

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Departament de Teoria del senyal i comunicacions

**MULTIRESOLUTION IMAGE
SEGMENTATION BASED ON
COMPOUND RANDOM FIELDS:
APPLICATION TO IMAGE CODING**

Autor: Ferran Marqués
Director: Antoni Gasull

Barcelona, Diciembre de 1992

*A Manrique y Quevedo, como representantes,
y para intentar resarcirlos de mi traición.*

*A Andrea,
por las ganas que le tengo.*

Quiero expresar mi agradecimiento a mi director de tesis por toda la ayuda, tanto técnica como humana, que me ha ofrecido durante estos cuatro años. De hecho, más que un agradecimiento es una petición para que me la siga dando. Así pues: gracias, Don Antonio.

En estos cuatro años he tenido la suerte de trabajar en tres grupos distintos (TSC, LTS y SIPI), en los cuales he hecho grandes amigos que han colaborado de una forma muy directa en la realización de este trabajo. Creo que todos ellos ya saben lo mucho que les debo y no voy a intentar resumirlo aquí. Por contra, hay otras personas que tal vez no tengan una idea tan clara de toda la ayuda que me han prestado y de como ésta ha influido en mi trabajo. De esta manera, doy las gracias:

- A Nayana que ha soportado, y creo que casi más que nadie, mis malos genios, humores, tragos ... —
- A Nayana (nuevamente) y Luisa, de las que, habiéndome ido yo por otros derroteros, sólo me quedan sus incorrecciones hacia mi persona [0] (¡¡¡JUA!!! ¡¡Lo conseguí!! ¡¡Tras cuatro años, había perdido casi toda esperanza!!).
- A Bea y Jesús por sus visitas y preocupación cuando estaba fuera. Espero que lo repitan si vuelvo a salir, aunque pasen de la portada del Vogue a la del Ser Padres.
- A Aurora y Julio que han intentado inculcarme el sentido del humor y de la responsabilidad, aunque yo a veces me olvide y hasta se los exija cruzados.
- A Elisa y Fono, con los que he pasado ratos, días, semanas y hasta meses geniales (especialmente áquel en Boston).
- A la aparejadora más bonita del Distrito y a su sufrido trompetista por ese punto que parecía no llegar.
- A un grupo de gente que siempre está ahí aunque tu no les puedas ofrecer ni eso. Los cito con cierto desorden y, seguro, alguna ausencia: la Koala, la Demonio Dojo, la Merche, la Nini, la Mireia, la Pili, el Gargamel, el Niño, el Chino, el Membrillo, el Pollo, el Pechina, el Brown, el Andrew, el Soso Vallejo, el Isaco, el Poder, el Pepe, el Crio, la Rata Buena, la Rata Mala, el Perico, el Miguelín, el Robocop, el Coco, el Lasli, el Casco, el Iñata, el Guiri, el Txiki, el Chema... Por cierto, ahí suele ser en el Falstaff y eso suele ser una copa.

- A Pilar, la cual, si algún día me voy de misión a Laos, seguro que encuentra una forma de seguir llamándome y sermoneándome, escribiéndome y cotilleándome, maileándome y divirtiéndome, ... y , casi seguro, me viene a visitar.
- A Poldark, por las juergas y revolcones que nos hemos pegado juntos.
- A Mercedes, especialmente por las charlas y por intentar que me divertiera durante mi encierro.
- A Sara y Nicola, Silvana y Lorenzo por hacerme sentir como en casa.
- A Sonia y Saxa por ofrecerme su amistad sin apenas conocerme.
- A Caroline por su increíble aguante y su sentido del humor.
- A María Luisa por las charlas en su habitación-buhardilla y esa cena en el chino.
- A Celia, Pepe y Willy por su hospitalidad y simpatía.
- A Cuni por su especial sentido del humor.
- A Germán por su trabajo como cicerón y su gran sensibilidad.
- Aunque estén ya incluidas en el agradecimiento general anterior, especial mención para un grupo de personas: Sasa, Angela, Corinne, Silvia, Aurora, Mayita, Linda, y Teresa Colomer y su equipo de hadas madrinas.
- A l'avia Rosa, particularmente por sus flanes.
- A Julio por su ayuda logística.
- Al peluquero de J. Mendel.
- Y finalmente, a seis personas que han tenido a bien dedicar muchas horas de su tiempo libre a sufrir mi spanglish: Montse, Toni, Pepe, Philippe, Tony y Luis. Los cito en orden de entrega, porque el de devolución era mucho más complicado.
- Ahh!, y al Llimona, por lo de jugo que le hemos sacado a su persona.

TABLE OF CONTENTS

I.- INTRODUCTION	1
I.1.- Importance of segmentation: its applications	2
I.2.- Intrinsic problems of segmentation.....	3
I.3.- Formal definition of segmentation	6
I.4.- Segmentation approaches	7
I.4.1.- Edge-based techniques.....	7
I.4.2.- Region-based techniques: Thresholding.....	10
I.4.3.- Region-based techniques: Region growing	12
I.4.4.- Region-based techniques: Split and Merge.....	15
I.4.5.- Region-based techniques: Linked pyramid segmentation.....	18
I.5.- Structure and contributions	21
I.6.- Summary.....	24
II.- IMAGE MODELS.....	26
II.1.- Gaussian random fields.....	27
II.2.- Markov random fields.....	30
II.2.1.- Neighbourhood systems.....	31
II.2.2.- Definition of Markov random field	32
II.2.3.- Gibbs distribution.....	33
II.2.4.- Gaussian Markov random fields.....	37
II.2.5.- Auto-binomial models	37
II.2.6.- Strauss processes.....	38
II.2.7.- On applying MRFs to image processing	39
II.3.- Compound random fields.....	42
II.3.1.- Definition.....	42
II.3.2.- Image segmentation algorithms using CRFs.....	44
II.4.- Summary.....	47

III.- MONORESOLUTION ALGORITHM.....	49
III.1.- The image model.....	50
III.1.1.- The upper level random field.....	50
III.1.2.- The lower level random field.....	51
III.2.- Segmentation algorithm.....	57
III.2.1.- Deterministic approach.....	58
III.2.2.- Basic algorithm.....	59
III.2.3.- Computing the joint likelihood function.....	61
III.2.4.- Selection of elements from the image.....	63
III.3.- Study of the basic segmentation algorithm.....	66
III.3.1.- Comparison among the selecting element techniques.....	69
III.3.2.- Study of the influence of the temperature.....	71
III.3.3.- Study of the influence of the potential ratio.....	74
III.3.4.- Study of the influence of the initial segmentation.....	78
III.4.- Summary.....	83
IV.- MULTIRESOLUTION ALGORITHM.....	86
IV.1.- Multiresolution and compound random fields.....	87
IV.2.- Multiresolution decomposition.....	93
IV.2.1.- The Gaussian pyramid.....	93
IV.2.2.- The Laplacian pyramid.....	96
IV.2.3.- Comments on the choice of the decomposition.....	99
IV.3.- Supervised multiresolution segmentation.....	101
IV.3.1.- Coarsest level segmentation.....	101
IV.3.2.- Partition interpolation.....	102
IV.3.3.- Basic structure.....	103
IV.3.4.- Study of the performance of the basic structure.....	105
IV.3.5.- Setting manually the value of T^*	112
IV.4.- Unsupervised multiresolution segmentation.....	116
IV.4.1.- Use of the Laplacian pyramid.....	116
IV.4.2.- Comments on the implementation.....	120
IV.4.3.- Analysis of the results.....	121
IV.5.- Summary.....	124

V.- SEED EXTRACTION BY MORPHOLOGICAL TOOLS	128
V.1.- Necessity of using seeds	129
V.1.1.- Creation of new regions	129
V.1.2.- The error image.....	131
V.2.- Morphological tools.....	134
V.2.1.- Erosion and dilation.....	135
V.2.2.- Open and close.....	136
V.2.3.- Residues with open and close	137
V.2.4.- Close_open and open_close	139
V.2.5.- Residues with close_open and open_close.....	140
V.3.- Use of the seed image.....	142
V.3.1.- On the choice of the structuring element.....	142
V.3.2.- Cleaning the seed image	144
V.3.3.- Using the seeds in the multiresolution segmentation procedure	147
V.4.- Segmentation results	150
V.4.1.- Cameraman image.....	151
V.4.2.- Miss America image	152
V.4.3.- Cars image.....	153
V.4.4.- Building image	154
V.4.5.- Peppers image	155
V.4.6.- Lena image	156
V.4.7.- Bridge image	157
V.4.8.- Aerial image	158
V.4.9.- Synthetic image	159
V.4.10.- Table-Tennis image	160
V.4.11.- Seurat image.....	161
V.4.12.- Aneurism image.....	162
V.5.- Summary.....	163

VI.- APPLICATION TO IMAGE CODING	166
VI.1.- Problem statement.....	167
VI.1.1.- Block versus segmentation based coding schemes.....	167
VI.1.2.- On coding boundary information.....	170
VI.2.- Contour image coding.....	173
VI.2.1.- Contour lattice	174
VI.2.2.- Shape coding	177
VI.2.3.- From shape coding to contour image coding	180
VI.2.4.- Location coding.....	182
VI.3.- Coding results.....	185
VI.4.- Summary	188
VII.- CONCLUSIONS	191
VII.1.- Summary of developments.....	192
VII.2.- Current and future research lines.....	195

LIST OF FIGURES

CHAPTER I : INTRODUCTION

Fig. I.1.-	A synthetic image and its exact segmentation	4
Fig. I.2.-	An image with a square and a circle not explicitly present.....	5
Fig. I.3.-	Block diagram of an edge-based segmentation.....	7
Fig. I.4.-	The original Cameraman image and its morphological gradient.....	9
Fig. I.5.-	Effect of the sorting when merging on a region growing procedure	13
Fig. I.6.-	The splitting procedure of a very simple image and its corresponding quad-tree	16
Fig. I.7.-	Linked pyramid of a monodimensional signal	19

CHAPTER II : IMAGE MODELS

Fig. II.1.-	Example of segmentation using bottom-up techniques	29
Fig. II.2.-	Example of segmentation using top-down techniques and GRFs	30
Fig. II.3.-	Hierarchical neighbourhood systems	32
Fig. II.4.-	First-order and second-order neighbourhood systems and their sets of cliques	34
Fig. II.5.-	Example of Compound random field	43

CHAPTER III : MONORESOLUTION SEGMENTATION

Fig. III.1.-	Illustration of image and boundary lattices and example of realisation	51
Fig. III.2.-	Clique classification.....	52
Fig. III.3.-	Behaviour of boundary elements and cliques of type 1 and 2	53
Fig. III.4.-	Example of the usefulness of cliques of type 2.....	54
Fig. III.5.-	Example of the behaviour of cliques of type 3 and 4.....	55
Fig. III.6.-	Creation of a new region by splitting an initial one	59

Fig. III.7.-	Example of penalising of the scanning direction.....	65
Fig. III.8.-	Block diagram of the recursive algorithm.....	66
Fig. III.9.-	The original test image Cameraman (256x256 pixels).....	67
Fig. III.10.-	Initial segmentation (contours and mosaic) of Cameraman: 662 regions	68
Fig. III.11.-	Example of cleaning step: top 1356 regions, bottom 605 regions	69
Fig. III.12.-	Initial segmentation and results applying the three selecting techniques best choice, parallel and sequential algorithms	70
Fig. III.13.-	Example of behaviour of the parallel algorithm.....	71
Fig. III.14.-	Final number of regions versus T^*	72
Fig. III.15.-	Segmentations obtained by varying the value of T^*	73
Fig. III.16.-	Final number of regions versus V^*	75
Fig. III.17.-	Segmentations obtained by varying the value of V^*	76
Fig. III.18.-	Compactness and smothness parameters versus V^*	77
Fig. III.19.-	Examples of wrong initial segmentations.....	78
Fig. III.20.-	Example of poor initial segmentation.....	81
Fig. III.21.-	Some example segmentations.....	82

CHAPTER IV : MULTIREOLUTION SEGMENTATION

Fig. IV.1.-	Block diagram of the procedure for creating the Gaussian pyramid.....	94
Fig. IV.2.-	Graphic representation of the generation of a Gaussian pyramid	95
Fig. IV.3.-	Frequency response of the filter when varying the shape parameter	96
Fig. IV.4.-	Block diagram of the procedure to obtain the Gaussian and Laplacian pyramids.....	97
Fig. IV.5.-	Gaussian and Laplacian pyramid of the Cameraman image	98
Fig. IV.6.-	Initial partition and three different kinds of interpolation pattern.....	102
Fig. IV.7.-	Block diagram of the multiresolution segmentation basic structure.....	103
Fig. IV.8.-	Segmentations obtained with the multiresolution segmentation basic structure.....	106
Fig. IV.9.-	The number of regions in the final segmentation is plotted versus the value of T^*	107
Fig. IV.10.-	Gaussian and Segmented pyramid of Cameraman.....	108
Fig. IV.11.-	Examples of segmentations of little textured images.....	110
Fig. IV.12.-	Examples of segmentations of textured images.....	111
Fig. IV.13.-	Supervised procedure for choosing the best values of parameter T^*	112
Fig. IV.14.-	Supervised selection of T^*	113

Fig. IV.15.-	Examples of supervised segmentations.....	115
Fig. IV.16.-	Different information distribution through the levels of a Laplacian pyramid.....	117
Fig. IV.17.-	Block diagram of the unsupervised segmentation algorithm.....	121
Fig. IV.18.-	Unsupervised segmentations: non-textured images.....	122
Fig. IV.19.-	Unsupervised segmentations: textured images.....	123

CHAPTER V : SEED EXTRACTION BY MORPHOLOGICAL TOOLS

Fig. V.1.-	Effect of allowing the direct creation of new regions	130
Fig. V.2.-	Example of error image.....	132
Fig. V.3.-	Original monodimensional signal.....	134
Fig. V.4.-	Examples of erosion and dilation.....	136
Fig. V.5.-	Examples of open and close.....	137
Fig. V.6.-	Example of white Top Hat.....	138
Fig. V.7.-	Examples of close_open and open_close	139
Fig. V.8.-	Example of positive contrast extractor.....	141
Fig. V.9.-	Examples of centre and contrast extractor.....	142
Fig. V.10.-	Examples of contrast extraction.....	144
Fig. V.11.-	Block diagram of the seed extraction.....	146
Fig. V.12.-	Examples of final seed images.....	146
Fig. V.13.-	Final multiresolution segmentation scheme	149
Fig. V.14.-	Examples of seed image and segmentation	150
Fig. V.15.-	Final segmentation of the Cameraman image	151
Fig. V.16.-	Final segmentation of the Miss America image.....	152
Fig. V.17.-	Final segmentation of the Cars image	153
Fig. V.18.-	Final segmentation of the Building image.....	154
Fig. V.19.-	Final segmentation of the Peppers image.....	155
Fig. V.20.-	Final segmentation of the Lena image.....	156
Fig. V.21.-	Final segmentation of the Bridge image.....	157
Fig. V.22.-	Final segmentation of the Aerial image.....	158
Fig. V.23.-	Final segmentation of the Synthetic image.....	159
Fig. V.24.-	Final segmentation of the Table-Tennis image.....	160
Fig. V.25.-	Final segmentation of the Seurat image	161
Fig. V.26.-	Final segmentation of the Aneurism image	162

CHAPTER VI : APPLICATION TO IMAGE CODING

Fig. VI.1.- Example of image coded by block based coding schemes168

Fig. VI.2.- Set of possible movements on a 4-connected and on an 8-connected grid171

Fig. VI.3.- Set of movements used in a DCC172

Fig. VI.4.- Examples using the same lattice for contour and label images174

Fig. VI.5.- Relationship between label and contour lattices175

Fig. VI.6.- Examples of the relationship between contour and label representations.....176

Fig. VI.7.- Possible movements in a 6-connected grid for a CC and a DCC.....177

Fig. VI.8.- Example of DCC representation of a shape in an hexagonal grid.....177

Fig. VI.9.- Effect of the removal of one pixel width elongations.....179

Fig. VI.10.- Example of contour image coding by shape extraction181

Fig. VI.11.- Example of the importance of choosing correctly the initial points181

Fig. VI.12.- Procedure for marking triple points.....182

Fig. VI.13.- Selection of triple points.....183

Fig. VI.14.- Results of the proposed region based coding scheme (I)186

Fig. VI.15.- Results of the proposed region based coding scheme (II)187

Fig. VI.16.- Comparison between block based and region based coding schemes.....188

CHAPTER VII : CONCLUSIONS

Fig. VII.1.- Example of image sequence segmentation196

LIST OF TABLES

CHAPTER III : MONORESOLUTION ALGORITHM

Table III.1.- Data from segmentations of Figure III.15.....	74
Table III.2.- Data from segmentations of Figure III.17.....	76
Table III.3.- Data from segmentations of Figure III.19.....	79

CHAPTER IV : MULTIREOLUTION SEGMENTATION

Table IV.1.- Data from segmentations of Figure IV.8.....	105
Table IV.2.- Different behaviour of $T^*(l)$ in the case of textured and non-textured images.....	114
Table IV.3.- Comparison of the tendency of T^* and M_L	119
Table IV.4.- Comparison between the values obtained manually and automatically	119
Table IV.5.- Comparison between the values achieved by Gaussian and replica interpolations.....	120

CHAPTER VI : APPLICATION TO IMAGE CODING

Table VI.1.- Results of the proposed coding scheme.....	185
---	-----