

Capítol 5

Resultats obtinguts

5.1 Resultats sobre imatges sintètiques

Per tal de tenir una primera visió sobre les possibilitats de l'algorisme obtingut treballarem inicialment amb imatges sintètiques, que compleixen les restriccions de partida que ens hem imposat i creades amb la intenció de detectar les imprecisions del algorisme. Recordem que el mètode de detecció de simetria presentat en el capítol 3, es limita exclusivament a imatges on les línies rectes són predominants i que inclou una part de processament de imatge inicial, amb l'objectiu bàsic d'obtenir les línies rectes acotades de la imatge, tal com es va descriure en els apartat 3.5. Els algorismes utilitzats en aquest processament, basats fonamentalment en la transformada de Hough, generen uns errors en la posició, la llargada i la inclinació de les rectes detectades que ja estan acotats. El mètode presentat té com a punt de partida les rectes obtingudes en aquest procés, caracteritzades en un llista de punts inicials i finals. Les imprecisions anteriors s'arrosseguen en el mètode i provoquen errors de partida, que poden afectar la detecció de determinats eixos de simetria o generar errors en la seva posició, llargada i inclinació, al marge dels errors intrínsecs del propi mètode.

Per tal d'esbrinar les problemàtiques provocades exclusivament per el mètode de detecció que hem presentat, farem una primera prova en la que proporcionarem

directament a l'algorisme una llista de línies rectes (coordinades de punts inicial i finals) les quals configuren una forma amb un alt contingut de simetria (veure Fig. 5.1(a)). Aquesta metodologia permet estalviar-nos el processament d'imatge previ i els errors implícits de partida.

5.1.1 Resultat sobre una llistat de segments rectilinis amb una distribució d'alt contingut de simetria

La llista de partida consta de 54 segments rectilinis dóna lloc a 883 segments de contribució a la simetria \overline{SCSL} amb llargada significativa ($L_{min}=15$ píxels) que, tal com es va explicar en l'apartat 3.4.2, no són altra cosa que la intersecció de les projeccions de totes les parelles de segments de la llista sobre la seva bisectriu (*Eix Virtual*).

A la Fig. 5.1 (b) es pot veure el mapa d'acumulació a que ha donat lloc el conjunt de segments de contribució \overline{SCSL} , construït a partir dels valors d'acumulació resultants de les superposicions ponderades, dels píxels que configuren aquells segments \overline{SCSL} , tal com s'ha desenvolupat en l'apartat 3.7.

Per tal de visualitzar els valor d'acumulació dels píxels dels segments hem utilitzar una paleta de colors, on els colors més freds indiquen poca acumulació, mentre que els colors més càlids indiquen molta acumulació. El color negre indica la zona d'acumulació nul la on no ha coincidit cap segment de contribució. Aquest color constitueix un fons majoritari per el fet que la imatge de partida conté poques línies rectes (54), amb un alt contingut de simetria, de forma que es generen pocs segments de contribució (883) i en zones molt concretes.

Podem observar a la Fig 5.1 (b). que la màxima acumulació es dóna al centre de la imatge (colors verds i vermells), que és la zona de més simetria i en la qual els colors es van degradant cap el blau a mesura que s'allunyen del centre de simetries. Contràriament apareixen línies d'acumulació en zones on no hi ha simetria, tal com es pot veure a la imatge, sobretot sota la teulada inferior. Això és produït per causa de l'existència de parelles de segments rectilinis de la imatge de partida, que tot i no contribuir a la simetria generen segments de contribució \overline{SCSL} que es superposen de forma casual. Lògicament aquesta superposició o acumulació casual no és molt freqüent per la qual

cosa el seu valor d'acumulació es baix (colors blaus a la imatge) i no superaren la fase d'extracció dels eixos.

Cal observar també que la línia amb més acumulació de tota la imatge (color vermell segons la paleta de colors) es dona sobre l'eix de simetria de la teulada inferior. Això apareix per dos motius; per un costat la teulada es beneficia de l'efecte de la ponderació generada per l'angle format per les parelles de segments de la teulada. Recordem que s'associa un valor de ponderació a cada segment de contribució, el qual té en compte la

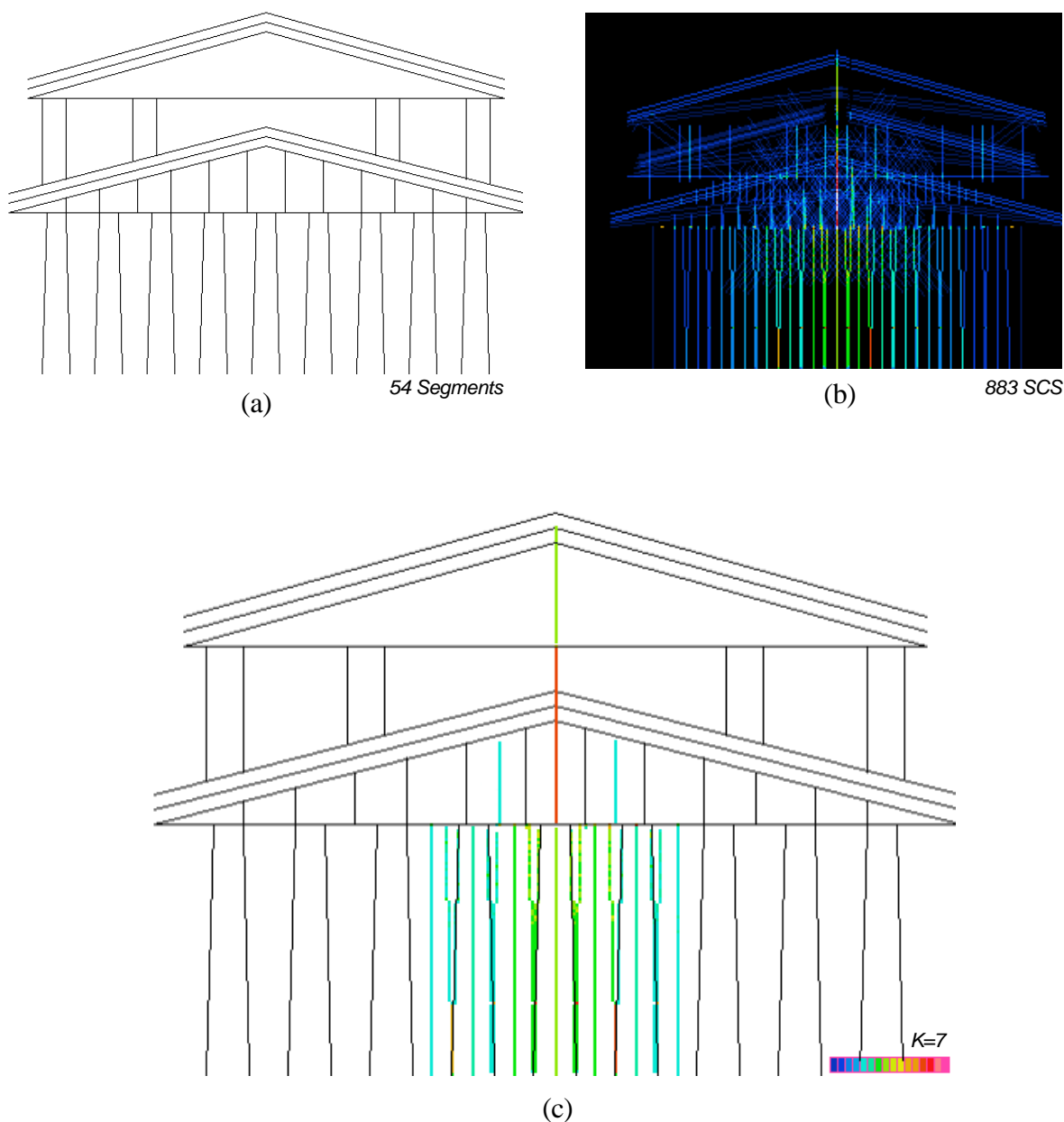


Figura: 5.1: Resultat sobre un llistat de segments distribuïts de forma simètrica i precisa.

(a) Visualització del llistat de segments. (b) Mapa d'acumulació. (c) Eixos locals resultants

llargada de la parella de segments que l'han generat. Tal com es va mostrar en l'apartat 3.4.3 el motiu d'aquesta ponderació, és compensar la disminució de llargada del segment de contribució \overline{SCSL} a mesura que augmenta l'angle format per la parella de segments que el generen. Per l'altra costat, tal com es pot veure a la Fig 5.1 (a), la simetria de la teulada ve reforçada per els segments que configuren les petites columnes disposades simètricament a la seva part inferior .

Per altra banda apareixen punts singulars amb valors d'acumulació elevats provocats per encreuaments de segments de contribució \overline{SCSL} de forma que el punt d'intersecció té una forta superposició. Només en el cas, que inicialment sembla improbable, que aquests punts formin alineacions rectilínies amb densitat suficient es podria produir la detecció de falsos eixos locals.

Finalment, a partir del mapa d'acumulació de segments de contribució obtingut, l'algorisme d'extracció ens donarà un conjunt d'eixos de simetria local acotats en llargada i ponderats, segons la importància relativa de l'eix respecta la simetria de la distribució de partida. Recordem que aquest algorisme ressegueix en el mapa d'acumulació anterior, les alineacions rectilínies de principal acumulació a partir del mapa d'acumulació de direccions de màxima superposició (\mathbf{r}, \mathbf{q}) , calculat paral·lelament, segons es va explicar en l'apartat 3.8.1. L'algorisme acota els eixos locals, a partir de les discontinuïtats en els valors d'acumulació dels píxels que configuren els segments de contribució \overline{SCSL} , segons es va veure a l'apartat 3.8.2. Finalment, es calcula la importància de l'eix local com la mitjana estadística dels valors d'acumulació dels píxels que configuren l'eix local en qüestió.

A la Fig 5.1 (c) es pot veure el conjunt d'eixos locals obtinguts on hem utilitzat la paleta de colors, situada a la part inferior dreta de la imatge, per mostrar la importància relativa de cada eix local, és a dir, la ponderació associada. A la vista d'aquests resultats es poden fer les següents observacions:

- Els eixos de simetria principals de la imatge han estat detectats correctament sense errors en la posició, la inclinació i la llargada considerant el píxel com unitat de mesura.

- Els eixos locals falsos (acumulacions casuals de segments de contribució en determinades zones) han estat eliminats.
- Els eixos locals reals de menor importància no s'han pogut preservar ja que han estat eliminats per el fet de tenir valors de acumulació semblants als falsos eixos.
- L'eix de simetria global de la imatge està format per tres eixos locals amb diferent ponderació però amb una mitjana superior a la resta la qual cosa pot permetre la seva detecció.
- Els errors en la posició llargada i inclinació dels eixos detectats seran imputables als errors produïts en el procés d'extracció de les línies rectes de la imatge i posaran en dificultat l'algorisme de detecció per el fet que apareixerà una dispersió espacial en els valors d'acumulació. Haurem d'esperar els resultats en les properes proves per tal de valorar la importància d'aquest fenomen.

Val a dir que amb el tipus d'imatge que hem utilitzat, amb un nombre limitat de segments i amb la simetria molt explícita es pot esperar l'aparició de problemes posteriors que aquí no s'han explicat.

Per tal de avaluar de quina manera afecten les imprecisions en la posició, inclinació i llargada produïdes en l'extracció de les rectes, presentarem a l'algorisme el mateix conjunt de segments que en aquest cas, però mitjançant una imatge, enlloc d'un llistat de segments. D'aquesta forma es força que l'algorisme detecti els segments a partir del processament de imatge inicial desenvolupat per aquest fi.

5.1.2 Resultats sobre una imatge sintètica

Tal com acabem de dir apliquem l'algorisme sobre una imatge sintètica que només conté línies rectes amb una distribució altament simètrica (Fig 5.1 (a)). A diferència del cas anterior, presentem una imatge enlloc d'un llistat de segments rectilinis caracteritzats per els seus punts inicial i final, de manera que aquí deixem que el

processament de imatge inicial generi el llistat. Hem utilitzat la mateixa distribució de línies rectes per tal de facilitar la comparació amb el cas anterior.

La Fig 5.2 mostra el resultat de les diferents etapes de l' algorisme. La Fig 5.2 (a) és la imatge de partida. La Fig 5.2 (b) és la imatge gradient orientat resultant, on el nivell de gris de cada píxel representa l'orientació del gradient en aquell punt. Tal com s'ha detallat en l'apartat 3.5.1, aquesta informació es fa servir per reduir l'exploració d'orientacions en el procés d'extracció dels segments rectilinis de la imatge, a partir de la transformada de Hough. S'observa que, com és conegut, l'orientació del gradient segueix clarament les línies rectes de la imatge. Tot i així apareixen segments rectilinis amb orientacions errònies a causa de la proximitat de rectes paral·leles, tal com es pot

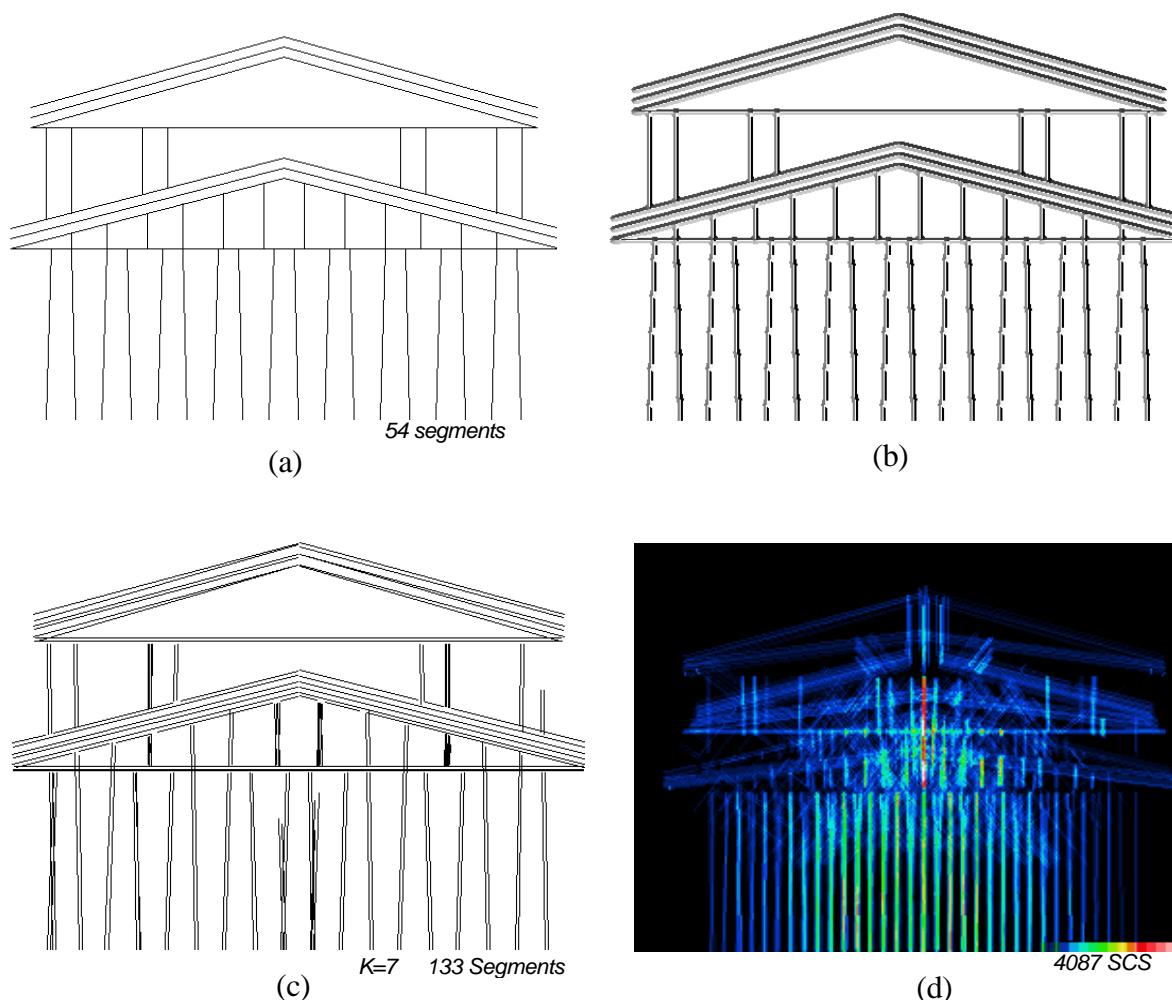
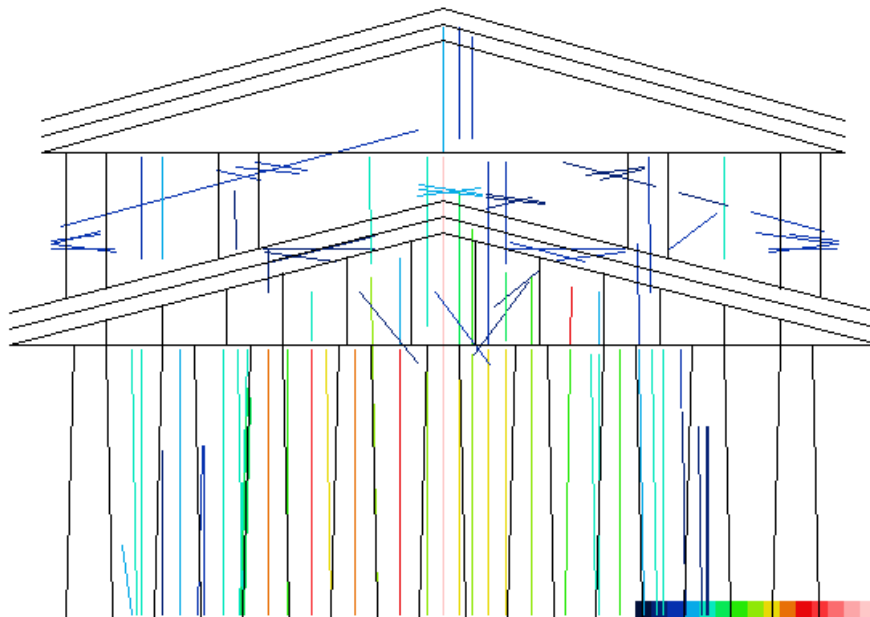


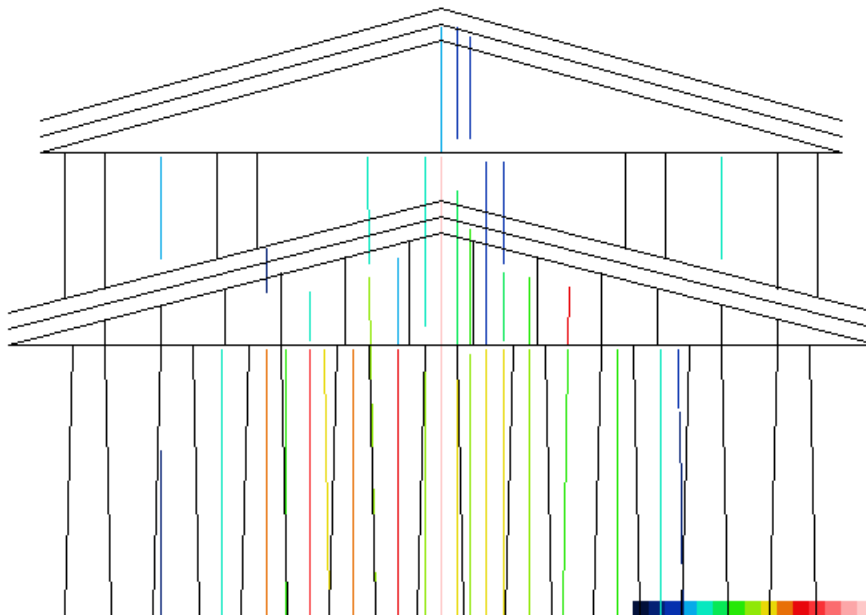
Figura 5.2: Resultats sobre una imatge sintètica. (a) Imatge de partida. (b) Imatge gradient orientat. (c) Segments rectilinis extrets. (d) Mapa d'acumulació

veure sobretot a la teulada superior de la Fig 5.2 (c). Podrem comprovar, per tant, l'efecte d'aquest error sobre el mètode de detecció d'eixos de simetria.

Per altra banda cal dir, que l'acotació de les rectes obtinguda és correcta i s'ha efectuat amb $K=7$, és a dir, demanant un forat mínim de 7 píxels per poder segmentar una recta,



(a)



(b)

Figura 5.3: Eixos locals de simetria detectats. (a) Amb valor d'acumulació significativa. (b) Eixos locals principals

tal com es pot veure a la Fig 5.2(c). El nombre de segments detectats és de 133. Aquest augment respecte el cas anterior està motivat sobretot per l'efecte de duplicació del gradient, doncs per cada recta detecta dos canvis d'orientació i per l'aparició de segments addicionals deguts a errors del propi mètode d'extracció de rectes que s'han d'assumir.

Pel que fa al mapa d'acumulació de la Fig 5.2 (d) hem de dir, que marca les mateixes tendències que el cas anterior, és a dir, major valors d'acumulació al centre de la imatge on tenim més simetria. No obstant, la imprecisió introduïda per l'etapa d'extracció de segments rectilinis, genera una dispersió en els valors d'acumulació, que es pot observar per la pèrdua de definició de les línies rectes sobre el mapa, que en alguns casos es converteixen en núvols de valors d'acumulació. També a contribuït a aquest fenomen el fet que el nombre de segments de contribució \overline{SCSL} que s'han detectat és més elevat, concretament 4082 segments. Recordem que aquest nombre segueix una llei quadràtica respecte el nombre de segments rectilinis obtingut de la imatge, tal com es pot veure a l'apartat 3.6.

Finalment a la Fig 5.3 mostrem els eixos detectats, on es visualitza la ponderació dels eixos a partir d'una paleta de colors com en els casos anteriors. Presentem dos casos; un primer, on s'ha exigint un nivell d'acumulació baix, per la qual cosa apareixen eixos locals de poca rellevància, tal com es pot veure a la Fig 5.3 (a) i un segon on hem augmentat el grau d'exigència, en els valors d'acumulació, amb el resultat de la Fig 5.3 (b).

A la vista d'aquest resultat podem fer les següents observacions:

- Els eixos de simetria principals de la imatge han estat detectats correctament sense errors en la posició, la inclinació i la llargada, considerant el píxel com unitat de mesura. Això ha estat possible, en primer lloc per la simplicitat de la imatge, que ha permès extreure amb precisió la majoria dels segments rectilinis i en segon lloc, perquè el mètode es basa en una acumulació de contribucions, que li dóna una certa insensibilitat a errors en la detecció o en la precisió dels segments rectilinis de la imatge de partida.

- Els errors de detecció dels segments rectilinis de la imatge de partida, disminueixen els nivells d'acumulació i en conseqüència la ponderació dels eixos que es generen, és a dir, la seva importància relativa. No obstant això, no provoquen errors en la posició, la inclinació i la llargada dels eixos detectats. Això es pot observar per el fet que eixos locals en posicions simètriques no tenen la mateixa ponderació. La precisió en la detecció és possible, gràcies a que l'algorisme de detecció d'eixos, a partir del mapa d'acumulació, treballa amb la informació de les direccions rectilínies amb més acumulació, les quals tenen un cert grau d'insensibilitat als errors que es puguin produir en un subconjunt de segments rectilinis de la imatge.
- S'observen alteracions en la importància relativa (ponderació) de eixos locals importants tal com es pot veure a la Fig 5.3 (b), on alguns eixos situats simètricament tenen color de ponderació diferent. Això s'explica, com hem dit en el paràgraf anterior, per les imprecisions en la detecció dels segments rectilinis de la imatge de partida, que fa que el nombre de superposicions de segments de contribució \overline{SCSL} oscil·li, en diferents sentits en zones oposades de la imatge, generant així una dispersió en la ponderació. Recordem, que la anomenada ponderació, no és altra cosa que el mitjana dels valors d'acumulació dels píxels que formen l'eix en qüestió.
- Com en el cas anterior els falsos eixos (acumulacions casuals de segments de contribució en determinades zones) apareixen amb valors relatius d'acumulació baixos, de forma que l'algorisme de detecció els pot filtrar fàcilment, però també eliminarà eixos locals reals de menor importància, per el fet de tenir valors d'acumulació semblants
- Es manté la possibilitat de detectar l'eix de simetria global de la imatge, ja que, com en el cas anterior, està format per tres eixos locals amb diferent ponderació, però amb una mitjana superior a la resta, la qual cosa pot permetre la seva discriminació, al marge que la seva existència està reforçada per disposició de la resta eixos locals

- Es reforça la hipòtesi de la prova anterior, en el sentit que els errors en la posició, llargada i inclinació dels eixos detectats, seran imputables als errors produïts en el procés d'extracció de les línies rectes de la imatge de partida, però també ho són els errors en la importància relativa dels eixos (Ponderació)

Així doncs, el mètode es mostra robust respecte la detecció dels eixos locals de simetria més importants i respecte la posició, llargada i orientació, sempre que la imatge de partida permeti obtenir la majoria de segments rectilinis principals. En aquesta imatge simplificada els errors de detecció en aquests segments, es tradueix en la variació de la importància relativa dels eixos. Caldrà veure si els resultats en imatges reals abonen la robustesa del mètode.

Abans de passar a treballar en imatges reals farem una prova per veure l'efecte de la rotació sobre els resultats per la qual cosa presentarem a l'algorisme la mateixa imatge però sotmesa a diferents rotacions.

5.1.3 Resultat sobre una imatge sintètica sotmesa a diferents rotacions

Hem sotmès la imatge sintètica anterior a diferents rotacions. A les Fig. 5.4 i 5.5. presentem una petita mostra significativa dels resultats consistents en la comparació d'una rotació de 35° a dreta i esquerra. L'anàlisi del conjunt de imatges resultants permet extreure les següents conclusions:

- La rotació afecta al nombre de segments rectilinis detectat a la imatge de partida, per el processament de imatge inicial. En general, es pot dir, que es redueix lleugerament el nombre de segments detectats quan les línies rectes són inclinades, és a dir a mesura, que ens allunyem de 0, 90, 180 graus. A la es pot veure que la reducció, respecte el cas de 0° (Fig. 5.2 (c)), que obtenim al rotar la imatge 35° és de 29 segments i de 35 segments en els cas de 125° Fig. 5.4 (b')
- Els errors en la posició i orientació del segments detectats, també varia segons la rotació, com es pot confirmar en el cas que mostrem a la Fig. 5.4 (b) i Fig. 5.4 (b').

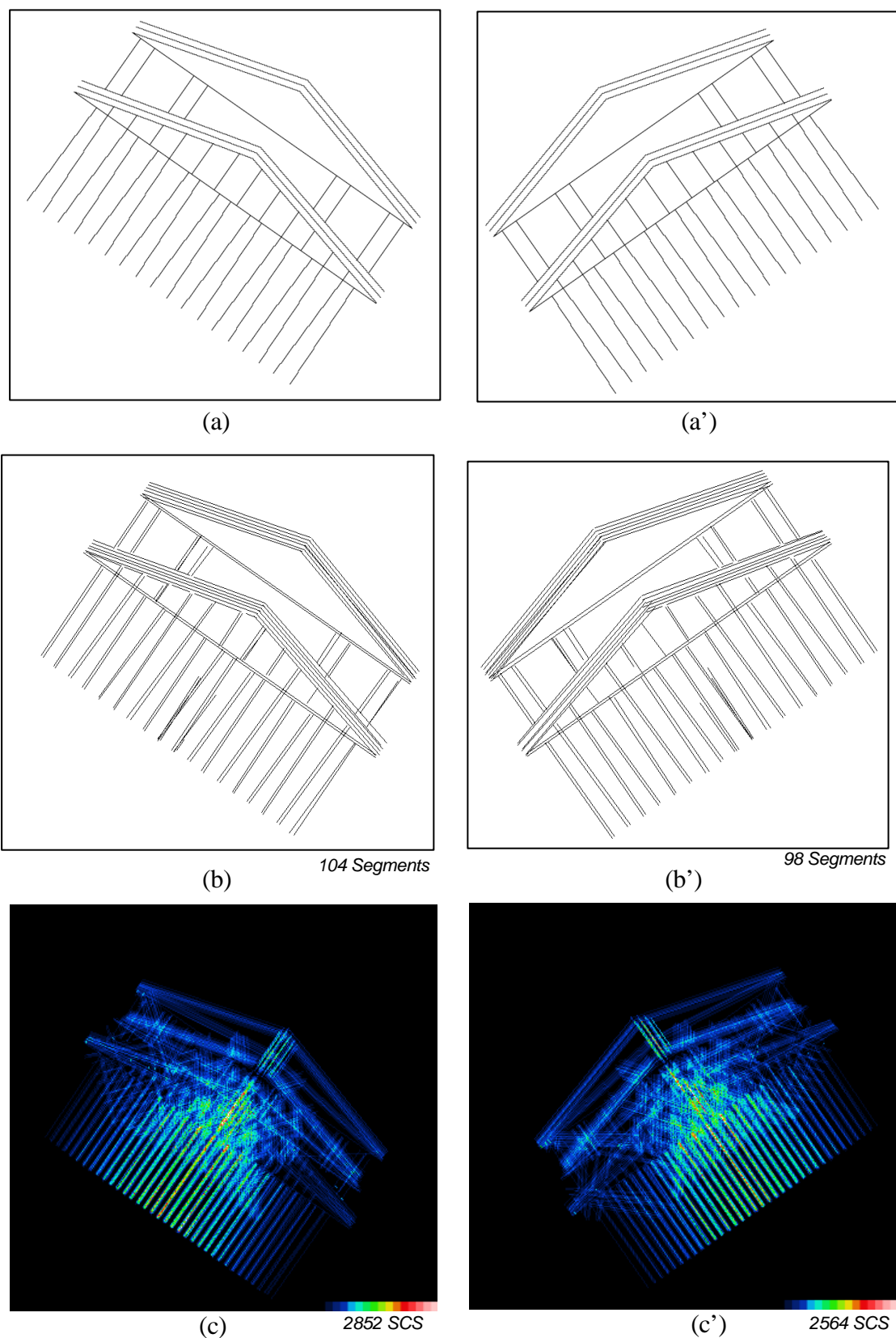
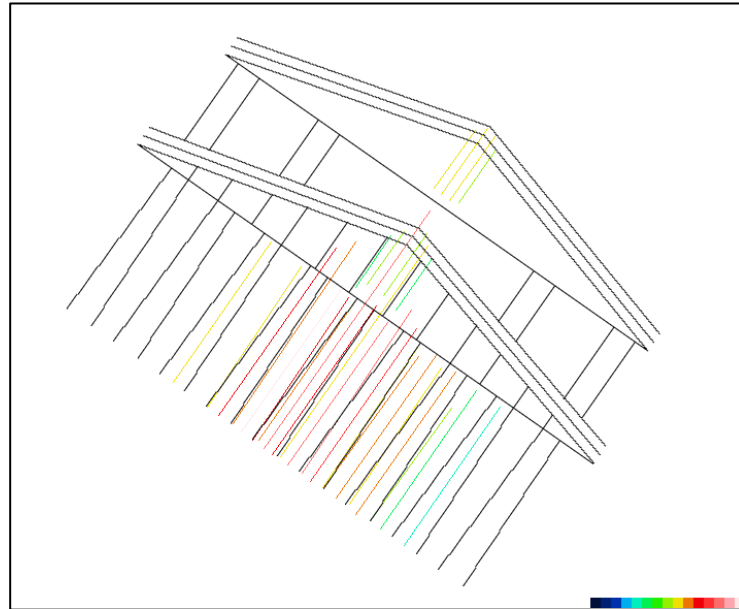
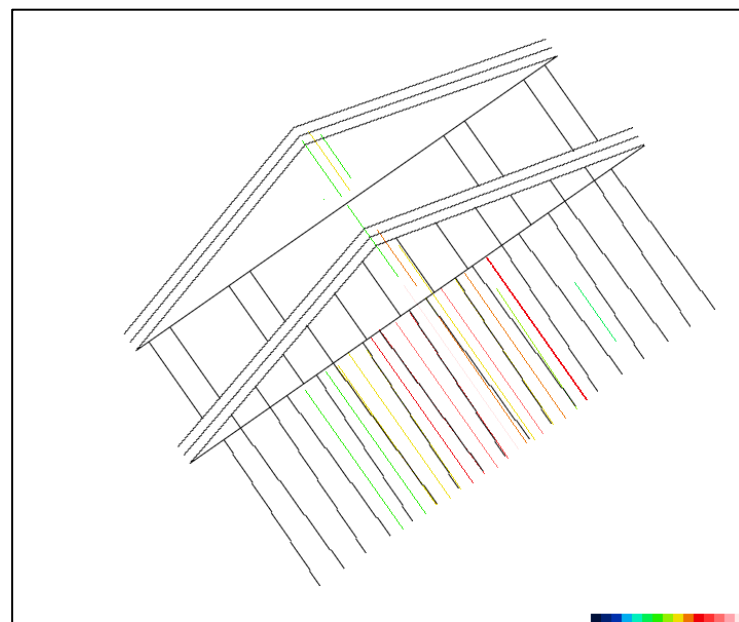


Figura 5.4: Comparació de dos rotacions sobre una imatge sintètica. (a) Imatge rotada 35°. (a') Imatge rotada 125°. (b) Segments rectilinis extrems (rot=35°). (b') Segments rectilinis extrems (rot=125°). (c) Mapa d'acumulació (rot=35°). (c') Mapa d'acumulació (rot=125°)

- Les zones de màxima acumulació segueixen sent les de major simetria, el que varia és el nivell d'acumulació. La causa és a la variació del nombre de segments rectilinis detectats segons l'angle de rotació i a la dispersió d'errors que es provoca. Podem comparar la Fig. 5.4 (c) amb la Fig. 5.4 (c') per confirmar aquest fenomen en un cas concret.



(a)



(b)

Figura 5.5: Eixos de simetria locals principals detectats sobre Imatges sintètiques rotades (a) Amb una rotació de 35° .(b) Amb una rotació de 125° .

- La posició, llargada i orientació dels eixos locals més importants es detecta sense error, independentment de la rotació aplicada. Això es possible per el fet, que tot i la dispersió en el errors i en el nombre de segments detectats segons la rotació, les direccions de màxima acumulació segueixen sent les mateixes. El que canvia lògicament és la ponderació dels eixos per causa de la dispersió en els valors d'acumulació. A la Fig. 5.5 mostrem els eixos obtinguts per els dos casos de rotació.
- La rotació no afecta a la possibilitat de detectar l'eix global, ja que, tot i que els valors de ponderació són diferents, es manté la importància relativa entre els diferent eixos locals, de forma que l'eix global té en mitjana un valor més elevat. Queda encara la possibilitat, com en els casos anteriors, de confirmar aquest eix mitjançant la posició relativa de la resta d'eixos locals tal com es pot veure a la Fig.5.5

5.2 Resultats sobre imatges reals

En aquest apartat presentarem els resultats del mètode de detecció sobre imatges reals que compleixen amb el requisit imposat de partida, és a dir, que les línies rectes són predominants i per tant, és possible deduir la simetria a partir d'aquestes línies.

Com hem vist anteriorment, una la llista de segments que formen una distribució simètrica especificats amb precisió per els seus punts inicial i final, dona lloc a eixos de simetria locals sense error en la posició, llargada, orientació i la importància relativa (ponderació dels eixos). Som conscients que la principal dificultat que apareixerà aquí, serà obtenir correctament els segments rectilinis de la imatge, doncs, com és sabut, la detecció dels segments i la seva precisió en posició, llargada i orientació són fortament sensibles a les diferents condicions de la imatge.

Donat que no és possible, en general, obtenir un llistat de segments rectilinis sense cap error a partir d'una imatge d'una escena real, el mètode de detecció de simetria presentat en el capítol 2, ha estat dissenyat amb la intenció que es mostri robust tant a l'absència de detecció d'un determinat subconjunt de segments rectilinis de la imatge,

com a la presència d'errors en la posició, llargada i orientació. Aquesta propietat li ha de donar també una certa robustesa a les oclusions.

5.2.1 Resultat sobre escena real

La escena de partida consisteix en un edifici actual d'estil clàssic, de forma que la línia recta predomina, tal com es pot veure a la Fig. 5.6 (a). La imatge gradient orientat Fig. 5.6 (b) mostra que algunes línies rectes de la escena de partida no quedaran reflectides o apareixeran fraccionades per el fet que, al no està contrastades, no tenen suficient valor de gradient. Aquest és el cas de les columnes de l'edifici de la imatge original. Amb aquestes condicions obtenim la llista de segments rectilinis que es mostra a la Fig. 5.6(c) que presenta els defectes que hem predit anteriorment. Evidentment, és possible

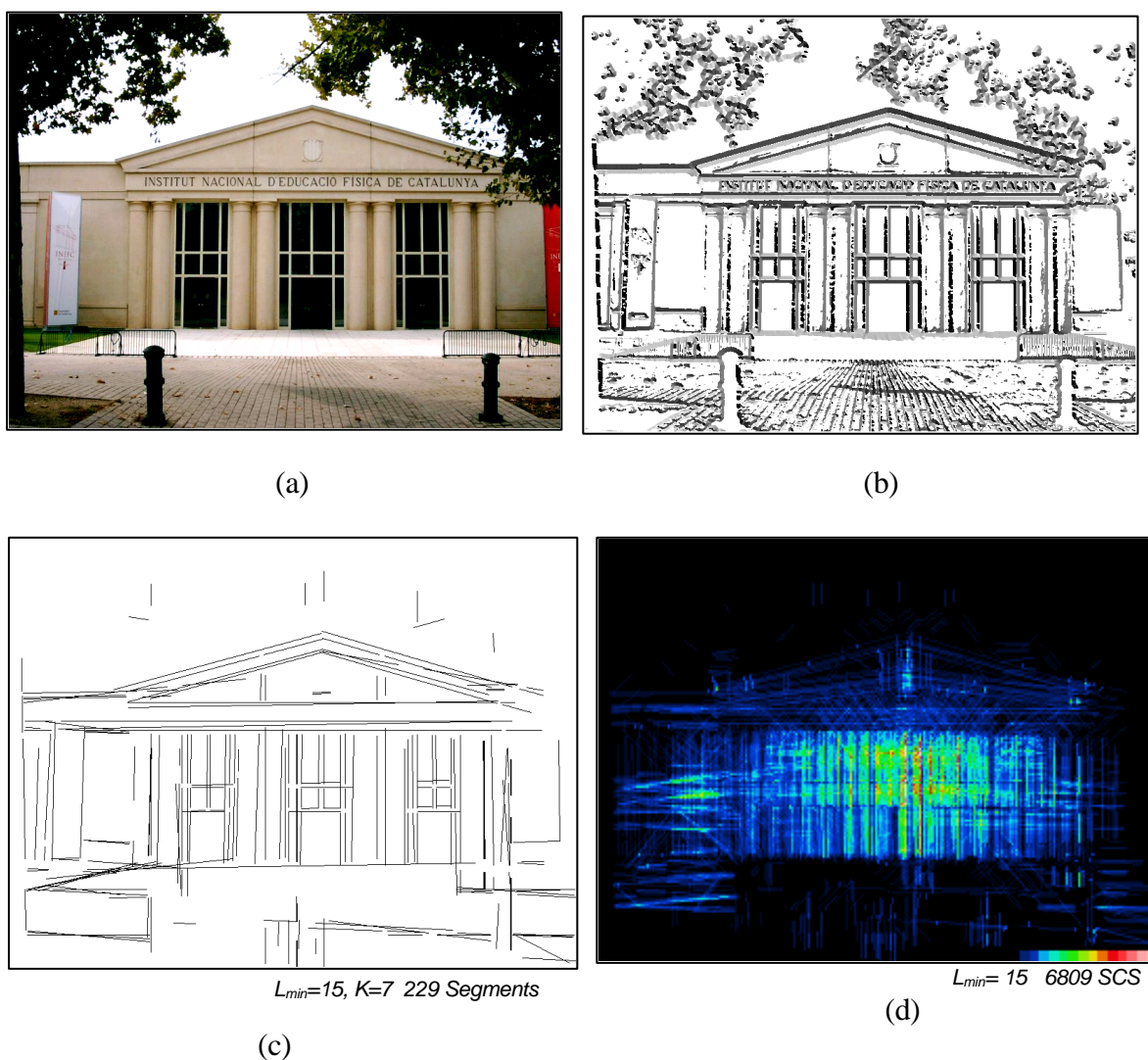


Figura 5.6: Resultat sobre un edifici d'estil clàssic. (a) Escena de partida. (b) Imatge gradient. (c) visualització de la llista de segments rectilinis obtinguts. (d) Mapa d'acumulació de SCS

millorar aquest resultat però a efectes del que pretenem evidenciar, la robustesa del mètode, és perfectament vàlid.

S'han obtingut 229 segments amb les condicions de llargada mínima $L_{min}=15$ píxels i forat mínim per segmentar una línia $K=7$ píxels.

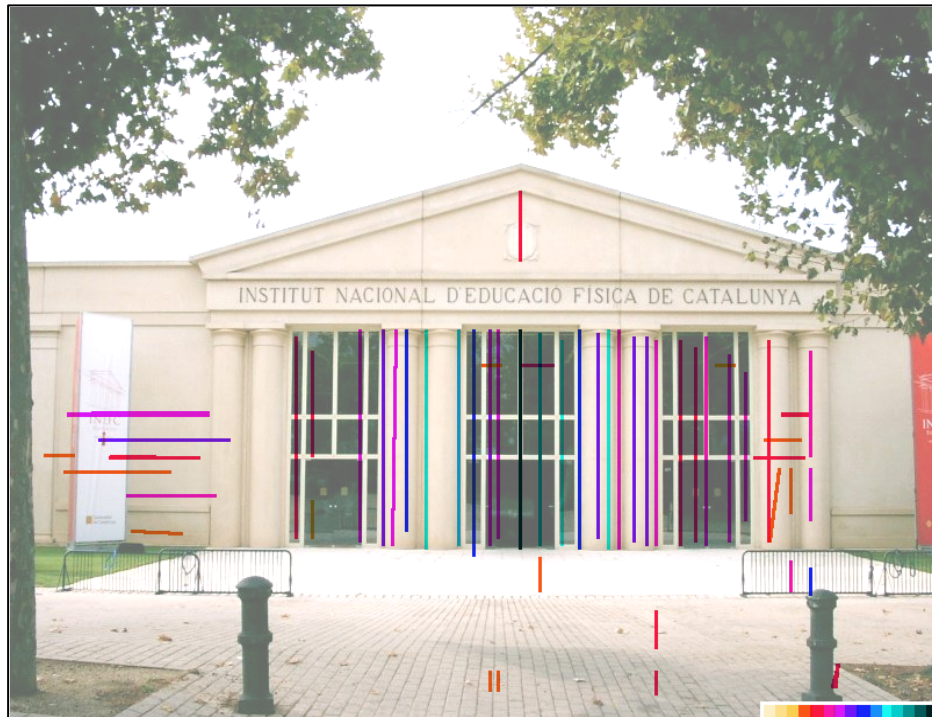
Pel que fa al mapa d'acumulació Fig.5.6(d) s'han obtingut 6908 segments de contribució a la simetria \overline{SCSL} , amb la condició de llargada mínima $L_{min}=15$. Tal com es pot veure l'acumulació més forta, colors verds clars i vermells, es dona a mesura que ens apropem al eix de simetria global.

Finalment a la Fig.5.7 (a) mostrem els eixos de simetria local detectats exigint uns nivells d'acumulació moderats, mentre que a la Fig.5.7 (b) es poden veure els eixos de simetria principals obtinguts amb un nivell d'acumulació alt.

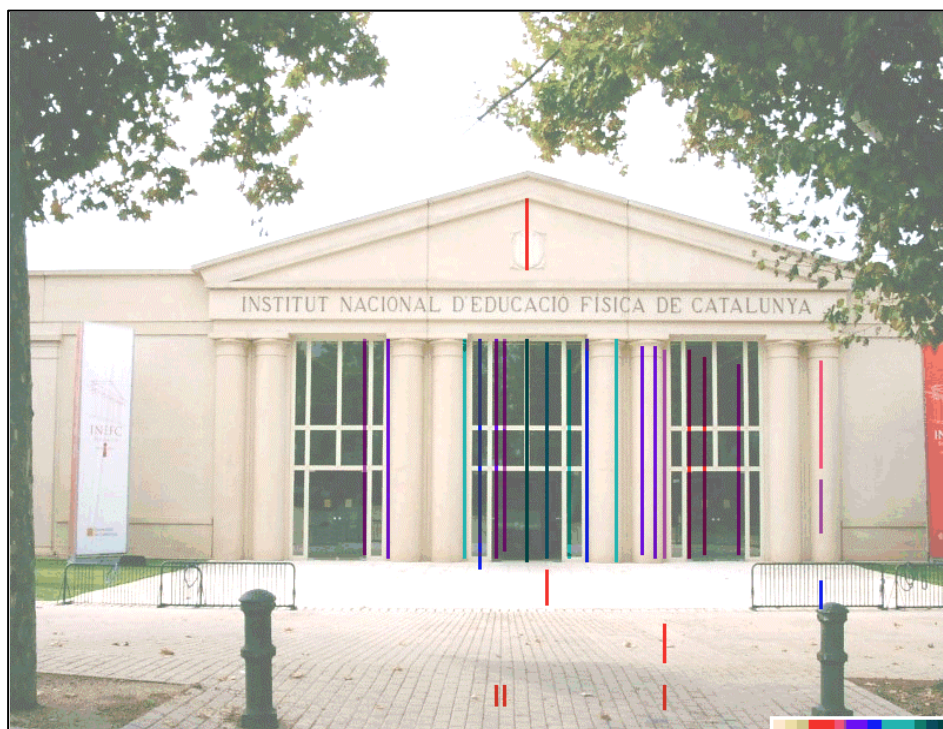
Per tal de facilitar la visualització hem dilatat els eixos i hem invertit els colors tal com mostra la paleta a la part inferior de la imatge.

A la vista d'aquest resultat podem afirmar que els resultats no són molt diferents dels obtinguts amb imatges sintètiques. Les observacions que podem fer són les següents :

- L'extracció deficient d'un subconjunt de segments rectilinis de la imatge original, no ha impedit que la detecció dels principals eixos de simetria s'hagi fet de forma correcta. El mètode es mostra, per tant, robust als defectes de detecció dels segments rectilinis de la imatge, sempre que es preservin un percentatge suficient de línies rectes simètriques principals de la imatge.
- Apareixen eixos falsos a causa de la acumulació casual de segments de contribució però la seva importància relativa és baixa (colors vermells cap avall) tal com es pot veure a la Fig. 5.7 (a)
- Com en els casos anteriors amb imatges sintètiques els defectes en la detecció dels segments rectilinis de la imatge provoquen fonamentalment, alteracions en la importància relativa dels eixos (ponderació). Això es pot veure a qualsevol de les imatges de la Fig.5.7, on eixos simètrics que haurien de tenir el mateix color tenen



(a)



(b)

Figura 5.7: Eixos de simetria locals detectats. (a) Eixos locals amb acumulació significativa.

(b) Eixos locals principals

un color diferent, encara que pròxim. Aquest fet pot provocar que, en alguns casos, s'eliminin eixos d'importància secundària. Aquest és el cas d'alguns eixos locals que no tenen el corresponen homòleg, tal com es pot veure a les Fig.5.7 (a) i (b)

- Els defectes de detecció de línies rectes de la imatge, no han eliminat la possibilitat de detectar l'existència d'un eix global, doncs com en els casos de l'apartat anterior aquest eix té, tot i estar fragmentat, té la ponderació més alta (color negre) i la resta d'eixos locals reforcen la seva existència. Lògicament si en una imatge existeix un eix global de simetria, aquest acumula el major nombre de contribucions per la qual cosa serà l'eix més insensible als errors en la detecció dels segments rectilinis.

5.2.2 Resultat sobre una objecte amb simetries global i locals

En aquest apartat aplicarem l'algorisme a un objecte real, concretament a una porta amb reixa metàl·lica clàssica i vidriera, tal com es pot veure a la Fig.5.8 (a), la qual presenta simetries locals de diferent importància i una simetria global molt clara. La principal dificultat d'aquesta imatge rau en els reflexes de la vidriera, que emmascara les rectes de la reixa en determinades zones. Una altra dificultat és el nombre elevat de parelles segments, que tot i no ser simètriques, estan en posició relativa adequada per tal de generar segments de contribució, de forma que es dificulta la discriminació entre les simetries locals de major i menor importància.

A la Fig.5.8 (b) i (c) es mostra el resultat del processament de imatge inicial, d'on s'obtenen 152 segments rectilinis amb les restriccions de llargada mínima $L_{min}=15$ píxels i forat mínim per segmentar una línia $K=7$ píxels. Podem observar que no s'han detectat alguns segments a la part central de la reixa, d'altres han estat detectats amb errors d'orientació, a causa dels reflexes anteriorment esmentats, mentre que a la resta hi ha menys problemes. Cal observar que a l'arcada superior ha donat lloc a la detecció de segments rectilinis més o menys erronis, motivada per la presència de trams amb poca curvatura. Fig.5.8 (c).

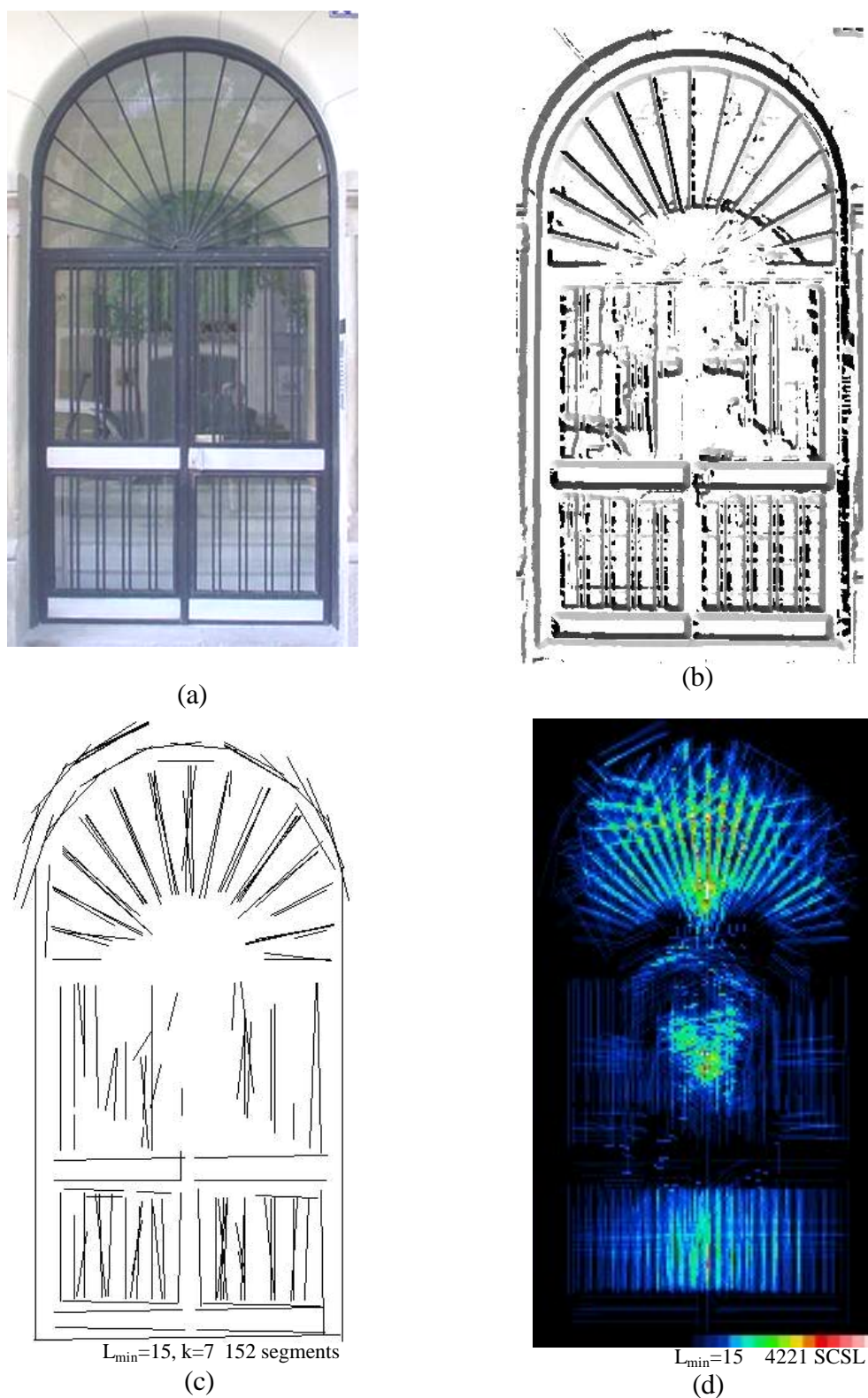


Figura 5.8: Resultat sobre una reixa simètrica. (a) Imatge de partida. (b) Imatge d'orientació del gradient.(c) Visualització dels segments rectilinis obtinguts (d) Mapa d'acumulació de segments de contribució

El conjunt de segments rectilinis generen 4221 segments de contribució a la simetria \overline{SCSL} significatius que donen lloc al mapa d'acumulació de la Fig.5.8 (d). Com en els casos anteriors l'acumulació màxima (colors verds i vermells clars) es dona a l'entorn de la simetria global i en la direcció vertical d'aquesta. Lògicament s'observa un debilitament de l'acumulació on la detecció de segments ha estat més deficient. L'absència de segments rectilinis horitzontals fa que el mapa no reflecteix l'acumulació en sentit horitzontal, per la qual cosa no es detectaran les simetries locals en aquesta direcció que tenen una menor importància.

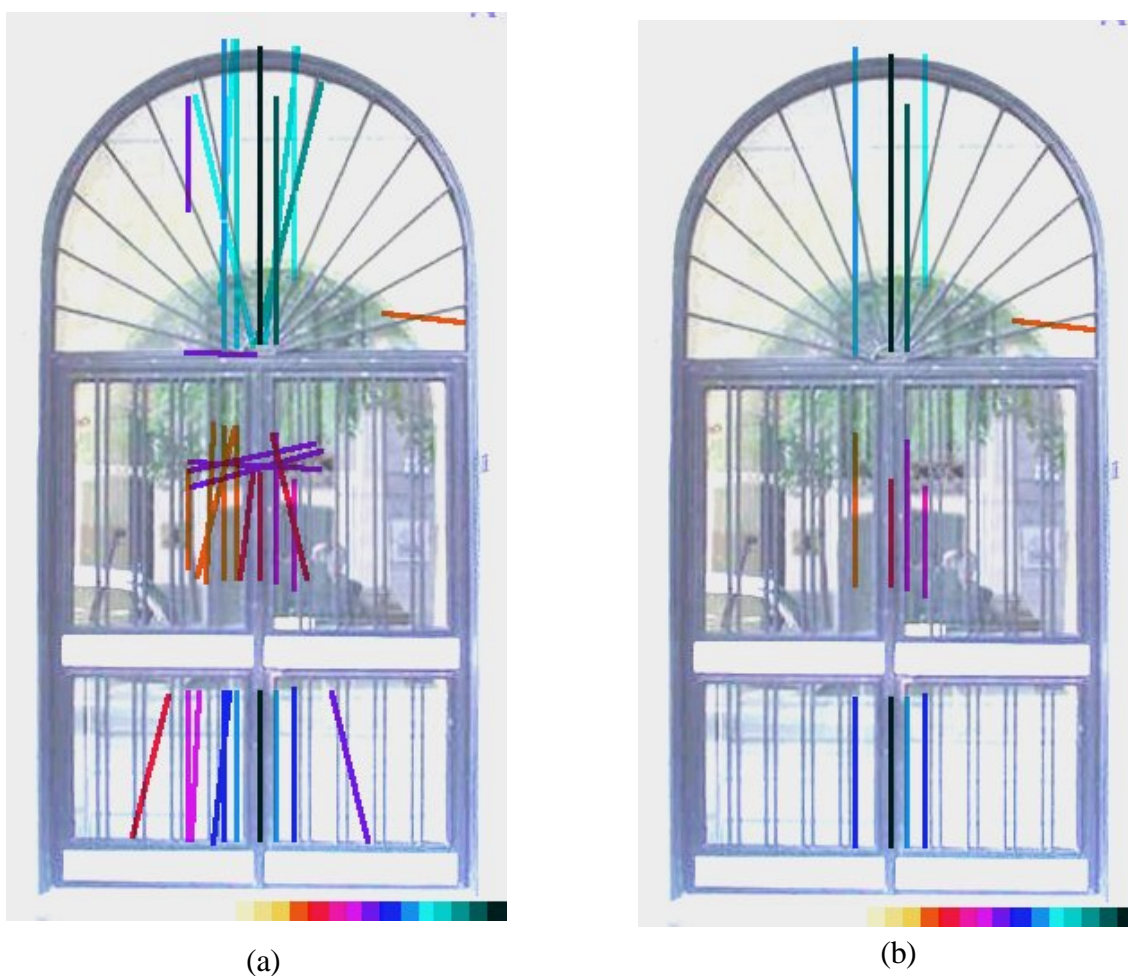


Figura 5.9: Eixos de simetria locals detectats. (a) Eixos detectats amb acumulació significativa.
(b) Eixos locals principals

Finalment a la Fig.5.9 mostrem els eixos de simetria locals obtinguts per dos supòsits en quant al nivell d'acumulació exigida a l'hora de generar la cerca dels eixos. A la vista d'aquest resultat observem:

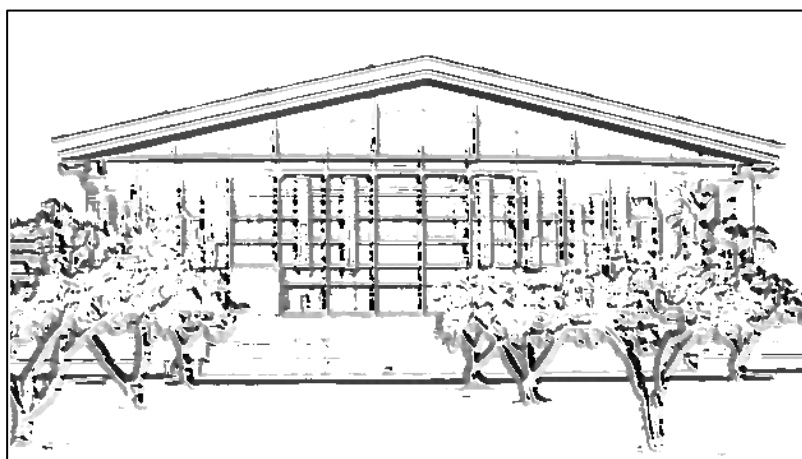
- Que tal com hem predit els eixos horitzontals detectats tenen error en la orientació, són poc significatius en quant a llargada i apareixen amb una ponderació baixa Fig.5.9 (a). Això és produït per dos motius, en primer lloc com hem dit anteriorment la detecció de segments horitzontals ha estat dèbil i en segon lloc els errors de detecció de segments a la zona central de la reixa han estat importants, en conseqüència els eixos horitzontals de simetria local no apareixen en el conjunt d'eixos principals Fig.5.9 (b)
- Que els eixos principals en direcció vertical han estat detectats correctament per el que fa a posició i orientació i ponderació. El procés d'acotació presenta un cert error en la llargada del eixos de la part superior, a causa de la detecció de segments rectilinis de l'arcada superior de la reixa que han donat lloc a una falsa acumulació
- Com en tots els casos anteriorment presentats, l'eix global ha estat detectat per trams amb la màxima ponderació (color negre), sobretot a la part superior i inferior. A la zona central, presenta un el error en l'acotació importat, a causa de l'absència de detecció de molts dels segments rectilinis que configuren la reixa i que ja hem atribuït anteriorment als reflexes de la vidriera en aquesta zona.
- Es reafirma la idea que els errors del mètode són una conseqüència directa dels errors inicials del processament de imatge inicial alhora d'extreure els segments rectilinis. Per el que fa als eixos principals i sobretot al eix global, el mètode presenta una certa robustesa als errors en la detecció dels segments rectilinis, tal com mostra la Fig.5.9 (b).

5.2.3 Resultat sobre una imatge amb reducció severa de segments rectilinis (soroll o oclusió)

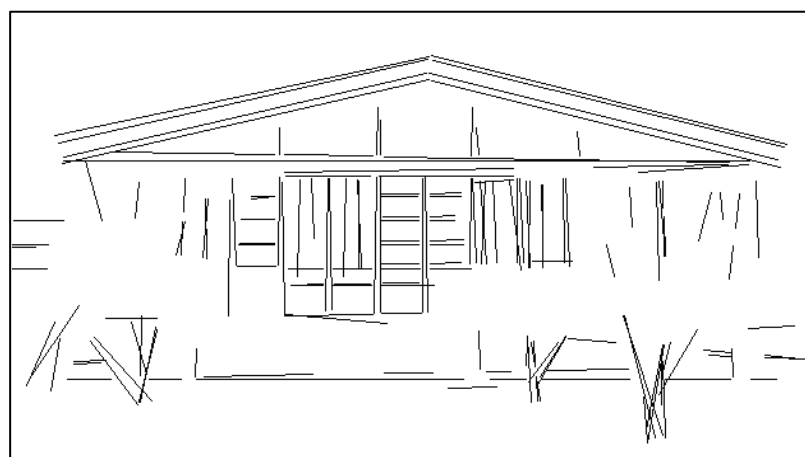
En aquest apartat volem sotmetre el mètode a les problemàtiques clàssiques de soroll i oclusions. Des del punt de vista de l'algorisme de detecció, l'efecte de les dues perturbacions és el mateix. Tant el soroll com les oclusions afecten al processament de imatge previ i comprometen l'obtenció dels segments rectilinis, que donen la informació



(a)



(b)



(c)

Figura 5.10: Resultat del processat convencional sobre un imatge amb oclusió. (a) imatge de partida. (b) imatge del gradient orientat (c) Segments rectilinis

de l'existència de la simetria i que constitueix el punt de partida del mètode de detecció. Aplicarem doncs, l'algorisme en una imatge amb oclusions i en la qual, a més a més, hem reduït el nombre de segments rectilinis detectats, forçant un llinar de gradient elevat. D'aquesta forma el resultat que obtindrem és vàlid tan per oclusions, com per imatges sorolloses o per qualsevol pertorbació que modifiqui la distribució o el nombre de segments rectilinis de la imatge, com la degradació de la imatge, ombres etc.

A la Fig 5.10 (a) mostrem la imatge parcialment oclusa per uns arbres i a la Fig 5.10 (b) la imatge gradient orientat manipulat, de forma que s'han eliminat els píxels que no tenen un gradient suficientment elevat, d'aquesta forma hem simulat l'efecte del soroll.

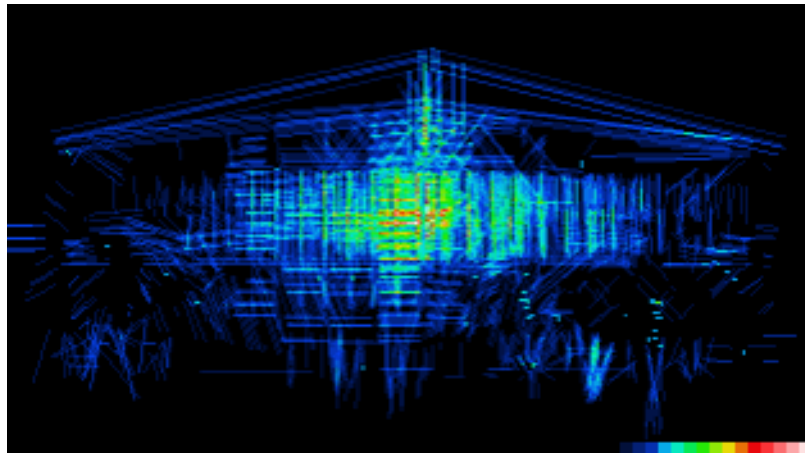
El resultat és una disminució dràstica del segments rectilinis detectats per el processament de imatge previ, tal com es pot veure a la Fig 5.10 (c) si la comparem amb la Fig 3.9 (c) del capítol 3, on la mateixa imatge està lliure d'occlusions i soroll. La pèrdua de segments a l'extrem dret i esquerra és molt considerable.

Finalment la Fig 5.11(a) es mostra el mapa d'acumulació resultant que es pot comparar amb l'obtingut en el capítol 3 per la mateixa imatge sense oclusió Fig 5.11(b). La pèrdua d'informació és evident, les línies rectilínies amb valors d'acumulació elevats (colors clars) s'han reduït en llargada i la dispersió de l'acumulació és molt més gran. La zona d'acumulació mitjana (color verd) s'ha concentrat al centre de la imatge.

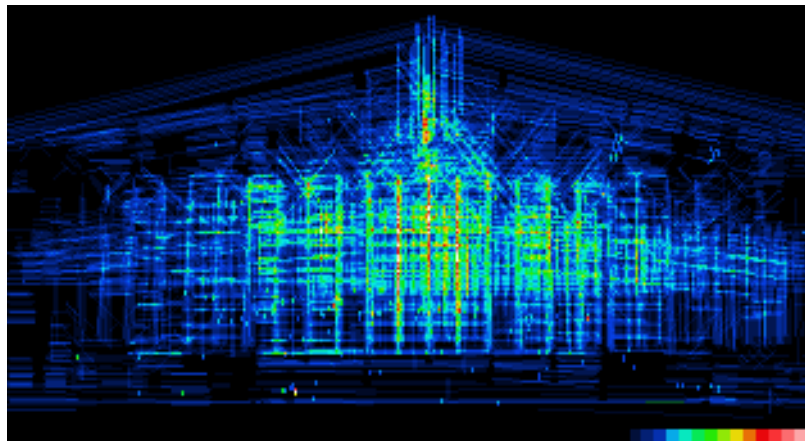
A la Fig 5.12 mostrem els eixos de simetria locals obtinguts del mapa d'acumulació anterior, per dos supòsits en quant al nivell d'acumulació exigit, a l'hora de generar la cerca dels eixos.

A la vista d'aquest resultat observem:

- Una lleugera desviació cap a la dreta dels eixos verticals de la part inferior de la imatge, a causa de l'existència de segments rectilinis secundaris per la simetria, sobretot a la part inferior dreta (Fig 5.10 (c)), els quals han guanyat importància, en aquest cas, donada la dràstica reducció de segments rectilinis, imposada en posicions simètriques



(a)

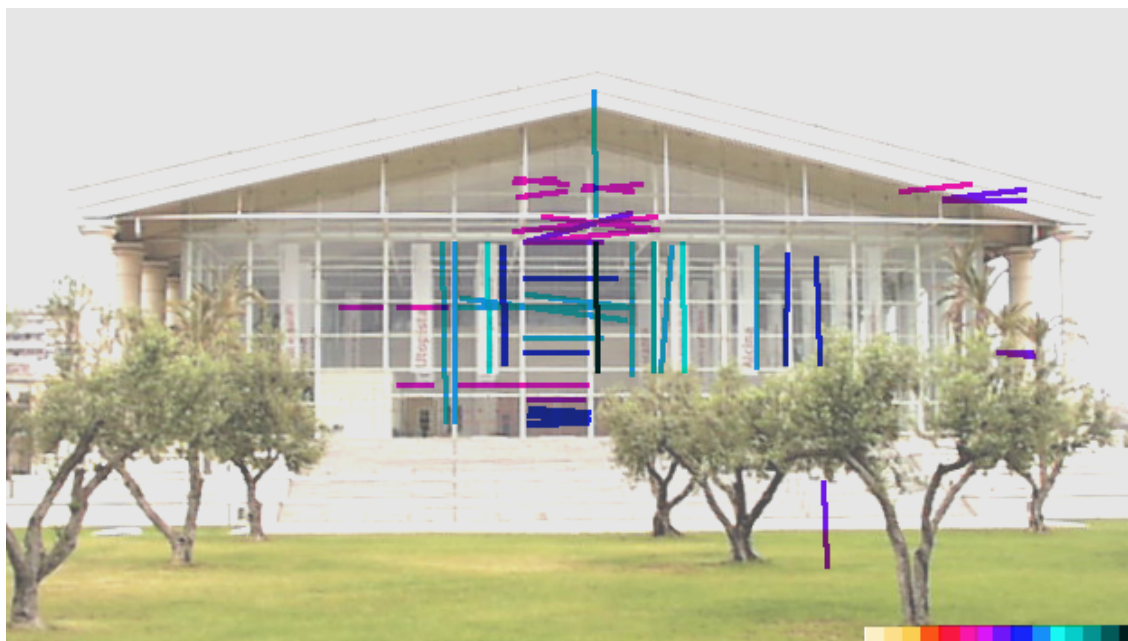


(b)

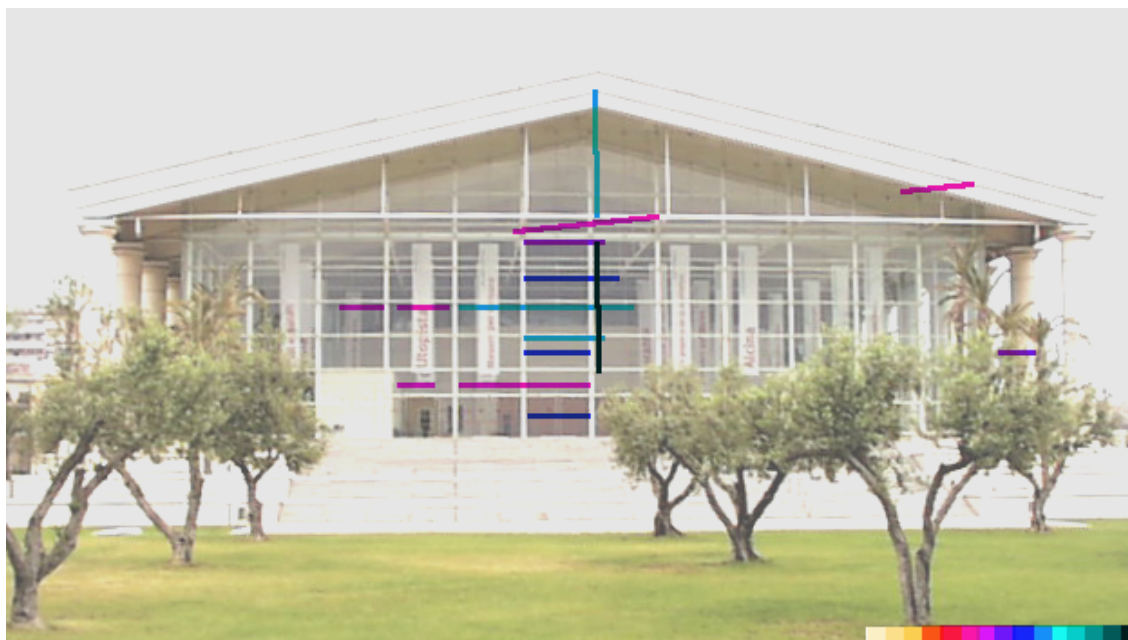
Figura 5.11: Mapa d'acumulació. (a) Imatge amb oclusió (b) Imatge sense oclusió

- Que tot i que la reducció de segments rectilinis està en l'extrem del que es pot permetre, per tal de detectar la simetria, l'acumulació obtinguda ha estat suficient per detectar els principals eixos locals de simetria tan horitzontals com verticals.
- Que òbviament, si les oclusions eliminen totalment els segments rectilinis d'un dels dos costats de la simetria (part inferior dreta de la Fig 5.10 (c)) s'elimina la part de l'eix local corresponent però no afecta a la part no oclusa com passaria amb un mètode de detecció basat en un anàlisi global.

- Que les oclusions amb la reducció de segments rectilinis conseqüent, ha provocat sobretot, la reducció en la llargada dels eixos respecta els que es van obtenir en la imatge lliure d'aquesta problemàtica.



(a)



(b)

Figura 5.12: Eixos de simetria locals detectats. (a) Eixos locals detectats amb acumulació significativa. (b) Eixos locals principals

- Que tot i l'important reducció de segments rectilinis que hem imposat, el mètode ha estat capaç de detectar l'eix global de simetria i amb la màxima ponderació (la mitjana entre color negre i verd)

Si acceptem que tant el soroll com les oclusions es tradueixen, per el que fa al mètode, a una reducció en el nombre de segments rectilinis de la imatge detectats, podem concloure, a la vista del resultats anteriors, que el mètode presenta una certa robustes enfront d'aquestes problemàtiques. Això és així, fonamentalment, per un costat per el fet que hem partit d'un anàlisi local i per l'altre a que la detecció dels eixos es basa en l'acumulació de contribucions locals.

5.2.4 Extensió del mètode a imatges amb projecció no ortogràfica

Les imatges que hem presentat fins ara compleixen amb els objectius que es van presentar al principi d'aquesta tesi, és a dir, s'han obtingut amb el que hem denominat punt de vista ortogràfic, de forma que es minimitza la distorsió de perspectiva. Aquesta condició fa que la simetria de reflexió a l'escena es conservi a la imatge, de forma que es compleix la condició principal de simetria de reflexió, consistent, en que les línies de simetria són perpendicular a l'eix de simetria i constitueixen conjuntament amb l'eix, un sistema de coordenades naturals de la forma simètrica.

No obstant, existeixen casos en els quals la distorsió de perspectiva afecta de la mateixa manera als dos costats de l'eix global de simetria, de forma que les línies de simetria segueixen sent ortogonals a l'eix i per tant la simetria es conserva.

Aquest fenomen es dona quan obtenim la imatge amb un punt d'observació proper a la forma simètrica, centrat en l'eix de simetria i amb un rotació de la càmera en la mateixa direcció de l'eix de simetria de la forma simètrica. Aquest punt, tot i ser oblic, manté l'ortogonalitat entre les línies i l'eix de simetria. Una rotació de la càmera en les dues direccions possibles, és a dir, en la direcció de l'eix de simetria i de les línies de simetria (direcció ortogonal al eix) trenca l'ortogonalitat entre l'eix i les línies de simetria, de forma que la simetria de reflexió no es conserva a la imatge i ens trobem davant el cas de simetria obliqua. L'efecte és al mateix que quan ens desplaçem respecte l'eix de

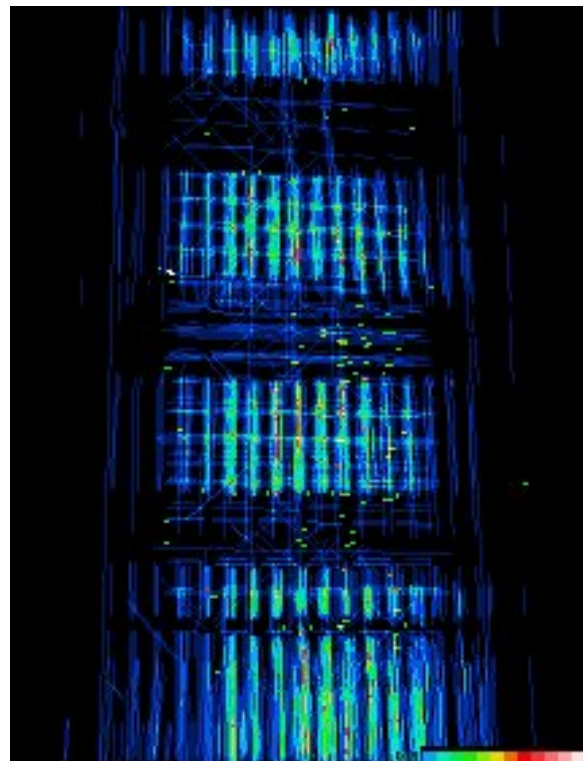
simetria en qualsevol de les dues direccions del pla d'observació. Com es va dir en el apartat 2.1.3 en aquest cas, de la simetria obliqua, les línies de simetria i l'eix de simetria són paral·leles però no formen un angle recte.

El mètode que hem presentat detecta la simetria sempre que es compleixi la condició d'ortogonalitat entre l'eix de simetria i les línies, és a dir, que la simetria tot i estar deformada per la perceptiva segueix sent de reflexió. Segons això ha de detectar els casos que hem descrit anteriorment.

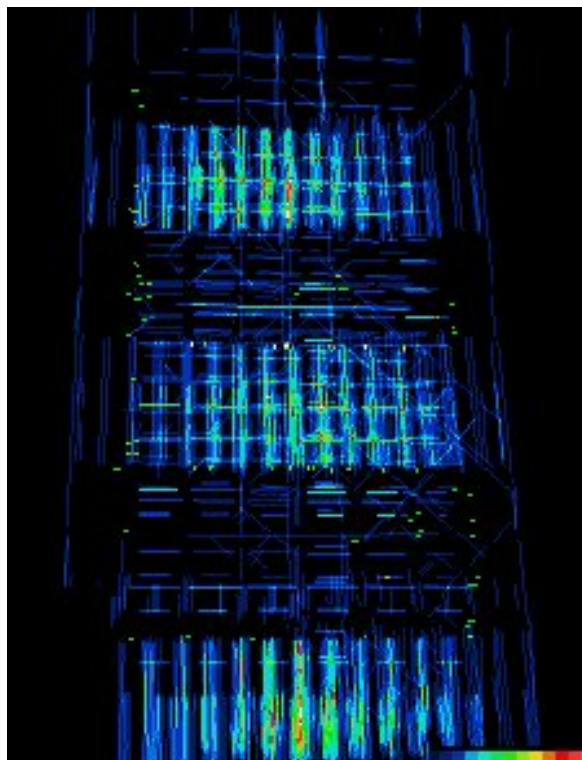
Per altra banda, és evident, que el mètode que presentem amb les condicions actuals no es capaç de detectar la simetria obliqua definida en el apartat 2.1.3. La tasca de transformar el mètode de detecció de simetria, per tal de dotar-lo de la capacitat de detectar la simetria obliqua està fora dels objectius d'aquesta tesi i formarà part dels treballs de futur.

A continuació mostrem els resultats sobre imatges que tot i presentar distorsió de perspectiva conserven la simetria global de reflexió. A les Fig.5.13 i 5.14 presentem unes imatges obtingudes a diferents nivells de proximitat i amb diferents angles de rotació de la càmera en direcció de l'eix de simetria conservant, això sí, un punt d'observació centrat en l'eix de simetria de la forma. Mostrem també els mapes d'acumulació corresponents a cada imatge.

Podem observar en tots els casos que el nivell d'acumulació és elevat en la posició de l'eix global de simetria. Contràriament, com es pot veure en el cas de la Fig.5.14, la de més distorsió, presenta un cert debilitament de l'acumulació en les posicions dels eixos de simetria local. Aquest resultat es coherent, doncs com es pot observar en la imatge de la Fig.5.14 la deformació no és la mateixa als dos costats dels eixos de simetria local de la forma (columnes de les finestres), només és la mateixa als dos costats de l'eix global. Així a mesura que augmenta la deformació, es perden els eixos de simetria local i es conserva l'eix global, respecte el que hem centrat el punt d'observació.



(a)



(b)

Figura 5.13: Evolució del mapa d'acumulació amb imatge amb distorsió de perspectiva. (a) Imatge amb poca distorsió.(b) Imatge amb una lleugera distorsió.

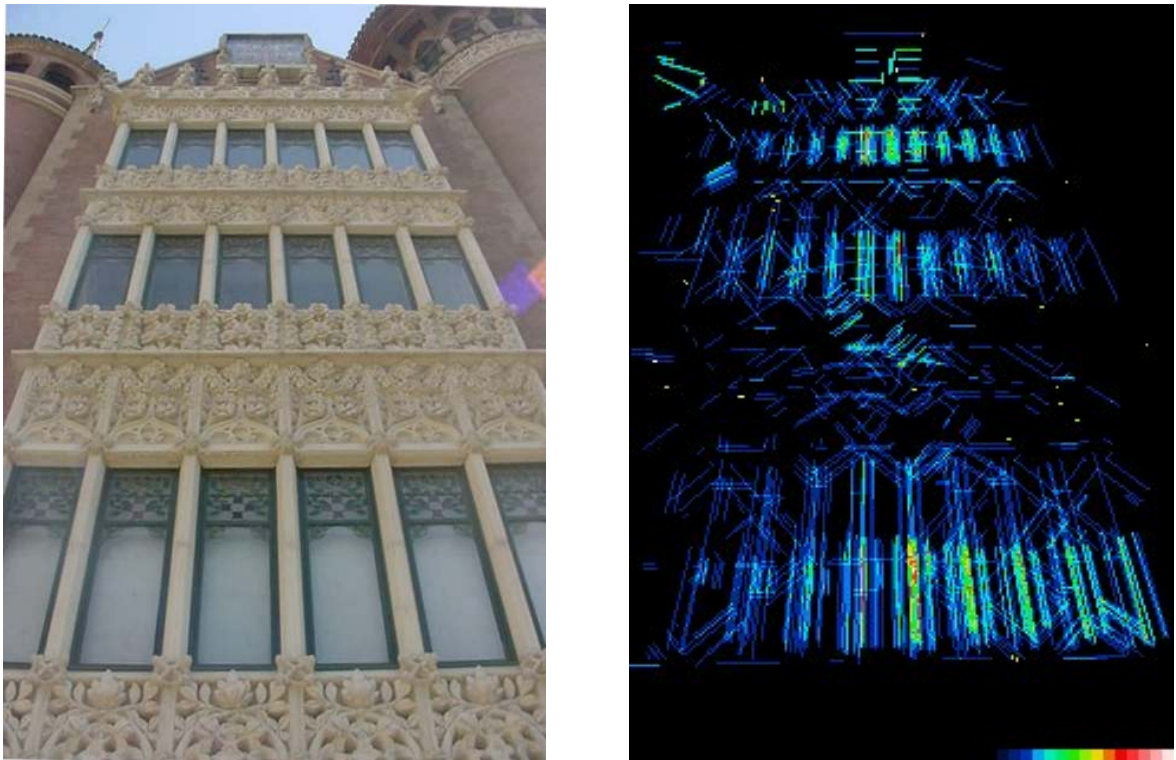


Figura 5.14: Mapa d'acumulació amb una imatge amb distorsió de perspectiva.

Per tal de confirmar aquesta afirmació, presentem un cas extrem Fig 5.15 (a), on l'angle entre el punt d'observació i la forma simètrica és molt oblic però centrat sobre l'eix global. La Fig 5.15 (b) mostra el resultat del processament de imatge inicial on s'observa que la deformacions típiques de la projecció de la perspectiva, ha modificat el paral·lelisme i les dimensions dels segments rectilinis, tot i que mantenen la simetria sobretot en el centre de la forma

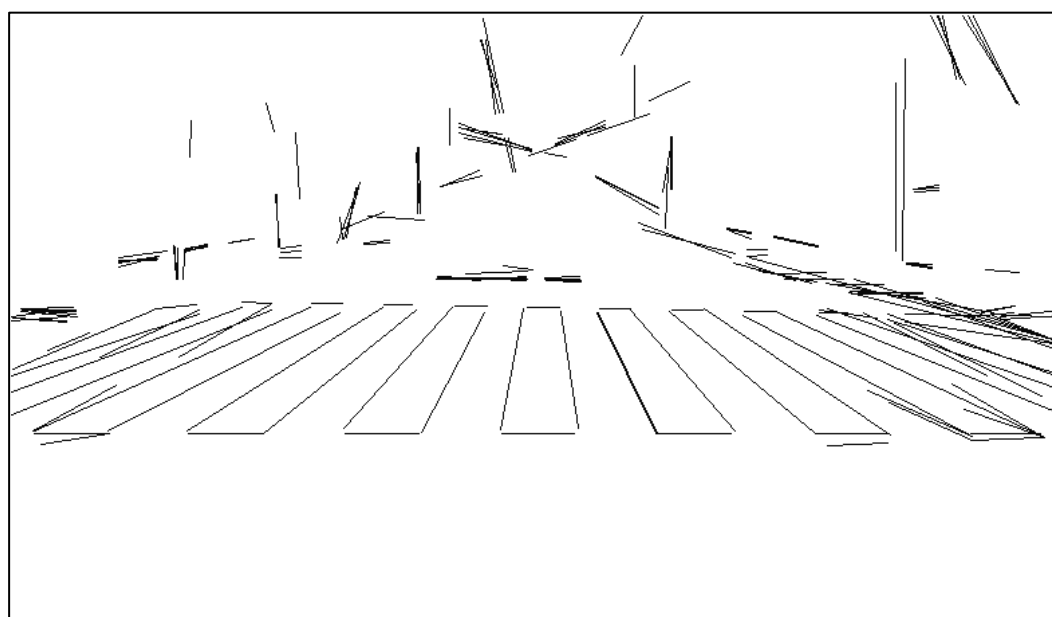
A la Fig.5.16 (a) es mostra el mapa d'acumulació resultant on s'observa la màxima acumulació de segments de contribució a la zona de l'eix global de simetria, és a dir, en el centre del pas de vianants.

Finalment la Fig.5.16 (b) mostrem com el mètode detecta l'eix global amb la màxima ponderació però no detecta eixos locals. Per altra banda els eixos falsos, generats per a

l'acumulació casual de segments locals de contribució, apareixen amb ponderacions molt menys significatives.

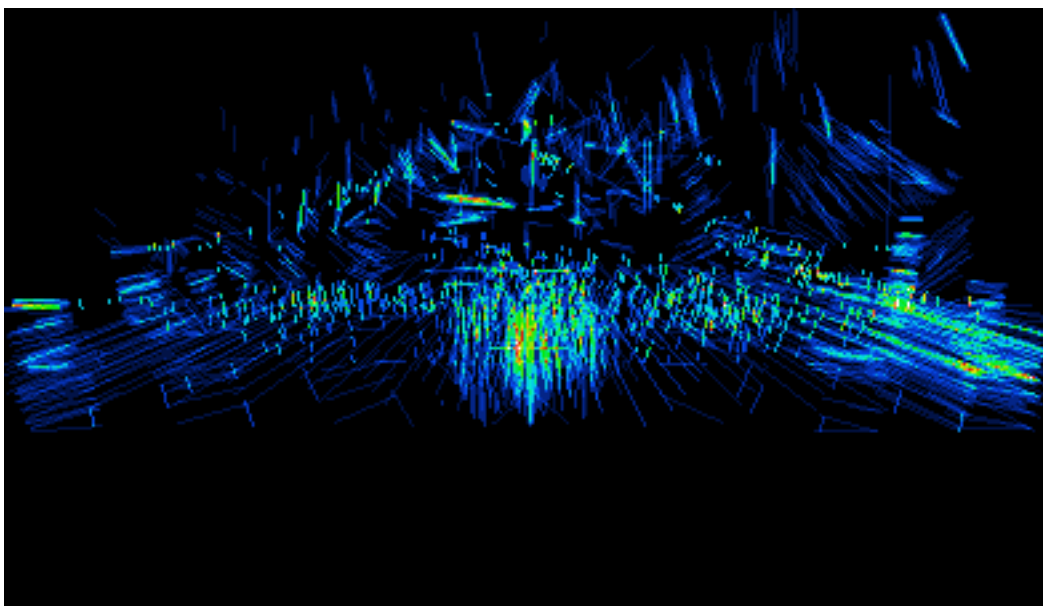


(a)

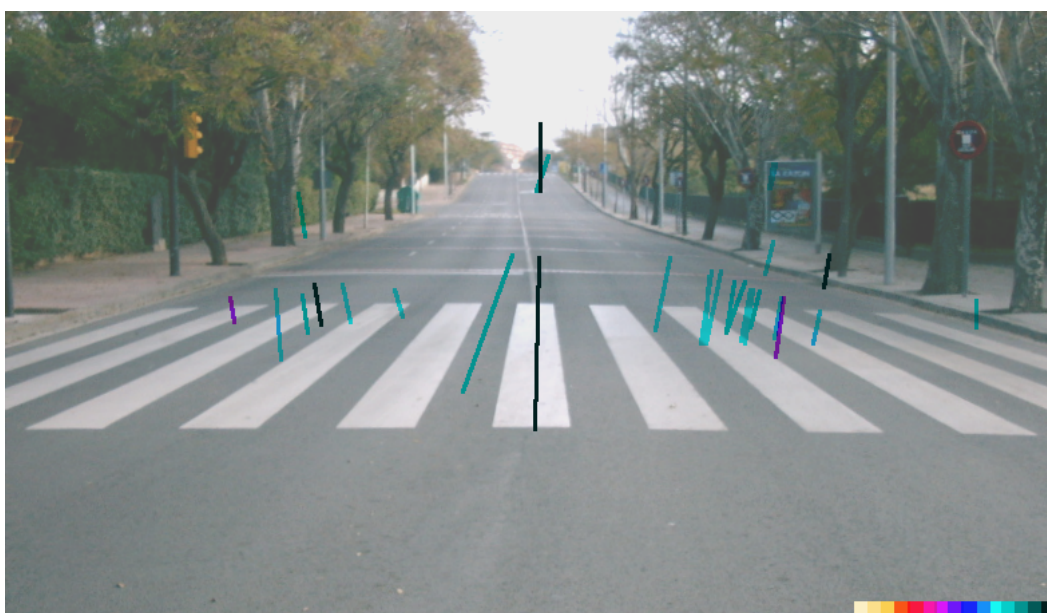


(b)

Figura 5.15: Resultat del processament inicial sobre un imatge amb punt de vista oblic.
(a) Imatge de partida. (b) Segments rectilinis obtinguts



(a)



(b)

Figura 5.16: Resultat sobre una imatge amb punt de vista oblic. (a) mapa d'acumulació. (b) Eixos principals detectats.

5.3 Temps de processament

En aquest apartat presentarem els resultats respecte el temps de processament de cada una de les etapes de les quals es compon el mètode de detecció de simetria. Analitzarem també la millora que aporta el processador dedicat al càlcul del mapa d'acumulació que hem dissenyat en el capítol 4. Per tal d'obtenir un resultat significatiu i posar a prova l'algorisme utilitzarem una imatge que contingui un nombre elevat de segments rectilinis que a la vegada generarà un, encara més elevat nombre de segments de contribució a la simetria, portant el cost de computació del mapa d'acumulació a un punt extrem.

5.3.1 Resultats en el temps de processament de les diferents etapes del mètode

Partim de la imatge de la Fig 5.17(a) amb les restriccions de llargada mínima $L_{min}=10$ píxels i forat mínim per segmentar una línia $K=5$ píxels. Com mostrem a la Fig 5.17(b) s'obtenen 728 segments rectilinis que donen lloc a 53.149 segments de contribució a la simetria \overline{SCSL} i al mapa d'acumulació de la Fig 5.17(c).

A taula 5.1 presentem els resultats obtinguts per les condicions anteriors. Les proves han estat realitzades en un Pentium IV a 1,6 GHz. Tal com havíem previst en els capítols anteriors, el temps total de tots els processos és massa llarg per poder ser utilitzat directament en el tipus d'aplicacions de l'àrea del nostre interès, és a dir, la robòtica amb informació visual. Queda per tant del tot justificat buscar estratègies que millorin aquest temps tal com hem fet en el capítol anterior.

Procés	Temps mitg	Nº elements	Temps total
Obtenció dels \overline{SCSL}	162.25 μ s	53.149	8,62 seg
Càlcul del mapa	80 μ s	53.149	4,25 seg
Obtenció del eixos	16.34 ms	100	1,63seg
Procés complet			14,5 seg

Taula 5.1. Temps de processament de les diferents etapes del mètode

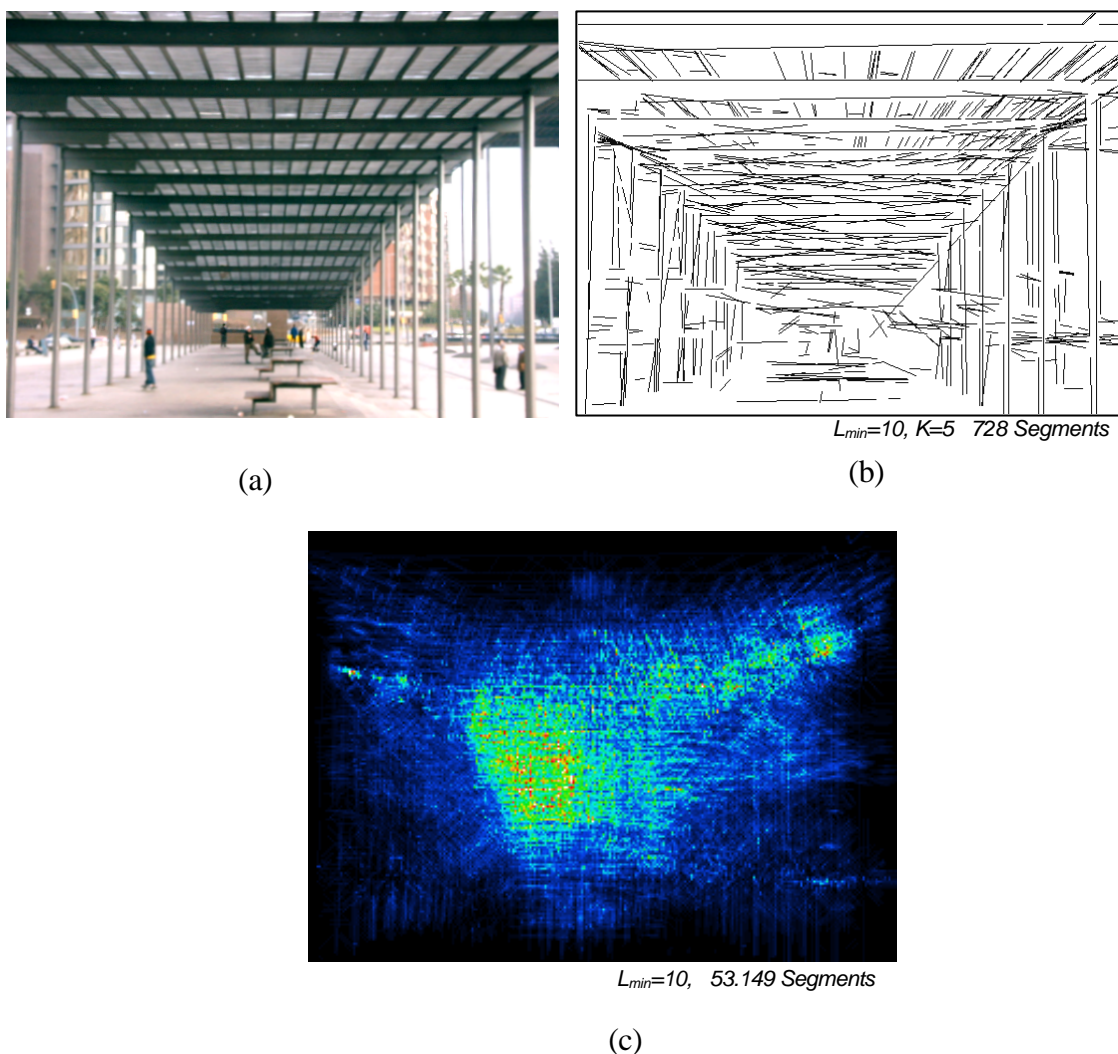


Figure 5.17: Imatge amb un nombre elevat de segments rectilinis.(a) Imatge de partida.(b) Segments rectilinis detectats.(c) Mapa d'acumulació

Confirmen també el que s'ha dit a la introducció del capítol anterior, respecte els costos de computació comparatius dels diferents processos que componen el mètode de detecció d'eixos de simetria, en el sentit que les tasques més costoses són l'obtenció dels segments de contribució i el càlcul del mapa d'acumulació. També podem confirmar, que tot i que la tasca més costosa és l'obtenció dels segments de contribució \overline{SCSL} , per el fet de tenir un ordre de computació $O(n^2)$ on n són els segments de contribució detectats, el cost del càlcul del mapa d'acumulació també és molt elevat, ja que treballa a nivell de píxel amb els mateixos segments, encara que amb un ordre de computació lineal.

5.3.2 Millora del temps de processament

En aquest apartat calcularem el temps que necessita el processador dedicat, dissenyat en el capítol anterior, per tal d'obtenir el mapa d'acumulació de la mateixa imatge que hem utilitzat en el apartat anterior. D'aquesta forma podrem obtenir la millora comparativa en el temps de processament del mapa d'acumulació de l'algorisme presentat en el capítol 2 i en conseqüència en el processament total.

Partirem de la potència de càlcul del processador obtinguda en el disseny VLSI que presentem en el capítol 6 per tres casos de simulació amb condicions de treball desfavorables. Un cas típic menys desfavorable, un cas mig de condicions desfavorables i el cas on s'ajunten totes les condicions desfavorables. Els detalls es poden trobar a l'apartat 6.3.2. Repetim aquí el resultat:

Simulació	Freq_treball _{max}	Potència de càlcul
Cas1	57.3 MHz	57.3 Msegments/seg
Cas2	33.MHz	33.Msegments /seg
Cas3	17.2 MHz	17.2 Msegments /seg

Taula 5.2 Freqüència màxima de treball i potència de càlcul per el tres casos de simulació

On hem caracteritzat la potència de càlcul del processador per el nombre de segments de contribució \overline{SCSL} que el circuit pot processar per segon, per tal d'obtenir el mapa d'acumulació. Segons això i tenint en compte que per la imatge en qüestió de la Fig 5.17 (a) hem obtingut un total de 53.149, tal com mostra la Fig 5.15 (b), podem calcular directament el temps que utilitzarà el processador en obtenir el mapa d'acumulació. Es a dir:

$$Temps_{mapa} = \frac{N}{Pot_calcul}$$

on $N = \text{nombre de } \overline{SCSL}$

El càlcul i l'estudi comparatiu es mostren a la taula 5.3

Simulació	Temps de càlcul del mapa d'acumulació			
	Processador dedicat	Algorisme	Ràtio .millora	
Cas1	53149/57,3 10 ⁶	927,5 µs	4,25 seg	4579
Cas 2	53149/33 10 ⁶	1610,5 µs	4,25 seg	2639
Cas 3	53149/17,2 10 ⁶	3090 µs	4,25 seg	1375

Taula 5.3 Comparació del temps de processament del mapa d'acumulació entre el processador dedicat i l'algorisme.

Es pot veure que la millora és enorme, fins i tot en el cas de simulació més desfavorable, fins al punt que el temps de processament del mapa d'acumulació es pot mantenir respecte la resta de processos.

Per el que respecta al temps total:

Temps total del procés		
Amb Processador	Sense processador	Ràtio .millora
10,26 seg	14,5 seg	1,41

El temps de processament total segueix sent elevat ja que el procés d'obtenció dels segments de contribució \overline{SCSL} té un cost també molt elevat. Una tasca posterior podria ser per tant, trobar estratègies per tal de reduir el cost d'aquest procés.