

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial

**Mètode d'Extracció Multiparamètrica
de Característiques de Textura
Orientat a la Segmentació d'Imatges**

Autor: Antoni Grau i Saldes
Directora: Àlicia Casals i Gelpí

Barcelona, maig de 1997

*a la meva dona, per la seva paciència,
ajuda i comprensió en moments difícils*

AGRAÏMENTS.

Voldria agrair a la Dra. Àlicia Casals la direcció d'aquesta tesi, l'interès que ha mostrat i la paciència que ha tingut en la correcció de tot el treball.

Al Dr. Josep Amat per al seu voluntarisme i entrega en tots aquells moments que l'he necessitat, així com per les seves enriquidores discussions al llarg d'aquests anys.

Al Dr. Jordi Saludes, per la seva valuosa col·laboració per resoldre certs problemes fonamentals.

A tots els membres del departament d'ESAII que directa o indirectament han col·laborat en la realització d'aquesta tesi, especialment al Dr. Joan Climent, company de despatx, per suportar-me i animar-me durant períodes en els que la moral estava realment baixa.

ÍNDEX.

Llista de figures	IV
Llista de taules	VII
Capítol 1. La textura i l'anàlisi d'imatges.	1-1
1.1. Objectius i descripció de la tesi	1-7
Capítol 2. Antecedents.	2-1
2.1. Enfocament estadístic	2-1
2.1.1. Models de camps aleatoris i autoregressió	2-2
2.1.1.1. Model autoregressiu	2-4
2.1.2. Run Lengths	2-5
2.1.3. Transformades d'energia de textura	2-8
2.1.4. Funció d'autocorrelació	2-10
2.1.5. Co-ocurrència: dependència espacial de nivells de gris	2-12
2.1.5.1. Matrius de co-ocurrència	2-13
2.1.5.2. Matrius de co-ocurrència generalitzades	2-15
2.1.5.3. Polarograms	2-17
2.1.6. Mètodes de transformada digital de textura	2-17
2.1.6.1. Transformada de Fourier	2-18
2.1.6.2. Transformada <i>Wavelet</i>	2-20
2.1.7. Característiques perceptives de textura	2-22
2.1.8. Altres mètodes	2-23
2.2. Enfocament estructural	2-26
2.2.1. Recull de mètodes	2-26
2.2.2. Problemes associats a l'enfocament estructural	2-30
2.3. Síntesi de textures	2-31
Capítol 3. Textura i Paràmetres.	3-1
3.1. Visió general del sistema de segmentació per textura	3-4
3.1.1. Elecció dels paràmetres de textura	3-6
3.1.2. Definició dels paràmetres de textura	3-9
3.1.3. Procés de segmentació per textura	3-10
3.2. Preprocessat de la imatge	3-12
3.3. Paràmetres de textura	3-13
3.3.1. Linealitat	3-16
3.3.1.1. Càlcul de S_{xy} , S_x , S_y i r	3-20
3.3.1.2. Màscara de linealitat	3-22
3.3.2. Granulositat	3-29
3.3.3. Abruptitat	3-30
3.3.4. Discontinuitat	3-33
3.3.5. Difuminat	3-35
3.4. Espai de característiques de textura	3-37
3.5. Aportació d'informació dels paràmetres	3-39

3.5.1. Anàlisi de la capacitat discriminatòria dels paràmetres	3-39
3.5.2. Estadístics de discriminació	3-40
3.5.3. Procediment de selecció	3-45
3.5.4. Aplicació de l'anàlisi discriminant a la determinació de la capacitat discriminatòria dels paràmetres de textura utilitzats	3-47
3.5.5. Interpretació dels resultats	3-49

Capítol 4. Classificació i Segmentació. 4-1

4.1. Introducció al reconeixement de patrons	4-1
4.2. Agrupament de mostres	4-5
4.2.1. Mesures de semblança	4-5
4.2.1.1. Mesures tipus distància	4-6
4.2.1.2. Mesures tipus <i>matching</i>	4-7
4.2.2. Tècniques d'agrupament	4-7
4.2.2.1. Tècniques jeràrquiques	4-8
4.2.2.2. Tècniques de particionament	4-8
4.3. Algorisme d'agrupament	4-9
4.3.1. Mètode de l'error de la suma de quadrats de Ward. Fase d'aprenentatge	4-9
4.3.2. Fase de treball	4-12
4.3.3. Exemple d'agrupament jeràrquic	4-14
4.4. Ús del funcional d'energia	4-17
4.5. Millora del procés d'agrupament amb la utilització del funcional d'energia	4-22
4.6. Comparació teòrica d'algorismes de textura	4-29
4.6.1. Estudis comparatius d'algorismes de textura	4-29
4.6.2. Mètodes a comparar	4-30
4.6.3. Característiques usades en la comparació	4-30
4.6.3.1. Matrius de co-ocurrència	4-30
4.6.3.2. Matrius de <i>run length</i> de nivells de gris	4-31
4.6.3.3. Patrons locals binaris	4-31
4.6.4. Resultats de la comparació	4-32
4.7. Comportament del procés de segmentació davant la introducció de soroll aleatori	4-35

Capítol 5. Resultats: Aplicació de l'anàlisi de textures a la segmentació en imatges. 5-1

5.1. Introducció	5-1
5.2. Procés de segmentació comú	5-1
5.3. Imatges aèries	5-3
5.3.1. Fase d'aprenentatge	5-4
5.3.2. Fase de treball	5-10
5.4. Segmentació d'imatges de carreteres	5-18
5.5. Segmentació d'imatges agrícoles	5-28
5.6. Segmentació d'imatges de teixits	5-33
5.7. Consideracions als resultats	5-36

Capítol 6. Arquitectura específica.	6-1
6.1. Mòdul de càlcul dels paràmetres de textura	6-2
6.1.1. Mòdul de detecció dels píxels característics	6-3
6.1.1.1. Càlcul del paràmetre <i>linealitat</i>	6-4
6.1.1.2. Càlcul del paràmetre <i>granulositat</i>	6-6
6.1.1.3. Càlcul del paràmetre <i>discontinuitat</i>	6-8
6.1.1.4. Càlcul del paràmetre <i>abruptitat</i>	6-9
6.1.1.5. Esquema de la detecció dels píxels característics	6-9
6.1.1.6. Càlcul del paràmetre <i>difuminat</i>	6-10
6.1.1.6.1. Disseny iteratiu	6-11
6.1.1.6.2. Disseny paral·lel	6-12
6.1.2. Mòdul de quantificació dels paràmetres	6-15
6.2. Mòdul d'assignació de grups	6-18
6.2.1. Algorisme del càlcul de distància mínima	6-19
6.3. Generació de la imatge segmentada	6-23
6.4. Implementació	6-24
Capítol 7. Conclusions i treballs futurs.	7-1
7.1. Originalitat i aportacions realitzades	7-1
7.2. Treballs futurs de recerca	7-3
7.3. Publicacions relacionades amb la investigació personal sobre anàlisi i reconeixement de textures.	7-4
Apèndix A.	A-1
A.1. Mètode de selecció de variables: STEPWISE	A-1
A.2. Mètode de selecció de variables: FORWARD	A-6
A.3. Mètode de selecció de variables: BACKWARD	A-8
Apèndix B.	B-1
Referències bibliogràfiques.	REF-1

Llista de figures.

Figura 1.1. Imatges de l'àlbum de Brodatz	1-3
Figura 1.2. Distinció cognitiva	1-4
Figura 1.3. Distinció perceptiva	1-4
Figura 1.4. Discriminació de textures	1-4
Figura 1.5. Discriminació de textures	1-5
Figura 1.6. Discriminació de textures	1-5
Figura 1.7. Discriminació de textures	1-6
Figura 2.1. Matrius de <i>run length</i> en quatre direccions principals	2-6
Figura 2.2. Quatre màscares de microtextura de Laws	2-8
Figura 2.3. Diagrama de blocs del segmentador amb el classificador de Bayes	2-10
Figura 2.4. Exemple de creació d'una unitat de textura	2-24
Figura 2.5. Diagrama de l'analitzador d'escenes	2-27
Figura 2.6. Exemple de tres regions construïdes amb dos conjunts	2-28
Figura 2.7. Principals components d'un model estructural i interrelacions	2-29
Figura 2.8. Imatges de l'àlbum de Brodatz	2-31
Figura 3.1. Patrons de textura	3-1
Figura 3.2. Jerarquia de la interpretació d'imatges	3-3
Figura 3.3. Procés de segmentació	3-5
Figura 3.4. Espai de textura	3-10
Figura 3.5. Procés de segmentació detallat	3-11
Figura 3.6. Efecte de la mida del tèxel en la representació de textures	3-16
Figura 3.7. Finestra per al càlcul de les màscares de linealitat	3-17
Figura 3.8. Operadors de 4x4 elements	3-21
Figura 3.9. Màscares patró de <i>linealitat</i>	3-23
Figura 3.10. Criteri de nomenclatura de les màscares de <i>linealitat</i>	3-24
Figura 3.11. Combinacions d'elements amb baix coeficient de correlació r	3-25
Figura 3.12. Àrea amb el màxim nombre d'elements lineals	3-26
Figura 3.13. Exemple de càlcul de <i>linealitat</i>	3-28
Figura 3.14. Màscares patró de <i>granulositat</i>	3-29
Figura 3.15. Àrea amb el màxim nombre d'elements granulosos	3-30
Figura 3.16. Màscares patró d' <i>abruptitat</i>	3-32
Figura 3.17. Àrea amb el màxim nombre d'elements abruptes	3-32
Figura 3.18. Màscares patró de <i>discontinuitat</i>	3-34
Figura 3.19. Àrea amb el màxim nombre d'elements discontinus	3-34
Figura 3.20. Valor del nivell de gris dels veïns d'un píxel X	3-35
Figura 3.21. Disposició dels plans d'informació de textura	3-38
Figura 3.22. Projecció sobre l'eix de moment d'inèrcia màxim	3-42
Figura 4.1. Estratègies de reconeixement	4-2
Figura 4.2. Diagrama de l'estratègia de classificació. Fase d'aprenentatge i fase de treball	4-3
Figura 4.3. Derivació de la regla de decisió	4-4
Figura 4.4. Representació de distància	4-7
Figura 4.5. Dendograma per al mètode E.S.S. de Ward	4-10
Figura 4.6. Agrupament jeràrquic de mostres	4-11

Figura 4.7. Agrupament pel nivell N3 en el dendograma	4-12
Figura 4.8. Assignació d'una mostra a un grup	4-12
Figura 4.9. Agrupament jeràrquic d'una imatge	4-15
Figura 4.10. Relació entre el valor de la norma d'E.S.S. i el nombre de grups creats en l'agrupament jeràrquic	4-17
Figura 4.11. Resultat amb el funcional d'energia	4-18
Figura 4.12. Compactació de regions en la imatge	4-20
Figura 4.13. Classificació d'una imatge	4-23
Figura 4.14. Importància del pes λ	4-25
Figura 4.15. Millora en la classificació d'una imatge	4-27
Figura 4.16. Representació de $J(u)$	4-28
Figura 4.17. Resultat de la classificació segons els diversos conjunts de característiques de textura	4-34
Figura 4.18. Qualitat en la classificació respecte temps de càlcul	4-34
Figura 4.19. Qualitat en la classificació respecte al soroll afegit	4-37
Figura 5.1. Seqüència d'imatges per a l'aprenentatge i segmentació	5-6
Figura 5.2. Imatges de la fase treball	5-11
Figura 5.3. Resultats en la fase de treball	5-11
Figura 5.4. Resultats en la fase de treball	5-12
Figura 5.5. Imatges de la fase treball	5-14
Figura 5.6. Resultats en la fase de treball	5-15
Figura 5.7. Resultats en la fase de treball	5-16
Figura 5.8. Imatges de carreteres d'aprenentatge	5-19
Figura 5.9. Imatges de carreteres d'aprenentatge	5-20
Figura 5.10. Imatges de carreteres d'aprenentatge	5-21
Figura 5.11. Segmentació d'imatges de carreteres	5-23
Figura 5.12. Segmentació d'imatges de carreteres	5-24
Figura 5.13. Segmentació d'imatges de carreteres	5-25
Figura 5.14. Segmentació d'imatges de carreteres	5-25
Figura 5.15. Segmentació d'imatges de carreteres	5-26
Figura 5.16. Segmentació d'imatges de carreteres	5-27
Figura 5.17. Segmentació d'imatges de carreteres	5-27
Figura 5.18. Segmentació d'imatges agrícoles	5-29
Figura 5.19. Segmentació d'imatges agrícoles	5-30
Figura 5.20. Segmentació d'imatges agrícoles	5-31
Figura 5.21. Mosaic de teixits i la seva segmentació	5-34
Figura 5.22. Imatges de teixits	5-35
Figura 5.23. Imatges de teixits	5-35
Figura 6.1. Diagrama del procés de segmentació d'imatges per textures	6-1
Figura 6.2. Mòdul de càlcul dels paràmetres de textura	6-3
Figura 6.3. Etiquetatge dels elements dins una màscara	6-4
Figura 6.4. Conversió sèrie/paral·lel per a la detecció de <i>linealitat</i>	6-5
Figura 6.5. Lògica de les màscares de <i>linealitat</i>	6-6
Figura 6.6. Conversió sèrie/paral·lel per a la detecció de <i>granulositat</i>	6-7
Figura 6.7. Lògica de les màscares de <i>granulositat</i>	6-7
Figura 6.8. Lògica de les màscares de <i>discontinuitat</i>	6-8
Figura 6.9. Lògica de les màscares d' <i>abruptitat</i>	6-9
Figura 6.10. Conversió sèrie/paral·lel única per als paràmetres de textura.....	6-10

Figura 6.11. Relloctge per al seqüenciament dels veïns del píxel X	6-11
Figura 6.12. Càlcul de l'element difós en forma iterativa	6-12
Figura 6.13. Càlcul de l'element difós en forma paral·lela	6-13
Figura 6.14. Veïnatge del píxel X	6-13
Figura 6.15. Decisió per a la Selecció del màxim i mínim	6-14
Figura 6.16. Selecció del màxim i mínim d'un veïnatge	6-14
Figura 6.17. Determinació de l'element difós	6-15
Figura 6.18. Esquema de comptatge de les característiques de textura	6-16
Figura 6.19. Disposició de les accions a realitzar en l'assignació de grups	6-19
Figura 6.20. Procés de segmentació amb visualització de fronteres	6-23

Llista de taules.

Taula 3.1. Resultat de l'enquesta sobre percepció de textura	3-7
Taula 3.2. Nombre de màscares per paràmetre segons la seva mida	3-14
Taula 3.3. Valor dels coeficients de correlació per a les màscares de <i>linealitat</i>	3-25
Taula 4.1. Resultat de la classificació per a diferents grups	4-16
Taula 4.2. Minimització del funcional d'energia segons el pes λ	4-26
Taula 4.3. Resultat de la classificació amb característiques individuals	4-32
Taula 4.4. Resultat de la classificació amb característiques agrupades	4-33
Taula 4.5. Resultats de la classificació en imatges sorolloses	4-36
Taula 5.1. Valors de variables a definir en la fase d'aprenentatge	5-7
Taula 5.2. Nombre d'elements en cada grup de textura	5-7
Taula 5.3. Desviacions i centres de massa dels grups de textura abans d'aplicar el funcional d'energia	5-8
Taula 5.4. Desviacions i centres de massa dels grups de textura després d'aplicar el funcional d'energia	5-8
Taula 5.5. Distància entre centres de massa dels grups de textura	5-9
Taula 5.6. Resultat de la classificació en la fase de treball	5-12
Taula 5.7. Centres de massa dels grups de textura sense aplicar el funcional en la fase d'aprenentatge	5-13
Taula 5.8. Centres de massa dels grups de textura aplicant el funcional en la fase d'aprenentatge	5-13
Taula 5.9. Resultat de la classificació en la fase de treball	5-16
Taula 5.10. Centres de massa dels grups de textura en la fase de treball sense aplicar el funcional en la fase d'aprenentatge	5-17
Taula 5.11. Centres de massa dels grups de textura en la fase de treball aplicant el funcional en la fase d'aprenentatge	5-17
Taula 5.12. Resultat de l'aprenentatge	5-22
Taula 5.13. Distància entre centres de massa dels grups de textura	5-22
Taula 5.14. Resultat de la classificació en la fase de treball	5-32
Taula 5.15. Desviacions i centres de massa dels grups de textura	5-32
Taula 5.16. Distància entre centres de massa dels grups de textura	5-33
Taula 5.17. Nombre d'elements en la classificació	5-34
Taula 6.1. Localització de l'element actiu en les màscares de <i>linealitat</i>	6-4
Taula 6.2. Localització de l'element actiu en les màscares de <i>granulositat</i>	6-6
Taula 6.3. Localització de l'element actiu en les màscares de <i>discontinuitat</i>	6-8
Taula 6.4. Localització de l'element actiu en les màscares d' <i>abruptitat</i>	6-9
Taula 6.5. Relació entre el número de comptador i l'adreça de la posició de l'element de textura actiu	6-16
Taula 6.6. Relació del codi amb els cicles de rellotge que ocupen	6-22
Taula 6.7. Generació de fronteres	6-23
Taula 6.8. Requeriments de la nostra arquitectura	6-24
Taula 6.9. Alguns dispositius FPGA comercialitzats	6-25