:



SECRETARIO:



Realizado el acto de defensa de la Tesis en Madrid, el día 6 de MARZO de 1909

acuerda otorgarle la calificación de: SOBRESALIENTE cum laude

EL PRESIDENTE



EL SECRETARIO



LOS VOCALES



Resumen

Uno de los retos más importantes desde hace años en el análisis de las imágenes médicas es la estimación del movimiento cardiaco, debido a que los parámetros hallados pueden ser indicadores de un mal funcionamiento del corazón. Visualizar y cuantificar el movimiento del corazón constituye un avance muy importante a la hora de realizar un buen diagnóstico en las enfermedades cardiacas. Entre los métodos de imagen disponibles, la resonancia magnética cardiaca (CMR) es uno de los métodos de referencia para la exploración de la función cardiaca. Sin embargo, la mayor limitación de las secuencias de CINE de CMR es la ausencia de marcas dentro de la pared miocárdica. Esto impide la obtención de un campo de movimiento dentro de la pared cardiaca. Hoy en día, el método más utilizado para evaluar cuantitativamente la función contráctil intramiocárdica es la resonancia magnética marcada (tagged MRI). La resonancia magnética marcada utiliza una secuencia espacial de pulsos para modular espacialmente la magnetización longitudinal de los objetos, con lo que se crean unas marcas temporales en el miocardio llamadas "marcas" (tags). Los métodos propuestos hasta el momento para la extracción de movimiento en MR marcada se han basado en la utilización de distintos aspectos de la heterogeneidad de la intensidad del miocardio, como realizar el seguimiento de líneas siguiendo mínimos de intensidad, empleando métodos de flujo óptico o utilizando métodos de fase harmónica (HARP).

En esta tesis se ha contribuido con nuevos algoritmos de estimación de movimiento para secuencias de resonancia magnética cardiaca, basados en flujo óptico. Los algoritmos desarrollados se basan en los métodos frecuenciales de inspiración biológica, y los métodos diferenciales, basados en aproximaciones variacionales.

El primero de los métodos propuestos está basado en una aproximación espacio-temporal-frecuencial (STF). Más específicamente, se basa en la obtención de la distribución de Wigner-Ville (WVD) de secuencias en movimiento y la transformada Hough (HT) de su espectro espacio-temporal-frecuencial. Este último es un conocido método de detección de líneas y formas altamente robusto contra datos incompletos y ruido. En este contexto, la HT se utiliza para hallar el valor del campo de desplazamiento obtenido de la representación STF. Además, se ha implementado una aproximación probabilística para mejorar la precisión del campo de desplazamiento. Resultados experimentales en el caso de secuencias sintéticas simples se han comparado con una implementación de la técnica variacional para estimaciones de movimiento globales y locales, donde se muestra que los resultados son precisos y robustos frente al ruido. El método se ha probado también en secuencias CMR, donde se puede comprobar que con secuencias con una buena resolución temporal, los resultados son precisos. Sin embargo, la baja resolución temporal de las secuencias y el alto coste computacional han motivado que se consideren otros métodos para la estimación de movimiento en este tipo de secuencias.

La aproximación variacional de los métodos diferenciales de estimación de movimiento se basa en la utilización de la variación total en el término regularizador. En este caso se ha realizado una implementación matricial del algoritmo. Este método se ha mejorado añadiendo un nuevo término en la ecuación de flujo óptico, que incorpora el

seguimiento robusto de un conjunto de puntos de alta estabilidad de fase. Los resultados se han validado en secuencias de resonancia magnética cardíaca simuladas y reales, y se han comparado con un método de referencia. El error obtenido con el método variacional propuesto es menor que el obtenido con el método de referencia, y requiere un menor coste computacional. Se han probado la robustez y precisión de los resultados.

Por otra parte se ha desarrollado un método híbrido de segmentación miocárdica que aprovecha la información de la estimación del movimiento variacional. Este método de segmentación se basa en una aproximación variacional del conocido método de “level sets”. El método consigue reducir el coste computacional en comparación con el método level sets convencional. Esta aproximación híbrida se ha probado en las secuencias reales duales de CINE + MR marcada con respecto a segmentaciones manuales, y se ha podido comprobar la exactitud de los resultados. Esta aproximación aprovecha las ventajas de cada uno de los tipos de imágenes (resolución detallada de las imágenes de CINE y estimación de movimiento en imágenes de MR marcada), y además constituye un marco de trabajo interesante para medidas funcionales globales y locales.

Table of Contents

<i>Agradecimientos</i>	<i>i</i>
<i>Resumen</i>	<i>iii</i>
<i>Abstract</i>	<i>v</i>
<i>Table of Contents</i>	<i>vii</i>
1. MOTIVATION, OBJECTIVES AND METHODOLOGY	1
1.1 MOTIVATION	1
1.1.1 <i>Optical Flow Methods</i>	3
1.2 OBJECTIVES	5
1.3 METHODOLOGY	6
1.4 STRUCTURE OF THIS DOCUMENT	8
2. INTRODUCTION	11
2.1 THE HEART.....	11
2.1.1 <i>Anatomy and Physiology</i>	11
2.1.2 <i>Structure of the Heart</i>	13
2.1.3 <i>Function of the Heart</i>	14
2.1.4 <i>Descriptors of Cardiac Function</i>	17
2.2 CARDIOPATHY	18
2.2.1 <i>Cardiomyopathy</i>	18
2.3 CARDIAC IMAGING	22
2.3.1 <i>Ionizing versus non-ionizing radiation</i>	22
2.3.2 <i>Cardiac Imaging Modalities</i>	23
2.3.3 <i>Cardiac Magnetic Resonance (CMR) Imaging</i>	27
2.4 SUMMARY	35
3. MOTION ESTIMATION TECHNIQUES	37
3.1 INTRODUCTION	37
3.2 OPTICAL FLOW	38
3.2.1 <i>The aperture problem</i>	39
3.3 OPTICAL FLOW TECHNIQUES	40
3.3.1 <i>Differential Methods</i>	41
3.3.2 <i>Frequency domain Techniques</i>	48
3.3.3 <i>Matching Techniques</i>	50
3.4 MOTION ESTIMATION TECHNIQUES APPLIED TO CARDIAC IMAGES	51
3.5 STATE OF THE ART	53
4. WIGNER-VILLE DISTRIBUTION AND HOUGH TRANSFORM APPLIED TO MOTION ESTIMATION OF CARDIAC MRI	55
4.1 THE HOUGH TRANSFORM	55
4.2 PROPOSED ALGORITHM	57
4.2.1 <i>WVD-HT motion estimation</i>	57
4.2.2 <i>WDV-HT: Local Motion Estimation</i>	61
4.3 EVALUATION	63
4.3.1 <i>Experiments and Results Using Synthetic Sequences</i>	63
4.3.2 <i>Motion Estimation for CMR sequences</i>	66
4.4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS.....	78
5. MOTION ESTIMATION OF TAGGED CARDIAC MAGNETIC RESONANCE IMAGES USING VARIATIONAL TECHNIQUES. APPLICATION TO MYOCARDIAL SEGMENTATION.	81

5.1	MOTION ESTIMATION OF TAGGED CMR.....	81
5.1.1	<i>Proposed Method</i>	81
5.1.2	<i>Experiments</i>	92
5.1.3	<i>Results</i>	96
5.2	MOTION ESTIMATION AND SEGMENTATION.....	112
5.2.1	<i>Level Set Segmentation</i>	113
5.2.2	<i>Integration of the Motion Estimation and Segmentation Approach</i>	115
5.2.3	<i>Experiments and Results</i>	118
5.2.4	<i>Endocardial and Epicardial Border Segmentation</i>	120
5.3	DISCUSSION AND CONCLUSIONS.....	126
6.	CONCLUSIONS AND MAIN CONTRIBUTIONS. FUTURE RESEARCH	
TOPICS.....		127
6.1	CONCLUSIONS.....	127
6.2	MAIN CONTRIBUTIONS.....	129
6.3	FUTURE RESEARCH TOPICS.....	130
6.3.1	<i>Extending the Variational Algorithm for Motion Estimation to 3D sequences</i> 130	
6.3.2	<i>Joint Solution for Super-resolution, Motion estimation and Segmentation</i>	131
	<i>Annex I: HARP Method</i>	135
	<i>References</i>	141