

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 7. CONCLUSIONS.

7.1. Originalitat i aportacions realitzades.

L'objectiu marcat a l'inici d'aquesta tesi era aportar un mètode innovador i original al món del processat d'imatges i visió per computador en el camp de l'anàlisi de textures. En concret, l'objectiu ha estat caracteritzar la textura mitjançant un conjunt de paràmetres que s'han definit buscant un compromís entre la capacitat de discriminar les diferents regions texturades d'una imatge i el cost computacional que requereix aquesta discriminació. Amb aquest mètode es pretén segmentar la imatge en temps real (**capítol 1**).

La caracterització de la textura s'ha realitzat en base a l'extracció de descriptors visualment perceptibles que queden definits pels seus paràmetres corresponents i que formen els punts d'un espai n -dimensional de característiques de textura. Aquests paràmetres els hem anomenat: *linealitat*, *abruptitat*, *difuminat*, *granulositat* i *discontinuitat*.

Aquests paràmetres compleixen dos requisits que, conjuntament, els diferencien dels paràmetres obtinguts per altres mètodes d'extracció de característiques de textura: són visualment perceptius i, a la vegada, són extraïbles i quantificables en temps real a partir de la imatge d'entrada. Després d'analitzar i estudiar els mètodes més importants d'extracció de característiques i anàlisi de textures (**capítol 2**), es veu que cap d'ells està orientat al càlcul en temps real i no es proposa en cap treball dels consultats una arquitectura específica per a la implementabilitat dels algorismes presentats. Per tant, la definició dels paràmetres i la implementació d'una arquitectura específica per treballar a la velocitat d'operació de *video rate* és una aportació important d'aquesta tesi.

Aquests paràmetres han estat definits formalment i s'ha demostrat, amb tècniques estadístiques d'anàlisi discriminant, que aquests paràmetres són independents entre ells i que tots aporten un grau de discriminabilitat suficientment significatiu com per ser considerats descriptors vàlids de la textura d'una imatge (**capítol 3**).

Els paràmetres de característiques de textura extrets en temps real són tractats posteriorment per un sistema de classificació i segmentació per tal de generar grups de textura amb característiques semblants. Després de la classificació, es generen fronteres entre regions de textura diferents sobre la imatge original. També s'ha fet un estudi del comportament del sistema d'extracció de característiques de textura i classificació davant la presència de soroll aleatori. Amb aquesta anàlisi s'ha vist que el sistema és robust a pertorbacions elevades i la taxa d'error en la classificació dels elements de textura és relativament baix i, per tant, molt acceptable. Un altre estudi interessant és la comparació del mètode aquí presentat amb d'altres mètodes rellevants

d'anàlisi de textures i es contrasta l'elevat grau d'encerts en la classificació de textures donat el baix temps de càlcul dels paràmetres (**capítol 4**).

L'objectiu inicial de la tesi doctoral s'ha assolit, però immediatament sorgeix la qüestió de segmentar també en temps real la imatge a partir de les dades que proporciona l'extractor de característiques de textura, .

Per això, es proposa un algorisme de classificació que en la seva fase de treball permet classificar qualsevol tèxel (mostra) a la freqüència de vídeo. Com a innovació i millora a aquest algorisme s'estudia la possible inclusió d'un mètode variacional el qual no només classifica els tèxels sobre l'espai n -dimensional de característiques de textura sinó que també té en compte la disposició espacial sobre el domini imatge d'aquests tèxels a classificar. L'algorisme treballa sobre la base de minimitzar un funcional d'energia que s'ha definit per a tal efecte. L'ús d'aquest mètode permet millorar àmpliament la classificació respecte a la utilització de tècniques convencionals de *clustering* (**capítol 4**).

Després de completar el treball, podem dir que s'han assolit els objectius marcats. Les **aportacions** realitzades en aquest treball, per tant, són:

1. Definició i aplicació d'un nou mètode d'extracció de característiques de textura dissenyat per a treballar en temps real. Es realitza un estudi sobre l'elecció més adient de paràmetres altament perceptius i es crea el mètode basat en màscares patró, justificant matemàticament la seva generació. Els paràmetres són independents entre ells, tal com es demostra amb una anàlisi multivariant de dades. Es proposa l'arquitectura específica per al càlcul dels paràmetres i generació dels elements de textura per ser implementada amb un dispositiu FPGA.
2. Algorisme de classificació amb dues fases: aprenentatge i treball; aquesta última fase es durà a terme en temps real i s'implementa i justifica l'algorisme que ho permet. Així mateix, es proposa una millora a la segmentació usant un funcional d'energia combinant dos espais d'informació, l'espai de característiques de textura i l'espai bidimensional del domini imatge.
3. Aplicació del nostre mètode d'extracció de característiques de textura en tres àmbits diferents:
 - Segmentació d'imatges aèries i entorns agrícoles: aquesta és una aplicació en la qual les textures juguen un paper important a l'hora de la segmentació de regions de textura.
 - Reconeixement i segmentació de carreteres: en aquesta aplicació es discriminen zones de conducció pel guiatge automàtic de vehicles, ja siguin autònoms o com ajuda als vehicles no autònoms o teleoperats.
 - aplicacions industrials en inspecció i control de qualitat, com ara inspecció de teixits per buscar defectes o tares.

Després d'avaluar teòricament el mètode dissenyat a partir de les imatges patró de Brodatz, que serveixen de referència mundialment acceptada, s'ha experimentat en les aplicacions anteriors. S'ha fet un estudi de la viabilitat dels nostres paràmetres per a la segmentació d'aquests tipus d'imatges amb resultats satisfactoris. S'han escollit aquestes quatre aplicacions pel següent motiu: volem demostrar la capacitat discriminatòria entre textures del nostre mètode en aplicacions on es requereixi operar en temps real (carreteres i aplicació industrial) i en aplicacions on la qualitat està per sobre del temps real (imatges aèries i entorns agrícoles). Alguns dels treballs que hem publicat fan referència al problema de la segmentació en temps real en aquests tipus d'aplicacions.

7.2. Treballs futurs de recerca.

Al llarg del desenvolupament d'aquest treball, han anat sorgint diferents qüestions i noves idees que s'apartaven de l'objectiu inicial de la tesi. Els nous reptes que s'anaven plantejant al llarg del temps eren realment engrescadors i, de fet, una d'aquestes idees es van incloure com a objectiu de la tesi (introducció del funcional d'energia en la classificació). Però, òbviament, moltes d'aquestes noves qüestions s'han deixat obertes per a possibles investigacions futures. Per citar algunes, podríem aprofundir sobre les següents qüestions.

1. Ampliació de l'àrea d'exploració de la imatge sobre la qual es busquen les característiques de textura. Donat l'evident augment de la capacitat discriminatòria en l'ús d'unes màscares de mida superior a la utilitzada en aquest treball (4x4), seria interessant continuar la investigació usant màscares de 5x5, 6x6 o 7x7 elements, absorbint l'increment no-lineal del nombre de combinacions que es generen a causa de l'increment de la mida de les màscares.
2. Variació adaptativa de la mida dels elements de textura per: primer, optimitzar-ne el nombre a l'hora de la classificació i comprimir les dades, i segon, definir millor la textura que caracteritzen.
3. Estudiar, per certes tipologies d'imatges, processats de més alt nivell que permetin una millor descripció de l'escena, integrant altres informacions extretes també en temps real, o bé fent ús de les restriccions o coneixements *a priori* del tipus d'escena a analitzar.
4. Seguir les investigacions per una línia més enfocada al càlcul variacional i a trobar altres funcionals d'energia que millorin la classificació amb mètodes clàssics, i fins i tot, que constitueixin per si sols el classificador.
5. Addició de nous paràmetres de textura, perceptuals o no, per millorar la segmentació i superar el nombre d'encerts en la classificació que s'assoleix amb els paràmetres actuals (transformades, co-ocurrència, ...).
6. Implementació VLSI de l'algorisme presentat.

7.3. Publicacions relacionades amb la investigació personal sobre anàlisi i reconeixement de textures.

L'anàlisi i reconeixement de textures és un tema d'investigació dins la línia de recerca en el nostre departament. S'ha estat investigant els darrers anys en diversos mètodes relacionats amb el món de la textura. Des del meu punt de vista personal, aquests temes m'han interessat des de que vaig entrar a treballar al departament. Els diferents investigadors que he anat coneixent m'han endinsat en el camp de les textures (entre d'altres temes), la prova d'això són les diverses publicacions realitzades al llarg d'aquests anys. La culminació d'aquestes investigacions, però no el cim, és la present tesi doctoral.

Les publicacions derivades de les investigacions al voltant de l'anàlisi i segmentació per textures són les següents:

- [1] Català, A., i Grau, A., "Image Segmentation Using Neural Texture Analysis", *International Esprit Basic Research Action Workshop, BarnaImage'91*, Barcelona, 1991.

Resum: Es presentava un estudi per a l'anàlisi de textures mitjançant xarxes neuronals. La tasca era separar diferents regions en una imatge basant-se en les pròpies dades texturals de la imatge. S'extreien dues característiques de la imatge (contorns i punts singulars) per entrenar una xarxa neuronal i fer un aprenentatge per reconèixer i segmentar una imatge segons les seves textures.

- [2] Casals, A., Amat, J., i Grau, A., "Texture Parametrization Method for Image Segmentation", *Proc. 2nd European Conf. on Computer Vision, ECCV'92*, Itàlia, pp. 160-164, 1992.

Resum: És en aquest treball on es fixen les bases del que actualment és la present tesi doctoral. Es defineixen diverses característiques de textura que representaran el contingut textural d'una imatge. Es busca aconseguir alta velocitat d'operació per extreure la informació de les imatge i representar-la en forma de paràmetres de textura. A partir de les definicions presentades aquí, es comença a treballar en la tesi.

- [3] Català, A., Grau, A., Morcego, B., i Fuertes, J.M., "A Neural Network Texture Segmentation System for Open Road Vehicle Guidance", *Proc. of the Intelligent Vehicles '92*, Detroit, USA, pp. 247-252, 1992.

Resum: Paral·lelament al treball anterior, es publica aquest article amb una clara aplicació: guiat automàtic de vehicles en carreteres obertes segons la informació textural obtinguda en temps real de les imatges captades pel propi vehicle. S'implementa el mètode de reconeixement a partir de xarxes neuronals i es proposa la implementació d'una xarxa per l'anàlisi en temps real de dos paràmetres de textura.

- [4] Grau, A., "Mètode d'extracció multiparamètrica de característiques de textura orientat a la segmentació d'imatges", *1r Seminari de treball en Automàtica, Robòtica i Percepció*, pp. 197-210, 1996.

Resum: Després d'haver depurat el treball publicat en [2], es presenta aquest capítol de llibre en el qual ja s'han definit clarament els paràmetres de textura a utilitzar i s'en justifica matemàticament la seva independència entre ells.

- [5] Grau, A., i Casals, A., "Image Segmentation Using Texture Descriptors", *VII Symposium RFAI*, Bellaterra, pp. 128-134, 1997.

Resum: En aquest article es publiquen els darrers avenços en el treball referent a la tesi: s'incorpora una anàlisi discriminant dels paràmetres per fixar-ne el nivell d'aportació d'informació que ens dona cadascun i es presenta el mètode usat en la segmentació de la imatge a partir dels descriptors de textura extrets de la imatge.

- [6] Grau, A., "Template Masks for Real Time Edge Thinning", *VII Symposium RFAI*, Bellaterra, pp. 67-69, 1997.

Resum: Un dels requisits en l'extracció de característiques de textura en [5], és que com a entrada es necessita una imatge de contorns aprimats. En el nostre sistema d'extracció de característiques de textura no serveix de res que els paràmetres s'extreguin a temps real si les dades no poden ser servides a alta velocitat. Ens trobem en un coll d'ampolla que sembla solucionat amb l'algorisme d'aprimat de contorns en temps real que aquí es presenta. Es detalla també la seva implementació *hardware*.

- [7] Grau, A., Saludes, J. i Casals, A., "Improved Textured Images Segmentation Using an Energy Functional", *9th International Conf. on Image Analysis and Processing, ICIAP'97*, acceptat per presentació, Florència, Itàlia, 1997.

Resum: En aquest article es defineix un funcional d'energia que s'usa en la etapa de classificació de les mostres en grups de textura. Es combina la informació de l'espai de característiques (n -dimensional) amb la informació del pla imatge per saber la posició real de les mostres de textura. Es demostra que la utilització del funcional d'energia incrementa notablement el nombre d'encerts en la classificació i, per tant, en la segmentació de regions per textura.

- [8] Grau, A. i Casals, A., "Real Time Architecture for Texture Feature Extraction applied to Road Segmentation", *3rd International Conf. on Road Vehicle Automation*, en procés d'acceptació, 1997.

Resum: Donada la importància de la visió per computador com a element sensorial en el guiatge automàtic de vehicles, autònoms o no, es presenta en aquest article l'arquitectura per a l'implementació del mètode d'extracció de característiques de textura per operar a *video rate* presentat en aquesta tesi.

Aquesta tesi no significa un punt i final en el tema de les textures. Crec que serà un fort impuls, no només per a mi mateix, sinó per a d'altres investigadors d'aquest o d'altres departaments i que els animarà a seguir treballant i a buscar resultats en el món del processat d'imatges, i en concret en l'anàlisi i reconeixement de textures.