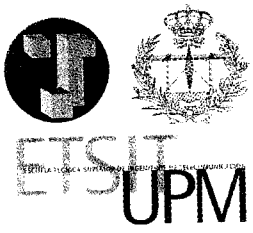
Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación



Instituto de Óptica
"Daza de Valdés"

Departamento de
Ingeniería Electrónica

Tesis Doctoral

New Contributions on Image Fusion and Compression Based on Space-Frequency Representations

Nuevas Contribuciones en Fusión y Compresión de Imágenes Basadas en Representaciones Espacio-Frecuenciales

RAFAEL REDONDO TEJEDOR

Directores de Tesis:
GABRIEL CRISTÓBAL PÉREZ
Mª JESÚS LEDESMA CARBAYO

2007

Tribunal nombrado por el Mgfco. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día

PRESIDENTE: Andrés Santos Lleó

VOCAL: JESÚS MACO LÓPEZ

VOCAL: NORBERTO MARCIA GUTIÉRREZ DE VEGA

VOCAL: Filip Šroubek

SECRETARIO: CARLOS ÓSCAR SÁNCHEZ SORZANO

Realizado el acto de defensa de la Tesis en Madrid, el día 20 de Abril de 2007 acuerda otorgarle la calificación de: Sobresaliente cum laude

EL PRESIDENTE

Andrés Santos Lleó

EL SECRETARIO

LOS VOCALES

Norberto Marcia

JESÚS MACO

Filip Šroubek

Resumen

Las representaciones conjuntas han experimentado un notable apogeo durante las últimas décadas, hasta tal punto que no hay campo en el procesamiento de señales en el que no hayan sido utilizadas. Dentro del mar de representaciones existentes en la literatura, una de ellas concierne el presente trabajo: la implementación *log-Gabor* propuesta en [70, 68]. Su bajo solapamiento, alta sensibilidad en orientación y escalabilidad, invarianza a traslación, auto-invertibilidad y la definición compleja confieren eficiencia, versatilidad y robustez contra el ruido y la aparición de artefactos. Más allá, el estrecho parecido de los filtros sobrecompletos log-Gabor con el área cortical V1 junto con el modelado de comportamientos neuronales de inhibición/facilitación y codificación escasa permiten conseguir una approximación de la imagen basada en la extracción de los rasgos más salientes normalmente coindidentes cón los contornos. Este tipo de representación, basada en contornos multiescala, traza una nueva ruta para resolver taréas de procesamiento de imágenes, en concreto, compresión y fusión de imágenes.

Un nuevo paradigma de compresión postula una alta eficiencia si los rasgos característicos de las imágenes son codificados separadamente, tales como luminancia, contornos o textura [19, 145, 240]. Siguiendo ese paradigma, en esta tesis doctoral se ha propuesto un nuevo método de compresión basado en codificar dichos contornos multiescala extraídos de la transformación escasa log-Gabor. Teniendo en cuenta la naturaleza de tales rasgos, un algoritmo de codificación de cadenas ha sido especialmente diseñado según las peculiaridades estocásticas y morfológicas de dichos contornos. Para ello, differentes técnicas predictivas así como códigos prefijos y aritméticos han sido combinados de acuerdo con cada alfabeto. Además, el algoritmo propuesto ofrece un completo esquema de compresión incluyendo la codificación del residuo paso-bajo y la colocación de cabezeras de la trama. Tal codificación se fundamenta en modelos del cortex visual primario para mitigar distorsiones de compresión típicamente producidas por los estandars de compresión *JPEG* ó *JPEG2000*.

Las descomposiciones multiresolución han demostrado su superioridad contra otras técnicas tradicionales de fusión de imágenes. Sin embargo, no existe ninguna evidencia

de hegemonia, a menudo debido a la falta de una imagen de referencia. En esta tesis, varios tipos de wavelets son comparadas con *log-Gabor* filters exitosamente, los cuales nunca habían sido utilizados anteriormente debido a su tradicional falta de reconstrución exacta. Además, un algoritmo general para esquemas multiresolución llamado *ventanas multitamaño* ha sido propuesto, el cual adapta el tamaño de ventana a los rasgos locales en la imagen explotando las ventajas de ambas ventanas, pequeña o precisa y grande o robusta, reduciendo notablemente los errores en los mapas de decisión en contra de las tradicionales técnicas de tamaño fijo de ventana. Finalmente, un nuevo método orientado a contornos ha sido también propuesto incorporando los contornos multiescala al esquema de fusión multiresolución. Este algoritmo basado en rasgos reduce la sensibiliad al ruido, efectos de emborronamiento y artefactos de alineamiento.

Contents

Abstract x

Resumen xii

Table of contents xvi

Resumen Extendido 1

0.1 Representaciones espacio-frecuenciales . . . 1
0.1.1 Filtros log-Gabor . . . 3
0.2 Multiresolución en los modelos de visión . . . 4
0.2.1 Un modelo del cortex visual primario . . . 5
0.3 Compresión de imágenes . . . 6
0.3.1 Revisión del estado del arte . . . 6
0.3.2 Un nuevo paradigma . . . 6
0.3.3 Codificación de contornos . . . 6
0.3.4 Compresión basada en contornos multiescala . . . 7
0.4 Fusión de imágenes . . . 8
0.4.1 Revisión del estado del arte . . . 8
0.4.2 Fusión basada en multiresolución . . . 9
0.4.3 Combinación multiventana . . . 9
0.4.4 Fusión orientada a contornos . . . 10
0.5 Principales aportaciones de la presente tesis . . . 10

1 Introduction 12

1.1 Joint space-frequency representations . . . 12
1.1.1 Time-frequency co-existence . . . 12
1.1.2 Wavelets . . . 14
1.1.3 Log-Gabor filters . . . 16
1.1.4 Wigner-Ville Distribution . . . 19
1.1.5 Overcompleteness and shiftability . . . 20
1.2 Multiresolution and orientation in vision models . . . 23
1.2.1 A fleeting look into the Human Visual System . . . 23

4 Main Contributions and Future Work 117

Bibliography 119

A Numerical data of image fusion experiments 137

A.1 Data presented in Sec. 3.5 137

A.2 Data presented in Sec. 3.5.3 164

A.3 Data presented in Sec. 3.5.4 165

1.2.2 Contour Perception 26
1.2.3 A computational model of the primary visual cortex 28
1.3 Motivation and outline 35

2 Image Compression **38**
2.1 An introduction to image compression 38
2.1.1 A definition of compression 38
2.1.2 Source coding: prefix vs. arithmetic 39
2.1.3 Compression techniques: toward multiresolution 41
2.1.4 A new compression paradigm 44
2.1.5 Foundation and objective 45
2.2 A multiscale contour-based coding 48
2.2.1 Chain coding base 48
2.2.2 Contour coding 50
2.2.3 Polygonal approximation 57
2.2.4 Low-pass residue 60
2.2.5 General headers and bitstream allocation 60
2.3 Experimental results 63
2.4 Conclusions 71

3 Image Fusion **73**
3.1 An introduction to image fusion 73
3.1.1 A definition of fusion 73
3.1.2 Modalities and their applications 74
3.1.3 Fusion techniques: multiresolution pyramids 76
3.1.4 Saliency measurements 77
3.1.5 Local selection rules: decision maps 77
3.1.6 A MR-based fusion scheme 78
3.1.7 Open problems and objectives 81
3.2 Log-Gabor formulation 84
3.3 Wigner-Ville formulation 85
3.4 The Multisize Windows technique 85
3.5 Performance assessment in multifocus imagery 88
3.5.1 Methodology: decision maps and visual inspections 88
3.5.2 Log-Gabor and MR settings assessment 89
3.5.3 Wigner-Ville assessment 98
3.5.4 Log-Gabor vs. Wigner-Ville 99
3.5.5 Experimental results in bright-field microscopy 103
3.6 A contour-based fusion method 110
3.7 Performance assessment in satellite imagery 113
3.8 Conclusions 115