

**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

# CAPÍTOL 1. LA TEXTURA I L'ANÀLISI D'IMATGES.

La percepció de la textura constitueix una part important del sistema de visió humà com a pas previ per a la segmentació i interpretació d'escenes. Els objectes poden ser diferenciats sovint per les seves textures característiques tot i tenir colors i formes semblants. Malgrat la seva ubiqüitat en l'anàlisi d'escenes, no existeix una definició concreta de textura; no obstant, alguns autors intenten donar-ne alguna.

## *Definicions de textura:*

- "El requeriment bàsic perquè un patró òptic pugui ser vist com una textura és que hi hagi un gran nombre d'elements (variacions espacials en intensitat o longitud d'ona), cadascun visible en algun grau i, en conjunt, densa i uniformement distribuïts pel camp de visió" [PIC70].
- "Textura és una característica utilitzada per a descriure regions d'una imatge (o escena)" [ZUC76].
- "Textura és un terme per definir la qualitat d'una superfície. La característica que domina una textura és la repetició o quasi-repetició d'un patró" [LU78].
- "Textura és el terme utilitzat per caracteritzar la superfície d'un fenomen donat en una imatge i és indubtablement una de les principals característiques usades en el processament d'imatges i en el reconeixement de patrons" [WAN90].
- "Es considera textura una imatge bi-dimensional, estocàstica i possiblement periòdica" [CRO83].
- "Malgrat la seva importància, no hi ha una definició de textura generalment acceptada" [LAW80].

Aquesta diversitat de definicions demostra que no existeix cap definició universalment acceptada de textura. Una part important de la dificultat a l'hora de donar una definició concreta és el gran nombre d'atributs de textura que voldríem que abracés la nostra definició.

L'anàlisi de textures és una de les tècniques més importants usada en el processat d'imatges i reconeixement de patrons, motivat principalment pel fet que pot donar informació sobre l'arranjament (o col·locació) i les propietats espacials dels elements fonamentals de la imatge. La primera tasca a realitzar en l'anàlisi de textures, i potser la més important, és extreure característiques de textura les quals continguin suficient informació sobre les propietats de la textura en la imatge original. Aquestes característiques poden ser usades posteriorment per a la descripció o classificació d'imatges usant alguna de les moltes tècniques de reconeixement de patrons.

En els sistemes de visió per computador que es basen en l'extracció de característiques de textura, aquesta s'analitza principalment des de dos punts de vista: els enfocaments estadístics i els enfocaments estructurals. El fet d'escollir un enfocament o un altre per a l'anàlisi de textures dependrà del tipus de textures que considerem en l'estudi.

En els mètodes estadístics, es calculen característiques locals per a cada punt de la imatge de textura, i de les distribucions d'aquestes característiques s'en deriva un conjunt d'estadístics. Una característica local es defineix a partir de la combinació d'intensitats en posicions específiques relatives a cada punt de la imatge. Els estadístics es classifiquen en estadístics de primer ordre, segon ordre o d'ordre superior en funció del nombre de punts que defineixen la característica local. Aquests estadístics donen diverses mesures de les propietats de la textura, tot i que no tenen perquè ser només per intensitats, ja que les característiques locals poden ser també geomètriques (pics, valls, contorns, ...) [TOM90]. Des del punt de vista estocàstic, es pot considerar que una textura és una mostra estreta d'una distribució de probabilitat en l'espai imatge.

En els mètodes estructurals, la textura d'una imatge es considera formada per elements patró de textura. Les propietats d'aquests elements, així com les seves regles d'emplaçament, defineixen la textura de la imatge. L'anàlisi estructural és més complex en comparació amb l'estadístic, però dona una informació molt més detallada. Es pot arribar a reconstruir la textura original a partir de la descripció estructural de textura.

Mentre que els models estadístics poden ser usats amb èxit en discriminació de conjunts de textures i altres tasques limitades, són inherentment menys potents que els models estructurals que utilitzen selecció de subpatrons i emplaçament probabilista. Per una altra banda, és obvi que les imatges compostes de fragments uniformes respecte a alguna propietat poden ser modelitzades millor amb mètodes estructurals. No obstant, no està clar que la menor potència dels mètodes estadístics els faci realment menys útils per a la modelització o caracterització d'imatges, ja que les limitacions de la percepció visual humana poden fer que el poder addicional dels mètodes estructurals sigui infraexplotat i, per tant, insignificant en la majoria de les aplicacions. Només en sistemes d'identificació automàtica de formes o textures no perceptibles per l'home tindria sentit aprofitar-se de la potència que ofereixen els mètodes estructurals.

Existeixen quatre àrees importants en el processat d'imatge en les quals la textura juga un paper decisiu: classificació [WES76b], [HAR73], segmentació [DEG78], [NEV76], [THO77], realisme en gràfics per ordinador [BLI78], [CAT80], [CSU79], [DUN79] i codificació d'imatges [DEL78]. A més de ser una característica intrínseca dels objectes reals, la textura dona també informació important de la profunditat i orientació d'un objecte [KRA67], [NEW79].

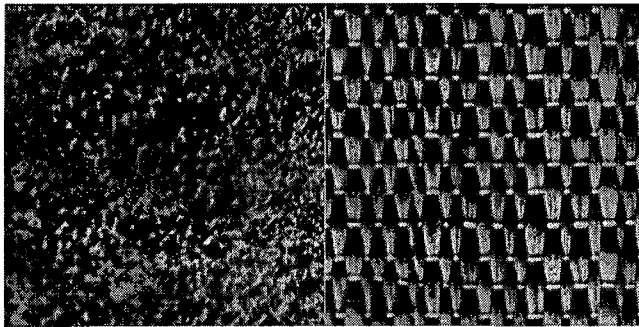
L'aplicació de l'anàlisi de textures apareix quan hi ha més d'una textura en la imatge. El problema és extreure regions cobertes per les mateixes textures, o el que és equivalent, detectar o trobar els contorns entre diferents textures. Això rep el nom de segmentació d'imatges per textures. La segmentació és, actualment, el primer pas per al reconeixement d'objectes perquè normalment cada regió correspon a un objecte individual, o cada contorn correspon a la frontera entre objectes diferents [TOM90].

A l'hora de trobar definicions costa posar-se d'acord amb el significat de segmentació d'imatges per textures; fins i tot, pocs autors donen una definició clara d'aquests termes com ara:

- "L'objectiu de la segmentació per textures és separar la imatge en regions de diferent comportament estadístic" [BOU91].
- "Segmentació és la partició o divisió d'una imatge en regions que són homogènies respecte una o més característiques de textura" [REE90].

Tot i que cada objecte té la seva textura específica, els éssers humans podem usar les textures com a pistes per a reconèixer moltes menes d'objectes en el món real. Per exemple, podem identificar les dues textures de la figura 1.1 com a herba i palla.

En el cas que no les poguéssim identificar, almenys les podríem distingir entre si, és a dir, les podríem segmentar.



**Figura 1.1.** Imatges de l'àlbum de Brodatz [BRO66].

Cal, però, esmentar certes limitacions que semblen inherents al sistema visual humà, a part de ser el sistema més complex mai conegut a l'univers. Durant molt temps, alguns científics han intentat trobar tasques perceptives que estiguessin més enllà de les capacitats de processament del sistema visual. Per tal de clarificar el paper que juga el sistema visual en la percepció, s'han limitat els estudis a tasques que involucrin la percepció pura, és a dir, tasques que poden ser realitzades espontàniament i que no requereixen cap ajuda del processament cognoscitiu del cervell que involucri escrutini o observació. La distinció entre percepció pura i cognició s'il·lustra millor amb alguns exemples.

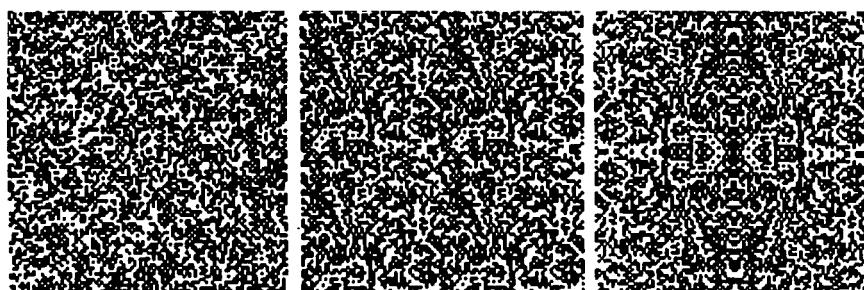
El primer exemple va ser plantejat per en Marvin L. Minsky i Seymour A. Papert del MIT. Consisteix en dos patrons espirals que resulten molt semblants l'un de l'altre (fig. 1.2 [JUL75]). Realment, un dels patrons està dibuixat amb una línia contínua mentre que l'altre no. Aquest fet no pot ser percebut espontàniament, s'han de traçar les línies punt a punt amb els dits o seguint amb els ulls per tal de convèncer a un mateix que un patró està format amb una línia seguida i l'altre no. Qualsevol tasca visual que no pugui ser realitzada espontàniament, sense esforç o deliberació, pot ser contemplada més aviat com a una tasca cognoscitiva que no pas perceptiva. És evident que es

podrien simplificar els patrons en espiral de Minsky-Papert fins al punt on la seva no-connexitat o la manca d'ella podria ser instantàniament aparent, fig. 1.3 [JUL75].



**Figura 1.2.** Distinció cognitiva.      **Figura 1.3.** Distinció perceptiva.

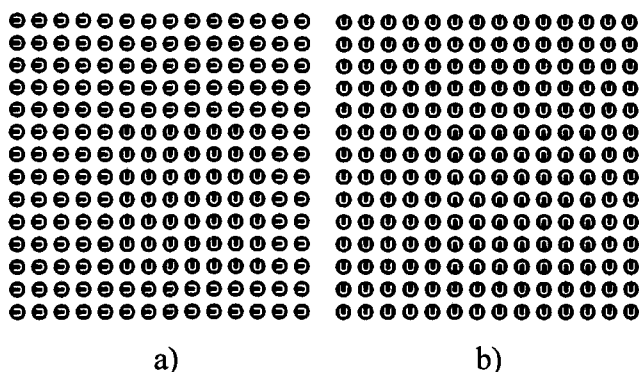
El segon exemple mostra, fins i tot, millor el que s'entén per percepció pura. La figura 1.4 mostra tres quadrats que contenen patrons de cel·les blanques i negres. El quadrat de l'esquerra té la distribució de cel·les blanques i negres totalment aleatòria. El quadrat del mig sembla tenir també una disposició aleatòria, però amb una observació més detallada, en canvi, es veu que està format per quatre quadrants, tots idèntics. Si agafem ara un dels quadrants i el girem al voltant de l'eix horitzontal i del vertical, obtindrem el patró de la dreta, en el qual es pot percebre sense esforç la doble simetria. En aquest exemple, la redundància dels quatre quadrants repetits i dels quadrants girats és la mateixa, encara que la simetria és perceptible i la repetició no.



**Figura 1.4.** Discriminació de textures.

Aquests exemples no volen mostrar les limitacions de la percepció visual sinó que intenten il·lustrar la diferència entre la percepció sense esforç i d'altres processos que requereixen escrutini.

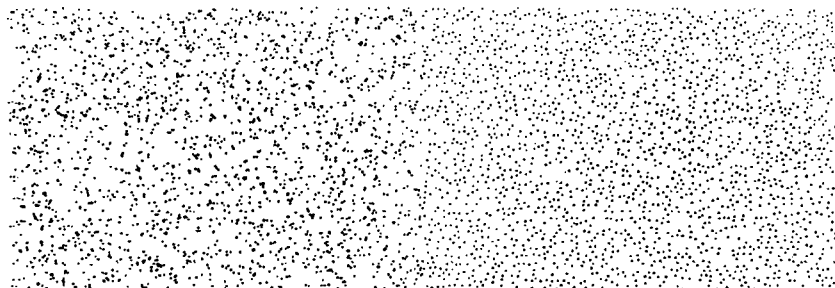
Cal definir el que s'entén per discriminació de textures. Si mirem la figura 1.5 es poden veure dos quadrats de punts negres contenint cadascun Us blanques. A més a més, cada quadrat conté una regió d'una determinada textura inserida en una regió de textura diferent. En el quadre de l'esquerra, les regions que contenen textures diferents poden percebre's d'un cop d'ull. En canvi, en el quadre de la dreta, les àrees definides per les dues textures no són immediatament evidents. Només després d'una observació acurada és possible detectar les Us que estan cap per avall dins un quadre sencer en el quadrat. Llavors, aquest quadrat serà considerat com format per un parell de textures no discriminables.



**Figura 1.5.** Discriminació de textures.

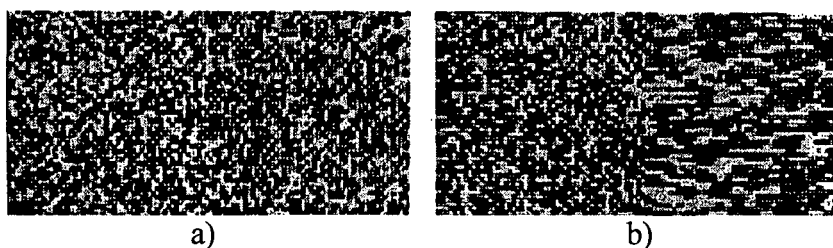
En el cas de les textures generades aleatòriament, aquestes es poden descriure pels seus estadístics de diferent ordre. Els estadístics de primer ordre fan referència a la lluminositat: es mira la freqüència de qualsevol punt donat de la textura que tingui una certa lluminositat. Per exemple, una textura pot tenir estadístics de primer ordre indicant que està composta per punts de només tres lluminositats: blanc, negre i gris, cadascun amb una probabilitat d'un terç. Una altra textura pot estar formada amb les tres mateixes lluminositats, però els punts negres tenen una probabilitat de 0.5 mentre que els punts blancs i grisos tenen una probabilitat de 0.25. Aquesta segona textura podrà ser fàcilment discriminable de la primera perquè apareixerà molt més fosca.

Considerem ara textures que comparteixen els estadístics de primer ordre però difereixen en els de segon ordre. En la figura 1.6 es mostra un parell de textures amb aquestes característiques. Tant el camp de l'esquerra com el camp de la dreta contenen un nombre igual de punts negres disposats aleatòriament, per això la il·luminació general dels dos camps serà la mateixa. No obstant, en el camp de la dreta, no es permet que dos punts negres caiguin dins un diàmetre de 10 punts, mentre que en el camp de l'esquerra no hi ha aquesta restricció. Clarament els estadístics de primer ordre de les dues textures, això és el *ratio* de punts blancs i negres, són els mateixos però els estadístics de segon ordre són diferents. La diferència pot ser demostrada i quantificada tirant un dipol  $r$  (com ara una agulla) sobre les dues textures i observant la freqüència amb la qual ambdós extrems del dipol cauen sobre punts negres. La probabilitat,  $f(r)$ , d'aquest fet sobre les dues textures serà bastant diferent i donarà una mesura de la diferència en els estadístics de segon ordre de les dues textures. Quan s'observen les dues textures, es veu instantàniament que tenen diferent granulositat.



**Figura 1.6.** Discriminació de textures.

[JUL75] usa un procés de Markov per a generar parells de textures amb idèntics estadístics de primer i segon ordre però diferents estadístics de tercer ordre. Una manera de descriure els estadístics de tercer ordre seria tirar un triangle sobre la textura i calcular les probabilitats amb les quals els tres vèrtex cauen sobre punts amb una determinada lluminositat. En la figura 1.7 es pot veure algunes de les imatges que Julesz va crear. En la figura 1.7 a), apareixen dues imatges que difereixen en els seus estadístics de tercer ordre, mentre que els de primer i segon ordre són idèntics. Tal com es pot apreciar, no hi ha discriminació possible entre les dues imatges i s'eludeix espontàniament la detecció. En la figura 1.7 b) apareixen dues imatges creades amb el mateix procés però que difereixen en els seus estadístics de segon ordre i, per tant, la discriminació és immediata.



**Figura 1.7.** Discriminació de textures.

El sistema visual humà és extremadament potent per a reconèixer objectes, però té algunes deficiències en l'estimació absoluta de nivells de gris, distàncies, àrees, ... Per descomptat, la qualitat i prestacions del sistema visual està relacionada amb com es processa la informació visual. Podem estar temptats de mesurar la potència d'un sistema de visió amb pocs elements representatius, com ara el nombre d'elements sensors i el nombre d'operacions que es poden realitzar per unitat de temps. La retina humana conté, aproximadament, 130 milions de fotoreceptors, molts més dels que podria contenir qualsevol integrat CCD. Comparat amb els computadors actuals, el temps de commutació dels elements processadors neuronals humans és, aproximadament, 10000 vegades més lent. Tot i que el nombre de receptors és molt superior commutant a molta més baixa velocitat, el sistema de visió humà és molt més potent que qualsevol sistema de visió per computador. Contínuament constatem el fet que estem analitzant escenes complexes en temps real i que som capaços d'actuar amb conseqüència.

En comparació amb el sistema visual humà, la potència d'un sistema de visió per computador és marginal. Un sistema de processat d'imatge digital en temps real només pot realitzar tasques de processat d'imatge elementals o molt ben definides, com ara control de qualitat en processos industrials. Tasques més complexes, tals com ara l'anàlisi de moviment o reconstrucció d'una escena tridimensional a partir d'imatges bi-dimensionals, requereixen un temps de processat molt elevat. Encara estem a anys llum d'aconseguir un processat d'imatge digital universal que sigui capaç d'interpretar i comprendre imatges tal com ho fem els éssers humans.

## 1.1. Objectius i descripció de la tesi.

Tal com es veurà en el següent capítol d'antecedents, existeixen formes molt variades d'afrontar l'anàlisi de textures però cap d'elles està orientada al càlcul en temps real (*video rate*). Degut a la manca de mètodes que posin tant d'èmfasi en el temps de processat, l'objectiu d'aquesta tesi és definir i desenvolupar un nou mètode d'extracció de característiques de textura que treballi en temps real. Per aconseguir aquesta alta velocitat d'operació, un altre objectiu és presentar el disseny d'una arquitectura específica per implementar l'algorisme de càlcul dels paràmetres de textura definits, així com també l'algorisme de classificació dels paràmetres i la segmentació de la imatge en regions de textura semblant.

En el capítol 2 s'expliquen els diversos mètodes més rellevants dins la caracterització de textures. Es veuran els mètodes més importants tant pel que fa als enfocaments estadístics com als estructurals. També en el mateix capítol se situa el nou mètode presentat en aquesta tesi dins els diferents enfocaments principals que existeixen. De la mateixa manera es fa una breu ressenya a la síntesi de textures, una manera d'avaluar quantitativament la caracterització de la textura d'una imatge.

Ens centrarem principalment, en el capítol 3, en l'explicació del mètode presentat en aquest treball: s'introduiran els paràmetres de textura proposats, la seva necessitat i definicions. Al ser paràmetres altament perceptius i no seguir cap model matemàtic, en aquest mateix capítol s'utilitza una tècnica estadística anomenada *anàlisi discriminant* per demostrar que tots els paràmetres introdueixen suficient informació per a la separabilitat de regions de textura i veure que tots ells són necessaris en la discriminació de les textures.

Dins el capítol 4 veurem com es tracta la informació subministrada pel sistema d'extracció de característiques per tal de classificar les dades i segmentar la imatge en funció de les seves textures. L'etapa de reconeixement de patrons es durà a terme en dues fases: aprenentatge i treball. També es presenta un estudi comparatiu entre diversos mètodes de classificació de textures i el mètode presentat en aquesta tesi; en ell es veu la bona funcionalitat del mètode en un temps de càlcul realment reduït. S'acaba el capítol amb una anàlisi de la robustesa del mètode introduint imatges amb diferents nivells de soroll aleatori.

En el capítol 5 es presentaran els resultats obtinguts mitjançant l'extracció de característiques de textura a partir de diverses aplicacions reals. S'aplica el nostre mètode en aplicacions d'imatges aèries i en entorns agrícoles i sobre situacions que requereixen el processament en temps real com són la segmentació d'imatges de carreteres i una aplicació industrial d'inspecció i control de qualitat en l'estampació de teixits. Al final del capítol fem unes consideracions sobre dos efectes que poden influenciar en l'obtenció correcta dels resultats: *zoom* i canvis de perspectiva en les imatges de textura.



En el capítol 6 es mostrarà l'arquitectura que s'ha dissenyat expressament per al càlcul dels paràmetres de textura en temps real. Dins el capítol es presentarà l'algorisme per a l'assignació de grups de textura i es demostrarà la seva velocitat d'operació a *video rate*.

Finalment, en el capítol 7 es presentaran les conclusions i les línies de treball futures que es deriven d'aquesta tesi, així com els articles que hem publicat en relació a aquest treball i a l'anàlisi de textures. Les referències bibliogràfiques i els apèndixs conclouen el treball.