

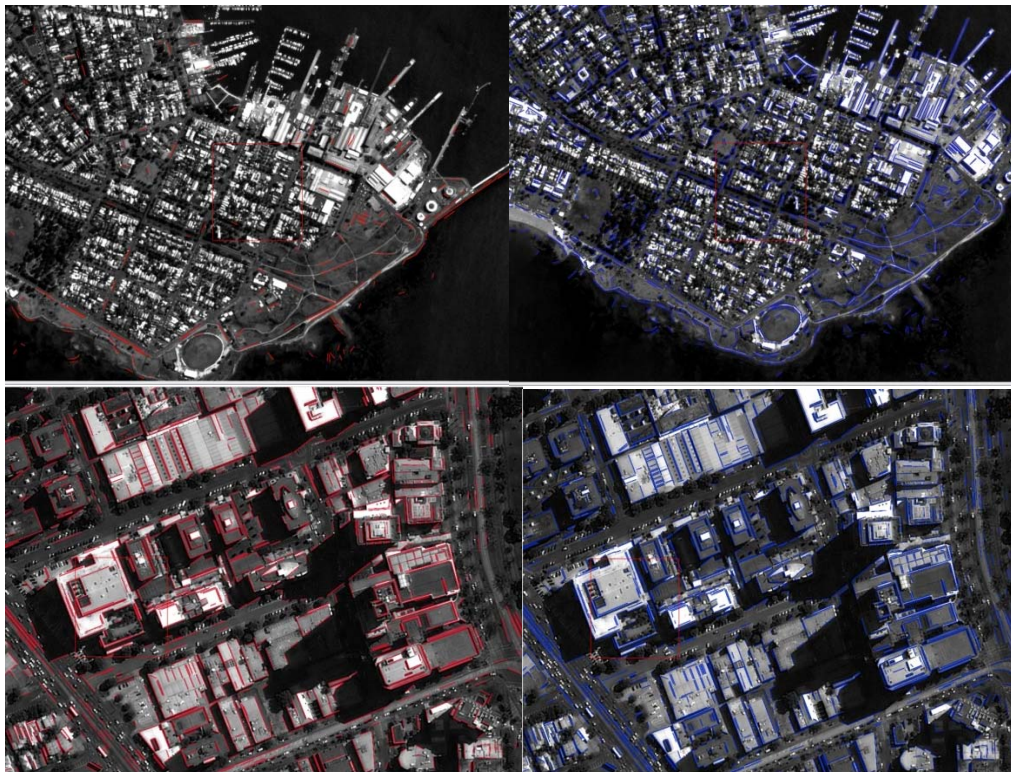


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

Ανάπτυξη αλγορίθμου Line Segment
Detector στη βιβλιοθήκη ελεύθερου
λογισμικού Orfeo- Toolbox

Ταυλάκη Χρυσάνθη



Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτριος Αργιαλάς

ΑΘΗΝΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2013

Διπλωματική Εργασία

Ανάπτυξη αλγορίθμου Line Segment
Detector στη βιβλιοθήκη ελεύθερου
λογισμικού Orfeo- Toolbox

Ταυλάκη Χρυσάνθη

Εξεταστική Επιτροπή: Επιβλέπων: Αργιαλάς Δ. (Καθηγητής Ε.Μ.Π.)

Μέλος: Γεωργόπουλος Α. (Καθηγητής Ε.Μ.Π.)

Μέλος: Καράντζαλος Κ. (Λέκτορας Ε.Μ.Π.)

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	ii
Κατάλογος Εικόνων.....	vi
Κατάλογος Πινάκων.....	xviii
Περίληψη.....	2
Abstract.....	4
1 Εισαγωγικά.....	6
1.1 Στόχος, Οργάνωση Εργασίας.....	6
1.2 Ανίχνευση Ακμών.....	7
1.2.1 Γενικά.....	7
1.2.2 Αλγόριθμοι Ανίχνευσης Ακμών.....	7
1.3 Χαρτογράφηση αστικής γης.....	9
1.3.1 Γενικά.....	9
1.3.2 Αλγόριθμοι Ανίχνευσης Ακμών.....	10
1.4 Σύντομη περιγραφή του αλγορίθμου Canny και του μετασχηματισμού Hough....	11
1.4.1 Ανιχνευτής ακμών Canny (Canny Edge Detector).....	11
1.4.2 Μετασχηματισμός Hough.....	15
1.5 Λίγα λόγια για το πρόγραμμα Orfeo και για το σύστημα δορυφόρων Pléiades....	16
1.5.1 Pléiades.....	17
1.5.2 Λίγα λόγια για το Orfeo Toolbox.....	17
2 Ανιχνευτής Ευθύγραμμων Τμημάτων (Line Segment Detector).....	20
2.1 Εισαγωγή.....	20
2.1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	20
2.1.2 Ο αλγόριθμος.....	24
2.1.3 Εφαρμογές.....	46
3 Εφαρμογή LSD στη βιβλιοθήκη Orfeo Toolbox.....	52
3.1 Σύντομη Περιγραφή χαρακτηριστικών της εικόνας εισόδου.....	52
3.2 Αναλυτική Περιγραφή της Διαδικασίας εφαρμογής του αλγορίθμου LSD στη βιβλιοθήκη Orfeo Toolbox.....	53
3.2.1 Γενικά.....	53
3.2.2 Εφαρμογή αλγορίθμου μέσω του προτεινόμενου εκτελέσιμου.....	53
3.2.3 Εξαγωγή γραμμών LSD σε αρχείο Shapefile.....	58
4 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Εφαρμογής του Αλγορίθμου Line Segment Detector στην εικόνα μελέτης.....	60

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

4.1	Σύγκριση Καναλιών	61
4.1.1	Εφαρμογή Αλγορίθμου Line Segment Detector στο κόκκινο κανάλι της εικόνας-εισόδου	62
4.2	Επιμέρους εφαρμογή του αλγορίθμου LSD σε τμήματα της αρχικής εικόνας.....	69
4.2.1	Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων	72
4.3	Εφαρμογή σε πυραμίδα εικόνων	74
4.3.1	Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων	78
4.4	Σύγκριση φίλτρων προεπεξεργασίας.....	80
4.4.1	Λίγα λόγια για τα φίλτρα.....	80
4.4.2	Διωνυμικό (Binomial) φίλτρο	81
4.4.3	Φίλτρο Gauss.....	87
4.4.4	Φίλτρο μεσαίας τιμής (median)	94
4.4.5	Ανισοτροπική Διάχυση (Anisotropic Diffusion).....	100
4.4.6	Φίλτρο αμφίπλευρο (Bilateral)	107
4.5	Σύγκριση με λοιπούς αλγορίθμους ανίχνευσης ακμών και γραμμών.....	112
4.5.1	Ανιχνευτής ακμών Canny (Canny Edge Detector)	112
4.5.2	Μετασχηματισμός Hough	117
4.6	Συμπεράσματα	119
5	Προγραμματιστική Εφαρμογή	122
5.1	Εισαγωγή.....	122
5.2	Σύντομη Περιγραφή χαρακτηριστικών της εικόνας εισόδου	123
5.3	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων.....	125
5.3.1	Εικόνα 1	128
5.3.2	Εικόνα 2	132
5.3.3	Αντιμετώπιση Προβλημάτων	134
5.3.4	Αναθεώρηση προγραμματιστικής εφαρμογής	139
6	Σύνοψη Συμπερασμάτων	144
6.1	Συμπεράσματα	144
6.2	Προοπτικές	144
	Βιβλιογραφία.....	146
	Παράρτημα.....	149
	Απαιτούμενα CMake αρχεία για την εφαρμογή του αλγορίθμου LSD στη βιβλιοθήκη Orfeo Toolbox.....	150
	CMakeLists.txt	150

CMakeLists1.txt	150
CMakeLists2.txt	150
Προτεινόμενο αρχείο κώδικα για εφαρμογή αλγορίθμου Line Segment Detector	156
Αρχείο κώδικα για εφαρμογή αλγορίθμου LSD και εξαγωγή αποτελεσμάτων σε shapefile	160
Απαιτούμενο CMake αρχείο για την εφαρμογή λοιπών μορφών επεξεργασίας εικόνας στη βιβλιοθήκη Orfeo Toolbox	164
CMakeLists.txt	164
Εξαγωγή Καναλιού από Πολυφασματική Εικόνα	165
Αρχείο κώδικα για τη δημιουργία πυραμίδας εικόνων	166
Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή διωνυμικού φίλτρου (binomial) σε grayscale εικόνα.	168
Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή φίλτρου Gauss σε grayscale εικόνα.....	169
Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή φίλτρου μεσαίας τιμής (median) σε grayscale εικόνα	171
Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή φίλτρου Anisotropic Diffusion σε grayscale εικόνα ...	172
Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή φίλτρου Bilateral σε grayscale εικόνα.....	174
Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή αλγορίθμου Canny σε grayscale εικόνα.....	175
Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή μετασχηματισμού Hough στην εικόνα.....	177
Ανάπτυξη Προγραμματιστικής Εφαρμογής για ανίχνευση γραμμών σε εφαρμογές χαρτογράφησης αστικού περιβάλλοντος	179
Α Έκδοση.....	179
Β Έκδοση.....	183

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: α. Διατομή εικόνας σε κλιμακωτή ακμή b. Διατομή εικόνας με θόρυβο σε κλιμακωτή ακμή c. Α' παράγωγος εικόνας σε κλιμακωτή ακμή d. Β' παράγωγος εικόνας σε κλιμακωτή ακμή	8
Εικόνα 1.2: Διατομή εικόνας σε γραμμική ακμή	8
Εικόνα 1.3: Διατομή εικόνας σε ακμή σύνδεσης τύπου T	9
Εικόνα 1.4: (α) Αρχική εικόνα (b) Εξομαλυμένη μέσω φίλτρου Gauss εικόνα	12
Εικόνα 1.5: (α) Εξομαλυμένη εικόνα (b) Τα μέτρα πρώτης παραγώγου της εικόνας στην εξομαλυμένη εικόνα	13
Εικόνα 1.6: (α) Τα αρχικά μέτρα πρώτης παραγώγου της εικόνας (b) Τα μέτρα πρώτης παραγώγου της εικόνας, όπως προέκυψαν έπειτα από την διαδικασία εξαφάνισης των μη μεγίστων	14
Εικόνα 1.7: (α) Οι ακμές, όπως προέκυψαν έπειτα από τη διαδικασία εξαφάνισης των μη μεγίστων (b) Οι ακμές, όπως προέκυψαν έπειτα από τη διαδικασία διπλής κατωφλίωσης. Οι ισχυρές ακμές εμφανίζονται με λευκό χρώμα και αντίστοιχα οι ασθενείς με λευκό	14
Εικόνα 1.8: (α) Οι ακμές, όπως προέκυψαν έπειτα από τη διαδικασία διπλής κατωφλίωσης. Οι ισχυρές ακμές εμφανίζονται με λευκό χρώμα και αντίστοιχα οι ασθενείς με λευκό. (b) Οι ακμές, όπως προέκυψαν έπειτα από τη διαδικασία εντοπισμού ακμών. Οι ασθενείς ακμές που συνδέονται με ισχυρές εμφανίζονται με μπλε χρώμα και αντίστοιχα με ασθενείς με κόκκινο χρώμα. (c) Τελικό αποτέλεσμα	15
Εικόνα 2.1: Εφαρμογή ανίχνευσης ακμών μέσω του φίλτρου Canny	20
Εικόνα 2.2: Εφαρμογή ανίχνευσης γραμμών μέσω μετασχηματισμού Hough και μέσω της μεθόδου Eternadi. Στην εικόνα αναγράφεται ο χρόνος που διήρκεσε η εφαρμογή της εκάστοτε μεθόδου στην εικόνα-εισόδου.	21
Εικόνα 2.3: Εφαρμογή ανίχνευσης γραμμών μέσω του αλγορίθμου Probabilistic Hough Transform. Στην εικόνα αναγράφεται ο χρόνος που διήρκεσε η εφαρμογή της εκάστοτε μεθόδου στην εικόνα-εισόδου.	22
Εικόνα 2.4: Εφαρμογή ανίχνευσης ευθύγραμμων τμημάτων μέσω της μεθόδου των Burns et al καθώς και της μεθόδου των Desolneux et al.. Στην εικόνα αναγράφεται ο χρόνος που διήρκεσε η εφαρμογή της εκάστοτε μεθόδου στην εικόνα-εισόδου.	23
Εικόνα 2.5: Εφαρμογή ανίχνευσης ευθύγραμμων τμημάτων μέσω της μεθόδου ανίχνευσης πολλαπλών ευθυγράμμων τμημάτων και μέσω της μεθόδου LSD. Στην εικόνα αναγράφεται ο χρόνος που διήρκεσε η εφαρμογή της εκάστοτε μεθόδου στην εικόνα-εισόδου.....	24
Εικόνα 2.6: Ψευδοκώδικας αλγορίθμου για τη έκδοση του Απριλίου 2010.....	25
Εικόνα 2.7: Εκτίμηση του μεγέθους γωνιακό σφάλμα	26
Εικόνα 2.8: Διαδικασία σχηματισμού των υποπεριοχών εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμές	27
Εικόνα 2.9: Από αριστερά: διασταύρωση γραμμών με γωνία μικρότερη της ανοχής, αποτέλεσμα κατά Burns et al., αποτέλεσμα LSD	28
Εικόνα 2.10: Προσομοίωση ευθύγραμμου τμήματος με ορθογώνιο παραλληλόγραμμο.....	29
Εικόνα 2.11: Διαδικασία προσομοίωσης υποπεριοχής εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή με ορθογώνιο. Από αριστερά: αρχική εικόνα υποπεριοχής εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή, παραγόμενο ορθογώνιο.	29

Εικόνα 2.12: Κατασκευή πεδίου γωνιών ορίων κλίσης	30
Εικόνα 2.13: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου Line Segment Detector για την έκδοση που δημοσιεύτηκε τον Απρίλιο 2010	32
Εικόνα 2.14: Ψευδοκώδικας αλγορίθμου για τη έκδοση του Μαρτίου 2012	33
Εικόνα 2.15: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD σε δύο ακμές χωρίς μεταβολή της κλίμακας της εικόνας.	34
Εικόνα 2.16: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD σε δύο ακμές με μεταβολή της κλίμακας της εικόνας	34
Εικόνα 2.17: Παράγωγος εικόνας και γωνία κλίσης ορίου	35
Εικόνα 2.18: Εκτίμηση του μεγέθους γωνιακό σφάλμα	37
Εικόνα 2.19: Περιοχές εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή.....	37
Εικόνα 2.20: Διαδικασία μεγέθυνση περιοχής με ανοχή r (από αριστερά προς τα δεξιά) 11.25, 22.5, 45.	38
Εικόνα 2.21: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD για εικόνα για τρεις διαφορετικές τιμές της παραμέτρου ϵ (από αριστερά προς τα δεξιά) $\epsilon = 1$, $\epsilon = 10^{-1}$ και $\epsilon = 10^{-2}$	41
Εικόνα 2.22: Υποπεριοχή εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή σε διασταύρωση γραμμών με γωνία μικρότερη της ανοχής	41
Εικόνα 2.23: Παράδειγμα μείωσης πάχους W του ορθογωνίου στη διαδικασία Βελτίωση ορθογωνίου του αλγορίθμου LSD.....	44
Εικόνα 2.24: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου Line Segment Detector για την έκδοση που δημοσιεύτηκε το Μάρτιο του 2012	45
Εικόνα 2.25: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του πρώτου παραδείγματος.....	46
Εικόνα 2.26: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του δεύτερου παραδείγματος.....	47
Εικόνα 2.27: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του τρίτου παραδείγματος.....	47
Εικόνα 2.28: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του τέταρτου παραδείγματος.....	48
Εικόνα 2.29: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του πέμπτου παραδείγματος.....	48
Εικόνα 2.30: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του πέμπτου παραδείγματος, έπειτα από εφαρμογή σε αυτήν της υποδειγματοληψίας Gauss	49
Εικόνα 2.31: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του έκτου παραδείγματος.....	49
Εικόνα 2.32: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD σε τμήμα της εικόνας του έκτου παραδείγματος.....	50
Εικόνα 2.33: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του έβδομου παραδείγματος.....	50
Εικόνα 3.1: Εικόνα αποχρώσεων του γκρι του κόκκινου καναλιού από την εικόνα της Μεμβούρνης.....	52
Εικόνα 3.2: Εφαρμογή αλγορίθμου LSD για το κόκκινο κανάλι της περιοχής της Μεμβούρνης	57
Εικόνα 4.1: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD για τα κανάλια μπλε, πράσινο, κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο για την περιοχή της Μεμβούρνης.....	61

Εικόνα 4.2: Απόσπασμα από το αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD για την περιοχή της Μελβούρνης.....	62
Εικόνα 4.3: Εικόνα γκριζων τόνων κόκκινου καναλιού της εικόνας της Μελβούρνης. Οι περιοχές στις οποίες εστιάζει η διαδικασία αξιολόγησης σημειώνονται με κόκκινο χρώμα.	63
Εικόνα 4.4: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.	64
Εικόνα 4.5: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης	65
Εικόνα 4.6: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο εικονιζόμενο οδικό δίκτυο στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.	65
Εικόνα 4.7: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.	66
Εικόνα 4.8: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.	66
Εικόνα 4.9: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα (τρίτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.	67
Εικόνα 4.10: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.	67
Εικόνα 4.11: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.	68
Εικόνα 4.12: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.....	68
Εικόνα 4.13: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στο σύνολο των αρχικών της διαστάσεων.	70
Εικόνα 4.14: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στο ένα τέταρτο των αρχικών της διαστάσεων.....	71
Εικόνα 4.15: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στο ένα δέκατο έκτο των αρχικών της διαστάσεων.....	71
Εικόνα 4.16: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στο σύνολο της αρχικής εικόνας. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.	72
Εικόνα 4.17: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στο ένα τέταρτο της αρχικής εικόνας. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης	73
Εικόνα 4.18: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στο ένα δέκατο έκτο της αρχικής εικόνας. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.	73
Εικόνα 4.19: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στο σύνολο (κόκκινο χρώμα γραμμών) και στο $\frac{1}{4}$ (πράσινο χρώμα) Κάτω: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στο σύνολο (κόκκινο χρώμα γραμμών) και στο $\frac{1}{8}$ (μπλε χρώμα) των αρχικών διαστάσεων.	74
Εικόνα 4.20: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD σε πυραμίδα εικόνων στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτο απόσπασμα της εικόνας). (Παρόν μέγεθος εικόνας: 2048x2048, αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)	75

Εικόνα 4.21: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD σε πυραμίδα εικόνων στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερο απόσπασμα της εικόνας). (Παρόν μέγεθος εικόνας: 2048x2048, αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)	75
Εικόνα 4.22: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD σε πυραμίδα εικόνων στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (τρίτο απόσπασμα της εικόνας). (Παρόν μέγεθος εικόνας: 2048x2048, αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)	76
Εικόνα 4.23: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD σε πυραμίδα εικόνων στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (τέταρτο απόσπασμα της εικόνας). (Παρόν μέγεθος εικόνας: 2048x2048, αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)	76
Εικόνα 4.24: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD σε πυραμίδα εικόνων στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτο απόσπασμα της εικόνας). (Παρόν μέγεθος εικόνας: 1024x1024, αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)	77
Εικόνα 4.25: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD σε πυραμίδα εικόνων στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερο απόσπασμα της εικόνας). (Παρόν μέγεθος εικόνας: 1024x1024, αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)	77
Εικόνα 4.26: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στις αρχικές διαστάσεις εικόνας. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.	78
Εικόνα 4.27: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης διαστάσεις εικόνας 2048x2048 (αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096). Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.....	79
Εικόνα 4.28: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης διαστάσεις εικόνας 1024x1024 (αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096). Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.....	79
Εικόνα 4.29: Διαδικασία εφαρμογής φίλτρων σε εικόνα.....	80
Εικόνα 4.30: Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	82
Εικόνα 4.31 Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	83
Εικόνα 4.32: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο εικονιζόμενο οδικό δίκτυο στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης. Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.	83
Εικόνα 4.33: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής	

εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού..... 84

Εικόνα 4.34: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού..... 84

Εικόνα 4.35: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (τρίτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού..... 85

Εικόνα 4.36: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού..... 85

Εικόνα 4.37: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού..... 86

Εικόνα 4.38: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης. 86

Εικόνα 4.39: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού. 89

Εικόνα 4.40: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού..... 89

Εικόνα 4.41: Αριστερά Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο εικονιζόμενο οδικό δίκτυο στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης. Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται

- οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού. 90
- Εικόνα 4.42: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού. 90
- Εικόνα 4.43: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού. 91
- Εικόνα 4.44: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (τρίτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού. 91
- Εικόνα 4.45: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού. 92
- Εικόνα 4.46: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού. 92
- Εικόνα 4.47: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης. 93
- Εικόνα 4.48: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού. 95
- Εικόνα 4.49: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που

ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	95
Εικόνα 4.50: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο εικονιζόμενο οδικό δίκτυο στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης. Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.	96
Εικόνα 4.51: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Κάτω: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	97
Εικόνα 4.52: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	97
Εικόνα 4.53: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (τρίτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	98
Εικόνα 4.54: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	98
Εικόνα 4.55: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	99
Εικόνα 4.56: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.	99
Εικόνα 4.57: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές	

που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	102
Εικόνα 4.58: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	102
Εικόνα 4.59: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο εικονιζόμενο οδικό δίκτυο στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης. Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	103
Εικόνα 4.60: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	104
Εικόνα 4.61: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο κόκκινο κανάλι σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	104
Εικόνα 4.62: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο κόκκινο κανάλι σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (τρίτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	105
Εικόνα 4.63: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	105
Εικόνα 4.64: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.....	106

Εικόνα 4.65: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.	106
Εικόνα 4.66: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.....	108
Εικόνα 4.67: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.....	108
Εικόνα 4.68: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο εικονιζόμενο οδικό δίκτυο στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης. Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.....	109
Εικόνα 4.69: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.....	109
Εικόνα 4.70: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.	110
Εικόνα 4.71: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο κόκκινο κανάλι σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα (τρίτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.	110
Εικόνα 4.72: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.....	111
Εικόνα 4.73: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.....	111
Εικόνα 4.74: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο. Στην εικόνα εμφανίζονται αντιπροσωπευτικές περιοχές αστικής δόμησης.	111
Εικόνα 4.75: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου Canny σε εικονιζόμενες περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας).	113
Εικόνα 4.76: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου Canny σε εικονιζόμενες περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας).	114
Εικόνα 4.77: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου Canny σε καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας).	114

Εικόνα 4.78: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου Canny σε καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας)..	115
Εικόνα 4.79: Αποτέλεσμα εφαρμογής Canny σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.....	115
Εικόνα 4.80: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου Canny. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης)	116
Εικόνα 4.81: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής μετασχηματισμού Hough. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.	118
Εικόνα 5.1: Τρία επίπεδα μελέτης: Αρχική εικόνα, δημιουργία επιπέδου τεσσάρων τμημάτων και δεκαέξι τμημάτων.....	123
Εικόνα 5.2: Εικόνα γκρίζων τόνων κόκκινου καναλιού από την εικόνα της Μελβούρνης (Εικόνα 1).....	124
Εικόνα 5.3: Εικόνα γκρίζων τόνων κόκκινου καναλιού από την εικόνα της Μελβούρνης (Εικόνα 2).....	125
Εικόνα 5.4: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο πρώτο επίπεδο μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).	128
Εικόνα 5.5: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο δεύτερο επίπεδο μελέτης μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).. Κάτω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο πρώτο και δεύτερο επίπεδο μελέτης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στο δεύτερο επίπεδο μελέτης και με κόκκινο εκείνες στο πρώτο.	128
Εικόνα 5.6: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο τρίτο επίπεδο μελέτης μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).. Κάτω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο πρώτο και τρίτο επίπεδο μελέτης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στο τρίτο επίπεδο μελέτης και με κόκκινο εκείνες στο πρώτο.	129
Εικόνα 5.7: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο πρώτο επίπεδο μελέτης μελέτης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).	129
Εικόνα 5.8: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο δεύτερο επίπεδο μελέτης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).	130
Εικόνα 5.9: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο τρίτο επίπεδο μελέτης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).	130
Εικόνα 5.10: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο δεύτερο επίπεδο μελέτης. Απόσπασμα εικόνας στο οποίο εμφανίζονται υπαίθριοι χώροι.	131
Εικόνα 5.11: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο τρίτο επίπεδο μελέτης. . Απόσπασμα εικόνας στο οποίο εμφανίζονται υπαίθριοι χώροι.	131
Εικόνα 5.12: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο πρώτο επίπεδο μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).	132
Εικόνα 5.13: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο δεύτερο επίπεδο μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Κάτω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο πρώτο και δεύτερο επίπεδο μελέτης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στο δεύτερο επίπεδο μελέτης και με κόκκινο εκείνες στο πρώτο.	132
Εικόνα 5.14: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο τρίτο επίπεδο μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Κάτω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο	

πρώτο και τρίτο επίπεδο μελέτης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στο τρίτο επίπεδο μελέτης και με κόκκινο εκείνες στο πρώτο.	133
Εικόνα 5.15: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο πρώτο επίπεδο μελέτης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).	133
Εικόνα 5.16: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο δεύτερο επίπεδο μελέτης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).....	134
Εικόνα 5.17: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο τρίτο επίπεδο μελέτης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).	134
Εικόνα 5.18: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στα τρία επίπεδα μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).	135
Εικόνα 5.19: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων για την αρχική εικόνα (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων για την εξομαλυμένη εικόνα.	135
Εικόνα 5.20: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων για την αρχική εικόνα (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων για την εξομαλυμένη εικόνα.	136
Εικόνα 5.21: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων για την αρχική εικόνα (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων για την εξομαλυμένη εικόνα.	136
Εικόνα 5.22: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων για την αρχική εικόνα (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων για την εξομαλυμένη εικόνα.	137
Εικόνα 5.23: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων για την αρχική εικόνα (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων για την εξομαλυμένη εικόνα.	137
Εικόνα 5.24: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων για την αρχική εικόνα (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων για την εξομαλυμένη εικόνα.	138
Εικόνα 5.25: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD για την Εικόνα 1. Κάτω: Τελικό αποτέλεσμα προτεινόμενου εκτελέσιμου για την Εικόνα 1.....	141
Εικόνα 5.26: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD για την Εικόνα 2. Κάτω: Τελικό αποτέλεσμα προτεινόμενου εκτελέσιμου για την Εικόνα 2.....	142

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Κύρια Χαρακτηριστικά Δορυφόρων Πλέιades	17
Πίνακας 4.1: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (αριθμός διανυσματικών δεδομένων)	69
Πίνακας 4.2: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δείκτες ποιότητας).....	69
Πίνακας 4.3: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο σύνολο της αρχικής εικόνας (αριθμός διανυσματικών δεδομένων)	72
Πίνακας 4.4: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο σύνολο της αρχικής εικόνας (δείκτες ποιότητας).....	72
Πίνακας 4.5: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο ένα τέταρτο της αρχικής εικόνας (αριθμός διανυσματικών δεδομένων)	73
Πίνακας 4.6: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο ένα τέταρτο της αρχικής εικόνας (δείκτες ποιότητας).....	73
Πίνακας 4.7: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο ένα δέκατο έκτο της αρχικής εικόνας (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).....	74
Πίνακας 4.8: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD ένα δέκατο έκτο της αρχικής εικόνας (δείκτες ποιότητας).....	74
Πίνακας 4.9: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο σύνολο της αρχικής εικόνας (αριθμός διανυσματικών δεδομένων)	78
Πίνακας 4.10: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο σύνολο της αρχικής εικόνας (δείκτες ποιότητας).....	78
Πίνακας 4.11: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD διαστάσεις εικόνας 2048x2048 (αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096) (αριθμός διανυσματικών δεδομένων) ...	79
Πίνακας 4.12: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD διαστάσεις εικόνας 2048x2048 (αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096) (δείκτες ποιότητας)	79
Πίνακας 4.13: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD διαστάσεις εικόνας 1024x1024 (αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096) (αριθμός διανυσματικών δεδομένων)	80
Πίνακας 4.14: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD διαστάσεις εικόνας 1024x1024 (αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096) (δείκτες ποιότητας).....	80
Πίνακας 4.15: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο (αριθμός διανυσματικών δεδομένων)	86
Πίνακας 4.16: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο (δείκτες ποιότητας).....	87
Πίνακας 4.17: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).....	93
Πίνακας 4.18: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss (δείκτες ποιότητας)	93
Πίνακας 4.19: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).....	99
Πίνακας 4.20: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής (δείκτες ποιότητας).....	100

Πίνακας 4.21: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).	106
Πίνακας 4.22: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης (δείκτες ποιότητας).	107
Πίνακας 4.23: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).	112
Πίνακας 4.24: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο (δείκτες ποιότητας).	112
Πίνακας 4.25: Σύγκριση αλγορίθμων Canny, LSD (σύγκριση αριθμού διανυσματικών δεδομένων).	117
Πίνακας 4.26: Σύγκριση αλγορίθμων Canny, LSD (σύγκριση δεικτών ποιότητας).	117
Πίνακας 4.27: Σύγκριση μετασχηματισμού Hough, LSD (σύγκριση αριθμού διανυσματικών δεδομένων).	118
Πίνακας 4.28: Σύγκριση μετασχηματισμού Hough, LSD (σύγκριση δεικτών ποιότητας).	118
Πίνακας 4.29: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.	119
Πίνακας 4.30: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο σύνολο, στο ένα τέταρτο και στο ένα δέκατο έκτο τμήμα της εικόνας –εισόδου.....	119
Πίνακας 4.31: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο σύνολο, στο ένα τέταρτο και στο ένα δέκατο έκτο των αρχικών διαστάσεων της εικόνας –εισόδου.....	120
Πίνακας 4.32: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με φίλτρα εξομάλυνσης.	120
Πίνακας 4.33: Σύγκριση ανιχνευτή ακμών Canny, μετασχηματισμού Hough, LSD	121
Πίνακας 5.1: Διαστάσεις και χωρική ανάλυση Εικόνας 1 για τα τρία επίπεδα μελέτης.	124
Πίνακας 5.2: Διαστάσεις και χωρική ανάλυση Εικόνας 2 για τα τρία επίπεδα μελέτης.	124
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα εφαρμογής Line Segment Detector για τα τρία επίπεδα μελέτης (Εικόνα 1).....	125
Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα εφαρμογής Line Segment Detector για τα τρία επίπεδα μελέτης (Εικόνα 2).....	126
Πίνακας 5.5: Στοιχεία εξαγόμενων διανυσματικών δεδομένων για τα τρία επίπεδα μελέτης (Εικόνα 1).....	126
Πίνακας 5.6: Στοιχεία εξαγόμενων διανυσματικών δεδομένων για τα τρία επίπεδα μελέτης (Εικόνα 2).....	127
Πίνακας 5.7: Μήκος μικρότερης ανιχνευμένης γραμμής για τα τρία επίπεδα μελέτης (Εικόνα 1).....	127
Πίνακας 5.8: Μήκος μικρότερης ανιχνευμένης γραμμής για τα τρία επίπεδα μελέτης (Εικόνα 2).....	127
Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα εφαρμογής Line Segment Detectorστη αρχική και στην εξομαλυμένη εικόνα για τα τρία επίπεδα μελέτης	139
Πίνακας 5.10: Στοιχεία εξαγόμενων διανυσματικών δεδομένων για τα τρία επίπεδα μελέτης στην εξομαλυμένη εικόνα.....	139

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον των γεωεπιστημόνων έχει στραφεί σε αναζήτηση τεχνικών, οι οποίες θα αυτοματοποιήσουν τη διαδικασία χαρτογράφησης αστικών περιοχών. Δορυφορικά δεδομένα από δέκτες υψηλής χωρικής ανάλυσης αποτελούν πολύτιμο εργαλείο στην προαναφερθείσα διαδικασία, καθώς τα συγκεκριμένα δίνουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης τόσο χωρικής όσο και φασματικής πληροφορίας των εικονιζόμενων αντικειμένων. Στο παρελθόν, το πρόβλημα της ανίχνευσης ακμών στις αστικές περιοχές αντιμετωπιζόταν συνήθως με τη χρήση του αλγορίθμου Canny και αυτό των γραμμών μέσω του μετασχηματισμού Hough. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας ενός νέου αλγορίθμου ανίχνευσης ευθυγράμμων τμημάτων του Line Segment Detector στη διαδικασία αποτύπωσης του αστικού περιβάλλοντος μέσω τηλεπισκοπικών δεδομένων. Οι δημιουργοί του Line Segment Detector ανέπτυξαν αλγόριθμο, ο οποίος δίνει γρήγορα, ακριβή αποτελέσματα και επιπλέον δεν απαιτεί από το χρήστη ρύθμιση παραμέτρων.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, ο προαναφερθείς αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε εικόνες υψηλής ευκρίνειας, οι οποίες προέρχονται από τους δορυφόρους Pleiades. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε ανίχνευση ευθύγραμμων τμημάτων στις εικόνες στην αρχική τους μορφή, καθώς επίσης έπειτα από εφαρμογή σε αυτές διάφορων τεχνικών προεπεξεργασίας. Στόχος των δοκιμών αυτών ήταν η εύρεση της τεχνικής εκείνης, η οποία θα δώσει τα βέλτιστα δυνατά αποτελέσματα του αλγορίθμου, σε ό,τι αφορά εφαρμογές χαρτογράφησης αστικού περιβάλλοντος. Τα συμπεράσματα, τα οποία αντλήθηκαν μέσω της παραπάνω διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν για τη δόμηση προτεινόμενου εκτελέσιμου αρχείου.

Abstract

In recent years the interest of geoscientists has turned in search of techniques, which will automate the process of mapping urban areas. High resolution multispectral images are a valuable tool in the aforementioned process, as these give both spatial and spectral information of the depicted objects. In the past, the problem of edge detection in urban areas was usually treated by using the Canny algorithm and the problem of line detection was carried out by the Hough transformation. The aim of this thesis was to investigate the effectiveness of the Line Segment Detector algorithm, through the process of urban environment mapping through remote sensing data. The creators of the Line Segment Detector developed an algorithm that gives fast, accurate results and in addition does not require user configuration.

In the present work, the above algorithm was applied to high-resolution images, derived from Pleiades. Specifically, line segment detection was performed on the original images, as well as on properly preprocessed images. The purpose of these tests was to find the technique which will give the best results of the algorithm for urban environment mapping. The conclusions which were drawn through the above procedure were used to construct the proposed executable file.

1 Εισαγωγικά

1.1 Στόχος, Οργάνωση Εργασίας

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση του αλγορίθμου Line Segment Detector στη διαδικασία ανίχνευσης ακμών σε περιοχές αστικού-περιαστικού περιβάλλοντος. Το πρόγραμμα που θα χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση του αλγορίθμου είναι η βιβλιοθήκη ελεύθερου λογισμικού Orfeo Toolbox και τα δεδομένα είναι δορυφορικές εικόνες που προέρχονται από τους υψηλής χωρικής ανάλυσης δέκτες Pléiades.

Συγκεκριμένα, η παρούσα εργασία οργανώνεται ως εξής:

- Κεφάλαιο 1: Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία σύντομη εισαγωγή στα θέματα, τα οποία πραγματεύεται η παρούσα εργασία. Συγκεκριμένα, επιχειρείται περιγραφή των τεχνικών ανίχνευσης ακμών σε ψηφιακά δεδομένα και ανάλυση του τρόπου λειτουργίας αλγορίθμων ανίχνευσης ακμών. Επιπλέον, γίνεται αναφορά σε τεχνικές αυτοματοποίησης της διαδικασίας εξαγωγής ακμών και γραμμών σε δορυφορικές εικόνες που αποτυπώνουν περιοχές αστικού περιβάλλοντος. Τέλος, περιγράφεται ο στόχος του προγράμματος Orfeo και γίνεται σύντομη αναφορά σε τεχνικά χαρακτηριστικά των δορυφόρων Pleiades καθώς και στις δυνατότητες που προσφέρει η βιβλιοθήκη ελεύθερου λογισμικού Orfeo Toolbox.
- Κεφάλαιο 2: Αντικείμενο του κεφαλαίου 2 είναι ο υπό μελέτη αλγόριθμος Line Segment Detector. Συγκεκριμένα, αναλύονται οι δύο πρόσφατες εκδόσεις του συγκεκριμένου ανιχνευτή ευθύγραμμων τμημάτων.
- Κεφάλαιο 3: Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται σύντομη περιγραφή της διαδικασίας εφαρμογής του Line Segment Detector στη βιβλιοθήκη Orfeo Toolbox
- Κεφάλαιο 4: Στο Κεφάλαιο 4 αξιολογούνται τα αποτελέσματα εφαρμογής του αλγορίθμου μελέτης στις ακόλουθες περιπτώσεις: Εφαρμογή στα τέσσερα κανάλια της πολυφασματικής εικόνας, εφαρμογή σε τμήματα της εικόνας εισόδου, multiscale εφαρμογή, ανίχνευση ευθύγραμμων τμημάτων έπειτα από εξομάλυνση της εικόνας.
- Κεφάλαιο 5: Ανάπτυξη προγραμματιστικής εφαρμογής. Συγκεκριμένα, στο τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας επιχειρείται δόμηση προτεινόμενου εκτελέσιμου προγράμματος, το οποίο θα δώσει τα βέλτιστα δυνατά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά εφαρμογές χαρτογράφησης αστικού περιβάλλοντος, μέσω του αλγορίθμου Line Segment Detector. Η αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης προγραμματιστικής εφαρμογής αξιολογείται σε περίπτωση χρήσης δορυφορικών εικόνων τόσο υψηλής όσο και χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης.

1.2 Ανίχνευση Ακμών

1.2.1 Γενικά

Η φωτοερμηνεία της γραμμικής πληροφορίας, που απεικονίζεται στα δορυφορικά δεδομένα είναι μία διαδικασία καθαρά υποκειμενική. Συνεπώς, η ανάγκη για αυτοματοποίηση αυτής μέσω προηγμένων τεχνικών είναι έκδηλη. Για το σκοπό αυτό, έχει καταβληθεί πλήθος προσπαθειών, όπως τεχνικές ενίσχυσης ακμών σε συνδυασμό με εφαρμογή αλγορίθμων ανίχνευσης ακμών, αλγόριθμοι κατάτμησης, μετασχηματισμός Hough, wavelets και συστήματα neuro-fuzzy. Η επιλογή, της μεθόδου εκείνης που θα δώσει το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα σε μία εφαρμογή δεν είναι συγκεκριμένη, αλλά υπαγορεύεται από τις ραδιομετρικές και τις φυσικές ιδιότητες του εκάστοτε δορυφορικού δέκτη, τις συνθήκες φωτισμού και το τοπογραφικό ανάγλυφο της απεικονιζόμενης περιοχής. Η εκλογή της, συνήθως, βασίζεται στο είδος και στην κλίμακα της πληροφορίας που πρόκειται να εξαχθεί (Mavrantza O. D., 2007).

1.2.2 Αλγόριθμοι Ανίχνευσης Ακμών

Η ανίχνευση ακμών έχει αποτελέσει τα τελευταία χρόνια αποδεδειγμένα πολύτιμο εργαλείο συλλογής πληροφορίας χαμηλού επιπέδου από εικόνες. Αξίζει να σημειωθεί, πως ο αριθμός των αλγορίθμων που αφορούν στη συγκεκριμένη μορφή επεξεργασίας εικόνας, είναι μεγαλύτερος από οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή. Το παραπάνω οφείλεται στο γεγονός, πως οι ακμές διαμορφώνουν το περίγραμμα ενός εικονιζόμενου αντικειμένου και επομένως τα ευθύγραμμα ή καμπύλα τμήματα, που ανιχνεύονται σε μία εικόνα συνεισφέρουν στον προσδιορισμό τόσο της θέσης όσο και ιδιοτήτων -όπως το σχήμα, το περίγραμμα και το εμβαδόν- του συγκεκριμένου. Οι αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών έχουν αποτελέσει πολύτιμο εργαλείο επεξεργασίας εικόνας και εφαρμόζονται επιτυχώς σε επιστημονικά πεδία, όπως η Υπολογιστική Όραση (Computer Vision) και γεωμορφολογία (Mavrantza O. D., Argialas D. P., 2008).

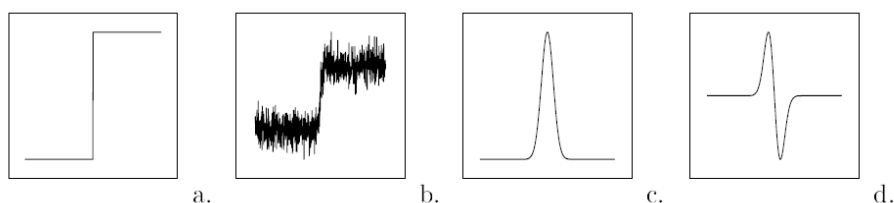
Αντικείμενο επεξεργασίας των συγκεκριμένων αλγορίθμων είναι, ως γνωστόν, η ψηφιακή εικόνα. Προτού περιγραφεί αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίο γίνεται εντοπισμός των ακμών, κρίνεται σκόπιμο να δοθεί σύντομος ορισμός του αντικειμένου επεξεργασίας: Η ψηφιακή εικόνα ορίζεται ως η απεικόνιση ενός αντικειμένου σε επίπεδη επιφάνεια με τη βοήθεια πεπερασμένου πλήθους εικονοστοιχείων, για κάθε ένα από τα οποία είναι γνωστά η θέση του (x,y) και η τιμή $f(x,y)$ του χρώματος ή του γκριζου τόνου, ώστε να είναι δυνατή η αποθήκευσή τους σε ψηφιακό αρχείο. Οι ακμές αποτελούν υποπεριοχές των εν λόγω ψηφιακών δεδομένων με έντονες διακυμάνσεις στους γκριζους τόνους (Γεωργόπουλος Α., 1998).

Αναλυτικά, διακρίνονται τρία είδη ακμών:

- κλιμακωτές ακμές (step edges)
- γραμμικές ακμές (line edges)
- ακμές σύνδεσης (junction edges) (Ziou D., Tabbone S., 1997)

Κλιμακωτές ακμές:

Το συγκεκριμένο είδος ακμής αποτελεί και το πιο συνηθισμένο. Εμφανίζεται μεταξύ δύο περιοχών της εικόνας με διαφορετικούς γκριζούς τόνους, οι οποίοι παραμένουν σχεδόν σταθεροί στο εσωτερικό των περιοχών. Στη θέση της ακμής η πρώτη παράγωγος της εικόνας παίρνει τη μέγιστη (ή ελάχιστη) τιμή της. Αντιθέτως, η δεύτερη παράγωγος μηδενίζεται επί της εμφανιζόμενης κλιμακωτής ακμής και μεγιστοποιείται (ή ελαχιστοποιείται) εκατέρωθεν αυτής (Εικόνα 1.1) (Ζίου D., Tabbone S., 1997).



Εικόνα 1.1: a. Διατομή εικόνας σε κλιμακωτή ακμή b. Διατομή εικόνας με θόρυβο σε κλιμακωτή ακμή c. Α' παράγωγος εικόνας σε κλιμακωτή ακμή d. Β' παράγωγος εικόνας σε κλιμακωτή ακμή

(Ζίου D., Tabbone S., 1997)

Γραμμικές ακμές:

Η παρούσα ακμή εμφανίζεται αφενός μεταξύ αντικειμένων που αποδίδονται στην εικόνα με ίδιους τόνους του γκρι και τα οποία βρίσκονται σε επαφή, αφετέρου σε πολύ λεπτά απεικονιζόμενα αντικείμενα (Εικόνα 1.2). Η πρώτη παράγωγος μηδενίζεται σε αυτές, ενώ η λαπλασιανή παράγωγος μεγιστοποιείται (Ζίου D., Tabbone S., 1997).

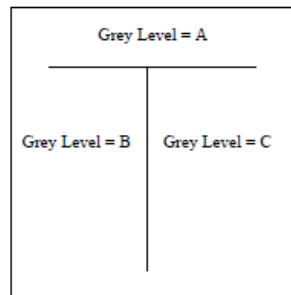


Εικόνα 1.2: Διατομή εικόνας σε γραμμική ακμή

(Ζίου D., Tabbone S., 1997)

Ακμές σύνδεσης:

Το συγκεκριμένο είδος εμφανίζεται σε περιπτώσεις τομής δύο επιμέρους ακμών. Συγκεκριμένα, διακρίνονται δύο είδη: οι ακμές γωνιών (corners) και οι ακμές σύνδεσης (junctions). Σε ό,τι αφορά τις ακμές σύνδεσης διακρίνονται οι ακόλουθες μορφές: T (Εικόνα 1.3), L, Y X (Ζίου D., Tabbone S., 1997).



Εικόνα 1.3: Διατομή εικόνας σε ακμή σύνδεσης τύπου T

(Ziou D., Tabbone S., 1997)

Οι αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών λαμβάνουν ως στοιχείο εισόδου μία ψηφιακή εικόνα και δημιουργούν βάσει της τελευταίας ένα χάρτη ακμών. Η εφαρμογή τους περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- παραγωγή εικόνας (differentiation): Στο παρόν στάδιο γίνεται υπολογισμός της παραγώγου της εικόνας
- εξομάλυνση εικόνας (smoothing): Μέσω του συγκεκριμένου ελαχιστοποιείται ο θόρυβος στην εικόνα εισόδου. Η σειρά με την οποία υλοποιούνται τα δύο παραπάνω στάδια δεν είναι συγκεκριμένη.
- απόδοση ακμών (labeling): Αποτελεί το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας της εικόνας εισόδου. Μέσω αυτού εντοπίζονται οι εικονιζόμενες ακμές (Ziou D., Tabbone S., 1997).

Συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά την ανίχνευση κλιμακωτών ακμών οι αλγόριθμοι ομαδοποιούνται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Πρώιμοι ανιχνευτές ακμών (Early vision edge detectors) (Φίλτρα παραγώγου, όπως το Sobel και το Kirsch).
- Βελτιωμένοι ανιχνευτές ακμών (Optimal detectors) (ο αλγόριθμος Canny, κα.).
- Τελεστές οι οποίοι χρησιμοποιούν παραμετρικά μοντέλα (για παράδειγμα οι ανιχνευτές Haralick, Nalwa-Binford, Nayar, Meer και Georgescu,) (Ziou D., Tabbone S., 1997)

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, πως οι πιο πρόσφατοι αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών είναι «αυτόνομοι» και πολλαπλών κλιμάκων. Η εφαρμογή τους, επομένως, δεν απαιτεί a priori πληροφορία σε ό,τι αφορά τις εικονιζόμενες ακμές και επιπροσθέτως δεν περιορίζεται σε συγκεκριμένο είδος εικόνων. Παράλληλα, αναφέρεται, πως οι ανιχνευτές ακμών ποικίλουν ανάλογα με τα βήματα που προηγούνται, τους στόχους και τη μαθηματική και υπολογιστική περιπλοκότητά τους (Ziou D., Tabbone S., 1997).

1.3 Χαρτογράφηση αστικής γης

1.3.1 Γενικά

Η χαρτογράφηση του αστικού και περιαστικού περιβάλλοντος αποτελεί αντικείμενο ενδεδειγμένης έρευνας των γεωεπιστημών, καθώς η σημασία της ορθής απεικόνισης αυτού είναι

μεγάλη για την επιβολή νομικών και διοικητικών πολιτικών. Τα τελευταία χρόνια, οι νέες πηγές γεωδεδομένων από δορυφορικούς δέκτες υψηλής ανάλυσης αποτελούν ισχυρό κίνητρο για αναζήτηση μεθόδων αποτύπωσης του αστικού περιβάλλοντος μέσω τηλεπισκοπικών δεδομένων. Η συγκεκριμένη απεικόνιση αποτελεί ένα ισχυρό και ευέλικτο εργαλείο στα χέρια του φωτοερμηνευτή, καθώς παρέχει σε αυτόν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης τόσο χωρικής όσο και φασματικής πληροφορίας.

Παράλληλα, υπάρχει έντονη ανάγκη για αυτοματοποίηση της εν λόγω διαδικασίας, έτσι ώστε η φωτοερμηνεία να καταστεί αντικειμενική και ταυτόχρονα πιο αποδοτική από πλευράς χρόνου (Mavrantza O. D., Argialas D. P., 2008).

Σε ό,τι αφορά την αυτοματοποιημένη ανίχνευση ακμών σε δορυφορικές εικόνες που αποτυπώνουν αστικό -περιαστικό περιβάλλον εφαρμόζονται οι ακόλουθες μέθοδοι:

- Μέθοδοι ανάλυσης diverse wavelet όπως contourlet μετασχηματισμός, κ.α
- Snakes, παραμετρικά (variational) μοντέλα
- Βελτιωμένοι αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών
- Αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνας με στόχο την αναγνώριση αυθαίρετων οικισμών (Mavrantza O. D., 2007).

Οι προαναφερθείσες τεχνικές εμφανίζουν υψηλή χωρική ακρίβεια, σε ό,τι αφορά τα αποτελέσματα εφαρμογής τους σε δορυφορικές εικόνες. Παρουσιάζουν, ωστόσο, ένα σημαντικό μειονέκτημα: Η εξαγωγή των ακμών στις συγκεκριμένες τεχνικές βασίζεται σε φασματικά και χωρικά χαρακτηριστικά των αστικών οντοτήτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μέρος της πληροφορίας που εξάγεται μέσω αυτών, να μην ανήκει στο αστικό περιβάλλον, αλλά να συμπεριλαμβάνεται στο τελικό αποτέλεσμα διότι έχει παρόμοια φασματικά και χωρικά χαρακτηριστικά με αυτό. Στις περιπτώσεις αυτές, κρίνεται σκόπιμο να προηγηθεί επιπρόσθετη προεπεξεργασία της εικόνας-εισόδου, προκειμένου να επιτευχθεί διάκριση των αστικών και μη αστικών χαρακτηριστικών (Mavrantza O. D., 2007).

1.3.2 Αλγόριθμοι Ανίχνευσης Ακμών

Οι αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών αποτελούν πολύτιμο εργαλείο αυτοματοποιημένης ανίχνευσης ακμών στο αστικό, περιαστικό περιβάλλον, καθώς το αποτέλεσμα εφαρμογής τους στην εικόνα-εισόδου είναι ικανοποιητικό σε ό,τι αφορά τη συνάφεια και το σωστό εντοπισμό των θέσεων των ακμών. Ο συνδυασμός, μάλιστα των παραπάνω με συμπληρωματικές μεθόδους τηλεπισκόπησης και GIS μπορεί να παράσχει ισχυρά εργαλεία για ανίχνευση μεταβολών και να συμβάλει ουσιαστικά στη λήψη αποφάσεων που αφορούν στην εφαρμογή περιβαλλοντικών και νομοθετικών κανονισμών (Mavrantza O. D., Argialas D. P., 2008).

Συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά τις ανάγκες χαρτογράφησης ακμών σε αστικό, περιαστικό περιβάλλον έχει γίνει επιτυχής χρήση των ακόλουθων αλγορίθμων:

- Ανιχνευτής ακμών Canny (Canny Edge Detector)
- Ο αλγόριθμος Rothawell
- Ο αλγόριθμος LOG-LIN
- Ο τελεστής SUSAN
- Ο αλγόριθμος ανισοτροπικής διάχυσης του Black

- Ο αλγόριθμος Bezdeck και
- Ο αλγόριθμος EDISON (Mavrantza O. D., Argialas D. P., 2008)

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, πως στο παρελθόν, το πρόβλημα της ανίχνευσης ακμών στις αστικές περιοχές αντιμετωπιζόταν συνήθως με τη χρήση του αλγορίθμου Canny και αυτό των γραμμών μέσω του μετασχηματισμού Hough. Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον έχει μετατοπιστεί σε χρήση νέων μετασχηματισμών, οι οποίοι χειρίζονται καλύτερα το πρόβλημα της ανίχνευσης ακμών. Οι μέθοδοι αυτές στηρίζονται στην ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων, στην ανάλυση χρόνου-συχνότητας, στον αλγόριθμο πυραμίδων και στον μετασχηματισμό κυματιδίων (Noutsou V. D., Argialas D.P., Michalis P. N., 2007).

1.4 Σύντομη περιγραφή του αλγορίθμου Canny και του μετασχηματισμού Hough

1.4.1 Ανιχνευτής ακμών Canny (Canny Edge Detector)

Ο παρόν αλγόριθμος ανίχνευσης ακμών αναπτύχθηκε το 1986 από τον John F. Canny (JFC). Ο συγκεκριμένος, αν και αρκετά παλιός, εξακολουθεί να αποτελεί κλασική μέθοδο ανίχνευσης ακμών και χρησιμοποιείται ευρέως σε πλήθος εφαρμογών.

Ο στόχος του δημιουργού του, JFC, ήταν να συνθέσει ένα αλγόριθμο, ο οποίος θα ικανοποιούσε τα ακόλουθα κριτήρια:

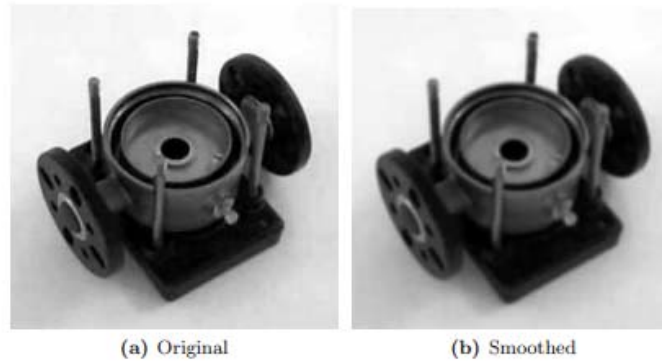
- Ανίχνευση: Μεγιστοποίηση της πιθανότητας εντοπισμού εικονοστοιχείων, τα οποία ανήκουν σε ακμές και ταυτόχρονα ελαχιστοποίηση της αντίστοιχης των εικονοστοιχείων που δεν ανήκουν σε ακμές (non-edge pixels).
- Σωστή τοποθέτηση των ακμών: Οι ανιχνευμένες ακμές θα πρέπει κατά το δυνατόν να αποδοθούν στη θέση των αντίστοιχων πραγματικών.
- Αριθμός ανιχνευμένων τμημάτων: Η εικονιζόμενη ακμή αποδίδεται στο χάρτη ακμών (edge map) από μία και μοναδική ανιχνευμένη (<http://www.cse.iitd.ernet.in/>, 2009).

Τα στάδια επεξεργασίας του αλγορίθμου ανίχνευσης ακμών Canny είναι τα ακόλουθα:

Εξομάλυνση εικόνας (Smoothing)

Στο παρόν στάδιο απομακρύνεται ο θόρυβος από την εικόνα-εισόδου. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόζεται σε αυτήν ένα φίλτρο Gauss με τυπική απόκλιση $\sigma=1.4$. Συγκεκριμένα, ο πυρήνας (kernel) του φίλτρου διαμορφώνεται ως εξής (<http://www.cse.iitd.ernet.in/>, 2009):

$$B = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$



Εικόνα 1.4: (α) Αρχική εικόνα (β) Εξομαλυμένη μέσω φίλτρου Gauss εικόνα

(<http://www.cse.iitd.ernet.in/>, 2009)

Υπολογισμός Παραγώγου (Finding Gradients)

Στον παρόν αλγόριθμο εντοπίζονται ακμές, μόνον σε περιοχές της εικόνας, στις οποίες το μέτρο πρώτης παραγώγου της εικόνας είναι μεγάλο. Για το σκοπό αυτό, απαιτείται σε πρώτο στάδιο ο υπολογισμός της πρώτης παραγώγου της εικόνας, ο οποίος επιτυγχάνεται μέσω του τελεστή Sobel.

$$K_{GX} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{GY} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Η ένταση της ακμής (ή edge strength) της εικόνας σε κάθε εικονοστοιχείο υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης σχέσης (Ευκλείδεια απόσταση):

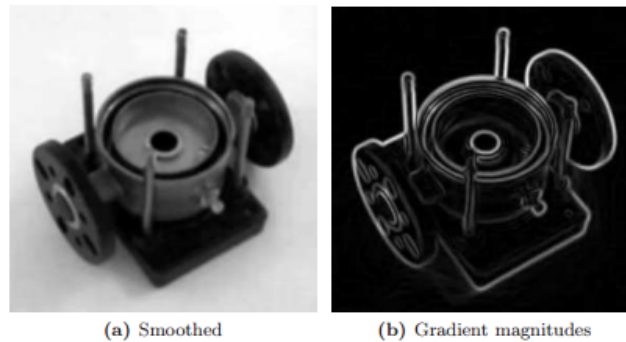
$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

Πρόκειται ουσιαστικά για υπολογισμό του μέτρου της πρώτης παραγώγου της εικόνας. Σε πολλές περιπτώσεις, για λόγους απλοποίησης των υπολογισμών, εφαρμόζεται η ακόλουθη σχέση (απόσταση Manhattan):

$$|G| = |G_x| + |G_y|$$

όπου G_x, G_y οι τιμές της πρώτης παραγώγου της εικόνας για τους άξονες x, y αντίστοιχα. Στη συνέχεια, τα μέτρα της πρώτης παραγώγου της εικόνας που προκύπτουν συγκρίνονται με την εξομαλυμένη εικόνα. Τέλος, υπολογίζεται η κατεύθυνση της πρώτης παραγώγου μέσω της ακόλουθης σχέσης (<http://www.cse.iitd.ernet.in/>, 2009):

$$\theta = \arctan\left(\frac{|G_x|}{|G_y|}\right)$$



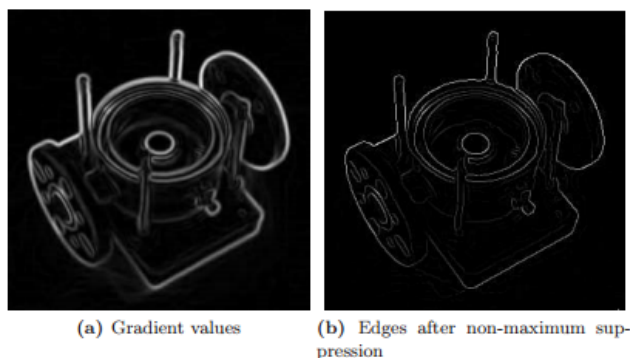
Εικόνα 1.5: (α) Εξομαλυμένη εικόνα (β) Τα μέτρα πρώτης παραγώγου της εικόνας στην εξομαλυμένη εικόνα

(<http://www.cse.iitd.ernet.in/>, 2009)

Εξαφάνιση των μη μέγιστων (Non-maximum suppression)

Στόχος του στάδιο αυτού είναι η μετατροπή των θολών ακμών της εικόνας σε έντονες. Συγκεκριμένα, εφαρμόζεται ο ακόλουθος αλγόριθμος:

1. Οριοθέτηση υποπεριοχής για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας-εισόδου αποτελούμενης από οκτώ γειτονικά σε αυτό εικονοστοιχεία. Στρογγυλοποίηση της γωνίας θ των εικονοστοιχείων της «γειτονιάς» στο κοντινότερο πολλαπλάσιο των 45 μοιρών.
2. Σύγκριση της έντασης της ακμής του τρέχοντος εικονοστοιχείου με την αντίστοιχη των γειτονικών εικονοστοιχείων εκείνων με γωνία διεύθυνσης της πρώτης παραγώγου της εικόνας ίση με εκείνης του κεντρικού. Στην παρούσα διαδικασία συμπεριλαμβάνονται, επίσης, όσα γειτονικά εικονοστοιχεία έχουν γωνία διεύθυνσης πρώτης παραγώγου, η οποία διαφέρει κατά 90 μοίρες με εκείνη του κεντρικού.
3. Στην περίπτωση που η τιμή της έντασης της ακμής του τρέχοντος εικονοστοιχείου είναι η μέγιστη στη «γειτονιά», η συγκεκριμένη τιμή έντασης ακμής διατηρείται. Σε αντίθετη περίπτωση διαγράφεται. Επιπλέον, διατηρούνται μόνον τα γειτονικά εικονοστοιχεία με το μέγιστο μέτρο πρώτης παραγώγου (<http://www.cse.iitd.ernet.in/>, 2009).

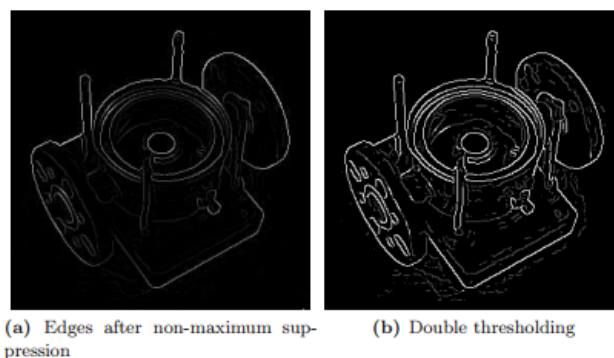


Εικόνα 1.6: (α) Τα αρχικά μέτρα πρώτης παραγώγου της εικόνας (β) Τα μέτρα πρώτης παραγώγου της εικόνας, όπως προέκυψαν έπειτα από την διαδικασία εξαφάνισης των μη μεγίστων

(<http://www.cse.iitd.ernet.in/>, 2009)

Διπλή Κατωφλίωση (Double thresholding)

Τα εικονοστοιχεία ακμών (edge pixels) που παραμένουν έπειτα από την προαναφερθείσα διαδικασία διατηρούν το μέτρο της πρώτης παραγώγου της εικόνας στη συγκεκριμένη θέση εικονοστοιχείο προς εικονοστοιχείο. Μέρος αυτών, ανήκουν πράγματι σε ακμές της εικόνας. Υπάρχουν, ωστόσο ορισμένα, τα οποία αποτελούν θόρυβο. Ο απλούστερος τρόπος για να διακρίνουμε μεταξύ αυτών είναι η χρήση κατωφλίων. Στην παραγόμενη εικόνα, λοιπόν, μαρκάρονται ως ισχυρά (strong) μόνον τα εικονοστοιχεία εκείνα, των οποίων το μέτρο πρώτης παραγώγου είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια (<http://www.cse.iitd.ernet.in/>, 2009).



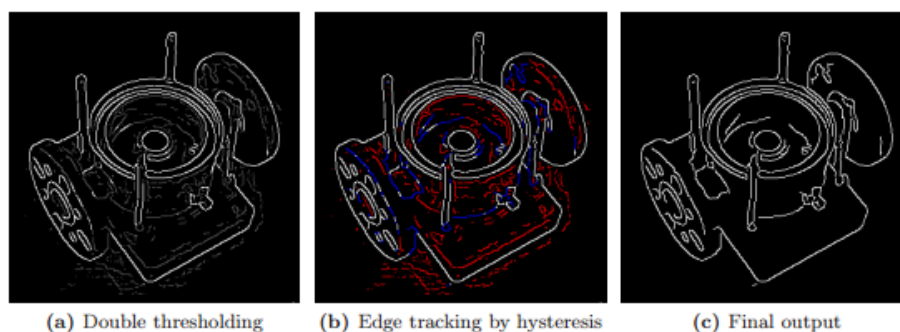
Εικόνα 1.7: (α) Οι ακμές, όπως προέκυψαν έπειτα από τη διαδικασία εξαφάνισης των μη μέγιστων (β) Οι ακμές, όπως προέκυψαν έπειτα από τη διαδικασία διπλής κατωφλίωσης. Οι ισχυρές ακμές εμφανίζονται με λευκό χρώμα και αντίστοιχα οι ασθενείς με λευκό

(<http://www.cse.iitd.ernet.in/>, 2009)

Εντοπισμός ακμών (Edge tracking by hysteresis)

Οι ακμές, οι οποίες χαρακτηρίστηκαν ως ισχυρές μέσω της προαναφερθείσας διαδικασίας, συμπεριλαμβάνονται σε εκείνες που αποδίδονται στην τελική εικόνα. Οι ασθενείς ακμές

αποδίδονται στο τελικό αποτέλεσμα, αν και μόνο αν συνδέονται με ισχυρές ακμές (<http://www.cse.iitd.ernet.in/>, 2009).



Εικόνα 1.8: (α) Οι ακμές, όπως προέκυψαν έπειτα από τη διαδικασία διπλής κατωφλίωσης. Οι ισχυρές ακμές εμφανίζονται με λευκό χρώμα και αντίστοιχα οι ασθενείς με λευκό. (β) Οι ακμές, όπως προέκυψαν έπειτα από τη διαδικασία εντοπισμού ακμών. Οι ασθενείς ακμές που συνδέονται με ισχυρές εμφανίζονται με μπλε χρώμα και αντίστοιχα με ασθενείς με κόκκινο χρώμα. (γ) Τελικό αποτέλεσμα

(<http://www.cse.iitd.ernet.in/>, 2009)

1.4.2 Μετασχηματισμός Hough

Ο μετασχηματισμός Hough αποτελεί τεχνική ανίχνευσης χαρακτηριστικών χαμηλού επιπέδου (γραμμές, καμπύλες) σε μία ψηφιακή εικόνα. Αναπτύχθηκε από τον Paul Hough το 1962 και κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από την IBM. Η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιεί παραμετρική περιγραφή απλών γεωμετρικών σχημάτων με σκοπό να ελαττώσει την υπολογιστική πολυπλοκότητα της αναζήτησής τους σε μια δυαδική εικόνα (<http://planetmath.org/HoughTransform>, 2002)

Αναζήτηση ευθυγράμμων τμημάτων

Η απλούστερη μορφή του μετασχηματισμού Hough είναι η Hough Line Transform. Η μαθηματική σχέση, η οποία περιγράφει τη θέση των σημείων δοθείσας γραμμής στο χώρο είναι η:

$$y = ax + \beta$$

Η παραπάνω σχέση είναι ισοδύναμη με την ακόλουθη:

$$\beta = y - ax$$

Κάθε ευθεία του επιπέδου $[x-y]$ αντιστοιχεί σε ένα σημείο στο παραμετρικό επίπεδο $[\alpha, \beta]$. Τα σημεία δοθείσας ευθείας στο επίπεδο $[x-y]$ ορίζουν ένα σύνολο διαφορετικών ευθειών στο $[\alpha, \beta]$, οι οποίες διέρχονται από το ίδιο σημείο.

Στην παραπάνω σχέση δημιουργούνται προβλήματα στην περίπτωση προσδιορισμού ευθείας στο επίπεδο $[a-b]$, η οποία είναι παράλληλη στον άξονα y στο $[x-y]$. Η παραπάνω εξίσωση παίρνει τη μορφή $0 = ax + \beta$ και συνεπώς στο επίπεδο $[a-b]$, η ευθεία περιγράφεται από το σύνολο των σημείων, τα οποία έχουν λόγο $-\beta/a$ ίσο με την τιμή x . Συνεπώς, απαι-

τούνται άπειρα ζεύγη τιμών (α, β) . Στην περίπτωση αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί της αρχικής εξίσωσης η:

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta$$

Η παραπάνω σχέση περιγράφει μια γραμμή με προσανατολισμό θ σε απόσταση r από την αρχή των αξόνων. Με τον τρόπο αυτό, η τιμή της παραμέτρου θ περιορίζονται στο εύρος $\theta \in [0, 180]$.

Η διαδικασία εύρεσης γραμμών μέσω του μετασχηματισμού Hough έχει ως εξής:

- Επιλέγεται ένα ελάχιστο διάστημα $\Delta\theta$
- Δημιουργείται ο πίνακας συνάθροισης (accumulator array), με διαστάσεις ίσες με το πλήθος των διαφορετικών συνδυασμών (θ, ρ) για τη συγκεκριμένη εικόνα.
- Γίνεται εύρεση όλων των δυνατών γραμμών που μπορεί να περνάνε από κάθε εικονοστοιχείο (x, y) μιας ακμής ενημερώνοντας τα αντίστοιχα πεδία του πίνακα συνάθροισης (θ, ρ) . Τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζονται μέσω της σχέσης $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$.
- Τα στοιχεία του πίνακα συνάθροισης με το μεγαλύτερο πλήθος αποτελούν τις γραμμές της εικόνας (<http://planetmath.org/HoughTransform>, 2002).

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ανιχνεύει πληροφορίες που αφορούν αποκλειστικά στις παραμέτρους των γραμμών. Συνεπώς, στην περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να εξάγει τις συντεταγμένες των άκρων των ευθυγράμμων τμημάτων που προκύπτουν στον τελικό χάρτη ακμών απαιτείται πρόσθετη επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι κατά καιρούς έχει αναπτυχθεί πληθώρα μεθόδων οι οποίες βασίζονται στο μετασχηματισμό Hough. Οι συγκεκριμένες έχουν σημειώσει επιτυχία στις εφαρμογές τους. Ωστόσο, κάθε μία από αυτές εμφανίζει ορισμένα μειονεκτήματα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο, οι μέθοδοι αυτές, δε μπορούν να χαρακτηριστούν σε ένα γενικότερο πλαίσιο αποτελεσματικές (Argialas D.P., Krishnamurthy S., 1992).

1.5 Λίγα λόγια για το πρόγραμμα Orfeo και για το σύστημα δορυφόρων Pléiades

Οι Pléiades είναι ένα σύστημα δορυφόρων αποτελούμενο από δύο δέκτες, οι οποίοι παρέχουν στο κοινό εικόνες πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης. Το πρόγραμμα Orfeo, (συνοδευτικό πρόγραμμα των Pléiades) ιδρύθηκε από το Γαλλικό Οργανισμό Διαστήματος CNES, ώστε να προετοιμάσει, να συνοδεύσει και να προωθήσει τη χρήση και την εκμετάλλευση των δεδομένων που παρέχουν οπτικοί δέκτες πολύ υψηλής ανάλυσης, όπως οι παραπάνω. Αναλυτικά οι στόχοι του εν λόγω προγράμματος είναι:

- να αξιολογήσει την ικανότητα που έχουν οι Pléiades, να παρέχουν τις υπηρεσίες που απαιτούνται σε διακριτούς τομείς, όπως η χαρτογραφία, η υδρολογία, η δασοκομία κ.α.
- να αναπτύξει εργαλεία, προκειμένου να διευκολύνει τη διαδικασία εξαγωγής των επιθυμητών πληροφοριών από τις συγκεκριμένες εικόνες.

Το θεματικό μέρος του προγράμματος Orfeo, λοιπόν, καλύπτει μεγάλο εύρος εφαρμογών και στοχεύει στο λεπτομερή προσδιορισμό των δεδομένων και των υπηρεσιών που απαιτούνται από τους χρήστες.

Το μεθοδολογικό μέρος του Orfeo στοχεύει στην κατάλληλη προετοιμασία για χρήση και εκμετάλλευση των εξαιρετικά υψηλής ανάλυσης εικόνων που παρέχουν οι Pléiades. Για το σκοπό αυτό, η CNES αποφάσισε να δημιουργήσει τη βιβλιοθήκη ελεύθερου λογισμικού Orfeo Toolbox, η οποία περιέχει αλγορίθμους τηλεπισκόπησης και επεξεργασίας εικόνας (Tinel C., Grizonnet M., Fontannaz D., de Boissezon H., Giros A., 2012).

1.5.1 Pléiades

Οι Pléiades, όπως προαναφέρθηκε, είναι ένα σύστημα δορυφόρων, οι οποίοι παρέχουν στο κοινό εικόνες πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης. Αποτελείται από δύο δέκτες, οι οποίοι προσφέρουν χωρική ανάλυση στο ναδίρ της τάξης των 0,5 μέτρων και οπτικό πεδίο 20 χιλιομέτρων. Ο πρώτος εκ των δύο, ο Pléiades 1-A εκτοξεύτηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2011 και ακολούθησε ο δεύτερος στα τέλη του έτους 2012.

Παρέχουν τη δυνατότητα καθημερινής πρόσβασης σε πληροφορία αντλούμενη από όλο τον κόσμο, γεγονός που ικανοποιεί ανάγκες που αφορούν στην άμυνα και στην προστασία του πολίτη. Επιπλέον, οι απεικονίσεις Pléiades μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές χαρτογραφίας, καθώς η κλίμακα απεικόνισης τους είναι καλύτερη από εκείνη των δορυφόρων SPOT. Επιπλέον, η υψηλή χωρική ανάλυση των συγκεκριμένων δορυφορικών εικόνων παρέχει τη δυνατότητα χαρτογράφησης του αστικού περιβάλλοντος και προσφέρει συμπληρωματική πληροφορία σε δεδομένα αντλούμενα από αεροφωτογραφίες (Tinel C., Grizonnet M., Fontannaz D., de Boissezon H., Giros A., 2012).

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1.1) παρουσιάζονται κάποια από τα χαρακτηριστικά του δορυφόρου:

Αριθμός Δορυφόρων	2:Pléiades 1-A, Pléiades 1-B
Υψόμετρο	694km
Τροχιά	Ηλιοσούγχρονη, 10:30 AM descending node
Περίοδος	98.79 min
Γωνία κλίσης	98,2 °
Φασματικά Κανάλια	Pan: 0.47-0.83 μm; Blue = 0.43-0.55 μm, Green = 0.50-0.62 μm, Red = 0.59-0.71 μm, Near Infrared = 0.74- 0.94 μm (NIR)
Χωρική Διακριτική Ικανότητα	Panchromatic: 0.5m; Multispectral: 2.0m

Πίνακας 1.1: Κύρια Χαρακτηριστικά Δορυφόρων Pléiades

(Pléiades Users Guide, 2012)

1.5.2 Λίγα λόγια για το Orfeo Toolbox

Το Orfeo Toolbox είναι μία βιβλιοθήκη ανοιχτού λογισμικού, που αποτελείται από αλγορίθμους που προσαρμόζονται σε ψηφιακές εικόνες Τηλεπισκόπησης. Κατασκευάστηκε με πρωτοβουλία της Γαλλικής Υπηρεσίας Διαστήματος (CNES) και βασίζεται στη βιβλιοθήκη επεξεργασίας ιατρικών εικόνων ΙΤΚ. Σκοπός της πλατφόρμας είναι η δυνατότητα επεξεργα-

σίας εικόνων υψηλής ευκρίνειας όπως SPOT, Quickbird, Landsat και Ikonos (The OTB Development Team, 2013).

Το μότο του Orfeo είναι: «*Orfeo is not a black box*». Ουσιαστικά, η βιβλιοθήκη δίνει τη δυνατότητα πλήρους πρόσβασης στους αλγορίθμους της και της προσαρμογής αυτών στις ανάγκες του εκάστοτε χρήστη. Διανέμεται κάτω από την ελεύθερη άδεια της CeCILL. Η συγκεκριμένη άδεια διασφαλίζει ότι όλες οι εκδόσεις του προγράμματος είναι ελεύθερες και θα παραμείνουν ελεύθερες για όλους τους χρήστες (Βακαλοπούλου Μ., 2011).

Το OTB περιέχει πληθώρα τηλεσκοπικών εφαρμογών. Ενδεικτικά, παρουσιάζονται οι ακόλουθες:

- Πρόσβαση στις τηλεπισκοπικές εικόνες: Εγγραφή /ανάγνωση εικόνας, πρόσβαση σε μεταδεδομένα, οπτικοποίηση
- Προεπεξεργασία εικόνας: γεωμετρική διόρθωση, ραδιομετρική διόρθωση
- Φιλτράρισμα: αφαίρεση θορύβου, ενίσχυση εικόνας, εξομάλυνση εικόνας
- Εξαγωγή χαρακτηριστικών: σημεία ενδιαφέροντος, γραμμές
- Κατάτμηση εικόνας
- Ταξινόμηση: κ-μέσων
- Ανίχνευση αλλαγών
- Εξαγωγή πληροφοριών για χρήση σε ΣΓΠ και συστήματα χαρτογράφησης (The OTB Development Team, 2013)

Το Orfeo διαθέτει γραφικό περιβάλλον, το Monteverdi. Μέσω αυτού δίνεται η δυνατότητα σε χρήστες που δεν είναι εξοικειωμένοι με προγραμματισμό να χρησιμοποιήσουν κάποιες από τις δυνατότητες που παρέχει το Orfeo.

2 Ανιχνευτής Ευθύγραμμων Τμημάτων (Line Segment Detector)

2.1 Εισαγωγή

Η ανίχνευση ευθύγραμμων τμημάτων σε μία εικόνα παρέχει πληροφορίες που αφορούν στο γεωμετρικό περιεχόμενο αυτής. Τα συγκεκριμένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χαρακτηριστικά χαμηλού επιπέδου, προκειμένου να εξαχθούν με αποτελεσματικό τρόπο οι πληροφορίες που εμφανίζονται σε μία εικόνα και επιπροσθέτως αποτελούν ένα εργαλείο ανάλυσης και περιγραφής περίπλοκων σχημάτων. Συμβάλλουν, επίσης, ουσιαστικά στην επίλυση πλήθους προβλημάτων, όπως η ανάλυση στερεού σώματος, η ανίχνευση ρωγμών σε υλικά, συμπίεση εικόνας (image compression), αποβελτίωση δορυφορικής εικόνας (satellite image indexation).

Ιδανικά, ένας αλγόριθμος ανίχνευσης γραμμών προσδιορίζει με ακρίβεια και χωρίς σφάλματα τα ευθύγραμμα τμήματα που εμφανίζονται στην εικόνα. Επιπλέον, η χρήση αυτού δεν απαιτεί προσδιορισμό παραμέτρων στις επιμέρους περιπτώσεις εφαρμογής του (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010).

2.1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η ανίχνευση ευθύγραμμων τμημάτων αποτελεί παλιό και επαναλαμβανόμενο πρόβλημα στο επιστημονικό πεδίο της Υπολογιστικής Όρασης. Πολλές από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για το παρόν πρόβλημα βασίζονται στη θέση των εικονοστοιχείων των ακμών. Τα τελευταία προσδιορίζονται μέσω υπολογισμού των τοπικών ακρότατων της πρώτης παραγώγου της εικόνας εισόδου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αλγορίθμου, ο οποίος βασίζεται στην παραδοχή αυτή είναι το **φίλτρο Canny** (1986) (Εικόνα 2.1).



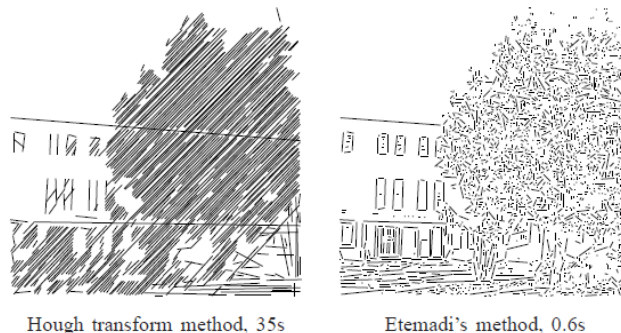
Εικόνα 2.1: Εφαρμογή ανίχνευσης ακμών μέσω του φίλτρου Canny

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010)

Ο μετασχηματισμός **Hough** (1962) (Εικόνα 2.2) είναι μία μέθοδος, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές εξαγωγής γραμμών, των οποίων το πλήθος εικονοστοιχείων υπερβαίνει ένα κατώτατο όριο. Οι ευθείες διαχωρίζονται σε ευθύγραμμα τμήματα, χρησιμοποιώντας κριτήρια μήκους και μέγιστου κενού. Η συγκεκριμένη τεχνική, ωστόσο, εμφανίζει τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

Ο αλγόριθμος δημιουργεί ευθύγραμμα τμήματα **απροσδιόριστης διεύθυνσης**, καθώς στη διαδικασία ανίχνευσης δεν περιλαμβάνεται κάποια πληροφορία σχετικά με την κατεύθυνση των εικονοστοιχείων των ακμών. Επιπλέον, η εφαρμογή του μετασχηματισμού Hough απαιτεί τον **προσδιορισμό συγκεκριμένων παραμέτρων**. Η σωστή ρύθμιση αυτών οδηγεί στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Σε αντίθετη περίπτωση, δημιουργείται πλήθος γραμμών οι οποίες λανθασμένα έχουν ανιχνευτεί από τον αλγόριθμο, δηλαδή false negatives δεδομένα. Επιπροσθέτως, παρατηρείται πως στο παραγόμενο αποτέλεσμα δεν εμφανίζονται ευθύγραμμα τμήματα, τα οποία λανθασμένα δεν έχουν ανιχνευτεί από τον αλγόριθμο, πρόκειται δηλαδή για false positives δεδομένα (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010).

Μία ακόμα κλασική μέθοδος είναι η σύνδεση των εικονοστοιχείων των ακμών με ίδια γωνία πρώτης παραγώγου. Ο **Eternadi** (1992) (Εικόνα 2.2) πρότεινε μία τέτοια μέθοδο, στην οποία **δεν απαιτείται ο προσδιορισμός παραμέτρων**. Επιπλέον, η συγκεκριμένη τεχνική έχει το πλεονέκτημα πως δίνει στις περισσότερες περιπτώσεις **ακριβή αποτελέσματα**, ενώ **ανιχνεύει ταυτόχρονα ευθύγραμμα τμήματα και τόξα**. Τα αποτελέσματα, ωστόσο, εφαρμογής του συγκεκριμένου αλγορίθμου δεν είναι πλήρως ικανοποιητικά. Στην προκύπτουσα εικόνα εμφανίζεται **μεγάλος αριθμός μικρών σε μήκος τμημάτων**. Συνεπώς, κρίνεται σκόπιμο στην Eternadi μέθοδο να προστεθούν κριτήρια που αφορούν στην επιλογή των ευθύγραμμων τμημάτων που απεικονίζονται στην τελικό προϊόν.



Εικόνα 2.2: Εφαρμογή ανίχνευσης γραμμών μέσω μετασχηματισμού Hough και μέσω της μεθόδου Eternadi. Στην εικόνα αναγράφεται ο χρόνος που διήρκεσε η εφαρμογή της εκάστοτε μεθόδου στην εικόνα-εισόδου.

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010)

Οι **Burns, Hanson και Riseman** (1986) (Εικόνα 2.4) δημιούργησαν μία γραμμικού χρόνου (linear-time) μέθοδο εξαγωγής ευθύγραμμων τμημάτων, η οποία **βασίζεται στη γωνία των ακμών**. Αναλυτικά, υπολογίζεται σε κάθε εικονοστοιχείο ο προσανατολισμός του διανύσματος της πρώτης παραγώγου της εικόνας. Ο παρών αλγόριθμος βελτιώθηκε, στη συνέχεια, από τους **Kahn, Kitchen and Riseman** (1987). Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, μέσω της συγκεκριμένης μεθόδου δόθηκε λύση στο πρόβλημα του προσανατολισμού, δε συνέβη, ωστόσο, το ίδιο σε ό,τι αφορά την κατωφλίωση.

Κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί προτάσεις που αφορούν στα κριτήρια επιλογής των τελικά εμφανιζόμενων ευθυγράμμων τμημάτων για τις κλασικές μεθόδους ανίχνευσης γραμμών. Ο **Probabilistic Hough Transform** (PPHT) (Εικόνα 2.3), ο οποίος δομήθηκε από τους Matas et al (2000) αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα της προσπάθειας αυτής. Ο συγκεκριμένος

αλγόριθμος επιταχύνει το χρόνο υπολογισμού μέσω της τυχαίας επιλογής των εικονοστοιχείων των ακμών. Επιπροσθέτως, στη διαδικασία ανίχνευσης προστέθηκαν πληροφορίες σχετικά με την παράγωγο της εικόνας καθώς και τον έλεγχο των false negatives. Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα εφαρμογής του PPHT δεν είναι ικανοποιητικά σε ό,τι αφορά την ανίχνευση των τελευταίων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως, ο αλγόριθμος προσαρμόζεται στην περίπτωση ολόκληρων γραμμών και όχι ευθυγράμμων τμημάτων. Συνεπώς, μόνον οι γραμμές μεγάλου μήκους παράγουν ανιχνεύσεις. Επιπροσθέτως, η παράμετρος ανίχνευσης της μεθόδου είναι η πιθανότητα ψευδούς ανίχνευσης κάθε φορά που ένα σημείο ακμής αναλύεται. Όμως, ο αριθμός των εικονοστοιχείων που αναλύονται καθώς και ο αναμενόμενος αριθμός των λανθασμένων ανιχνεύσεων εξαρτώνται από το μέγεθος της εικόνας εισόδου. Η προεπιλεγμένη τιμή αυτής της παραμέτρου έχει οριστεί για τον έλεγχο λανθασμένων ανιχνεύσεων για μεγέθη εικόνας περίπου 256x256. Για μεγαλύτερες εικόνες δεν ισχύει η ίδια τιμή. Συγκεκριμένα, η παραπάνω τιμή της παραμέτρου παράγει ψευδείς ανιχνεύσεις σε μεγάλες εικόνες και παραλείπει πληροφορία στις μικρές (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010).



PPHT, 1.6s

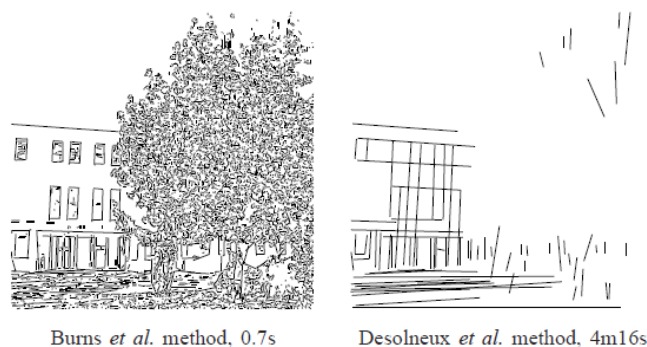
Εικόνα 2.3: Εφαρμογή ανίχνευσης γραμμών μέσω του αλγορίθμου Probabilistic Hough Transform. Στην εικόνα αναγράφεται ο χρόνος που διήρκησε η εφαρμογή της εκάστοτε μεθόδου στην εικόνα-εισόδο.

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010)

Το πρόβλημα της κατωφλίωσης αναλύθηκε εκτενώς από τους **Desolneux, Moisan and Morel** (2000) (Εικόνα 2.4). Πιο συγκεκριμένα, πρότειναν μία μέθοδο ανίχνευσης γραμμών, στην οποία πραγματοποιείται έλεγχος του αριθμού των false positives, δηλαδή των ευθύγραμμων τμημάτων που έχουν λανθασμένα αποδοθεί από τον αλγόριθμο στο τελικό αποτέλεσμα. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι εξής: Αρχικά, γίνεται μέτρηση των συνευθειακών εικονοστοιχείων (δηλαδή των εικονοστοιχείων για τα οποία ισχύει το ακόλουθο: Η διεύθυνση της παραγώγου του σημείου είναι περίπου κάθετη στη διεύθυνση της γραμμής στην οποία ανήκει) και εντοπίζει ευθύγραμμα τμήματα ως ακραίες τιμές σε ένα μη δομημένο χώρο. Η μέθοδος βασίζεται στην αρχή Helmholtz. Η συγκεκριμένη επισημαίνει το εξής: «Δεν αντιλαμβανόμαστε καμία δομή σε μια ομοιόμορφα τυχαία εικόνα.» Η αρχή διατυπώθηκε πρώτη φορά σε αυτή τη μορφή από τον Attneave (1954) (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010) (Desolneux A., Moisan L., Morel J.-M., 2008).

Σε μια πιο αυστηρά επιστημονική σύνταξη η αρχή Helmholtz αναφέρει το παρακάτω: Αντιλαμβανόμαστε μια δομή οποτεδήποτε λαμβάνει χώρο μία μεγάλη απόκλιση από την τυχαιότητα. Πιο απλά υποπίπτει στην αντίληψη μας οτιδήποτε δε συμβαίνει τυχαία. Μέσω της ποσότητας αριθμός ψευδών ανιχνεύσεων (Number of False Alarms ή NFA) γίνεται μια

εκτίμηση του αριθμού εμφάνισης ενός γεγονότος (Desolneux A., Moisan L., Morel J.-M., 2008).

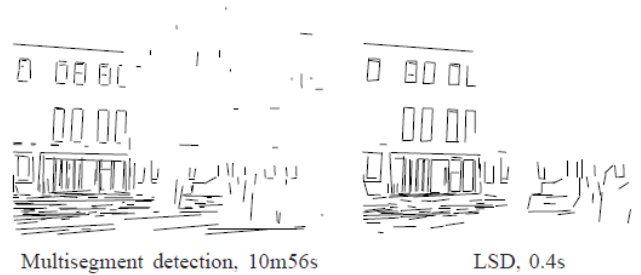


Εικόνα 2.4: Εφαρμογή ανίχνευσης ευθύγραμμων τμημάτων μέσω της μεθόδου των Burns et al καθώς και της μεθόδου των Desolneux et al.. Στην εικόνα αναγράφεται ο χρόνος που διήρκεσε η εφαρμογή της εκάστοτε μεθόδου στην εικόνα-εισόδου.

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010)

Ο αλγόριθμος των **Desolneux, Moisan and Morel** βελτιώθηκε με αποτέλεσμα να ανιχνεύει πολλαπλά ευθύγραμμα τμήματα (Εικόνα 2.5). Τα προβληματικά σημεία του διορθώθηκαν και ο ανιχνευτής γραμμών δίνει πλέον ακριβή αποτελέσματα, χωρίς να απαιτείται να εισαχθούν τιμές σε παραμέτρους. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως ο αλγόριθμος του Desolneux καθώς και ο ανίχνευσης πολλαπλών ευθυγράμμων τμημάτων είναι ιδιαίτερα χρονοβόροι.

Οι **Rafael Grompone von Gioi, Jérémie Jakubowicz, Jean-Michel Morel, and Gregory Randall** (2008) (Εικόνα 2.5) δημιούργησαν ένα καινοτόμο αλγόριθμο ανίχνευσης ευθύγραμμων τμημάτων με το όνομα **Line Segment Detector** (ή LSD). Η συγκεκριμένη μέθοδος διατηρεί τα πλεονεκτήματα των αλγορίθμων που προαναφέρθηκαν και παράλληλα αντιμετωπίζει τα μειονεκτήματά τους. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιεί τον τρόπο εύρεσης γραμμών που προτείνουν οι Burns et al και τα κριτήρια επιλογής των τελικών εμφανιζόμενων ευθύγραμμων τμημάτων βασίζονται στον αλγόριθμο των Desolneux et al. Τα αποτελέσματα που δίνει ο συγκεκριμένος αλγόριθμος είναι ακριβή, ενώ η εφαρμογή του στην εικόνα εισόδου δεν απαιτεί ρύθμιση παραμέτρων. Τέλος, ο χρόνος που απαιτείται για την εφαρμογή του LSD σε φυσικές (natural) εικόνες είναι αμελητέος.



Εικόνα 2.5: Εφαρμογή ανίχνευσης ευθύγραμμων τμημάτων μέσω της μεθόδου ανίχνευσης πολλαπλών ευθυγράμμων τμημάτων και μέσω της μεθόδου LSD. Στην εικόνα αναγράφεται ο χρόνος που διήρκησε η εφαρμογή της εκάστοτε μεθόδου στην εικόνα-εισόδου.

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010)

Σημειώνεται, πως ο LSD είναι σχεδιασμένος με τρόπο τέτοιο ώστε να ανιχνεύει **ευθύγραμμα** τμήματα στις εικόνες εισόδου (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010).

Οι **Viorica Pătrăucean, Pierre Gurdjos, and Rafael Grompone von Gio** κατασκεύασαν τον αλγόριθμο Ellipse and Line Segment Detector (ELSD), ο οποίος ανιχνεύει ευθύγραμμα τμήματα και ελλείψεις σε οποιαδήποτε εικόνα αποχρώσεων του γκρι (grayscale image). Ομοίως με τον LSD κατά την εφαρμογή του ELSD στην εικόνα εισόδου δεν υπάρχει ανάγκη για ρύθμιση παραμέτρων ή για κάποια προηγούμενη διαδικασία ανίχνευσης ακμών (Pătrăucean V., Gurdjos P., Grompone von Gioi R., 2012).

2.1.2 Ο αλγόριθμος

Συνοπτικά

Η χρησιμότητα του αλγορίθμου LSD έγκειται στην ανίχνευση ευθύγραμμων τμημάτων σε μία εικόνα αποχρώσεων του γκρι (grayscale image) εικόνα-εισόδου. Ο αλγόριθμος ξεκινά υπολογίζοντας τη γωνία κλίσης ορίου (level-line angle) σε κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας-εισόδου και κατασκευάζει βάσει των παραπάνω δεδομένων ένα πεδίο γωνιών ορίων κλίσης (ο συγκεκριμένος όρος αναλύεται διεξοδικά παρακάτω). Στη συνέχεια, το πεδίο τμηματοποιείται σε περιοχές από εικονοστοιχεία με ίδια γωνία κλίσης ορίου έως κάποια ανοχή r , δηλαδή δημιουργούνται οι υποπεριοχές εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμές (line support regions). Κάθε μία από αυτές είναι τα ενδεχόμενα ευθύγραμμα τμήματα της εικόνας. Για τις υποψήφιας γραμμές κατασκευάζονται ορθογώνια, τέτοια ώστε ο βασικός εσωτερικός τους άξονας να ταυτίζεται με εκείνον της υπό εξέταση υποπεριοχής εικονοστοιχείων. Το πλάτος τους επιλέγεται να είναι τέτοιο ώστε να καλύπτει πλήρως την περιοχή.

Στη συνέχεια, κάθε ένα από τα παραπάνω ορθογώνια υπόκειται σε μια διαδικασία αξιολόγησης. Η συγκεκριμένη βασίζεται στη μέθοδο των Delsoneux et al. και αποτελεί μία a contrario προσέγγιση της αρχής Helmholtz (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010). Το παρόν στάδιο αναλύεται διεξοδικά παρακάτω.

Αλγόριθμος

Στόχος της παρούσας ενότητας είναι η αναλυτική παρουσίαση των σταδίων επεξεργασίας της εικόνας-εισόδου κατά την εφαρμογή σε αυτήν του αλγορίθμου Line Segment Detector.

Ο LSD λαμβάνει ως στοιχείο εισόδου μια εικόνα αποχρώσεων του γκρι και επιστρέφει μια λίστα των ανιχνευμένων ευθύγραμμων τμημάτων.

Αξίζει να σημειωθεί πως έχουν διατυπωθεί διάφορες εναλλακτικές του LSD αλγορίθμου.

Για λόγους πληρότητας θα γίνει παρουσίαση της έκδοσης του LSD, η οποία δημοσιεύθηκε τον Απρίλιο του 2010, καθώς και εκείνης που ακολούθησε το Μάρτιο του 2012. Είχε προηγηθεί μία ακόμα έκδοση του αλγορίθμου το Νοέμβριο του 2008.

Α΄ Έκδοση

Η έκδοση του αλγορίθμου, που δημοσιεύτηκε τον Απρίλιο του 2010, περιελάμβανε τα στάδια που αναγράφονται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 2.6):

Algorithm 2: LSD: LINE SEGMENT DETECTOR

input : An image I , parameters ρ , τ and ε .
output: A list *out* of rectangles.

```
1 (LLAngles, GradMod, OrderedListPixels)  $\leftarrow$  Grad( $I$ ,  $\rho$ );
2 Status(allpixels)  $\leftarrow$  NotUsed;
3 foreach pixel  $p$  in OrderedListPixels do
4   if Status( $p$ ) = NotUsed then
5     region  $\leftarrow$  RegionGrow( $p$ ,  $\tau$ , Status);
6     rect  $\leftarrow$  RectApprox(region);
7     nfa  $\leftarrow$  NFA(rect);
8     nfa  $\leftarrow$  ImproveRect(rect);
9     if  $nfa < \varepsilon$  then
10      Add rect to out;
11      Status(region)  $\leftarrow$  Used;
12   else
13     Status(region)  $\leftarrow$  NotIni;
14   end
15 end
16 end
```

Εικόνα 2.6: Ψευδοκώδικας αλγορίθμου για τη έκδοση του Απριλίου 2010

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010)

Υπολογισμός παραγώγου εικόνας (Grad)

Η πρώτη ενέργεια που υλοποιεί ο αλγόριθμος είναι ο υπολογισμός της πρώτης παραγώγου της εικόνας-εισόδου. Συγκεκριμένα, μέσω της μεθόδου **Υπολογισμός παραγώγου της εικόνας** λαμβάνονται τα σχετικά στοιχεία που αφορούν στη γωνία κλίσης ορίου (level-line angle), καθώς και στο μέτρο της πρώτης παραγώγου της εικόνας για κάθε θέση εικονοστοιχείου. Επιπροσθέτως, εξάγεται μία λίστα καταταγμένων εικονοστοιχείων σύμφωνα με το μέτρο κλίσης αυτών, κατά φθίνουσα σειρά. Στην παραπάνω λίστα δε συμπεριλαμβάνονται τα εικονοστοιχεία της εικόνας, των οποίων το μέτρο είναι μικρότερο της ποσότητας ρ (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010). Στα εδάφια Υπολογισμός παραγώγου της εικόνας, φθίνουσα κατάταξη εικονοστοιχείων βάσει του μέτρου κλί-

σης, Κατωφλίωση των μέτρων κλίσης της νέας έκδοσης του αλγορίθμου LSD που ακολουθούν παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία υπολογισμού των μεγεθών της παρούσας μεθόδου.

Προσδιορισμός παραμέτρου ρ

Έστω n μια ποσοτική εκτίμηση του θορύβου και i ιδανική εικόνα, στην οποία δεν ανιχνεύεται θόρυβος. Για τα παραπάνω μεγέθη ισχύουν οι σχέσεις:

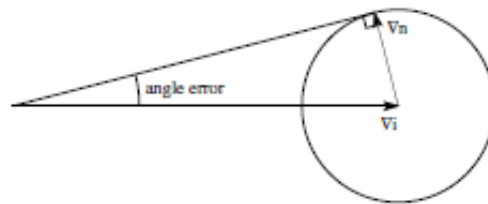
$$\tilde{i} = i + n$$

$$\nabla \tilde{i} = \nabla i + \nabla n$$

Επιπλέον, ισχύει πως:

$$|\text{angle error}| \leq \arcsin\left(\frac{q}{|\nabla i|}\right)$$

όπου q κατώφλι στο μέτρο της παραγώγου του θορύβου $|\nabla n|$ (Εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7: Εκτίμηση του μεγέθους γωνιακό σφάλμα

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010)

Για το μέγεθος γωνιακό σφάλμα (angle error) ισχύει πως $|\text{angle error}| \leq r$, όπου r η ανοχή που ορίζεται στον αλγόριθμο Μεγέθυνσης περιοχής (αναλύεται διεξοδικά στο εδάφιο Μεγέθυνση περιοχής που ακολουθεί).

Συνεπώς, ισχύει:

$$\rho = \frac{q}{\sin r}$$

Σε εικόνες αποχρώσεων του γκρι ορίζεται $q=2$. Συνεπώς, αν οριστεί $r=22.5^\circ$ προκύπτει $\rho=5.2$ (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010).

Μεγέθυνση περιοχής (RegionGrow)

Η λίστα των εικονοστοιχείων που εξάχθηκε μέσω της μεθόδου Υπολογισμός παραγώγου της εικόνας αποτελεί το στοιχείο επεξεργασίας της μεθόδου **Μεγέθυνση περιοχής**. Η διαδικασία, που ακολουθείται στο παρόν βήμα είναι ένας αλγόριθμος μεγέθυνσης περιοχής (region-growing algorithm) (Εικόνα 2.8). Συγκεκριμένα, η δημιουργία κάθε υποπεριοχής

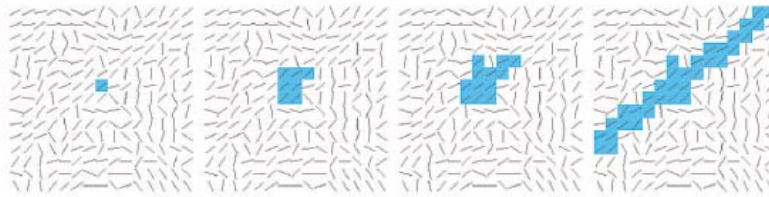
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ (LINE SEGMENT DETECTOR)

Ξεκινά με την επιλογή ενός εικονοστοιχείου- το “σπόρο” της υποπεριοχής εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή (line-support region). Στη συνέχεια, προστίθενται στην περιοχή τα γειτονικά στο σπόρο εικονοστοιχεία, των οποίων η γωνία κλίσης ορίου είναι ίση με τη γωνία κλίσης ορίου της περιοχής, έως κάποια απόκλιση τ . Για κάθε νέο εικονοστοιχείο που προστίθεται στην υποπεριοχή εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή υπολογίζεται νέα γωνία κλίσης ορίου της περιοχής μέσω της ακόλουθης σχέσης:

$$\arctan\left(\frac{\sum_j \sin(\text{level} - \text{line} - \text{angle}_j)}{\sum_j \cos(\text{level} - \text{line} - \text{angle}_j)}\right)$$

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου δεν προστίθεται άλλο εικονοστοιχείο στην περιοχή.

Στη διαδικασία επιλογής των εικονοστοιχείων-«σπόρων» προηγούνται εκείνα με το μέγιστο μέτρο πρώτης παραγώγου, καθώς είναι πιο πιθανόν να ανήκουν σε κάποια ακμή. Συνεπώς, η διαδικασία Μεγέθυνση περιοχής σχηματίζει τις ενδεχόμενες γραμμές αντλώντας τα αρχικά για κάθε υποπεριοχή εικονοστοιχεία από τη λίστα της μεθόδου Υπολογισμός παραγώγου της εικόνας με τη σειρά που αναγράφονται. Τα εικονοστοιχεία που προστίθενται στην εκάστοτε υποπεριοχή μαρκάρονται ως USED και δε συμμετέχουν ξανά στη σύσταση των υποπεριοχών εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμές (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010).



Εικόνα 2.8: Διαδικασία σχηματισμού των υποπεριοχών εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμές

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010)

Παρατήρηση: Κάθε φορά που εμφανίζεται στην εικόνα μια μεγάλη σε μήκος και με καλή αντίθεση ακμή, ο αλγόριθμος σχηματίζει την ίδια υποπεριοχή εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή, ανεξάρτητα από το εικονοστοιχείο –«σπόρο». Ωστόσο, δε συμβαίνει το ίδιο στην περίπτωση καμπύλης που προσεγγίζεται από ευθύγραμμα τμήματα. Το αποτέλεσμα που παράγεται από τη διαδικασία εξαρτάται από το συγκεκριμένο στοιχείο. Στην περίπτωση αυτή, δεν υπάρχει κάποια a priori εκτίμηση του εικονοστοιχείου εκείνου που θα δώσει το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Στην περίπτωση που δύο ευθύγραμμα τμήματα στην εικόνα-εισόδου είναι σχεδόν συγγραμμικά και διαφορά στη μεταξύ τους γωνία είναι μικρότερη από την ανοχή τ , τα εικονοστοιχεία των δύο ακμών θα ομαδοποιηθούν σε μία υποπεριοχή εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανίχνευση ενός ευθύγραμμου τμήματος (Εικόνα 2.9).

Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος, ο LSD ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία: Κατά τη διάρκεια του αλγορίθμου Μεγέθυνσης περιοχής υπολογίζει την πυκνότητα των συ-

νευθαιακών εικονοστοιχείων στο εκάστοτε ορθογώνιο. Αν η ποσότητα που προκύπτει είναι μικρότερη του 50%, το σχήμα της υποπεριοχής εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή διαφέρει από εκείνο του ορθογώνιου. Στην περίπτωση αυτή, ο LSD διακόπτει τη διαδικασία Μεγέθυνσης περιοχής και διατηρεί την υποπεριοχή εικονοστοιχείων στην προηγούμενη κατάσταση (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010).



Εικόνα 2.9: Από αριστερά: διασταύρωση γραμμών με γωνία μικρότερη της ανοχής, αποτέλεσμα κατά Burns et al., αποτέλεσμα LSD

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010)

Προσδιορισμός ανοχής r

Η τιμή που έχει δοθεί στη συγκεκριμένη παράμετρο είναι ίση με 22.5 μοίρες. Η ανοχή αυτή δεν περιορίζει την περιοχή που εκτείνεται η υποπεριοχή εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή, γεγονός που οδηγεί σε αναπαράσταση μίας γραμμής από πολλά μικρά σε μήκος ευθύγραμμο τμήματα. Ταυτόχρονα, η συγκεκριμένη γωνία δεν οδηγεί σε μεγάλες σε έκταση υποπεριοχές εικονοστοιχείων, οι οποίες αποτελούν συνένωση πολλών επιμέρους γραμμών.

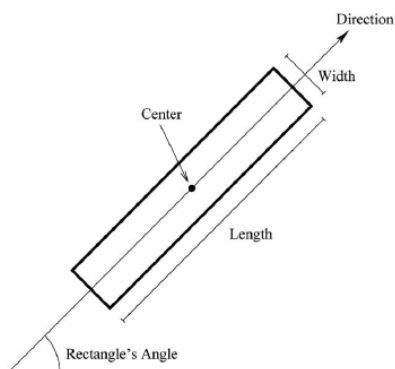
Στο εδάφιο Μεγέθυνση περιοχής της νέας έκδοσης του αλγορίθμου LSD, η οποία παρουσιάζεται παρακάτω, αναλύεται διεξοδικότερα η επιλογή της συγκεκριμένης τιμής.

Τέλος, σημειώνεται πως η τιμή των 22.5 μοιρών είχε αρχικά προταθεί από τους Burns et al.. Οι δημιουργοί του LSD κατέληξαν στην ίδια τιμή, έπειτα από τη διενέργεια πειραμάτων σε πλήθος εικόνων με πλήθος διαφορετικών τιμών για το μέγεθος r (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010).

Ορθογωνική προσέγγιση περιοχών (Rectangular Approximation of Regions)

Στη διαδικασία σχηματισμού των ενδεχόμενων γραμμών, οι τελευταίες προσομοιάζονται με ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο. Για κάθε ευθύγραμμο τμήμα προσδιορίζονται τα δύο άκρα του και το πάχος του, ή ισοδύναμα τα ακόλουθα στοιχεία: μήκος, γωνία, κέντρο και πάχος του ορθογωνίου (Εικόνα 2.10).

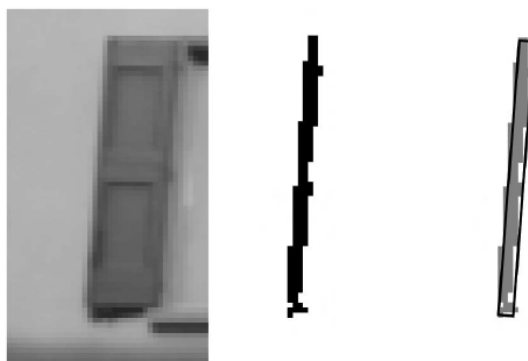
Για τον προσδιορισμό της κύριας διεύθυνσης του ορθογωνίου, η πρώτη ιδέα που έρχεται στο μυαλό είναι να τεθεί ίση με τη μέση γωνία κλίσης ορίου της συγκεκριμένης υποπεριοχής εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή. Αυτή η διαδικασία μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένη εκτίμηση, στην περίπτωση που το εικονιζόμενο φόντο παρουσιάζει αργή μεταβολή στην ένταση της φωτεινότητας.



Εικόνα 2.10: Προσομοίωση ευθύγραμμου τμήματος με ορθογώνιο παραλληλόγραμμο

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010)

Στον LSD (η ιδέα προτάθηκε για πρώτη φορά από τους Kahn et al.), το κέντρο του ορθογώνιου αντιπροσωπεύεται από το κέντρο μάζας αυτού, και ο προσανατολισμός από τον κύριο άξονα αδράνειας του ορθογώνιου. Συγκεκριμένα, το μέγεθος της κλίσης του εκάστοτε περιεχόμενου εικονοστοιχείου θεωρείται ως μάζα αυτού. Στη συνέχεια, το μήκος και το πλάτος επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτεται η περιοχή μελέτης. Στο εδάφιο Ορθογωνική προσέγγιση περιοχής της νέας έκδοσης του αλγορίθμου LSD, η οποία παρουσιάζεται παρακάτω παρατίθενται οι μαθηματικές σχέσεις, που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης του κέντρου του ορθογώνιου και της γωνίας προσανατολισμού του τελευταίου (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010).



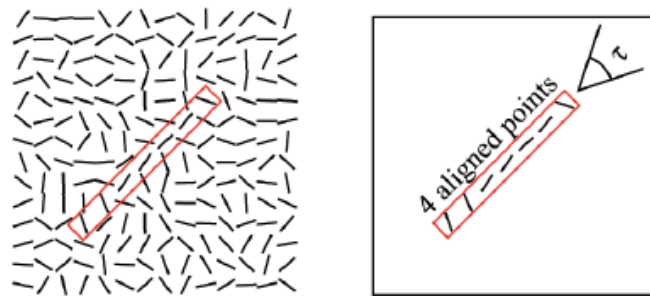
Εικόνα 2.11: Διαδικασία προσομοίωσης υποπεριοχής εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή με ορθογώνιο. Από αριστερά: αρχική εικόνα υποπεριοχής εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή, παραγόμενο ορθογώνιο.

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010)

Επαλήθευση ευθυγράμμων τμημάτων (Line Segment Validation)

Η διαδικασία αξιολόγησης των υποψήφιας ευθύγραμμων τμημάτων βασίζεται στη μέθοδο των Delsonieux et. al. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μέθοδο, γίνεται υπολογισμός της πρώτης παραγώγου της εικόνας εισόδου και του προσανατολισμού της γωνίας κλίσης ορίου για κάθε ένα από τα εικονοστοιχεία της εικόνας-εισόδου. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα

2.12), η γωνία κλίσης ορίου κωδικοποιείται μέσω των εικονιζόμενων γραμμών. Δοθέντος ενός ευθυγράμμου τμήματος, ο αλγόριθμος υπολογίζει τον αριθμό των περιεχόμενων σε αυτό συνευθειακών εικονοστοιχείων, δηλαδή των εικονοστοιχείων εκείνων με την ίδια γωνία κλίσης ορίου έως κάποια ανοχή τ . Όλες οι πιθανές γραμμές αξιολογούνται και διατηρούνται εκείνες που ικανοποιούν ένα κριτήριο που αφορά αφενός στο μήκος τους και αφετέρου στον αριθμό των συνευθειακών εικονοστοιχείων που ευρίσκονται σε αυτές.



Εικόνα 2.12: Κατασκευή πεδίου γωνιών ορίων κλίσης

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010)

Η διαδικασία επαλήθευσης των γραμμών αντιμετωπίζεται σύμφωνα με τους Delseux et al.. σαν ένα πείραμα τύχης. Για την ανάλυση αυτού χρησιμοποιούνται στατιστικά μοντέλα που αφορούν στο φόντο και στις εικονιζόμενες γραμμές σε μία εικόνα μελέτης. Η διαδικασία επαλήθευσης των υποψήφιας δομών βασίζεται στην a contrario προσέγγιση. Συγκεκριμένα, γίνεται χρήση ενός στατιστικού μοντέλου το οποίο αναφέρεται σε μη δομημένα δεδομένα, στα οποία δεν ανιχνεύονται αντικείμενα. Συνεπώς, τα εικονιζόμενα αντικείμενα δηλαδή στην περίπτωση του αλγορίθμου LSD οι γραμμές αποτελούν ακραίες τιμές στο μοντέλο αυτό.

Το μη δομημένο μοντέλο, το οποίο περιγράφει με αποτελεσματικό τρόπο τα ευθύγραμμα τμήματα είναι το ακόλουθο: Αρχικά, δημιουργείται ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο (το συγκεκριμένο σχήμα προσομοιάζει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα ευθύγραμμα τμήματα) αποτελούμενο από συγκεκριμένο πλήθος εικονοστοιχείων. Οι γωνίες κλίσης ορίου των εικονοστοιχείων που βρίσκονται στο εσωτερικό της δομής αυτής χαρακτηρίζονται ως στατιστικά ανεξάρτητες και οι τιμές που λαμβάνουν ακολουθούν την κανονική κατανομή (Gaussian white noise image).

Έστω εικόνα X (ορίζεται σε κάρναβο $\Gamma = [1, N] \times [1, M] \subset \mathbb{Z}^2$), η οποία ακολουθεί το μη δομημένο μοντέλο H_0 . Για την X ισχύουν τα ακόλουθα:

- $\forall m \in \Gamma, \text{Angle}(\nabla X(m))$ κατανέμεται ομοιόμορφα στο διάστημα $[0, 2\pi]$
- Οι $\{\text{Angle}(\nabla X(m))\}_{m \in \Gamma}$ αποτελείται από στατιστικά ανεξάρτητες μεταβλητές

Ο αριθμός των πειραμάτων T_r των υποθετικών ορθογωνίων είναι ίσος με N^5 στην περίπτωση εικόνα διαστάσεων $N \times N$. Η παραπάνω τιμή προκύπτει ως εξής: τα ορθογώνια είναι προσανατολισμένα, δηλαδή το αρχικό και το τελικό σημείο του ορθογωνίου περιέχει πληροφορία για την πλευρά της γραμμής η οποία είναι πιο σκούρα. Συνεπώς, το ορθογώνιο $A \rightarrow B$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ (LINE SEGMENT DETECTOR)

θεωρείται διαφορετικό από το $B \rightarrow A$. Επομένως, σε μια εικόνα διαστάσεων $N \times N$ ο αριθμός των πιθανών ορθογωνίων είναι $(N \times N) \times (N \times N)$ επί τα πλάτη (N).

Η διαδικασία της επαλήθευσης έχει ως εξής: Αν $k(r, x) \geq k_r$ απορρίπτεται το H_0 , συνεπώς το ορθογώνιο επαληθεύεται. Σε αντίθετη περίπτωση το ορθογώνιο δεν παράγει κάποια ανίχνευση.

Οι Delsonneux et al όρισαν την ποσότητα αριθμός ψευδών ανιχνεύσεων NFA ή Number of False Alarms, η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$$NFA(r, x) = \#R P_{H_0} [k(r, X) \geq k(r, x)]$$

Στην παραπάνω σχέση συμβολίζεται $k(r, x)$ ο αριθμός των συνευθειακών εικονοστοιχείων στο ορθογώνιο. Επιπλέον, συμβολίζεται με X η εικόνα που ακολουθεί το μοντέλο H_0 και $k(r, X)$ ο αριθμός των συνευθειακών εικονοστοιχείων σε αυτήν.

Όσο μικρότερο είναι το παραπάνω μέγεθος τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα εμφάνισης της συγκεκριμένης δομής στο μοντέλο θορύβου. Για την παραπάνω ποσότητα ορίζεται ένα ανώτατο όριο ϵ . Αν ο $NFA \leq \epsilon$ για το συγκεκριμένο ορθογώνιο, τότε αποτελεί ανίχνευση και γίνεται απόδοση του συγκεκριμένου ορθογωνίου- ευθύγραμμου τμήματος στο τελικό αποτέλεσμα.

Στο εδάφιο Υπολογισμός ποσότητας NFA της νέας έκδοσης του αλγορίθμου LSD, η οποία παρουσιάζεται παρακάτω παρατίθενται οι μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της NFA ποσότητας (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010).

Μεταβλητή Status

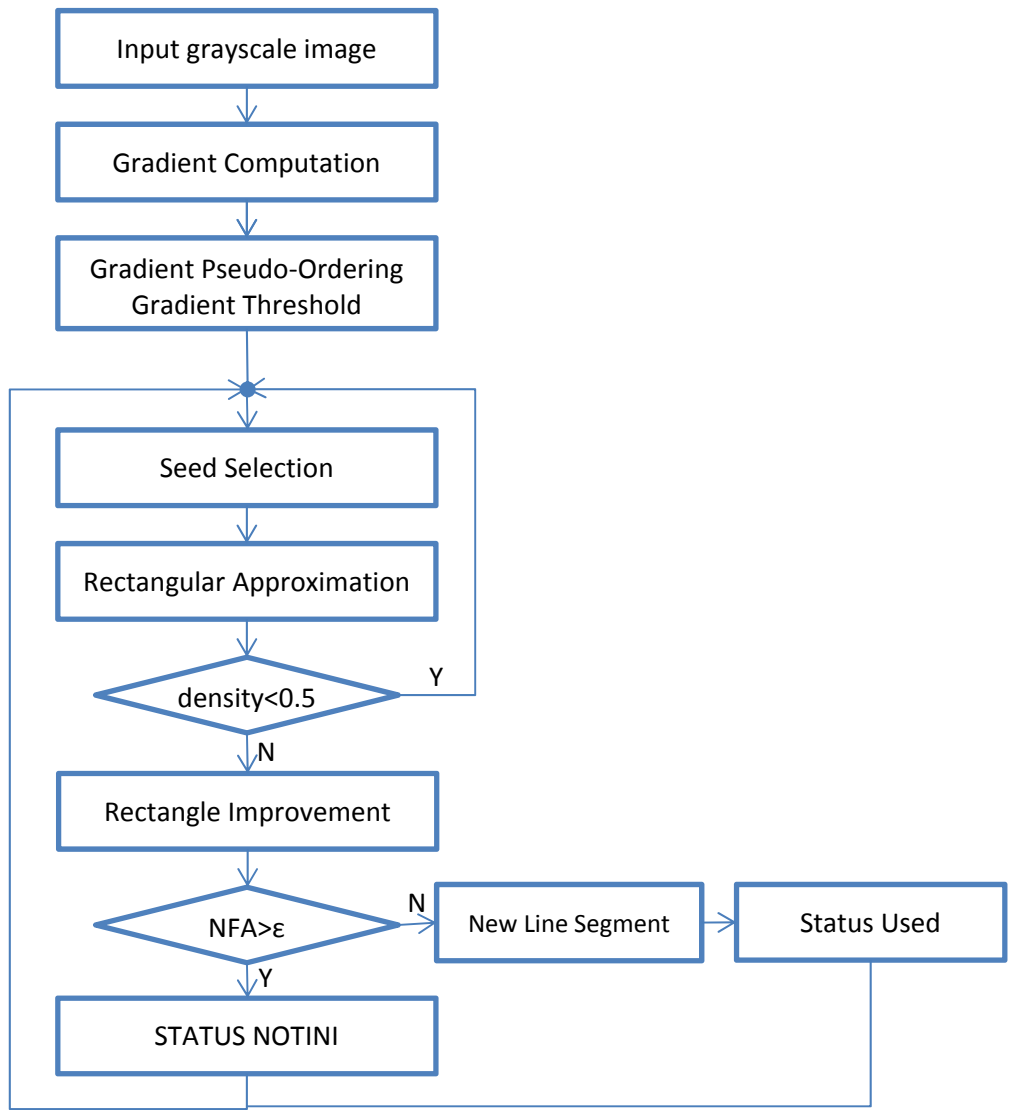
Ο ρόλος της συγκεκριμένης μεταβλητής είναι καθοριστικός στη διεξαγωγή του αλγορίθμου LSD. Μέσω αυτής μαρκάρονται τα εικονοστοιχεία που έχουν χρησιμοποιηθεί στο σχηματισμό κάποιας υποπεριοχής εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή. Συγκεκριμένα, η status λαμβάνει την τιμή USED για τα εικονοστοιχεία εκείνα, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί στη σύσταση κάποιας υποπεριοχής. Πέρα από τις τιμές USED, NOT USED υπάρχει και μία ακόμα τιμή για τη status η NotInI. Η συγκεκριμένη εκχωρείται σε εικονοστοιχεία μιας υποπεριοχής εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή που δεν αποτελεί ανίχνευση. Αυτό αποτρέπει τον αλγόριθμο να χρησιμοποιήσει τα συγκεκριμένα εικονοστοιχεία ως σημεία εκκίνησης για μία νέα υποπεριοχή εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή, αλλά ταυτόχρονα επιτρέπει τη συμμετοχή τους σε κάποια υποπεριοχή εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή που επεκτείνεται σε αυτά (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010).

Βελτίωση ορθογωνίων (Improve Rectangle)

Όπως προαναφέρθηκε, η καλύτερη προσέγγιση μίας υποπεριοχής εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή είναι εκείνη που περιγράφεται από το μικρότερο NFA. Η διαδικασία Βελτίωσης ορθογωνίων δοκιμάζει ορισμένες παραλλαγές, προκειμένου ο LSD να δώσει μια καλύτερη προσέγγιση της γραμμής. Αυτό το βήμα είναι σημαντικό στον περιορισμό των

ανιχνεύσεων που παράγουν μικρά σε μήκος ευθύγραμμα τμήματα που αποτελούν θόρυβο. Συγκεκριμένα, η διαδικασία Βελτίωσης ελέγχει το πλάτος και δοκιμάζει παραλλαγές ως προς τη θέση των ορθογωνίων. Ο λόγος είναι ότι το πλάτος των ευθυγράμμων τμημάτων επηρεάζει εμφανώς την τελική απόδοση της γραμμής (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., 2010).

Ακολουθεί το διάγραμμα ροής για την παρούσα έκδοση του αλγορίθμου (Εικόνα 2.13):



Εικόνα 2.13: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου *Line Segment Detector* για την έκδοση που δημοσιεύτηκε τον Απρίλιο 2010

Β' Έκδοση

Η ανανεωμένη έκδοση του αλγορίθμου που δημοσιεύτηκε το Μάρτιο του 2012 διαφέρει ως προς τη δομή του, σε σχέση με τη προγενέστερη. Συγκεκριμένα, ο ψευδοκώδικας είναι ο ακόλουθος (Εικόνα 2.14):

Algorithm 1: LSD: Line Segment Detector

```

input: An image  $I$ .
output: A list  $out$  of rectangles.
1  $I_S \leftarrow \text{ScaleImage}(I, S, \sigma = \frac{\Sigma}{S})$ 
2  $(LLA, |\nabla I_S|, \text{OrderedListPixels}) \leftarrow \text{Gradient}(I_S)$ 
3  $\text{Status} \leftarrow \begin{cases} \text{USED}, & \text{pixels with } |\nabla I_S| \leq \rho \\ \text{NOT USED}, & \text{otherwise} \end{cases}$ 
4 foreach  $pixel P \in \text{OrderedListPixels}$  do
5   if  $\text{Status}(P) = \text{NOT USED}$  then
6      $region \leftarrow \text{RegionGrow}(P, \tau)$ 
7      $rect \leftarrow \text{Rectangle}(region)$ 
8     while  $\text{AlignedPixelDensity}(rect, \tau) < D$  do
9        $region \leftarrow \text{CutRegion}(region)$ 
10       $rect \leftarrow \text{Rectangle}(region)$ 
11    end
12     $rect \leftarrow \text{ImproveRectangle}(rect)$ 
13     $nfa \leftarrow \text{NFA}(rect)$ 
14    if  $nfa \leq \varepsilon$  then
15      Add  $rect \rightarrow out$ 
16    end
17  end
18 end

```

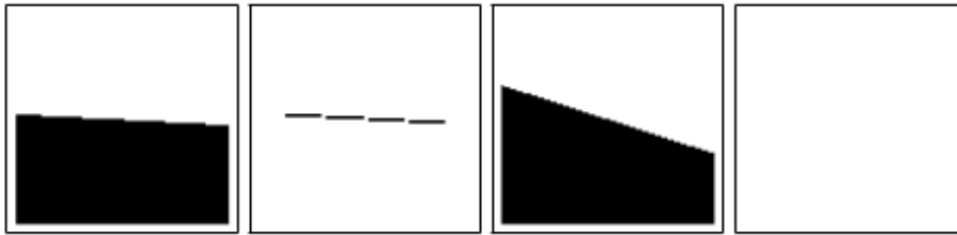
Εικόνα 2.14: Ψευδοκώδικας αλγορίθμου για τη έκδοση του Μαρτίου 2012

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Μεταβολή κλίμακας της εικόνας-εισόδου (Image Scaling)

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου ποικίλει ανάλογα με την κλίμακα στην οποία μελετάται η εικόνα. Επιπροσθέτως, η εφαρμογή του LSD σε τμήμα της εικόνας και στο σύνολο αυτής δίνει διαφορετικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά το πλήθος των γραμμών που εξάγονται από τις επιμέρους περιπτώσεις εφαρμογής του. Τα παραπάνω απορρέουν από το γεγονός πως η κλίμακα μιας εικόνας σχετίζεται άμεσα με το πλήθος των λεπτομερειών που αποτυπώνονται σε αυτήν. Η κλίμακα της εικόνας και η εφαρμογή του LSD στο σύνολο ή σε τμήμα της τελευταίας είναι επιλογή του εκάστοτε χρήστη.

Το πρώτο βήμα του αλγορίθμου, ωστόσο, είναι να μειώσει το συνολικό μέγεθος της εικόνας κατά 20%. Η επιλογή της συγκεκριμένης κλίμακας δεν είναι τυχαία, αλλά είναι τέτοια ώστε να εμποδίζεται η μη ποιοτική απόδοση της εικόνας και να αντιμετωπίζεται το πρόβλημα κατά το οποίο οι λείες επιφάνειες και οι καμπύλες, στα γραφικά, εμφανίζονται με προεξοχές επειδή η ανάλυση της συσκευής των γραφικών δεν είναι αρκετά υψηλή για να τις απεικονίσει σωστά (aliasing). Το θόλωμα της εικόνας θα δημιουργούσε το ίδιο αποτέλεσμα, αλλά θα επηρέαζε στατικά στοιχεία της εικόνας στο a contrario μοντέλο για το λόγο ότι ανιχνεύονται δομές σε εικόνες θορύβου, οι οποίες έχουν εξομαλυνθεί. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2.15), παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της εφαρμογής του υπό μελέτη αλγορίθμου σε εικόνες, οι οποίες δεν έχουν υποστεί επεξεργασία κλίμακας. Στην πρώτη περίπτωση, το αποτέλεσμα είναι η ανίχνευση τεσσάρων διακριτών ευθύγραμμων τμημάτων, ενώ στη δεύτερη η ακμή δεν παρουσιάζεται στο τελικό σχήμα.

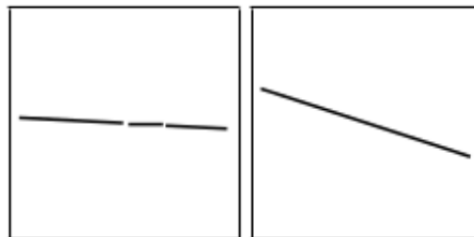


Εικόνα 2.15: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD σε δύο ακμές χωρίς μεταβολή της κλίμακας της εικόνας.

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω το αποτέλεσμα δεν είναι το επιθυμητό.

Ακολούθως (Εικόνα 2.16), παρουσιάζεται η παραγόμενη ασπρόμαυρη εικόνα, έπειτα από επεξεργασία κλίμακας της αρχικής. Οι δύο ακμές ανιχνεύτηκαν στη σωστή κατεύθυνση. Η επιλογή της τιμής 80% είναι τέτοια ώστε να επιλύεται το κλιμακωτό πρόβλημα (staircase problem) και ταυτόχρονα το μέγεθος της εικόνας (και συνεπώς το επίπεδο λεπτομέρειας) να διατηρείται σε ικανοποιητικό βαθμό.



Εικόνα 2.16: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD σε δύο ακμές με μεταβολή της κλίμακας της εικόνας

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Η εφαρμογή κλίμακας 80% έχει σαν αποτέλεσμα οι δύο άξονες της εικόνας να μειωθούν κατά 20% και επομένως τα εικονοστοιχεία της επεξεργασμένης εικόνας να αποτελούν το 64% της αρχικής. Η μείωση του μεγέθους της αρχικής εικόνας πραγματοποιείται με τον ακόλουθο τρόπο: Αρχικά, εφαρμόζεται το φίλτρο Gauss στην αρχική εικόνα, προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα εμφάνισης των λείων επιφανειών και των καμπύλων με προεξοχές και στη συνέχεια γίνεται υποδειγματοληψία. Η τυπική απόκλιση του φίλτρου Gauss ορίστηκε ως $\sigma = \Sigma/S$, όπου S η κλίμακα της εικόνας και $\Sigma = 0.6$. Η τιμή του Σ προέκυψε έπειτα από δοκιμές. Η δοθείσα τιμή διασφαλίζει καλή ισορροπία στην αντιμετώπιση του προβλήματος εμφάνισης των λείων επιφανειών και των καμπύλων με προεξοχές και στην ταυτόχρονη διατήρηση των ακμών της αρχικής εικόνας (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

Υπολογισμός παραγώγου της εικόνας (Gradient Computation)

Ο υπολογισμός της παραγώγου ξεχωριστά σε κάθε θέση εικονοστοιχείου υλοποιείται με χρήση μάσκας 2x2. Έστω εικόνα-εισόδου με τα ακόλουθα εικονοστοιχεία:

$i(x,y)$	$i(x,y+1)$
$i(x+1,y)$	$i(x+1,y+1)$

Η τιμή $i(x,y)$ αναφέρεται στη φωτεινότητα του εικονοστοιχείου με συντεταγμένες (x,y) . Η παράγωγος της εικόνας στην παραπάνω θέση υπολογίζεται ως εξής:

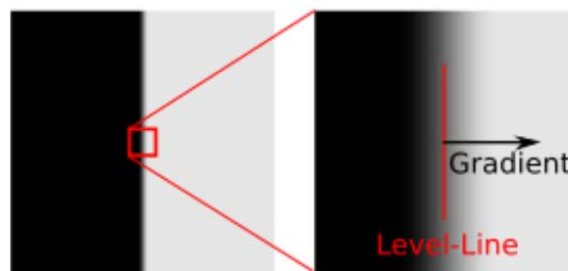
$$g_x(x,y) = \frac{i(x+1,y) + i(x+1,y+1) - i(x,y) - i(x,y+1)}{2}$$

$$g_y(x,y) = \frac{i(x,y+1) + i(x+1,y+1) - i(x,y) - i(x+1,y)}{2}$$

Η γωνία κλίσης ορίου (level line angle) υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$\arctan\left(\frac{g_x(x,y)}{-g_y(x,y)}\right)$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει πως η γωνία κλίσης ορίου διαφέρει από τη γωνία της πρώτης παραγώγου κατά 90 μοίρες (Εικόνα 2.17).



Εικόνα 2.17: Παράγωγος εικόνας και γωνία κλίσης ορίου

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Το μέτρο του διανύσματος της πρώτης παραγώγου της εικόνας υπολογίζεται ως εξής:

$$G(x,y) = \sqrt{g_x^2(x,y) + g_y^2(x,y)}$$

Παρατηρείται πως το μέγεθος της μάσκας της παραγώγου είναι το μικρότερο δυνατό. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ανεξαρτησία των υπολογιζόμενων τιμών παραγώγου (συνεπώς προσεγγίζει τη θεωρητική ανεξαρτησία στην περίπτωση της εικόνας -θορύβου). Η τιμή της γωνίας κλίσης ορίου κωδικοποιεί τη φορά της ακμής. Αναλυτικά, η γωνία διαφέρει κατά 180° στην περίπτωση φοράς από μεγάλη σε μικρή φωτεινότητα, συγκριτικά με τη γωνία που προκύπτει μέσω της αντίστροφης φοράς.

Επιπροσθέτως, σημειώνεται πως ο υπολογισμός της παραγώγου γίνεται για το εικονοστοιχείο (x,y) στο σημείο $(x+0.5,y+0.5)$ δηλαδή στο κέντρο του. Η παράλληλη μετατόπιση μισού εικονοστοιχείου στη συνέχεια προστίθεται στα ορθογώνια εξόδου, ώστε οι συντεταγμένες να παράγουν συνεπή αποτελέσματα (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

Φθίνουσα κατάταξη εικονοστοιχείων βάσει του μέτρου κλίσης (Gradient pseudo-ordering)

Στον LSD παίζει καθοριστικό ρόλο η σειρά επεξεργασίας των εικονοστοιχείων. Τα εικονοστοιχεία με το μεγαλύτερο μέτρο κλίσης είναι εκείνα που αναπαριστούν τις ακμές με τη μεγαλύτερη αντίθεση φωτεινότητας. Συνεπώς, η αναζήτηση γραμμών κρίνεται σκόπιμο να ξεκινάει από τα εικονοστοιχεία στα οποία το μέτρο της πρώτης παραγώγου μεγιστοποιείται. Για το λόγο αυτό, τα εικονοστοιχεία ομαδοποιούνται και κατατάσσονται βάσει του εν λόγω μεγέθους σε 1024 κελιά (bins). Ο LSD ξεκινάει τη διαδικασία αναζήτησης γραμμών βάσει των εικονοστοιχείων που έχουν τοποθετηθεί στο κελί με το μεγαλύτερο μέτρο κλίσης. Το πλήθος των κελιών στην κατάταξη επαρκεί στην περίπτωση που οι γκριζοί τόνοι παίρνουν τιμές στο σύνολο $[0,255]$ (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

Κατωφλίωση μέτρων κλίσης (Gradient Threshold)

Στον LSD τα εικονοστοιχεία με μέτρο κλίσης μικρότερο από μια ορισμένη τιμή ρ δε χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των υποπεριοχών εικονοστοιχείων υποψήφια για γραμμές (line-support regions) ή των ορθογωνίων.

Έστω n μια ποσοτική εκτίμηση του θορύβου, $i \sim$ η εικόνα θορύβου και i ιδανική εικόνα, στην οποία δεν ανιχνεύεται θόρυβος. Για τα παραπάνω μεγέθη ισχύουν οι σχέσεις:

$$i \sim = i + n$$

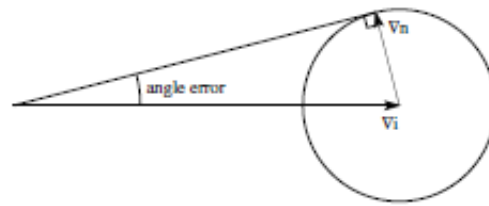
$$\nabla i \sim = \nabla i + \nabla n$$

Επιπλέον, ισχύει πως:

$$|\text{angle error}| \leq \arcsin\left(\frac{q}{|\nabla i|}\right)$$

όπου q κατώφλι στο μέτρο της παραγώγου του θορύβου $|\nabla n|$.

Για το μέγεθος γωνιακό σφάλμα (angle error) ισχύει πως $|\text{angle error}| \leq r$, όπου r η ανοχή που ορίζεται στον αλγόριθμο Μεγέθυνση Περιοχής (αναλύεται διεξοδικά στο εδάφιο Μεγέθυνση Περιοχής που ακολουθεί) (Εικόνα 2.18).



Εικόνα 2.18: Εκτίμηση του μεγέθους γωνιακό σφάλμα

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Συνεπώς, ισχύει:

$$\rho = \frac{q}{\sin r}$$

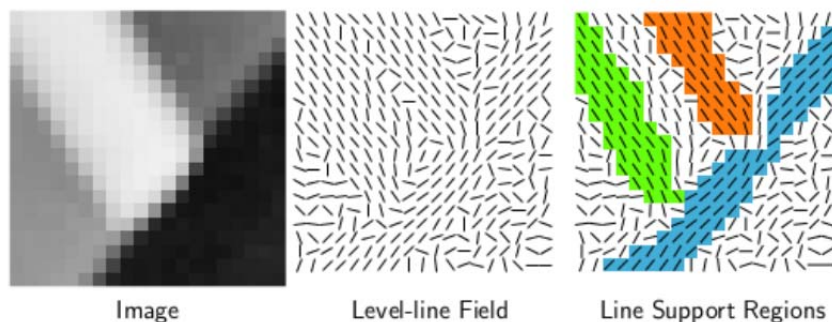
Σε εικόνες αποχρώσεων του γκρι ορίζεται $q=2$. Συνεπώς, αν οριστεί $r=22.5^\circ$ προκύπτει $\rho=5.2$ (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

Μεγέθυνση περιοχής (Region Growing)

Στο βήμα αυτό, δημιουργούνται οι υποπεριοχές εικονοστοιχείων υποψήφιες για γραμμές (line-support regions) (Εικόνα 2.19). Η διαδικασία κατασκευής των εν λόγω περιοχών είναι η ακόλουθη: Αρχικά, επιλέγεται ένα εικονοστοιχείο από την ταξινομημένη λίστα των μη χρησιμοποιημένων στη διαδικασία - ο “σπόρος” της υποπεριοχής εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή. Στη συνέχεια, προστίθενται στην περιοχή τα μη χρησιμοποιημένα γειτονικά εικονοστοιχεία, των οποίων η γωνία κλίσης ορίου είναι ίση με εκείνη τη γωνία κλίσης ορίου της περιοχής έως κάποια απόκλιση r . Η γωνία κλίσης ορίου της περιοχής υπολογίζεται ως εξής:

$$\arctan \left(\frac{\sum_j \sin(\text{level} - \text{line} - \text{angle}_j)}{\sum_j \cos(\text{level} - \text{line} - \text{angle}_j)} \right)$$

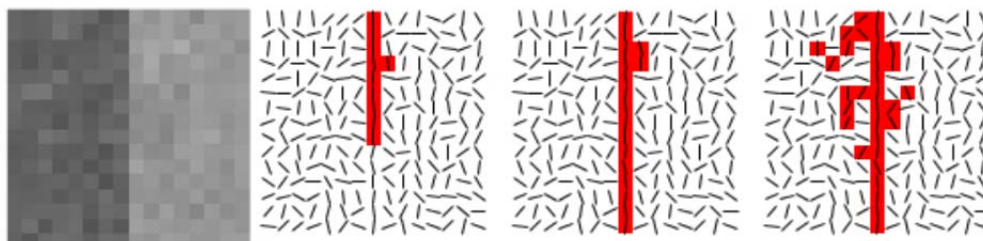
Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου δεν προστίθεται άλλο εικονοστοιχείο στην περιοχή.



Εικόνα 2.19: Περιοχές εικονοστοιχείων υποψήφιες για γραμμή

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Η ανοχή r ορίζεται ίση με $\pi/8$. Η επιλογή της συγκεκριμένης γωνίας είναι τέτοια ώστε η υποπεριοχή εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή να μην είναι περιορισμένη και ταυτόχρονα να μην επεκτείνεται ανεξέλεγκτα συγκριτικά με την γραμμή ορίου. Στην Εικόνα 2.20 εμφανίζεται το αποτέλεσμα της διαδικασίας Μεγέθυνσης περιοχής για 3 διαφορετικές τιμές r .



Εικόνα 2.20: Διαδικασία μεγέθυνση περιοχής με ανοχή r (από αριστερά προς τα δεξιά) 11.25, 22.5, 45.

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Παρατηρείται πως στην πρώτη περίπτωση η επιλογή μικρής τιμής για την ανοχή r περιορίζει πολύ την υποπεριοχή εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή. Στον αντίποδα, η επιλογή μεγάλης τιμής ($r=45^\circ$) επεκτείνει την περιοχή εκτός του ορίου της ακμής. Η επιλογή του $\pi/8$ δίνει κοντινό στο επιθυμητό αποτέλεσμα (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

Ορθογωνική προσέγγιση περιοχών (Rectangle approximation)

Η γραμμή σε μία εικόνα μπορεί να προσομοιωθεί γεωμετρικά με ένα ορθογώνιο. Η περιοχή των εικονοστοιχείων ερμηνεύεται ως ένα στερεό αντικείμενο και το μέγεθος της κλίσης κάθε εικονοστοιχείο χρησιμοποιείται ως "μάζα" του εικονοστοιχείου αυτού. Στη συνέχεια, το κέντρο μάζας της περιοχής επιλέγεται ως το κέντρο μάζας του ορθογωνίου και η κύρια κατεύθυνση του ορθογωνίου είναι ίση με τον πρώτο άξονα αδρανείας της περιοχής. Τέλος, το πλάτος και το μήκος των ορθογωνίων παίρνουν τις μικρότερες δυνατές τιμές ώστε το ορθογώνιο που προκύπτει να καλύπτει πλήρως την υπο εξέταση περιοχή. Οι συντεταγμένες για το κέντρο του ορθογωνίου υπολογίζονται, βάσει των παραπάνω, ως έξης:

$$c_x = \frac{\sum_{j \in \text{Region}} G(j) x(j)}{\sum_{j \in \text{Region}} G(j)}$$

$$c_y = \frac{\sum_{j \in \text{Region}} G(j) y(j)}{\sum_{j \in \text{Region}} G(j)}$$

όπου $G(j)$ το μέτρο της παραγώγου για το εικονοστοιχείο j .

Η γωνία της κύριας διεύθυνσης του ορθογωνίου ορίζεται ίση με τη γωνία του ιδιοδιανύσματος που συνδέεται με τη μικρότερη ιδιοτιμή του παρακάτω πίνακα:

$$M = \begin{pmatrix} m^{xx} & m^{xy} \\ m^{xy} & m^{yy} \end{pmatrix}$$

όπου:

$$m^{xx} = \sum_{j \in Region} G(j)(x(j) - c_x)^2 / \sum_{j \in Region} G(j)$$

$$m^{yy} = \sum_{j \in Region} G(j)(y(j) - c_y)^2 / \sum_{j \in Region} G(j)$$

$$m^{xy} = \sum_{j \in Region} G(j)(x(j) - c_x)(y(j) - c_y) / \sum_{j \in Region} G(j)$$

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Υπολογισμός ποσότητας NFA (NFA Computation)

Το κριτήριο για την απόρριψη ή τη διατήρηση μίας υποψήφιας γραμμής βασίζεται στη θεωρία του Helmholtz, η οποία διατυπώνεται ως εξής: "Καμία δομή δεν ανιχνεύεται σε μια εικόνα θορύβου".

Σε μια εικόνα θορύβου, όπου τα εικονοστοιχεία έχουν τυχαίες γωνίες κλίσης ορίου η πιθανότητα να έχουν τόσα εικονοστοιχεία συγκεντρωμένα παρόμοια γωνία είναι εξαιρετικά μικρή.

Βάσει της *a contrario* προσέγγισης, δομείται ένα υποθετικό *a contrario* μοντέλο H_0 ή αλλιώς ένα μοντέλο θορύβου, στο οποίο η παρουσία δομής είναι εξαιρετικά σπάνια. Με άλλα λόγια, στο νοητό μοντέλο η πιθανότητα εμφάνισης οποιασδήποτε δομής είναι μικρή.

Στην παρούσα περίπτωση, το στοιχείο που εξετάζεται είναι ο αριθμός των συνευθειακών εικονοστοιχείων στην ενδεχόμενη γραμμή. Προσδιορίζεται, συνεπώς, ο αριθμός των συνευθειακών εικονοστοιχείων r και το συνολικό πλήθος εικονοστοιχείων n στο εσωτερικό του ορθογώνιου που προσομοιάζει τη γραμμή. Διευκρινίζεται πως ως συνευθειακά νοούνται τα εικονοστοιχεία με ίδια ή παρόμοια (έως κάποια απόκλιση r) γωνία κλίσης ορίου.

Στη συνέχεια, προσδιορίζεται η πιθανότητα εμφάνισης r τουλάχιστον συνευθειακών εικονοστοιχείων στο υποθετικό μοντέλο θορύβου. Έστω εικόνα i και r το υπο μελέτη ορθογώνιο. Συμβολίζεται $k(r,i)$ ο αριθμός των συνευθειακών εικονοστοιχείων και $n(r)$ ο συνολικός αριθμός εικονοστοιχείων στο ορθογώνιο. Επιπλέον, συμβολίζεται με I η εικόνα που ακολουθεί το μοντέλο θορύβου και $k(r,I)$ ο αριθμός των συνευθειακών εικονοστοιχείων σε αυτήν. Ισχύει:

$$P_{H_0}[k(r, I) \geq k(r, i)] = B(n(r), k(r, i), p)$$

όπου:

$$B(n(r), k(r, i), p) = \sum_{j=k}^n \binom{n}{j} p^j (1-p)^{n-j}$$

Η πιθανότητα ένα εικονοστοιχείο να είναι ευθυγραμμισμένο στο a contrario μοντέλο είναι:

$$p = \frac{r}{\pi}$$

όπου r η απόκλιση.

Συνεπώς, μελετάμε ένα σύνολο n πειραμάτων (όσα και ο αριθμός των εικονοστοιχείων στο εσωτερικό του ορθογωνίου) όπου η πιθανότητα επιτυχίας - δηλαδή η πιθανότητα εμφάνισης συνευθειακού εικονοστοιχείου είναι ίση με p .

Ο αριθμός που προκύπτει πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό N_{test} , ο οποίος είναι ίσος με το συνολικό αριθμό των ενδεχόμενων ορθογωνίων στο υποθετικό μοντέλο. Στο σημείο αυτό, πρέπει να τονιστεί πως τα ορθογώνια είναι προσανατολισμένα, δηλαδή το αρχικό και το τελικό σημείο του ορθογωνίου περιέχει πληροφορία για την πλευρά της γραμμής η οποία είναι πιο σκούρα. Συνεπώς, το ορθογώνιο $A \rightarrow B$ θεωρείται διαφορετικό από το $B \rightarrow A$. Επομένως, σε μια εικόνα διαστάσεων $N \times M$ ο αριθμός των πιθανών ορθογωνίων είναι $(N \times M) \times (N \times M)$ επί τα πλάτη. Η τιμή που προκύπτει πολλαπλασιάζεται με αριθμό γ που εκφράζει το σύνολο των διαφορετικών πιθανοτήτων p . Δημιουργείται, λοιπόν, το ακόλουθο μέγεθος:

$$NFA = (NM)^{\frac{5}{2}} \gamma B(n(r), k(r, i), p)$$

Η παραπάνω ποσότητα αριθμού ψευδών ανιχνεύσεων NFA ή Number of False Alarms εκφράζει τον αριθμό των ορθογωνίων που έχουν επαρκές πλήθος συνευθειακών εικονοστοιχείων, ώστε να είναι τόσο σπάνια όσο το υπό εξέταση ορθογώνιο στο μοντέλο θορύβου. Όσο μικρότερο είναι το παραπάνω μέγεθος τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα εμφάνισης της συγκεκριμένης δομής στο μοντέλο θορύβου. Για την παραπάνω ποσότητα ορίζεται ένα ανώτατο όριο ϵ . Αν ο $NFA \leq \epsilon$ για το συγκεκριμένο ορθογώνιο, τότε παράγει ανίχνευση.

Η διαδικασία επαλήθευσης του εκάστοτε ορθογωνίου που προσομοιώνει τη γραμμή ουσιαστικά συνοψίζεται στον υπολογισμό της ποσότητας NFA .

Αρχικά, γίνεται υπολογισμός των εικονοστοιχείων με μέτρο κλίσης **ίσο με την κύρια διεύθυνση του ορθογωνίου** έως κάποια ανοχή p . Η αρχική ακρίβεια p τίθεται ίση με r/π , παράλληλα χρησιμοποιούνται και άλλες τιμές για το συγκεκριμένο μέγεθος (εξηγείται παρακάτω για ποιό λόγο). Ο αριθμός των διαφορετικών τιμών p συμβολίζεται με γ . Συνεπώς, ο συνολικός αριθμός NFA υπολογίζεται βάσει του ακόλουθου τύπου:

$$NFA = (NM)^{\frac{5}{2}} \gamma B(n(r), k(r, i), p)$$

όπου

- M , N είναι ο αριθμός των στηλών και των γραμμών της εικόνας-εισόδου, όπως προέκυψε έπειτα από τη μεταβολή της κλίμακας στο πρώτο βήμα του LSD.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ (LINE SEGMENT DETECTOR)

$$B(n(r), k(r, i), p) = \sum_{j=k}^n \binom{n}{j} p^j (1-p)^{n-j}$$

Η τιμή που προκύπτει συγκρίνεται με την ποσότητα ϵ . Η συγκεκριμένη παράμετρος δίνει βέλτιστο αποτέλεσμα όταν παίρνει την τιμή 1. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 2.21), παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγορίθμου για τρεις διαφορετικές τιμές του ϵ .



Εικόνα 2.21: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD για εικόνα για τρεις διαφορετικές τιμές της παραμέτρου ϵ (από αριστερά προς τα δεξιά) $\epsilon = 1$, $\epsilon = 10^{-1}$ και $\epsilon = 10^{-2}$

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Παρατηρείται, πως η μείωση της τιμής του ϵ προκαλεί ανεπαίσθητη μείωση του αριθμού των εμφανιζόμενων ευθύγραμμων τμημάτων (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

Παρατήρηση: Ο υπολογισμός του όρου $\binom{n}{j}$ στη σχέση υπολογισμού του μεγέθους NFA γίνεται μέσω της συνάρτησης Γ . Συγκεκριμένα:

$$\binom{n}{j} = \frac{\Gamma(n+1)}{\Gamma(j+1)\Gamma(n-j+1)}$$

Πυκνότητα συγγραμμικών εικονοστοιχείων (Aligned Points Density)

Σε ορισμένες περιπτώσεις η ανοχή r προκαλεί ανακρίβειες στην τελική απόδοση των γραμμών. Αυτό συμβαίνει όταν στην αρχική εικόνα διασταυρώνονται δυο γραμμές με γωνία μικρότερη της ανοχής r (Εικόνα 2.22).



Εικόνα 2.22: Υποπεριοχή εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή σε διασταύρωση γραμμών με γωνία μικρότερη της ανοχής

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Προκειμένου να επιτευχθεί το ζητούμενο δηλαδή ορθή απόδοση των γραμμών στην παραγόμενη εικόνα ο LSD εντοπίζει τα “προβληματικά” ορθογώνια και στη συνέχεια διαχωρίζει κάθε ένα από αυτά σε δύο επιμέρους. Εφόσον, ο διαμερισμός έχει γίνει σωστά ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται.

Ο εντοπισμός των “προβληματικών” ορθογωνίων επιτυγχάνεται μέσω του υπολογισμού της πυκνότητας των συνευθειακών εικονοστοιχείων σε κάθε ένα από τα ορθογώνια. Αναλυτικά, σε ορθογώνια, όπου εμφανίζεται το παρόν πρόβλημα η πυκνότητα είναι μικρή. Ο υπολογισμός του συγκεκριμένου μεγέθους γίνεται μέσω του ακόλουθου τύπου:

$$d = \frac{k}{length(r)width(r)}$$

Η πυκνότητα που προκύπτει συγκρίνεται με ένα ελάχιστο κατώφλι και η τιμή που έχει οριστεί ως η ελάχιστη δυνατή είναι το 70%. Η συγκεκριμένη αφενός δημιουργεί “ορθά” ορθογώνια και αφετέρου παρέχει ομαλή απόδοση των καμπύλων, καθώς δεν προκαλεί υπερβολική τμηματοποίηση των ορθογωνίων.

Για την τμηματοποίηση των ορθογωνίων έχουν συσταθεί οι ακόλουθες μέθοδοι:

- Μείωση γωνιακής ανοχής (Reduce Angle Tolerance)
- Μείωση ακτίνας περιοχής (Reduce Region Radius)

Στις προαναφερθείσες μεθόδους, ένα μέρος των εικονοστοιχείων των ορθογωνίων διατηρείται και τα υπόλοιπα “μαρκάρονται” ως μη χρησιμοποιημένα, ώστε να συμμετέχουν ξανά στη διαδικασία Μεγέθυνση Περιοχής (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

Μείωση γωνιακής ανοχής (Reduce Angle Tolerance)

Η πρώτη μέθοδος υπολογίζει νέα ανοχή r' , η οποία προσαρμόζεται στην “προβληματική” περιοχή και ακολούθως ο αλγόριθμος Μεγέθυνση περιοχής εφαρμόζεται ξανά. Ο “σπόρος”- το αρχικό εικονοστοιχείο της περιοχής ορίζεται το ίδιο με την προηγηθείσα εφαρμογή της διαδικασίας Μεγέθυνσης περιοχής ενώ ως ανοχή η νέα τιμή r' . Έτσι, το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι το “μαρκάρισμα” μόνο της ακμής που περιέχει το εικονοστοιχείο-“σπόρο”.

Στη διαδικασία υπολογισμού της νέας ανοχής δε χρησιμοποιούνται όλα τα εικονοστοιχεία της περιοχής, καθώς η επανάληψη της εν λόγω διαδικασίας θα επέφερε το ίδιο αποτέλεσμα. Για το σκοπό αυτό, η νέα τιμή r' προκύπτει μόνο από γειτονικά εικονοστοιχεία, των οποίων η απόσταση από το «σπόρο» δεν υπερβαίνει το πλάτος του αρχικά υπολογισθέντος ορθογωνίου. Με τρόπο αυτό, το μέγεθος της “γειτονιάς” των εικονοστοιχείων που συμμετέχουν στη διαδικασία υπολογισμού της r' προσαρμόζεται στο μέγεθος της περιοχής. Τελικά, η νέα ανοχή r' ορίζεται ίση με τη διπλάσια τιμή της τυπικής απόκλισης της γωνίας κλίσης ορίου της γειτονιάς των εικονοστοιχείων (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

Μείωση ακτίνας περιοχής (Reduce Region Radius)

Η παρούσα μέθοδος εφαρμόζεται, εφόσον η Μείωση γωνιακής ανοχής δεν πληροί τις προϋποθέσεις της επιθυμητής πυκνότητας. Η κεντρική ιδέα της μεθόδου είναι η σταδιακή απόρριψη των εικονοστοιχείων της περιοχής με απόσταση από τον «σπόρο» μεγαλύτερη από την οριζόμενη. Η διαδικασία τερματίζεται όταν το κριτήριο της πυκνότητας ικανοποιείται ή όταν η περιοχή που προκύπτει έχει πολύ μικρό αριθμό εικονοστοιχείων ώστε να σχηματίσει ένα ορθογώνιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ (LINE SEGMENT DETECTOR)

Η απόσταση από το αρχικό εικονοστοιχείο-“σπόρο” έως το πιο απομακρυσμένο εικονοστοιχείο της περιοχής ονομάζεται ακτίνα της περιοχής. Η τιμή του παραπάνω μεγέθους μειώνεται στο 75% σε κάθε επανάληψη, απομακρύνοντας με τον τρόπο αυτό τα εικονοστοιχεία τα οποία απέχουν από το αρχικό απόσταση μεγαλύτερη από την εκάστοτε οριζόμενη ακτίνα. Θα μπορούσε να γίνει αφαίρεση των εικονοστοιχείων κατά ένα σε κάθε επανάληψη, Στην περίπτωση αυτή, ο αλγόριθμος θα επέφερε τα επιθυμητά αποτελέσματα, ωστόσο θα ήταν πολύ χρονοβόρος (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

Βελτίωση Ορθογωνίων (Rectangle Improvement)

Προτού ένα ορθογώνιο αξιολογηθεί ως έγκυρο ή μη (στην περίπτωση που $\epsilon < NFA$) ο αλγόριθμος δοκιμάζει ένα σύνολο παραλλαγών, με απώτερο στόχο το παρόν ορθογώνιο να είναι “έγκυρο”. Για το σκοπό αυτό, επανεξετάζονται η ακρίβεια p και το πλάτος του ορθογωνίου

Αναλυτικά, η διαδικασία Βελτίωσης Ορθογωνίων περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1. δοκιμή μικρότερης ακρίβειας p
2. μείωση του πλάτους του ορθογωνίου
3. μείωση της πλευράς του ορθογωνίου
4. μείωση της πλευράς του ορθογωνίου
5. δοκιμή ακόμα μικρότερων τιμών ακρίβειας

Ο αλγόριθμος ακολουθεί τα παραπάνω βήματα με τη σειρά που αναγράφονται.

Εφόσον, το ορθογώνιο είναι “έγκυρο” έπειτα από την υλοποίηση ενός σταδίου η διαδικασία διακόπτεται. Στην αντίθετη περίπτωση, ο LSD συνεχίζει στο επόμενο βήμα έως ότου υλοποιηθούν όλα (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

Βήμα 1: Γίνονται οι ακόλουθες δοκιμές ακρίβειας:

$$p/2, p/4, p/8, p/16, \text{ και } p/32$$

όπου p η αρχική ακρίβεια. Η τιμή που παράγει τη μικρότερη τιμή NFA, είναι αυτή που διατηρείται.

Εφόσον, η αρχική ακρίβεια που χρησιμοποιήθηκε είναι αρκετά μεγάλη έχει νόημα να γίνουν δοκιμές με μικρότερες τιμές p . Αν τα εικονοστοιχεία είναι καλά ευθυγραμμισμένα, χρησιμοποιώντας μια μικρότερη ακρίβεια ο αριθμός των ευθυγραμμισμένων εικονοστοιχείων δε θα μεταβληθεί. Ωστόσο, ένα μικρότερο p δημιουργεί μια μικρότερη (και ως εκ τούτου καλύτερη) NFA.

Βήμα 2: Στην παρούσα φάση το πάχος W του ορθογωνίου μειώνεται κατά 0.5 εικονοστοιχείο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται 5 φορές, συνεπώς οι διαφορετικές τιμές W που δοκιμάζονται είναι οι ακόλουθες:

$$W, W - 0.5, W - 1, W - 1.5, W - 2,0 \text{ και } W - 2.5,$$

όπου W αρχικό πάχος του ορθογωνίου. Η τιμή πάχους που δημιουργεί την καλύτερη τιμή NFA είναι και αυτή που διατηρείται.

Μειώνοντας το πάχος του ορθογωνίου, προκαλείται μικρή μείωση του αριθμού των ευθυγραμμισμένων εικονοστοιχείων. Ωστόσο, αυτή η μικρή μείωση του πάχους- αριθμού εικονοστοιχείων μπορεί να οδηγήσει σε αξιοσημείωτη μείωση του NFA (Εικόνα 2.23).



Εικόνα 2.23: Παράδειγμα μείωσης πάχους W του ορθογωνίου στη διαδικασία Βελτίωση ορθογωνίου του αλγορίθμου LSD

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Βήμα 3: Στο παρόν βήμα πραγματοποιείται μείωση της μίας πλευράς του ορθογωνίου κατά 0.5 εικονοστοιχείο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται 5 φορές και μέσω αυτής πραγματοποιείται ταυτόχρονη μετακίνηση του κέντρου του ορθογωνίου κατά 0.25 εικονοστοιχείο, ώστε η θέση της άλλης πλευράς να διατηρηθεί. Η τιμή με το μικρότερο NFA είναι εκείνη που διατηρείται.

Βήμα 4: Επανάληψη του βήματος 3 για την άλλη πλευρά του ορθογωνίου.

Βήμα 5: Περαιτέρω μείωση της ακρίβειας. Συγκεκριμένα, δοκιμάζονται οι τιμές:

$$p/2, p/4, p/8, p/16 \text{ και } p/32$$

όπου p η ακρίβεια όπως προέκυψε έπειτα από την εφαρμογή του Βήματος 1. Η τιμή με το μικρότερο NFA είναι εκείνη που διατηρείται (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

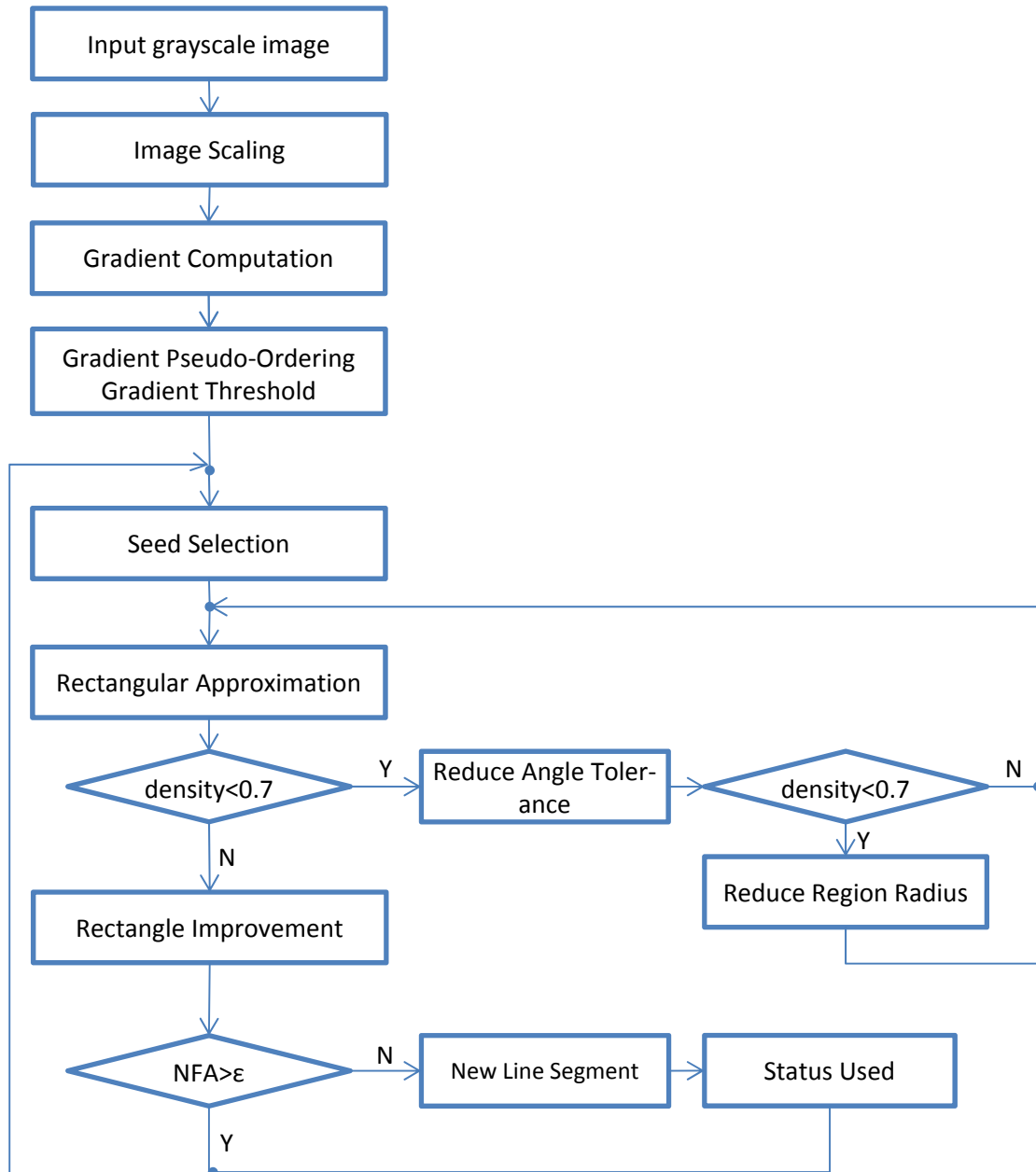
Σημείωση: Η τιμή του γ είναι ίση με 11, διότι οι τιμές των διαφορετικών p είναι $1(\text{η αρχική τιμή})+5(\text{Βήμα 1})+5(\text{Βήμα 5})$.

Το εύρος ακρίβειας $[r/\pi, r/1024\pi]$ και είναι αρκετό για να εξετάσει κάθε συγκεκριμένη περίπτωση, η ακρίβεια λεπτότερα είναι περίπου 0,02 μοιρών.

Πέντε τέτοια βήματα, που επιτυγχάνουν αύξηση της ακρίβεια κατά 1, θα ήταν αρκετή: Αυτή βελτίωση, όμως, δουλεύει καλύτερα μερικές φορές πριν και μερικές φορές μετά την τελειοποίηση του πλάτους, και δεν υπάρχει καμία σοβαρή προειδοποίηση στην των δύο.

Ακολουθεί το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου LSD για την παρούσα έκδοση (Εικόνα 2.24):

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ (LINE SEGMENT DETECTOR)



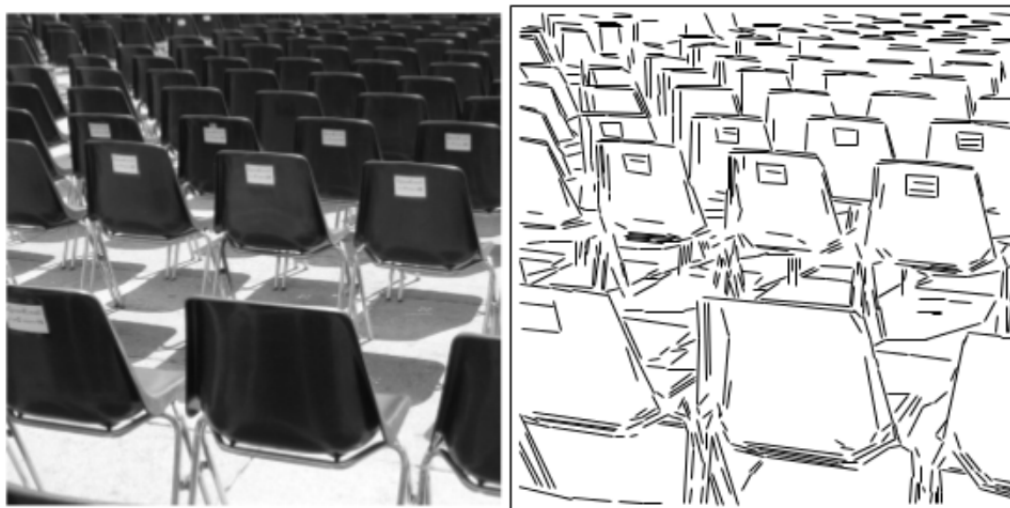
Εικόνα 2.24: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου Line Segment Detector για την έκδοση που δημοσιεύτηκε το Μάρτιο του 2012

2.1.3 Εφαρμογές

Ακολουθεί λίστα από παραδείγματα του LSD και σχολιασμός των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

Παράδειγμα 1:

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 2.25) ο αλγόριθμος ανίχνευσε επιτυχώς τις εμφανιζόμενες στην εικόνα γραμμές. Το αποτέλεσμα που εξήχθηκε είναι το αναμενόμενο (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).



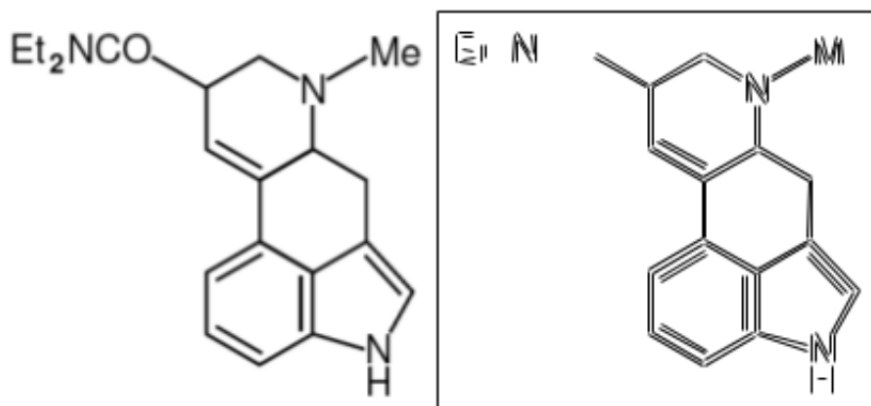
Εικόνα 2.25: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του πρώτου παραδείγματος

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Παράδειγμα 2

Στο παράδειγμα που ακολουθεί (Εικόνα 2.26) ο LSD έχει ανιχνεύσει για κάθε μία από τις απεικονιζόμενες πλευρές δύο ευθύγραμμο τμήματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως ο αλγόριθμος εντοπίζει ακμές, συνεπώς, τοπικά ακρότατα στην πρώτη παράγωγο της εικόνας. Συνεπώς, εμφανίζεται ευθύγραμμο τμήμα το οποίο αναπαριστά τη μετάβαση από το λευκό φόντο στη μαύρη γραμμή και αντιστοίχως για την αντίστροφη περίπτωση. Επιπλέον, οι γραμμές κάτω από ένα κατώφλι δεν εντοπίζονται στην τελική εικόνα.

Το μέγεθος της εικόνας-εισόδου υπαγορεύει την τιμή του ελάχιστου απεικονιζόμενου μήκους ευθύγραμμου τμήματος, καθώς η τιμή του NFA είναι ανάλογο του μεγέθους της εικόνας (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

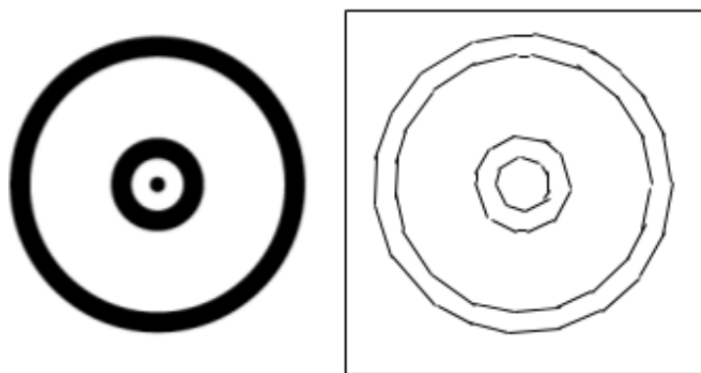


Εικόνα 2.26: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του δεύτερου παραδείγματος

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Παράδειγμα 3

Στο παρόν παράδειγμα εμφανίζεται το αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου μελέτης στην περίπτωση καμπυλόγραμμων ακμών. Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 2.27 ο LSD παράγει μικρά σε μήκος ευθύγραμμα τμήματα, τα οποία προσεγγίζουν ικανοποιητικά τα καμπύλα τμήματα της εικόνας. Στην περίπτωση ακμών με έντονη καμπυλότητα το παραγόμενο αποτέλεσμα δεν κρίνεται επιτυχές (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).



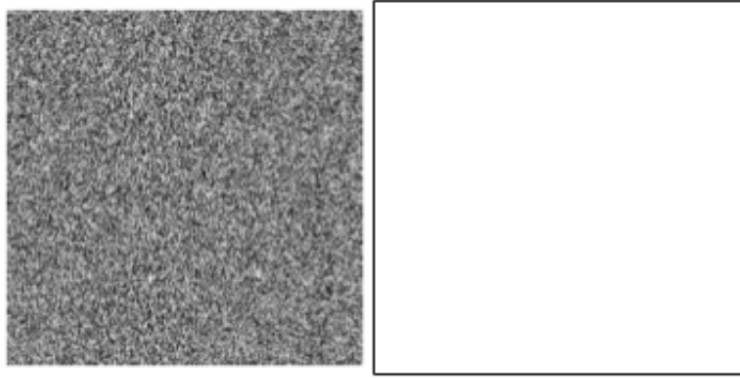
Εικόνα 2.27: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του τρίτου παραδείγματος

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

(Ο βαθμός επιτυχίας του LSD σε καμπύλα τμήματα καθορίζεται σε σημαντικό βαθμό από το μέγεθος της εικόνας. Η μείωση των διαστάσεων οδηγεί σε μείωση του κατωφλίου μήκους των τελικών γραμμών και συνεπώς λεπτομερέστερη απεικόνιση των καμπύλων τμημάτων.)

Παράδειγμα 4

Η εικόνα-εισόδου στην παρούσα εφαρμογή αποτελεί κλασική περίπτωση θορύβου. Ο αλγόριθμος στην περίπτωση αυτή δεν αναγνωρίζει ευθύγραμμα τμήματα (Εικόνα 2.28).



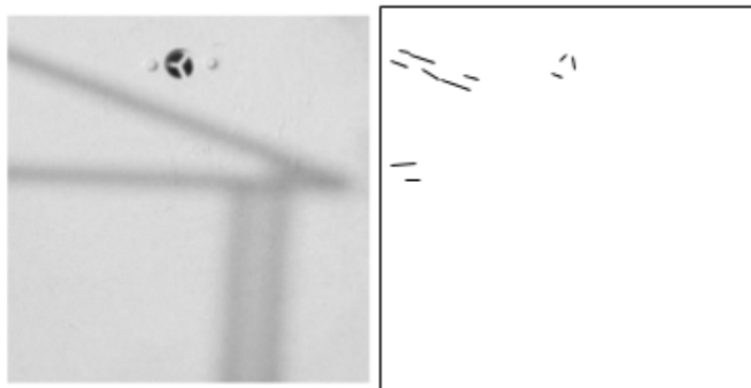
Εικόνα 2.28: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του τέταρτου παραδείγματος

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Ο τρόπος με τον οποίο είναι σχεδιασμένος ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ανίχνευσης ευθύγραμμων τμημάτων είναι τέτοιος ώστε να πραγματοποιεί σωστή ανίχνευση λανθασμένων ανιχνεύσεων. Συγκεκριμένα, ο έλεγχος ανίχνευσης των λανθασμένων ανιχνεύσεων (false detections) είναι τέτοιος ώστε να παρέχει αυτόματα κατώφλια, εμποδίζοντας με αυτόν τον τρόπο την ανίχνευση δομών σε εικόνες θορύβου (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

Παράδειγμα 5

Στην παρούσα εφαρμογή ο αλγόριθμος δεν έχει εντοπίσει τον αναμενόμενο αριθμό ευθύγραμμων τμημάτων. Αυτό οφείλεται στην παρουσία θορύβου και στο γεγονός πως δεν εμφανίζονται έντονες αυξομειώσεις στους τόνους του γκρι (Εικόνα 2.29).



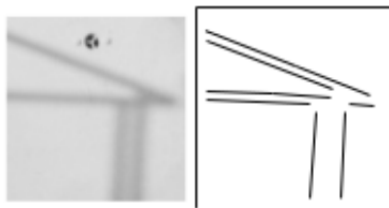
Εικόνα 2.29: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του πέμπτου παραδείγματος

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 2.30) εμφανίζεται το αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD της εικόνας που προηγείται, έπειτα από εφαρμογή σε αυτήν υποδειγματοληψία Gauss (Gaussian subsampling). Όταν υλοποιείται η συγκεκριμένη μορφή προεπεξεργασίας εικόνας ο θόρυβος απομακρύνεται μερικώς. Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου στην περι-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ (LINE SEGMENT DETECTOR)

πτωση αυτή είναι το αναμενόμενο (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).

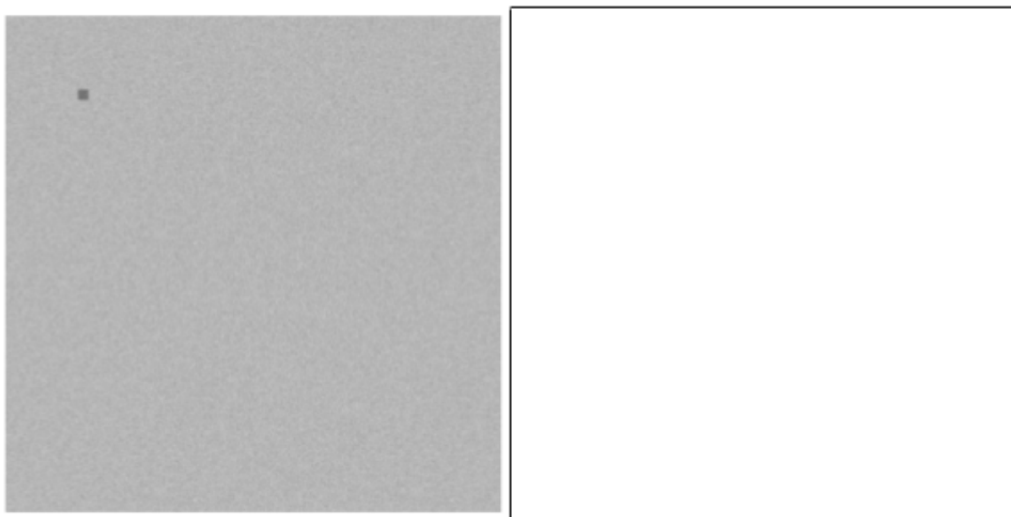


Εικόνα 2.30: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του πέμπτου παραδείγματος, έπειτα από εφαρμογή σε αυτήν της υποδειγματοληψίας Gauss

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Παράδειγμα 6

Στις εικόνες που ακολουθούν είναι εμφανής η **επίδραση της a contrario μεθόδου** στη διαδικασία ανίχνευσης ευθύγραμμων τμημάτων για τον αλγόριθμο μελέτης. Στην αρχική εικόνα (Εικόνα 2.31) ο LSD δεν εμφανίζει το απεικονιζόμενο μαύρο σημείο της εικόνας-εισόδου. Αντιθέτως, όταν εφαρμοστεί σε τμήμα της αρχικής εικόνας (Εικόνα 2.32) (στο οποίο προφανώς εμφανίζεται το μαύρο σημείο) ο LSD παράγει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η μείωση του μεγέθους της αρχικής εικόνας οδηγεί σε μείωση του αριθμού των πειραμάτων (tests) και συνεπώς του αριθμού των λανθασμένων ανιχνεύσεων. Συνεπώς, θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα πως ο LSD παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με την ανθρώπινη αντίληψη: οι λεπτομέρειες περνούν απαρατήρητες με εξαίρεση την περίπτωση όπου δίνεται έμφαση σε εκείνες (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).



Εικόνα 2.31: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του έκτου παραδείγματος

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)



Εικόνα 2.32: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD σε τμήμα της εικόνας του έκτου παραδείγματος

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Παράδειγμα 7

Ο LSD είναι σχεδιασμένος να δέχεται ως δεδομένο εικόνες αποχρώσεων του γκρι. Στο παρόν παράδειγμα (Εικόνα 2.33) η έγχρωμη εικόνα μετατρέπεται σε εικόνα αποχρώσεων του γκρι προκειμένου ο αλγόριθμος να είναι σε θέση να δώσει αποτελέσματα. Ωστόσο, η εμφανιζόμενη ακμή εξαφανίζεται στην επεξεργασμένη εικόνα, καθώς τα αρχικά χρώματα αποδίδονται με τον ίδιο τόνο του γκρι στην τελική εικόνα και ως εκ τούτου ο αλγόριθμος δεν παράγει κάποια ανίχνευση (Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012).



Εικόνα 2.33: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα του έβδομου παραδείγματος

(Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G, 2012)

Συμπεράσματα:

Η παρουσία θορύβου παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα των αποτελεσμάτων του LSD. Η αρχή Helmholtz στην οποία βασίζεται ο αλγόριθμος υποστηρίζει πως παρουσία θορύβου δεν αναγνωρίζεται κάποια δομή, δηλαδή κάποιο ευθύγραμμο τμήμα. Συνεπώς, όταν αυξάνεται ο θόρυβος σε μία εικόνα η τιμή του NFA αυξάνεται. Τελικά, ο θόρυβος κυριαρχεί στην εικόνα, η τιμή του NFA θα είναι μεγαλύτερη του ϵ και τελικά η ακμή δε θα αναγνωριστεί.

Ο θόρυβος επηρεάζει, επίσης, το στάδιο Μεγέθυνσης περιοχής στη διαδικασία υλοποίησης του LSD. Συγκεκριμένα, η παρουσία του προκαλεί έντονες διακυμάνσεις στις γωνίες κλίσης ορίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σε περιπτώσεις έντονου θορύβου η διαφορά γωνίας να φτάσει την ανοχή τ και συνεπώς ο αλγόριθμος Μεγέθυνσης περιοχής να μην είναι σε θέση να ακολουθήσει την γραμμή και η υποπεριοχή εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή να διασπαστεί. Σε ακόμα πιο ακραίες περιπτώσεις, θα σχηματιστούν πολύ μικρές περιοχές εικονοστοιχείων υποψήφιας για γραμμή και συνεπώς δε θα υπάρξει κάποια ανίχνευση (Desolneux A., Moisan L., Morel J.-M., 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ (LINE SEGMENT DETECTOR)

Επιπροσθέτως, καθοριστικό ρόλο στο επίπεδο λεπτομέρειας του τελικού προϊόντος διαδραματίζει το μέγεθος της εικόνας. Το μέγεθος NFA, βάσει του οποίου μία γραμμή διατηρείται ή απορρίπτεται είναι ανάλογο των διαστάσεων της εικόνας. Η αύξηση του πλήθους των εικονοστοιχείων οδηγεί σε αύξηση του NFA και συνεπώς στην απόρριψη των ευθύγραμμων τμημάτων που το μέγεθος τους είναι αμελητέο συγκριτικά με εκείνο της υπό μελέτη εικόνας.

Τέλος, σημειώνεται πως η εφαρμογή του LSD δεν παράγει false positives.

3 Εφαρμογή LSD στη βιβλιοθήκη Orfeo Toolbox

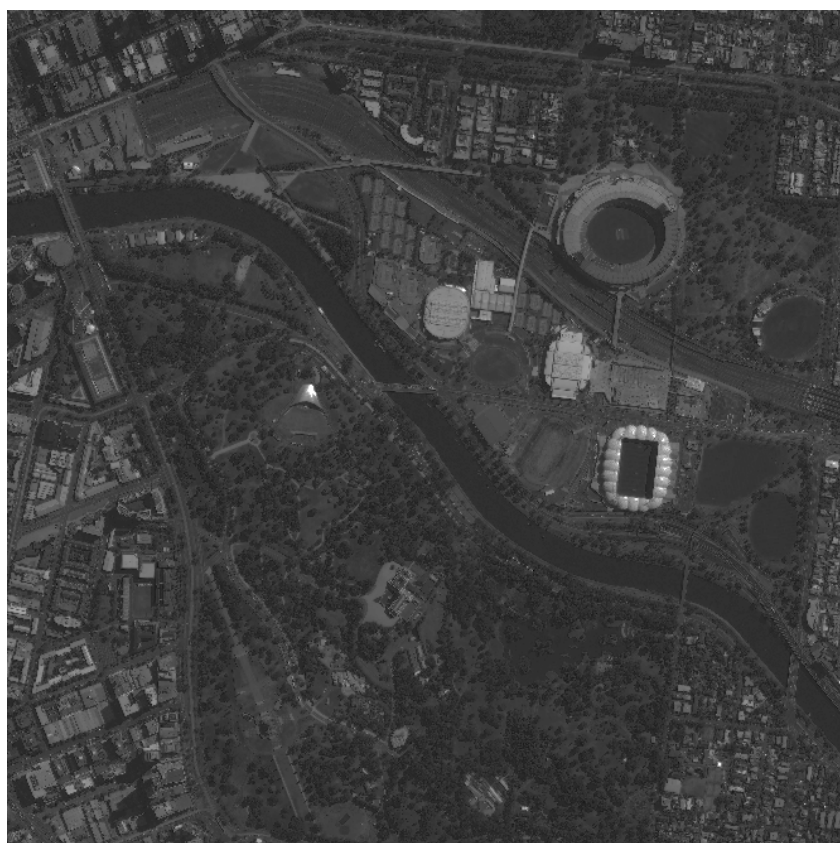
Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε δορυφορική εικόνα Πλείαδες, η οποία απεικονίζει τμήμα της πόλης της Μεμβούρνης. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή του συγκεκριμένου αλγορίθμου είναι η βιβλιοθήκη Orfeo Toolbox. Η έκδοση του αλγορίθμου LSD που παρέχει το Orfeo είναι με μικρές διαφορές εκείνη του Απριλίου, 2010. Συγκεκριμένα, εμφανίζονται διαφορές στα εξής σημεία:

- στον υπολογισμό της πρώτης παραγώγου γίνεται χρήση μάσκας διαστάσεων 3x3.
- Το κατώφλι στο χωρίο Aligned points density έχει οριστεί ίσο με 0,7.

3.1 Σύντομη Περιγραφή χαρακτηριστικών της εικόνας εισόδου

Ο αλγόριθμος θα εφαρμοστεί σε δορυφορική εικόνα, στην οποία εμφανίζεται τμήμα της Μεμβούρνης. Η συγκεκριμένη προέρχεται από το δορυφόρο Πλείαδες και επομένως περιέχει τέσσερα κανάλια και έχει χωρική ανάλυση 0,5 μέτρα. Τέλος, σημειώνεται πως οι διαστάσεις της εικόνας είναι 4096x4096.

Στην ακόλουθη εικόνα (Εικόνα 3.1), εμφανίζεται η εικόνα αποχρώσεων του γκρι (grayscale image) του κόκκινου καναλιού (κανάλι 3) δεδομένου-εισόδου.



Εικόνα 3.1: Εικόνα αποχρώσεων του γκρι του κόκκινου καναλιού από την εικόνα της Μεμβούρνης

3.2 Αναλυτική Περιγραφή της Διαδικασίας εφαρμογής του αλγορίθμου LSD στη βιβλιοθήκη Orfeo Toolbox

3.2.1 Γενικά

Στο σημείο αυτό, παρουσιάζεται διεξοδικά η διαδικασία που ακολουθείται, προκειμένου να καταστεί δυνατή η εκτέλεση οποιασδήποτε εφαρμογής στο περιβάλλον του OTB. Αναλυτικά, τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν έχουν ως εξής:

- Αρχικά, ο χρήστης καλείται να δημιουργήσει ένα φάκελο στον οποίο περιέχονται τα ακόλουθα αρχεία:
 1. αρχείο CmakeLists.txt: Η βιβλιοθήκη orfeo toolbox χρησιμοποιεί τη Cmake προκειμένου να γίνει σωστά η μεταγλώττιση του αρχείου κώδικα. Αναλυτικά, οι εντολές που περιέχονται στο αρχείο αυτό παρατίθενται στο παράρτημα της εργασίας.
 2. Αρχείο Κώδικα OTB: Πρόκειται για τον κώδικα του αλγορίθμου, ο οποίος είναι γραμμένος σε γλώσσα προγραμματισμού C++. Ο τρόπος δόμησης του εν λόγω αρχείου αναλύεται παρακάτω
 3. Εικόνα: Πρόκειται για την εικόνα στην οποία πραγματοποιείται η τηλεπισκοπική εφαρμογή.
- Στη συνέχεια, μέσω της εντολής `cmake./.` στο terminal πραγματοποιείται το `configure` του κώδικα του προγράμματος. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργούνται αρχεία CMake μέσα στον παραπάνω φάκελο, τα οποία είναι απαραίτητα για την επεξεργασία εικόνας σε περιβάλλον OTB.
- Μέσω της εντολής `make` πραγματοποιείται έλεγχος για συντακτικά λάθη στο αρχείο κώδικα. Εφόσον, ο κώδικας είναι ορθός δημιουργείται στο φάκελο το εκτελέσιμο αρχείο.
- Τέλος, μέσω της εντολής `./(όνομα_εκτελέσιμου)` εκτελείται το παραπάνω αρχείο. Ο χρήστης καλείται να εισάγει το όνομα της εικόνας εισόδου, το όνομα της εικόνας-εξόδου και οποιοδήποτε άλλο όρισμα είναι απαραίτητο για να τρέξει το πρόγραμμα (Βακαλοπούλου Μ., 2011).

Διευκρινίζεται πως οι παραπάνω ενέργειες:

- είναι απαραίτητες για την υλοποίηση οποιασδήποτε εφαρμογής σε περιβάλλον OTB.
- πραγματοποιούνται σε περίπτωση χρήσης του OTB σε περιβάλλον Unix/Linux

3.2.2 Εφαρμογή αλγορίθμου μέσω του προτεινόμενου εκτελέσιμου

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος LSD βάσει των οδηγιών που παρέχει το OTB. Η διαδικασία δόμησης του αρχείου κώδικα OTB έχει ως εξής:

1. Ορισμός header αρχείων

Αρχικά, έγινε ορισμός των σχετικών αρχείων επικεφαλίδων. Στην περίπτωση του LSD ήταν αναγκαία η χρήση των ακόλουθων:

```
#include "otbImage.h"
#include "otbVectorData.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "otbVectorDataToMapFilter.h"
#include "otbAlphaBlendingFunctor.h"
#include "itkBinaryFunctorImageFilter.h"
#include "otbImageFileWriter.h"
#include "otbLineSegmentDetector.h"
```

Παρακάτω, αναλύεται διεξοδικά η χρησιμότητα των προαναφερθέντων αρχείων στην υλοποίηση του αλγορίθμου LSD.

2. Ορισμός βασικής συνάρτησης και στοιχείων εισόδου

```
int main(int argc, char * argv[]
```

Ακολούθησε η δήλωση της βασικής συνάρτησης του κώδικα, δηλαδή της main. Τα ορίσματα της ήταν τα ακόλουθα:

- argc: μετρητής των δεδομένων που εισήχθησαν στο πρόγραμμα
- * argv[]:διάνυσμα αποτελούμενο από δείκτες. Κάθε ένα από τα στοιχεία του διανύσματος παρέχει πρόσβαση στα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκαν δύο δείκτες σε δεδομένα τύπου char, στους οποίους εκχωρήθηκαν οι διευθύνσεις των τιμών που εισήγαγε ο χρήστης. Στην περίπτωση του lsd τα ορίσματα που δόθηκαν στη main προκειμένου να υλοποιηθεί ο αλγόριθμος ήταν τα ονόματα της εικόνας εισόδου και της επεξεργασμένης.

```
const char * infname = argv[1];
const char * outfname = argv[2];
```

3. Ορισμός εικόνας

```
typedef unsigned char InputPixelType;
const unsigned int Dimension = 2;
typedef otb::Image<InputPixelType, Dimension> ImageType;
```

Στο σημείο αυτό, έγινε δήλωση της εικόνας, βάσει του πρότυπου otb::Image. Πρόκειται για μια μεταβλητή δύο διαστάσεων με στοιχεία μη αρνητικούς αριθμούς. Ως όνομα της μεταβλητής ορίστηκε το ImageType.

4. Ορισμός Δείκτη Reader

```
typedef otb::ImageFileReader<ImageType> ReaderType;
ReaderType::Pointer reader = ReaderType::New();
reader->SetFileName(infile);
```

Μέσω των παραπάνω εντολών δηλώθηκε η μεταβλητή ReaderType βάσει της κλάσης otb::ImageFileReader. Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε αντικείμενο (στιγμιότυπο) της συγκεκριμένης class μέσω της δυναμικής μεθόδου New(). Το αντικείμενο εκχωρήθηκε σε δείκτη Smartpointer, τον reader. Ο συγκεκριμένος δείκτης διαβάζει την εικόνα, δηλαδή τη μεταβλητή ImageType που δηλώθηκε παραπάνω.

Μέσω της συνάρτησης SetFileName(), εκχωρήθηκε στον reader το όνομα της εικόνας που εισήγαγε ο χρήστης.

5. Ορισμός των απαιτούμενων δεικτών για την Εφαρμογή του Αλγορίθμου lsd

- Προκειμένου να καταστεί δυνατή η εφαρμογή του αλγορίθμου, έγινε αρχικά ορισμός του δείκτη, ο οποίος θα περιείχε το αποτέλεσμα του lsd. Οι απαραίτητες εντολές ήταν οι ακόλουθες:

```
typedef otb :: LineSegmentDetector < ImageType,
PrecisionType > LsdFilterType;
LsdFilterType:: Pointer lsdFilter = LsdFilterType:: New ();
```

Ο δείκτης κατασκευάστηκε βάσει του προτύπου otb :: LineSegmentDetector. Οι απαραίτητες παράμετροι για το συγκεκριμένο template είναι η εικόνα-εισόδου και η ακρίβεια με την οποία θα απεικονιστούν οι συντεταγμένες των διανυσματικών δεδομένων. Τα δεδομένα που παράγονται μέσω της εφαρμογής του lsd στην εικόνα - δηλαδή οι γραμμές- είναι τύπου vector.

- Η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου είναι δύσκολο να κριθεί βάσει του διανυσματικού αρχείου που παράχθηκε. Θα ήταν χρήσιμο, λοιπόν, να γίνει υπέρθεση των γραμμών που εξήχθησαν μέσω του lsd στην αρχική εικόνα. Για το σκοπό αυτό, έγινε χρήση των ακόλουθων προτύπων:

1. otb::VectorDataToMapFilter
2. itk::binaryFunctorImageFilter
3. otb::FunctorAlphaBlendingFunctor.

Βάσει των παραπάνω κατασκευαστήκαν οι απαραίτητοι δείκτες μέσω της διαδικασίας ακολουθεί:

```
typedef otb :: VectorData < PrecisionType > VectorDataType;

typedef otb :: VectorDataToMapFilter < VectorDataType,
ImageType > VectorDataRendererType;
VectorDataRendererType:: Pointer vectorDataRenderer = VectorDataRendererType:: New ();

typedef otb :: Functor :: AlphaBlendingFunctor < InputPixelType,
InputPixelType, InputPixelType > FunctorType ;
typedef itk :: BinaryFunctorImageFilter < ImageType, ImageType,
ImageType, FunctorType > BlendingFilterType;
BlendingFilterType:: Pointer blendingFilter = BlendingFilterType:: New ();
```


Ο δείκτης `VectorDataToMapFilter` είναι εκείνος, ο οποίος θα καταστήσει δυνατή την υπέρθεση των διανυσματικών δεδομένων στην raster εικόνα-εισόδου. Επιπροσθέτως, μέσω της κλάσης `AlphaBlendingFuncutor` η αρχική εικόνα εξομαλύνεται, ώστε τα διανυσματικά δεδομένα να είναι ευδιάκριτα στο τελικό παραγόμενο αποτέλεσμα.

5. Ορισμός δείκτη Writer

```
typedef otb::ImageFileWriter<ImageType> WriterType;  
WriterType::Pointer writer = WriterType::New();  
writer->SetFileName(outfname);
```

Ο τελευταίος δείκτης που ορίστηκε ήταν ο `writer` βάσει του πρότυπου `otb::StreamingImageFileWriter`. Ο συγκεκριμένος είναι υπεύθυνος για την αποθήκευση της εικόνας-εξόδου, όπως προέκυψε έπειτα από την εφαρμογή σε αυτήν του αλγορίθμου LSD. Μέσω της συνάρτησης `SetFileName()`, εκχωρήθηκε στον `writer` το όνομα της εικόνας που εισήγαγε ο χρήστης.

7. Υλοποίηση αλγορίθμου

Στο σημείο αυτό, δημιουργήθηκε η ροή των δεδομένων στις αντίστοιχες μεταβλητές. Ο δείκτης `lsdFilter` έλαβε ως είσοδο την τιμή του `reader`, στον οποίο πέρασε η εικόνα-εισόδου. Στη συνέχεια, το αποτέλεσμα εφαρμογής του φίλτρου διοχετεύτηκε στο δείκτη `vectorDataRenderer`, ο οποίος μετέτρεψε τα διανυσματικά αποτελέσματα του `lsdFilter` σε raster. Ακολούθως, η εικόνα εισόδου και το αποτέλεσμα επεξεργασίας του `vectorDataRenderer` αποτελέσαν τα στοιχεία εισόδου του `blendingfilter`. Ο δείκτης `writer` πήρε ως είσοδο το αποτέλεσμα του δείκτη `blendingfilter`.

```
lsdFilter->SetInput(reader->GetOutput());  
  
vectorDataRenderer->SetInput(lsdFilter->GetOutput());  
vectorDataRenderer->SetSize(reader->GetOutput()-  
>GetLargestPossibleRegion().GetSize());  
vectorDataRenderer->SetRenderingStyleType(VectorDataRendererType::Binary);  
  
blendingFilter->SetInput1(reader->GetOutput());  
blendingFilter->SetInput2(vectorDataRenderer->GetOutput());  
blendingFilter->GetFuncutor().SetAlpha(0.25);  
  
writer->SetInput(blendingFilter->GetOutput());
```

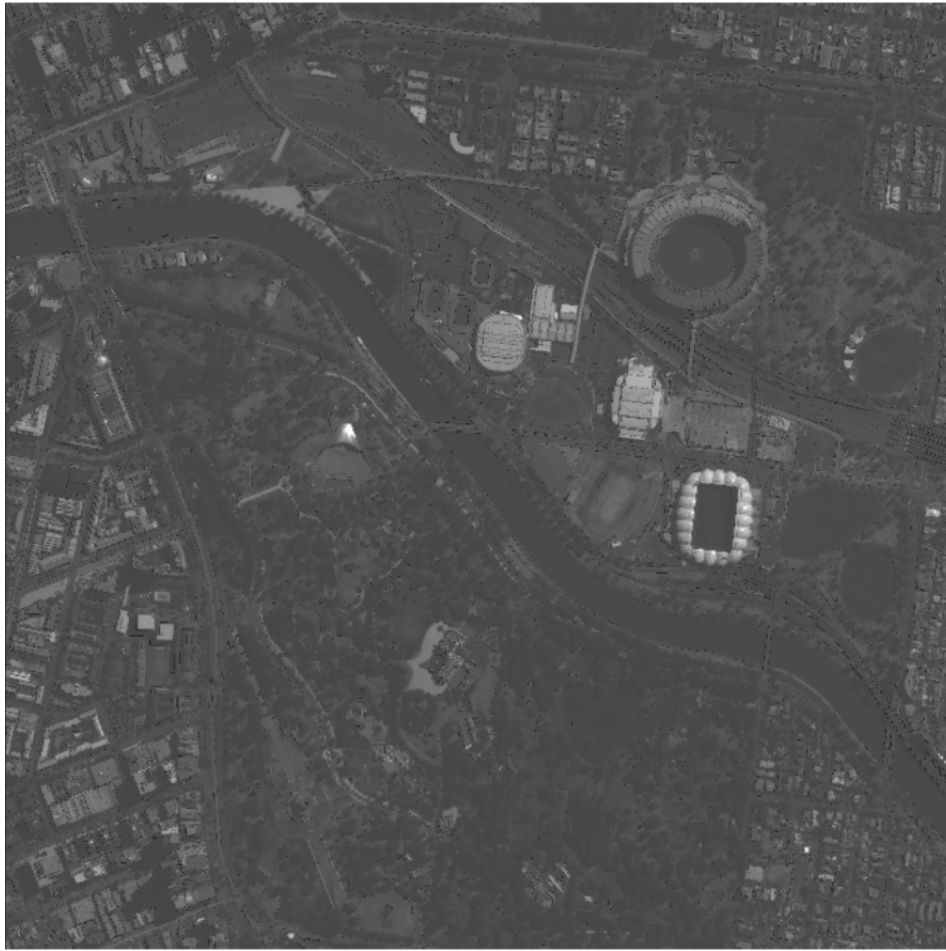
Τέλος, μέσω της εντολής `Update()` στο τελευταίο στοιχείο της ροής ενημερώθηκαν όλα τα προηγούμενα μέλη της ροής. Η εντολή `GenerateOutputInformation` ήταν απαραίτητη προκειμένου το φίλτρο LSD να λάβει τα απαραίτητα στοιχεία που αφορούν στο μέγεθος της εικόνας-εισόδου (The OTB Development Team, 2013).

```
reader -> GenerateOutputInformation();  
writer -> Update ();
```

Όπως προαναφέρθηκε, ο αλγόριθμος LSD δέχεται ως στοιχείο εισόδου εικόνα γκριζων τόνων. Για το σκοπό αυτό, ήταν απαραίτητη σε πρώτο στάδιο η εξαγωγή των τεσσάρων καναλιών της δορυφορικής εικόνας μέσω της βιβλιοθήκης `orfeo` σε τέσσερις διαφορετικές εικόνες (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).

Ο χρόνος που διήρκεσε η επεξεργασία κάθε εικόνας ήταν μερικά λεπτά. Η διάρκεια αυτή δε χαρακτηρίζεται αμελητέα, συνδέεται, ωστόσο άμεσα με το μεγάλο αριθμό εικονοστοιχείων των δεδομένων εισόδου..

Παρακάτω (Εικόνα 3.2), παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της εφαρμογής του LSD στο κόκκινο κανάλι (κανάλι 3) της εικόνας επεξεργασίας.



Εικόνα 3.2: Εφαρμογή αλγορίθμου LSD για το κόκκινο κανάλι της περιοχής της Μελβούρνης

3.2.3 Εξαγωγή γραμμών LSD σε αρχείο Shapfile

Στην παρούσα ενότητα επιχειρείται σύγκριση των αποτελεσμάτων του LSD σε διαφορετικές παραδοχές της εικόνας-εισόδου. Για λόγους αποδοτικότερης σύγκρισης των παραγόμενων αποτελεσμάτων, η εξαγωγή των γραμμών στην παρούσα φάση έγινε σε αρχεία τύπου vector.

Για το σκοπό αυτό, κατασκευάστηκε νέο αρχείο κώδικα OTB, παρόμοιο με το αρχικό με διαφορές ως προς την αποθήκευση του αποτελέσματος. Συγκεκριμένα, το νέο αρχείο δομήθηκε ως εξής:

1. Ορισμός header αρχείων

Αρχικά, έγινε ορισμός των σχετικών αρχείων επικεφαλίδων. Στην δοθείσα περίπτωση ήταν αναγκαία η χρήση των ακόλουθων:

```
#include "otbImage.h"
#include "otbVectorData.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "otbVectorDataFileWriter.h"
#include "otbLineSegmentDetector.h"
```

2. Ορισμός βασικής συνάρτησης και στοιχείων εισόδου

```
int main(int argc, char * argv[])
const char * infname = argv[1];
const char * outfname = argv[2];
```

3. Ορισμός εικόνας

```
typedef unsigned char InputPixelType;
const unsigned int Dimension = 2;
typedef otb::Image<InputPixelType, Dimension> ImageType;
```

Ακολούθησε δήλωση της εικόνας, βάσει του πρότυπου otb::Image.

4. Ορισμός Δείκτη Reader

```
typedef otb::ImageFileReader<ImageType> ReaderType;
ReaderType::Pointer reader = ReaderType::New();
reader->SetFileName(infname);
```

5. Ορισμός δείκτη LsdFilter

```
typedef otb::LineSegmentDetector < ImageType,
PrecisionType > LsdFilterType;
LsdFilterType::Pointer lsdFilter = LsdFilterType::New ();
```

6. Ορισμός δείκτη Writer

```
typedef otb::VectorData<PrecisionType> VectorDataType;
typedef otb::VectorDataFileWriter<VectorDataType> VectorDataFileWriterType;
VectorDataFileWriterType::Pointer VectorDataFileWriter = VectorDataFileWriter-
Type::New();
VectorDataFileWriter->SetFileName(outfname);
```

Ο τελευταίος δείκτης που ορίστηκε ήταν ο `VectorDataFileWriter` βάσει του πρότυπου `otb::VectorDataFileWriter`. Ο συγκεκριμένος είναι υπεύθυνος για την αποθήκευση του διανυσματικών δεδομένων, όπως προέκυψε έπειτα από την εφαρμογή στην εικόνα εισόδου του αλγορίθμου LSD. Μέσω της συνάρτησης `SetFileName()`, εκχωρήθηκε στον `VectorDataFileWriter` το όνομα της εικόνας που εισήγαγε ο χρήστης.

7. Υλοποίηση αλγορίθμου

Μέσω των εντολών που ακολουθούν ο δείκτης `writer` παρέλαβε την εικόνα-εισόδου. Εν συνέχεια, ο αλγόριθμος LSD εφαρμόστηκε στην τελευταία. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας εκχωρήθηκε στο δείκτη `VectorDataFileWriter`.

```
lsdFilter->SetInput(reader->GetOutput());  
VectorDataFileWriter->SetInput(lsdFilter->GetOutput())
```

Τέλος, μέσω της εντολής `Update()` στο τελευταίο στοιχείο της ροής ενημερώθηκαν όλα τα προηγούμενα μέλη της ροής.

```
VectorDataFileWriter->Update();
```

4 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Εφαρμογής του Αλγορίθμου Line Segment Detector στην εικόνα μελέτης

Στόχος της παρούσας ενότητας είναι η εκτίμηση της απόδοσης του αλγορίθμου Line Segment Detector σε ό,τι αφορά τη χαρτογράφηση του αστικού περιβάλλοντος. Για το σκοπό αυτό, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εστιάζει στην απόδοση των ακμών του οδικού δικτύου καθώς και των περιοχών αστικής δόμησης που αποτυπώνονται στην εικόνα μελέτης.

Η διαδικασία αξιολόγησης των αποτελεσμάτων βασίστηκε σε βιβλιογραφικά καθιερωμένους δείκτες ποιότητας. Συγκεκριμένα, έγινε αξιοποίηση των ακόλουθων μεγεθών:

(α) Completeness: δείκτης πληρότητας: Ο συγκεκριμένος προσδιορίζει πόσο ολοκληρωμένο είναι το εξαγόμενο αποτέλεσμα

(β) Correctness: δείκτης ορθότητας: Ο παρών καταδεικνύει πόσο σωστό είναι το αποτέλεσμα.

Διευκρινίζεται, πως τα δεδομένα που μελετώνται στην παρούσα μελέτη είναι διανυσματικά. Σε αυτήν την περίπτωση, οι παραπάνω δείκτες υπολογίζονται με βάση τον έλεγχο σύμπτωσης των εξαγόμενων ακμών με τις ακμές που προκύπτουν από τη φωτοερμηνεία της εκάστοτε εικόνας-εισόδου (δεδομένα εισόδου). Συγκεκριμένα, γίνεται υπολογισμός του αριθμού των διανυσματικών δεδομένων που σωστά έχουν ανιχνευτεί καθώς και του πλήθους εκείνων που έχουν ανιχνευτεί από λάθος του αλγορίθμου. Τα παραπάνω δεδομένα εμφανίζονται στη βιβλιογραφία με τους όρους True Positives και False Positives αντίστοιχα. Τέλος, γίνεται καταμέτρηση ενός ακόμα στοιχείου, των False Negatives. Το συγκεκριμένο μέγεθος αναφέρεται στις ακμές εκείνες που δεν έχουν ανιχνευτεί από λάθος του αλγορίθμου.

Βάσει των παραπάνω στοιχείων υπολογίζονται οι δείκτες πληρότητας, ορθότητας και ποιότητας βάσει των ακόλουθων διεθνώς καθιερωμένων σχέσεων:

- $\text{πληρότητα} = \frac{\text{area of correctly detected segments}}{\text{area of the ground truth}} = \frac{TP}{TP+FN}$
- $\text{ορθότητα} = \frac{\text{area of correctly detected segments}}{\text{area of all detected segments}} = \frac{TP}{TP+FP}$
- $\text{ποιότητα} = \frac{TP}{TP+FP+FN}$

Από τα παραπάνω προκύπτει πως η **πληρότητα** προσδιορίζει το ποσοστό των δεδομένων ελέγχου που έχουν ανιχνευθεί από τον αλγόριθμο, η **ορθότητα** το ποσοστό των δεδομένων ελέγχου που έχουν ανιχνευθεί σωστά από τον αλγόριθμο και η **ποιότητα** προσδιορίζει ένα γενικευμένο που συνδυάζει τις μετρήσεις για την πληρότητα και την ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Τέλος, υπολογίζονται τα σφάλματα παράλειψης και συμπερίληψης των ανιχνευμένων ή μη αντικειμένων. Συγκεκριμένα, το **σφάλμα παράλειψης (omission error)** θεωρητικά εκφράζει το αντίθετο του δείκτη πληρότητας (omission error = 1 – completeness). Το μέγεθος αυτό υπολογίζεται μέσω του λόγου του αριθμού των πολυγώνων τα οποία δεν ανιχνεύθηκαν

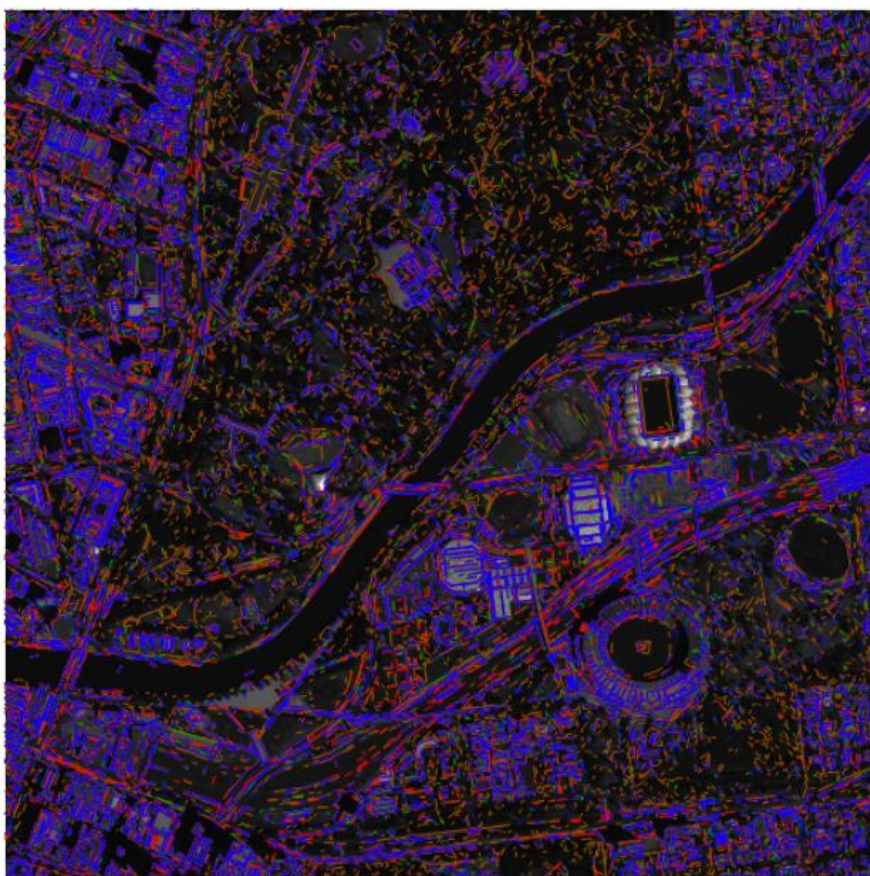
από τον αυτόματο αλγόριθμο $[FN]$ προς το θεωρητικά σωστό αριθμό των πολυγώνων ($[TP]+[FN]$) τα οποία έχουν προκύψει από τη φωτοερμηνεία.

Το **σφάλμα συμπερίληψης (commission error)** δείχνει το ποσοστό των πολυγώνων τα οποία έχουν από λάθος του αλγόριθμου ανίχνευσης έχουν κακώς συμπεριληφθεί ως νέα αντικείμενα ή μεταβολές. Το συγκεκριμένο υπολογίζεται διαιρώντας των λανθασμένα αναγνωρισμένων πολυγώνων $[FP]$ προς το θεωρητικά σωστό αριθμό των πολυγώνων τα οποία έχουν προκύψει από τη φωτοερμηνεία ($[TP]+[FN]$).

4.1 Σύγκριση Καναλιών

Στην παρούσα ενότητα ο αλγόριθμος LSD εφαρμόστηκε σε κάθε ένα από τα κανάλια της εικόνας μελέτης. Δημιουργήθηκαν, λοιπόν, τέσσερις εικόνες εισόδου (μία για κάθε κανάλι) και επιχειρήθηκε ανίχνευση γραμμικών τμημάτων σε κάθε μία από αυτές. Τα διανυσματικά δεδομένα που προέκυψαν οπτικοποιήθηκαν στο γραφικό περιβάλλον της βιβλιοθήκης orfeo toolbox, Monteverdi, καθώς και στο πρόγραμμα ελεύθερου λογισμικού QGIS.

Στην εικόνα (Εικόνα 4.1) που ακολουθεί εμφανίζεται το αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD στα τέσσερα κανάλια της πολυφασματικής εικόνας της Μεμβούρνης. Συγκεκριμένα, τα γραμμικά τμήματα κόκκινου χρώματος αποδίδουν τις ακμές που εξήχθησαν από την εικόνα γκριζών τόνων του κόκκινου καναλιού, τα πράσινα από την αντίστοιχη του πράσινου και τέλος τα μπλε από εκείνη του μπλε καναλιού. Τα ευθύγραμμα τμήματα του εγγύς υπέρυθρου καναλιού αποδόθηκαν με καφέ χρώμα. Η οπτικοποίηση του αποτελέσματος έγινε μέσω του προγράμματος QGIS.



Εικόνα 4.1: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD για τα κανάλια μπλε, πράσινο, κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο για την περιοχή της Μεμβούρνης.

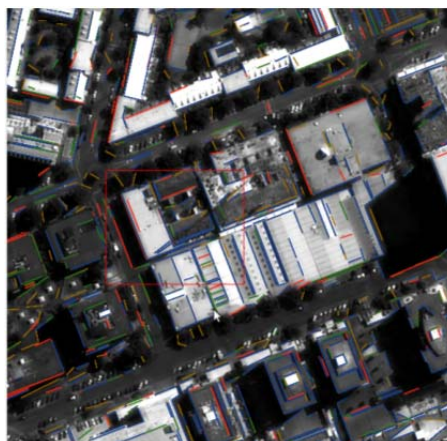
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα εφαρμογής του αλγορίθμου στην εικόνα ενδιαφέροντος σε κάθε ένα από τα τέσσερα κανάλια, παρατηρείται, πως σημειώνονται διαφορές στις γραμμές που προκύπτουν. Το παραπάνω επιβεβαιώνεται από το γεγονός πως ο αριθμός των ευθύγραμμων τμημάτων που προέκυψαν, διαφέρει για το πλήθος των καναλιών, στα οποία εφαρμόστηκε.

Συγκεκριμένα, μεγαλύτερος αριθμός γραμμών εμφανίστηκε στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι (κανάλι 4), ενώ ο μικρότερος στο κανάλι 1 (μπλε κανάλι). Το λογισμικό QGIS δίνει τη δυνατότητα εμφάνισης του πλήθους των διανυσματικών δεδομένων σε κάθε ένα από τα τέσσερα layers. Αναλυτικά, το πλήθος των ευθύγραμμων τμημάτων που προέκυψαν σε κάθε ένα από τα τέσσερα κανάλια είναι:

- Κανάλι 1(μπλε κανάλι):12084
- Κανάλι 3 (κόκκινο κανάλι):12642
- Κανάλι 2(πράσινο κανάλι):12743
- Κανάλι 4(εγγύς υπέρυθρο κανάλι):16634

Ο αριθμός των διανυσματικών δεδομένων που εξήχθησαν στην περίπτωση του εγγύς υπέρυθρου καναλιού διαφέρει αρκετά συγκριτικά με εκείνον των υπόλοιπων καναλιών. Το παραπάνω γεγονός δεν οδηγεί απαραίτητα στο συμπέρασμα πως η συγκεκριμένη εικόνα-εισόδου είναι και η καταλληλότερη στη διαδικασία ανίχνευσης ευθύγραμμων τμημάτων. Μάλιστα, παρατηρώντας το συγκεκριμένο αποτέλεσμα είναι φανερό πως στο συγκεκριμένο κανάλι εντοπίζεται πλήθος ευθυγράμμων τμημάτων σε ανεπιθύμητα για τη χαρτογράφηση αστικής γης αντικείμενα. Συγκεκριμένα, ανιχνεύεται μεγάλος αριθμός γραμμών σε περιοχές της εικόνας, όπου αποτυπώνονται δασικές περιοχές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η βλάστηση εμφανίζει υψηλές τιμές ανακλαστικότητας στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως τα διανύσματα που προέκυψαν από τις τέσσερις διαφορετικές εικόνες σε σημαντικό ποσοστό επικαλύπτονται (Εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2: Απόσπασμα από το αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD για την περιοχή της Μελβούρνης.

4.1.1 Εφαρμογή Αλγορίθμου Line Segment Detector στο κόκκινο κανάλι της εικόνας-εισόδου

Το κανάλι, στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί στις εφαρμογές που ακολουθούν είναι το κόκκινο. Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε το συγκεκριμένο κανάλι είναι πως στο συγκεκριμένο τα ανθρωπογενή αντικείμενα εμφανίζουν υψηλές τιμές ανακλαστικότητας. Κρίνεται σκόπιμο,

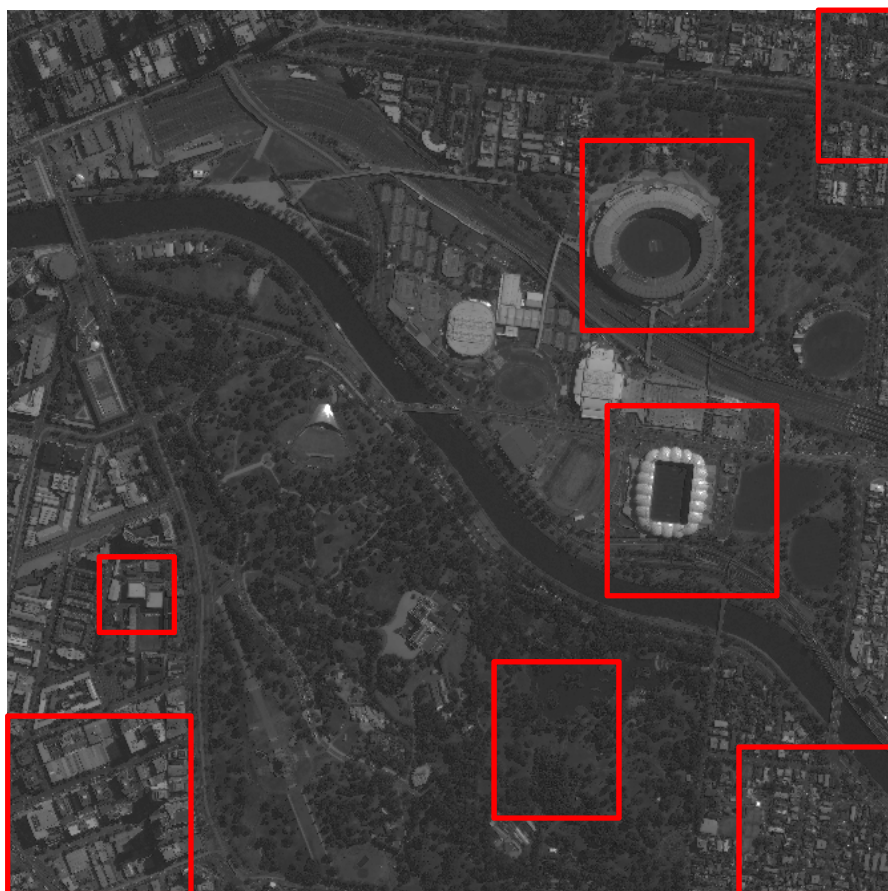
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

λοιπόν, στο σημείο αυτό, να γίνει αξιολόγηση του αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στην εικόνα γκρίζων τόνων του κόκκινου καναλιού.

Συγκεκριμένα, η διαδικασία αξιολόγησης εστιάζει στα ακόλουθα σημεία:

- Απόδοση περιοχών αστικής δόμησης
- Απόδοση Οδικού Δικτύου
Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η αυτοματοποίηση της διαδικασίας χαρτογράφησης αστικών περιοχών, μέσω του αλγορίθμου Line Segment Detector. Συνεπώς, η αξιολόγηση των εν λόγω περιοχών είναι απαραίτητη.
- Απόδοση Καμπύλων τμημάτων: Ο αλγόριθμος LSD, όπως διευκρινίστηκε, ανιχνεύει ευθύγραμμα τμήματα. Στη διαδικασία αξιολόγησης εξετάζεται κατά πόσον οι γραμμές που ανιχνεύονται προσεγγίζουν επιτυχώς εικονιζόμενα καμπύλα αντικείμενα.
- Μη επιθυμητά αντικείμενα: Στο σημείο αυτό, εξετάζεται το πλήθος των ευθύγραμμων τμημάτων που εντοπίζονται σε μη επιθυμητά αντικείμενα για τη χαρτογράφηση αστικής γης, όπως μικρά δένδρα σε υπαίθριους χώρους.

Στην ακόλουθη εικόνα (Εικόνα 4.3), εμφανίζεται η εικόνα γκρίζων τόνων του κόκκινου καναλιού (κανάλι 3) δεδομένου-εισόδου. Στην εικόνα σημειώνονται με κόκκινο ορθογώνιο οι περιοχές στις οποίες εστιάζει η διαδικασία αξιολόγησης.



Εικόνα 4.3: Εικόνα γκρίζων τόνων κόκκινου καναλιού της εικόνας της Μελβούρνης. Οι περιοχές στις οποίες εστιάζει η διαδικασία αξιολόγησης σημειώνονται με κόκκινο χρώμα.

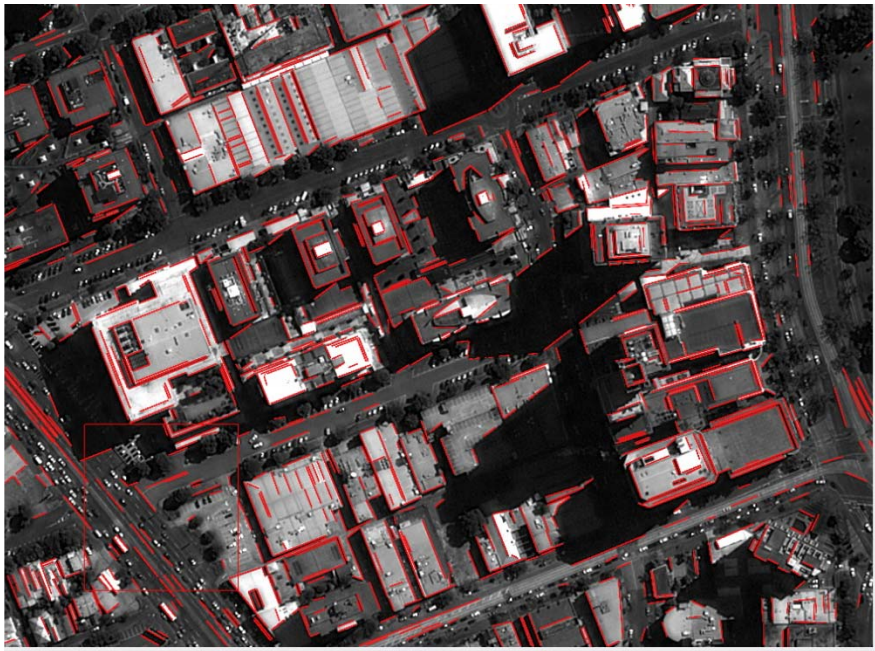
Αξιολόγηση Εφαρμογής

Περιοχές αστικής δόμησης

Ο αλγόριθμος LSD έχει εντοπίσει μεγάλο αριθμό γραμμών στην αστική περιοχή που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.4. Μάλιστα, παρατηρείται πως τα ευθύγραμμα τμήματα που σημειώνονται έχουν ορθώς αποδοθεί από τον αλγόριθμο, πρόκειται δηλαδή για True Positives δεδομένα. Είναι φανερό, λοιπόν, πως το συγκεκριμένο αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται ως ορθό.

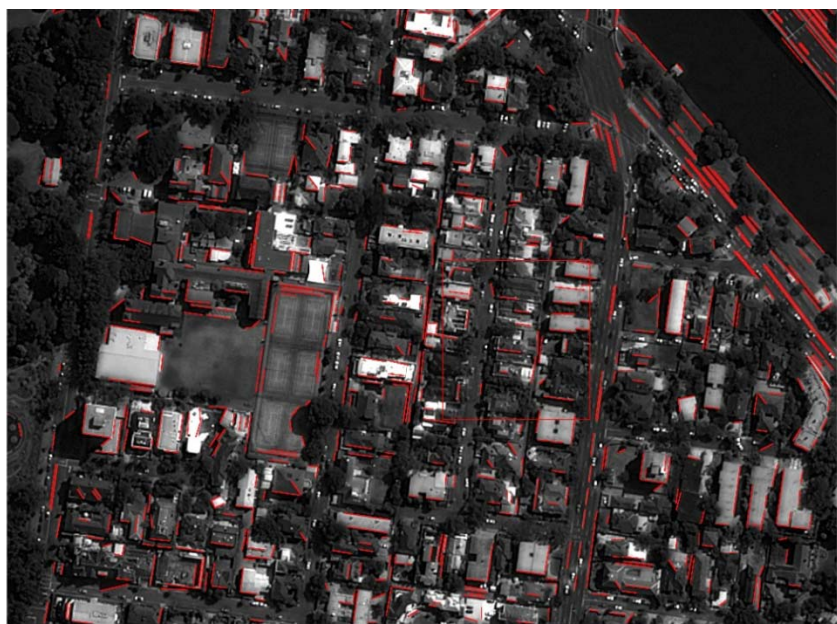
Επιπλέον, παρατηρείται, πως ο αριθμός των ευθύγραμμων τμημάτων που λανθασμένα δεν έχουν αποδοθεί από τον αλγόριθμο, δηλαδή των False Negatives, στο τελικό αποτέλεσμα είναι σχετικά μικρός. Επομένως, η συγκεκριμένη εφαρμογή χαρακτηρίζεται από μικρό σφάλμα παράλειψης και συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί σε μεγάλο βαθμό πλήρης.

Τέλος, παρατηρείται πως τα ευθύγραμμα τμήματα είναι τοποθετημένα στις σωστές θέσεις. Ωστόσο, εντοπίζονται προβλήματα σε ό,τι αφορά τη συνένωση των γραμμών στις άκρες των κτιρίων.



Εικόνα 4.4: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 4.5), εμφανίζεται το αποτέλεσμα του LSD σε αστική περιοχή, η οποία ευρίσκεται σε διαφορετική περιοχή της εικόνας μελέτης. Είναι εμφανές πως στην περίπτωση αυτή, η ανίχνευση ευθύγραμμων τμημάτων δε χαρακτηρίζεται εξίσου επιτυχής με εκείνη στην Εικόνα 4.4. Το παραπάνω οφείλεται στο γεγονός πως οι ακμές των κτιρίων στη συγκεκριμένη περιοχή είναι μικρές σε μήκος συγκριτικά με το συνολικό μέγεθος της εικόνας.

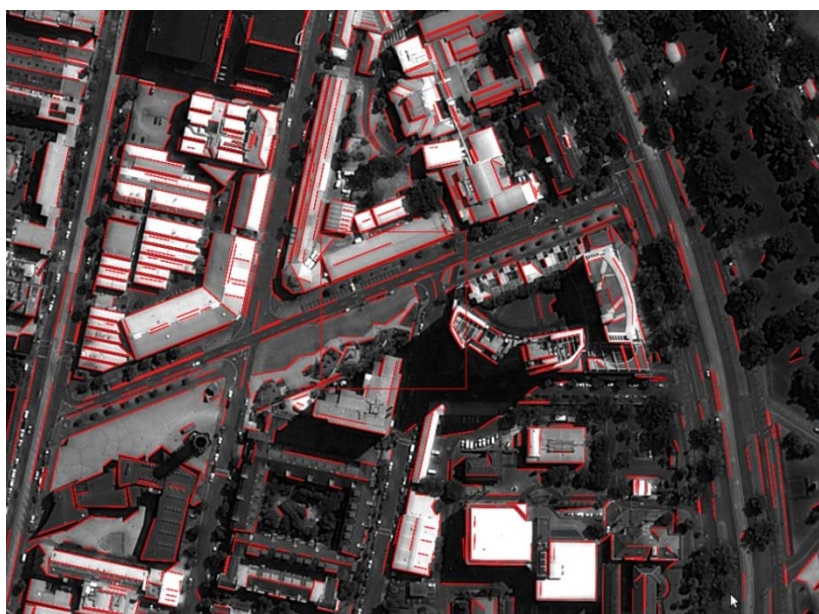


Εικόνα 4.5: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης

Οδικό Δίκτυο

Στην περίπτωση της ανίχνευσης οδικού δικτύου τα αποτελέσματα εφαρμογής του συγκεκριμένου αλγορίθμου είναι ικανοποιητικά. Συγκεκριμένα, τα διανυσματικά δεδομένα που προέκυψαν καλύπτουν ως ένα βαθμό την υπάρχουσα πληροφορία, όπως εμφανίζεται στην Εικόνα 4.6.

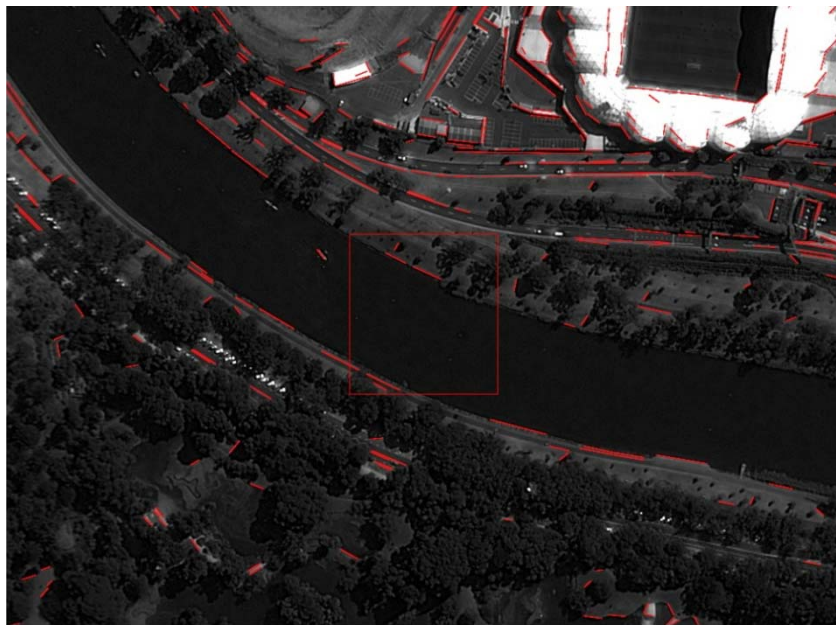
Σχετικά με το κριτήριο της ορθότητας παρατηρείται πως ο αριθμός των False Positives είναι περιορισμένος, συνεπώς το συγκεκριμένο ικανοποιείται στην παρούσα περίπτωση.



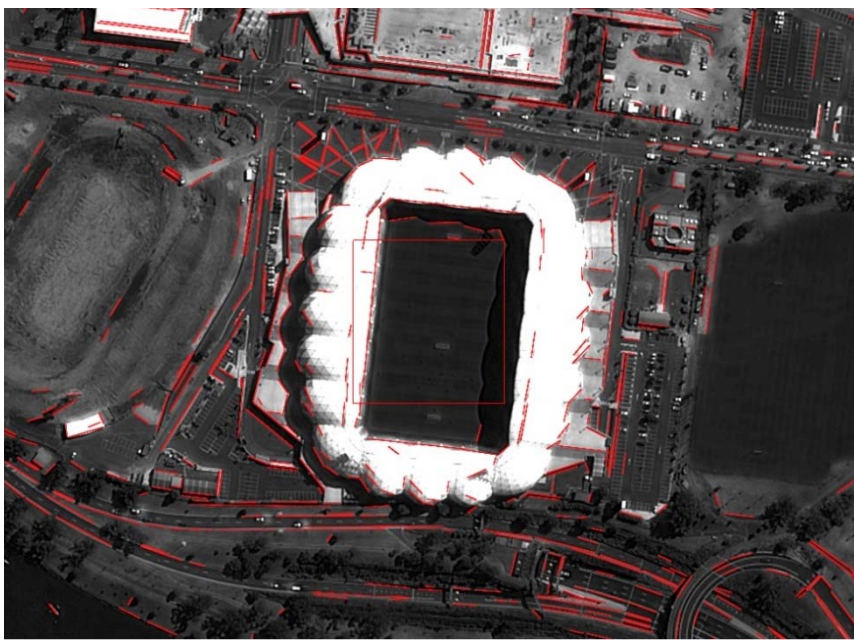
Εικόνα 4.6: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο εικονιζόμενο οδικό δίκτυο στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.

Απόδοση καμπύλων τμημάτων

Σε ό,τι αφορά την απόδοση των καμπύλων τμημάτων, τα αποτελέσματα του αλγορίθμου δεν είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά (Εικόνα 4.7- Εικόνα 4.9). Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος έχει εντοπίσει μικρό αριθμό από True Positives διανυσματικά δεδομένα και σημαντικό μέρος απαραίτητης πληροφορίας απουσιάζει.

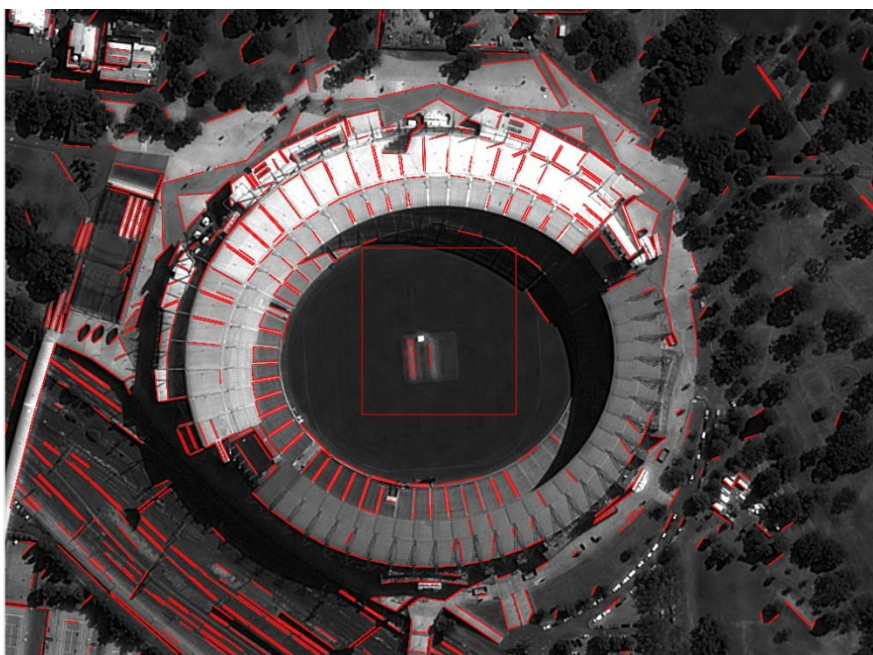


Εικόνα 4.7: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.



Εικόνα 4.8: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.

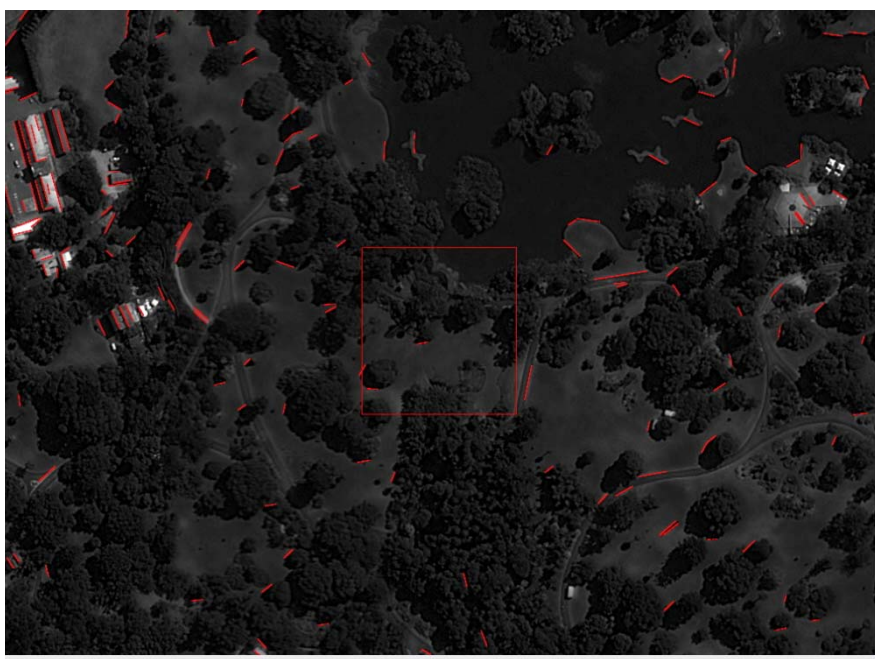
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ



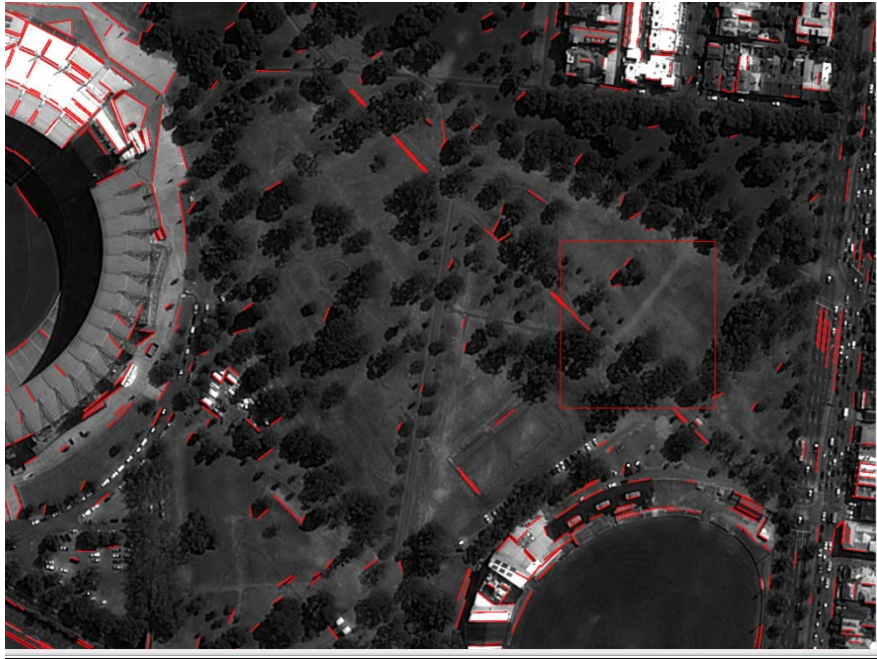
Εικόνα 4.9: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα (τρίτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.

Μη επιθυμητά αντικείμενα

Ο αλγόριθμος εντόπισε σχετικά μικρό αριθμό ευθύγραμμων τμημάτων σε μη επιθυμητά αντικείμενα, όπως μικρά δένδρα σε υπαίθριους χώρους (Εικόνα 4.10, Εικόνα 4.11).

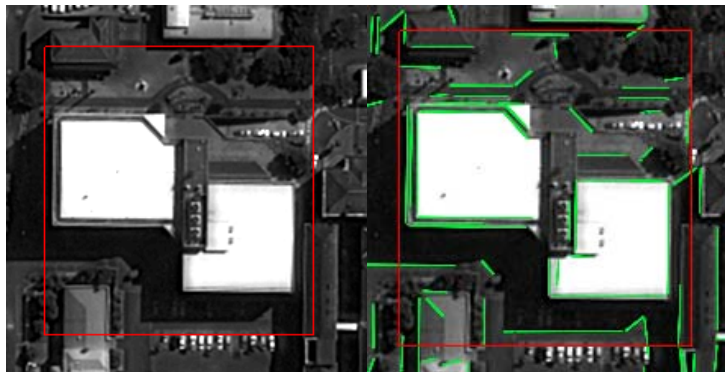


Εικόνα 4.10: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.



Εικόνα 4.11: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας) στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης.

Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων



Εικόνα 4.12: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.

Τυπικά, η συγκεκριμένη αξιολόγηση, θα έπρεπε να πραγματοποιηθεί βάσει των πραγματικών διανυσματικών δεδομένων που περιγράφουν την περιοχή μελέτης.

Εφόσον, τα εν λόγω δεδομένα δε διατίθενται, η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: Επιλέγεται αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας- εισόδου. Για την περιοχή αυτή (Εικόνα 4.12), μέσω φωτοερμηνείας εντοπίζεται ο αριθμός των True Positives, False Positives και False Negatives δεδομένων. Βάσει των παραπάνω στοιχείων κατασκευάζονται οι ακόλουθοι Πίνακες (Πίνακας 4.1, Πίνακας 4.2):

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

	True Positives	False Positives	False Negatives
Εικόνα γκριζων τόνων κόκκινου καναλιού	16	6	7

Πίνακας 4.1: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μεμβούρνης (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παρά-λειψης	Σφάλμα Συμπερίληψης
Εικόνα γκριζων τόνων κόκκινου καναλιού	72.73%	69.57%	55.17%	30.43%	26.09%

Πίνακας 4.2: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μεμβούρνης (δείκτες ποιότητας).

Συμπεράσματα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα γκριζων τόνων του κόκκινου καναλιού:

- Η εφαρμογή του φίλτρου LSD έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά το κριτήριο της πληρότητας και της ορθότητας (περίπου 70%) στην ανίχνευση γραμμών σε ανθρωπογενή αντικείμενα αποτελούμενα από ευθύγραμμα τμήματα.
- Ο αλγόριθμος παρείχε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά την ακρίβεια εντοπισμού των θέσεων των ακμών.
- Το αποτέλεσμα είναι απογοητευτικό σε ό,τι αφορά τη συνεκτικότητα των γραμμών στην τελική εικόνα.

Το αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD στην εικόνα γκριζων τόνων εικόνα του κόκκινου καναλιού είναι σε μεγάλο βαθμό πλήρες, έχει, ωστόσο, περιθώρια βελτίωσης. Οι ακόλουθες εφαρμογές έχουν στόχο να αυξήσουν τα ποσοστά πληρότητας και ορθότητας των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου και ως εκ τούτου να δημιουργήσουν ένα λεπτομερέστερο και ποιοτικότερο αποτέλεσμα.

4.2 Επιμέρους εφαρμογή του αλγορίθμου LSD σε τμήματα της αρχικής εικόνας

Στο σημείο αυτό, γίνεται εφαρμογή του υπό εξέταση αλγορίθμου σε τρία διαφορετικά τμήματα της εικόνας-εισόδου. Αρχικά, έγινε εφαρμογή του αλγορίθμου στο σύνολο της αρχικής εικόνας, στη συνέχεια στο 1/4 της αρχικής και στη συνέχεια στο 1/4 της τελευταίας. Συγκεκριμένα, η εικόνα μελέτης έχει διαστάσεις 4096x4096 εικονοστοιχεία. Μέσω του Monteverdi έγινε αποκοπή του τμήματος 0-2048 κατά τον άξονα x και 0-2048 κατά τον άξονα y της εικόνας και ακολούθως του τμήματος (0-1024) κατά τον άξονα x και 0-1024 κατά τον άξονα y.

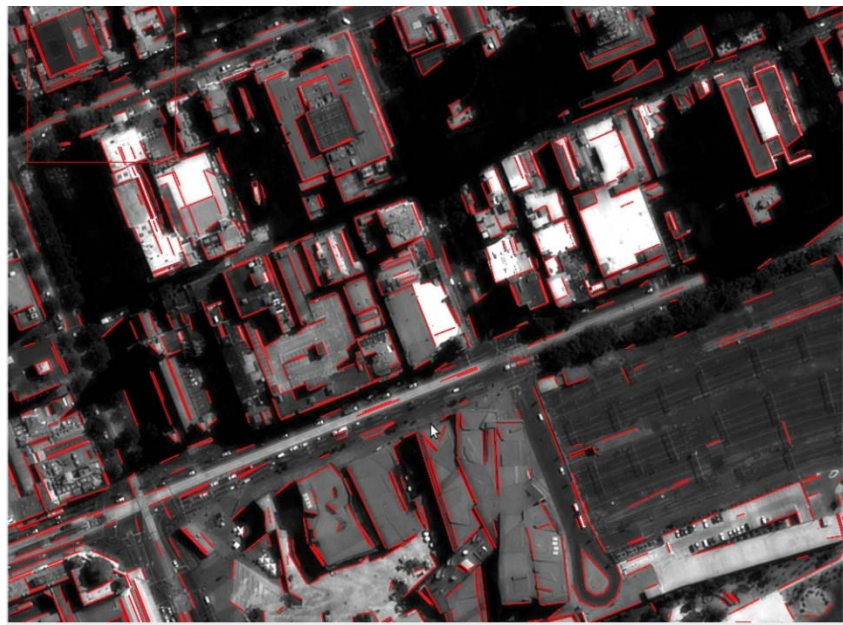
Παρατηρείται, πως η μείωση του μεγέθους της εικόνας οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των εντοπιζόμενων γραμμών. Μέσω του λογισμικού QGIS έγινε καταμέτρηση των ευθύγραμμων τμημάτων που εξήχθησαν μέσω του αλγορίθμου LSD, για κάθε μία από τις τρεις εικόνας-εισόδου.

- Αρχική εικόνα: αριθμός γραμμών 12642
- 1ο τμήμα (ένα τέταρτο της αρχικής εικόνας): αριθμός γραμμών 6379
- 2ο τμήμα (ένα δέκατο έκτο της αρχικής εικόνας): αριθμός γραμμών 1879

Αν καταχρηστικά θεωρηθεί πως οι ακμές είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες, τότε σύμφωνα με τα στοιχεία της αρχικής εφαρμογής του LSD τα ευθύγραμμα τμήματα που ανιχνεύονται στο $\frac{1}{4}$ και στο $\frac{1}{16}$ της εικόνας-εισόδου είναι 3160 και 790 αντίστοιχα. Συνεπώς, είναι εμφανές πως η εφαρμογή του LSD σε τμήμα της αρχικής εικόνας έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του επίπεδου λεπτομέρειας του παραγόμενου αποτελέσματος.

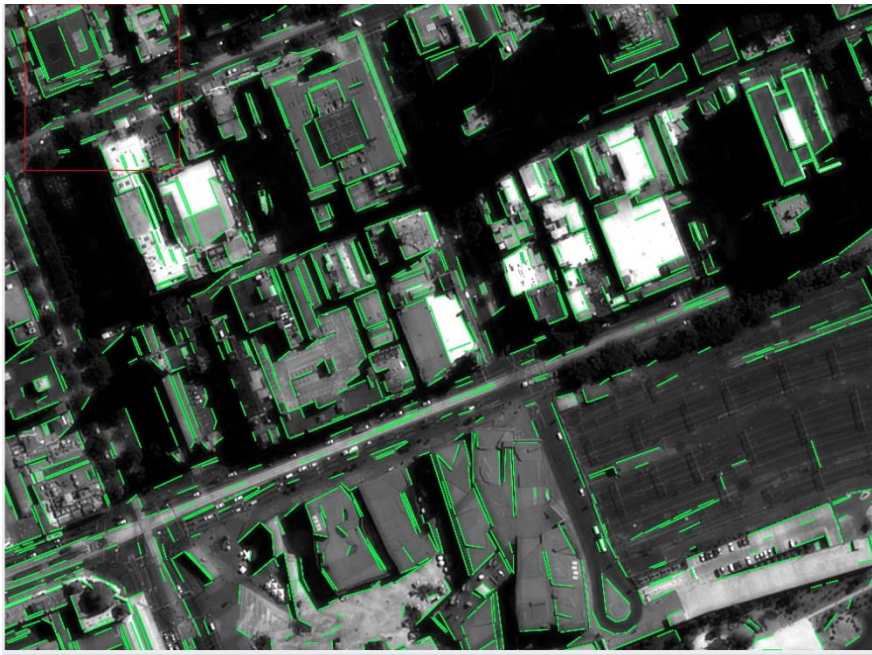
Το παραπάνω οφείλεται στο γεγονός πως η μείωση του μεγέθους της εικόνας-εισόδου οδηγεί σε μείωση της ποσότητας NFA. Στη διαδικασία επαλήθευσης των παραγόμενων ορθογωνίων ο αριθμός NFA για κάθε ένα από αυτά πρέπει να είναι μικρότερος της μονάδας. Όσο μειώνεται, λοιπόν, το μέγεθος της εικόνας τόσο αυξάνει η πιθανότητα μία γραμμή ορισμένου μήκους να εμφανίζεται στο τελικό αποτέλεσμα. Επομένως, η μείωση του μεγέθους της εικόνας και συνεπώς του αριθμού NFA αυξάνει τον αριθμό των ενδεχόμενων γραμμών που τελικά επαληθεύονται.

Στις Εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 4.13-Εικόνα 4.15) παρουσιάζεται το αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD στα τρία διαφορετικά τμήματα της εικόνας της Μεμβούρνης. Είναι εμφανές, πως τα ευθύγραμμα τμήματα που εμφανίζονται στις τρεις περιπτώσεις έχουν σωστά ανιχνευτεί από τον αλγόριθμο. Τα διανυσματικά δεδομένα, λοιπόν, που παράχθηκαν από τον LSD είναι True Positives και συνεπώς το παραγόμενο αποτέλεσμα ικανοποιεί το κριτήριο της ορθότητας. Επιπλέον, παρατηρείται πως η μείωση του μεγέθους της εικόνας οδηγεί σε αύξηση των True Positives εμφανιζόμενων γραμμών και ως εκ τούτου σε αύξηση του επίπεδου λεπτομέρειας του τελικού αποτελέσματος. Επομένως, η μείωση του μεγέθους της εικόνας οδηγεί σε αύξηση του ποσοστού πληρότητας των διανυσματικών δεδομένων του LSD αλγορίθμου.

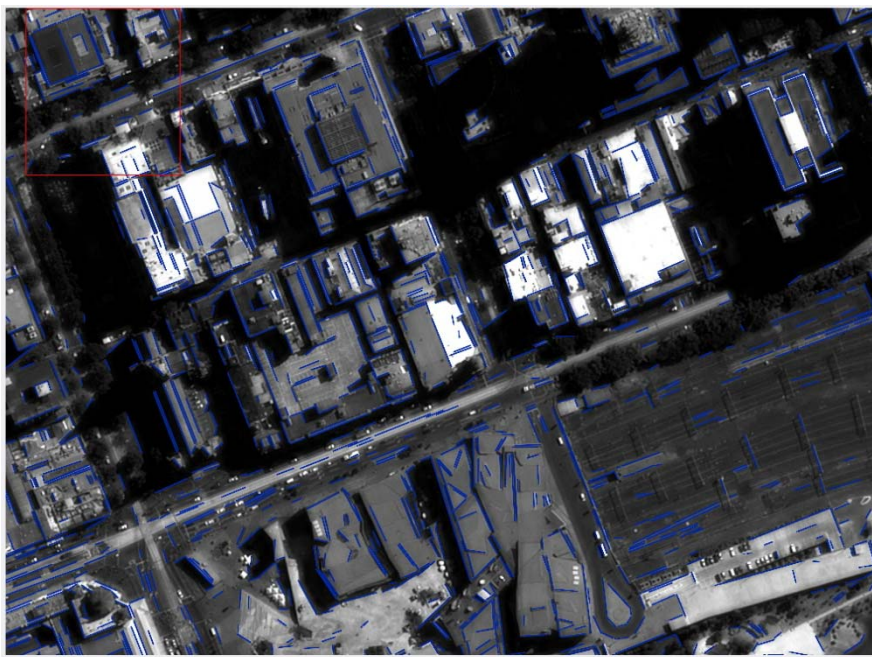


Εικόνα 4.13: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μεμβούρνης στο σύνολο των αρχικών της διαστάσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ



Εικόνα 4.14: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στο ένα τέταρτο των αρχικών της διαστάσεων

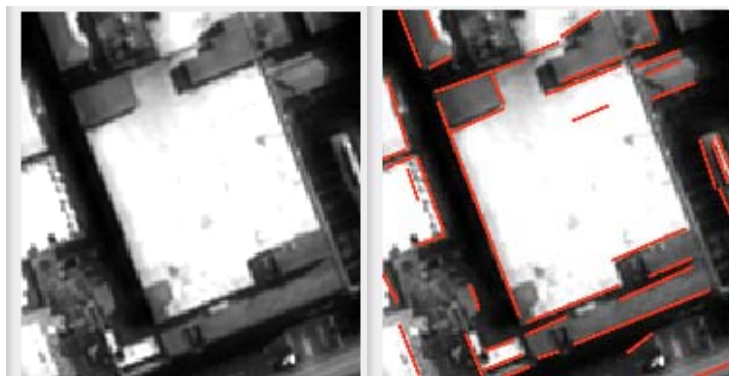


Εικόνα 4.15: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στο ένα δέκατο έκτο των αρχικών της διαστάσεων

Τέλος, παρατηρείται πως τα ευθύγραμμα τμήματα είναι τοποθετημένα στις σωστές θέσεις και δεν εντοπίζονται ιδιαίτερα προβλήματα σε ό,τι αφορά τη συνένωση των γραμμών στις άκρες των κτιρίων.

4.2.1 Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Αρχική Εικόνα



Εικόνα 4.16: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μεμβούρνης στο σύνολο της αρχικής εικόνας. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.

Το τμήμα της εικόνας (Εικόνα 4.16), το οποίο επιλέχθηκε στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι διαφορετικό συγκριτικά με εκείνο της Εφαρμογής που προηγήθηκε και ήταν τέτοιο ώστε ο αλγόριθμος να έχει αρκετό περιθώριο βελτίωσης του κριτηρίου της πληρότητας.

Από την Εικόνα 4.16 προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία του Πίνακα 4.3 αφορούν στο πλήθος των ευθύγραμμων τμημάτων που ορθώς ανιχνεύθηκαν από τον αλγόριθμο (True Positives), εκείνων που έχουν ανιχνευτεί από λάθος του αλγορίθμου (False Positives) καθώς και εκείνων που δεν έχουν ανιχνευτεί από λάθος του αλγορίθμου (False Negatives). Βάσει των παραπάνω υπολογίζονται οι δείκτες ορθότητας και πληρότητας, καθώς και το σφάλμα παράλειψης και συμπερίληψης (Πίνακας 4.4).

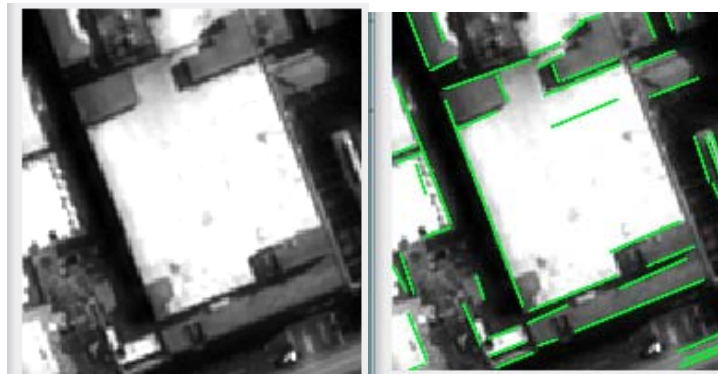
	True Positives	False Positives	False Negatives
Σύνολο εικόνας	9	0	10

Πίνακας 4.3: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο σύνολο της αρχικής εικόνας (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παράλειψης	Σφάλμα Συμπερίληψης
Σύνολο εικόνας	100.00 %	47.37%	47.37%	52.63%	0.00%

Πίνακας 4.4: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο σύνολο της αρχικής εικόνας (δείκτες ποιότητας).

Ένα τέταρτο αρχικής εικόνας



Εικόνα 4.17: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στο ένα τέταρτο της αρχικής εικόνας. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης

Από την Εικόνα 4.17 προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων.

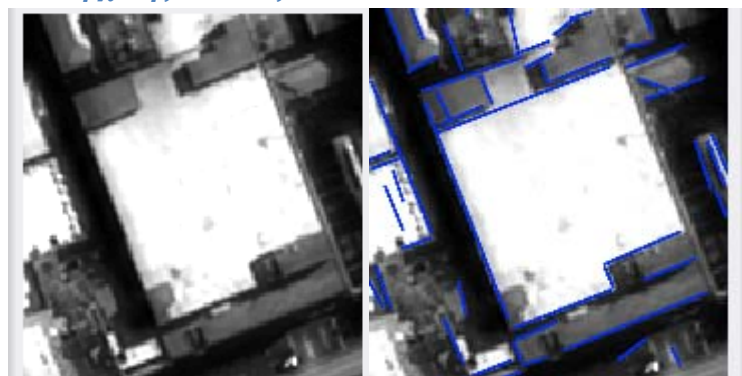
	True Positives	False Positives	False Negatives
Ένα τέταρτο εικόνας	12	0	7

Πίνακας 4.5: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο ένα τέταρτο της αρχικής εικόνας (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παρά-λειτουργίας	Σφάλμα Συμπερίληψης
Ένα τέταρτο εικόνας	100.00 %	63.16%	63.16%	36.84%	0.00%

Πίνακας 4.6: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο ένα τέταρτο της αρχικής εικόνας (δείκτες ποιότητας).

Ένα δέκατο έκτο αρχικής εικόνας



Εικόνα 4.18: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στο ένα δέκατο έκτο της αρχικής εικόνας. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.

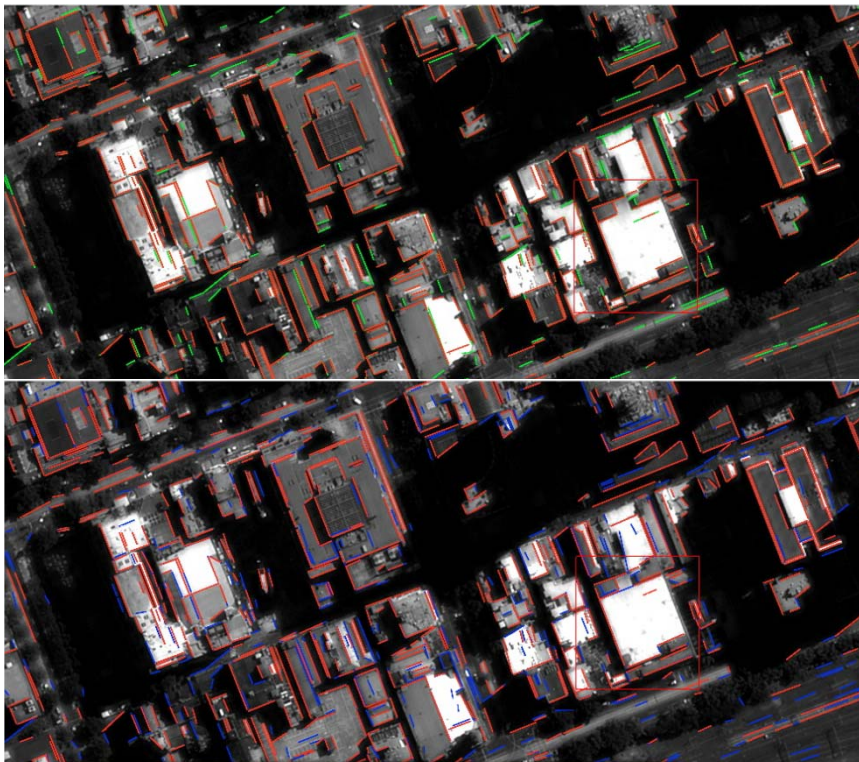
Από την Εικόνα 4.18 προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων.

	True Positives	False Positives	False Negatives
Ένα δέκατο έκτο εικόνας	15	0	4

Πίνακας 4.7: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο ένα δέκατο έκτο της αρχικής εικόνας (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παρά-λειψης	Σφάλμα Συμπερίληψης
Ένα δέκατο έκτο εικόνας	100.00 %	78.95%	78.95%	21.05%	0.00%

Πίνακας 4.8: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD ένα δέκατο έκτο της αρχικής εικόνας (δείκτης ποιότητας).



Εικόνα 4.19: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μεμβούρνης στο σύνολο (κόκκινο χρώμα γραμμών) και στο $\frac{1}{4}$ (πράσινο χρώμα) Κάτω: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μεμβούρνης στο σύνολο (κόκκινο χρώμα γραμμών) και στο $\frac{1}{8}$ (μπλε χρώμα) των αρχικών διαστάσεων.

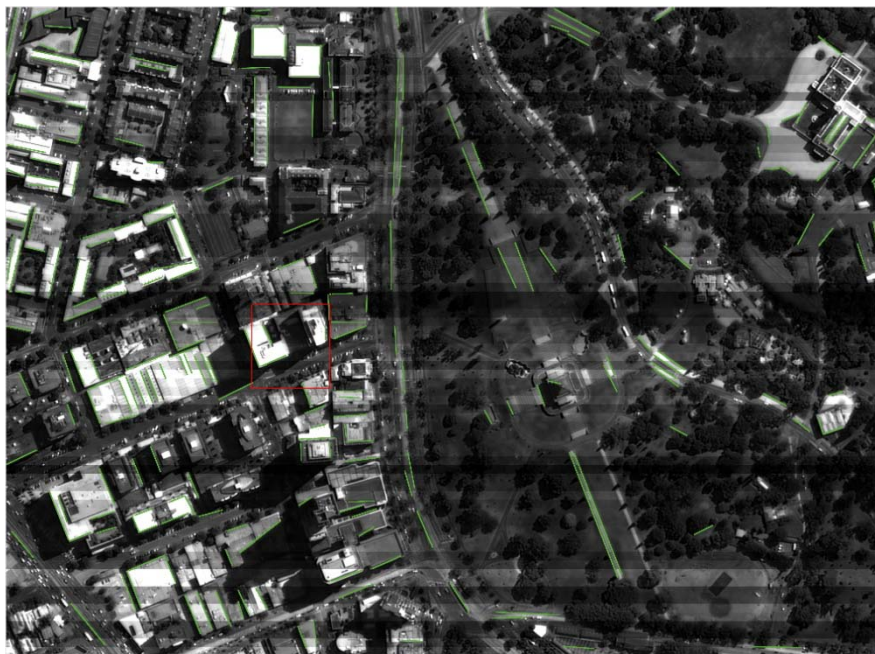
4.3 Εφαρμογή σε πυραμίδα εικόνων

Στο σημείο αυτό, γίνεται εφαρμογή του LSD αλγορίθμου σε πυραμίδα εικόνων του κόκκινου καναλιού της πολυφασματικής εικόνας της Μεμβούρνης. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν δύο νέες εικόνες με διαστάσεις 2048x2048 (Εικόνα 4.20- Εικόνα 4.23) και 1024x1024(Εικόνα 4.24- Εικόνα 4.25), μέσω της βιβλιοθήκης Orfeo Toolbox.

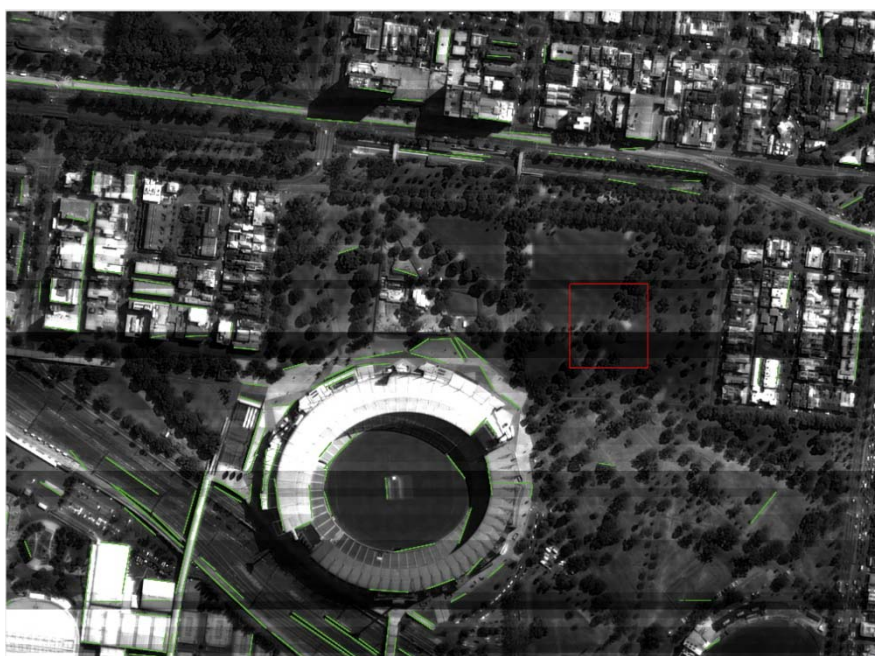
Η εφαρμογή του LSD σε αυτές δεν οδήγησε σε αύξηση του δείκτη πληρότητας του αποτελέσματος, σε ό,τι αφορά την ανίχνευση ευθύγραμμων τμημάτων σε περιοχές αστικής δόμησης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, πως στη διαδικασία επαλήθευσης των παραγόμενων ορθογωνίων στον LSD καθοριστικό ρόλο παίζει το μέγεθος της ανιχνευμένης γραμμής, συγκριτικά με το συνολικό μέγεθος της εικόνας. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, έγινε μείωση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

του μεγέθους της εικόνας-εισόδου και ταυτόχρονα του μεγέθους των ευθύγραμμων τμημάτων που εικονίζονται. Τα αποτελέσματα είναι πληρέστερα σε ό,τι αφορά την απόδοση του οδικού δικτύου. Επιπλέον, σημειώνεται, πως δεν εντοπίζεται μεγάλος αριθμός από True Negatives. Συνεπώς, το αποτέλεσμα ανίχνευσης γραμμών είναι ορθό.



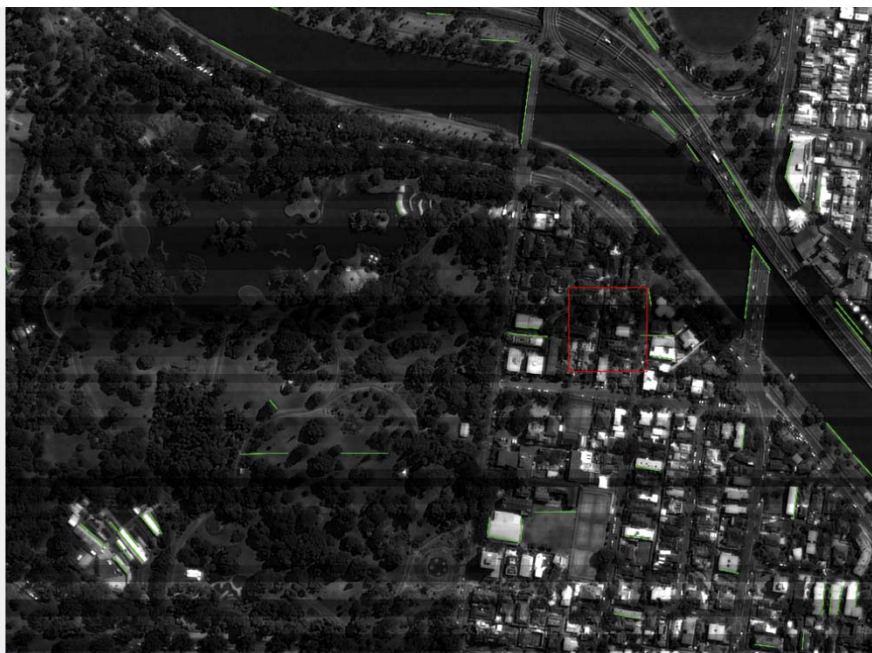
Εικόνα 4.20: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD σε πυραμίδα εικόνων στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτο απόσπασμα της εικόνας). (Παρόν μέγεθος εικόνας: 2048x2048, αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)



Εικόνα 4.21: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD σε πυραμίδα εικόνων στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερο απόσπασμα της εικόνας). (Παρόν μέγεθος εικόνας: 2048x2048, αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)



Εικόνα 4.22: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD σε πυραμίδα εικόνων στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (τρίτο απόσπασμα της εικόνας). (Παρόν μέγεθος εικόνας: 2048x2048, αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)



Εικόνα 4.23: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD σε πυραμίδα εικόνων στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (τέταρτο απόσπασμα της εικόνας). (Παρόν μέγεθος εικόνας: 2048x2048, αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT
DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ**



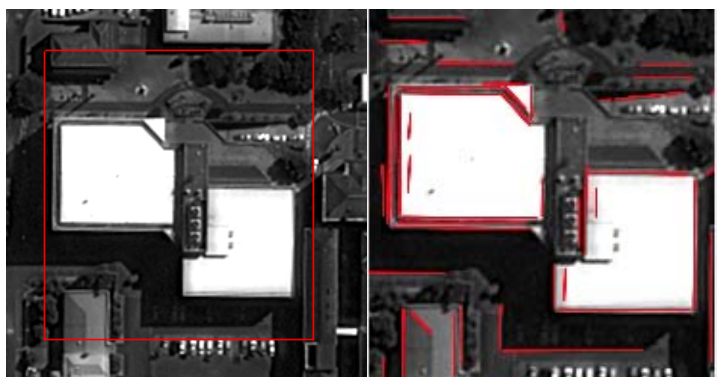
Εικόνα 4.24: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD σε πυραμίδα εικόνων στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτο απόσπασμα της εικόνας). (Παρόν μέγεθος εικόνας: 1024x1024, αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)



Εικόνα 4.25: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD σε πυραμίδα εικόνων στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερο απόσπασμα της εικόνας). (Παρόν μέγεθος εικόνας: 1024x1024, αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)

4.3.1 Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Αρχική Εικόνα



Εικόνα 4.26: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης στις αρχικές διαστάσεις εικόνας. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.

Από την Εικόνα 4.26 προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία του Πίνακα 4.9 αφορούν στο πλήθος των ευθύγραμμων τμημάτων που ορθώς ανιχνεύτηκαν από τον αλγόριθμο (True Positives), εκείνων που έχουν ανιχνευτεί από λάθος του αλγορίθμου (False Positives) καθώς και εκείνων που δεν έχουν ανιχνευτεί από λάθος του αλγορίθμου (False Negatives). Βάσει των παραπάνω υπολογίζονται οι δείκτες ορθότητας και πληρότητας, καθώς και το σφάλμα παράλειψης και συμπερίληψης (Πίνακας 4.10).

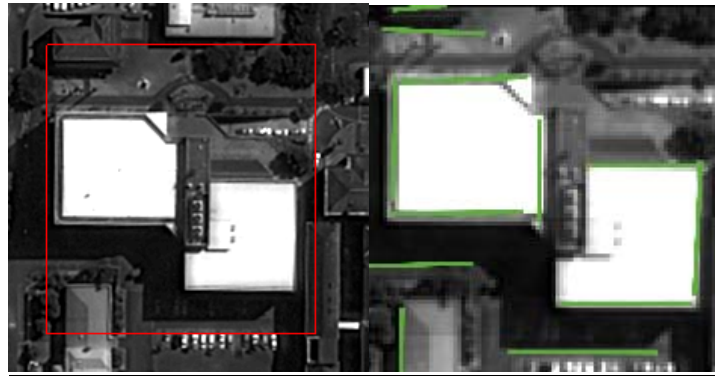
	True Positives	False Positives	False Negatives
Αρχικές Διαστάσεις Εικόνας	16	6	7

Πίνακας 4.9: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο σύνολο της αρχικής εικόνας (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παράλειψης	Σφάλμα Συμπερίληψης
Αρχικές Διαστάσεις Εικόνας	72.73%	69.57%	55.17%	30.43%	26.09%

Πίνακας 4.10: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο σύνολο της αρχικής εικόνας (δείκτες ποιότητας).

Μέγεθος εικόνας 2048x2048 (αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)



Εικόνα 4.27: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης διαστάσεις εικόνας 2048x2048 (αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096). Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.

Από την Εικόνα 4.27 προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων:

	True Positives	False Positives	False Negatives
Διαστάσεις Εικόνας 2048x2048	7	0	16

Πίνακας 4.11: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD διαστάσεις εικόνας 2048x2048 (αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096) (αριθμός διανυσματικών δεδομένων)

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παράλειψης	Σφάλμα Συμπερίληψης
Διαστάσεις Εικόνας 2048x2048	100.00%	30.43%	30.43%	69.57%	0.00%

Πίνακας 4.12: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD διαστάσεις εικόνας 2048x2048 (αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096) (δείκτες ποιότητας).

Μέγεθος εικόνας 1024x1024(αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096)



Εικόνα 4.28: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στην εικόνα της Μελβούρνης διαστάσεις εικόνας 1024x1024 (αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096). Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.

Από την Εικόνα 4.28 προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων:

	True Positives	False Positives	False Negatives
Διαστάσεις Εικόνας 1024x1024	1	0	22

Πίνακας 4.13: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD διαστάσεις εικόνας 1024x1024 (αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096) (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παράλειψης	Σφάλμα Συμπερίληψης
Διαστάσεις Εικόνας 1024x1024	100.00%	4.35%	4.35%	95.65%	0.00%

Πίνακας 4.14: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD διαστάσεις εικόνας 1024x1024 (αρχικό μέγεθος εικόνας: 4096x4096) (δείκτες ποιότητας).

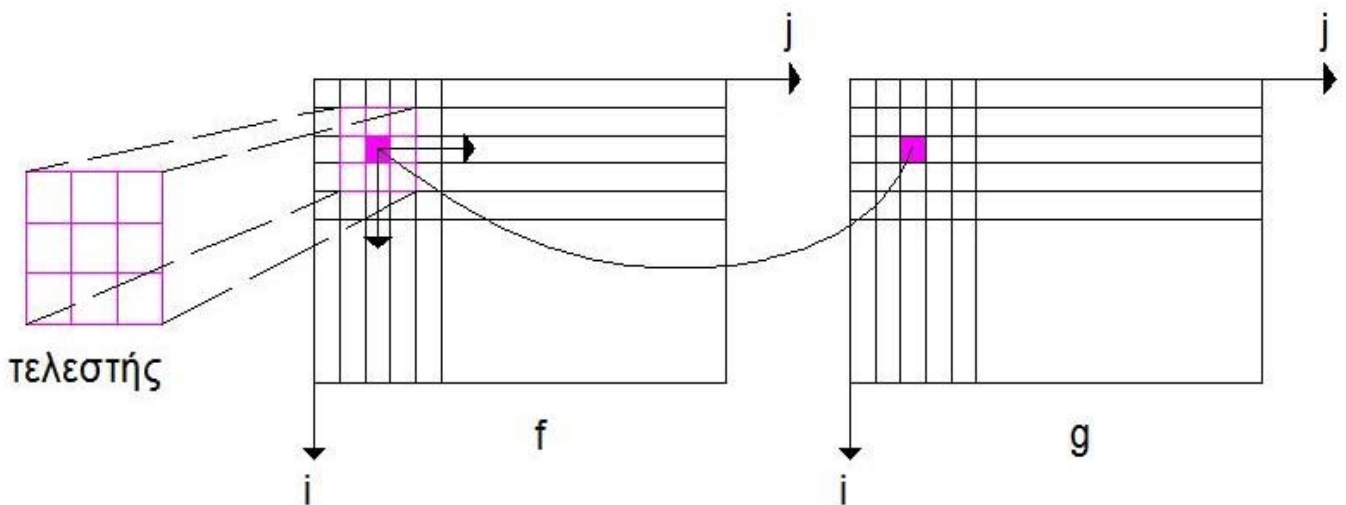
4.4 Σύγκριση φίλτρων προεπεξεργασίας

Όπως αναφέρεται στο χωρίο “Ανίχνευση Ακμών” του Κεφαλαίου 1 της παρούσας διπλωματικής εργασίας, οι αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών εξομαλύνουν την εικόνα-εισόδου, προκειμένου να απομακρύνουν από αυτήν τον περιττό θόρυβο. Ο αλγόριθμος LSD, ωστόσο, δε συμπεριλαμβάνει στα στάδια επεξεργασίας της εικόνας τη συγκεκριμένη ρουτίνα, παρά το γεγονός ότι ο συγκεκριμένος παρουσιάζει αυξημένη ευαισθησία στο θόρυβο. Για το λόγο αυτό, κρίνεται σκόπιμο, στην παρούσα ενότητα να γίνει εφαρμογή χαμηλοπερατών φίλτρων στην εικόνα της Μελβούρνης και ακολούθως εφαρμογή του LSD στις επεξεργασμένες εικόνες.

4.4.1 Λίγα λόγια για τα φίλτρα

Τα φίλτρα είναι **παράθυρα** με διαστάσεις περιττό αριθμό εικονοστοιχείων τα οποία εφαρμόζονται σε κάθε ένα από τα εικονοστοιχεία της εικόνας εισόδου και δημιουργούν μια νέα εικόνα-εξόδου.

Πρόκειται για μία “**τοπική**” **πράξη** κατά την οποία οι τιμές των εικονοστοιχείων της τελικής εικόνας προκύπτουν από επεξεργασία των τιμών των γειτονικών σε αυτά εικονοστοιχείων στην αρχική εικόνα.



Εικόνα 4.29: Διαδικασία εφαρμογής φίλτρων σε εικόνα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα χωρικά φίλτρα αποτελούν ειδική εφαρμογή της **συνέλιξης**. Η τελευταία αποτελεί γενική πράξη επεξεργασίας εικόνας και περιλαμβάνει την ακόλουθη διαδικασία:

- Αρχικά, δημιουργείται το “μετακινούμενο παράθυρο” ή **τελεστής** (ή **μάσκα** ή **φίλτρο**) όπως συνήθως αναφέρεται. Πρόκειται για έναν πίνακα με τετραγωνικό- συνήθως- μέγεθος και διαστάσεις περιττό αριθμό στοιχείων (3x3, 5x5, ...). Τα στοιχεία του είναι συντελεστές.
- Ο τελεστής μετακινείται σε κάθε ένα από τα εικονοστοιχεία της αρχικής εικόνας. Για κάθε νέα θέση του τελεστή υπολογίζεται η ψηφιακή τιμή στο κέντρο του και αποδίδεται στο αντίστοιχο εικονοστοιχείο της εικόνας-εξόδου. Αναλυτικά, η πράξη που εφαρμόζεται είναι η παρακάτω: πολλαπλασιάζεται κάθε συντελεστής ή βάρος της μάσκας με την αντίστοιχη ψηφιακή τιμή της εικόνας και στο τέλος προστίθενται όλα τα παραγόμενα γινόμενα.

Τα χωρικά φίλτρα διακρίνονται σε 2 κατηγορίες: σε **φίλτρα χαμηλής συχνότητας (χαμηλοδιαβατά φίλτρα)** και **φίλτρα υψηλών συχνοτήτων (υψιπερατά φίλτρα)**.

Αρχικά, διευκρινίζεται πως η έννοια της **χωρικής συχνότητας** αναφέρεται στην τραχύτητα των εναλλαγών των τόνων σε μία περιοχή της εικόνας. Οι περιοχές στις οποίες δεν εμφανίζονται έντονες εναλλαγές στους τόνους του γκρι χαρακτηρίζονται ως **ομαλές**. Η διάκριση των φίλτρων είναι η ακόλουθη:

- Τα **χαμηλοδιαβατά φίλτρα** “φιλτράρουν” τις περιοχές υψηλής συχνότητας. Η εφαρμογή των εν λόγω φίλτρων στην εικόνα-εισόδου έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του θορύβου. Παραδείγματα τέτοιων φίλτρων είναι το φίλτρο μέσου όρου, το διωνυμικό και το φίλτρο μεσαίας τιμής
- Τα **υψιπερατά φίλτρα** ενισχύουν περιοχές της εικόνας που χαρακτηρίζονται ως υψηλής συχνότητας. Μέσω αυτών γίνεται ενίσχυση των ακμών της εικόνας-εισόδου. Παραδείγματα τέτοιων φίλτρων είναι τα φίλτρα α' και β' παραγώγου.[2]

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης εφαρμόστηκαν στην εικόνα-εισόδου φίλτρα εξομάλυνσης (χαμηλοδιαβατά φίλτρα) προκειμένου να απομακρυνθεί από αυτήν ο περιττός θόρυβος.

Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν σε αυτήν τα ακόλουθα:

- 1 φίλτρο διωνυμικό (binomial)
- 2 φίλτρο του Gauss
- 3 φίλτρο μεσαίας τιμής (median)
- 4 φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης
- 5 φίλτρο αμφίπλευρο (bilateral)

Τα φίλτρα ανισοτροπικής διάχυσης και αμφίπλευρο (bilateral) εξομαλύνουν την εικόνα εισόδου και ταυτόχρονα διατηρούν τις εικονιζόμενες ακμές.

4.4.2 Διωνυμικό (Binomial) φίλτρο

Γενικά

Το εν λόγω φίλτρο θολώνει την εικόνα σε κάθε διάσταση. Αποτελεί μία προσέγγιση του φίλτρου Gauss με διακριτές τιμές και στην ουσία πρόκειται για ένα φίλτρο μέσου όρου με βάρη.

Το παρόν φίλτρο εφαρμόστηκε στο κόκκινο κανάλι της πολυφασματικής εικόνας της Μελβούρνης μέσω της βιβλιοθήκης *orfeo toolbox* (Παράρτημα). Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε στην επεξεργασμένη εικόνα ο αλγόριθμος LSD.

Αξιολόγηση Εφαρμογής

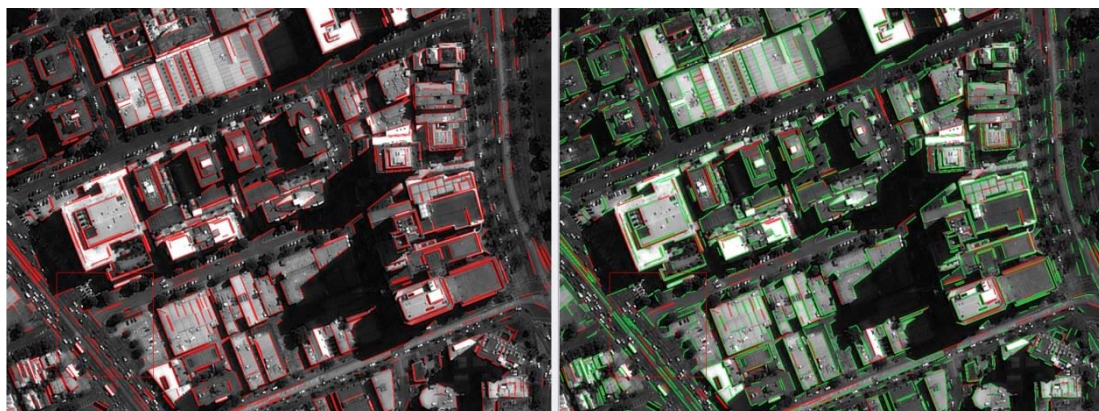
Αρχικά, σημειώνεται πως ο αριθμός των ευθύγραμμων τμημάτων στην εξομαλυμένη εικόνα είναι μεγαλύτερος (20631) συγκριτικά με εκείνον που προέκυψε έπειτα από εφαρμογή του LSD στη μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού (12642).

Περιοχές αστικής δόμησης

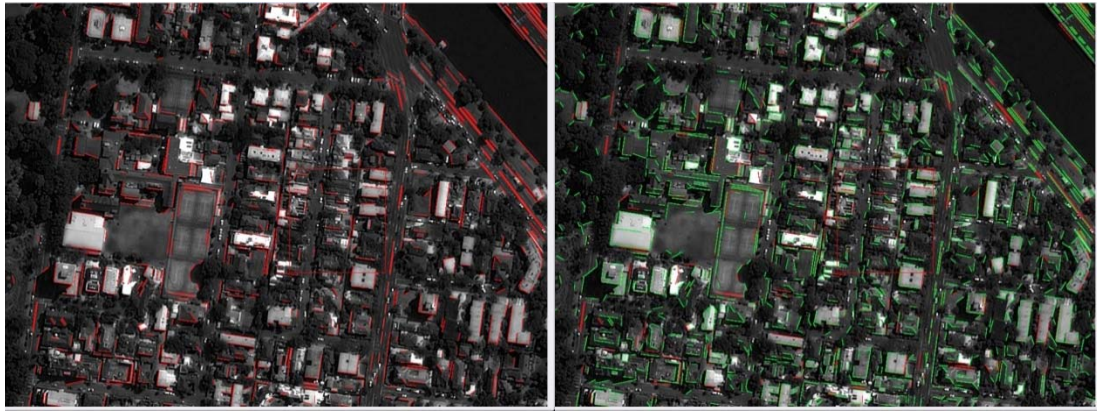
Ο αλγόριθμος LSD έχει εντοπίσει μεγάλο αριθμό ευθύγραμμων τμημάτων στις αστικές περιοχές που απεικονίζονται στην Εικόνα 4.30. Αναλυτικά, τα συμπεράσματα που προέκυψαν έπειτα από φωτοερμηνεία στο παραγόμενο αποτέλεσμα είναι πως ο αριθμός των γραμμών που λανθασμένα δεν έχουν αποδοθεί από τον αλγόριθμο, δηλαδή των *False Negatives*, στο τελικό αποτέλεσμα είναι σχετικά μικρός. Από το παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα, πως η συγκεκριμένη εφαρμογή χαρακτηρίζεται από μικρό σφάλμα παράλειψης και συνεπώς το κριτήριο της πληρότητας ικανοποιείται.

Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, πως το εξαγόμενο αποτέλεσμα είναι λεπτομερέστερο συγκριτικά με εκείνο που προέκυψε έπειτα από εφαρμογή του LSD στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα γκριζών τόνων του κόκκινου καναλιού.

Τέλος, παρατηρείται, πως οι γραμμές είναι τοποθετημένες στις σωστές θέσεις και δεν εντοπίζονται ιδιαίτερα προβλήματα σε ό,τι αφορά τη συνένωση των ευθύγραμμων τμημάτων στις άκρες των κτιρίων.



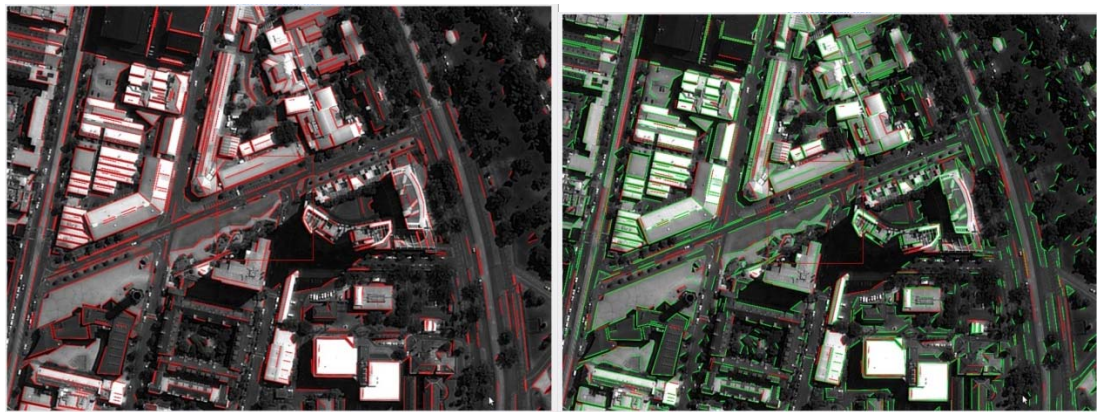
Εικόνα 4.30: Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.



Εικόνα 4.31 Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Οδικό Δίκτυο

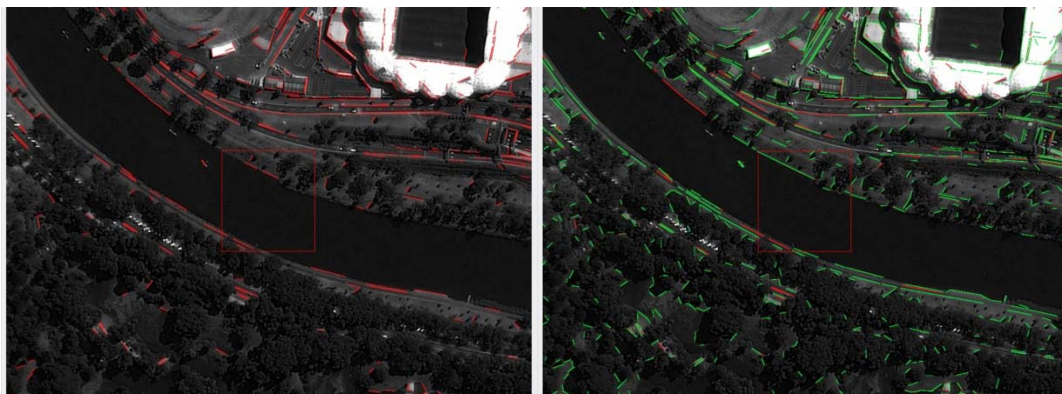
Η ανίχνευση του οδικού δικτύου στη συγκεκριμένη επεξεργασμένη εικόνα δίνει αξιόλογα αποτελέσματα (Εικόνα 4.32). Συγκεκριμένα, εντοπίζεται αρκετά μεγάλος αριθμός από True Positives, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα πως το κριτήριο της πληρότητας ικανοποιείται σε μεγάλο βαθμό. Μάλιστα, στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουν ανιχνευθεί ακμές τόσο σε ευθύγραμμα όσο και σε καμπύλα τμήματα του οδικού δικτύου. Παράλληλα, ο αριθμός των False Positives είναι περιορισμένος, συνεπώς το κριτήριο της ορθότητας ικανοποιείται στη δεδομένη εφαρμογή. Είναι εμφανές, επίσης, πως το αποτέλεσμα είναι εμπλουτισμένο συγκριτικά με εκείνο που προέκυψε έπειτα από εφαρμογή του LSD στην εικόνα γκριζων τόνων του κόκκινου καναλιού.



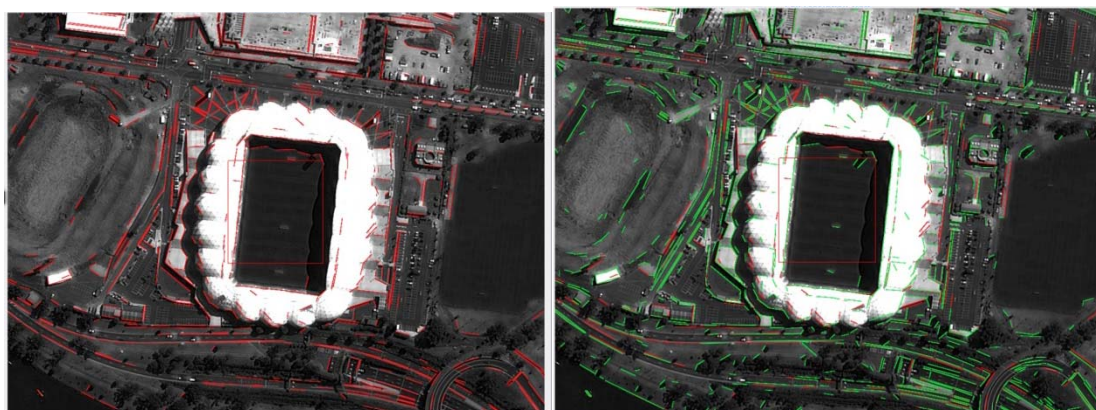
Εικόνα 4.32: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο εικονιζόμενο οδικό δίκτυο στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης. Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Απόδοση καμπύλων τμημάτων

Σε ό,τι αφορά την απόδοση των καμπύλων τμημάτων (Εικόνα 4.33- Εικόνα 4.35) τα αποτελέσματα του αλγορίθμου μπορούν να χαρακτηριστούν ως ποιοτικά. Αναλυτικά, εμφανίζεται αρκετά μεγάλος αριθμός ορθώς ανιχνευμένων ευθύγραμμων τμημάτων που περιγράφουν καμπύλες ακμές και παράλληλα το πλήθος των False Positives είναι περιορισμένο. Συνεπώς, ικανοποιείται το κριτήριο της ορθότητας και ως ένα βαθμό της πληρότητας. Σε ό,τι αφορά το τελευταίο ο αλγόριθμος έχει περιθώρια βελτίωσης.

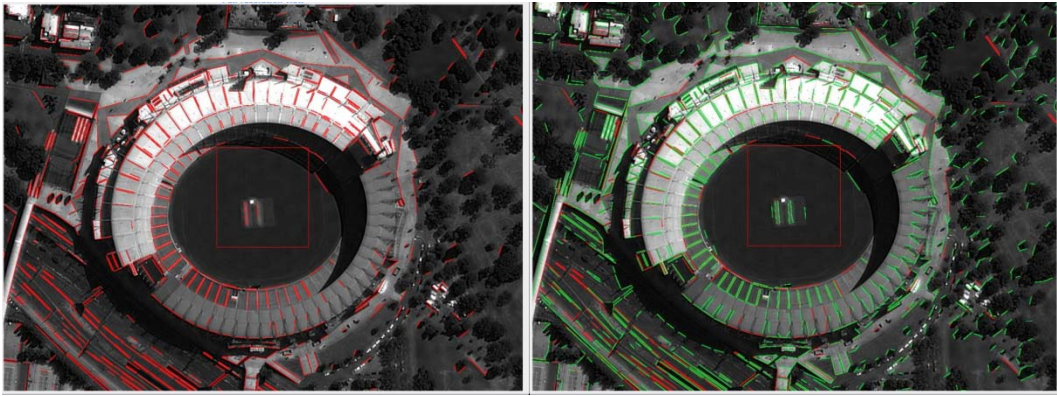


Εικόνα 4.33: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.



Εικόνα 4.34: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

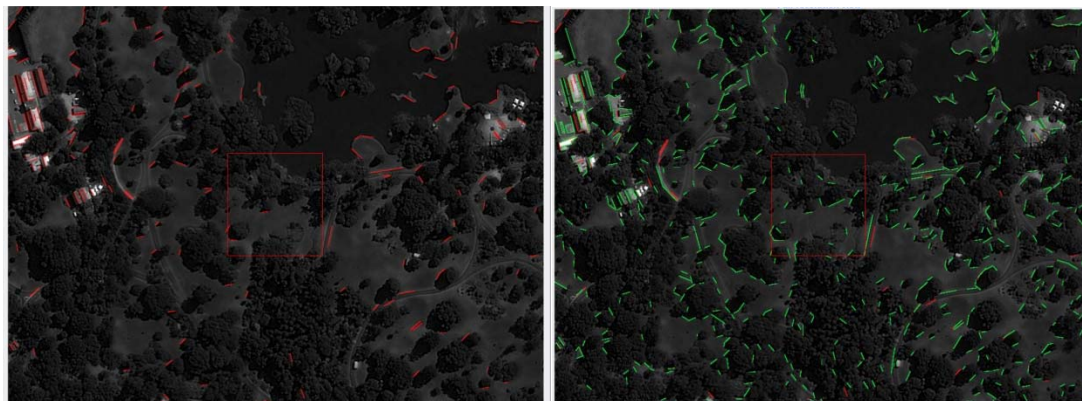
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ



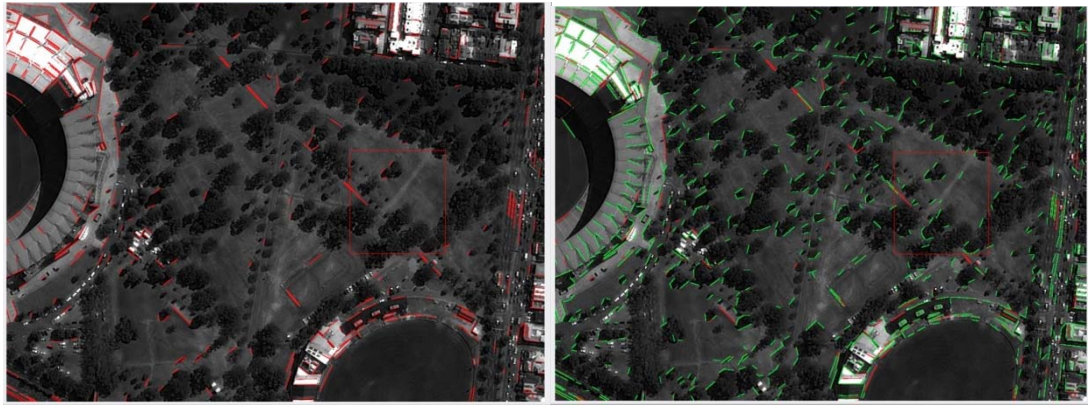
Εικόνα 4.35: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (τρίτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Μη επιθυμητά αντικείμενα

Η εξομάλυνση της εικόνας μέσω του διωνυμικού φίλτρου επιβάρυνε το τελικό αποτέλεσμα με περιττή πληροφορία, καθώς οδήγησε σε αύξηση των γραμμών που εντοπίζονται σε μη επιθυμητά αντικείμενα, όπως μικρά δένδρα σε υπαίθριους χώρους. (Εικόνα 4.36, Εικόνα 4.37).

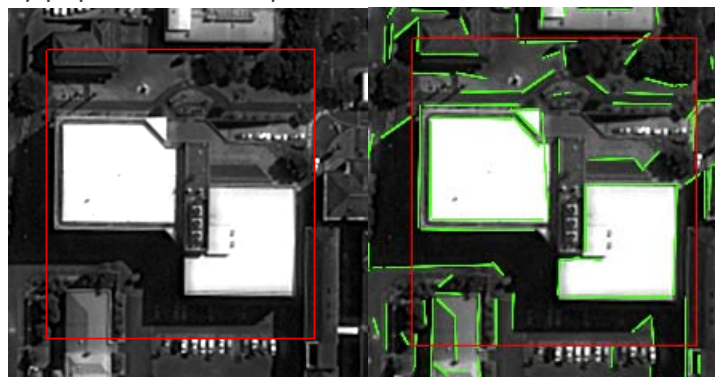


Εικόνα 4.36: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.



Εικόνα 4.37: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων:



Εικόνα 4.38: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.

Από την Εικόνα 4.38 προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων:

	True Positives	False Positives	False Negatives
Εξομαλυμένη εικόνα	17	1	6
Εικόνα γκριζων τόνων κόκκινου καναλιού	16	6	7

Πίνακας 4.15: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παρά-λειψης	Σφάλμα Συμπερίληψης
Εξομαλυμένη εικόνα	94.44%	73.91%	70.83%	26.09%	4.35%
Εικόνα γκρίζων τόνων κόκκινου καναλιού	72.73%	69.57%	55.17%	30.43%	26.09%

Πίνακας 4.16: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το διωνυμικό φίλτρο (δείκτες ποιότητας).

Συμπεράσματα εφαρμογής φίλτρου LSD στην εξομαλυμένη μέσω διωνυμικού φίλτρου εικόνα:

- Η εφαρμογή του φίλτρου LSD έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά το κριτήριο της πληρότητας στην ανίχνευση γραμμών σε ανθρωπογενή αντικείμενα αποτελούμενα από ευθύγραμμα τμήματα.
- Ο αριθμός των ευθύγραμμων τμημάτων που περιγράφουν καμπύλες ακμές είναι μεγαλύτερος συγκριτικά με άλλες εφαρμογές. (με εξαίρεση την περίπτωση προεπεξεργασίας εικόνας μέσω φίλτρου gauss)
- Το πλήθος των False Positives στο εμφανιζόμενο αποτέλεσμα είναι αμελητέο. Από το παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα πως το κριτήριο της ορθότητας ικανοποιείται και στη συγκεκριμένη περίπτωση.
- Ο αλγόριθμος παρείχε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά την ακρίβεια εντοπισμού των θέσεων των ακμών.
- Το αποτέλεσμα είναι απογοητευτικό σε ό,τι αφορά τη συνεκτικότητα των γραμμών στην τελική εικόνα.
- Η επιμέρους εφαρμογή του αλγορίθμου LSD σε τμήματα της εξομαλυμένης εικόνας θα οδηγήσει σε λεπτομερέστερη απόδοση των εικονιζόμενων ακμών.

4.4.3 Φίλτρο Gauss

Γενικά

Το φίλτρο Gauss χρησιμοποιείται εκτενώς σε πλήθος τηλεπισκοπικών εφαρμογών. Ανήκει στην κατηγορία των χαμηλοπερατών φίλτρων και επομένως η εφαρμογή του εξομαλύνει την εικόνα-εισόδου.

Η μαθηματική συνάρτηση που δίνει τις τιμές των στοιχείων του φίλτρου δίνονται μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$a_{x,y} = \frac{1}{\sum a_{x,y}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

όπου x, y οι συντεταγμένες των στοιχείων του πίνακα ως προς το κεντρικό στοιχείο αυτού.

Όπως προκύπτει από το παραπάνω οι τιμές του φίλτρου έχουν κανονική κατανομή ως προς το κεντρικό εικονοστοιχείο. Όσο αυξάνεται η απόσταση του γειτονικού εικονοστοιχείου από το κεντρικό (δηλαδή το εικονοστοιχείο-εισόδου) τόσο μειώνεται η επίδραση του στην εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος.

Τα σημεία με απόσταση από το κέντρο της μάσκας μεγαλύτερη των 3σ έχουν μηδενική επίδραση. (Καρράς Γ., Διαφάνειες Φωτογραμμετρίας 3, 2011)

Το παρόν φίλτρο εφαρμόστηκε στο κόκκινο κανάλι της πολυφασματικής εικόνας της Μελβούρνης μέσω της βιβλιοθήκης `orfeo toolbox` (Παράρτημα). Η τιμή της παραμέτρου σ τέθηκε ίση με 2. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε στην επεξεργασμένη εικόνα ο αλγόριθμος LSD.

Αξιολόγηση Εφαρμογής

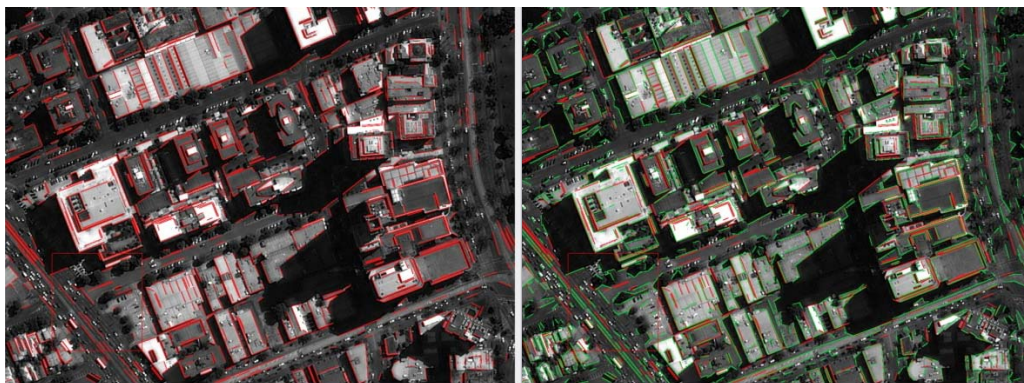
Ο αριθμός των γραμμών που προέκυψαν στην εξομαλυμένη εικόνα είναι πολύ μεγαλύτερος (26384) συγκριτικά με εκείνον που σημειώθηκε έπειτα από εφαρμογή του LSD στη μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού (12642). Το παραπάνω οφείλεται στο γεγονός πως η εφαρμογή του φίλτρου Gauss εξομάλυνε την εικόνα-εισόδου.

Περιοχές αστικής δόμησης

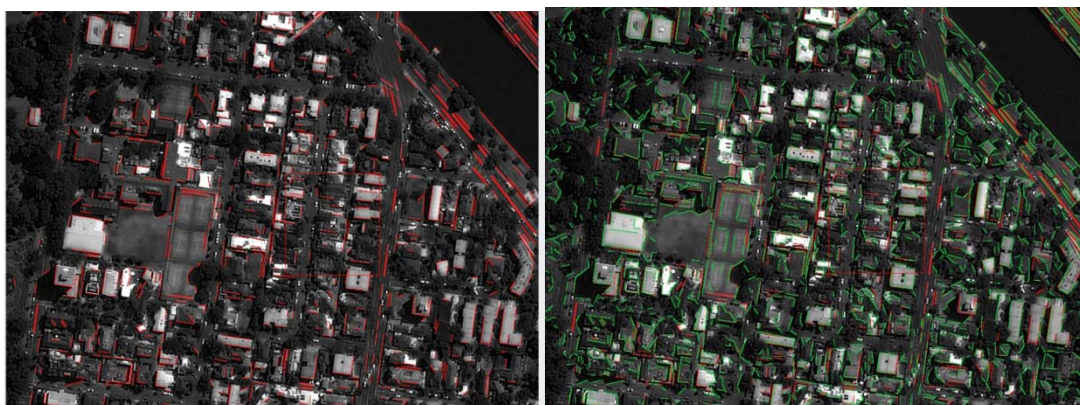
Ο αλγόριθμος LSD είναι αποδοτικός στην ανίχνευση ευθύγραμμων τμημάτων σε αστικές περιοχές στη συγκεκριμένη εφαρμογή (Εικόνα 4.39, Εικόνα 4.40). Αναλυτικά, εμφανίζεται μεγάλος αριθμός από γραμμές που έχουν ορθώς αποδοθεί από τον αλγόριθμο, δηλαδή από True Positives διανυσματικά δεδομένα. Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα, πως το συγκεκριμένο αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται ως ορθό. Επιπλέον, παρατηρείται, πως ο αριθμός των γραμμών που λανθασμένα δεν έχουν αποδοθεί από τον αλγόριθμο, δηλαδή των False Negatives, στο τελικό αποτέλεσμα είναι σχετικά περιορισμένος. Επομένως, η συγκεκριμένη εφαρμογή χαρακτηρίζεται από μικρό σφάλμα παράλειψης και συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί σε μεγάλο βαθμό πλήρης.

Η εφαρμογή του LSD στην εξομαλυμένη εικόνα οδήγησε σε ένα σαφώς εμπλουτισμένο αποτέλεσμα συγκριτικά με εκείνο της αρχικής μη επεξεργασμένης εικόνας γκρίζων τόνων του κόκκινου καναλιού. Αυτό επιβεβαιώνεται από το γεγονός, πως στη νέα ανιχνεύεται μεγαλύτερος αριθμός από True Positives δεδομένα. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως στο πλήθος των απεικονιζόμενων ευθύγραμμων τμημάτων συμπεριλαμβάνεται στη συγκεκριμένη περίπτωση ανεπιθύμητη πληροφορία, όπως για παράδειγμα μικρά ευθύγραμμα τμήματα σε εικονιζόμενα δέντρα (Εικόνα 4.39). Επιπλέον, παρατηρείται, πως μέρος True Positives δεδομένων που εμφανίζονται στην αρχική παραλείπεται. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί πως το εξαγόμενο αποτέλεσμα είναι ισοδύναμο με εκείνο που προέκυψε έπειτα από εφαρμογή του LSD στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα γκρίζων τόνων του κόκκινου καναλιού.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως οι γραμμές είναι τοποθετημένες στις σωστές θέσεις. Επιπλέον, το συγκεκριμένο αποτέλεσμα είναι βελτιωμένο σε ό,τι αφορά τη συνένωση των ευθύγραμμων τμημάτων συγκριτικά με εκείνα των εφαρμογών που προηγούνται.



Εικόνα 4.39: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μεμβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.



Εικόνα 4.40: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Οδικό Δίκτυο

Το αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD στη δοθείσα εικόνα είναι ενθαρρυντικό (Εικόνα 4.41). Το συγκεκριμένο ικανοποιεί ως ένα βαθμό το κριτήριο της πληρότητας, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τον εντοπισμό μεγάλου αριθμού True Positives δεδομένων. Μάλιστα, η εφαρμογή του αλγορίθμου αποκλειστικά στο συγκεκριμένο τμήμα της εικόνας θα οδηγήσει σε ένα πληρέστερο και συνεπώς λεπτομερέστερο αποτέλεσμα.

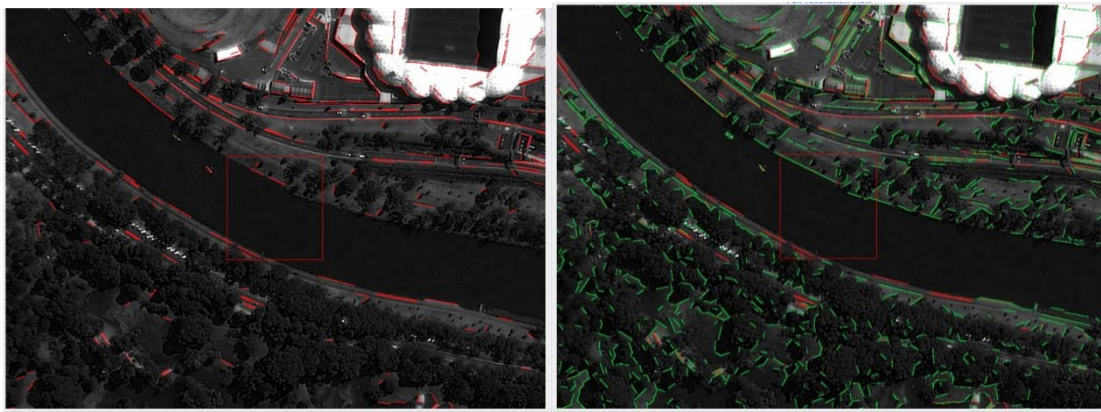
Επιπροσθέτως, είναι εμφανές πως η απόδοση των ακμών στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι πιο ποιοτική συγκριτικά με εκείνη στην περίπτωση της εικόνας γκριζων τόνων εικόνας του κόκκινου καναλιού.



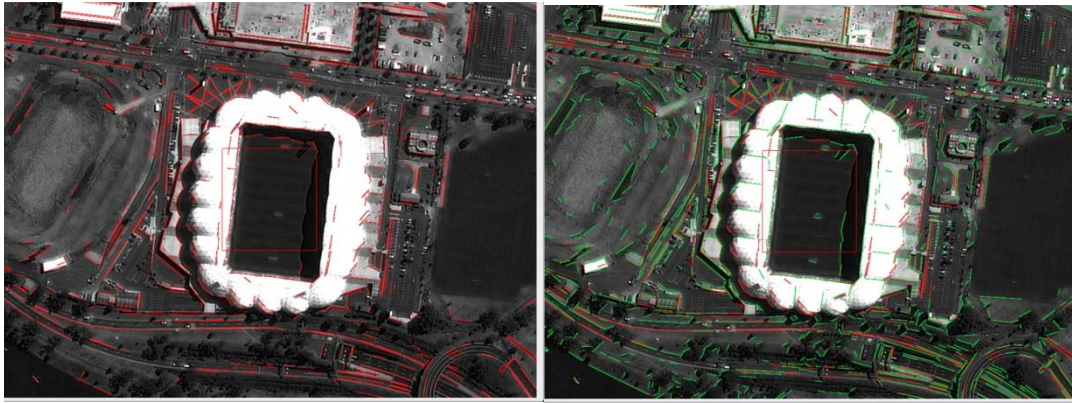
Εικόνα 4.41: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο εικονιζόμενο οδικό δίκτυο στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης. Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Απόδοση καμπύλων τμημάτων

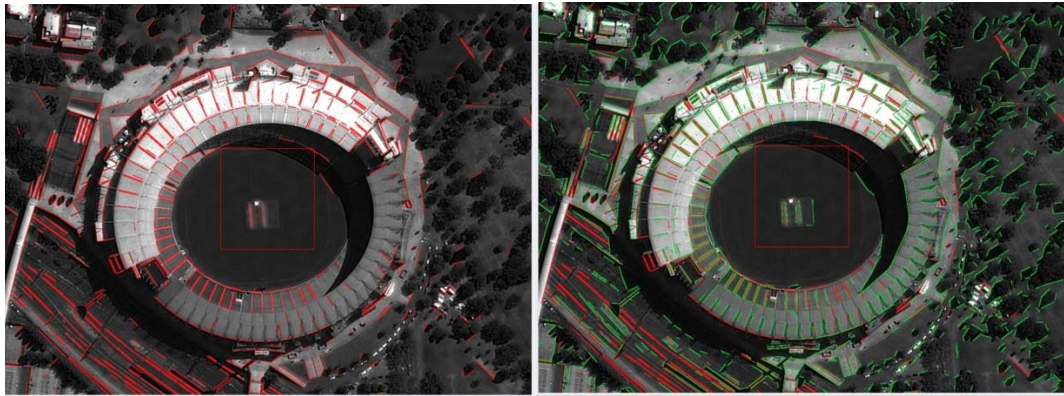
Σε ό,τι αφορά την απόδοση των καμπύλων τμημάτων το αποτέλεσμα είναι πληρέστερο συγκριτικά με εκείνο που προέκυψε έπειτα από εφαρμογή του LSD στην εικόνα γκριζων τόνων του κόκκινου καναλιού (Εικόνα 4.42- Εικόνα 4.44). Ωστόσο, ο αλγόριθμος έχει περιθώρια βελτίωσης. Η επιμέρους εφαρμογή του LSD σε τμήματα της εικόνας στα οποία εμφανίζονται καμπύλα τμήματα θα αυξήσει το επίπεδο λεπτομέρειας και συνεπώς την τιμή του δείκτη της πληρότητας στο τελικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 4.42: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.



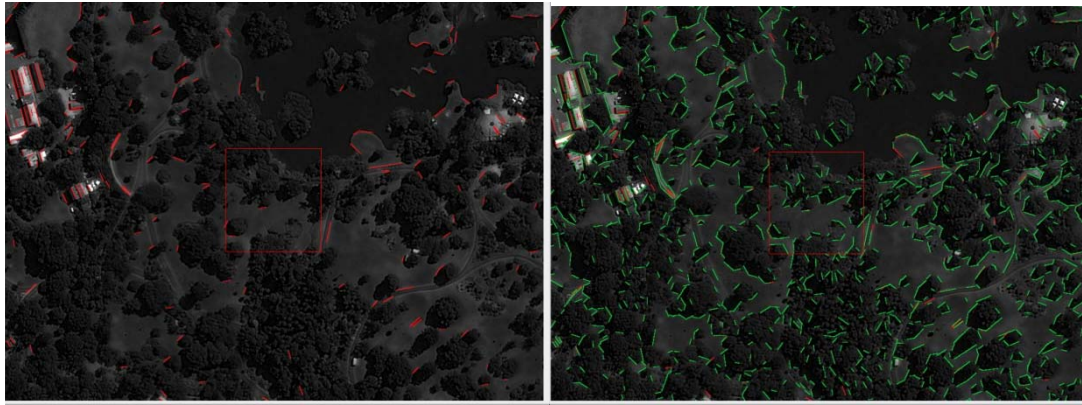
Εικόνα 4.43: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.



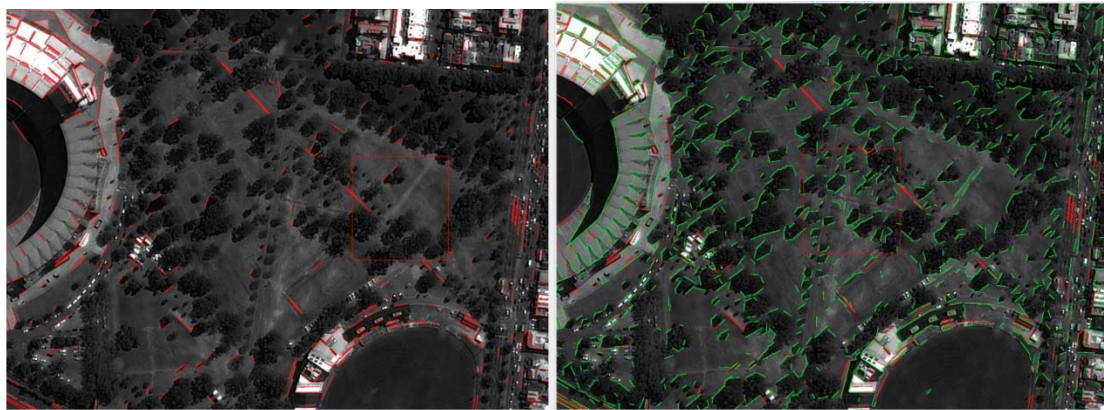
Εικόνα 4.44: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (τρίτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Μη επιθυμητά αντικείμενα

Η εξομάλυνση της εικόνας μέσω του φίλτρου Gauss, οδήγησε σε αξιοσημείωτη αύξηση των ευθύγραμμων τμημάτων που εντοπίζονται σε μη επιθυμητά αντικείμενα. Μάλιστα, ο αριθμός των διανυσματικών δεδομένων που χαρακτηρίζονται ως ανεπιθύμητη πληροφορία στη δοθείσα περίπτωση είναι μεγαλύτερος σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη μορφή προεπεξεργασίας της εικόνας-εισόδου. Στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 4.45, Εικόνα 4.46) παρουσιάζεται το αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου ανίχνευσης γραμμών σε τμήματα της εικόνας μελέτης όπου εμφανίζονται υπαίθριοι χώροι.



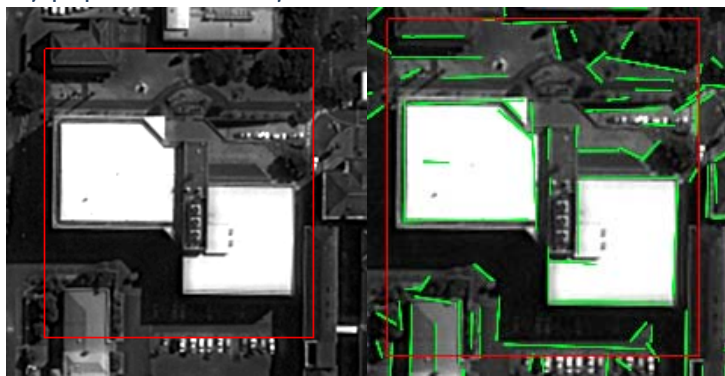
Εικόνα 4.45: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.



Εικόνα 4.46: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων:



Εικόνα 4.47: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.

Από την Εικόνα 4.47 προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων.

	True Positives	False Positives	False Negatives
Εξομαλυμένη εικόνα	15	3	8
Εικόνα γκρίζων τόνων κόκκινου καναλιού	16	6	7

Πίνακας 4.17: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παράλειψης	Σφάλμα Συμπερίληψης
Εξομαλυμένη εικόνα	83.33%	65.22%	57.69%	34.78%	13.04%
Εικόνα γκρίζων τόνων κόκκινου καναλιού	72.73%	69.57%	55.17%	30.43%	26.09%

Πίνακας 4.18: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο Gauss (δείκτες ποιότητας).

Συμπεράσματα εφαρμογής φίλτρου LSD στην εξομαλυμένη μέσω φίλτρου Gauss εικόνα:

- Η εφαρμογή του φίλτρου LSD έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά το κριτήριο της πληρότητας στην ανίχνευση γραμμών σε ανθρωπογενή αντικείμενα αποτελούμενα από ευθύγραμμα τμήματα.
- Ο αλγόριθμος παρείχε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά την ακρίβεια εντοπισμού της θέσης των ευθύγραμμων τμημάτων και τη συνεκτικότητα αυτών.
- Το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό σε ό,τι αφορά την προσέγγιση καμπύλων ακμών μέσω ευθύγραμμων τμημάτων. Υπάρχουν, ωστόσο, αρκετά περιθώρια βελτίωσης.
- Το αποτέλεσμα είναι απογοητευτικό σε ό,τι αφορά την ανίχνευση μη επιθυμητών ευθυγράμμων τμημάτων σε υπαιθρίους χώρους.

Επομένως, η προεπεξεργασία της εικόνας της Μεμβούρνης με το φίλτρο Gauss και η εφαρμογή σε αυτήν του LSD οδηγεί σε λεπτομερή απόδοση των ακμών της εικόνας. Το αποτέλεσμα, όμως, «φορτώνεται» με περιττή πληροφορία, καθώς εντοπίζεται πολύ μεγάλος αριθμός από ευθύγραμμα τμήματα σε δέντρα.

4.4.4 Φίλτρο μεσαίας τιμής (median)

Γενικά

Το παρόν φίλτρο ανήκει στην κατηγορία των χαμηλοπερατών φίλτρων. Η διαδικασία που ακολουθείται για να αποδοθεί η ψηφιακή τιμή στο εικονοστοιχείο- εξόδου είναι η ακόλουθη: Αρχικά, οι ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων στην περιοχή που ορίζει η μάσκα κατατάσσονται σε αύξουσα σειρά και εντοπίζεται η μεσαία τιμή. Η τιμή αυτή εκχωρείται στο αντίστοιχο εικονοστοιχείο εξόδου.

Τα χαρακτηριστικά του εν λόγω φίλτρου είναι τα ακόλουθα:

- Η εικόνα- μελέτης εξομαλύνεται, οι ακμές της εικόνας, ωστόσο, διατηρούνται.
- Είναι κατάλληλο για την αφαίρεση θορύβου τύπου αλατοπίπερο (salt – and – pepper noise).
- Δεν επηρεάζεται από ακραίες τιμές λόγω θορύβου. (Καρράς Γ., Διαφάνειες Φωτογραμμετρίας 3, 2011)

Το παρόν φίλτρο εφαρμόστηκε στο κόκκινο κανάλι της πολυφασματικής εικόνας της Μελβούρνης μέσω της βιβλιοθήκης *orfeo toolbox* (Παράρτημα). Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε στην επεξεργασμένη εικόνα ο αλγόριθμος LSD.

Αξιολόγηση Εφαρμογής

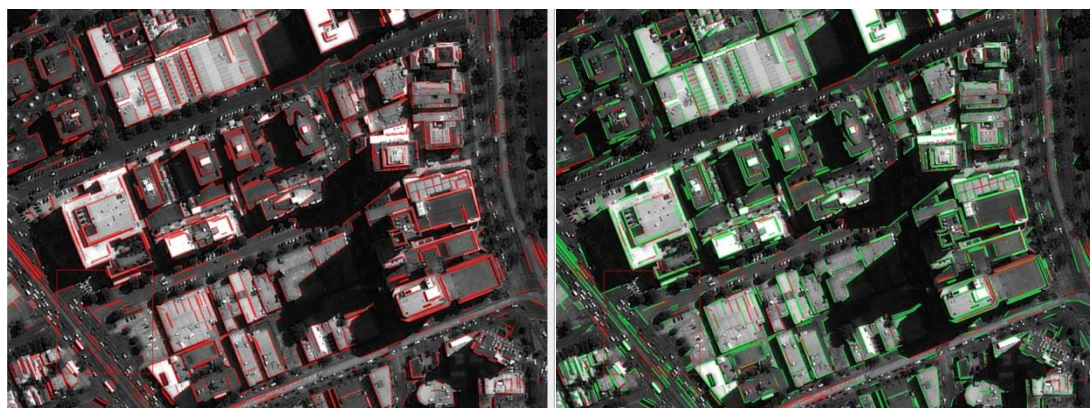
Αρχικά, σημειώνεται πως ο αριθμός των γραμμών που προέκυψαν στην εξομαλυμένη εικόνα είναι μεγαλύτερος (13008) συγκριτικά με εκείνον που σημειώθηκε έπειτα από εφαρμογή του LSD στη μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού (12642). Το παραπάνω οφείλεται στο γεγονός πως η εφαρμογή του φίλτρου μεσαίας τιμής απομάκρυνε μερικώς το θόρυβο από την εικόνα-εισόδου.

Περιοχές αστικής δόμησης

Ο αλγόριθμος LSD έχει εντοπίσει αξιόλογο αριθμό ευθύγραμμων τμημάτων στην αστική περιοχή που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.48. Έπειτα από προσεκτική παρατήρηση στο εξαγόμενο αποτέλεσμα, διαπιστώνεται πως τα ευθύγραμμα τμήματα που σημειώνονται έχουν ορθώς αποδοθεί από τον αλγόριθμο. Συνεπώς, μεγάλο ποσοστό των παραγόμενων διανυσματικών δεδομένων χαρακτηρίζεται ως True Positives. Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα, πως το συγκεκριμένο αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται ως ορθό. Επιπλέον, παρατηρείται, πως ο αριθμός των γραμμών που λανθασμένα δεν έχουν αποδοθεί από τον αλγόριθμο, δηλαδή των False Negatives, στο τελικό αποτέλεσμα είναι σχετικά μικρός. Επομένως, η συγκεκριμένη εφαρμογή χαρακτηρίζεται από μικρό σφάλμα παράλειψης και συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί σε μεγάλο βαθμό πλήρης.

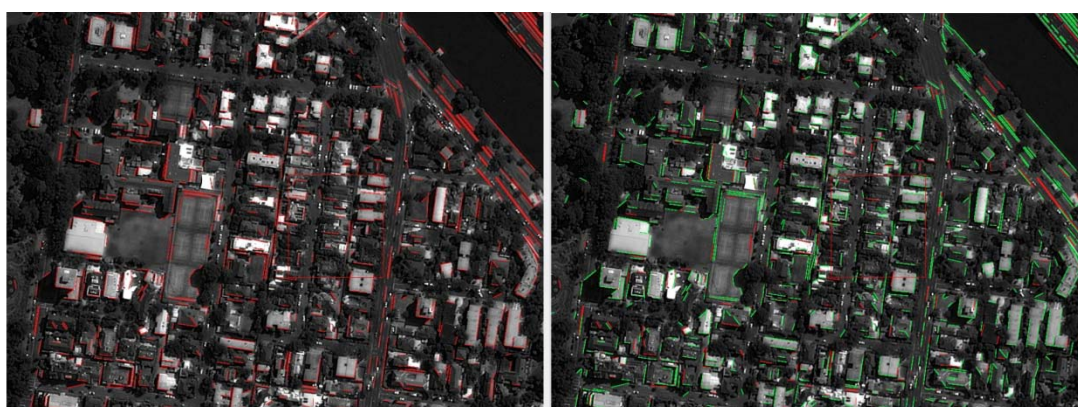
Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, πως το εξαγόμενο αποτέλεσμα είναι ισοδύναμο με εκείνο που προέκυψε έπειτα από εφαρμογή του LSD στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα γκριζών τόνων του κόκκινου καναλιού. Πιο αναλυτικά, στο αποτέλεσμα της εξομαλυμένης εικόνας ανιχνεύονται μεν νέα ευθύγραμμα τμήματα, παράλληλα, ωστόσο, παραλείπεται μέρος της πληροφορίας που εμφανίζεται στο αρχικό αποτέλεσμα.

Τέλος, παρατηρείται πως οι γραμμές είναι τοποθετημένες στις σωστές θέσεις. Ωστόσο, εντοπίζονται προβλήματα σε ό,τι αφορά τη συνένωση των γραμμών στις άκρες των κτιρίων.



Εικόνα 4.48: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μεμβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 4.49), εμφανίζεται το αποτέλεσμα του LSD σε αστική περιοχή, η οποία ευρίσκεται σε διαφορετική περιοχή της εικόνας μελέτης. Είναι εμφανές πως στην περίπτωση αυτή, η ανίχνευση γραμμών δε χαρακτηρίζεται εξίσου επιτυχής με εκείνη στην Εικόνα 4.48. Πιο αναλυτικά, ο αριθμός των ευθύγραμμων τμημάτων που αποτυπώνονται ορθώς στη νέα περιοχή μελέτης, είναι αμελητέος συγκριτικά με τον πραγματικό και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο δείκτης πληρότητας να εμφανίζει μικρές τιμές στην Εικόνα 4.49. Το παραπάνω οφείλεται στο γεγονός, πως οι ακμές των κτιρίων στη συγκεκριμένη περιοχή είναι μικρές σε μήκος συγκριτικά με το συνολικό μέγεθος της εικόνας. Η αποκοπή του συγκεκριμένου τμήματος της εικόνας μελέτης και η επιμέρους εφαρμογή του LSD σε αυτό θα οδηγήσει στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, πως στην Εικόνα 4.49 δεν εμφανίζονται False Positives. Επομένως, το εξαγόμενο διανυσματικό αποτέλεσμα είναι ορθό.

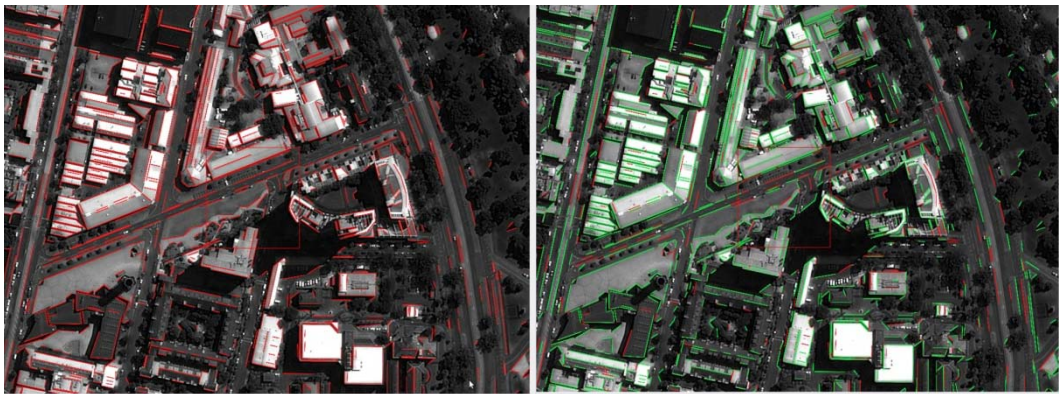


Εικόνα 4.49: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μεμβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Οδικό Δίκτυο

Στην περίπτωση της ανίχνευσης οδικού δικτύου τα αποτελέσματα εφαρμογής του συγκεκριμένου αλγορίθμου κρίνονται ικανοποιητικά. Συγκεκριμένα, τα διανυσματικά δεδομένα που προέκυψαν καλύπτουν σε μεγάλο βαθμό την υπάρχουσα πληροφορία, όπως εμφανίζεται στην Εικόνα 4.50. Ως εκ τούτου, εξάγεται το συμπέρασμα πως το αποτέλεσμα είναι ως ένα βαθμό πλήρες. Η πληρότητα του αποτελέσματος θα βελτιωθεί εμφανώς στην περίπτωση εφαρμογής του αλγορίθμου αποκλειστικά στο συγκεκριμένο τμήμα της εικόνας. Σχετικά με το κριτήριο της ορθότητας παρατηρείται πως ο αριθμός των False Positives είναι περιορισμένος, συνεπώς το συγκεκριμένο ικανοποιείται στην παρούσα περίπτωση.

Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί, πως το αποτέλεσμα είναι πληρέστερο συγκριτικά με εκείνο που προέκυψε, έπειτα από εφαρμογή του LSD στην εικόνα γκριζων τόνων εικόνα του κόκκινου καναλιού. Συγκεκριμένα, ανιχνεύτηκε μεγαλύτερος αριθμός από True Positives ευθύγραμμα τμήματα, τα οποία λειτουργούν συμπληρωματικά στην απόδοση του οδικού δικτύου.



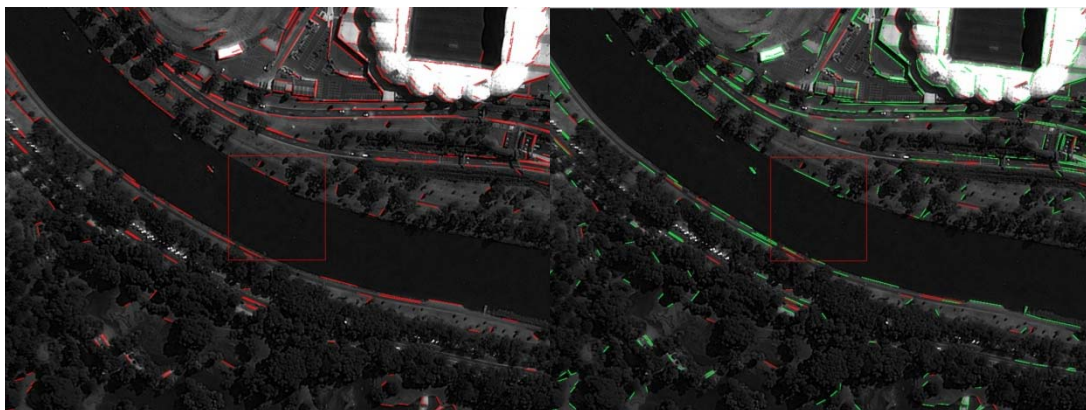
Εικόνα 4.50: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο εικονιζόμενο οδικό δίκτυο στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης. Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Απόδοση καμπύλων τμημάτων

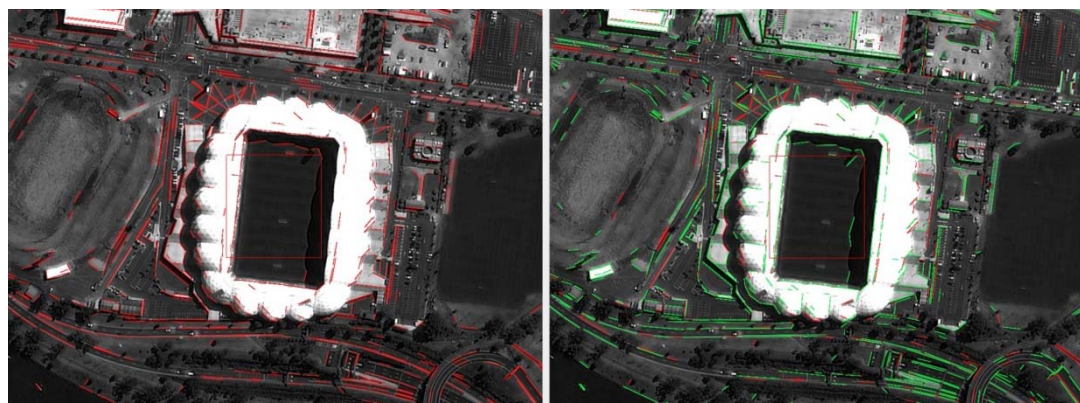
Σε ό,τι αφορά την απόδοση των καμπύλων τμημάτων, τα αποτελέσματα του αλγορίθμου δεν είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος έχει εντοπίσει μικρό αριθμό από True Positives διανυσματικά δεδομένα και σημαντικό μέρος απαραίτητης πληροφορίας απουσιάζει. Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα, πως το κριτήριο της πληρότητας δεν ικανοποιείται σε ό,τι αφορά την απόδοση καμπύλων ακμών.

Είναι εμφανές, πάντως, πως η ανίχνευση καμπυλών στην επεξεργασμένη εικόνα είναι λεπτομερέστερη της αρχικής. Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός των ανιχνευμένων διανυσματικών δεδομένων έχει αυξηθεί και το πλήθος των False Positives είναι περιορισμένο. Στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 4.51- Εικόνα 4.53) παρουσιάζονται τμήματα της αρχικής και της επεξεργασμένης εικόνας έπειτα από εφαρμογή του αλγορίθμου LSD σε αυτές.

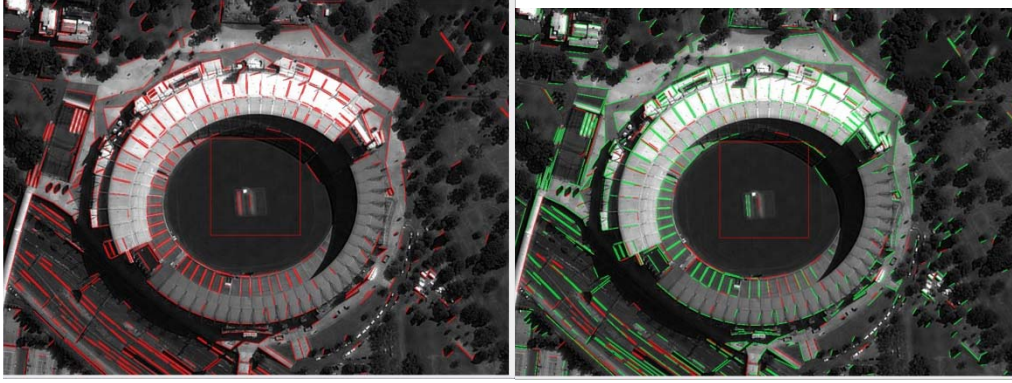
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ



Εικόνα 4.51: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μεμβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Κάτω: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.



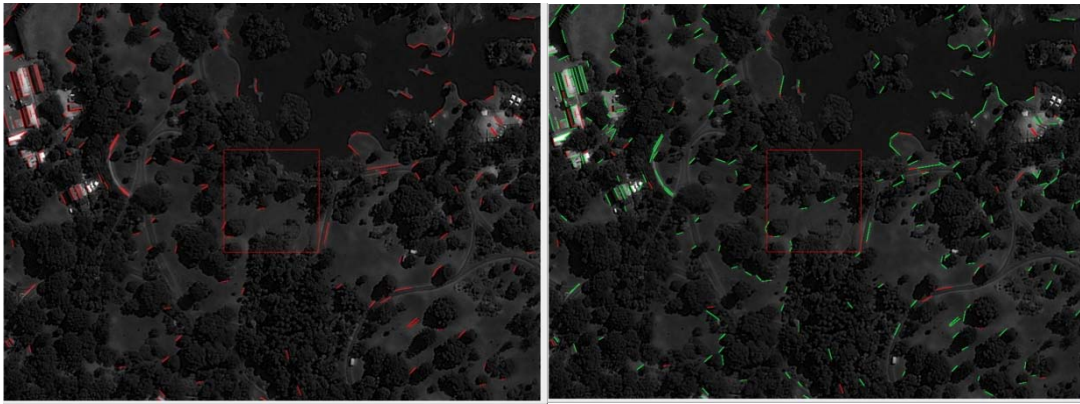
Εικόνα 4.52: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μεμβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.



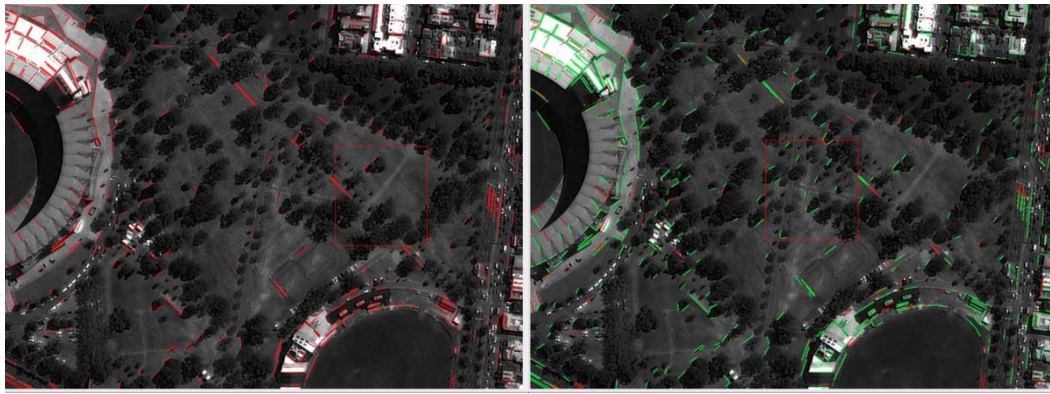
Εικόνα 4.53: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (τρίτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Μη επιθυμητά αντικείμενα

Η εξομάλυνση της εικόνας μέσω του φίλτρου μεσαίας τιμής οδήγησε σε αύξηση των ευθύγραμμων τμημάτων που εντοπίζονται σε μη επιθυμητά αντικείμενα, όπως μικρά δένδρα σε υπαίθριους χώρους. Το παραπάνω συμπέρασμα προέκυψε, έπειτα από σύγκριση του συγκεκριμένου αποτελέσματος με εκείνου της μη επεξεργασμένης εικόνας γκριζων τόνων του κόκκινου καναλιού (Εικόνα 4.54, Εικόνα 4.55).

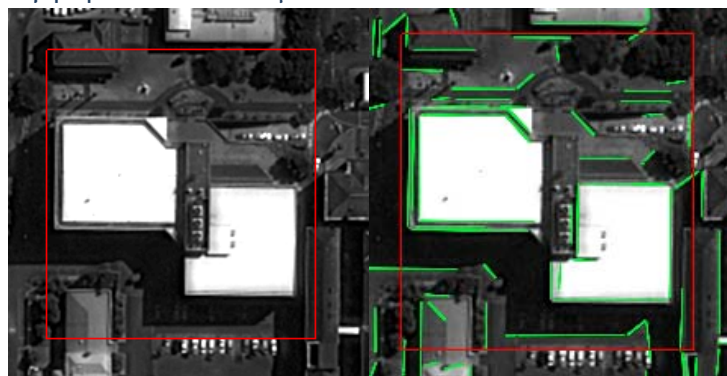


Εικόνα 4.54: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.



Εικόνα 4.55: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων



Εικόνα 4.56: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.

Από την Εικόνα 4.56 προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία του Πίνακα 4.19 αφορούν στο πλήθος των ευθύγραμμων τμημάτων που ορθώς ανιχνεύτηκαν από τον αλγόριθμο (True Positives), εκείνων που έχουν ανιχνευτεί από λάθος του αλγορίθμου (False Positives) καθώς και εκείνων που δεν έχουν ανιχνευτεί από λάθος του αλγορίθμου (False Negatives). Βάσει των παραπάνω υπολογίζονται οι δείκτες ορθότητας και πληρότητας, καθώς και το σφάλμα παράλειψης και συμπερίληψης (Πίνακας 4.20).

	True Positives	False Positives	False Negatives
Εξομαλυμένη εικόνα	16	3	7
Εικόνα γκριζων τόνων κόκκινου καναλιού	16	6	7

Πίνακας 4.19: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παρά- λειψης	Σφάλμα Συ- μπερίληψης
Εξομαλυμένη εικόνα	84.21%	69.57%	61.54%	30.43%	13.04%
Εικόνα γκριζων τόνων κόκκι- νου καναλιού	72.73%	69.57%	55.17%	30.43%	26.09%

Πίνακας 4.20: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο μεσαίας τιμής (δείκτες ποιότητας).

Συμπεράσματα εφαρμογής φίλτρου LSD στην εξομαλυμένη μέσω του φίλτρου μεσαίας τιμής εικόνα:

- Η εφαρμογή του φίλτρου LSD έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά το κριτήριο της πληρότητας στην ανίχνευση γραμμών σε ανθρωπογενή αντικείμενα αποτελούμενα από ευθύγραμμα τμήματα.
- Το πλήθος των False Positives στο εμφανιζόμενο αποτέλεσμα είναι αμελητέο. Από το παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα πως το κριτήριο της ορθότητας ικανοποιείται.
- Ο αλγόριθμος παρείχε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά την ακρίβεια εντοπισμού της θέσης των ακμών.
- Προβλήματα εντοπίζονται σε περιπτώσεις ανίχνευσης καμπύλων ακμών.
- Το αποτέλεσμα είναι απογοητευτικό σε ό,τι αφορά τη συνεκτικότητα των γραμμών στην τελική εικόνα.
- Η επιμέρους εφαρμογή του αλγορίθμου LSD σε τμήματα της εξομαλυμένης εικόνας θα οδηγήσει σε λεπτομερέστερη απόδοση των εικονιζόμενων ακμών.

4.4.5 Ανισοτροπική Διάχυση (Anisotropic Diffusion)

Γενικά

Η ανισοτροπική διάχυση διατυπώθηκε πρώτη φορά από τους Perona και Malik (1990).

Σε αντίθεση με τα συνήθη φίλτρα εξομαλυνσης, η ανισοτροπική διάχυση απομακρύνει το θόρυβο από την εικόνα-εισόδου και ταυτόχρονα δεν αλλοιώνει τις εικονιζόμενες ακμές

Αυτό, πρακτικά, επιτυγχάνεται ως εξής: Στην εξίσωση της ανισοτροπική διάχυση συμπεριλαμβάνεται μεταβλητή, η οποία εξαρτάται από τη διαφορική δομή της εικόνας. Η μεταβλητή αυτή διαμορφώνεται με τρόπο τέτοιο ώστε η εξομαλυνση της εικόνας να περιορίζεται σε περιοχές με μεγάλο μέτρο πρώτης παραγώγου, δηλαδή με άλλα λόγια στις εικονιζόμενες ακμές. Συμβολίζεται με:

$$g_t = \frac{\partial g(x, y, t)}{\partial t}$$

όπου: $g(x, y, t)$ η εικόνα, που προκύπτει έπειτα από συνέλιξη της αρχικής με φίλτρο Gauss τυπικής απόκλισης σ .

Ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$g_t = \nabla c(|\nabla g|)\nabla g$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

όπου $c(|\nabla g|)$ συνάρτηση μειώνεται σε περιοχές της εικόνας με μεγάλο μέτρο κλίσης. Σημειώνεται, πως ορισμός της $c(|\nabla g|)$ ως:

$$c(|\nabla g|) = e^{-\frac{|\nabla g|^2}{2k^2}}$$

δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η παράμετρος k ή αλλιώς παράμετρος αγωγιμότητα (*conductance*) ελέγχει τη διαδικασία της εξομαλυνσης στη θέση ακμών. (The OTB Development Team, 2013)

Το παρόν φίλτρο εφαρμόστηκε στο κόκκινο κανάλι της πολυφασματικής εικόνας της Μεμβούρνης μέσω της βιβλιοθήκης *orfeo toolbox* (Παράρτημα). Η εφαρμογή του παρόντος φίλτρου απαιτούσε τον ορισμό συγκεκριμένων παραμέτρων. Οι τιμές, οι οποίες δόθηκαν στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι οι ακόλουθες:

- χρονικό βήμα (time step): 0.125
- αριθμός επαναλήψεων: 5

Τέλος σημειώνεται, πως η βιβλιοθήκη *Orfeo Toolbox* ορίζει τη συνάρτηση αγωγιμότητας ίση με:

$$C(x) = e^{-\left(\frac{\|U(x)\|}{k}\right)^2}$$

(The OTB Development Team, 2013)

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε στην επεξεργασμένη εικόνα ο αλγόριθμος LSD.

Αξιολόγηση Εφαρμογής

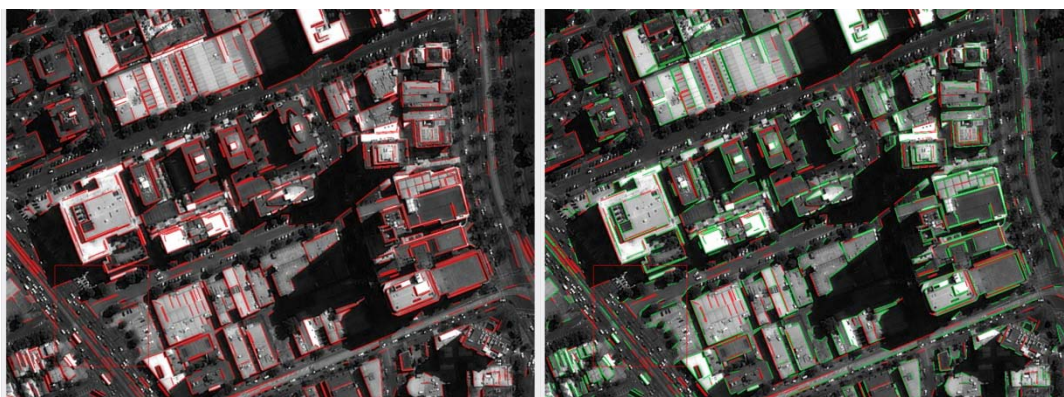
Αρχικά, σημειώνεται πως ο αριθμός των γραμμών στην εξομαλυμένη εικόνα είναι μικρότερος (12174) συγκριτικά με εκείνον που προέκυψε έπειτα από εφαρμογή του LSD στη μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού (12642).

Περιοχές αστικής δόμησης

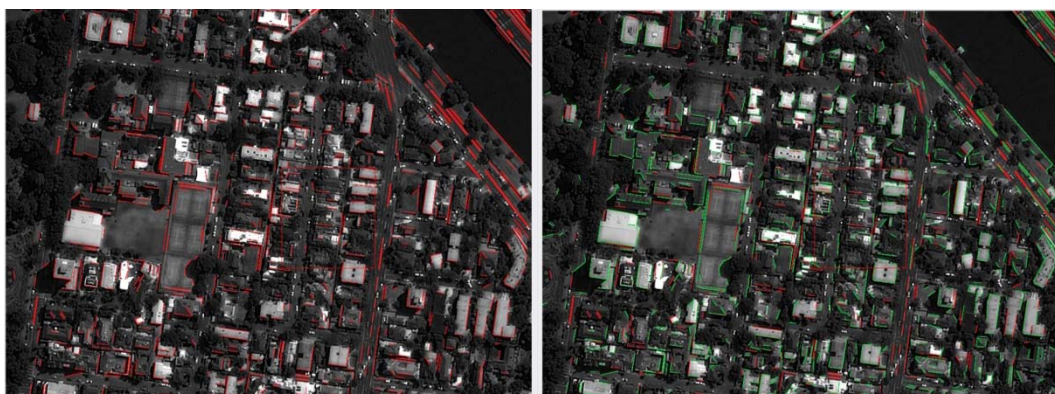
Ο αλγόριθμος LSD έχει εντοπίσει ικανοποιητικό αριθμό διανυσματικών δεδομένων στην αστική περιοχή που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.57. Μάλιστα, το συμπέρασμα που προέκυψε έπειτα από φωτοερμηνεία στο εξαγόμενο αποτέλεσμα είναι πως τα ευθύγραμμα τμήματα που σημειώνονται είναι, ως επί το πλείστον, True Positives. Συνεπώς, το συγκεκριμένο αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται ως ορθό. Επιπλέον, παρατηρείται πως ο αριθμός των γραμμών που λανθασμένα δεν έχουν αποδοθεί από τον αλγόριθμο, δηλαδή των False Negatives, είναι σχετικά μικρός. Από το παραπάνω, προκύπτει πως η συγκεκριμένη εφαρμογή χαρακτηρίζεται από μικρό σφάλμα παράλειψης και συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί σε μεγάλο βαθμό πλήρης.

Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, πως το αποτέλεσμα είναι λιγότερο λεπτομερές συγκριτικά με εκείνο που προέκυψε έπειτα από εφαρμογή του LSD στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα γκρίζων τόνων του κόκκινου καναλιού. Το παραπάνω επιβεβαιώνεται από το γεγονός πως ο αριθμός των διανυσματικών δεδομένων στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι μικρότερος συγκριτικά με εκείνον της μη επεξεργασμένης εικόνας.

Τέλος, παρατηρείται, πως οι γραμμές είναι τοποθετημένες στις σωστές θέσεις και δεν εντοπίζονται ιδιαίτερα προβλήματα σε ό,τι αφορά τις γραμμές συνένωσης στις άκρες των κτιρίων.



Εικόνα 4.57: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανιστροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.



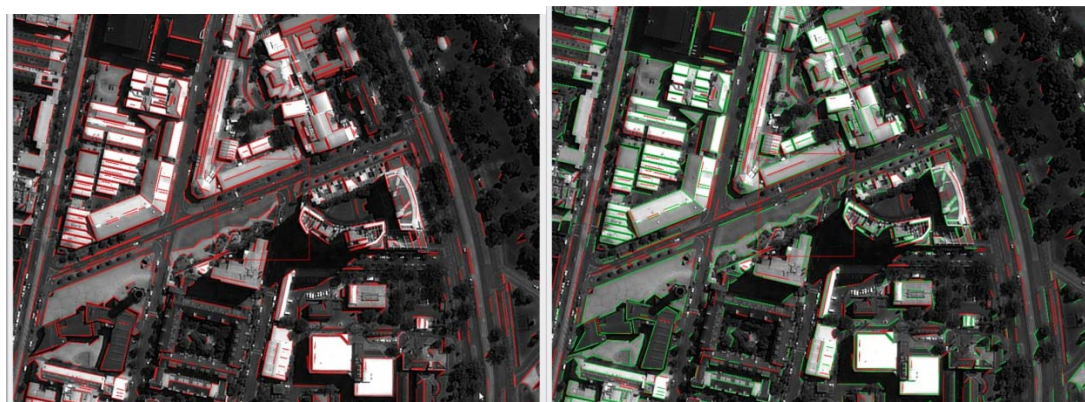
Εικόνα 4.58: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανιστροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Οδικό Δίκτυο

Στην περίπτωση της ανίχνευσης οδικού δικτύου τα αποτελέσματα εφαρμογής του συγκεκριμένου αλγορίθμου είναι απογοητευτικά. Συγκεκριμένα, τα διανυσματικά δεδομένα που προέκυψαν καλύπτουν σε ελάχιστο βαθμό την υπάρχουσα πληροφορία, όπως εμφανίζεται στην Εικόνα 4.59. Η πληρότητα του αποτελέσματος θα βελτιωθεί εμφανώς στην περίπτωση εφαρμογής του αλγορίθμου αποκλειστικά στο συγκεκριμένο τμήμα της εικόνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Επιπλέον, ο αριθμός των ευθύγραμμων τμημάτων που ανιχνεύτηκαν στη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι μικρότερος συγκριτικά αντίστοιχο στη εικόνα γκρίζων τόνων του κόκκινου καναλιού.



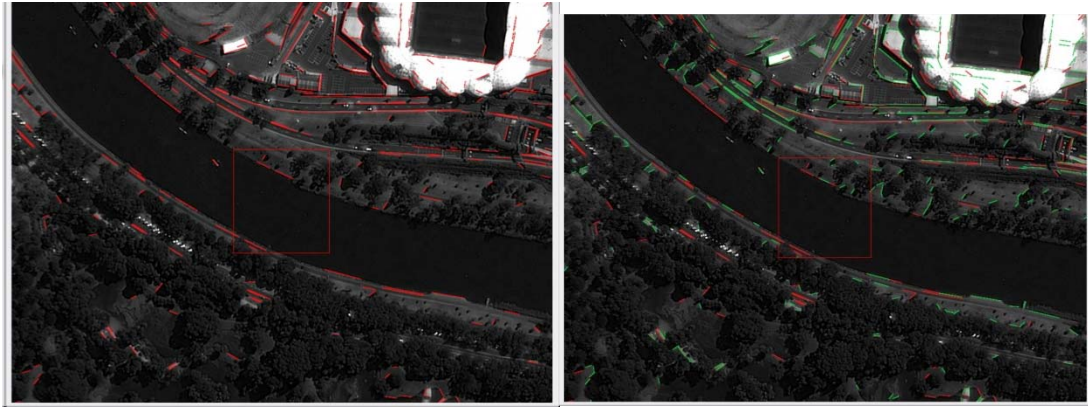
Εικόνα 4.59: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο εικονιζόμενο οδικό δίκτυο στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης. Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Απόδοση καμπύλων τμημάτων

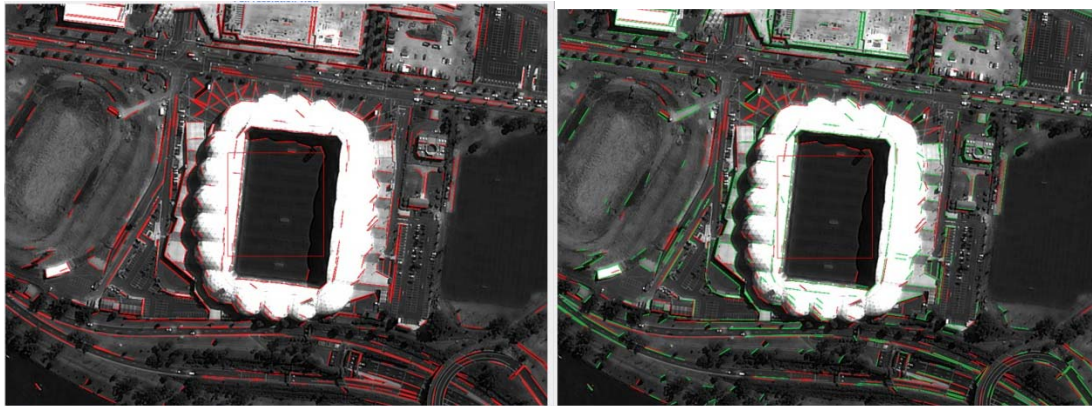
Σε ό,τι αφορά την απόδοση των καμπύλων τμημάτων τα αποτελέσματα του αλγορίθμου δεν είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος έχει εντοπίσει μικρό αριθμό από True Positives και σημαντικό μέρος απαραίτητης πληροφορίας απουσιάζει. Από τα παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα, πως το κριτήριο της πληρότητας δεν ικανοποιείται σε ό,τι αφορά την απόδοση καμπύλων ακμών.

Επιπλέον, παρατηρείται πως η ανίχνευση γραμμών στην επεξεργασμένη εικόνα είναι λιγότερο λεπτομερές συγκριτικά, με το αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD στην αρχική εικόνα του κόκκινου καναλιού. Είναι εμφανές, πως ο αριθμός των ανιχνευμένων διανυσματικών δεδομένων στην παρούσα εφαρμογή έχει μειωθεί και το πλήθος των False Positives είναι αυξημένο.

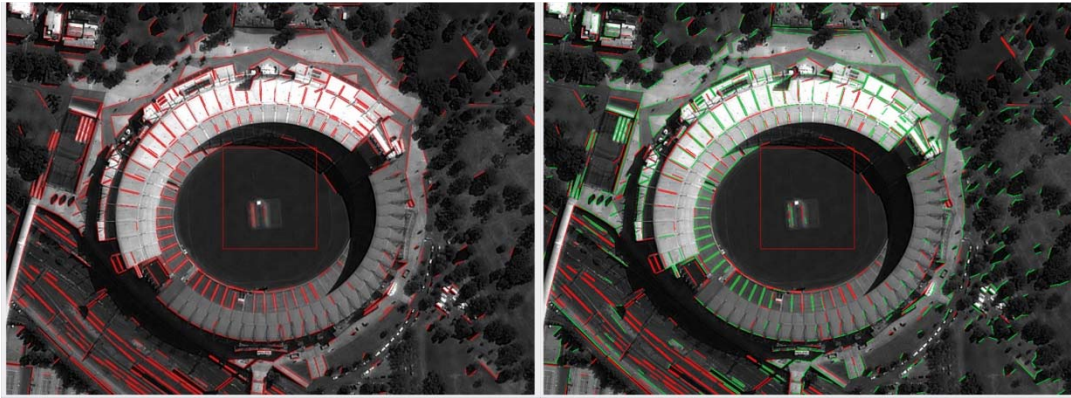
Στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 4.60- Εικόνα 4.62), παρουσιάζονται τμήματα της αρχικής και εξομαλυμένης εικόνας του κόκκινου καναλιού, έπειτα από εφαρμογή σε αυτές του αλγορίθμου LSD.



Εικόνα 4.60: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού



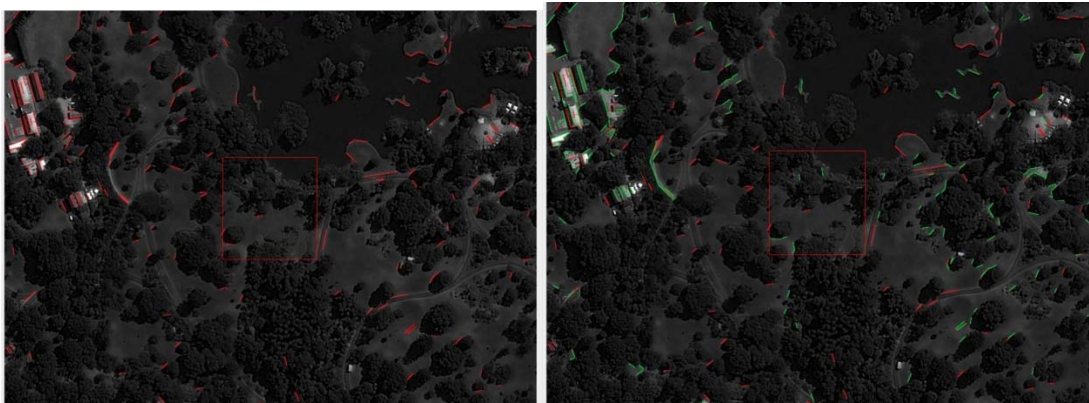
Εικόνα 4.61: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο κόκκινο κανάλι σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.



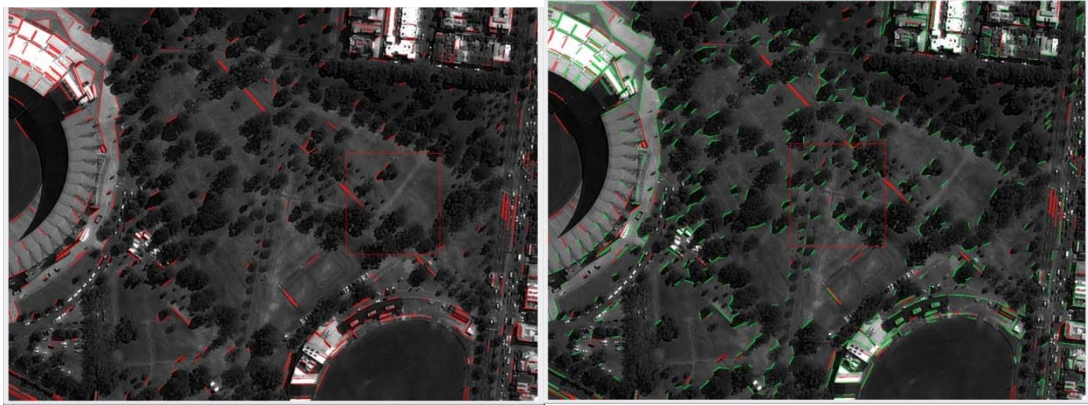
Εικόνα 4.62: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο κόκκινο κανάλι σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (τρίτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανιστροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Μη επιθυμητά αντικείμενα

Η εξομάλυνση της εικόνας μέσω του φίλτρου ανιστροπικής διάχυσης οδήγησε σε εμφανή αύξηση των ευθύγραμμων τμημάτων που εντοπίζονται σε μη επιθυμητά για τη χαρτογράφηση αστικής περιοχής αντικείμενα (Εικόνα 4.63, Εικόνα 4.64).

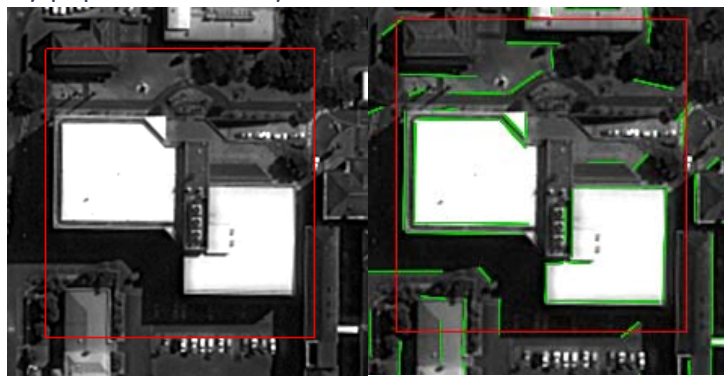


Εικόνα 4.63: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανιστροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.



Εικόνα 4.64: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στην εξομαλυμένη και με κόκκινο εκείνες στην αρχική μη επεξεργασμένη εικόνα του κόκκινου καναλιού.

Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων:



Εικόνα 4.65: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.

Από την Εικόνα 4.65 προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων.

	True Positives	False Positives	False Negatives
Εξομαλυμένη εικόνα	14	0	9
Εικόνα γκριζων τόνων κόκκινου καναλιού	16	6	7

Πίνακας 4.21: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παρά- λειψης	Σφάλμα Συ- μπερίληψης
Εξομαλυμένη εικόνα	100.00 %	60.87%	60.87%	39.13%	0.00%
Εικόνα γκρίζων τόνων κόκκι- νου καναλιού	72.73%	69.57%	55.17%	30.43%	26.09%

Πίνακας 4.22: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το φίλτρο ανισοτροπικής διάχυσης (δείκτες ποιότητας).

Συμπεράσματα εφαρμογής φίλτρου LSD στην εξομαλυμένη μέσω φίλτρου ανισοτροπικής διάχυσης εικόνα:

- Η εφαρμογή του φίλτρου LSD έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά το κριτήριο της πληρότητας στην ανίχνευση ευθυγράμμων ακμών σε κτίρια. Επιπλέον, ο αλγόριθμος παρείχε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά την ακρίβεια εντοπισμού της θέσης των ακμών και τη συνεκτικότητα αυτών.
- Το αποτέλεσμα είναι απογοητευτικό σε ό,τι αφορά την ανίχνευση του οδικού δικτύου, των καμπύλων ακμών και στην ανίχνευση μη επιθυμητών ευθυγράμμων τμημάτων σε υπαιθρίους χώρους.

4.4.6 Φίλτρο αμφίπλευρο (Bilateral)

Γενικά

Ομοίως με την ανισοτροπική διάχυση, το παρόν φίλτρο απομακρύνει το θόρυβο από την εικόνα-εισόδου και ταυτόχρονα δεν επηρεάζει τις εικονιζόμενες ακμές. Αποτελεί ένα μη γραμμικό χαμηλοπερατό φίλτρο, το οποίο παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τους Aurich and Weule το έτος 1995 με το όνομα “μη γραμμικό φίλτρο Gauss” (nonlinear Gaussian filter). Ακολούθως, ασχολήθηκαν με αυτό οι Tomasi και Manduchi το έτος 1998, οι οποίοι του έδωσαν και το όνομα αμφίπλευρο φίλτρο (Bilateral filter). Η έξοδος του φίλτρου σε κάθε εικονοστοιχείο είναι ένας σταθμισμένος μέσος όρος των γειτονικών σε αυτό εικονοστοιχείων. Το βάρος που αποδίδεται σε κάθε «γείτονα» εξαρτάται αφενός από την απόσταση του από το κεντρικό εικονοστοιχείο, αφετέρου από τη διαφορά της έντασης του γκρίζου τόνου του από την αντίστοιχη του κεντρικού.

Συγκεκριμένα, το παρόν φίλτρο ορίζεται ως εξής:

$$I_p^b = \frac{1}{W_p^b} \sum_{q \in S} G_{\sigma_s}(|p - q|) G_{\sigma_r}(|I_p - I_q|) I_q$$

όπου: $W_p^b = \sum_{q \in S} G_{\sigma_s}(|p - q|) G_{\sigma_r}(|I_p - I_q|)$

Στην παραπάνω σχέση:

- Η παράμετρος σ_s ρυθμίζει το μέγεθος του πυρήνα του φίλτρου.
- Η παράμετρος σ_r ρυθμίζει τα βάρη σε ό,τι αφορά τη διαφορά έντασης των εικονοστοιχείων
- Οι μεταβλητές p, q συμβολίζουν τις θέσεις του κεντρικού και του γειτονικού εικονοστοιχείου αντίστοιχα
- Οι μεταβλητές I_p, I_q συμβολίζουν την ένταση του γκρίζου τόνου στη θέση του κεντρικού και του γειτονικού εικονοστοιχείου αντίστοιχα (Paris S., Durand F., 2009)

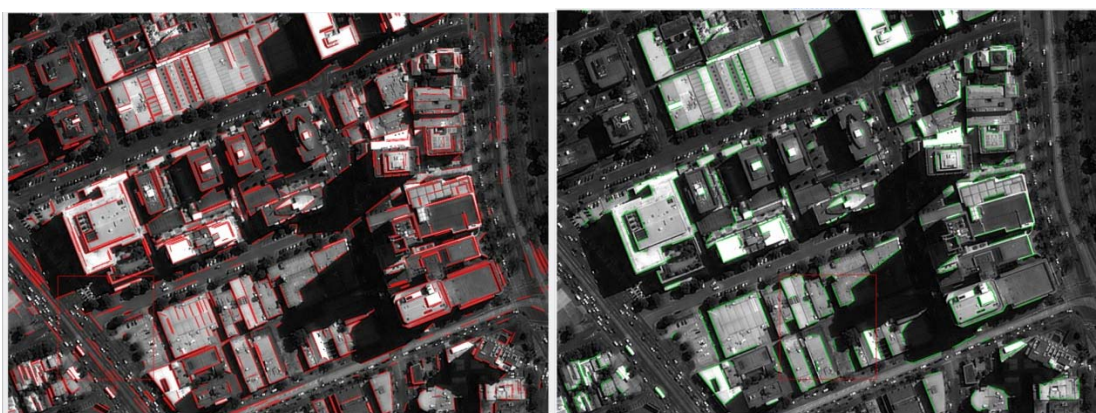
Αξιολόγηση Εφαρμογής

Το πλήθος των γραμμών στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν 3766.

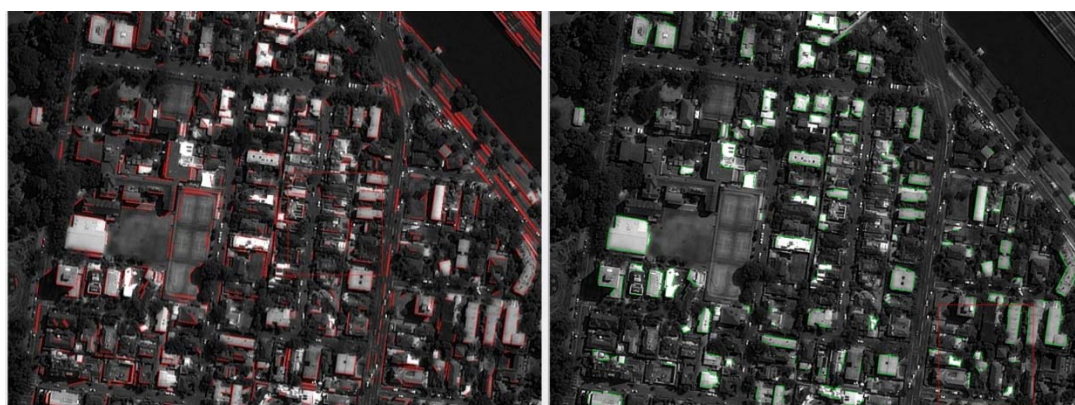
Περιοχές αστικής δόμησης

Ο αλγόριθμος LSD έχει εντοπίσει ελάχιστες γραμμές στις αστικές περιοχές που απεικονίζονται στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 4.66, Εικόνα 4.67). Μάλιστα, ο αριθμός των ευθυγράμμων τμημάτων που προέκυψαν στη δεδομένη περίπτωση είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο στην εικόνα γκρίζων τόνων του κόκκινου καναλιού. Από το παραπάνω, προκύπτει πως η συγκεκριμένη εφαρμογή είναι λιγότερο λεπτομερής συγκριτικά με την αρχική και συνεπώς το κριτήριο της πληρότητας δεν ικανοποιείται.

Αξίζει να σημειωθεί, ωστόσο, πως στο αποτέλεσμα δεν εντοπίζονται False Positives. Συνεπώς, το κριτήριο της ορθότητας ικανοποιείται.



Εικόνα 4.66: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.



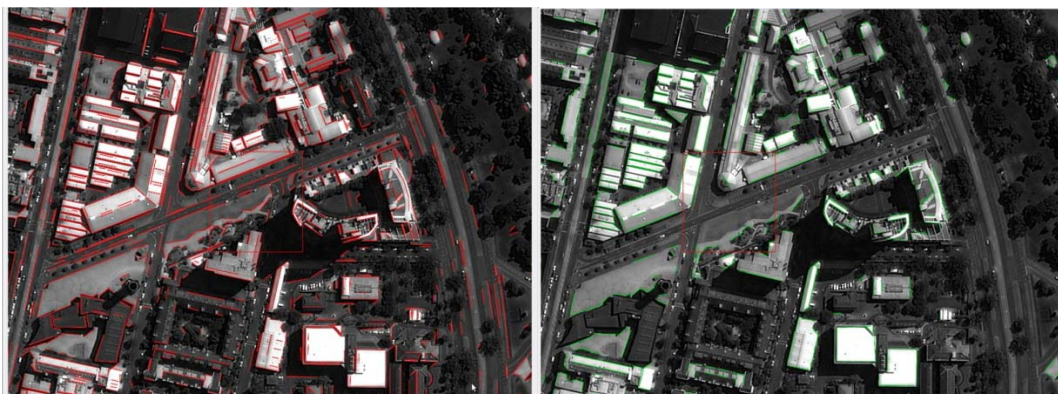
Εικόνα 4.67: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.

Οδικό Δίκτυο

Τα αποτελέσματα εφαρμογής του συγκεκριμένου αλγορίθμου είναι απογοητευτικά και στην περίπτωση της ανίχνευσης οδικού δικτύου. Συγκεκριμένα, τα διανυσματικά δεδομένα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

που προέκυψαν καλύπτουν σε ελάχιστο βαθμό την υπάρχουσα πληροφορία (Εικόνα 4.68). Συνεπώς, το κριτήριο της πληρότητας δεν ικανοποιείται σε ό,τι αφορά την απόδοση του οδικού δικτύου. Επιπλέον, επαληθεύεται το συμπέρασμα, πως ο αριθμός των γραμμών που ανιχνεύτηκαν στη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι μικρότερος συγκριτικά αντίστοιχο στην εικόνα γκριζων τόνων του κόκκινου καναλιού.

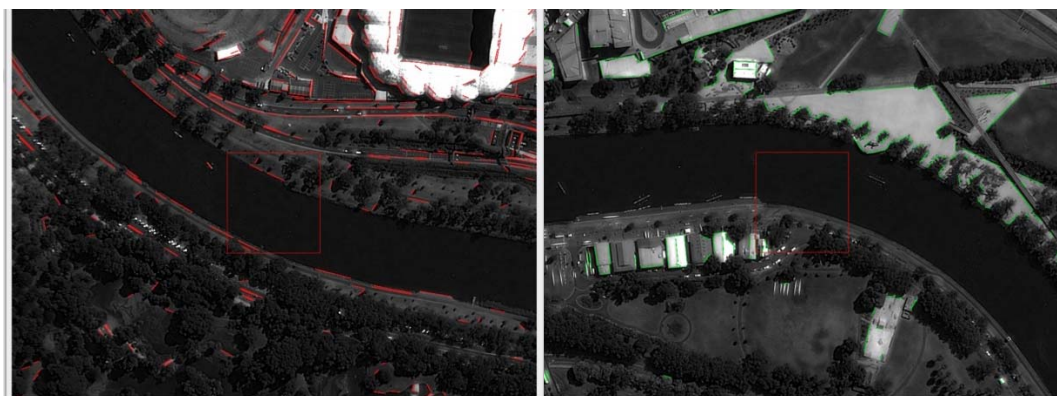


Εικόνα 4.68: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο εικονιζόμενο οδικό δίκτυο στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης. Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.

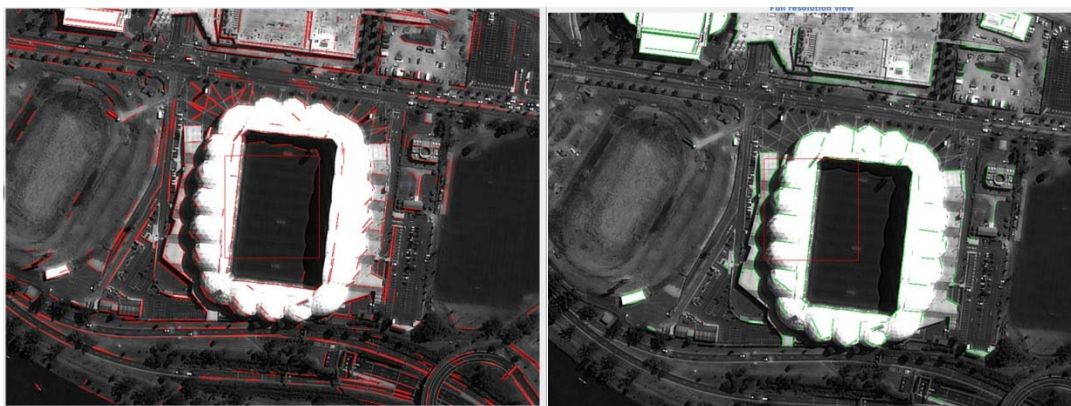
Απόδοση καμπύλων τμημάτων

Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου σε ό,τι αφορά την απόδοση των καμπύλων τμημάτων είναι αποθαρρυντικά. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος έχει εντοπίσει μικρό αριθμό από True Positives και σημαντικό μέρος απαραίτητης πληροφορίας απουσιάζει. Από τα παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα, πως το κριτήριο της πληρότητας δεν ικανοποιείται σε ό,τι αφορά την απόδοση καμπύλων ακμών.

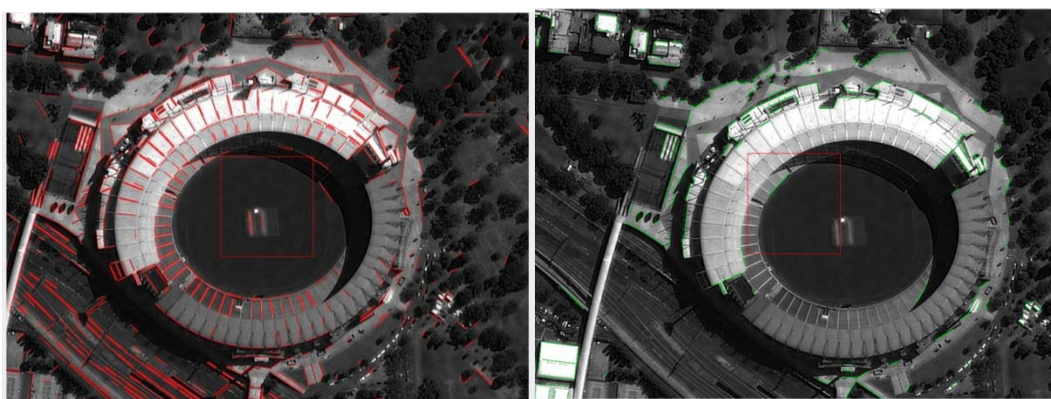
Στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 4.69- Εικόνα 4.71), παρουσιάζονται τμήματα της αρχικής και εξομαλυμένης εικόνας του κόκκινου καναλιού, έπειτα από εφαρμογή σε αυτές του αλγορίθμου LSD.



Εικόνα 4.69: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.



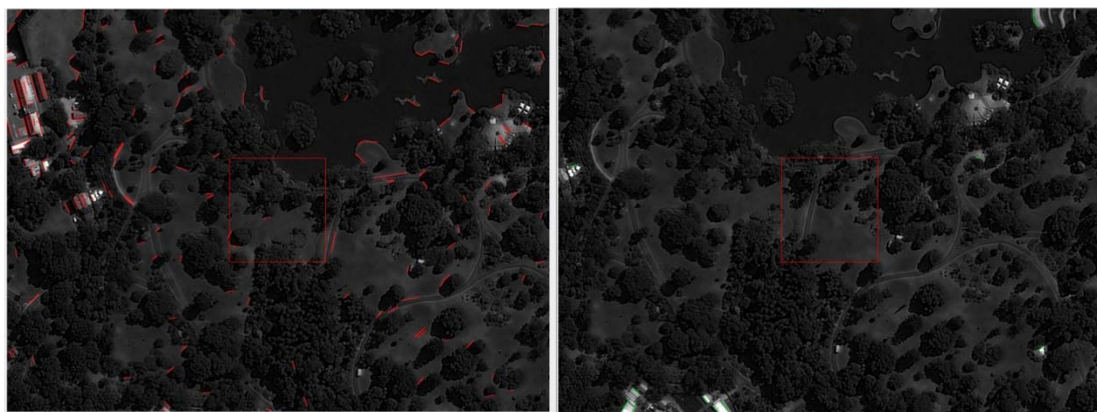
Εικόνα 4.70: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.



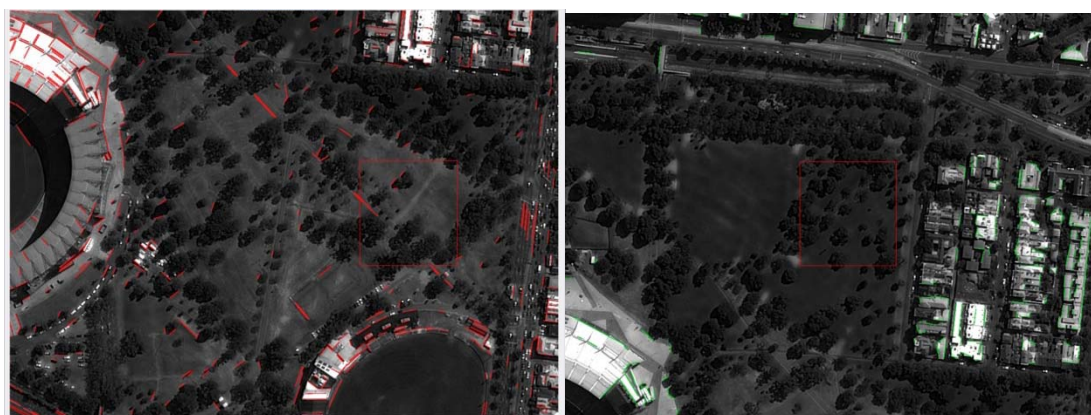
Εικόνα 4.71: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο κόκκινο κανάλι σε εικονιζόμενα καμπύλα τμήματα (τρίτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.

Μη επιθυμητά αντικείμενα

Το αποτέλεσμα είναι άκρως ικανοποιητικό σε ό,τι αφορά την απόδοση γραμμών που εντοπίζονται σε μη επιθυμητά για τη χαρτογράφηση αστικής περιοχής αντικείμενα. Ο αλγόριθμος δεν έχει εντοπίσει ευθύγραμμα τμήματα σε υπαίθριους χώρους (Εικόνα 4.72, Εικόνα 4.73).

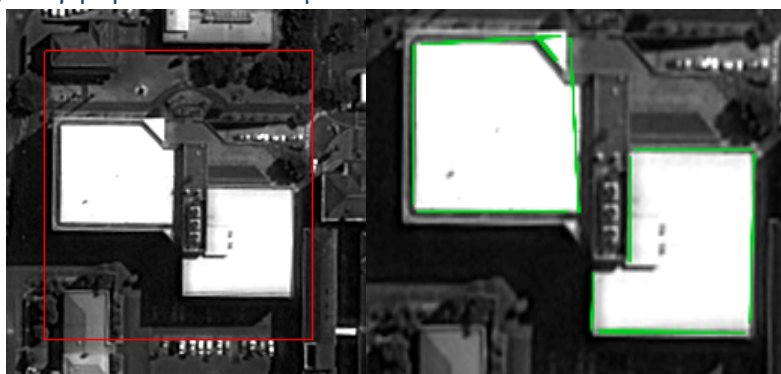


Εικόνα 4.72: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.



Εικόνα 4.73: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο.

Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων:



Εικόνα 4.74: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο. Στην εικόνα εμφανίζονται αντιπροσωπευτικές περιοχές αστικής δόμησης.

Από την Εικόνα 4.74 προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων.

	True Positives	False Positives	False Negatives
Εξομαλυμένη εικόνα	10	0	13
Εικόνα γκριζων τόνων κόκκινου καναλιού	16	6	7

Πίνακας 4.23: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο (αριθμός διανυσματικών δεδομένων).

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παρά-λειψης	Σφάλμα Συμπερίληψης
Εξομαλυμένη εικόνα	100.00 %	43.48%	43.48%	56.52%	0.00%
Εικόνα γκριζων τόνων κόκκινου καναλιού	72.73%	69.57%	55.17%	30.43%	26.09%

Πίνακας 4.24: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με το αμφίπλευρο φίλτρο (δείκτες ποιότητας).

Συμπεράσματα εφαρμογής φίλτρου LSD στην εξομαλυμένη μέσω αμφίπλευρου φίλτρου εικόνα:

- Η εφαρμογή του φίλτρου LSD έδωσε απογοητευτικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά το κριτήριο της πληρότητας στην ανίχνευση ευθυγράμμων ακμών σε κτίρια, σε καμπύλα τμήματα και στο εικονιζόμενο οδικό δίκτυο.
- Το αποτέλεσμα είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικό σε ό,τι αφορά τα αποτελέσματα ανίχνευσης γραμμών σε μη επιθυμητά αντικείμενα.

4.5 Σύγκριση με λοιπούς αλγορίθμους ανίχνευσης ακμών και γραμμών

Στόχος της παρούσας ενότητας είναι η σύγκριση της απόδοσης του αλγορίθμου Line Segment Detector με εκείνη αντίστοιχων αλγορίθμων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε τηλεπισκοπικές εφαρμογές. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν και εφαρμόστηκαν στην εικόνα εισόδου οι ακόλουθοι αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών:

- Ανιχνευτής ακμών Canny (Canny Edge Detector)
- Μετασχηματισμός Hough

Στο σημείο αυτό, τονίζεται το εξής: Ο αλγόριθμος Canny ανιχνεύει ακμές στις εικόνες εισόδου. Ο μετασχηματισμός Hough και ο αλγόριθμος Line Segment Detector ανιχνεύουν ευθύγραμμα τμήματα, τα οποία περιγράφουν τις εικονιζόμενες ακμές.

4.5.1 Ανιχνευτής ακμών Canny (Canny Edge Detector)

Γενικά

Ο παρών αλγόριθμος εφαρμόστηκε στο κόκκινο κανάλι της πολυφασματικής εικόνας της Μελβούρνης. Η λειτουργία του ανιχνευτή ακμών Canny (Canny Edge Detector) αναλύεται διεξοδικά στο χωρίο Canny Edge Detector στο Κεφάλαιο 1 της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Οι τιμές των παραμέτρων, οι οποίες δόθηκαν είναι εκείνες που πρότεινε η βιβλιοθήκη Orfeo Toolbox και έχουν ως εξής:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

- διασπορά (variance):2

Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Ο αλγόριθμος Canny είναι ιδιαίτερα αποδοτικός στην ανίχνευση των ακμών σε αστικές περιοχές. Συγκεκριμένα, στην παραγόμενη εικόνα εμφανίζεται εντυπωσιακά μεγάλος αριθμός ακμών, οι οποίες περιγράφουν λεπτομερώς τα εικονιζόμενα αντικείμενα. Συγκεκριμένα, μέσω του Canny έχει γίνει πλήρης απόδοση των περιοχών αστικής δόμησης (Εικόνα 4.75, Εικόνα 4.76), του οδικού δικτύου (Εικόνα 4.75) και των καμπύλων τμημάτων της εικόνας εισόδου (Εικόνα 4.76, Εικόνα 4.77). Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα πως το κριτήριο της πληρότητας ικανοποιείται στη συγκεκριμένη εφαρμογή.

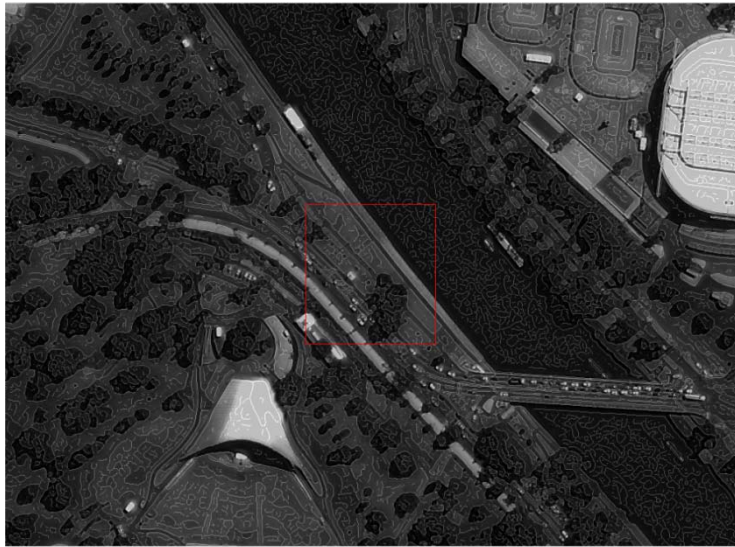
Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, πως οι ακμές είναι τοποθετημένες στις σωστές θέσεις και πως δεν εντοπίζονται προβλήματα σε ό,τι αφορά τη συνένωση των ακμών στις άκρες των κτιρίων.



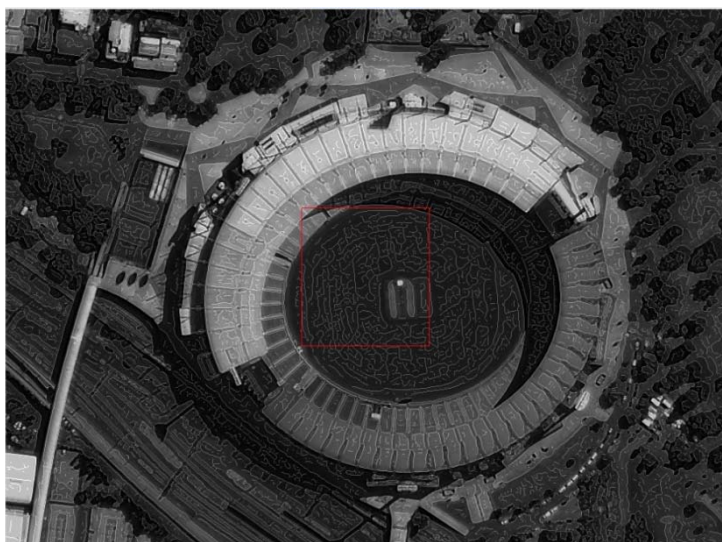
Εικόνα 4.75: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου Canny σε εικονιζόμενες περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μεμβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας).



Εικόνα 4.76: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου Canny σε εικονιζόμενες περιοχές αστικής δόμησης στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας).



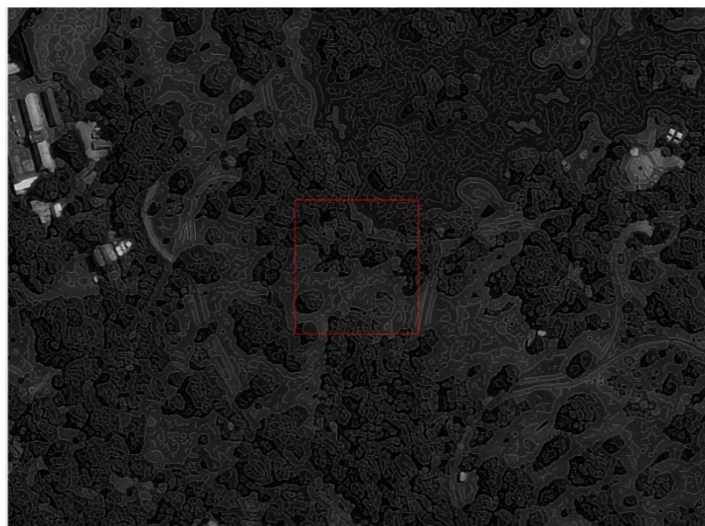
Εικόνα 4.77: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου Canny σε καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας).



Εικόνα 4.78: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου Canny σε καμπύλα τμήματα στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή της εικόνας).

Ωστόσο, η εφαρμογή του αλγορίθμου Canny στην εικόνα της Μελβούρνης οδήγησε στον εντοπισμό μεγάλου αριθμού ακμών σε μη επιθυμητά αντικείμενα, όπως δέντρα σε υπαίθριους χώρους (Εικόνα 4.79).

Επιπροσθέτως, στο συγκεκριμένο αποτέλεσμα εντοπίζεται μεγάλος αριθμός δεδομένων, τα οποία έχουν λανθασμένα ανιχνευτεί από τον αλγόριθμο. Συνεπώς το κριτήριο της ορθότητας δεν ικανοποιείται στην περίπτωση του ανιχνευτή ακμών Canny.

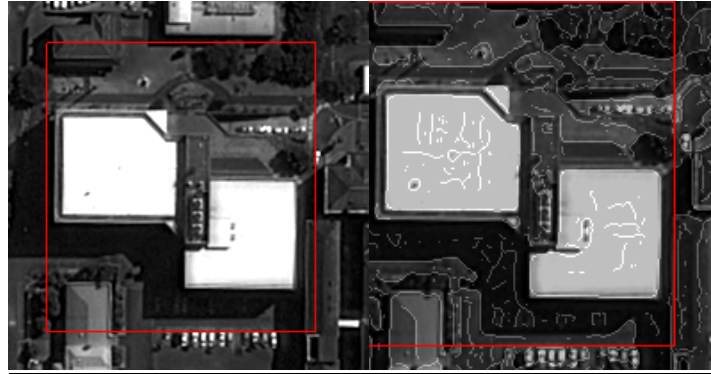


Εικόνα 4.79: Αποτέλεσμα εφαρμογής Canny σε εικονιζόμενους υπαίθριους χώρους στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μελβούρνης

Σύγκριση LSD- Ανιχνευτής ακμών Canny

Προτού γίνει σύγκριση της απόδοσης των συγκεκριμένων αλγορίθμων διευκρινίζεται το εξής: Ο αλγόριθμος Canny ανιχνεύει ακμές στις εικόνες εισόδου. Ο αλγόριθμος Line Segment Detector ανιχνεύει ευθύγραμμα τμήματα, τα οποία περιγράφουν τις εικονιζόμενες ακμές.

Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων:



Εικόνα 4.80: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου Canny. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης)

Από την Εικόνα 4.80 προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία του Πίνακα 4.25 αφορούν στο πλήθος των ευθύγραμμων τμημάτων που ορθώς ανιχνεύτηκαν από τον αλγόριθμο (True Positives), εκείνων που έχουν ανιχνευτεί από λάθος του αλγορίθμου (False Positives) καθώς και εκείνων που δεν έχουν ανιχνευτεί από λάθος του αλγορίθμου (False Negatives). Βάσει των παραπάνω υπολογίζονται οι δείκτες ορθότητας και πληρότητας, καθώς και το σφάλμα παράλειψης και συμπερίληψης (Πίνακας 4.26).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

	True Positives	False Positives	False Negatives
Αλγόριθμος Canny	23	30	0
Αλγόριθμος LSD	16	6	7

Πίνακας 4.25: Σύγκριση αλγορίθμων Canny, LSD (σύγκριση αριθμού διανυσματικών δεδομένων).

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παρά-λειψης	Σφάλμα Συμπερίληψης
Αλγόριθμος Canny	43.40%	100.00%	43.40%	0.00%	130.43%
Αλγόριθμος LSD	72.73%	69.57%	55.17%	30.43%	26.09%

Πίνακας 4.26: Σύγκριση αλγορίθμων Canny, LSD (σύγκριση δεικτών ποιότητας).

Συμπεράσματα εφαρμογής αλγορίθμου Canny στην πολυφασματική εικόνα της Μελβούρνης

- Η εφαρμογή του αλγορίθμου Canny έδωσε άριστα αποτελέσματα σε ό,τι αφορά το κριτήριο της πληρότητας στην ανίχνευση ακμών στα εικονιζόμενα αντικείμενα (πληρότητα 100%). Ο αλγόριθμος LSD εντόπισε μικρότερο αριθμό ακμών και ως εκ τούτου το κριτήριο της πληρότητας ικανοποιείται σε μικρότερο βαθμό συγκριτικά με το αποτέλεσμα του προαναφερθέντος αλγορίθμου.
- Το κριτήριο της ορθότητας δεν ικανοποιείται στην περίπτωση του αποτελέσματος Canny, καθώς εντοπίζεται μεγάλος αριθμός από False Positives δεδομένα. Αντιθέτως, στην περίπτωση του LSD το αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται ως ορθό.

Επομένως, η εφαρμογή του αλγορίθμου Canny στη εικόνα της Μελβούρνης οδήγησε σε λεπτομερή και πλήρη απόδοση των ακμών της εικόνας. Στο αποτέλεσμα, ωστόσο, εντοπίζεται πολύ μεγάλος αριθμός από False Positives δεδομένα, γεγονός που οδηγεί σε απογοητευτικά συμπεράσματα σε ό,τι αφορά το κριτήριο της ορθότητας. Συνεπώς, το αποτέλεσμα του LSD χαρακτηρίζεται ποιοτικότερο συγκριτικά με εκείνο του Canny.

4.5.2 Μετασχηματισμός Hough

Γενικά

Ο παρών αλγόριθμος εφαρμόστηκε στο κόκκινο κανάλι της πολυφασματικής εικόνας της Μελβούρνης. Η λειτουργία του μετασχηματισμού Hough αναλύεται διεξοδικά στο χωρίο Μετασχηματισμός Hough στο Κεφάλαιο 1 της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στοιχείο εισόδου στην παρούσα περίπτωση είναι η εικόνα, όπως προέκυψε έπειτα από εφαρμογή σε αυτήν του φίλτρου της πρώτης παραγωγού. Οι τιμές των παραμέτρων, οι οποίες δόθηκαν είναι εκείνες που πρότεινε η βιβλιοθήκη Orfeo Toolbox και έχουν ως εξής:

- ακτίνα (radius): 30
- επικάλυψη (overlap): 10
- Πλήθος γραμμών (number of Lines): 1
- Κατώφλι (threshold): 50

Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Σύγκριση LSD- Hough transform

Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων



Εικόνα 4.81: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής μετασχηματισμού Hough. Στην εικόνα εμφανίζεται αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης.

Από την Εικόνα 4.81 προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων.

	True Positives	False Positives	False Negatives
Μετασχηματισμός Hough	8	5	15
Αλγόριθμος LSD	16	6	7

Πίνακας 4.27: Σύγκριση μετασχηματισμού Hough, LSD (σύγκριση αριθμού διανυσματικών δεδομένων).

	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα	Σφάλμα Παρά-λειψης	Σφάλμα Συμπερίληψης
Μετασχηματισμός Hough	61.54%	34.78%	28.57%	65.22%	21.74%
Αλγόριθμος LSD	72.73%	69.57%	55.17%	30.43%	26.09%

Πίνακας 4.28: Σύγκριση μετασχηματισμού Hough, LSD (σύγκριση δεικτών ποιότητας).

Συμπεράσματα εφαρμογής μετασχηματισμού Hough στην πολυφασματική εικόνα της Μεμβούρνης

- Η εφαρμογή του μετασχηματισμού Hough έδωσε απογοητευτικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά το κριτήριο της πληρότητας στην ανίχνευση γραμμών στα εικονιζόμενα αντικείμενα (πληρότητα 34,78%). Ο αλγόριθμος LSD εντόπισε μεγαλύτερο αριθμό ευθύγραμμων τμημάτων και ως εκ τούτου το κριτήριο της πληρότητας ικανοποιείται σε μεγαλύτερο βαθμό συγκριτικά με το αποτέλεσμα του προαναφερθέντος αλγορίθμου.
- Το κριτήριο της ορθότητας ικανοποιείται στην περίπτωση του αποτελέσματος Hough, καθώς εντοπίζεται μικρός αριθμός από False Positives δεδομένα.

Επομένως, η εφαρμογή του μετασχηματισμού Hough στη εικόνα της Μεμβούρνης οδήγησε σε ελλιπή απόδοση των γραμμών της εικόνας. Στο αποτέλεσμα, ωστόσο, εντοπίζεται πολύ μικρός αριθμός από False Positives δεδομένα, γεγονός που οδηγεί σε ικανοποιητικά συμπεράσματα σε ό,τι αφορά το κριτήριο της ορθότητας. Συνεπώς, το αποτέλεσμα του LSD

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

χαρακτηρίζεται ποιοτικότερο συγκριτικά με εκείνο του Hough. Τα προβλήματα, τα οποία εντοπίζονται στο αποτέλεσμα εφαρμογής του εν λόγω αλγορίθμου στην εικόνα της Μεμβούρνης ενδεχομένως οφείλεται σε λάθος προσδιορισμό των παραμέτρων εισόδου.

4.6 Συμπεράσματα

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να γίνει ανακεφαλαίωση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις παραπάνω εφαρμογές.

- Ο αλγόριθμος LSD δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην περίπτωση της εικόνας γκριζών τόνων του κόκκινου καναλιού (Πίνακας 4.29). Το συγκεκριμένο έχει, ωστόσο, περιθώρια βελτίωσης. Οι ακόλουθες εφαρμογές έχουν στόχο να αυξήσουν τα ποσοστά πληρότητας και ορθότητας των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου και ως εκ τούτου να δημιουργήσουν ένα ποιοτικότερο αποτέλεσμα.

	True Positives	False Positives	False Negatives	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα
Εικόνα γκριζών τόνων κόκκινου καναλιού	16	6	7	72.73%	69.57%	55.17%

Πίνακας 4.29: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD στο κόκκινο κανάλι της εικόνας της Μεμβούρνης.

- Η αποκοπή τμημάτων της εικόνας-εισόδου και η επιμέρους εφαρμογή του συγκεκριμένου ανιχνευτή ευθυγράμμων τμημάτων σε αυτά, οδήγησε σε εντυπωσιακή αύξηση του ποσοστού πληρότητας του εμφανιζόμενου αποτελέσματος. Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 4.30) με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, τα οποία προέκυψαν, έπειτα από εφαρμογή του LSD στο σύνολο, στο ένα τέταρτο και ακολούθως στο ένα δέκατο έκτο τμήμα της εικόνας –εισόδου:

	True Positives	False Positives	False Negatives	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα
Σύνολο εικόνας	9	0	10	100.00%	47.37%	47.37%
Ένα τέταρτο εικόνας	12	0	7	100.00%	63.16%	63.16%
Ένα δέκατο έκτο εικόνας	15	0	4	100.00%	78.95%	78.95%

Πίνακας 4.30: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο σύνολο, στο ένα τέταρτο και στο ένα δέκατο έκτο τμήμα της εικόνας –εισόδου.

- Η εφαρμογή του συγκεκριμένου ανιχνευτή γραμμών σε πυραμίδα εικόνων της Μεμβούρνης δεν επέφερε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Μάλιστα, η μείωση των διαστάσεων της εικόνας-εισόδου, οδήγησε σε ταυτόχρονη μείωση του ποσοστού πληρότητας του παραγόμενου αποτελέσματος. Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 4.31) με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, τα οποία προέκυψαν, έπειτα από εφαρμογή του LSD στο σύνολο, στο ένα δεύτερο και ακολούθως στο ένα τέταρτο των αρχικών διαστάσεων της εικόνας –εισόδου:

	True Positives	False Positives	False Negatives	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα
Αρχικές Διαστάσεις Εικόνας	9	0	10	100.00%	47.37%	47.37%
Διαστάσεις Εικόνας 2048x2048	7	0	16	100.00%	30.43%	30.43%
Διαστάσεις Εικόνας 1024x1024	1	0	22	100.00%	4.35%	4.35%

Πίνακας 4.31: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο σύνολο, στο ένα τέταρτο και στο ένα δέκατο έκτο των αρχικών διαστάσεων της εικόνας –εισόδου.

- Τα παραπάνω αποτελέσματα οφείλονται στο γεγονός, πως στον αλγόριθμο Line Segment Detector καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει το σχετικό μέγεθος της εκάστοτε γραμμής προς το μέγεθος της εικόνας εισόδου. Η αποκοπή τμήματος της εικόνας εισόδου και η εφαρμογή του LSD σε αυτό οδήγησε σε αύξηση των εμφανιζόμενων διανυσματικών δεδομένων, καθώς στην περίπτωση αυτή, το σχετικό μέγεθος γραμμής-εικόνας εισόδου αυξήθηκε. Αντιθέτως, στην πυραμίδα εικόνων το εν λόγω μέγεθος παρέμεινε σταθερό στις παραγόμενες εικόνες, γεγονός το οποίο δικαιολογεί, πως ο αριθμός των γραμμών δεν αυξήθηκε, όταν μειώθηκαν οι διαστάσεις της εικόνας.
- Η εξομάλυνση της εικόνας εισόδου με χαμηλοπερατά φίλτρα απομάκρυνε το θόρυβο από αυτήν. Στον πίνακα (Πίνακας 4.32) που ακολουθεί εμφανίζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, για κάθε ένα από τα φίλτρα που εφαρμόστηκαν:

	True Positives	False Positives	False Negatives	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα
Διωνυμικό φίλτρο (binomial)	17	1	6	94.44%	73.91%	70.83%
Φίλτρο Gauss	15	3	8	83.33%	65.22%	57.69%
Φίλτρο μεσαίας τιμής (median)	16	3	7	84.21%	69.57%	61.54%
Ανισοτροπική Διάχυση	14	0	9	100.00%	60.87%	60.87%
Αμφίλευρο φίλτρο (bilateral)	10	0	13	100.00%	43.48%	43.48%
Μη επεξεργασμένη εικόνα κόκκινου καναλιού	16	6	7	72.73%	69.57%	55.17%

Πίνακας 4.32: Αξιολόγηση αποτελέσματος εφαρμογής του LSD έπειτα από επεξεργασία της αρχικής εικόνας με φίλτρα εξομάλυνσης.

Βάσει των στοιχείων του παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4.32) προκύπτει το συμπέρασμα, πως η εφαρμογή του διωνυμικού φίλτρου (binomial) έδωσε τα βέλτιστα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LINE SEGMENT DETECTOR ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

αποτελέσματα, καθώς τα ποσοστά Ορθότητας και Πληρότητας είναι αυξημένα συγκριτικά με εκείνα που προέκυψαν, έπειτα από εφαρμογή του αλγορίθμου μελέτης στην αρχική εικόνα.

Γενικά, η εφαρμογή φίλτρων εξομάλυνσης στην εικόνα εισόδου, οδήγησε σε αύξηση των γραμμών που εμφανίζονται στο παραγόμενο αποτέλεσμα. Ωστόσο, τα διανυσματικά δεδομένα, τα οποία προστέθηκαν στις επεξεργασμένες εικόνες εντοπίζονται ως επί το πλείστον σε ανεπιθύμητα αντικείμενα, όπως για παράδειγμα σε δέντρα σε υπαίθριους χώρους.

Το παραπάνω δικαιολογεί τα χαμηλά ποσοστά πληρότητας, τα οποία εμφανίζονται στις επεξεργασμένες εικόνες, παρά το γεγονός πως ο αριθμός των παραγόμενων διανυσματικών δεδομένων σε αυτές έχει αυξηθεί.

Βάσει των παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα πως η εξομάλυνση της εικόνας εισόδου με φίλτρα δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική σε ό,τι αφορά εφαρμογές χαρτογράφησης αστικής γης.

- Τα αποτελέσματα σύγκρισης του αλγορίθμου Line Segment Detector με λοιπούς αλγορίθμους ανίχνευσης ακμών και γραμμών συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4.33):

	True Positives	False Positives	False Negatives	Ορθότητα	Πληρότητα	Ποιότητα
Αλγόριθμος Canny	23	30	0	43.40%	100.00%	43.40%
Μετασχηματισμός Hough	8	5	15	61.54%	34.78%	28.57%
Αλγόριθμος LSD	16	6	7	72.73%	69.57%	55.17%

Πίνακας 4.33: Σύγκριση ανιχνευτή ακμών Canny, μετασχηματισμού Hough, LSD

Γενικά, η εφαρμογή του αλγορίθμου Canny έδωσε άριστα αποτελέσματα σε ό,τι αφορά το κριτήριο της πληρότητας στην ανίχνευση γραμμών στα εικονιζόμενα αντικείμενα (πληρότητα 100%). Στο αποτέλεσμα, ωστόσο, εντοπίζεται πολύ μεγάλος αριθμός από False Positives δεδομένα, γεγονός που οδηγεί σε απογοητευτικά συμπεράσματα σε ό,τι αφορά το κριτήριο της ορθότητας. Αυτό δικαιολογεί το γεγονός, πως το αποτέλεσμα του LSD χαρακτηρίζεται ποιοτικότερο συγκριτικά με εκείνο του Canny. Επιπροσθέτως, στο αποτέλεσμα του Canny εντοπίζεται μεγάλος αριθμός ακμών σε μη επιθυμητά για τη χαρτογράφηση αστικής γης αντικείμενα, όπως δέντρα σε υπαίθριους χώρους.

Βάσει των παραπάνω προκύπτει πως ο αλγόριθμος LSD είναι καταλληλότερος συγκριτικά με τον Canny σε ό,τι αφορά εφαρμογές αυτοματοποιημένης χαρτογράφησης αστικού περιβάλλοντος.

5 Προγραμματιστική Εφαρμογή

5.1 Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας ενότητας είναι η ανάπτυξη προγραμματιστικής εφαρμογής, η οποία θα βελτιώσει την απόδοση του αλγορίθμου Line Segment Detector, σε ό,τι αφορά την ανίχνευση ακμών σε εφαρμογές χαρτογράφησης αστικού περιβάλλοντος.

Οι συνηθισμένοι αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών απαιτούν από το χρήστη παράλληλα με την εικόνα εισόδου να ορίσει τιμές σε συγκεκριμένες παραμέτρους. Οι τελευταίες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα του τελικού αποτελέσματος. Για την εκάστοτε εικόνα ενδιαφέροντος παράγεται πλήθος από χάρτες ακμών για το σύνολο των διαφορετικών συνδυασμών των παραμέτρων. Ο συνδυασμός των τιμών εκείνων, οι οποίες βελτιστοποιούν το αποτέλεσμα προσδιορίζεται βάσει πειραμάτων και διαφέρει από εικόνα σε εικόνα.

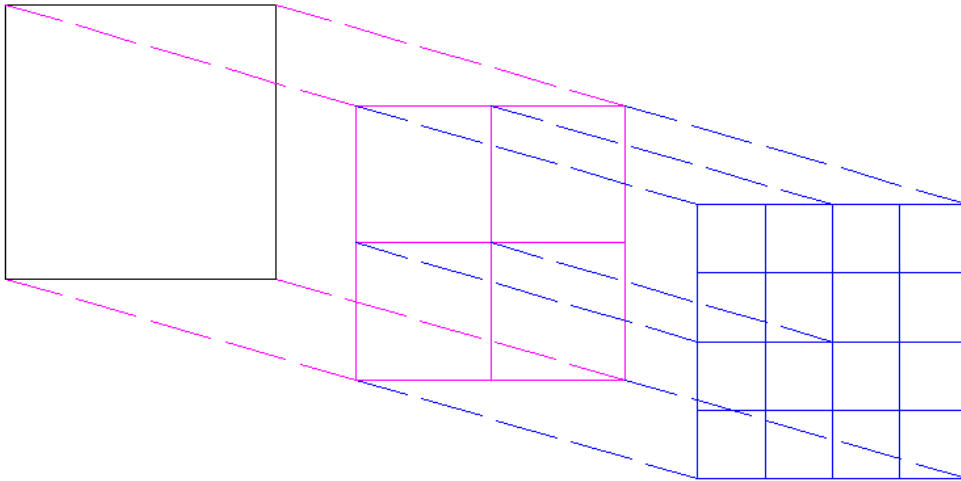
Κύριο μέλημα των δημιουργών του Line Segment Detector ήταν η δημιουργία ενός αλγορίθμου, ο οποίος δεν απαιτεί από το χρήστη τη ρύθμιση συγκεκριμένων παραμέτρων. Είναι φανερό, λοιπόν, πως η απόδοση του αλγορίθμου για ορισμένη εικόνα-εισόδου δεν είναι δυνατόν να μεταβληθεί, με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω (προσδιορίζοντας διαφορετικές τιμές για τις παραμέτρους του αλγορίθμου). Στην περίπτωση αυτή, μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά του δεδομένου εισόδου, δηλαδή της εικόνας ενδιαφέροντος.

Στο κεφάλαιο Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Εφαρμογής του Αλγορίθμου Line Segment Detector στην εικόνα μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε ένα σύνολο δοκιμών, οι οποίες μετέβαλλαν την απόδοση του αλγορίθμου. Τα αποτελέσματα ήταν εντυπωσιακά στην περίπτωση της επιμέρους εφαρμογής του αλγορίθμου σε τμήματα της εικόνας εισόδου. Το συμπέρασμα, το οποίο προέκυψε βάσει της παραπάνω εφαρμογής είναι πως η μείωση του μεγέθους του δεδομένου εισόδου οδήγησε σε λεπτομερέστερα και συνεπώς πληρέστερα αποτελέσματα.

Βάσει του παραπάνω συμπεράσματος δομήθηκε στη βιβλιοθήκη Orfeo Toolbox εκτελέσιμο πρόγραμμα, το οποίο πραγματοποιεί την ακόλουθη διαδικασία:

- Δημιουργία τριών επιπέδων μελέτης της εικόνας εισόδου:
Αρχικά, ορίζεται ως επίπεδο μελέτης η εικόνα στο σύνολό της (1^ο επίπεδο μελέτης). Στη συνέχεια, η εικόνα διαχωρίζεται σε τέσσερα τμήματα (2^ο επίπεδο μελέτης) και ακολούθως σε δεκαέξι (3^ο επίπεδο μελέτης) (Εικόνα 5.1).
- Εφαρμογή αλγορίθμου LSD σε κάθε ένα από τα επίπεδα μελέτης:
Πραγματοποιείται επιμέρους εφαρμογή του αλγορίθμου Line Segment Detector σε κάθε επίπεδο μελέτης, για κάθε ένα από τα τμήματα της εικόνας που δημιουργήθηκαν. Συνεπώς, στοιχείο εισόδου για το πρώτο επίπεδο μελέτης είναι η εικόνα στο σύνολο της, για το δεύτερο επίπεδο κάθε ένα από τα τέσσερα τμήματα της εικόνας και τέλος για το τρίτο επίπεδο κάθε ένα από τα δεκαέξι τμήματα εικόνας, όπως προέκυψαν μέσω του προηγούμενου βήματος.

- Τα διανυσματικά αρχεία, τα οποία προκύπτουν, έπειτα από εφαρμογή του LSD στα προαναφερθέντα τμήματα της εικόνας εισόδου ενοποιούνται σε τρία νέα αρχεία – ένα για κάθε επίπεδο μελέτης. (Παράρτημα)



Εικόνα 5.1: Τρία επίπεδα μελέτης: Αρχική εικόνα, δημιουργία επιπέδου τεσσάρων τμημάτων και δεκαέξι τμημάτων

5.2 Σύντομη Περιγραφή χαρακτηριστικών της εικόνας εισόδου

Ο αλγόριθμος θα εφαρμοστεί σε δύο δορυφορικές εικόνες, στις οποίες εμφανίζεται τμήμα της Μελβούρνης. Οι εικόνες προέρχονται από τους δορυφόρους Pléiades και επομένως περιέχουν τέσσερα κανάλια.

Η πρώτη εικόνα (Εικόνα 1) έχει χωρική ανάλυση 0,5 μέτρα και είναι εκείνη, η οποία χρησιμοποιήθηκε στις προηγούμενες εφαρμογές. Οι διαστάσεις της εικόνας είναι 4096x4096. Στην Εικόνα 5.2 εμφανίζεται η εικόνα γκριζων τόνων (grayscale image) του κόκκινου καναλιού (κανάλι 3).

Η δεύτερη εικόνα (Εικόνα 2) έχει χωρική ανάλυση 2 μέτρα. Οι διαστάσεις της είναι 2048x2036. Στην Εικόνα 5.3 εμφανίζεται η εικόνα γκριζων τόνων του κόκκινου καναλιού (κανάλι 3).

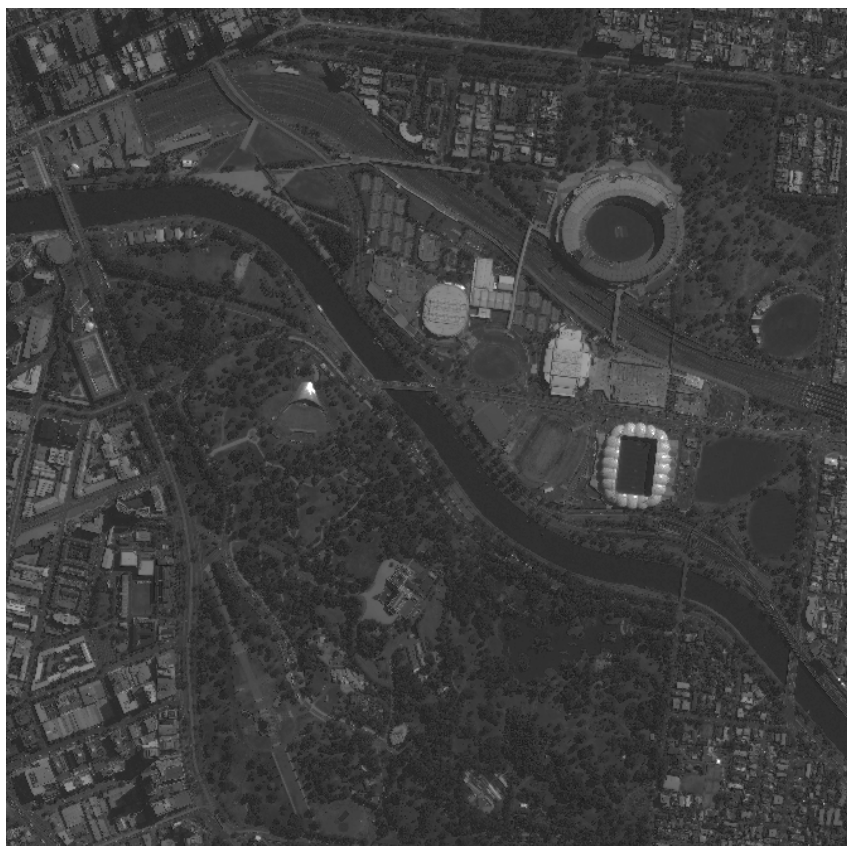
Στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακας 5.1, Πίνακας 5.2) αναγράφονται οι διαστάσεις των δύο εικόνων για τα τρία επίπεδα μελέτης, καθώς και η χωρική ανάλυση αυτών.

Εικόνα 1	1ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου: σύνολο εικόνας)	2ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/4 αρχικής εικόνας)	3ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/16 αρχικής εικόνας)	Μονάδα μέτρησης
Μέγεθος εικόνας γραμμές	4096,00	2048,00	1024,00	pixel
Μέγεθος εικόνας στήλες	4096,00	2048,00	1024,00	pixel
Μέγεθος εικονοστοιχείου στο έδαφος	0,50	0,50	0,50	m

Πίνακας 5.1: Διαστάσεις και χωρική ανάλυση Εικόνας 1 για τα τρία επίπεδα μελέτης.

Εικόνα 2	1ο επίπεδο μελέτης (σύνολο εικόνας)	2ο επίπεδο μελέτης (1/4 αρχικής εικόνας)	3ο επίπεδο μελέτης (1/16 αρχικής εικόνας)	Μονάδα μέτρησης
Μέγεθος εικόνας γραμμές	2048,00	1024,00	512,00	pixel
Μέγεθος εικόνας στήλες	2036,00	1018,00	509,00	pixel
Μέγεθος εικονοστοιχείου στο έδαφος	2,00	2,00	2,00	m

Πίνακας 5.2: Διαστάσεις και χωρική ανάλυση Εικόνας 2 για τα τρία επίπεδα μελέτης.



Εικόνα 5.2: Εικόνα γκριζων τόνων κόκκινου καναλιού από την εικόνα της Μελβούρνης (Εικόνα 1)



Εικόνα 5.3: Εικόνα γκριζων τόνων κόκκινου καναλιού από την εικόνα της Μελβούρνης (Εικόνα 2)

5.3 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Ο αλγόριθμος LSD εφαρμόστηκε στο κόκκινο κανάλι των δορυφορικών εικόνων της Μελβούρνης, μέσω του εκτελέσιμου που περιγράφεται παραπάνω. Τα αποτελέσματα ήταν εντυπωσιακά για τις δύο εικόνες. Ο αριθμός των γραμμών έχει αυξηθεί εμφανώς στα δύο νέα επίπεδα μελέτης και το παραγόμενο αποτέλεσμα είναι λεπτομερέστερο και πληρέστερο. Η αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι εμφανής ιδιαίτερα στην περίπτωση της δεύτερης εικόνας: Ο αλγόριθμος Line Segment Detector ανίχνευσε ελάχιστα ευθύγραμμα τμήματα όταν εφαρμόστηκε στο σύνολο της εικόνας. Το πλήθος των διανυσματικών δεδομένων πολλαπλασιάστηκε για τη συγκεκριμένη, όταν εφαρμόστηκε σε αυτήν η προαναφερθείσα διαδικασία. Στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακας 5.3, Πίνακας 5.4) εμφανίζεται το πλήθος των γραμμών, οι οποίες ανιχνεύτηκαν στις δύο εικόνες έπειτα από εφαρμογή του αλγορίθμου στο σύνολο αυτών και ακολούθως σε τμήματα αυτών:

Εικόνα 1	Αριθμός διανυσματικών δεδομένων	Ποσοστιαία αύξηση πλήθους διανυσματικών δεδομένων
1ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου: σύνολο εικόνας)	12642	-
2ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου: 1/4 αρχικής εικόνας)	15546	+23%
3ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου: 1/16 αρχικής εικόνας)	19195	+23%

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα εφαρμογής Line Segment Detector για τα τρία επίπεδα μελέτης (Εικόνα 1)

Εικόνα 2	Αριθμός διανυσματικών δεδομένων	Ποσοστιαία αύξηση πλήθους διανυσματικών δεδομένων
1ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου: σύνολο εικόνας)	598	-
2ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/4 αρχικής εικόνας)	2191	266%
3ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/16 αρχικής εικόνας)	2822	29%

Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα εφαρμογής Line Segment Detector για τα τρία επίπεδα μελέτης (Εικόνα 2)

Η εφαρμογή του αλγορίθμου Line Segment Detector σε τμήματα της εικόνας εισόδου είχε σαν αποτέλεσμα την ανίχνευση μικρότερων σε μήκος ευθύγραμμων τμημάτων. Αυτό είναι εμφανές από τη μείωση του μέσου όρου μήκους των νέων προστιθέμενων διανυσματικών δεδομένων σε κάθε επίπεδο μελέτης. Στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακας 5.5, Πίνακας 5.6) εμφανίζεται ο μέσος όρος μήκους των διανυσματικών δεδομένων που προστέθηκαν σε κάθε επίπεδο μελέτης για τις δύο εικόνες της Μελβούρνης:

Εικόνα 1	1ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου: σύνολο εικόνας)	2ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/4 αρχικής εικόνας)	3ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/16 αρχικής εικόνας)	Μονάδα μέτρησης
Συνολικό άθροισμα μήκους διανυσματικών δεδομένων	175906,5	201145,5	230913	m
Συνολικός αριθμός διανυσματικών δεδομένων	12642	15546	19195	
Μέσος όρος μήκους διανυσματικών δεδομένων	13,91	12,94	12,03	m
Μέσος όρος μήκους προστιθέμενων διανυσματικών δεδομένων	13,91	8,69	8,16	m
Ποσοστιαία μείωση μέσου όρου μήκους προστιθέμενων διανυσματικών δεδομένων	-	38%	6%	

Πίνακας 5.5: Στοιχεία εξαγόμενων διανυσματικών δεδομένων για τα τρία επίπεδα μελέτης (Εικόνα 1)

Εικόνα 2	1ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου: σύνολο εικόνας)	2ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/4 αρχικής εικόνας)	3ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/16 αρχικής εικόνας)	Μονάδα μέτρησης
Συνολικό άθροισμα μήκους διανυσματικών δεδομένων	26516	85632	100780	m
Συνολικός αριθμός διανυσματικών δεδομένων	598	2191	2822	
Μέσος όρος μήκους διανυσματικών δεδομένων	44,34	39,08	35,71	m
Μέσος όρος μήκους προστιθέμενων διανυσματικών δεδομένων	44,34	37,11	24,01	m
Ποσοστιαία μείωση μέσου όρου μήκους προστιθέμενων διανυσματικών δεδομένων	-	16%	35%	

Πίνακας 5.6: Στοιχεία εξαγόμενων διανυσματικών δεδομένων για τα τρία επίπεδα μελέτης (Εικόνα 2)

Η μείωση του μέσου όρου μήκους των προστιθέμενων διανυσμάτων αντικατοπτρίζει τη δημιουργία λεπτομερέστερων χαρτών γραμμών για κάθε επίπεδο μελέτης. Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί, πως το μήκος της μικρότερης ανιχνευμένης γραμμής εμφανίζει αμελητέες διαφορές στα τρία επίπεδα μελέτης (Πίνακας 5.7, Πίνακας 5.8). Εκείνο το οποίο μεταβάλλεται είναι το πλήθος των γραμμών μικρότερου μήκους, οι οποίες ανιχνεύονται σε κάθε περίπτωση.

Εικόνα 1	1ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου: σύνολο εικόνας)	2ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/4 αρχικής εικόνας)	3ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/16 αρχικής εικόνας)
Μήκος μικρότερης ανιχνευμένης γραμμής	3 m	3 m	2.5 m

Πίνακας 5.7: Μήκος μικρότερης ανιχνευμένης γραμμής για τα τρία επίπεδα μελέτης (Εικόνα 1)

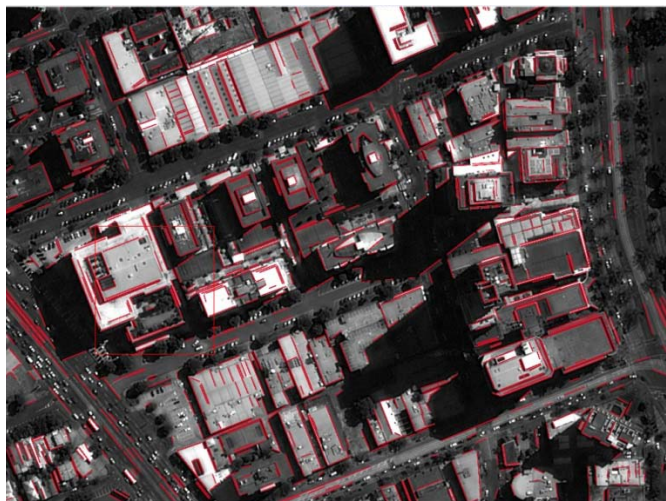
Εικόνα 2	1ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου: σύνολο εικόνας)	2ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/4 αρχικής εικόνας)	3ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/16 αρχικής εικόνας)
Μήκος μικρότερης ανιχνευμένης γραμμής	12 m	10 m	10 m

Πίνακας 5.8: Μήκος μικρότερης ανιχνευμένης γραμμής για τα τρία επίπεδα μελέτης (Εικόνα 2)

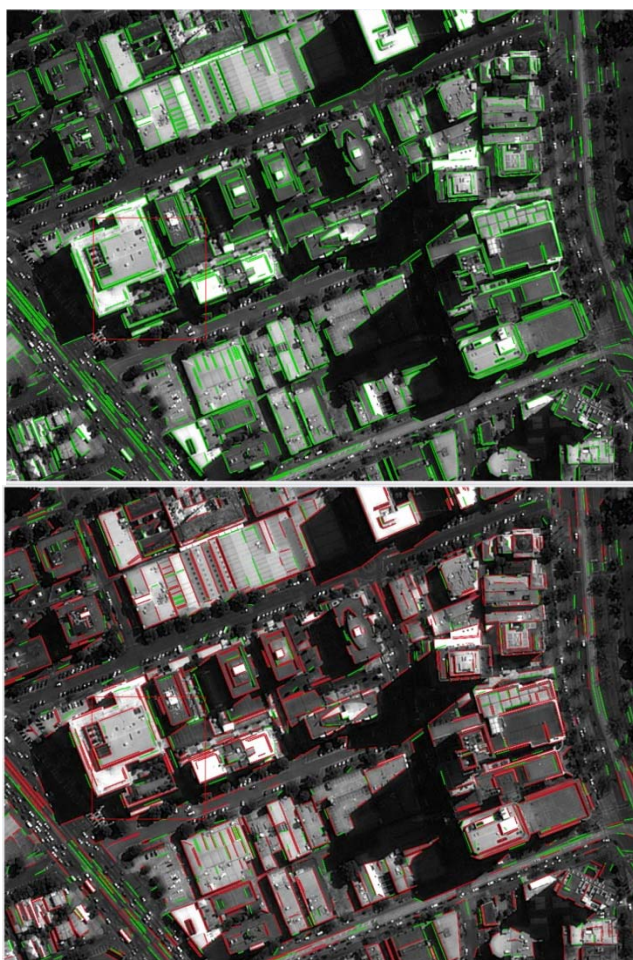
Οι πληροφορίες που αφορούν στο πλήθος καθώς και στο μήκος των διανυσματικών δεδομένων εξήχθησαν, μέσω του προγράμματος ελεύθερου λογισμικού QGIS.

Στις ακόλουθες Εικόνες εμφανίζεται το αποτέλεσμα εφαρμογής του LSD στα τρία επίπεδα μελέτης για τις δύο εικόνες της Μελβούρνης.

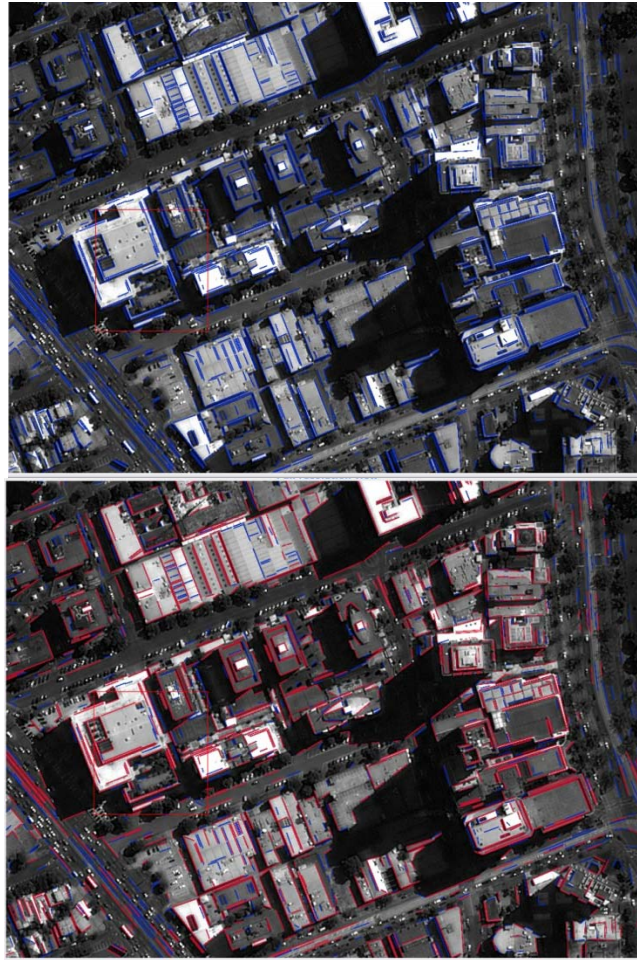
5.3.1 Εικόνα 1



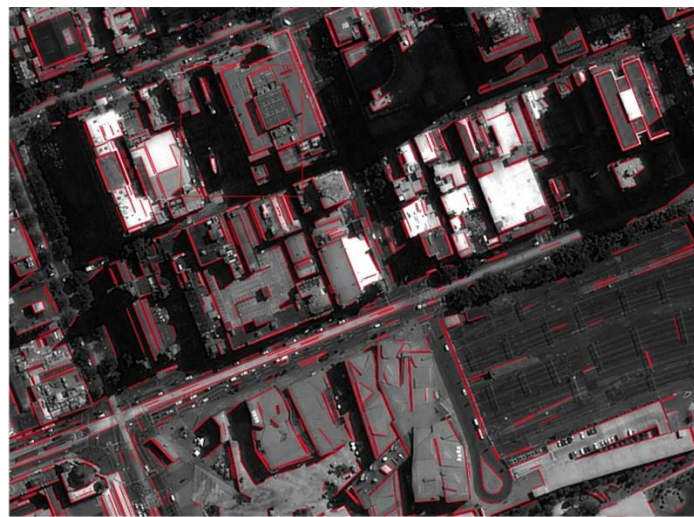
Εικόνα 5.4: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο πρώτο επίπεδο μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).



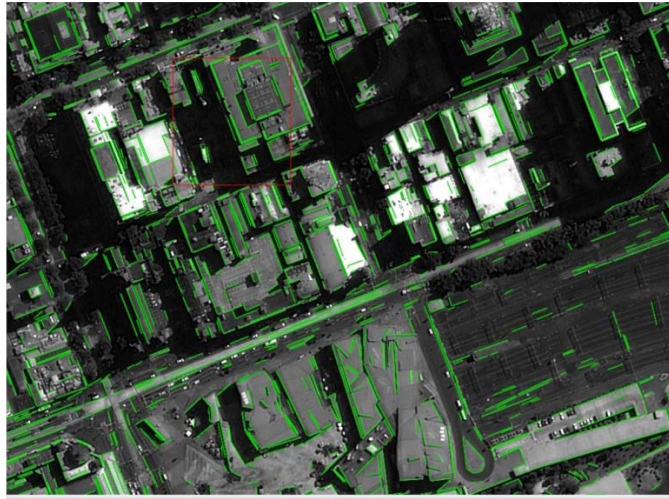
Εικόνα 5.5: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο δεύτερο επίπεδο μελέτης μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).. Κάτω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο πρώτο και δεύτερο επίπεδο μελέτης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύθηκαν στο δεύτερο επίπεδο μελέτης και με κόκκινο εκείνες στο πρώτο.



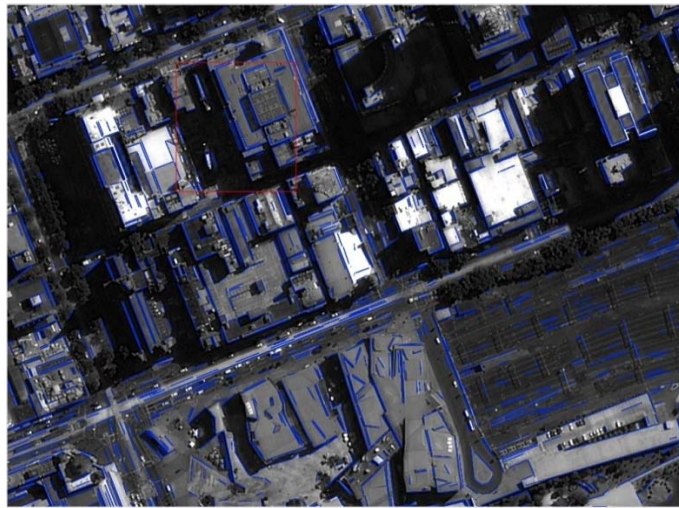
Εικόνα 5.6: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο τρίτο επίπεδο μελέτης μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).. Κάτω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο πρώτο και τρίτο επίπεδο μελέτης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στο τρίτο επίπεδο μελέτης και με κόκκινο εκείνες στο πρώτο.



Εικόνα 5.7: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο πρώτο επίπεδο μελέτης μελέτης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).



Εικόνα 5.8: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο δεύτερο επίπεδο μελέτης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).

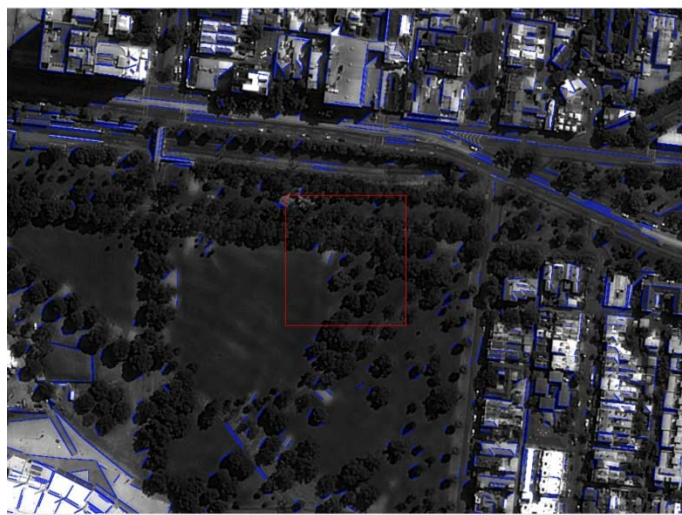


Εικόνα 5.9: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο τρίτο επίπεδο μελέτης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).

Το συμπέρασμα, το οποίο προκύπτει έπειτα από φωτοερμηνεία των αποτελεσμάτων του LSD στα τρία επίπεδα μελέτης είναι πως η μείωση του μεγέθους της εικόνας οδήγησε σε αύξηση του ποσοστού πληρότητας των διανυσματικών δεδομένων του αλγορίθμου. Συνεπώς, η εφαρμογή του εκτελέσιμου στην Εικόνα 1 είχε τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, γραμμές, οι οποίες δεν είχαν ανιχνευτεί στο πρώτο επίπεδο μελέτης της εικόνας εντοπίζονται στο τελικό αποτέλεσμα. Μάλιστα, το παραγόμενο αποτέλεσμα καλύπτει την υπάρχουσα πληροφορία στο σύνολο της σχεδόν και κρίνεται πως δεν απαιτείται πρόσθετη εφαρμογή του αλγορίθμου σε μικρότερο τμήμα της εικόνας εισόδου. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως το τελικό αποτέλεσμα δεν επιβαρύνεται ιδιαίτερα με περιττή πληροφορία, δηλαδή με ακμές δέντρων (Εικόνα 5.10, Εικόνα 5.11).



Εικόνα 5.10: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο δεύτερο επίπεδο μελέτης. Απόσπασμα εικόνας στο οποίο εμφανίζονται υπαίθριοι χώροι.

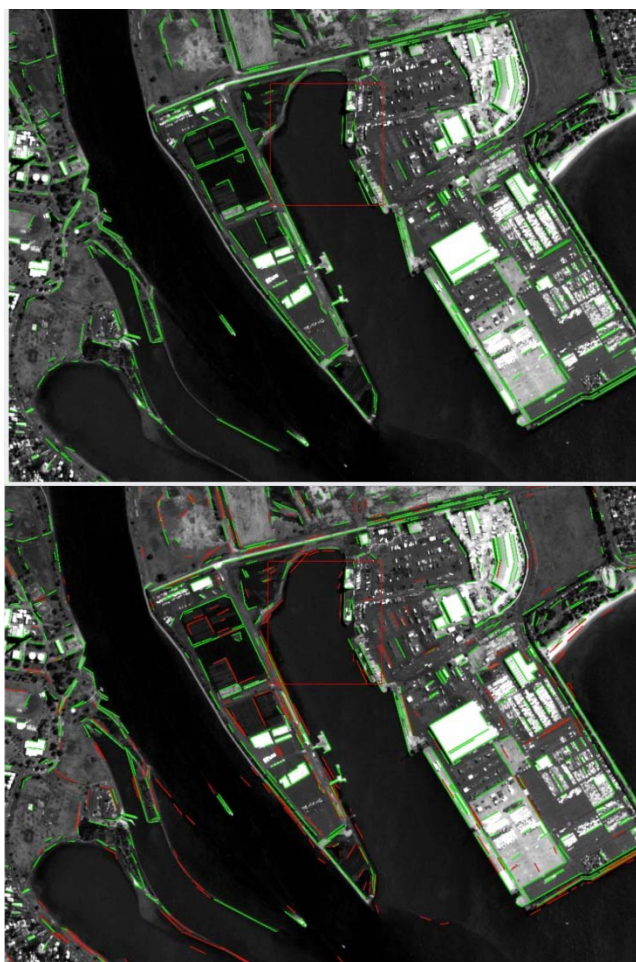


Εικόνα 5.11: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο τρίτο επίπεδο μελέτης. . Απόσπασμα εικόνας στο οποίο εμφανίζονται υπαίθριοι χώροι.

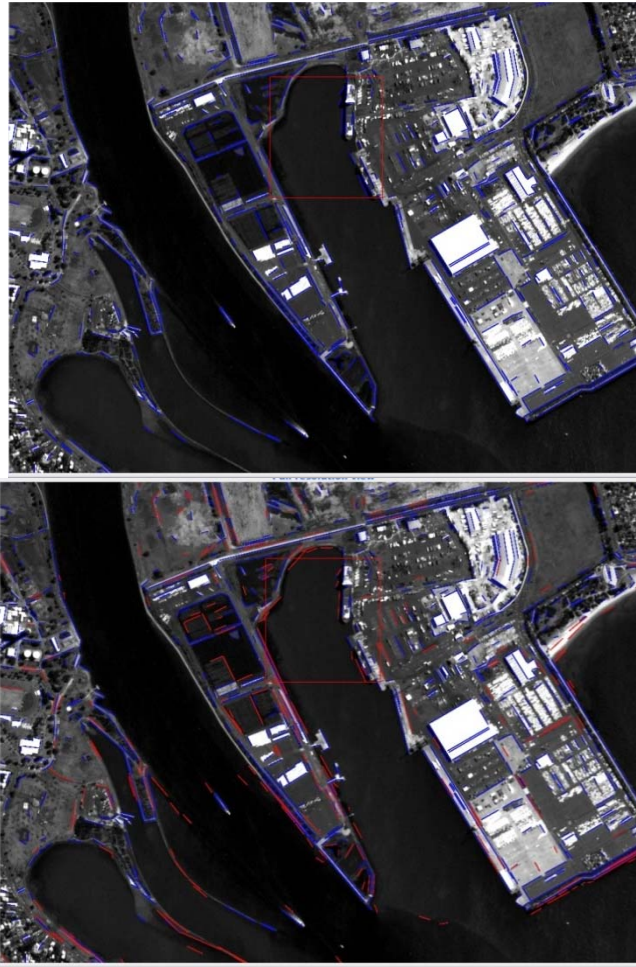
5.3.2 Εικόνα 2



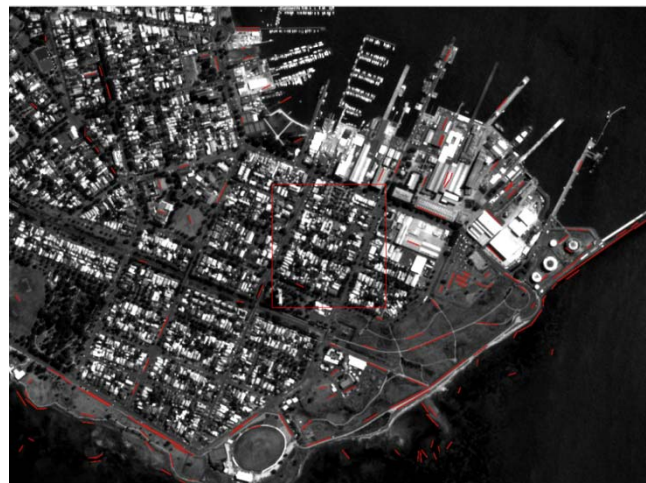
Εικόνα 5.12: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο πρώτο επίπεδο μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).



Εικόνα 5.13: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο δεύτερο επίπεδο μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Κάτω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο πρώτο και δεύτερο επίπεδο μελέτης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύθηκαν στο δεύτερο επίπεδο μελέτης και με κόκκινο εκείνες στο πρώτο.



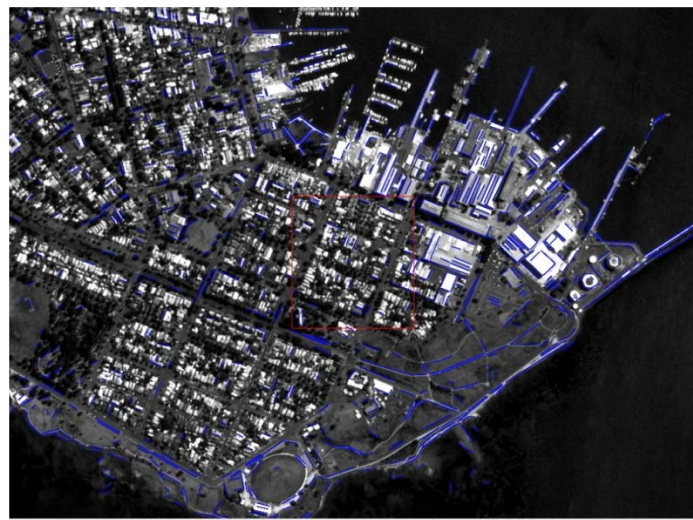
Εικόνα 5.14: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο τρίτο επίπεδο μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Κάτω: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στο πρώτο και τρίτο επίπεδο μελέτης. Με πράσινο χρώμα αποδίδονται οι γραμμές που ανιχνεύτηκαν στο τρίτο επίπεδο μελέτης και με κόκκινο εκείνες στο πρώτο.



Εικόνα 5.15: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο πρώτο επίπεδο μελέτης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).



Εικόνα 5.16: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο δεύτερο επίπεδο μελέτης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).



Εικόνα 5.17: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο τρίτο επίπεδο μελέτης (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).

Τα αποτελέσματα στην περίπτωση της δεύτερης εικόνας εισόδου είναι εντυπωσιακά. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο επίπεδο μελέτης ο αλγόριθμος έχει εντοπίσει ελάχιστα ευθύγραμμα τμήματα και συνεπώς, το κριτήριο της πληρότητας στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν ικανοποιείται. Η εφαρμογή του αλγορίθμου σε τμήματα της εικόνας εισόδου οδήγησε σε εμφανή αύξηση του αριθμού των τελικών γραμμών.

Παρατηρείται, ωστόσο, πως το τελικό αποτέλεσμα της Εικόνας 1 είναι λεπτομερέστερο συγκριτικά με εκείνο της Εικόνας 2. Το παραπάνω οφείλεται στο γεγονός, πως η χωρική ανάλυση της Εικόνας 1 είναι σαφώς υψηλότερη από την αντίστοιχη της Εικόνας 2. Συνεπώς, το σχετικό μέγεθος των εμφανιζόμενων ακμών προς το μέγεθος της Εικόνας στην 2 είναι μικρότερο σε συγκριτικά με εκείνο στην 1.

5.3.3 Αντιμετώπιση Προβλημάτων

Στην ακόλουθη εικόνα (Εικόνα 5.18) εμφανίζεται το αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου Line Segment Detector μέσω του προτεινόμενου εκτελέσιμου στην Εικόνα 2. Είναι εμ-

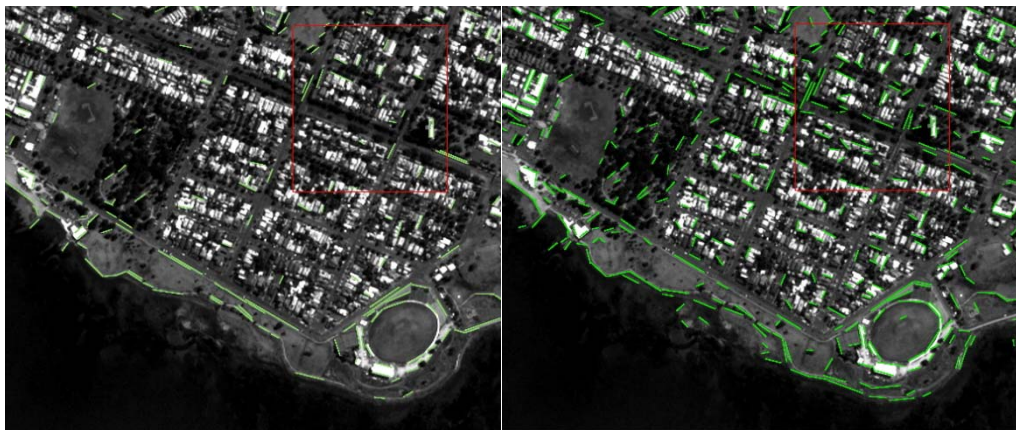
φανές, πως μεγάλο μέρος της εικονιζόμενης πληροφορίας απουσιάζει στο παραγόμενο αποτέλεσμα. Πιο συγκεκριμένα, σε περιοχές πυκνής αστικής δόμησης ο αλγόριθμος έχει εντοπίσει ελάχιστα ευθύγραμμα τμήματα.



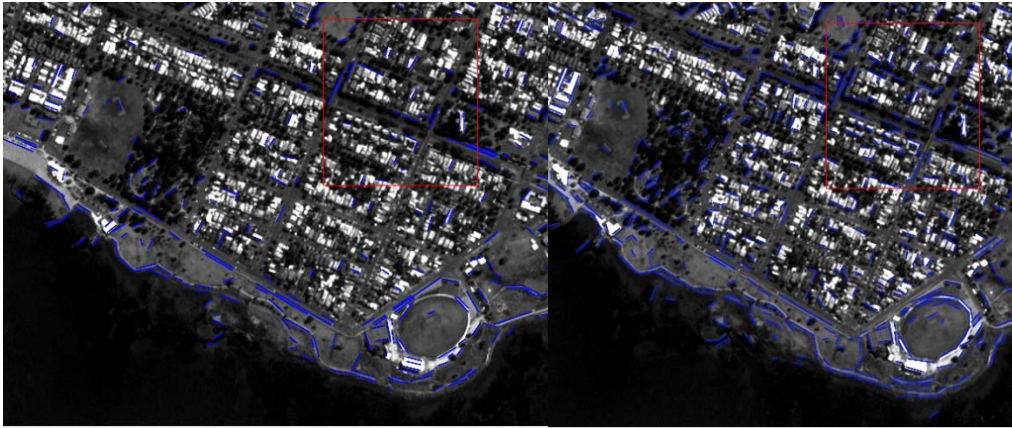
Εικόνα 5.18: Αποτέλεσμα εφαρμογής LSD στα τρία επίπεδα μελέτης (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης).

Το παραπάνω οφείλεται στο γεγονός πως η χωρική ανάλυση της Εικόνας 2 καθιστά τη διαδικασία εύρεσης ευθυγράμμων τμημάτων από τον αλγόριθμο Line Segment Detector αδύνατη. Το μέγεθος των ακμών στις άκρες κτιρίων είναι αμελητέο, συγκριτικά με το μέγεθος της εικόνας-εισόδου, ακόμα και στην περίπτωση του επιπέδου μελέτης των δεκαέξι τμημάτων.

Αντίστοιχα, στις ακόλουθες εικόνες εμφανίζεται το αποτέλεσμα εφαρμογής του αλγορίθμου LSD, έπειτα από εξομάλυνση της Εικόνας 2 μέσω του διωνυμικού φίλτρου. Είναι εμφανές, πως ο αριθμός των εμφανιζόμενων γραμμών στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει αυξηθεί (Εικόνα 5.19- Εικόνα 5.24).



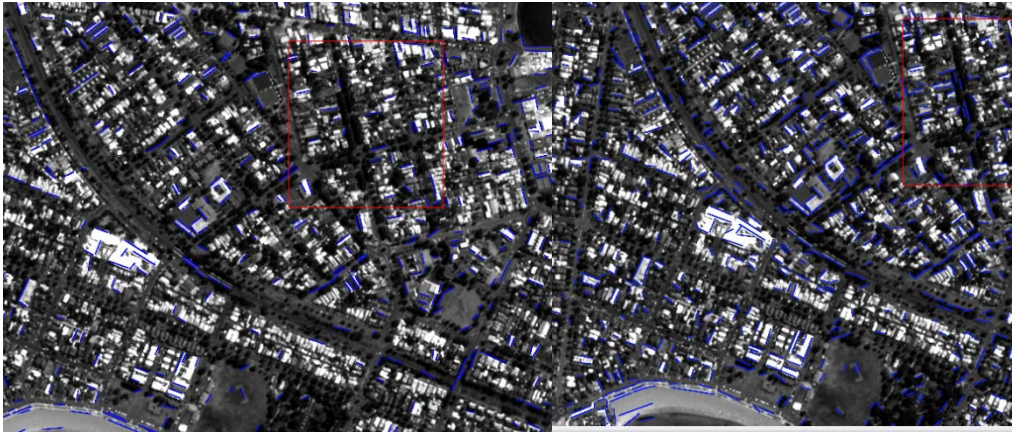
Εικόνα 5.19: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων για την αρχική εικόνα (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων για την εξομαλυμένη εικόνα.



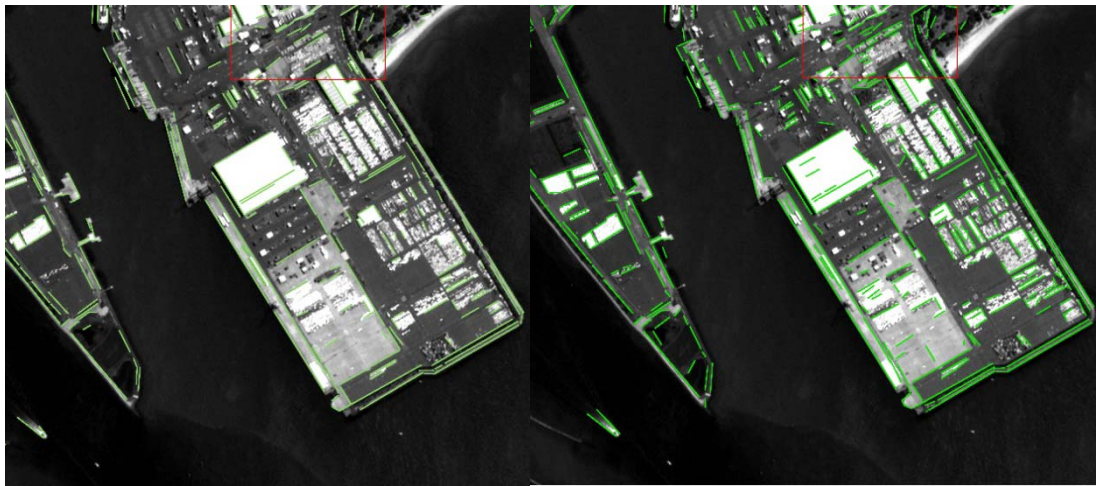
Εικόνα 5.20: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων για την αρχική εικόνα (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων για την εξομαλυμένη εικόνα.



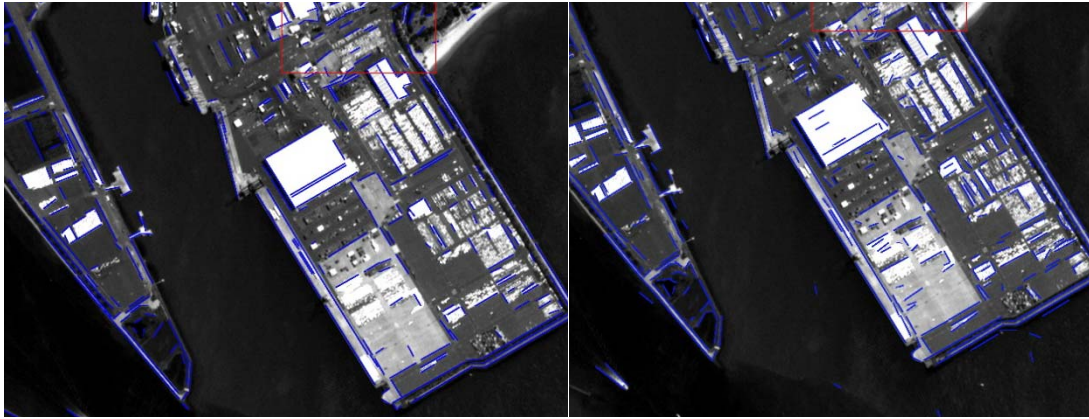
Εικόνα 5.21: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων για την αρχική εικόνα (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων για την εξομαλυμένη εικόνα.



Εικόνα 5.22: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων για την αρχική εικόνα (πρώτη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων για την εξομαλυμένη εικόνα.



Εικόνα 5.23: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων για την αρχική εικόνα (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων για την εξομαλυμένη εικόνα.



Εικόνα 5.24: Αριστερά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων για την αρχική εικόνα (δεύτερη αντιπροσωπευτική περιοχή αστικής δόμησης). Δεξιά: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων για την εξομαλυμένη εικόνα.

Όπως διευκρινίστηκε στην Ενότητα «Σύγκριση φίλτρων προεπεξεργασίας» της παρούσας διπλωματικής εργασίας ο αλγόριθμος LSD δε συμπεριλαμβάνει στα στάδια επεξεργασίας της εικόνας κάποια διαδικασία εξομάλυνσης, παρά το γεγονός πως ο συγκεκριμένος παρουσιάζει αυξημένη ευαισθησία στο θόρυβο. Τα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν, έπειτα από εφαρμογή φίλτρων εξομάλυνσης στην εικόνα με χωρική ανάλυση 0,5 m (Εικόνα 1) είναι πως η συγκεκριμένη μορφή προεπεξεργασίας, οδήγησε σε αύξηση των γραμμών που εμφανίζονται στο παραγόμενο αποτέλεσμα. Ωστόσο, τα διανυσματικά δεδομένα, τα οποία προστέθηκαν στις επεξεργασμένες εικόνες εντοπίστηκαν ως επί το πλείστον σε ανεπιθύμητα αντικείμενα, όπως για παράδειγμα σε δέντρα σε υπαίθριους χώρους. Το παραπάνω συμπέρασμα λειτούργησε αποθαρρυντικά στη συμπερίληψη ενός φίλτρου εξομάλυνσης στη διαδικασία ανίχνευσης ευθύγραμμων τμημάτων για την Εικόνα 1.

Η χωρική ανάλυση των δύο μέτρων για την Εικόνα 2 έχει σαν αποτέλεσμα τα εικονιζόμενα αντικείμενα να μην εμφανίζονται με μεγάλη λεπτομέρεια στο τελικό αποτέλεσμα και συνεπώς να μην εντοπίζονται έντονες εναλλαγές στους γκριζους τόνους σε δασικές καθώς και σε περιοχές αστικής δόμησης. Η εξομάλυνση της Εικόνας 2 οδήγησε σε αύξηση των γραμμών που ανιχνεύονται σε κτίρια καθώς και σε δέντρα στο τελικό αποτέλεσμα. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή, τα διανυσματικά δεδομένα, τα οποία προστέθηκαν στις επεξεργασμένες εικόνες εντοπίζονται ως επί το πλείστον σε περιοχές αστικής δόμησης και συνεπώς αποτελούν απαραίτητη πληροφορία σε εφαρμογές χαρτογράφησης αστικού περιβάλλοντος. Επιλέχθηκε το συγκεκριμένο φίλτρο επεξεργασίας διότι έδωσε τα βέλτιστα αποτελέσματα, καθώς τα ποσοστά Ορθότητας και Πληρότητας είναι αυξημένα συγκριτικά με εκείνα που προέκυψαν, έπειτα από εφαρμογή του αλγορίθμου μελέτης στην αρχική εικόνα.

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5.9) εμφανίζεται το πλήθος των γραμμών, οι οποίες ανιχνεύτηκαν στην Εικόνα 2, έπειτα από εφαρμογή του προτεινόμενου εκτελέσιμου στην αρχική, καθώς και στην επεξεργασμένη εικόνα:

Εικόνα 2	Αριθμός διανυσματικών δεδομένων στην αρχική εικόνα	Αριθμός διανυσματικών δεδομένων στην εξομαλυσμένη εικόνα
1ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου: σύνολο εικόνας)	598	3311
2ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/4 αρχικής εικόνας)	2191	4105
3ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/16 αρχικής εικόνας)	2822	5074

Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα εφαρμογής Line Segment Detector στη αρχική και στην εξομαλυσμένη εικόνα για τα τρία επίπεδα μελέτης

Η εφαρμογή του αλγορίθμου Line Segment Detector σε τμήματα της εξομαλυσμένης εικόνας εισόδου είχε σαν αποτέλεσμα την ανίχνευση μικρότερων σε μήκος ευθύγραμμων τμημάτων. Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5.10) εμφανίζεται ο μέσος όρος μήκους των διανυσματικών δεδομένων που προστέθηκαν σε κάθε επίπεδο μελέτης για την Εικόνα 2:

Εικόνα 2	1ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου: σύνολο εικόνας)	2ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/4 αρχικής εικόνας)	3ο επίπεδο μελέτης (στοιχείο εισόδου:1/16 αρχικής εικόνας)	Μονάδα μέτρησης
Συνολικό άθροισμα μήκους διανυσματικών δεδομένων	116044	136158	156186	m
Συνολικός αριθμός διανυσματικών δεδομένων	3311	4105	5074	
Μέσος όρος μήκους διανυσματικών δεδομένων	35,05	33,17	30,78	m
Μέσος όρος μήκους προστιθέμενων διανυσματικών δεδομένων	35,05	25,33	20,67	m
Ποσοστιαία μείωση μέσου όρου μήκους προστιθέμενων διανυσματικών δεδομένων	-	28%	18%	

Πίνακας 5.10: Στοιχεία εξαγόμενων διανυσματικών δεδομένων για τα τρία επίπεδα μελέτης στην εξομαλυσμένη εικόνα.

Η μείωση του μέσου όρου μήκους των προστιθέμενων διανυσμάτων αντικατοπτρίζει τη δημιουργία λεπτομερέστερων χαρτών γαρμμών για κάθε επίπεδο μελέτης.

5.3.4 Αναθεώρηση προγραμματιστικής εφαρμογής

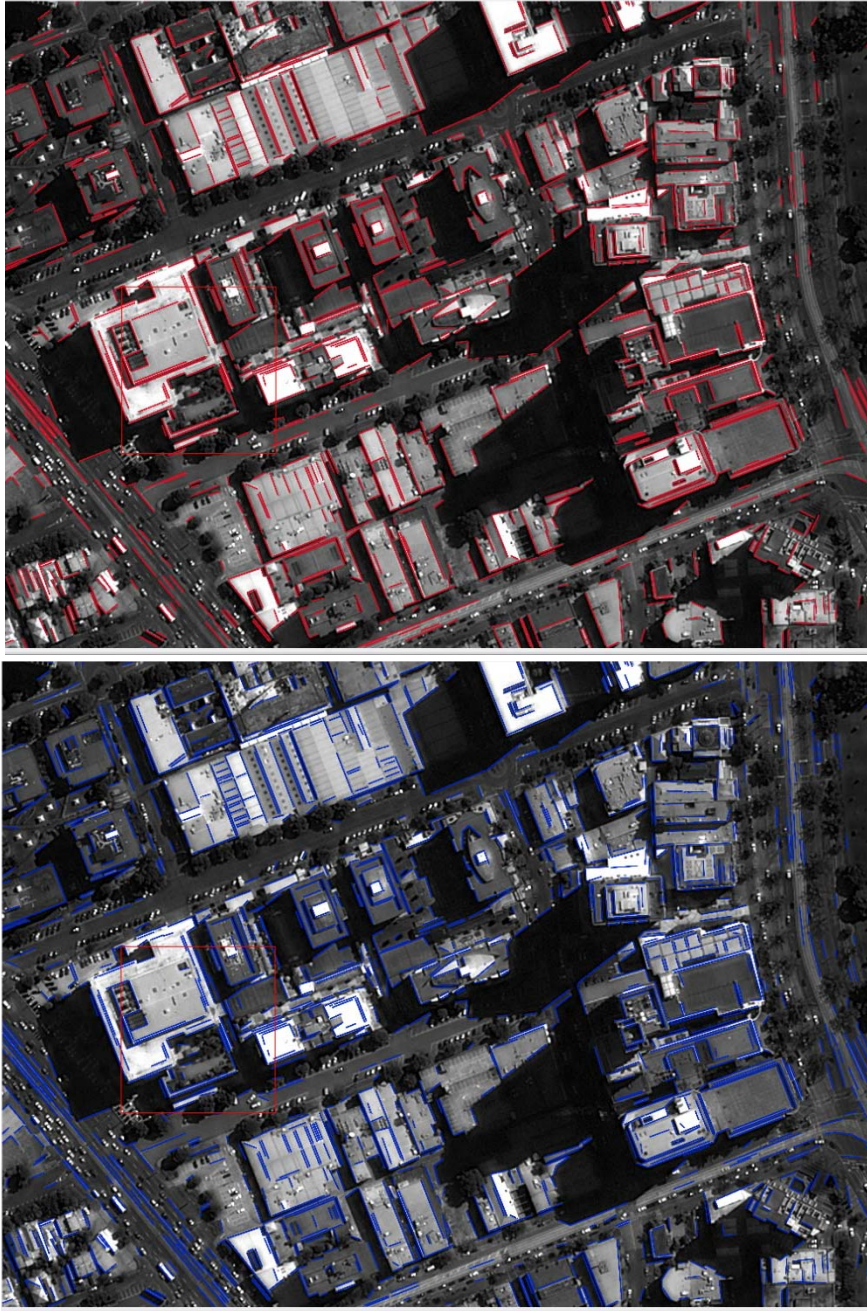
Η εφαρμογή του αλγορίθμου σε τμήματα της εικόνας-εισόδου οδήγησε σε αύξηση των εμφανιζόμενων γραμμών στο τελικό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα, η δημιουργία τριών επιπέδων μελέτης οδήγησε, όπως είχε προβλεφθεί, σε υψηλότερα ποσοστά πληρότητας για τις δύο εικόνες. Στην περίπτωση, ωστόσο, δεδομένων χαμηλής ευκρίνειας, ο αλγόριθμος Line Segment Detector δεν εντοπίζει μεγάλο μέρος της υπάρχουσας πληροφορίας. Στη δεδομένη περίπτωση προτείνεται εξομάλυνση της εικόνας-εισόδου με κάποιο χαμηλοπερατό φίλτρο, προτού εφαρμοστεί σε αυτήν η διαδικασία ανίχνευσης ευθύγραμμων τμημάτων. Ενδεικτικά, προτείνεται το διωνυμικό φίλτρο, καθώς είναι εκείνο το οποίο έδωσε τα μέγιστα ποσοστά Ορθότητας και Πληρότητας στη διαδικασία αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του LSD σε εξομαλυσμένη εικόνα. Στην περίπτωση εικόνων υψηλής ευκρίνειας το συγκεκριμένο στά-

διο παραλείπεται, διότι κρίνεται πως η εξομάλυνση της εικόνας-εισόδου θα επιβαρύνει το τελικό αποτέλεσμα με περιττή πληροφορία (αύξηση διανυσματικών δεδομένων σε δέντρα σε υπαίθριους χώρους).

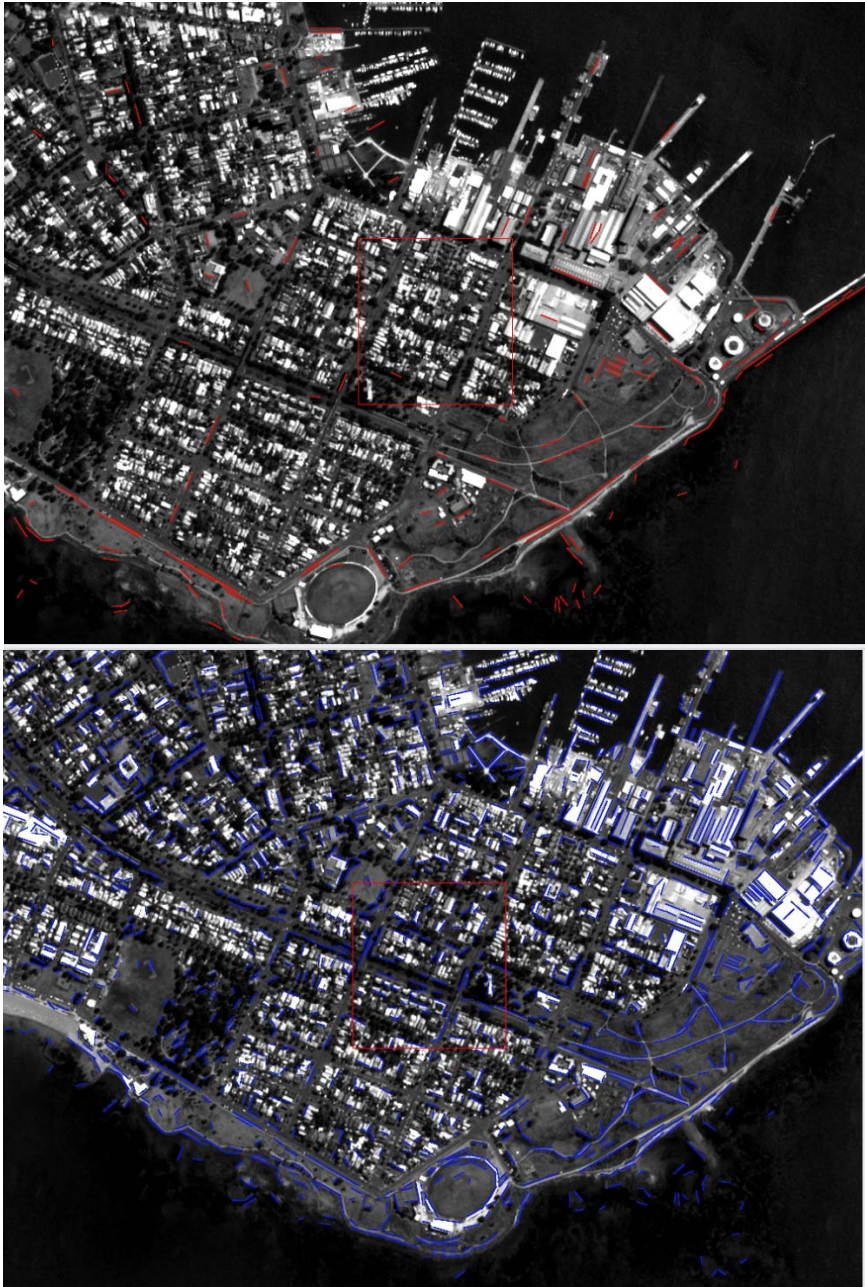
Βάσει των συμπερασμάτων που προέκυψαν από το Κεφάλαιο «Αντιμετώπιση Προβλημάτων» της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ο αλγόριθμος του προτεινόμενου εκτελέσιμου προγράμματος αναθεωρήθηκε και έχει εξής:

- Είσοδος από το χρήστη της εικόνας εισόδου καθώς και της χωρικής ανάλυσης της εικόνας.
- Εξομάλυνση της εικόνας εισόδου μέσω διωνυμικού φίλτρου σε περίπτωση χωρικής ανάλυσης χαμηλότερης των δύο μέτρων.
- Δημιουργία τριών επιπέδων μελέτης της εικόνας εισόδου:
Αρχικά, ορίζεται ως επίπεδο μελέτης η εικόνα στο σύνολό της (1^ο επίπεδο μελέτης). Στη συνέχεια, η εικόνα διαχωρίζεται σε τέσσερα τμήματα (2^ο επίπεδο μελέτης) και ακολούθως σε δεκαέξι τμήματα (3^ο επίπεδο μελέτης). (Εικόνα 5.1)
- Εφαρμογή αλγόριθμου LSD σε κάθε ένα από τα επίπεδα μελέτης:
Πραγματοποιείται επιμέρους εφαρμογή του αλγορίθμου Line Segment Detector σε κάθε επίπεδο μελέτης, για κάθε ένα από τα τμήματα της εικόνας που δημιουργήθηκαν. Συνεπώς, στοιχείο εισόδου για το πρώτο επίπεδο μελέτης είναι η εικόνα στο σύνολο της, για το δεύτερο επίπεδο κάθε ένα από τα τέσσερα τμήματα της εικόνας και τέλος για το τρίτο επίπεδο κάθε ένα από τα δεκαέξι τμήματα εικόνας, όπως προέκυψαν μέσω του προηγούμενου βήματος.
- Τα διανυσματικά αρχεία, τα οποία προκύπτουν, έπειτα από εφαρμογή του LSD στα προαναφερθέντα τμήματα της εικόνας εισόδου ενοποιούνται σε τρία νέα αρχεία – ένα για κάθε επίπεδο μελέτης. (Παράρτημα)

Στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 5.25, Εικόνα 5.26) εμφανίζεται το τελικό αποτέλεσμα εφαρμογής του προτεινόμενου εκτελέσιμου για τις δύο Εικόνες μελέτης.



Εικόνα 5.25: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD για την Εικόνα 1. Κάτω: Τελικό αποτέλεσμα προτεινόμενου εκτελέσιμου για την Εικόνα 1



Εικόνα 5.26: Πάνω: Αποτέλεσμα εφαρμογής αλγορίθμου LSD για την Εικόνα 2. Κάτω: Τελικό αποτέλεσμα προτεινόμενου εκτελέσιμου για την Εικόνα 2.

6 Σύνοψη Συμπερασμάτων

6.1 Συμπεράσματα

Ο αλγόριθμος ανίχνευσης γραμμών Line Segment Detector αποτελεί μία νέα τεχνική αυτοματοποιημένης συλλογής πληροφοριών χαμηλού επιπέδου από εικόνες. Συγκεκριμένα, αποτελεί ισχυρό εργαλείο ανίχνευσης ευθύγραμμων τμημάτων σε εικόνες γκριζων τόνων. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας του συγκεκριμένου αλγορίθμου σε εφαρμογές ανίχνευσης ακμών σε εικόνες αστικού περιβάλλοντος. Τα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν, έπαιτα από εφαρμογή του LSD σε δορυφορικές εικόνες υψηλής ευκρίνειας είναι, πως ο αλγόριθμος δίνει γρήγορα, ακριβή και ορθά αποτελέσματα. Μάλιστα, ο εν λόγω ανιχνευτής ευθυγράμμων τμημάτων μπορεί να αντικαταστήσει τεχνικές που χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές χαρτογράφησης αστικού περιβάλλοντος (Ανιχνευτής ακμών Canny, Hough Transform), καθότι τα αποτελέσματα του είναι εξίσου ποιοτικά. Επιπροσθέτως, ο συγκεκριμένος διατηρεί το πλεονέκτημα, έναντι των άλλων, της ταχύτητας καθώς και της απουσίας ρύθμισης παραμέτρων.

Κύριο μέλημα των δημιουργών του Line Segment Detector ήταν η δημιουργία ενός αλγορίθμου, ο οποίος δεν απαιτεί από το χρήστη ρύθμιση παραμέτρων. Σε αντίθεση, λοιπόν, με τους συνηθισμένους αλγορίθμους ανίχνευσης ακμών η απόδοση του συγκεκριμένου, για ορισμένη εικόνα-εισόδου, δεν είναι δυνατόν να μεταβληθεί, προσδιορίζοντας διαφορετικές τιμές για τις παραμέτρους του αλγορίθμου. Για το σκοπό αυτό, έγινε ένα σύνολο πειραμάτων, τα οποία μετέβαλλαν τα χαρακτηριστικά του δεδομένου εισόδου, δηλαδή της εικόνας ενδιαφέροντος. Στόχος των δοκιμών αυτών ήταν η εύρεση της τεχνικής εκείνης, η οποία θα βελτιστοποιούσε τα αποτελέσματα του αλγορίθμου. Συγκεκριμένα, έγινε εφαρμογή του συγκεκριμένου ανιχνευτή γραμμών σε τμήματα της εικόνας εισόδου, εφαρμογή σε πυραμίδα εικόνων, καθώς και ανίχνευση γραμμών έπαιτα από εξομάλυνση της εικόνας-εισόδου μέσω χαμηλοπερατών φίλτρων.

Βάσει των συμπερασμάτων, τα οποία αντλήθηκαν μέσω της παραπάνω διαδικασίας, δομήθηκε προτεινόμενο εκτελέσιμο αρχείο. Το συγκεκριμένο έχει στόχο την εξαγωγή του βέλτιστου δυνατού χάρτη γραμμών, μέσω του αλγορίθμου Line Segment Detector σε εφαρμογές χαρτογράφησης αστικού περιβάλλοντος, σε εικόνες τόσο υψηλής όσο και χαμηλής χωρικής ανάλυσης.

6.2 Προοπτικές

Το προτεινόμενο εκτελέσιμο πρόγραμμα βελτίωσε την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου σε ό,τι αφορά εφαρμογές χαρτογράφησης αστικού περιβάλλοντος. Ο παραγόμενος χάρτης γραμμών, ωστόσο, παρουσιάζει ελλείψεις και ως εκ τούτου έχει αρκετά περιθώρια βελτίωσης. Συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά περιοχές αστικής δόμησης εντοπίζεται πρόβλημα στη συνένωση των ακμών στις άκρες κτιρίων. Για καλύτερα αποτελέσματα προτείνεται περαιτέρω επεξεργασία του παραγόμενου χάρτη με μορφολογικά φίλτρα. Επιπλέον, το οδικό δίκτυο δεν αποδόθηκε στο τελικό αποτέλεσμα με ενιαία ευθύγραμμα τμήματα. Για το σκοπό αυτό, προτείνεται συνένωση των διανυσματικών δεδομένων με κριτήρια μήκους (το μήκος των δεδομένων που αφορούν στη συγκεκριμένη διόρθωση προτείνεται να υπερβαίνει

ένα ορισμένο κατώφλι, ώστε να είναι δυνατή η διάκριση των ακμών του οδικού δικτύου από εκείνων που αποδίδουν κτίρια) και γωνίας ως προς τις πλευρές της εικόνας (τα διανυσματικά δεδομένα τα οποία αναφέρονται στο ίδιο άξονα οδικού δικτύου σχηματίζουν με τις πλευρές της εικόνας ίση γωνία). Τέλος, σε ό,τι αφορά την απόδοση των καμπύλων ακμών προτείνεται χρήση της νέας έκδοσης του αλγορίθμου και συγκεκριμένα εφαρμογή του Ellipse and Line Segment Detector, ο οποίος θα εμπλουτίσει εμφανώς το παραγόμενο αποτέλεσμα και συνεπώς θα οδηγήσει σε ένα πληρέστερο χάρτη γραμμών.

Βιβλιογραφία

- Argialas D.P., Krishnamurthy S. 1992.** Detection of lines and circles in maps and engineering drawings. 1992.
- Desolneux A., Moisan L., Morel J.M. 2008.** *From Gestalt Theory to Image Analysis, A Probabilistic Approach.* s.l. : Springer, 2008.
- Desolneux A., Moisan L., Morel J.-M. 2008.** From Gestalt Theory to Image Analysis: A Probabilistic Approach. *Interdisciplinary Applied Mathematics, vol.34.* 2008.
- Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G. 2010.** LSD:A Fast Line Segment Detector with a False Detection Control. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol 32, no. 4.* April 2010, σσ. 772-732.
- Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.M., Randall G. 2012.** LSD:A Line Segment Detector. *Image Processing on Line.* 24 March 2012.
- <http://planetmath.org/HoughTransform>. 2002.** Math for the people by the people. [Ηλεκτρονικό] 2002.
- <http://www.cse.iitd.ernet.in/>. 2009.** Department of Computer of Computer Science and Engineering Indian Institute of Technology Delhi. [Ηλεκτρονικό] 23 March 2009.
- Mavrantza O. D. and Argialas D.P. 2007.** Identification Of Urban Features Using Object-Oriented Image Analysis. *Stilla U et al (Eds) PIA07. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36 (3/W49B).* 19-21 September 2007, σσ. 101-106.
- Mavrantza O. D., Argialas D. P. 2008.** The role of edge detection techniques for the extraction of linear information in an urban and periurban environment. *Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Ι, τεύχ. 2-3.* 2008, σσ. 37-46.
- Mavrantza O. D., Argialas D. P. 2007.** Edge Detection Techniques For Extracting Linear Information In An Urban/ Peri-Urban Environment. *Spatial Information Management toward Legalizing Informal Urban Development.* 2007.
- Mavrantza O. D., Argialas D. P. 2007.** Identification Of Urban Features Using Object-Oriented Image Analysis. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36 (3/W49B).* 19-21 September 2007, σσ. 101-106.
- Noutsou V. D., Argialas D.P., Michalis P. N. 2007.** Edge Detection of Manmade Objects Using Wavelets in High Resolution Satellite Images. 2007.
- Paris S., Durand F. 2009.** *A Fast Approximation of the Bilateral Filter.* s.l. : Massachusetts Institute of Technology, 2009.
- Pătrăucean V., Gurdjos P., Grompone von Gioi R. 2012.** A Parameterless Line Segment and Elliptical. *ECCV2012.* 2012.

Pléiades Users Guide. 2012. V.2. s.l. : ASTRIUM, An EADS Company, 2012.

The OTB Development Team. 2013. *The ORFEO ToolBox Software Guide Update for OTB-3.16.* 2013.

Tinel C., Grizonnet M., Fontannaz D., de Boissezon H., Giros A. 2012. Orfeo the Pléiades accompaniment programm and its users thematic commissioning. 2012, Τόμ. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, XXII ISPRS Congress.

Ziou D., Tabbone S. 1997. *Edge Detection Techniques- An Overview.* s.l. : Departement de math et informatique, Universie de Sherbrooke, 1997.

Βακαλοπούλου Μ. 2011. *Διερεύνηση μεθόδων ανίχνευσης μεταβολών σε τηλεπισκοπικές εικόνες, με ανάπτυξη ελεύθερου λογισμικού στην πλατφόρμα Orfeo Toolbox.* Αθήνα : s.n., 2011.

Γεωργόπουλος Α. 1998. *Ψηφιακή Φωτογραμμετρία Σημειώσεις.* Αθήνα : Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1998.

Καρράς Γ., Διαφάνειες Φωτογραμμετρίας 3. 2011. <http://mycourses.ntua.gr/>. [Ηλεκτρονικό] 2011.

Παράρτημα

Απαιτούμενα CMake αρχεία για την εφαρμογή του αλγορίθμου LSD στη βιβλιοθήκη Orfeo Toolbox

CMakeLists.txt

```
PROJECT (Tutorials)

cmake_minimum_required(VERSION 2.6)

FIND_PACKAGE(OTB)
IF(OTB_FOUND)
  INCLUDE (${OTB_USE_FILE})
ELSE (OTB_FOUND)
  MESSAGE (FATAL_ERROR
    "Cannot build OTB project without OTB. Please set OTB_DIR.")
ENDIF (OTB_FOUND)

IF(OTB_USE_MAPNIK)
ADD_EXECUTABLE(lsd lsd.cxx)
TARGET_LINK_LIBRARIES(lsd OTBCommon OTBIO)

ENDIF(OTB_USE_MAPNIK)
```

CMakeLists1.txt

```
PROJECT (Tutorials)

cmake_minimum_required(VERSION 2.6)

FIND_PACKAGE(OTB)
IF(OTB_FOUND)
  INCLUDE (${OTB_USE_FILE})
ELSE (OTB_FOUND)
  MESSAGE (FATAL_ERROR
    "Cannot build OTB project without OTB. Please set OTB_DIR.")
ENDIF (OTB_FOUND)

IF(OTB_USE_MAPNIK)
ADD_EXECUTABLE(lsd lsd.cxx)
TARGET_LINK_LIBRARIES(lsd OTBCommon OTBIO)

ENDIF(OTB_USE_MAPNIK)

INCLUDE_DIRECTORIES(${OTB_SOURCE_DIR}/Testing/Code)
ADD_EXECUTABLE(lsd lsd.cxx)
TARGET_LINK_LIBRARIES(lsd ITKAlgorithms ITKStatistics OTBBasicFilters
OTBCommon OTBDisparityMap OTBIO OTBSpatialReasoning OTBChangeDetec-
tion OTBFeatureExtraction OTBLearning OTBMultiScale OTBTesting)
```

CMakeLists2.txt

```
PROJECT (FeatureExtractionExamples)

cmake_minimum_required(VERSION 2.6)

INCLUDE_REGULAR_EXPRESSION("^.*$")

IF(OTB_USE_MAPNIK)
```

```

ADD_EXECUTABLE(LineSegmentDetectorExample LineSegmentDetectorExample.cxx)
TARGET_LINK_LIBRARIES(LineSegmentDetectorExample OTBFeatureExtraction
OTBCommon OTBIO)

ADD_EXECUTABLE(RightAngleDetectionExample RightAngleDetectionExample.cxx)
TARGET_LINK_LIBRARIES(RightAngleDetectionExample OTBFeatureExtraction
OTBCommon OTBIO)
ENDIF(OTB_USE_MAPNIK)

IF( NOT OTB_DISABLE_CXX_TESTING AND BUILD_TESTING )

SET(BASELINE ${OTB_DATA_ROOT}/Baseline/Examples/FeatureExtraction)
SET(INPUTDATA ${OTB_DATA_ROOT}/Examples)
SET(INPUTDATA_OTB ${OTB_DATA_ROOT}/Input)
SET(TEMP ${OTB_BINARY_DIR}/Testing/Temporary)

SET(EXE_TESTS1 ${CXX_TEST_PATH}/otbFeatureExtractionExamplesTests1)
SET(EXE_TESTS2 ${CXX_TEST_PATH}/otbFeatureExtractionExamplesTests2)

SET(TOL 0.0)

# ----- CorrelationLineDetectorExampleTest-----

ADD_TEST(feTeCorrelationLineDetectorExampleTest ${EXE_TESTS1}
--compare-n-images ${TOL} 2
${BASELINE}/amstLineCorrelations.png
${TEMP}/amstLineCorrelations.png
${BASELINE}/amstLineCorrelationDirections.png
${TEMP}/amstLineCorrelationDirections.png
CorrelationLineDetectorExampleTest
${INPUTDATA}/amst.png
${TEMP}/amstLineCorrelations.png
${TEMP}/amstLineCorrelationDirections.png
5 1
)

# ----- LocalHoughExampleTest-----

ADD_TEST(feTeLocalHoughExampleTest ${EXE_TESTS1}
--compare-n-images ${TOL} 1
${BASELINE}/detected_local_hough.png
${TEMP}/detected_local_hough.png
LocalHoughExampleTest
${INPUTDATA}/detected_lines.png
${TEMP}/detected_local_hough.png
30 10 1 50
)

# ----- HarrisExampleTest-----

ADD_TEST(feTeHarrisExampleTest ${EXE_TESTS1}
--compare-n-images ${TOL} 1
${BASELINE}/ROIspot5Harris.png
${TEMP}/ROIspot5Harris.png
HarrisExampleTest
${INPUTDATA}/ROIspot5.png
${TEMP}/ROIspot5Harris.png
1.5 2 0.1
)

```

```

)

# ----- TouziEdgeDetectorExampleTest-----

ADD_TEST(feTeTouziEdgeDetectorExampleTest ${EXE_TESTS1}
  --compare-n-images ${TOL} 2
  ${BASELINE}/amstTouziEdges.png
  ${TEMP}/amstTouziEdges.png
  ${BASELINE}/amstTouziDirections.png
  ${TEMP}/amstTouziDirections.png
  TouziEdgeDetectorExampleTest
  ${INPUTDATA}/amst.png
  ${TEMP}/amstTouziEdges.png
  ${TEMP}/amstTouziDirections.png
  3
)

# ----- ExtractSegmentsByStepsExampleTest-----

ADD_TEST(feTeExtractSegmentsByStepsExampleTest ${EXE_TESTS1}
  --compare-n-images ${TOL} 1
  ${BASELINE}/amstSegmentExtractionBySteps.png
  ${TEMP}/amstSegmentExtractionBySteps.png
  ExtractSegmentsByStepsExampleTest
  ${INPUTDATA_OTB}/amst_ers1.ima.extrait.419_187_70_66.hdr
  ${TEMP}/amstSegmentExtractionBySteps.png
  10 3 10 0.5 10 10 3 10 0.5
)

# ----- AssymmetricFusionOfLineDetectorExampleTest-----

ADD_TEST(feTeAssymmetricFusionOfLineDetectorExampleTest ${EXE_TESTS1}
  --compare-n-images ${TOL} 1
  ${BASELINE}/amstLineFusion.png
  ${TEMP}/amstLineFusion.png
  AssymmetricFusionOfLineDetectorExampleTest
  ${INPUTDATA}/amst.png
  ${TEMP}/amstLineFusion.png
  5 1
)

# ----- ExtractSegmentsExampleTest-----

ADD_TEST(feTeExtractSegmentsExampleTest ${EXE_TESTS1}
  --compare-n-images ${TOL} 1
  ${BASELINE}/amstSegmentExtraction.png
  ${TEMP}/amstSegmentExtraction.png
  ExtractSegmentsExampleTest
  ${INPUTDATA_OTB}/amst_ers1.ima.extrait.419_187_70_66.hdr
  ${TEMP}/amstSegmentExtraction.png
  10 3 10 0.5 10 10 3 10 0.5
)

# ----- RatioLineDetectorExampleTest-----

ADD_TEST(feTeRatioLineDetectorExampleTest ${EXE_TESTS1}
  --compare-n-images ${TOL} 2
  ${BASELINE}/amstLineRatios.png
  ${TEMP}/amstLineRatios.png
  ${BASELINE}/amstLineRatioDirections.png
  ${TEMP}/amstLineRatioDirections.png

```

```

RatioLineDetectorExampleTest
${INPUTDATA}/amst.png
${TEMP}/amstLineRatios.png
${TEMP}/amstLineRatioDirections.png
    5 1
)

# ----- AlignmentsExampleTest-----

ADD_TEST(feTeAlignmentsExampleTest ${EXE_TESTS1}
--compare-n-images ${TOL} 1
${BASELINE}/QB_SuburbAlign.png
${TEMP}/QB_SuburbAlign.png
AlignmentsExampleTest
${INPUTDATA}/QB_Suburb.png
${TEMP}/QB_SuburbAlign.png
    5
)

ADD_TEST(feTeExtractRoadByStepsExampleTest ${EXE_TESTS2}
--compare-n-images ${TOL} 2
${BASELINE}/qb_ExtractRoad_pretty.png
${TEMP}/qb_ExtractRoad_pretty.png
${BASELINE}/ExtractRoadByStepsExampleOutput.png
${TEMP}/ExtractRoadByStepsExampleOutput.png
ExtractRoadByStepsExampleTest
${INPUTDATA}/qb_RoadExtract.tif
${TEMP}/ExtractRoadByStepsExampleOutput.png
${TEMP}/qb_ExtractRoad_pretty.png
    337 557 432 859 0.00005 1.0
)

ADD_TEST(feTeExtractRoadExampleTest ${EXE_TESTS2}
--compare-image ${TOL}
${BASELINE}/ExtractRoadExampleOutput.png
${TEMP}/ExtractRoadExampleOutput.png
ExtractRoadExampleTest
${INPUTDATA}/qb_RoadExtract.tif
${TEMP}/ExtractRoadExampleOutput.png
    337 557 432 859 1.0 0.00005 1.0 0.39269 1.0 10.0 25.
)

# ----- SeamCarvingExamplesTest-----

ADD_TEST(feTeSeamCarvingExampleTest ${EXE_TESTS2}
--compare-image ${TOL}
${BASELINE}/SeamCarvingExampleOutput.png
${TEMP}/SeamCarvingExampleOutput.png
SeamCarvingExampleTest
${INPUTDATA}/QB_Suburb.png
${TEMP}/SeamCarvingExampleOutput.png
    50
)

ADD_TEST(feTeSeamCarvingOtherExampleTest ${EXE_TESTS2}
--compare-image ${TOL}
${BASELINE}/SeamCarvingOtherExampleOutput.png
${TEMP}/SeamCarvingOtherExampleOutput.png
SeamCarvingOtherExampleTest
${INPUTDATA}/QB_Suburb.png

```

```

${TEMP}/SeamCarvingOtherExampleOutput.png
50
)

#ADD_TEST(feTeImageToSIFTKeyPointSetFilterTest ${EXE_TESTS})
# --compare-image ${TOL}
# ${BASELINE}/ImageToSIFTKeyPointSetFilterOutput.png
# ${TEMP}/ImageToSIFTKeyPointSetFilterOutput.png
# ImageToSIFTKeyPointSetFilterTest
# ${INPUTDATA}/Scene.png
# ${TEMP}/ImageToSIFTKeyPointSetFilterOutput.png
# 6 3 0.08 10
#)

# ----- CloudDetectionExampleTest-----

ADD_TEST(feTeCloudDetectionExampleTest ${EXE_TESTS2})
--compare-image ${TOL}
${BASELINE}/CloudDetectionOutput.png
${TEMP}/PrettyCloudDetectionOutput.png
CloudDetectionExampleTest
${INPUTDATA}/CloudsOnReunion.tif
${TEMP}/CloudDetectionOutput.tif
${TEMP}/PrettyCloudDetectionInput.png
${TEMP}/PrettyCloudDetectionOutput.png
553 467 734 581 0.4 0.6 1.0
)

IF(OTB_USE_MAPNIK)
# ----- Line Segment Detector test-----

ADD_TEST(feTeLineSegmentDetectorExampleTest ${EXE_TESTS2})
--compare-image ${TOL}
${BASELINE}/feTeLineSegmentDetectorExampleOutput.png
${TEMP}/feTeLineSegmentDetectorExampleOutput.png
LineSegmentDetectorExampleTest
${INPUTDATA}/Scene.png
${TEMP}/feTeLineSegmentDetectorExampleOutput.png
)

# ----- Right Angle Detection test-----

ADD_TEST(feTeRightAngleDetectionExample ${EXE_TESTS2})
--compare-image ${TOL}
${BASELINE}/feTeRightAngleDetectionExampleOutput.png
${TEMP}/feTeRightAngleDetectionExampleOutput.png
RightAngleDetectionExample
${INPUTDATA}/Scene.png
${TEMP}/feTeRightAngleDetectionExampleOutput.png
${TEMP}/PrettyRightAngleInput.png
${TEMP}/PrettyRightAngleOutput.png
0.1
10.
)

ENDIF(OTB_USE_MAPNIK)

INCLUDE_DIRECTORIES(${OTB_SOURCE_DIR}/Testing/Code)
ADD_EXECUTABLE(LineSegmentDetectorExample LineSegmentDetectorExample.cxx)

```



```
TARGET_LINK_LIBRARIES(LineSegmentDetectorExample ITKAlgorithms
ITKStatistics OTBBasicFilters OTBCommon OTBDisparityMap OTBIO OTBSpa-
tialReasoning OTBChangeDetection OTBFeatureExtraction OTBLearning OT-
BMultiScale OTBTesting)
```

```
ADD_EXECUTABLE(otbFeatureExtractionExamplesTests2 otbFeatureExtrac-
tionExamplesTests2.cxx)
TARGET_LINK_LIBRARIES(otbFeatureExtractionExamplesTests2 ITKAlgo-
rithms ITKStatistics OTBBasicFilters OTBCommon OTBDisparityMap OTBIO
OTBSpatialReasoning OTBChangeDetection OTBFeatureExtraction OTBLearn-
ing OTBMultiScale OTBTesting)
```

```
ENDIF( NOT OTB_DISABLE_CXX_TESTING AND BUILD_TESTING )
```

Προτεινόμενο αρχείο κώδικα για εφαρμογή αλγορίθμου Line Segment Detector

```
/*=====
Program: ORFEO Toolbox
Language: C++
Date:   $Date$
Version: $Revision$

Copyright (c) Centre National d'Etudes Spatiales. All rights reserved.
See OTBCopyright.txt for details.

This software is distributed WITHOUT ANY WARRANTY; without even
the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR
PURPOSE. See the above copyright notices for more information.

=====*/

#include "otbImage.h"
#include "otbVectorData.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "otbVectorDataToMapFilter.h"
#include "otbAlphaBlendingFunctor.h"
#include "itkBinaryFunctorImageFilter.h"
#include "otbImageFileWriter.h"

// Software Guide : BeginCommandLineArgs
// INPUTS: {Scene.png}
// OUTPUTS: {LSDOutput.png}
// Software Guide : EndCommandLineArgs

// Software Guide : BeginLatex
//
// This example illustrates the use of the
// \doxygen{otb}{LineSegmentDetector}\cite{LSD}, also known as {\em
// Lucy in the
// Sky with Diamonds}.
// This filter is designed to extract segments in mono channel images.
//
// The first step required to use this filter is to include its header
// file.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet
#include "otbLineSegmentDetector.h"
// Software Guide : EndCodeSnippet

int main(int argc, char * argv[])
{
    const char * infname = argv[1];
    const char * outfname = argv[2];
```

```

typedef unsigned char InputPixelType;
typedef double PrecisionType;
const unsigned int Dimension = 2;

// Software Guide : BeginLatex
//
// As usual, we start by defining the types for the input image and
// the image file reader.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

typedef otb::Image<InputPixelType, Dimension> ImageType;
typedef otb::ImageFileReader<ImageType> ReaderType;

// Software Guide : EndCodeSnippet
// Software Guide : BeginLatex
//
// We instantiate the reader and set the file name for the input im-
// age.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

ReaderType::Pointer reader = ReaderType::New();
reader->SetFileName(infile);
reader->GenerateOutputInformation();

// Software Guide : EndCodeSnippet

// Software Guide : BeginLatex

//
// We define now the type for the segment detector filter. It is
// templated over the input image type and the precision with which
// the coordinates of the detected segments will be given. It is
// recommended to set this precision to a real type. The output of
// the
// filter will be a \doxygen{otb}{VectorData}.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

typedef otb::LineSegmentDetector<ImageType,
    PrecisionType> LsdFilterType;

LsdFilterType::Pointer lsdFilter = LsdFilterType::New();

// Software Guide : EndCodeSnippet

// Software Guide : BeginLatex
//
// In order to be able to display the results, we will draw the
// detected segments on top of the input image. For this matter, we
// will use a \doxygen{otb}{VectorDataToMapFilter} which
// is templated over the input vector data type and the output image
// type, and a combination of a
\doxygen{itk}{binaryFunctorImageFilter}

```

```

// and the \doxygen{otb}{Functor}{AlphaBlendingFunctor}.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

typedef otb::VectorData<PrecisionType> VectorDataType;

typedef otb::VectorDataToMapFilter<VectorDataType,
    ImageType> VectorDataRendererType;

VectorDataRendererType::Pointer vectorDataRenderer = VectorDataRen-
dererType::New();

typedef otb::Functor::AlphaBlendingFunctor<InputPixelType,
    InputPixelType, InputPixelType> FunctorType;

typedef itk::BinaryFunctorImageFilter<ImageType, ImageType,
    ImageType, FunctorType> BlendingFilterType;
BlendingFilterType::Pointer blendingFilter = BlendingFilter-
Type::New();

// Software Guide : EndCodeSnippet

// Software Guide : BeginLatex
//
// We can now define the type for the writer, instantiate it and set
// the file name for the output image.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

typedef otb::ImageFileWriter<ImageType> WriterType;
WriterType::Pointer writer = WriterType::New();
writer->SetFileName(outfname);

// Software Guide : EndCodeSnippet

// Software Guide : BeginLatex
//
// We plug the pipeline.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

    lsdFilter->SetInput(reader->GetOutput());

    vectorDataRenderer->SetInput(lsdFilter->GetOutput());
    vectorDataRenderer->SetSize(reader->GetOutput()-
>GetLargestPossibleRegion().GetSize());
    vectorDataRenderer-
>SetRenderingStyleType(VectorDataRendererType::Binary);

    blendingFilter->SetInput1(reader->GetOutput());
    blendingFilter->SetInput2(vectorDataRenderer->GetOutput());
    blendingFilter->GetFunctor().SetAlpha(0.25);

    writer->SetInput(blendingFilter->GetOutput());

```

```

// Software Guide : EndCodeSnippet

// Software Guide : BeginLatex
//
// Before calling the \code{Update()} method of the writer in order
to
// trigger the pipeline execution, we call the
// \doxygen{GenerateOutputInformation()} of the reader, so the LSD
// filter gets the information about image size and spacing.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

    reader->GenerateOutputInformation();
    writer->Update();

// Software Guide : EndCodeSnippet

// Software Guide : BeginLatex
// Figure~\ref{fig:LSD} shows the result of applying the line segment
// detection to an image.
// \begin{figure}
// \center
// \includegraphics[width=0.35\textwidth]{Scene.eps}
// \includegraphics[width=0.35\textwidth]{LSDOutput.eps}
// \itkcaption[LSD Application]{Result of applying the
// \doxygen{otb}{LineSegmentDetector} to an image.}
// \label{fig:LSD}
// \end{figure}
//
// Software Guide : EndLatex

    return EXIT_SUCCESS;
}

```


Αρχείο κώδικα για εφαρμογή αλγορίθμου LSD και εξαγωγή αποτελεσμάτων σε shapefile

```
/*=====
Program:  ORFEO Toolbox
Language: C++
Date:    $Date$
Version:  $Revision$

Copyright (c) Centre National d'Etudes Spatiales. All rights reserved.
See OTBCopyright.txt for details.

This software is distributed WITHOUT ANY WARRANTY; without even
the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR
PURPOSE. See the above copyright notices for more information.

=====*/

#include "otbImage.h"
#include "otbVectorData.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "otbVectorDataFileWriter.h"

// Software Guide : BeginCommandLineArgs
//  INPUTS: {Scene.png}
//  OUTPUTS: {LSDOutput.png}
// Software Guide : EndCommandLineArgs

// Software Guide : BeginLatex
//
// This example illustrates the use of the
// \doxygen{otb}{LineSegmentDetector}\cite{LSD}, also known as {\em
Lucy in the
// Sky with Diamonds}.
// This filter is designed to extract segments in mono channel images.
//
// The first step required to use this filter is to include its header
file.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet
#include "otbLineSegmentDetector.h"
// Software Guide : EndCodeSnippet

int main(int argc, char * argv[])
{
    const char * infname = argv[1];
    const char * outfname = argv[2];

    typedef unsigned char InputPixelType;
    typedef double PrecisionType;
```

```

    const unsigned int Dimension = 2;

// Software Guide : BeginLatex
//
// As usual, we start by defining the types for the input image and
// the image file reader.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

    typedef otb::Image<InputPixelType, Dimension> ImageType;
    typedef otb::ImageFileReader<ImageType> ReaderType;

// Software Guide : EndCodeSnippet
// Software Guide : BeginLatex
//
// We instantiate the reader and set the file name for the input im-
// age.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

    ReaderType::Pointer reader = ReaderType::New();
    reader->SetFileName(infile);
    reader->GenerateOutputInformation();

// Software Guide : EndCodeSnippet

// Software Guide : BeginLatex

//
// We define now the type for the segment detector filter. It is
// templated over the input image type and the precision with which
// the coordinates of the detected segments will be given. It is
// recommended to set this precision to a real type. The output of
// the
// filter will be a \doxygen{otb}{VectorData}.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

    typedef otb::LineSegmentDetector<ImageType,
        PrecisionType> LsdFilterType;

    LsdFilterType::Pointer lsdFilter = LsdFilterType::New();

// Software Guide : EndCodeSnippet

// Software Guide : BeginLatex
//
// In order to be able to display the results, we will draw the
// detected segments on top of the input image. For this matter, we
// will use a \doxygen{otb}{VectorDataToMapFilter} which
// is templated over the input vector data type and the output image
// type, and a combination of a
// \doxygen{itk}{binaryFunctorImageFilter}
// and the \doxygen{otb}{Functor}{AlphaBlendingFunctor}.
//

```

```

// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

    typedef otb::VectorData<PrecisionType> VectorDataType;

    typedef otb::VectorDataFileWriter<VectorDataType> VectorDataFile-
WriterType;

    VectorDataFileWriterType::Pointer VectorDataFileWriter = VectorData-
FileWriterType::New();

// Software Guide : EndCodeSnippet

// Software Guide : BeginLatex
//
// We can now define the type for the writer, instantiate it and set
// the file name for the output image.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

    VectorDataFileWriter->SetFileName(outfname);

// Software Guide : EndCodeSnippet

// Software Guide : BeginLatex
//
// We plug the pipeline.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

    lsdFilter->SetInput(reader->GetOutput());

    VectorDataFileWriter->SetInput(lsdFilter->GetOutput());

// Software Guide : EndCodeSnippet

// Software Guide : BeginLatex
//
// Before calling the \code{Update()} method of the writer in order
to
// trigger the pipeline execution, we call the
// \doxygen{GenerateOutputInformation()} of the reader, so the LSD
// filter gets the information about image size and spacing.
//
// Software Guide : EndLatex

// Software Guide : BeginCodeSnippet

    reader->GenerateOutputInformation();
    VectorDataFileWriter->Update();

// Software Guide : EndCodeSnippet

// Software Guide : BeginLatex
// Figure~\ref{fig:LSD} shows the result of applying the line segment

```

```
// detection to an image.
// \begin{figure}
// \center
// \includegraphics[width=0.35\textwidth]{Scene.eps}
// \includegraphics[width=0.35\textwidth]{LSDOutput.eps}
// \itkcaption[LSD Application]{Result of applying the
// \doxygen{otb}{LineSegmentDetector} to an image.}
// \label{fig:LSD}
// \end{figure}
//
// Software Guide : EndLatex

return EXIT_SUCCESS;
}
```

Απαιτούμενο CMake αρχείο για την εφαρμογή λοιπών μορφών επεξεργασίας εικόνας στη βιβλιοθήκη Orfeo Toolbox

CMakeLists.txt

```
PROJECT (Tutorial)
cmake_minimum_required(VERSION 2.6)

FIND_PACKAGE(OTB)
IF(OTB_FOUND)
    INCLUDE(${OTB_USE_FILE})
ELSE(OTB_FOUND)
    MESSAGE(FATAL_ERROR
        "Cannot build OTB project without OTB. Please set OTB_DIR.")
ENDIF(OTB_FOUND)

ADD_EXECUTABLE(PROJECT PROJECT.cxx )
TARGET_LINK_LIBRARIES(PROJECT OTBCommon OTBIO)
```


Εξαγωγή Καναλιού από Πολυφασματική Εικόνα

```
#include "otbVectorImage.h"
#include "otbImage.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "otbImageFileWriter.h"
#include "otbMultiToMonoChannelExtractROI.h"

int main(int argc, char * argv[])
{
    if (argc <2)
    { std::cerr << "Usage: "<< argv[0]<< " <input_filename> <output_extract> "<<
      std::endl;
    }

    typedef unsigned short int      PixelType;
    typedef otb::VectorImage<PixelType, 2> VectorImageType;

    typedef otb::ImageFileReader<VectorImageType> ReaderType;
    ReaderType::Pointer reader = ReaderType::New();
    reader->SetFileName(argv[1]);
    typedef otb::MultiToMonoChannelExtractROI<PixelType, PixelType> ExtractChannelType;
    ExtractChannelType::Pointer extractChannel = ExtractChannelType::New();

    reader->UpdateOutputInformation();
    extractChannel->SetExtractionRegion(
    reader->GetOutput()->GetLargestPossibleRegion());

    extractChannel->SetChannel(3);
    extractChannel->SetInput(reader->GetOutput());

    typedef otb::Image<PixelType, 2>      ImageType;
    typedef otb::ImageFileWriter<ImageType> WriterType;
    WriterType::Pointer writer = WriterType::New();
    writer->SetFileName(argv[2]);
    writer->SetInput(extractChannel->GetOutput());
    writer->Update();

    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Αρχείο κώδικα για τη δημιουργία πυραμίδας εικόνων

```
#include "itkMultiResolutionPyramidImageFilter.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "otbImageFileWriter.h"
#include "itkRescaleIntensityImageFilter.h"
#include "otbImage.h"
#include "itkMacro.h"
int main(int argc, char * argv[])
{
    if (argc != 4)
    {

std::cerr << "Usage: " << argv[0] << " inputImageFile ";
std::cerr << " outputImage1 iterations " << std::endl;
return EXIT_FAILURE;
    }

    const char *    inputFilename = argv[1];
    const unsigned int numberOfLevels = atoi(argv[3]);
    const unsigned int Dimension = 2;
    typedef short int InputPixelType;
    typedef short int OutputPixelType;
    typedef otb::Image<InputPixelType, Dimension> InputImageType;
    typedef otb::Image<OutputPixelType, Dimension> OutputImageType;
    typedef otb::ImageFileReader<InputImageType> ReaderType;
    typedef otb::ImageFileWriter<OutputImageType> WriterType;
    typedef
itk::MultiResolutionPyramidImageFilter<InputImageType,OutputImageType
> PyramidFilterType;

//typedef PyramidFilterType::OutputImageListType::Iterator ImageList-
tIterator;
ReaderType::Pointer reader = ReaderType::New();
reader->SetFileName(inputFilename);

PyramidFilterType::Pointer pyramid = PyramidFilterType::New();
pyramid->SetNumberOfLevels(numberOfLevels);
pyramid->SetInput(reader->GetOutput());
pyramid->Update();
//ImageListIterator itAnalyse = pyramid->GetOutput()->Begin();
WriterType::Pointer writer = WriterType::New();
//int i = 1;
//std::cout << (itAnalyse != (pyramid->GetOutput()->End())) <<
std::endl;
//while (itAnalyse != pyramid->GetOutput()->End())
//{
//    writer->SetInput(itAnalyse.Get());
//    writer->SetFileName(argv[0] * 1 + i + 1]);
//    writer->Update();
//    ++itAnalyse;
//    ++i;
// }
typedef itk :: RescaleIntensityImageFilter <In-
putImageType,OutputImageType > RescalerType;
RescalerType::Pointer rescaler =RescalerType::New();
rescaler -> SetOutputMinimum(0);
rescaler -> SetOutputMaximum(255);

writer->SetFileName(argv[2]);
rescaler->SetInput(pyramid->GetOutput());
```

```
writer->SetInput(rescaler->GetOutput());  
writer->Update();
```

```
return EXIT_SUCCESS;  
}
```

Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή διωνυμικού φίλτρου (binomial) σε grayscale εικόνα

```
#include "otbImage.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "itkBinomialBlurImageFilter.h"

#include "otbImageFileWriter.h"
int main(int argc, char * argv[])
{
    // Verify command line arguments

    typedef otb::Image< unsigned char, 2 > UnsignedCharImageType;

    typedef otb::ImageFileReader< UnsignedCharImageType > readerType;

    typedef itk::BinomialBlurImageFilter<
        UnsignedCharImageType, UnsignedCharImageType > filter-
Type;

    // Create and setup a reader
    readerType::Pointer reader = readerType::New();
    reader->SetFileName(argv[1]);
    int repetitions = 2;
    // Create and setup a mean filter
    filterType::Pointer blurFilter = filterType::New();
    blurFilter->SetInput( reader->GetOutput() );
    blurFilter->SetRepetitions( repetitions );

    typedef otb::ImageFileWriter<UnsignedCharImageType> WriterType;
    WriterType::Pointer writer=WriterType::New();

    writer->SetFileName(argv[2]);
    writer->SetInput(blurFilter->GetOutput());

    writer->Update();

    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή φίλτρου Gauss σε grayscale εικόνα

```
#include "otbImage.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "otbImageFileWriter.h"
#include "itkRescaleIntensityImageFilter.h"
#include "itkDiscreteGaussianImageFilter.h"

int main(int argc, char * argv[])
{
    if (argc < 5)
    {
        std::cerr << "Usage: " << std::endl;
        std::cerr << argv[0] << " inputImageFile outputImageFile variance
maxKernelWidth " << std::endl;
        return EXIT_FAILURE;
    }

    typedef float InputPixelType;

    typedef float OutputPixelType;

    typedef otb::Image<InputPixelType, 2> InputImageType;

    typedef otb::Image<OutputPixelType, 2> OutputImageType;

    typedef otb::ImageFileReader<InputImageType> ReaderType;

    typedef itk::DiscreteGaussianImageFilter< InputImageType, Out-
putImageType> FilterType;

    FilterType::Pointer filter = FilterType::New();
    ReaderType::Pointer reader = ReaderType::New();

    reader->SetFileName(argv[1]);
    filter->SetInput(reader->GetOutput());

    const double gaussianVariance = atof(argv[3]);
    const unsigned int maxKernelWidth = atoi(argv[4]);

    filter->SetVariance(gaussianVariance);
    filter->SetMaximumKernelWidth(maxKernelWidth);
    filter->Update();

    typedef unsigned char WritePixelType;

    typedef otb::Image<WritePixelType, 2> WriteImageType;

    typedef itk::RescaleIntensityImageFilter<OutputImageType,
WriteImageType> RescaleFilterType;
    RescaleFilterType::Pointer rescaler = RescaleFilterType::New();

    rescaler->SetOutputMinimum(0);
    rescaler->SetOutputMaximum(255);

    typedef otb::ImageFileWriter<WriteImageType> WriterType;
    WriterType::Pointer writer = WriterType::New();
    writer->SetFileName(argv[2]);
```



```
rescaler->SetInput(filter->GetOutput());  
writer->SetInput(rescaler->GetOutput());  
writer->Update();  
  
return EXIT_SUCCESS;  
}
```

Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή φίλτρου μεσαίας τιμής (median) σε grayscale εικόνα

```
#include "otbImage.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "otbVectorImage.h"
#include "otbStreamingImageFileWriter.h"
#include "itkMedianImageFilter.h"
#include "otbPerBandVectorImageFilter.h"

int main(int argc, char * argv[])
{
    if (argc < 3)
    {
        std::cerr << "Usage: " << std::endl;
        std::cerr << argv[0] << " inputImageFile outputImageFile" <<
        std::endl;
        return EXIT_FAILURE;
    }

    typedef unsigned short int PixelType;
    typedef otb::VectorImage<PixelType,2> VectorImageType;

    typedef otb::ImageFileReader<VectorImageType> ReaderType;
    ReaderType::Pointer reader = ReaderType::New();

    typedef otb::Image<PixelType,2> ImageType;
    reader->SetFileName(argv[1]);

    typedef itk::MedianImageFilter<ImageType, ImageType> FilterType;
    FilterType::Pointer filter = FilterType::New();

    ImageType::SizeType indexRadius;

    indexRadius[0] = 1; // radius along x
    indexRadius[1] = 1; // radius along y
    filter->SetRadius(indexRadius);

    typedef otb::PerBandVectorImageFilter<VectorImageType, VectorImageType, FilterType> VectorFilterType;
    VectorFilterType::Pointer vectorFilter = VectorFilterType::New();
    vectorFilter->SetFilter(filter);
    vectorFilter->SetInput(reader->GetOutput());

    typedef otb::StreamingImageFileWriter<VectorImageType> VectorWriterType;

    VectorWriterType::Pointer writerVector = VectorWriterType::New();

    writerVector->SetFileName(argv[2]);

    writerVector->SetInput(vectorFilter->GetOutput());
    writerVector->Update();

    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή φίλτρου Anisotropic Diffusion σε grayscale εικόνα

```
#include "otbImage.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "otbImageFileWriter.h"
#include "itkRescaleIntensityImageFilter.h"
#include "itkGradientAnisotropicDiffusionImageFilter.h"

int main(int argc, char * argv[])
{
    if (argc < 6)
    {
        std::cerr << "Usage: " << std::endl;

        std::cerr << argv[0] << " inputImageFile outputImageFile ";

        std::cerr << "numberOfIterations timeStep conductance" <<
std::endl;

        return EXIT_FAILURE;
    }

    typedef float InputPixelType;
    typedef float OutputPixelType;
    typedef otb::Image<InputPixelType, 2> InputImageType;
    typedef otb::Image<OutputPixelType, 2> OutputImageType;

    typedef otb::ImageFileReader<InputImageType> ReaderType;

    typedef
itk::GradientAnisotropicDiffusionImageFilter<InputImageType, Out-
putImageType> FilterType;

    FilterType::Pointer filter = FilterType::New();

    ReaderType::Pointer reader = ReaderType::New();

    reader->SetFileName(argv[1]);

    filter->SetInput(reader->GetOutput());
    const unsigned int numberOfIterations = atoi(argv[3]);
    const double timeStep = atof(argv[4]);
    const double conductance = atof(argv[5]);

    filter->SetNumberOfIterations(numberOfIterations);
    filter->SetTimeStep(timeStep);
    filter->SetConductanceParameter(conductance);
    filter->Update();

    typedef unsigned char WritePixelType;
    typedef otb::Image<WritePixelType, 2> WriteImageType;
    typedef itk::RescaleIntensityImageFilter< OutputImageType,
WriteImageType> RescaleFilterType;
    RescaleFilterType::Pointer rescaler = RescaleFilterType::New();
```

```
rescaler->SetOutputMinimum(0);
rescaler->SetOutputMaximum(255);

typedef otb::ImageFileWriter<WriteImageType> WriterType;
WriterType::Pointer writer = WriterType::New();
writer->SetFileName(argv[2]);
rescaler->SetInput(filter->GetOutput());
writer->SetInput(rescaler->GetOutput());
writer->Update();

return EXIT_SUCCESS;

}
```

Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή φίλτρου Bilateral σε grayscale εικόνα

```
#include "otbImage.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include <itkBilateralImageFilter.h>

#include "otbImageFileWriter.h"
int main(int argc, char * argv[])
{
    // Verify command line arguments

    typedef otb::Image< unsigned char, 2 > UnsignedCharImageType;

    typedef otb::ImageFileReader< UnsignedCharImageType > readerType;

    typedef itk::BilateralImageFilter<
        UnsignedCharImageType, UnsignedCharImageType > filter-
Type;

    // Create and setup a reader
    readerType::Pointer reader = readerType::New();
    reader->SetFileName(argv[1]);
    int repetitions = 2;
    // Create and setup a mean filter
    filterType::Pointer filter = filterType::New();
    filter->SetInput( reader->GetOutput() );

    typedef otb::ImageFileWriter<UnsignedCharImageType> WriterType;
    WriterType::Pointer writer=WriterType::New();

    writer->SetFileName(argv[2]);
    writer->SetInput(filter->GetOutput());

    writer->Update();

    return EXIT_SUCCESS;
}
```


Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή αλγορίθμου Canny σε grayscale εικόνα

```
// Software Guide : BeginCommandLineArgs

// INPUTS: {ROIspot5.png}
// OUTPUTS: {CannyEdgeDetectorImageFilterOutput.png}
// 2

#include "otbImage.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "otbImageFileWriter.h"
#include "itkCastImageFilter.h"
#include "itkRescaleIntensityImageFilter.h"
#include "itkCannyEdgeDetectionImageFilter.h"
int main(int argc, char* argv[])

{

if (argc < 3)
{

std::cerr << "Usage: " << std::endl;
std::cerr << argv[0] << " inputImage outputImage [variance]" <<
std::endl;

return EXIT_FAILURE;
}
const char * inputFilename = argv[1];

const char * outputFilename = argv[2];

float variance = 2.0;
if (argc > 3)

{ variance = atof(argv[3]);
}

typedef unsigned char CharPixelType; // IO

typedef double RealPixelType; // Operations

const unsigned int Dimension = 2;
typedef otb::Image<CharPixelType, Dimension> CharImageType;
typedef otb::Image<RealPixelType, Dimension> RealImageType;
typedef otb::ImageFileReader<RealImageType> ReaderType;

// Software Guide : EndCodeSnippet
typedef otb::ImageFileWriter<CharImageType> WriterType;
typedef itk::RescaleIntensityImageFilter<RealImageType, CharImageType> RescaleFilter;
typedef itk::CannyEdgeDetectionImageFilter<RealImageType, RealImageType> CannyFilter;
ReaderType::Pointer reader = ReaderType::New();
WriterType::Pointer writer = WriterType::New();
RescaleFilter::Pointer rescale = RescaleFilter::New();
//Setting the ITK pipeline filter

CannyFilter::Pointer cannyFilter = CannyFilter::New();
reader->SetFileName(inputFilename);
writer->SetFileName(outputFilename);
```

```
rescale->SetOutputMinimum(0);
rescale->SetOutputMaximum(255);
cannyFilter->SetInput(reader->GetOutput());
cannyFilter->SetVariance(variance);
rescale->SetInput(cannyFilter->GetOutput());
writer->SetInput(rescale->GetOutput());
    try
    {
        writer->Update();
    }
    catch (itk::ExceptionObject& err)
    {
        std::cout << "ExceptionObject caught !" << std::endl;
        std::cout << err << std::endl;
        return EXIT_FAILURE;
    }

return EXIT_SUCCESS;
}
```

Αρχείο κώδικα για την εφαρμογή μετασχηματισμού Hough στην εικόνα

```
#include "otbLocalHoughFilter.h"

#include "otbDrawLineSpatialObjectListFilter.h"
#include "otbLineSpatialObjectList.h"

#include "otbImage.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "itkRescaleIntensityImageFilter.h"
#include "otbImageFileWriter.h"
int main(int argc, char * argv[])

{
if (argc != 7)

{

std::cerr << "Usage: " << argv[0] << " inputImageFile ";

std::cerr <<" outputImageFile LocalHoughRadius LocalHoughOverlap LocalHoughNumberOfLines LocalHoughThreshold"<< std::endl;
return EXIT_FAILURE;
}

typedef float      InternalPixelType;

typedef unsigned char OutputPixelType;
typedef otb::Image<InternalPixelType, 2> InternalImageType;
typedef otb::Image<OutputPixelType, 2> OutputImageType;
typedef otb::LineSpatialObjectList LinesListType;
typedef otb::LocalHoughFilter<InternalImageType> LocalHoughType;
typedef otb::DrawLineSpatialObjectListFilter<InternalImageType,OutputImageType>
DrawLineListType;
typedef itk::RescaleIntensityImageFilter<InternalImageType, OutputImageType> RescalerType;
RescalerType::Pointer rescaler = RescalerType::New();
rescaler->SetOutputMinimum(itk::NumericTraits<OutputPixelType>::min());
rescaler->SetOutputMaximum(itk::NumericTraits<OutputPixelType>::max());
typedef otb::ImageFileReader<InternalImageType> ReaderType;
typedef otb::ImageFileWriter<OutputImageType> WriterType;
ReaderType::Pointer reader = ReaderType::New();
LocalHoughType::Pointer localHough = LocalHoughType::New();
DrawLineListType::Pointer drawLineList = DrawLineListType::New();
WriterType::Pointer writer = WriterType::New();
reader->SetFileName(argv[1]);

unsigned int LocalHoughRadiusX((unsigned int) ::atoi(argv[3]));
unsigned int LocalHoughRadiusY((unsigned int) ::atoi(argv[3]));
unsigned int LocalHoughOverlapX((unsigned int) ::atoi(argv[4]));
unsigned int LocalHoughOverlapY((unsigned int) ::atoi(argv[4]));
unsigned int LocalHoughNumberOfLines((unsigned int) ::atoi(argv[5]));
float      LocalHoughThreshold((float) ::atoi(argv[6]));

LocalHoughType::SizeType LocalHoughRadius;
LocalHoughRadius[0] = LocalHoughRadiusX;
LocalHoughRadius[1] = LocalHoughRadiusY;
```

```
LocalHoughType::SizeType LocalHoughOverlap;

LocalHoughOverlap[0] = LocalHoughOverlapX;
LocalHoughOverlap[1] = LocalHoughOverlapY;

localHough->SetRadius(LocalHoughRadius);
localHough->SetOverlap(LocalHoughOverlap);
localHough->SetNumberOfLines(LocalHoughNumberOfLines);
localHough->SetThreshold(LocalHoughThreshold);

localHough->SetInput(reader->GetOutput());

drawLineList->SetInput(reader->GetOutput());
drawLineList->SetInputLineSpatialObjectList(localHough->GetOutput());
writer->SetFileName(argv[2]);
writer->SetInput(drawLineList->GetOutput());
//writer->SetInput(localHough->GetOutput());
writer->Update();
return EXIT_SUCCESS;
}
```

Ανάπτυξη Προγραμματιστικής Εφαρμογής για ανίχνευση γραμμών σε εφαρμογές χαρτογράφησης αστικού περιβάλλοντος

Α Έκδοση

```
#include "otbImage.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "itkBinomialBlurImageFilter.h"
#include "otbImageFileWriter.h"
#include "otbExtractROI.h"
#include "itkShiftScaleImageFilter.h"
#include "otbStreamingImageFileWriter.h"
#include "itkRescaleIntensityImageFilter.h"
#include "otbVectorData.h"
#include "otbVectorDataFileReader.h"
#include "otbVectorDataFileWriter.h"
#include <otbConcatenateVectorDataFilter.h>
#include "otbLineSegmentDetector.h"
int main(int argc, char* argv[]){
if (argc != 4)

{
std::cerr << "Usage: " << argv[0] << " inputImageFile ";

std::cerr << " outputshapeFile1 outputshapeFile2 " << std::endl;

return EXIT_FAILURE;
}

typedef unsigned short int PixelType;
typedef double PrecisionType;

typedef otb::Image<PixelType, 2> ImageType;

typedef otb::ImageFileReader<ImageType> ReaderType;

typedef itk::BinomialBlurImageFilter<ImageType, ImageType > BinomialFilterType;

typedef otb::ImageFileWriter<ImageType> BinomialWriterType;

typedef otb::ExtractROI<PixelType, PixelType> ExtractROIFilterType;

typedef itk::RescaleIntensityImageFilter <ImageType,ImageType > RescalerType;

typedef otb::StreamingImageFileWriter<ImageType> WriterType;

typedef otb::LineSegmentDetector<ImageType, PrecisionType> LsdFilterType;

typedef otb::VectorData<PrecisionType> VectorDataType;

typedef otb::VectorDataFileWriter<VectorDataType> VectorDataFileWriterType;

typedef otb::VectorDataFileReader<VectorDataType> VectorDataFileReaderType;

typedef otb::ConcatenateVectorDataFilter<VectorDataType> ConcatenateFilter;

int counter=0; //μετρητής εικόνων για το επιπέδο των τεσσάρων τμημάτων
int counternew=0; //μετρητής εικόνων για το επιπέδο των δεκαέξι τμημάτων

//Ανάγνωση της εικόνας-εισόδου

ImageType::Pointer image=ImageType::New();

ReaderType::Pointer reader=ReaderType::New();
reader->SetFileName(argv[1]);
reader->Update();

image=reader->GetOutput();//Εκχώρηση της αρχικής εικόνας στον Smartpointer Image

//Απαραίτητα μεγέθη για την υλοποίηση του αλγορίθμου
ImageType::SizeType Imagesize=image->GetLargestPossibleRegion().GetSize ();
```



```

std::cout<<"Image Size "<<Imagesize[0]<<" "<<Imagesize[1]<<std::endl; //μέγεθος
αρχικής εικόνας

ImageType::SizeType QuarterImageSize;
QuarterImageSize[0]=Imagesize[0]/2;
QuarterImageSize[1]=Imagesize[1]/2;
std::cout<<"Quarter Image Size "<<QuarterImageSize[0]<<" "<<QuarterIm-
ageSize[1]<<std::endl; //μέγεθος ενός τετάρτου τμήματος της αρχικής εικόνας

ImageType::SizeType SixteenthImageSize;
SixteenthImageSize[0]=Imagesize[0]/4;
SixteenthImageSize[1]=Imagesize[1]/4;
std::cout<<"One Sixteenth Image Size "<<SixteenthImageSize[0]<<" "<<Six-
teenthImageSize[1]<<std::endl; //μέγεθος ενός δεκατου έκτου τμήματος της αρχικής
εικόνας

ConcatenateFilter::Pointer confilter=ConcatenateFilter::New();//Δημιουργία Smartpoint-
er, μέσω του οποίου τα διανυσματικά αρχεία του επιπέδου των τεσσάρων τμημάτων θα
ενωποιηθούν σε ένα αρχείο
ConcatenateFilter::Pointer newconfilter=ConcatenateFilter::New();//Δημιουργία
Smartpointer, μέσω του οποίου τα διανυσματικά αρχεία του επιπέδου των δεκαέξι τμημάτων
θα ενωποιηθούν σε ένα αρχείο
// Δημιουργία τεσσάρων τμημάτων

for (int i=0; i<2; i++)
{
for (int k=2; k>0; k--)
{
ImageType::IndexType start;//Array στο οποίο γίνεται αποθήκευση του πρώτου εικονοστοι-
χείου του εκάστοτε τμήματος εικόνας
start[0]=i*QuarterImageSize[0];//άξονας x
start[1]=(k-1)*QuarterImageSize[1];//άξονας y
std::cout<<"Image starts at "<<start[0]<<" "<<start[1]<<std::endl;

ImageType::RegionType region;//Ορισμός τμήματος εικόνας
region.SetSize(QuarterImageSize);//μέγεθος
region.SetIndex(start);//θέση πρώτου εικονοστοιχείου

ExtractROIFilterType::Pointer extractROIFilter =ExtractROIFilterType::New();//Εξαγωγή
τμήματος εικόνας
extractROIFilter -> SetExtractionRegion(region);//ορισμός περιοχής
extractROIFilter->SetInput(reader->GetOutput());//ορισμός στοιχείου-εισόδου, δηλαδή
της αρχικής εικόνας

RescalerType::Pointer rescaler =RescalerType::New();//Ρύθμιση επιτρεπτών τιμών για τα
εικονοστοιχεία
rescaler -> SetOutputMinimum(0);
rescaler -> SetOutputMaximum(255);
rescaler->SetInput(extractROIFilter->GetOutput());

++counter;//Δημιουργία νέας εικόνας

WriterType::Pointer Writer = WriterType::New();//Δημιουργία Smartpointer στον οποίο θα
εκχωρηθεί το τμήμα της εικόνας
Writer->SetFileName("Quarter.png");
Writer->SetInput(rescaler->GetOutput());
Writer->Update();

std::cout<<"New Quarter Image Allocated!!"<<std::endl;

//-----Εφαρμογή αλγορίθμου LSD στο συγκεκριμένο τμήμα της
εικόνας-----
-----*/

ReaderType::Pointer reader1=ReaderType::New();//Δημιουργία Smartpointer ο οποίος θα
κάνει ανάγνωση του τμήματος της εικόνας
reader1->SetFileName("Quarter.png");

LsdFilterType::Pointer lsdFilter = LsdFilterType::New(); //Δημιουργία Smartpointer ο
ο οποίος θα εφαρμόσει τον αλγόριθμο στο τμήμα της εικόνας
lsdFilter->SetInput(reader1->GetOutput());//Είσοδος το τμήμα της εικόνας

```

```

VectorDataFileWriterType::Pointer VectorDataFileWriter =
VectorDataFileWriterType::New();//Δημιουργία Smartpointer στον οποίο θα εκχωρηθεί το
αποτέλεσμα του αλγορίθμου
VectorDataFileWriter->SetFileName("Quarter.shp");
VectorDataFileWriter->SetInput(lsdFilter->GetOutput());
reader->GenerateOutputInformation();
VectorDataFileWriter->Update();

VectorDataFileReaderType::Pointer vectorreader = VectorDataFileReader-
Type::New();//Δημιουργία Smartpointer ο οποίος θα διαβάσει το διανυσματικό αρχείο που
δημιουργήθηκε
vectorreader->SetFileName("Quarter.shp");
vectorreader->Update();

confilter->AddInput(vectorreader->GetOutput());//Συνένωση του παραχθέντος διανυσματι-
κού αρχείου στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων

std::cout<<"New Quarter shapefile concacated!!"<<std::endl;

for (int l=0; l<2; l++)
{
for (int m=2; m>0; m--)
{
ImageType::IndexType startnew;//Array στο οποίο γίνεται αποθήκευση του πρώτου εικονο-
στοιχείου του εκάστοτε τμήματος εικόνας
startnew[0]=i*QuarterImageSize[0]+l*SixteenthImageSize[0];//άξονας x
startnew[1]=(k-1)*QuarterImageSize[1]+(m-1)*SixteenthImageSize[1];//άξονας y
std::cout<<"Image starts at "<<startnew[0]<<" "<<startnew[1]<<std::endl;

ImageType::RegionType regionnew;//Ορισμός τμήματος εικόνας
regionnew.SetSize(SixteenthImageSize);//μεγέθους
regionnew.SetIndex(startnew);//θέση πρώτου εικονοστοιχείου

ExtractROIFilterType::Pointer newextractROIFilter
=ExtractROIFilterType::New();//εξαγωγή τμήματος εικόνας
newextractROIFilter -> SetExtractionRegion(regionnew);//ορισμός περιοχής
newextractROIFilter->SetInput(reader->GetOutput());//ορισμός στοιχείου-εισόδου, δηλαδή
της αρχικής εικόνας

RescalerType::Pointer newrescaler =RescalerType::New();//Πύθμισμα επιτρεπτών τιμών για
τα εικονοστοιχεία
newrescaler -> SetOutputMinimum(0);
newrescaler -> SetOutputMaximum(255);
newrescaler->SetInput(newextractROIFilter->GetOutput());

++counternew;

WriterType::Pointer newWriter = WriterType::New();//Δημιουργία Smartpointer στον οποίο
θα εκχωρηθεί το τμήμα της εικόνας
newWriter->SetFileName("Sixteenth.png");
newWriter->SetInput(newrescaler->GetOutput());
newWriter->Update();

std::cout<<"New Sixteenth Image Allocated!!"<<std::endl;

//-----Εφαρμογή αλγορίθμου LSD στο συγκεκριμένο τμήμα της
εικόνας-----
-----*/

ReaderType::Pointer reader2=ReaderType::New();//Δημιουργία Smartpointer ο οποίος θα
κάνει ανάγνωση του τμήματος της εικόνας
reader2->SetFileName("Sixteenth.png");//Είσοδος το τμήμα που μόλις δημιουργήθηκε

LsdFilterType::Pointer newlsdFilter = LsdFilterType::New();//Δημιουργία Smartpointer ο
ο οποίος θα εφαρμόσει τον αλγόριθμο στο τμήμα της εικόνας
newlsdFilter->SetInput(reader2->GetOutput());//Είσοδος το τμήμα που μόλις δημιουργήθη-
κε

VectorDataFileWriterType::Pointer newVectorDataFileWriter = VectorDataFileWriter-
Type::New();//Δημιουργία Smartpointer στον οποίο θα εκχωρηθεί το τμήμα της εικόνας
newVectorDataFileWriter->SetFileName("Sixteenth.shp");

```

```

newVectorDataFileWriter->SetInput(newIisdFilter->GetOutput());
reader->GenerateOutputInformation();
newVectorDataFileWriter->Update();

VectorDataFileReaderType::Pointer vectorreadernew = VectorDataFileReader-
Type::New();//Δημιουργία Smartpointer ο οποίος θα διαβάσει το διανυσματικό αρχείο που
δημιουργήθηκε
vectorreadernew->SetFileName("Sixteenth.shp");
vectorreadernew->Update();

newconfilter->AddInput(vectorreadernew->GetOutput());//Συνένωση του παραχθέντος διανυ-
σματικού αρχείου στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων

std::cout<<"New Sixteenth shapefile concacated!!"<<std::endl;

}
}
}
}

counter+=counternew;//Συνολικός αριθμός τμημάτων
std::cout<<"Counter= "<<counter<<std::endl;

VectorDataFileWriterType::Pointer conwriter = VectorDataFileWriter-
Type::New();//Δημιουργία Smartpointer μέσω του οποίου θα γίνει αποθήκευση του
παραγόμενου μέσω της διαδικασίας συνένωσης διανυσματικού αρχείου
conwriter->SetInput(confilter->GetOutput());
conwriter->SetFileName(argv[2]);
conwriter->Update();

//-----Ολοκλήρωση διαδικασίας για τις εικόνες του επιπέδου των τεσσά-
ρων τμημάτων-----

VectorDataFileWriterType::Pointer newconwriter =
VectorDataFileWriterType::New();//Δημιουργία Smartpointer μέσω του οποίου θα γίνει
αποθήκευση του παραγόμενου μέσω της διαδικασίας συνένωσης διανυσματικού αρχείου
newconwriter->SetInput(newconfilter->GetOutput());
newconwriter->SetFileName(argv[3]);
newconwriter->Update();

//-----Ολοκλήρωση διαδικασίας για τις εικόνες του επιπέδου των δεκαέξι
τμημάτων-----

return EXIT_SUCCESS;

}

```

Β Έκδοση

```
#include "otbImage.h"
#include "otbImageFileReader.h"
#include "itkBinomialBlurImageFilter.h"
#include "otbImageFileWriter.h"
#include "otbExtractROI.h"
#include "itkShiftScaleImageFilter.h"
#include "otbStreamingImageFileWriter.h"
#include "itkRescaleIntensityImageFilter.h"
#include "otbVectorData.h"
#include "otbVectorDataFileReader.h"
#include "otbVectorDataFileWriter.h"
#include <otbConcatenateVectorDataFilter.h>
#include "otbLineSegmentDetector.h"
int main(int argc, char* argv[]){
if (argc != 5)

{
std::cerr << "Usage: " << argv[0] << " inputImageFile ";

std::cerr << " outputshapeFile1 outputshapeFile2 ImageAnalysis" << std::endl;

return EXIT_FAILURE;
}

typedef unsigned short int PixelType;
typedef double PrecisionType;

typedef otb::Image<PixelType, 2> ImageType;

typedef otb::ImageFileReader<ImageType> ReaderType;

typedef itk::BinomialBlurImageFilter<ImageType, ImageType > BinomialFilterType;

typedef otb::ImageFileWriter<ImageType> BinomialWriterType;

typedef otb::ExtractROI<PixelType, PixelType> ExtractROIFilterType;

typedef itk::RescaleIntensityImageFilter <ImageType,ImageType > RescalerType;

typedef otb::StreamingImageFileWriter<ImageType> WriterType;

typedef otb::LineSegmentDetector<ImageType, PrecisionType> LsdFilterType;

typedef otb::VectorData<PrecisionType> VectorDataType;

typedef otb::VectorDataFileWriter<VectorDataType> VectorDataFileWriterType;

typedef otb::VectorDataFileReader<VectorDataType> VectorDataFileReaderType;

typedef otb::ConcatenateVectorDataFilter<VectorDataType> ConcatenateFilter;

int counter=0; //μετρητής εικόνων για το επιπέδο των τεσσάρων τμημάτων
int counternew=0; //μετρητής εικόνων για το επιπέδο των δεκαέξι τμημάτων

//Ανάγνωση της εικόνας-εισόδου

ImageType::Pointer image=ImageType::New();

ReaderType::Pointer reader=ReaderType::New();
reader->SetFileName(argv[1]);
reader->Update();

if (atof(argv[4])>=2)//Έλεγχος αν η χωρική ανάλυση>2 μέτρα. Στην περίπτωση αυτή εφαρ-
μογή διωνυμικού φίλτρου στην εικόνα εισόδου
{
int repetitions = 2;

BinomialFilterType::Pointer binomialfilter = BinomialFilterType::New();//Δημιουργία
Smartpointer, ο οποίος θα εφαρμόσει το διωνυμικό φίλτρο (binomial) στην εικόνα εισόδου
binomialfilter->SetRepetitions(repetitions);
binomialfilter->SetInput(reader->GetOutput());//Είσοδος η εικόνα- εισόδου
```

```

RescalerType::Pointer rescaler=RescalerType::New();//Rescale των τιμών των εικονοστοι-
χειών της εικόνας-εισόδου. Απαραίτητη ενέργεια για το δοθέν φίλτρο
rescaler->SetOutputMinimum(0);
rescaler->SetOutputMaximum(255);
rescaler->SetInput(binomialfilter->GetOutput());//Είσοδος η εξομαλυμένη εικόνα

BinomialWriterType::Pointer BinomialWriter=BinomialWriterType::New();//Δημιουργία
Smartpointer στον οποίο θα αποθηκευτεί η rescaled εικόνα
BinomialWriter->SetFileName("blurredImage.png");
BinomialWriter->SetInput(rescaler->GetOutput());
BinomialWriter->Update();

reader->SetFileName("blurredImage.png");
reader->Update();

image=reader->GetOutput();//Εκχώρηση της εξομαλυμένης εικόνας στον Smartpointer Image
std::cout<<"Image Preprocessing needed. Image blurred by Binomial Image Fil-
ter"<<std::endl;

}
else//Χωρική ανάλυση <2 μέτρα
{
image=reader->GetOutput();//Εκχώρηση της αρχικής εικόνας στον Smartpointer Image
}

//Απαραίτητα μεγέθη για την υλοποίηση του αλγορίθμου
ImageType::SizeType Imagesize=image->GetLargestPossibleRegion().GetSize ();
std::cout<<"Image Size "<<Imagesize[0]<<" "<<Imagesize[1]<<std::endl; //μέγεθος
αρχικής εικόνας

ImageType::SizeType QuarterImageSize;
QuarterImageSize[0]=Imagesize[0]/2;
QuarterImageSize[1]=Imagesize[1]/2;
std::cout<<"Quarter Image Size "<<QuarterImageSize[0]<<" "<<QuarterIm-
ageSize[1]<<std::endl; //μέγεθος ενός τετάρτου τμήματος της αρχικής εικόνας

ImageType::SizeType SixteenthImageSize;
SixteenthImageSize[0]=Imagesize[0]/4;
SixteenthImageSize[1]=Imagesize[1]/4;
std::cout<<"One Sixteenth Image Size "<<SixteenthImageSize[0]<<" "<<Six-
teenthImageSize[1]<<std::endl;//μέγεθος ενός δεκατου έκτου τμήματος της αρχικής
εικόνας

ConcatenateFilter::Pointer confilter=ConcatenateFilter::New();//Δημιουργία Smartpoint-
er, μέσω του οποίου τα διανυσματικά αρχεία του επιπέδου των τεσσάρων τμημάτων θα
ενωποιηθούν σε ένα αρχείο
ConcatenateFilter::Pointer newconfilter=ConcatenateFilter::New();//Δημιουργία
Smartpointer, μέσω του οποίου τα διανυσματικά αρχεία του επιπέδου των δεκαέξι τμημάτων
θα ενωποιηθούν σε ένα αρχείο
// Δημιουργία τεσσάρων τμημάτων

for (int i=0; i<2; i++)
{
for (int k=2; k>0; k--)
{
ImageType::IndexType start;//Array στο οποίο γίνεται αποθήκευση του πρώτου εικονοστοι-
χειού του εκάστοτε τμήματος εικόνας
start[0]=i*QuarterImageSize[0];//άξονας x
start[1]=(k-1)*QuarterImageSize[1];//άξονας y
std::cout<<"Image starts at "<<start[0]<<" "<<start[1]<<std::endl;

ImageType::RegionType region;//Ορισμός τμήματος εικόνας
region.SetSize(QuarterImageSize);//μέγεθος
region.SetIndex(start);//θέση πρώτου εικονοστοιχείου

ExtractROIFilterType::Pointer extractROIFilter =ExtractROIFilterType::New();//εξαγωγή
τμήματος εικόνας
extractROIFilter -> SetExtractionRegion(region);//ορισμός περιοχής
extractROIFilter->SetInput(reader->GetOutput());//ορισμός στοιχείου-εισόδου, δηλαδή
της αρχικής εικόνας

RescalerType::Pointer rescaler =RescalerType::New();//Ρύθμιση επιτρεπών τιμών για τα
εικονοστοιχεία

```



```

rescaler -> SetOutputMinimum(0);
rescaler -> SetOutputMaximum(255);
rescaler->SetInput(extractROIFilter->GetOutput());

++counter;//Δημιουργία νέας εικόνας

WriterType::Pointer Writer = WriterType::New();//Δημιουργία Smartpointer στον οποίο θα
εκχωρηθεί το τμήμα της εικόνας
Writer->SetFileName("Quarter.png");
Writer->SetInput(rescaler->GetOutput());
Writer->Update();

std::cout<<"New Quarter Image Allocated!!"<<std::endl;

//-----Εφαρμογή αλγορίθμου LSD στο συγκεκριμένο τμήμα της
εικόνας-----
-----*/

ReaderType::Pointer reader1=ReaderType::New();//Δημιουργία Smartpointer ο οποίος θα
κάνει ανάγνωση του τμήματος της εικόνας
reader1->SetFileName("Quarter.png");

LsdFilterType::Pointer lsdFilter = LsdFilterType::New(); //Δημιουργία Smartpointer ο
ο οποίος θα εφαρμόσει τον αλγόριθμο στο τμήμα της εικόνας
lsdFilter->SetInput(reader1->GetOutput());//Είσοδος το τμήμα της εικόνας

VectorDataFileWriterType::Pointer VectorDataFileWriter =
VectorDataFileWriterType::New();//Δημιουργία Smartpointer στον οποίο θα εκχωρηθεί το
αποτέλεσμα του αλγορίθμου
VectorDataFileWriter->SetFileName("Quarter.shp");
VectorDataFileWriter->SetInput(lsdFilter->GetOutput());
reader->GenerateOutputInformation();
VectorDataFileWriter->Update();

VectorDataFileReaderType::Pointer vectorreader = VectorDataFileReader-
Type::New();//Δημιουργία Smartpointer ο οποίος θα διαβάσει το διανυσματικό αρχείο που
δημιουργήθηκε
vectorreader->SetFileName("Quarter.shp");
vectorreader->Update();

confilter->AddInput(vectorreader->GetOutput());//Συνένωση του παραχθέντος διανυσματι-
κού αρχείου στο επίπεδο των τεσσάρων τμημάτων

std::cout<<"New Quarter shapefile concacated!!"<<std::endl;

for (int l=0; l<2; l++)
{
for (int m=2; m>0; m--)
{
ImageType::IndexType startnew;//Array στο οποίο γίνεται αποθήκευση του πρώτου εικονο-
στοιχείου του εκάστοτε τμήματος εικόνας
startnew[0]=i*QuarterImageSize[0]+l*SixteenthImageSize[0];//άξονας x
startnew[1]=(k-1)*QuarterImageSize[1]+(m-1)*SixteenthImageSize[1];//άξονας y
std::cout<<"Image starts at "<<startnew[0]<<" "<<startnew[1]<<std::endl;

ImageType::RegionType regionnew;//Ορισμός τμήματος εικόνας
regionnew.SetSize(SixteenthImageSize);//μεγέθους
regionnew.SetIndex(startnew);//θέση πρώτου εικονοστοιχείου

ExtractROIFilterType::Pointer newextractROIFilter
=ExtractROIFilterType::New();//εξαγωγή τμήματος εικόνας
newextractROIFilter -> SetExtractionRegion(regionnew);//ορισμός περιοχής
newextractROIFilter->SetInput(reader->GetOutput());//ορισμός στοιχείου-εισόδου, δηλαδή
της αρχικής εικόνας

RescalerType::Pointer newrescaler =RescalerType::New();//Πύθμισμα επιτρεπτών τιμών για
τα εικονοστοιχεία
newrescaler -> SetOutputMinimum(0);
newrescaler -> SetOutputMaximum(255);
newrescaler->SetInput(newextractROIFilter->GetOutput());

++counternew;

```

```

WriterType::Pointer newWriter = WriterType::New();//Δημιουργία Smartpointer στον οποίο
θα εκχωρηθεί το τμήμα της εικόνας
newWriter->SetFileName("Sixteenth.png");
newWriter->SetInput(newrescaler->GetOutput());
newWriter->Update();

std::cout<<"New Sixteenth Image Allocated!!"<<std::endl;

//-----Εφαρμογή αλγορίθμου LSD στο συγκεκριμένο τμήμα της
εικόνας-----
-----*/

ReaderType::Pointer reader2=ReaderType::New();//Δημιουργία Smartpointer ο οποίος θα
κάνει ανάγνωση του τμήματος της εικόνας
reader2->SetFileName("Sixteenth.png");//Είσοδος το τμήμα που μόλις δημιουργήθηκε

LsdFilterType::Pointer newlsdFilter = LsdFilterType::New();//Δημιουργία Smartpointer ο
ο οποίος θα εφαρμόσει τον αλγόριθμο στο τμήμα της εικόνας
newlsdFilter->SetInput(reader2->GetOutput());//Είσοδος το τμήμα που μόλις δημιουργήθη-
κε

VectorDataFileWriterType::Pointer newVectorDataFileWriter = VectorDataFileWriter-
Type::New();//Δημιουργία Smartpointer στον οποίο θα εκχωρηθεί το τμήμα της εικόνας
newVectorDataFileWriter->SetFileName("Sixteenth.shp");
newVectorDataFileWriter->SetInput(newlsdFilter->GetOutput());
reader->GenerateOutputInformation();
newVectorDataFileWriter->Update();

VectorDataFileReaderType::Pointer vectorreadernew = VectorDataFileReader-
Type::New();//Δημιουργία Smartpointer ο οποίος θα διαβάσει το διανυσματικό αρχείο που
δημιουργήθηκε
vectorreadernew->SetFileName("Sixteenth.shp");
vectorreadernew->Update();

newconfilter->AddInput(vectorreadernew->GetOutput());//Συνένωση του παραχθέντος διανυ-
σματικού αρχείου στο επίπεδο των δεκαέξι τμημάτων

std::cout<<"New Sixteenth shapefile concacated!!"<<std::endl;

}
}
}
}

counter+=counternew;//Συνολικός αριθμός τμημάτων
std::cout<<"Counter= "<<counter<<std::endl;

VectorDataFileWriterType::Pointer conwriter = VectorDataFileWriter-
Type::New();//Δημιουργία Smartpointer μέσω του οποίου θα γίνει αποθήκευση του
παραγόμενου μέσω της διαδικασίας συνένωσης διανυσματικού αρχείου
conwriter->SetInput(confilter->GetOutput());
conwriter->SetFileName(argv[2]);
conwriter->Update();

//-----Ολοκλήρωση διαδικασίας για τις εικόνες του επιπέδου των τεσσά-
ρων τμημάτων-----

VectorDataFileWriterType::Pointer newconwriter =
VectorDataFileWriterType::New();//Δημιουργία Smartpointer μέσω του οποίου θα γίνει
αποθήκευση του παραγόμενου μέσω της διαδικασίας συνένωσης διανυσματικού αρχείου
newconwriter->SetInput(newconfilter->GetOutput());
newconwriter->SetFileName(argv[3]);
newconwriter->Update();

//-----Ολοκλήρωση διαδικασίας για τις εικόνες του επιπέδου των δεκαέξι
τμημάτων-----

return EXIT_SUCCESS;
}

```