



UNIVERSITAT DE BARCELONA



DISSENY D'UN PROTOCOL NUMÈRIC PER A LA  
CLASSIFICACIÓ INVARIANT D'IMATGES APLICANT  
TÈCNIQUES MULTIVARIANTS

Departament de Física Aplicada i Òptica

Jordi-Roger Riba Ruíz  
Barcelona, maig de 2000



UNIVERSITAT DE BARCELONA



Departament de Física Aplicada i Òptica  
Programa de Micro i Optoelectrònica Física  
Bienni 1994-96

DISSENY D'UN PROTOCOL NUMÈRIC PER A LA  
CLASSIFICACIÓ INVARIANT D'IMATGES APLICANT  
TÈCNIQUES MULTIVARIANTS

Memòria presentada per optar al títol de doctor en Ciències Físiques

Directors:  
Dr. Arturo Carnicer González  
Dr. Ignacio Juvells Prades

Jordi-Roger Riba Ruíz  
Barcelona, maig de 2000

# Índex

<b>1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS .....</b>	<b>1</b>
1.1 NOMENCLATURA BÀSICA .....	6
<i>Conjunt de calibratge</i> .....	6
<i>Conjunt de test</i> .....	7
1.2 PROTOCOLS DE CALIBRATGE I DE CLASSIFICACIÓ .....	7
<i>Protocol de calibratge</i> .....	7
<i>Protocol de classificació dels objectes de test</i> .....	9
1.3 OBJECTIUS DEL TREBALL.....	11
1.4 ESTRUCTURACIÓ DEL TREBALL .....	12
<b>2 CARACTERÍSTIQUES DISCRIMINANTS.....</b>	<b>15</b>
2.1 ELS MOMENTS GEOMÈTRICS .....	17
<i>Moments geomètrics d'ordre <math>p+q</math></i> .....	17
<i>Moments centrals d'ordre <math>p+q</math></i> .....	18
<i>Moments invariants a canvis d'escala</i> .....	20
<i>Moments invariants a girs</i> .....	20
2.2 MOMENTS OBTINGUTS A PARTIR DE LA TRANSFORMADA DE <i>FOURIER-MELLIN</i> .....	21
2.3 MOMENTS DE <i>ZERNIKE</i> .....	23
2.4 MOMENTS DE <i>REISS</i> .....	24
2.5 CARACTERÍSTIQUES EXTRETES D'UN DISC CENTRAT EN EL <i>CDM</i> DE L'OBJECTE.....	24

2.5.1	Imatges binàries.....	26
2.5.2	Imatge amb nivells de grisos.....	26
2.6	CONTORN I PERÍMETRE DE L'OBJECTE.....	27
2.6.1	Connectivitat.....	27
2.6.2	Càlcul del perímetre.....	28
2.7	FACTOR DE CIRCULARITAT.....	31
2.8	APRIMAMENT O ESQUELETITZACIÓ DE L'OBJECTE.....	31
2.8.1	Propietats de l'esquelet.....	32
2.8.2	Regles per decidir si un píxel s'esborra.....	32
2.9	MOMENTS CALCULATS A PARTIR DEL CONTORN O DE L'ESQUELET.....	34
2.9.1	Característiques invariants extrems de la seqüència del contorn.....	34
2.9.2	Moments d'ordre $q$ normalitzats del contorn.....	36
2.9.3	Moments centrals normalitzats d'ordre $q$ .....	36
2.9.4	Variació normalitzada d'amplitud.....	36
2.9.5	Coefficient d'asimetria.....	37
2.9.6	Coefficient de curtosi.....	37
2.10	EIX PRINCIPAL D'INÈRCIA (EPI) I EIX MENOR (EM).....	37
2.10.1	Càlcul de les equacions de l'EPI i l'EM.....	38
2.11	CARACTERÍSTIQUES QUE ES DEDUEIXEN DE L'EPI I L'EM.....	39
2.11.1	Angle $\alpha$ entre l'EPI i l'eix horitzontal.....	40
2.11.2	Quocient entre l'àrea de l'objecte i l'àrea del rectangle que el conté.....	40
2.11.3	Quocient entre l'àrea de l'objecte i l'àrea de l'el·lipse que el conté.....	40
2.11.4	Quocient entre la longitud de l'eix menor i la de l'eix major.....	41
2.11.5	Excentricitat de l'el·lipse.....	41
2.11.6	Quocient $D$ .....	41
2.12	MOMENTS PROJECTATS SOBRE L'EPI I L'EM.....	41
2.12.1	Moments invariants calculats a partir de les projeccions.....	42
2.12.2	Altres característiques invariants.....	43
2.13	MOMENTS CALCULATS A PARTIR DE L'HISTOGRAMA.....	44
2.14	DESCRIPTOR DE FOURIER.....	45
2.14.1	Efecte d'una translació sobre els coeficients $a_n$ .....	46
2.14.2	Efecte d'un canvi d'escala sobre els coeficients $a_n$ .....	47
2.14.3	Efecte d'un gir sobre els coeficients $a_n$ .....	47
2.14.4	Descriptors de Fourier proposats per Granlund.....	47
2.15	EXEMPLE DEL CàLCUL DE LES CARACTERÍSTIQUES EN IMATGES SINTÈTIQUES.....	48
2.15.1	Anàlisi dels resultats.....	50
<b>3</b>	<b>REDUCCIÓ DE DIMENSIONS.....</b>	<b>53</b>
3.1	ANÀLISI DE COMPONENTS PRINCIPALS (PCA).....	55

Algorisme PCA.....	59
3.2 ANÀLISI DE VARIABLES CANÒNIQUES (CVA).....	59
<i>Cas 1. Problema amb <math>c = 2</math> classes</i> .....	60
<i>Cas 2. Problema amb <math>c \geq 2</math> classes</i> .....	61
Algorisme CVA.....	63
Defectes que presenta el mètode CVA.....	64
Relació entre els components principals i les variables canòniques.....	64
Interpretació geomètrica dels components principals i de les variables canòniques.....	66
3.3 ANÀLISI DE COMPONENTS PRINCIPALS DISCRIMINANTS (DPCA).....	66
Algorisme DPCA.....	67
3.4 ANÀLISI DE VARIABLES CANÒNIQUES ORTOGONALS (OCVA).....	68
Algorisme OCVA.....	69
3.5 PRETRACTAMENT DE LES DADES.....	70
3.6 NOMBRE ÒPTIM DE VARIABLES A RETENIR.....	71
<b>4 MÍNIM NOMBRE D'OBJECTES DE CALIBRATGE.....</b>	<b>75</b>
4.1 CÀLCUL A <i>PRIORI</i> DEL MÍNIM NOMBRE D'OBJECTES DE CALIBRATGE.....	76
4.2 CÀLCUL A <i>POSTERIORI</i> DEL MÍNIM NOMBRE D'OBJECTES DE CALIBRATGE.....	78
4.2.1 <i>Tècnica basada en la distància computada (DC)</i> .....	78
4.2.2 <i>Tècnica basada en l'error de classificació proporcionat per tècniques simples de classificació</i> .....	80
<b>5 MÈTODES DE CLASSIFICACIÓ.....</b>	<b>81</b>
5.1 MÈTODES DE PREDICCIÓ O REGRESSIÓ.....	82
5.1.1 <i>Interpolació i generalització dels models de regressió</i> .....	84
5.1.2 <i>Xarxes neuronals artificials</i> .....	85
5.1.3 <i>Mètodes de regressió</i> .....	94
5.2 MÈTODES DE CLASSIFICACIÓ SUPERVISATS.....	99
5.2.1 <i>Anàlisi discriminant</i> .....	99
5.2.2 <i>Mètode SIMCA (Soft Independent Model of Class Analogy)</i> .....	106
5.2.3 <i>Mètode DASCOS (Discriminant Analysis with Shrunk Covariances)</i> .....	109
5.2.4 <i>Mètode dels <math>k</math> veïns més propers (<math>k</math> nearest neighbours, <math>knn</math>)</i> .....	110
5.2.5 <i>Paral.lelepípede que conté els objectes de calibratge</i> .....	111
5.2.6 <i>Lògica difusa</i> .....	113
5.3 SELECCIÓ DEL MILLOR MODEL DE CLASSIFICACIÓ.....	117
<b>6 RESULTATS EXPERIMENTALS. SEGELLS.....</b>	<b>121</b>
6.1 CÀLCUL DE LES CARACTERÍSTIQUES.....	123
6.2 SELECCIÓ DE LA MILLOR TÈCNICA DE REDUCCIÓ DE DIMENSIONS.....	124
6.3 SELECCIÓ DEL NOMBRE ÒPTIM DE VARIABLES A RETENIR.....	131

6.4 MÍNIM NOMBRE D'OBJECTES DE CALIBRATGE .....	131
6.5 CLASSIFICACIÓ APLICANT TÈCNiques DE REGRESSIÓ.....	133
6.5.1 Resultats de la classificació amb tècniques de regressió.....	135
6.6 CLASSIFICACIÓ AMB ANÀLISI DISCRIMINANT .....	139
6.7 CLASSIFICACIÓ AMB SIMCA I DASCO.....	142
6.8 CLASSIFICACIÓ AMB KNN .....	146
6.9 CLASSIFICACIÓ AMB EL PARAL·LELEPÍPEDE QUE CONTÉ ELS OBJECTES DE CALIBRATGE .....	148
6.10 CLASSIFICACIÓ AMB XARXES NEURONALS .....	151
6.11 CLASSIFICACIÓ AMB LòGICA DIFUSA.....	155
6.12 COMPARATIVA DELS DIFERENTS MÈTODES.....	158
<b>7 RESULTATS EXPERIMENTALS. SIGNATURES. ....</b>	<b>159</b>
7.1 CÀLCUL DE LES CARACTERÍSTIQUES .....	161
7.2 SELECCIÓ DE LA MILLOR TÈCNICA DE REDUCCIÓ DE DIMENSIONS .....	162
7.3 SELECCIÓ DEL NOMBRE ÒPTIM DE VARIABLES A RETENIR .....	168
7.4 MÍNIM NOMBRE D'OBJECTES DE CALIBRATGE .....	170
7.5 CLASSIFICACIÓ APLICANT TÈCNiques DE REGRESSIÓ.....	172
7.5.1 Resultats de la classificació amb tècniques de regressió.....	174
7.6 CLASSIFICACIÓ AMB ANÀLISI DISCRIMINANT .....	178
7.7 CLASSIFICACIÓ AMB SIMCA I DASCO.....	181
7.8 CLASSIFICACIÓ AMB KNN .....	185
7.9 CLASSIFICACIÓ AMB EL PARAL·LELEPÍPEDE QUE CONTÉ ELS OBJECTES DE CALIBRATGE .....	188
7.10 CLASSIFICACIÓ AMB XARXES NEURONALS .....	191
7.11 CLASSIFICACIÓ AMB LòGICA DIFUSA.....	195
7.12 COMPARATIVA DELS DIFERENTS MÈTODES.....	198
<b>8 TEMPS DE CÀLCUL .....</b>	<b>199</b>
8.1 TEMPS DE CÀLCUL DE LES CARACTERÍSTIQUES INVARIANTS .....	201
8.2 TEMPS DE CÀLCUL DELS ALGORISMES DE REDUCCIÓ DE DIMENSIONS .....	202
8.3 TEMPS DE CÀLCUL DELS ALGORISMES DE PREDICCIÓ I DE CLASSIFICACIÓ .....	203
8.4 TEMPS TOTAL DE CLASSIFICACIÓ D'OBJECTES DE TEST .....	203
<b>9. CONCLUSIONS .....</b>	<b>205</b>
9.1 APORTACIONS NOVES DEL TREBALL.....	205
9.2 CONCLUSIONS .....	207
9.3 CONTINUÏTAT DEL TREBALL.....	209
<b>ANNEX. NOMENCLATURA ESTADÍSTICA .....</b>	<b>211</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>217</b>



# Agraïments

Vull expressar el meu agraïment més sincer a totes les persones i entitats que m'han ajudat a tirar endavant aquest projecte.

- A la Montse, per la seva paciència, el seu estímul i la seva dedicació.
- Als meus directors de tesi, el doctor Arturo Carnicer i el doctor Ignacio Juvells, pel seu ajut i la seva orientació constants durant aquests cinc llargs anys.
- A l'Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial d'Igualada (EUETII), pel suport en equipaments i les facilitats que m'ha concedit.
- A tots els companys del grup d'Òptica, per la col·laboració en moltes de les fases del treball i, en particular, pel seu suport informàtic.
- A l'Òscar Bertran, per la seva col·laboració en la matemàtica d'alguns algorismes.
- A l'Antoni Rius, per haver-me introduït en les tècniques de regressió multivariant i pel seu ajut bibliogràfic.