

# Capítol 7

## Conclusions

### 7.1 Aportacions

El problema de la detecció de simetria és molt extens a conseqüència de l'existència de diferents tipus de simetria i a un ampli ventall d'aplicacions que requereixen tractaments diferents. Els diferents camps d'aplicació porten a utilitzar diferents punts de vista. Per un costat, les aproximacions que consideren la simetria una característica discreta que s'identifica per l'existència d'uns eixos de simetria els quals s'utilitzen entre altres coses per la descripció d'escenes, la localització i orientació de formes, inferència del 3D o, quant es permeten eixos curvilinis, la descripció de les formes. Per un altra costat, les aproximacions que consideren la simetria una característica continua, les quals avaluen el grau de simetria de les formes i poden facilitar la reconstrucció o la identificació de formes. La dificultat augmenta alhora de concretar els algorismes de detecció ja que els costos de computació que apareixen són molt alts, sobretot si s'obtenen a partir d'un anàlisi local.

El nostre camp d'interès, com hem dit en altres ocasions al llarg d'aquesta tesi, és la robòtica amb informació visual, de forma que ens hem inclòs a les aproximacions que consideren la simetria com una característica discreta, per tal d'obtenir uns eixos de

simetria ben definit que puguin aportar coneixement de la localització i orientació de les formes.

El primer pas alhora d'abordar un problema amb un alt nivell de complexitat i extensió com aquest, consisteix en millorar la relació entre les dades totals i les dades útils. Un gran nombre d'autors utilitzen agrupacions de punt de contorn com ara arcs, B-splines, etc. per aconseguir aquest objectiu. Dins d'aquest nivell la proposta que hem presentat, consisteix en treballar a partir dels segments rectilinis de les imatges, evidentment en escenes on aquests són predominants, tal com construccions artificial o entorns estructurats.

Per altre banda, hem considerat la problemàtica, sempre present en imatges d'escenes reals, de la degradació dels contorns o de les oclusions obtenint la simetria a partir d'un mètode basat en la contribució de totes les parelles de segments de la imatge i que li dona una certa insensibilitat a aquestes problemàtiques, així com al soroll. Aquesta metodologia ens inclou necessàriament a les aproximacions basades en un anàlisi local. Això permet obtenir la simetria a partir de subconjunts de punts de la imatge i per tant no precisa de cap tipus de segmentació prèvia de formes, per tal de poder aplicar l'algorisme, tal com succeeix quan s'utilitza una metodologia basada en un anàlisi global.

Finalment, per tal d'aproximar el mètode al camp d'aplicacions de temps real hem, abordat la millora del temps de processament mitjançant la paral·lelització d'una part del procés i l'obtenció d'un processador dedicat .

Concretament i de forma més explícita detallem a continuació les aportacions més rellevants:

- S'ha obtingut un algorisme eficient de detecció de simetria de reflexió en imatges on predominen els segments rectilinis, com és el cas de construccions artificial o entorns estructurats. El mètode basat en l'anàlisi local de les parelles de segments rectilinis de la imatge, mostra els avantatges de l'aproximació local, és a dir, la robustesa en front de les oclusions i per el fet de consistir en un mètode contributiu, millora les

desavantatges d'aquesta aproximació, és a dir, la sensibilitat al soroll i l'estabilitat. Aquest resulta és possible per el fet que la aparició o desaparició fortuïta de segments rectilinis no afecta significativament el resultat. Aquest resultat es pot considerar, com la superació, en part, del dilema anàlisi global versus anàlisi local.

- Els mètodes de detecció de simetria no inclouen com a característica fonamental l'obtenció de l'abast de la simetria es a dir obtenir amb precisió la llargada dels eixos de simetria. La majoria de mètodes es conformen en proporcionar eixos de simetria consistents en rectes infinites. S'ha abordat aquesta problemàtica i tot i que representa un augment de la complexitat considerable, s'ha aconseguit proporcionar la llargada dels eixos de simetria i caracteritzant-los amb precisió a partir d'un punt inicial i final.
- Com és sabut l'aproximació local, al marge de les problemàtiques de la sensibilitat al soroll i la inestabilitat, té la problemàtica afegida que proporciona un nombre elevat de eixos de simetria excessivament locals i per tant poc significatius de forma que es precisa sempre d'un posterior processament d'alt nivell addicional per detectar els més importants. La característica contributiva del mètode presentat, ha permès proporcionar els eixos local amb una ponderació associada segons la seva importància, que resol en gran part la problemàtica anterior.
- Des de el punt de vista de la precisió el mètode pròpiament dit no genera error per el que respecte a la posició, llargada i orientació del eixos, si els segments rectilinis de la imatge han estat detectats amb precisió. Dit d'una altre forma els error observats són deguts exclusivament als errors de partida en la detecció dels segments rectilinis obtingut de la imatge. Tot i així, de forma més o menys aleatòria, poden aparèixer falsos eixos de simetria a causa de que qualsevol parella de segments rectilinis situats en posició relativa adequada pot generar segments de contribució locals encara que no tinguin a veure amb la simetria existent a la imatge. Hem vist al aplicar el mètode, que l'acumulació casual d'aquest segments en una determinada zona, pot donar lloc a la detecció de falsos eixos locals. Val a dir, que en els casos que hem observat

aquest fenomen, aquest eixos ens apareixien amb una ponderació de importància relativa baixa.

- Una constant de l'aproximació local és l'alt cost de computació. En aquest sentit el mètode presentat té dos dels tres processos dels quals es compon amb aquesta problemàtica. Per un costat l'obtenció del que hem anomenat segments de contribució a la simetria i per l'altra l'obtenció del mapa d'acumulació dels píxels que componen els segments. La coincidència d'una part del càlcul del mapa d'acumulació, amb la problemàtica d'obtenir el conjunt de píxels que aproximen un segment rectilini, coneguda a la bibliografia com el problema del traçat de línies, ha fet que ens interessem en primer lloc amb millorar el temps de processament d'aquest procés. Així hem obtingut un algorisme paral·lel molt simple i eficient el qual supera les tècniques incrementals, per el fet que els càlculs per l'obtenció dels píxels que aproximen el segment són independent els uns dels altres. Aquest últim punt representa una avantatge molt important a l'hora d'una implantació en paral·lel, ja que no es precisa de comunicació entre els diferents processadors a conseqüència de la independència dels càlculs. Per altra banda la senzillesa i la independència dels càlculs anteriors obren la via a l'implementació *Hardware*.
- S'ha dissenyat un processador dedicat que implementa l'algorisme anterior, el qual treballa al 100% en paral·lel, que té la capacitat d'obtenir i emmagatzemar simultàniament, en una matriu de registres de píxel, el conjunt de píxels que aproximen, en el pla discret, un segment rectilini caracteritzat per els seus punts inicial i final i el que és més important: en un sol període de rellotge.
- S'ha modificat l'arquitectura del processador per dotar-lo de la capacitat de calcular el valor d'acumulació ponderat, per tal d'obtenir el mapa d'acumulació dels segments de contribució a la simetria. S'ha obtingut una versió simplificada amb una matriu 32X32 amb tecnologia d'alta escala d'integració VLSI de 0,7 $\mu$ m, en un sol circuit. La simulació del disseny VLSI obtingut ha demostrat la capacitat de processar en el pitjor dels casos de 17,2 Mega Segments/segon i 57,3 Mega segments/segon en les

condicions més favorables. Aquest resultat permet menystenir el temps d'obtenció del mapa d'acumulació respecte els altres processos en ser 3 ordres de magnitud inferior. Simulacions posterior en mostrat que es poden obtenir matrius de píxels de, com a mínim, un grau de magnitud superior migrant a una tecnologia de  $0,35\mu\text{m}$

## 7.2 Futures línies de recerca

En el decurs de l'elaboració d'aquesta tesi s'han suscitat diferents idees de millora i ampliació, que hem considerat fora dels objectius inicials i que presentem a continuació com a línies de treball:

(a) En referència a l'algorisme de detecció de simetria de reflexió:

- *Estudiar la possibilitat d'estendre el mètode a la detecció de simetria obliqua.*

Com s'ha vist en el desenvolupament i en els resultats el mètode tal com ha estat concebut i desenvolupat precisa un punt de vista particular entre la càmera i l'escena, de manera que es conservin les propietats de la simetria de reflexió en el pla de projecció. Seria, per tant, un gran avenç superar aquesta restricció i estendre-la a la simetria obliqua.

- *Elaborar un conjunt de regles que permetin descartar els segments de contribució que no tinguin sentit des del punt de vista de la simetria.*

La pròpia definició de segment de contribució fa que qualsevol parella de segments rectilinis situats en posició relativa adequada, generi segments de contribució locals encara que no tinguin a veure amb la simetria existent a la imatge. Hem vist que al aplicar el mètode, la acumulació casual d'aquest segments en una determinada zona, pot donar lloc a

la detecció de falsos eixos locals. Es tracta doncs d'identificar sota quines condicions els segments de contribució provenen de la simetria real a l'escena i elaborar un conjunt de regles que s'aplicarien abans d'obtenir el mapa d'acumulació. Aquesta millora augmentaria també la precisió en la ponderació relativa dels eixos locals obtinguts.

- *Explorar els camps d'aplicabilitat*

Com veurem en el apartat següent l'estudi d'aplicació ha esta només iniciat en dos de les diferents possibilitats. Es tracta de veure com afecten les dues restriccions del mètode en el moment de la seva aplicació, és a dir: el fet de treballar amb simetria de reflexió, que exigeix un determinat punt de vista entre la càmera i l'escena i de la necessitat d'agrupacions de segments rectilinis a ambdós costats de la simetria per a ser detectada. A primera vista això només invalidaria la detecció de la simetria en objectes o formes molt simplificades.

b) Respecta la millora del temps de processament:

- *Millora del temps d'obtenció dels segments de contribució a la simetria  $\overline{SCSL}$*

El nombre de segments de contribució a la simetria segueix una llei quadràtica respecte el nombre de segments rectilinis de la imatge de partida. Tot i que el mètode treballa a partir dels segments rectilinis mínimament significatius, el cost de computació d'aquesta etapa, a partir del càlcul analític, és elevat i en conseqüència el temps de processament excessiu.

Proposem assajar la capacitat de les xarxes neurals, per tal d'obtenir els segments de contribució. En cas que el temps de processament no pugui ser millorat, no quedaria altre alternativa que seguir el mateix procediment que en el cas del mapa d'acumulació, és a dir, paral·lelitzar l'algorisme i, si cal, obtenir, una implementació hardware.

c) Respecta la millora del processador dedicat:

- *Completar la migració a la tecnologia de 0,35m*

El disseny VLSI que hem presentat és una versió simplificada del processador, per una matriu de píxels de 32X32. Hem vist que la migració a una tecnologia de 0,35m amb tres capes de metall, per el que fa a la cel la de píxel, a donat un resultat espectacular consistent en un factor de reducció d'àrea de 7,7. El fet de ser el mòdul més replicat de l'arquitectura fa preveure una millora d'àrea considerable. Es tracta doncs d'obtenir les dimensions  $N \times M$  màximes possibles de la matriu de píxels implementada en un únic circuit i comprovar si es mantenen les prestacions en temps de processament.

- *Assajar la versió full custom*

Una implementació a mida de la cel la de píxel donaria l'àrea òptima d'aquesta unitat. Com en el cas anterior l'alta replicació a que està sotmesa la cel la dins el processador ( $N \times M$ ), juntament amb el fet que la matriu de cel les de píxel representa el 90% de tota l'arquitectura fa pensar en una millora d'àrea espectacular. Aquesta prova ens donaria el sostre actual en quant a la màxima resolució  $N \times M$  de les imatges que podríem tractar. Caldria també obtenir els resultats de la freqüència màxima de treball i potència de càlcul.

d) Respecta les aplicacions gràfiques de processador

- *Obtenir un disseny d'alta escala d'integració del processador dedicat al traçat de segments rectilinis*

El disseny VLSI que hem obtingut és el processador complet amb les prestacions de càlcul del mapa d'acumulació. La cel la de píxel del circuit amb la capacitat d'obtenir i emmagatzemar el conjunt de píxels del pla discret, que aproximen un segment rectilini caracteritzat per els seus punt inicial i final, és significativament més simplificada. La millora en el temps de processament respecta el processador complet es pot estimar teòricament amb els resultats de la simulació que hem presentat en el capítol 6. No obstant

per esbrinar la màxima resolució de traçat que es pot obtenir en un únic circuit hauríem d'obtenir el disseny simplificat i seguir el procés de migració de tecnologia que hem exposat en el punt anterior.

- *Esbrinar noves aplicacions gràfiques de l'arquitectura*

De la mateixa manera que l'arquitectura és capaç d'obtenir i emmagatzemar el conjunt de píxels del pla discret, que aproximen un segment rectilini caracteritzat per els seus punts inicial i final, de forma simultània i amb un únic període de rellotge; pensem que amb petites modificacions de l'arquitectura, podríem obtenir també, simultàniament i en un sol període de rellotge, els píxels que compleixen amb altres configuracions geomètriques. Un del casos més interessant seria detectar els píxels que omplen un triangle, que és un altre configuració gràfica bàsica com el del segments rectilinis. Es tracta doncs d'estudiar les modificacions de l'arquitectura per tal d'ampliar l'espectre configuracions geomètriques sobre les que pot treballar.

### **7.3 Camps d'aplicació**

Ja hem dit en moltes ocasions al llarg d'aquesta tesi que el ventall d'aplicacions de la simetria és molt ampli. També hem manifestat un interès particular per el subgrup d'aplicacions relacionats amb la robòtica i especialment quan una part de la informació del món és de tipus visual. Així les restriccions que hem imposat de partida al mètode de detecció de simetria, per tal de reduir la complexitat, han estat condicionades en part per aquest interès.

S'han fet dues proves d'aplicabilitat, d'entre totes les possibilitats, que han estat publicades, la primera, en la navegació automàtica d'un robot mòbil a partir de la informació de l'eix de simetria més important detectat per el mètode i la segona, una prova de control de qualitat en teixits amb estampats repetitius.



Presentem a continuació el conjunt d'aplicacions que podrien fer ús del mètode de detecció de simetria que hem obtingut :

- Navegació de vehicles autònoms
- Inspecció de textures repetitives
- Ajut a l'aprensió en robòtica
- Localització d'objectius
- Seguiment
- Reconeixement de marques

#### **7.4 Publicacions a que ha donat lloc els treballs d'aquesta tesi**

Marès P, Martínez A.B., *"Recull sobre la detecció de simetries"*, Seminari de treball en Automàtica, Robòtica i Percepció. Barcelona, Febrer de 1996.

Marès P, Martínez A.B., *"Reflexive Symmetries Axis Detection"*, VII Simposium Nacional de Reconocimiento de Formas y Analisis de Imágenes, Bellaterra (Barcelona), Abril 1997

Marès P, Martínez A.B., *"Memory Architecture for parallel Line drawing Based on non Incremental Algorithm"*, 26<sup>Th</sup> Euromicro conference *EUROMICRO'2000*, Maastricht, The Netherlands, Maig 2000

Marès P, Martínez A. B., *"Detection of local Symmetry Reflection Axes"* International Conference in Image and Signal Processing, ICISP'2001. Agadir, Morocco, Abril 2001

Marès P, Grau A., Martinez A.B., “*Fault Detection in Textured Pattern By Local Symmetry reflection axes*”, International Conference on Quality Control By Artificial Visión, QCAV’20001, Le Creusot, France, Abril 2001

Marès P, Grau A., Martinez A.B. “*Robot Navigation by Visual Local Symmetry Reflection Axes*”, 8<sup>th</sup> IEEE International conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA’2001, Antibes, France, Octobre 2001