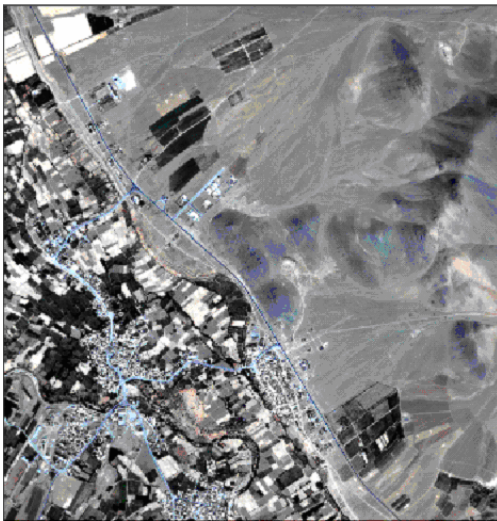


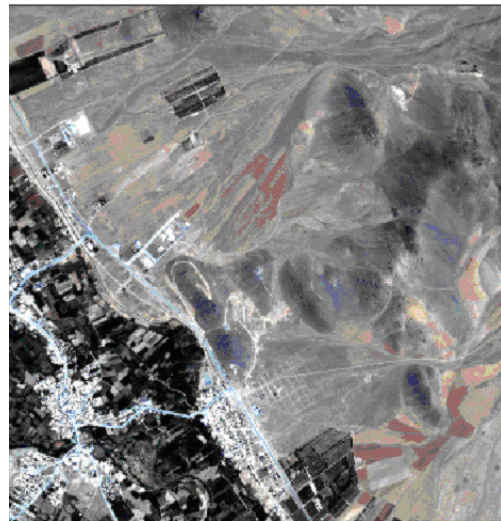


Διπλωματική εργασία

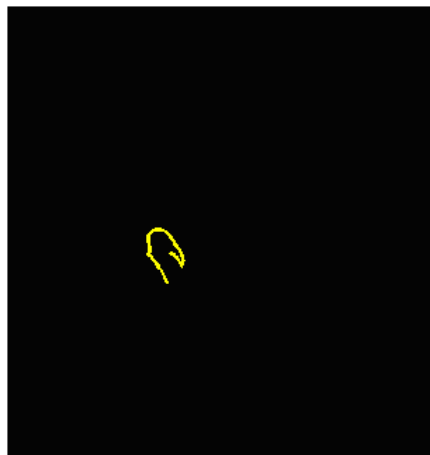
**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ
ΜΕΣΩ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΙΚΟΝΟΣ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**



Time 1



Time 2



Καραλής Αθ. Αντώνιος

Επιβλέπων: Αργιαλάς Δημήτριος, Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2008

Η διπλωματική αυτή εργασία
αφιερώνεται στους γονείς μου,
Αθανάσιο (†)
και Φραγκίτσα

Η Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17^η
Ιουλίου 2008

.....
Αργιαλάς Δημήτριος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ρόκος Δημήτριος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Καραθανάση Βασιλεία
Επίκουρος Καθ. ΕΜΠ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των προπτυχιακών μου σπουδών στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (ΣΑΤΜ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) της Αθήνας και ακολουθεί τη δομή που προβλέπεται από τον αντίστοιχο Οδηγό Σπουδών.

Ο σύγχρονος Τοπογράφος Μηχανικός υπηρετεί μία πολυσυλλεκτική επιστήμη που αποτελείται από ένα ευρύτατο πεδίο γνώσεων (κλασσικής – δορυφορικής γεωδαισίας, φωτογραμμετρίας, τηλεπισκόπησης, χαρτογραφίας, οδοποιίας, υδραυλικών έργων, ανάλυσης και σχεδιασμού του χώρου, δομικών έργων). Όλος αυτός ο συνδυασμός των γνώσεων, αποσκοπεί στο να εξοπλίσει τον Τοπογράφο με το απαραίτητο υπόβαθρο για την εκτέλεση δύο βασικών διεργασιών : τη μέτρηση σημείων του χώρου και την απόδοση της κατάλληλης και επίκαιρης πληροφορίας, ανάλογα με την εφαρμογή.

Μέσα λοιπόν από αυτή την πολυδιάστατη επιστήμη και στο πλαίσιο της διαρκούς προσπάθειας για την παρακολούθηση των τεχνολογικών εξελίξεων, επέλεξα να ερευνήσω στην εργασία μου την **Ανίχνευση Μεταβολών** (Change Detection) με τη χρήση διαχρονικών τηλεπισκοπικών εικόνων της ίδιας περιοχής. Το θέμα αυτό μου προκάλεσε εξ αρχής ιδιαίτερο ενδιαφέρον και επιχείρησα να διερευνήσω το κατά πόσο θα μπορούσε να συνεισφέρει στην επίτευξη ταχείας αναθεώρησης του οδικού δικτύου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Αργιαλά Δημήτριο, ο οποίος με περισσή υπομονή και όρεξη με κατεύθυνε και διαμόρφωσε τον τρόπο σκέψης μου για την αντιμετώπιση των σχετικών προβλημάτων. Ακόμη, θα πρέπει να τονιστεί ότι η ολοκλήρωση της εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την ευγενική παραχώρηση των δορυφορικών δεδομένων από την εταιρία SPACE Consulting και συγκεκριμένα από την κ. Γιαβή Βάνα, καθώς και της άδειας χρήσης του λογισμικού Delta Cue από την κ. Χαραλαμποπούλου Μπέτυ της εταιρίας GeoInformation, τις οποίες και ευχαριστώ ιδιαίτερω. Τέλος, οφείλω θερμές ευχαριστίες σε όλους τους φίλους και συναδέλφους που με στήριξαν για την περάτωση αυτού του πονήματος.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	16
ABSTRACT	18
ΜΕΡΟΣ Α΄: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ & ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ	21
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	21
1.1. Γενικά - Η Σημασία της Ανίχνευσης Μεταβολών	21
1.2. Διάγραμμα Ενεργειών για τη Διαδικασία Ανίχνευσης Μεταβολών.....	22
1.3. Αντικείμενο της εργασίας.....	24
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΔΡΟΜΩΝ	27
2.1. Συνοπτικά	27
2.1.1. Η μέθοδος της εύρεσης κορυφών (ridge finding).....	28
2.1.2. Δυναμικός προγραμματισμός (Dynamic Programming – DP)	29
2.1.3. Στατιστικός εντοπισμός (statistical tracking)	29
2.1.4. Αντιστοίχιση με χάρτη (map matching)	30
2.1.5. Ευρετική μέθοδος (heuristic reasoning).....	32
ΜΕΡΟΣ Β΄: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ & ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ	35
3. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	35
3.1. Παράγοντες που Πρέπει να Ληφθούν υπ’ Όψιν.....	35
3.1.1. Χρόνος λήψης των δεδομένων	35
3.1.2. Χωρική ανάλυση και γωνία λήψης	36
3.1.3. Φασματική ανάλυση	37
3.1.4. Ραδιομετρική ανάλυση.....	37
3.1.5. Ατμοσφαιρικές συνθήκες	38

3.1.6.	Εδαφική υγρασία	38
3.1.7.	Χαρακτηριστικά φαινολογικού κύκλου	39
3.1.8.	Το επίπεδο της παλίρροιας	39
3.2.	Προεπεξεργασία των Διαχρονικών Τηλεπισκοπικών Εικόνων	40
3.2.1.	Γεωμετρική εγγραφή εικόνας προς εικόνα (co-registration).....	40
3.2.2.	Ραδιομετρική διόρθωση (ή κανονικοποίηση)	43
4.	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ	47
4.1.	Γενικά.....	47
4.1.1.	Αλγόριθμος Διαφορών Κανάλι προς Κανάλι (Single-Band Differences).....	47
4.1.2.	Αλγόριθμος της Σπουδαιότερης Διαφοράς (Magnitude Difference) 48	
4.1.3.	Αλγόριθμος Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων (Primary Color Differences).....	49
4.1.4.	Αλγόριθμος Διαφορών των Κλίσεων (Band–Slope Differences)	51
4.1.5.	Αλγόριθμος Tasseled Cap.....	52
5.	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΑΧΘΕΙΣΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ	55
5.1.	Γενικά – Καθορισμός Κατωφλίου Μεταβολής.....	55
5.2.	Απαλοιφή της Ανεπιθύμητης Εξαχθείσας Μεταβολής	58
5.2.1.	Χωρικό φιλτράρισμα	59
5.2.2.	Φιλτράρισμα για τις ατέλειες της γεωμετρικής εγγραφής εικόνας προς εικόνα (misregistration filter)	61
5.2.3.	Φασματικό φιλτράρισμα.....	63
5.2.4.	Φιλτράρισμα υλικών	64
5.3.	Ανάλυση της Εξαχθείσας Πληροφορίας Μεταβολών.....	66

6. ΕΞΑΓΩΓΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΕ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	69
6.1. Η Προσέγγιση Gao - Wu	69
6.1.1. Ιδιότητες των δρόμων στην εικόνα	69
6.1.2. Στάδιο 1: αφαίρεση του θορύβου.....	70
6.1.3. Στάδιο 2: ένωση των επιμέρους τμημάτων	73
6.1.4. Στάδιο 3: λέπτυνση.....	76
7. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΕ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΟΔΟΥ	79
7.1. Περιγραφή του Έργου της Αττικής Οδού.....	79
7.2. Ιστορικά Στοιχεία του Έργου	81
7.3. Η Περιοχή Μελέτης της Εργασίας	83
7.4. Αρχικοί Έλεγχοι στις Εικόνες	85
7.5. Βασική Προεπεξεργασία για την Εξαγωγή Πληροφορίας.....	86
7.5.1. Γεωμετρική εγγραφή εικόνας προς εικόνα (co-registration).....	87
7.5.2. Ραδιομετρική κανονικοποίηση (radiometric normalization).....	91
7.6. Ανίχνευση Μεταβολών στο Οδικό Δίκτυο	91
7.6.1. Διερεύνηση του αλγόριθμου της Σπουδαιότερης Διαφοράς.....	93
7.6.2. Διερεύνηση του αλγόριθμου Tasseled Cap	97
7.6.3. Διερεύνηση του αλγόριθμου Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων	100
7.6.4. Διερεύνηση του αλγόριθμου των Διαφορών των Κλίσεων.....	102
7.6.5. Διερεύνηση του αλγόριθμου Διαφορών Κανάλι προς Κανάλι	105
7.7. Εφαρμογή Διαδικασιών Ένωσης και Λέπτυνσης των Οδικών Τμημάτων	107
7.8. Διανυσματοποίηση του Άξονα του Δρόμου	109
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	113

8.1.	Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων	113
8.2.	Συμπεράσματα.....	116
8.3.	Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα.....	118
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ		121
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		132

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1: Διάγραμμα ενεργειών για ανίχνευση μεταβολών (Jensen, 1996) ..	22
Εικόνα 3-1: Γεωμετρική εγγραφή της εικόνας 1 (μπλε) ως προς την εικόνα 2 (πράσινη)	41
Εικόνα 5-1: Τυπικό ιστόγραμμα μιας εικόνας μεταβολών με τον μέσο όρο να βρίσκεται στην τιμή μηδέν	56
Εικόνα 5-2: Τυπικό ιστόγραμμα μιας εικόνας μεταβολών με καθορισμό κατωφλίων.....	56
Εικόνα 5-3: Ιστόγραμμα μιας εικόνας μεταβολών με καθορισμό ανώτερου & κατώτερου κατωφλίου	58
Εικόνα 5-4: Χωρικό φιλτράρισμα με καθορισμό ελλειπτικής περιοχής	59
Εικόνα 5-5: Σωστή και λανθασμένη σύγκριση εικονοστοιχείων (δεξιά και αριστερά αντίστοιχα) σε ζεύγος εικόνων εξαιτίας της διαφορετικής ακρίβειας στη διαδικασία co-registration	61
Εικόνα 5-6: Η επίδραση του misregistration στην εικόνα μεταβολών	62
Εικόνα 5-7: Ανίχνευση του σφάλματος λόγω misregistration με εφαρμογή μάσκας 5x5	63
Εικόνα 5-8: Φασματικός διαχωρισμός με χρήση της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης	64
Εικόνα 5-9 : Διάγραμμα των τριών πρώτων συνιστωσών του μετασχηματισμού Tasseled Cap.....	66
Εικόνα 6-1: Η δομή της επαναλαμβανόμενης αναζήτησης.....	72
Εικόνα 6-2: Η διαδικασία της ένωσης οδικών τμημάτων με τον αλγόριθμο κωνικής αναζήτησης.....	75

Εικόνα 6-3: Εμφάνιση τριών αντιπροσωπευτικών συσσωρεύσεων από χωρικά παρακείμενα φατνία πριν και μετά από τη λέπτυνση	77
Εικόνα 7-1 : Το αρχικό ζεύγος των εικόνων	84
Εικόνα 7-2 : Επίθεση της εικόνας του 2007 επάνω σε αυτήν του 2000, μετά την εφαρμογή της ορθοαναγωγής. Διαπιστώνεται η μη ικανοποιητική συνταύτιση του ζεύγους	87
Εικόνα 7-3 : Δύο στιγμιότυπα από την επίθεση των εικόνων ύστερα από τη διαδικασία co-registration.....	90
Εικόνα 7-4 : Διαγράμματα ανακλαστικότητας για την ίδια περιοχή της Αττικής Οδού, το έτος 2000 (α) και το έτος 2007 (β) αντίστοιχα	92
Εικόνα 7-5 : Καθορισμός κατωφλίου μεταβολής 30% στο περιβάλλον του Delta Cue	93
Εικόνα 7-6 : Καθορισμός φίλτρων για τις τυχόν ατέλειες της γεωμετρικής εγγραφής εικόνας προς εικόνα και φασματικού διαχωρισμού στο περιβάλλον του Delta Cue	93
Εικόνα 7-7 : Αποκοπή των αρνητικών μεταβολών απο το ιστόγραμμα, στο περιβάλλον του Delta Cue	94
Εικόνα 7-8 : Αλγόριθμος Σπουδαιότερης Διαφοράς – αρχική εφαρμογή.....	94
Εικόνα 7-9 : Αλγόριθμος Σπουδαιότερης Διαφοράς – αφαίρεση περιπτώσεων φασματικών κατηγοριών	95
Εικόνα 7-10 : Χωρικό φιλτράρισμα με καθορισμό επιμήκυνσης στο περιβάλλον του Delta Cue.....	96
Εικόνα 7-11 : Αλγόριθμος Σπουδαιότερης Διαφοράς – τελικό αποτέλεσμα.....	96
Εικόνα 7-12 : Αλγόριθμος Tasseled Cap – αρχική εφαρμογή	97
Εικόνα 7-13 : Φιλτράρισμα υλικών στο περιβάλλον του Delta Cue	98

Εικόνα 7-14 : Αλγόριθμος Tasseled Cap – φιλτράρισμα υλικών και αφαίρεση περιττών φασματικών κατηγοριών	98
Εικόνα 7-15 : Αλγόριθμος Tasseled Cap – τελικό αποτέλεσμα	99
Εικόνα 7-16 : Καθορισμός κατωφλίου 30% στη μεταβολή του κόκκινου, στο περιβάλλον του Delta Cue	100
Εικόνα 7-17 : Αλγόριθμος Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων – αρχική εφαρμογή	101
Εικόνα 7-18 : Αλγόριθμος Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων – τελικό αποτέλεσμα.....	102
Εικόνα 7-19 : Αλγόριθμος Διαφορών των κλίσεων – αρχική εφαρμογή.....	103
Εικόνα 7-20 : Αλγόριθμος Διαφορών των κλίσεων – καθορισμός επιμήκυνσης 3-1000	104
Εικόνα 7-21 : Αλγόριθμος Διαφορών των κλίσεων – τελικό αποτέλεσμα	104
Εικόνα 7-22 : Αλγόριθμος Διαφορών κανάλι προς κανάλι – αρχική εφαρμογή	105
Εικόνα 7-23 : Αλγόριθμος Διαφορών κανάλι προς κανάλι – τελικό αποτέλεσμα με καθορισμό επιμήκυνσης 3-1000	106
Εικόνα 7-24 : Λεπτομέρεια από την εικόνα μεταβολών. Στη δυαδική εικόνα (α) εφαρμόζεται ένωση (β), στη συνέχεια πλήρωση των ενδιάμεσων κενών (γ) και τέλος λέπτυνση των γραμμικών στοιχείων (δ).....	108
Εικόνα 7-25 : Επίθεση του άξονα της Αττικής Οδού που ανιχνεύθηκε με τη μέθοδο Tasseled Cap, στην εικόνα του 2007.....	109
Εικόνα 7-26 : Επίθεση του άξονα της Αττικής Οδού που ανιχνεύθηκε με τη μέθοδο των Διαφορών κανάλι προς κανάλι, στην εικόνα του 2007	110

Εικόνα 7-27 : Επίθεση του άξονα της Αττικής Οδού που ανιχνεύθηκε με τη μέθοδο του Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων, στην εικόνα του 2007.....	110
Εικόνα 7-28 : Επίθεση του άξονα της Αττικής Οδού που ανιχνεύθηκε με τη μέθοδο της Σπουδαιότερης Διαφοράς, στην εικόνα του 2007	110
Εικόνα 7-29 : Επίθεση του άξονα της Αττικής Οδού που ανιχνεύθηκε με τη μέθοδο των Διαφορών των κλίσεων, στην εικόνα του 2007	111
Εικόνα 8-1 : Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε για τη στατιστική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σε σύγκριση με τα αληθή δεδομένα	115

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4-1 : Οι συντελεστές μετασχηματισμού Tasseled Cap, όπως προσδιορίστηκαν από τις κύριες συνιστώσες 195 δορυφορικών απεικονίσεων IKONOS (Horne, 2003).....	52
Πίνακας 5-1: Σύγκριση τιμών επιμήκυνσης και γεωμετρικής πυκνότητας για διάφορα ορθογώνια σχήματα.....	60
Πίνακας 7-1 : Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά της Αττικής Οδού	80
Πίνακας 7-2 : Ημερομηνίες – σταθμοί για το έργο της Αττικής Οδού.....	82
Πίνακας 7-3 : Βασικά στοιχεία από τα αρχεία μεταδεδομένων των εικόνων.....	85
Πίνακας 7-4 : Βασικές παράμετροι που επιλέχθηκαν και προκύπτοντα σφάλματα της διαδικασίας co-registration στο περιβάλλον του AutoSync. 89	
Πίνακας 8-1 : Στατιστικοί έλεγχοι των αποτελεσμάτων κάθε διαδικασίας ανίχνευσης μεταβολών.....	115

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Διπλωματική αυτή Εργασία πραγματεύεται διεξοδικά τη μελέτη διαφόρων αλγόριθμων για την ανίχνευση μεταβολών σε οδικό δίκτυο, καθώς και την υλοποίηση μιας ολοκληρωμένης μεθόδου για την εξαγωγή τέτοιων ανθρώπινων κατασκευών σε διανυσματική μορφή, με βάση τα χωρικά χαρακτηριστικά των δρόμων. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν διαχρονικές τηλεπισκοπικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης IKONOS, στην περιοχή της Αττικής Οδού. Οι απεικονίσεις είχαν χρονική διαφορά επτά ετών, όπου στην παλαιότερη το οδικό έργο δεν είχε ακόμη ξεκινήσει, ενώ στην άλλη το έργο εμφανίζεται ολοκληρωμένο.

Η μελέτη επιχειρεί να συμβάλει γενικότερα στην προσπάθεια για επίτευξη ταχείας αναθεώρησης χαρτών, εξετάζοντας την αποτελεσματικότητα της αυτοματοποιημένης ανίχνευσης μεταβολών για το σκοπό αυτό. Πιο συγκεκριμένα:

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο γενικότερος προβληματισμός που οδήγησε στη συγκεκριμένη μελέτη και δίνεται ένα γενικό πλάνο των ενεργειών που πρέπει να ακολουθηθούν κατά τη διαδικασία ανίχνευσης μεταβολών.

Το δεύτερο κεφάλαιο καταγράφει τις διάφορες μεθόδους που έχουν δημοσιευθεί μέχρι σήμερα για την εξαγωγή δρόμων με τη χρήση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων. Οι μέθοδοι συγκεντρώθηκαν ύστερα από βιβλιογραφική αναζήτηση.

Στο τρίτο κεφάλαιο προσδιορίζονται όλοι οι απαιτούμενοι προκαταρκτικοί έλεγχοι που επιβάλλεται να γίνονται στις διαχρονικές εικόνες της περιοχής μελέτης. Επίσης, γίνεται αναφορά στα είδη προεπεξεργασίας που είναι απαραίτητα για τα δεδομένα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αλγόριθμοι ανίχνευσης μεταβολών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Στη συνέχεια, το πέμπτο κεφάλαιο ασχολείται με το φιλτράρισμα της περιττής εξαχθείσας πληροφορίας μεταβολών.

Το έκτο κεφάλαιο περιγράφει τη μέθοδο που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή δρόμων. Η μέθοδος αυτή είναι βασισμένη στα χωρικά χαρακτηριστικά των οδών, σύμφωνα με τα οποία επινοήθηκαν και οι αναφερόμενοι αλγόριθμοι.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται πειραματική υλοποίηση της υιοθετούμενης μεθόδου, παρουσιάζοντας τις παραμέτρους που τέθηκαν σε κάθε περίπτωση καθώς και τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων όλων των τεχνικών που εφαρμόστηκαν, συνοψίζονται τα προκύπτοντα συμπεράσματα και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα του υπ' όψιν θέματος.

ABSTRACT

The present Diploma Thesis had as goal to study extensively various algorithms for change detection of road networks, as well as to implement an integrated method for the extraction of such man-made structures, based on the spatial characteristics of the roads. The dataset that has been chosen for this purpose was a pair of very high resolution IKONOS remotely sensed images, in the region of "Attiki Odos" Highway, Athens. The images had a time difference of seven years, thus in the older image the construction of the highway had not begun yet.

The general objective of the study was to contribute in the research for achieving automatic map updating, and to examine the effectiveness of automated change detection techniques.

More specifically, the particular study presents at first the general steps required to perform change detection and also the various methods that have been developed up to today for road network extraction. The methods were assembled after bibliographic search. Then, all the considerations of significance and the preliminary steps were reviewed. Five change detection algorithms were described, pointing their advantages on detecting specific kind of land-cover use.

In order to filter out unwanted detected change, various methods were presented. A newly developed approach for road extraction was followed experimentally, based on spatial reasoning. Different parameters were evaluated by studying many cases and the corresponding results of change.

For the evaluation of this technique, changes were compared with true data. This comparison demonstrated that in most cases, roads can be extracted at a reasonable accuracy level. Finally, several conclusions were drawn regarding the results. These results could lead to further research for the improvement and the full automation of the process.

ΜΕΡΟΣ Α'

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 :

Εισαγωγή

ΜΕΡΟΣ Α΄: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ & ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά - Η Σημασία της Ανίχνευσης Μεταβολών

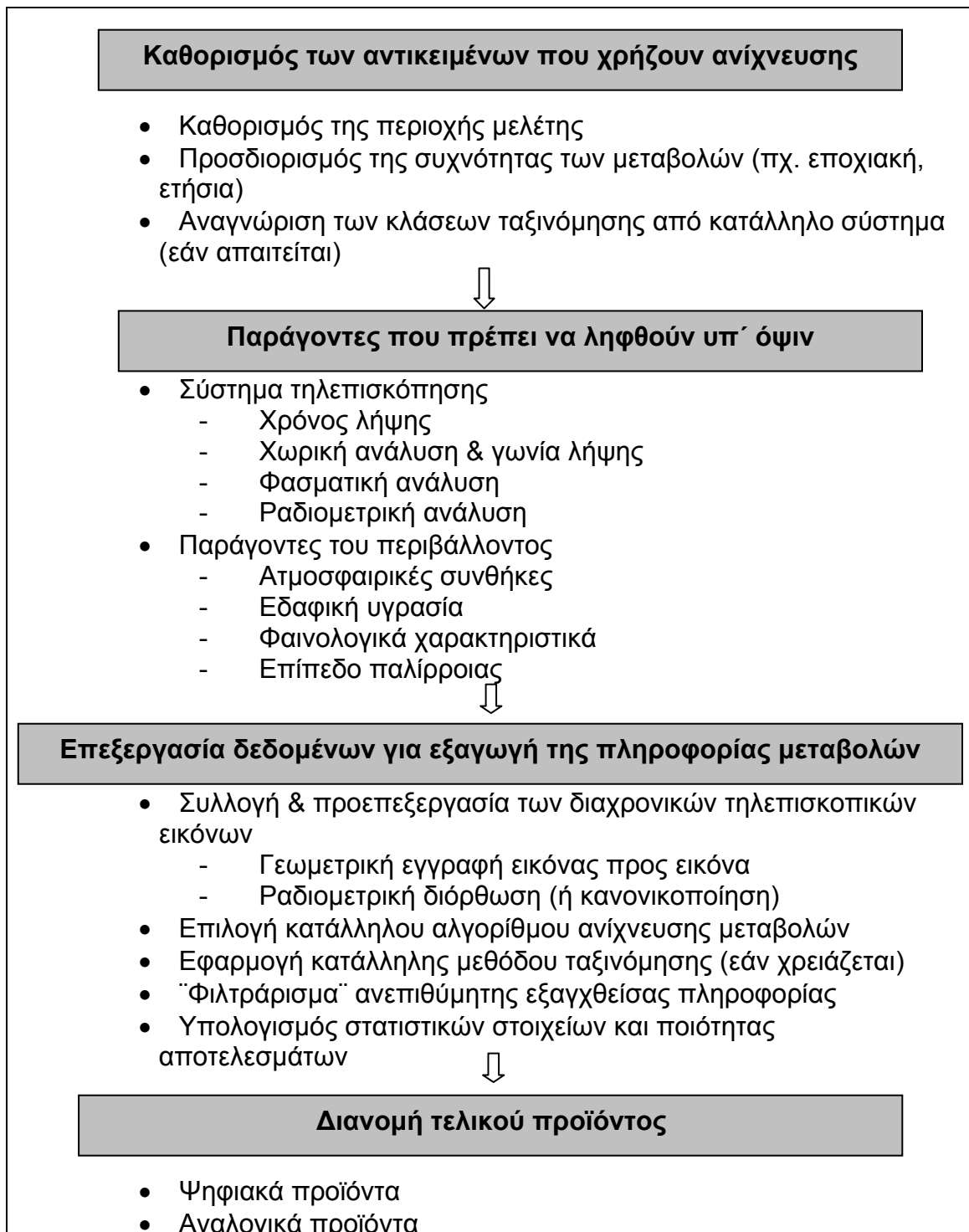
Η φυσική γήινη επιφάνεια καλύπτεται από πληθώρα φυσικών και τεχνητών αντικειμένων, όπως είναι η βλάστηση, οι ανθρώπινες κατασκευές, το υδρογραφικό δίκτυο, τα διάφορα είδη πετρωμάτων κλπ. Ορισμένα από αυτά είναι στατικά και δεν μεταβάλλονται καθόλου ή μεταβάλλονται σπάνια με το πέρασμα του χρόνου. Αντίθετα, κάποια άλλα χαρακτηρίζονται ως δυναμικά, διότι εμφανίζουν συχνότερες μεταβολές διαχρονικά.

Ανίχνευση μεταβολών (Change detection) είναι η διαδικασία αναγνώρισης διαφορών σε αντικείμενα και φαινόμενα, που παρατηρούνται μέσα από διαχρονικές εικόνες της ίδιας περιοχής. Διάφορες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικά δεδομένα. Όλες οι τεχνικές στοχεύουν στην ανάπτυξη αξιόπιστων αυτοματοποιημένων διαδικασιών, για την εξαγωγή των γεωχωρικών πληροφοριών από διάφορους τύπους τηλεπισκοπικών απεικονίσεων. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τον προσδιορισμό μεταβολών σε οδικά δίκτυα (ανθρώπινες κατασκευές) και την εξαγωγή της σχετικής πληροφορίας, χρησιμοποιώντας απεικονίσεις υψηλής ανάλυσης IKONOS.

Η ανίχνευση μεταβολών έχει μεγάλη συμβολή στη διαδικασία της ταχείας αναθεώρησης χαρτών. Με την άμεση επικαιροποίηση της πληροφορίας που παρέχει ο χάρτης ή οι βάσεις δεδομένων γεωγραφικών πληροφοριών, διευκολύνονται καθοριστικά οι χρήστες στη λήψη αποφάσεων σε μια σειρά σημαντικών θεμάτων. Για παράδειγμα, η αναθεώρηση του οδικού δικτύου είναι μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία όταν γίνεται με τις κλασικές μεθόδους. Αντίθετα, με την αυτόματη ανίχνευση τέτοιας πληροφορίας μέσω δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης, διευκολύνεται σημαντικά μια σειρά από εφαρμογές, όπως είναι η αποτελεσματικότερη διαχείριση της κυκλοφορίας και η πλοήγηση των οχημάτων, ο πολεοδομικός σχεδιασμός, η διαχείριση κρίσεων κλπ.

1.2. Διάγραμμα Ενεργειών για τη Διαδικασία Ανίχνευσης Μεταβολών

Τα γενικά βήματα που απαιτούνται για την παραγωγή ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών, φαίνονται στην εικόνα 1-1.



Εικόνα 1-1: Διάγραμμα ενεργειών για ανίχνευση μεταβολών (Jensen, 1996)

Πρωταρχική απαίτηση αποτελεί η αναγνώριση των κατηγοριών κάλυψης γης που ενδιαφέρουν προς ανίχνευση. Για το λόγο αυτό απαιτείται η επιλογή κατάλληλου τηλεπισκοπικού συστήματος το οποίο να αναγνωρίζει τις ζητούμενες μεταβολές. Παραδείγματος χάριν, η φασματική ανακλαστικότητα της βλάστησης είναι υψηλή στην περιοχή 0,75 - 1,35 μm και η φασματική ανακλαστικότητα των δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κτηρίων είναι υψηλή στην περιοχή 2,0 - 2,5 μm του φάσματος (Phalke, 2005). Ως εκ τούτου, είναι δυνατό να διακριθούν τα κτήρια από τη βλάστηση χρησιμοποιώντας κατάλληλο πολυφασματικό δέκτη.

Κατά το στάδιο προεπεξεργασίας, εξετάζονται ζητήματα όπως η γεωμετρική εγγραφή των δεδομένων διαχρονικών απεικονίσεων και η ραδιομετρική διόρθωση (ή κανονικοποίηση). Η ανίχνευση μεταβολών απαιτεί ακριβή χωρική εγγραφή των εικόνων. Ακόμη και ένα μικρό σφάλμα (misregistration) σε αυτή τη διαδικασία, είναι ικανό να επιφέρει εσφαλμένα αποτελέσματα μεταβολών σε όλο το εύρος των εικόνων. Επίσης, η ραδιομετρική διόρθωση (ή κανονικοποίηση) είναι χρήσιμη για το διαχωρισμό των μεταβολών ενδιαφέροντος από άλλες, που οφείλονται στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, τις συνθήκες φωτισμού, τη γωνία λήψης του δορυφόρου, την εδαφική υγρασία κλπ.

Διάφορες μέθοδοι έχουν υιοθετηθεί από τους ερευνητές για την ανίχνευση μεταβολών, ανάλογα με τις λεπτομέρειες των πληροφοριών που απαιτούνται (Phalke, 2005). Αυτές οι προσεγγίσεις μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη προσέγγιση είναι η προκαταρκτική ανίχνευση, που χρησιμοποιεί την οπτική τηλεπισκόπηση (επιβλεπόμενη ταξινόμηση, ανάλυση PCA, κλπ). Η δεύτερη προσέγγιση εξετάζει την μικροκυματική τηλεπισκόπηση. Η τρίτη προσέγγιση βασίζεται στην ανίχνευση με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων ενδιαφέροντος (Phalke, 2005). Για τις περισσότερες από τις μεθόδους ανίχνευσης, η επιλογή μιας κατάλληλης τιμής κατωφλίου για το διαχωρισμό των αμετάβλητων εικονοστοιχείων από όσα εμφανίζουν μεταβολή, είναι ένας βασικός παράγοντας.

Η αξιολόγηση, τέλος, της ακρίβειας των παραγόμενων μεταβολών είναι ένας πολύ δύσκολος στόχος, διότι ώσπου να καθοριστούν οι αλλαγές που έγιναν στην περιοχή ενδιαφέροντος, είναι πιθανό να έχουν εμφανιστεί και μερικές νέες.

Το γεγονός αυτό καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την εύρεση επίγειων αληθών δεδομένων για την αξιολόγηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων.

1.3. Αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο έρευνας στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας είναι η ανίχνευση μεταβολών στα οδικά δίκτυα με τη χρήση διαχρονικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων υψηλής χωρικής ανάλυσης (Very High Resolution – VHR) και η εξαγωγή της σχετικής πληροφορίας για την αναθεώρηση υπαρχόντων χαρτών ή βάσεων δεδομένων γεωγραφικών πληροφοριών. Η εργασία λοιπόν στοχεύει στη μελέτη των παρακάτω θεμάτων:

- Βιβλιογραφική αναζήτηση και συνοπτική παράθεση των ήδη υπάρχουσων τεχνικών για την εξαγωγή δρόμων. Επιλογή της βέλτιστης και υλοποίησή της σε ζεύγος τηλεπισκοπικών απεικονίσεων.
- Προεπεξεργασία για την ανίχνευση μεταβολών σε ζεύγος διαχρονικών εικόνων IKONOS. Έλεγχος του προκύπτοντος σφάλματος και αξιολόγηση.
- Πειραματική διερεύνηση διαφόρων αλγόριθμων ανίχνευσης και σύγκριση της αποδοτικότητάς τους.
- Στατιστική επεξεργασία και υπολογισμός ποιότητας των αποτελεσμάτων, σε σύγκριση με αληθή δεδομένα.
- Εκτίμηση της χρησιμότητας της όλης διαδικασίας από απόψεως χρόνου και κόστους σε σύγκριση με την κλασική μέθοδο της φωτογραμμετρικής απόδοσης για την αναθεώρηση χαρτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 :

Βιβλιογραφική αναζήτηση για την εξαγωγή δρόμων

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΔΡΟΜΩΝ

2.1. Συνοπτικά

Τα οδικά δίκτυα είναι δυναμικά συστήματα και τείνουν να εμφανίζουν συχνές μεταβολές μέσα σε σύντομα χρονικά διαστήματα. Συνεπώς, οι χάρτες οδικού δικτύου των περιοχών αυτών χρειάζεται να αναθεωρούνται περιοδικά, κατά προτίμηση μέσω πρόσφατων δορυφορικών εικόνων, ώστε να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των διάφορων μελετητών, όπως οι σχεδιαστές του χώρου (πολεοδόμοι, χωροτάκτες, συγκοινωνιολόγοι). Με τα πλεονεκτήματα που παρέχει η τηλεπισκόπηση, όλο και περισσότερες δορυφορικές εικόνες υψηλής ποιότητας και κατάλληλης χωρικής ανάλυσης γίνονται διαθέσιμες. Σήμερα υπάρχει πλέον η δυνατότητα για εξαγωγή πληροφορίας ακόμα και σε δρόμους μικρών κατηγοριών, μέσα σε αστικό περιβάλλον, και μάλιστα σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Η εξαγωγή του οδικού δικτύου από τηλεπισκοπικές εικόνες μπορεί να παραχθεί είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα. Η χειροκίνητη διαδικασία στηρίζεται εξ ολοκλήρου στην εμπειρία και τις δυνατότητες του αναλυτή – φωτοερμηνευτή. Οι δρόμοι μπορούν να αναγνωρισθούν εύλογα εάν υπάρχει εξοικείωση με την περιοχή μελέτης, ακόμη και στην περίπτωση που οι χρησιμοποιούμενες εικόνες περιέχουν θόρυβο και ελλιπή πληροφορία. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή υστερεί από απόψεως κόστους, τόσο σε χρήμα όσο και σε χρόνο. Από την άλλη, η αυτόματη διαδικασία για την ανίχνευση πληροφορίας σε δρόμους, υπερτερεί σημαντικά από κυρίως απόψεως χρόνου, όμως μεθοδολογικά είναι περισσότερο πολύπλοκη.

Η αυτόματη εξαγωγή του οδικού δικτύου μέσω δορυφορικών δεδομένων αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις, εξαιτίας της εμφάνισης των δρόμων στις εικόνες, η οποία εξαρτάται από τη χωρική ανάλυση των εικόνων. Επιπρόσθετα, η διαδικασία παρεμποδίζεται από την ύπαρξη θορύβου. Αντικείμενα του εδάφους, όπως κλαδιά δέντρων τα οποία εκτείνονται μέσα στους δρόμους, παρακωλύουν την ανίχνευση. Ακόμη, τα διάφορα οχήματα που κινούνται,

καλύπτουν τμήματα των δρόμων και δυσκολεύουν την εξαγωγή της σχετικής πληροφορίας.

Μέχρι σήμερα, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για την αυτόματη ανίχνευση δρόμων. Οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε γενικές κατηγορίες: εύρεση κορυφών (ridge finding), ευρετική μέθοδος (heuristic reasoning), δυναμικός προγραμματισμός (Dynamic Programming – DP), στατιστικός εντοπισμός (statistical tracking) και αντιστοίχιση με χάρτη (Xiong, 2001). Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των μεθόδων αυτών.

2.1.1. Η μέθοδος της εύρεσης κορυφών (ridge finding)

Πρόκειται για μια κλασσική μέθοδο όπου στην εικόνα εισόδου εφαρμόζεται ένα φίλτρο ενίσχυσης ακμών ώστε να τονισθεί η σπουδαιότητα και η κατεύθυνση των γραμμικών στοιχείων της εικόνας, συμπεριλαμβανομένων και των δρόμων (Nevatia and Babu, 1980). Οι Wang και λοιποί (1992) ανέπτυξαν έναν άλλο τρόπο για ανίχνευση κορυφών από δεδομένα SPOT. Σε αυτή τη μέθοδο γίνεται **ανάλυση του βαθμού κλίσης**. Αρχικά υπολογίζονται οι κλίσεις για κάθε εικονοστοιχείο προς τέσσερις προκαθορισμένες διευθύνσεις. Η μέγιστη τιμή κλίσης θα καθορίζει και την κατεύθυνση του γραμμικού στοιχείου γύρω από το εξεταζόμενο εικονοστοιχείο. Τα τμήματα των δρόμων έχουν την ίδια διεύθυνση ακμών, η οποία είναι κάθετη στις κατευθύνσεις κλίσεων των εικονοστοιχείων που αντιπροσωπεύουν γέφυρα. Έτσι, η ανάλυση του προτύπου των κλίσεων θα ανιχνεύσει τα εικονοστοιχεία των ακμών. Με τη σύνδεση όλων αυτών των εικονοστοιχείων, θα προκύψει επομένως το οδικό δίκτυο ή τμήματα αυτού. Ο Steger (1996) εισήγαγε τη **διαφορική γεωμετρία** για την ανίχνευση κορυφών. Η μέθοδος χρησιμοποιεί υψομετρικές καμπύλες ή τεχνικές συνταύτισης επιφάνειας για να ανιχνεύσει ακμές από τηλεπισκοπικές εικόνες. Εάν η επιφάνεια έντασης των εικονοστοιχείων της εικόνας αναπαρασταθεί από μαθηματική εξίσωση, τότε η πρώτη και η δεύτερη παράγωγος της εξίσωσης μπορεί να αναλυθεί για τον εντοπισμό ακμών.

2.1.2. Δυναμικός προγραμματισμός (Dynamic Programming – DP)

Στη μέθοδο του δυναμικού προγραμματισμού, οι δρόμοι μοντελοποιούνται από ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων. Οι παράγωγοι των τιμών του γκρι των εικονοστοιχείων που είναι κάθετα προς την κατεύθυνση του δρόμου τείνουν να μεγιστοποιούνται, ενώ αντίθετα οι παράγωγοι κατά μήκος του δρόμου ελαχιστοποιούνται. Τα ζητούμενα προς ανίχνευση στοιχεία έχουν συνήθως μορφή ευθείας γραμμής ή ομαλών καμπυλών. Η καμπυλότητά τους έχει ένα ανώτατο όριο. Η μέθοδος DP πλεονεκτεί στο να εντοπίζει καμπύλες σε εικόνες με θόρυβο, έχοντας τη δυνατότητα να ενώνει αυτόματα ασύνδετα τμήματα του ίδιου αντικειμένου, ενώ το πρόγραμμα μελετά για τις καλύτερες λύσεις (Gruen and Li, 1995).

2.1.3. Στατιστικός εντοπισμός (statistical tracking)

Τα στατιστικά μοντέλα εξαγωγής συμπεράσματος είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για τον εντοπισμό δρόμων με πολυπλοκότητα και αβεβαιότητα (π.χ. γέφυρες, μεταβλητό πλάτος οδών, οχήματα και σκιές στους δρόμους και θόρυβο εικόνας, κ.λπ). Οι Barzohar και Cooper (1996) ερεύνησαν τη μέθοδο περαιτέρω και ανέπτυξαν μια στοχαστική προσέγγιση που μπορεί να εφαρμοστεί για την αυτόματη εξαγωγή των ιδιαίτερα περίπλοκων δρόμων. Ένα γεωμετρικό-στοχαστικό μοντέλο διατυπώνει το οδικό πλάτος, την κατεύθυνση, το επίπεδο έντασης του γκρι και την ένταση του υποβάθρου, ως πιθανολογική διαδικασία χρησιμοποιώντας τις **κατανομές Gibbs**. Οι δρόμοι ανιχνεύονται από τη μέγιστη a posteriori εκτίμηση πιθανότητας.

Οι Geman και Jedynak (1996) ανέπτυξαν ένα άλλο στατιστικό μοντέλο για τον εντοπισμό οδών **μέσω τεστ υποθέσεων**. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιεί ένα κανόνα εξέτασης που υπολογίζεται από τις εμπειρικές κατανομές διασύνδεσης των τεστ (φίλτρα αντιστοίχισης για τα μικρά οδικά τμήματα) για να καθορίσει εάν η υπόθεση (θέση του δρόμου) είναι αληθής ή όχι. Τα τεστ εκτελούνται διαδοχικά εφαρμόζοντας μια διαδικασία ελαχιστοποίησης της αβεβαιότητας ή της εντροπίας για να διευκολυνθεί η λήψη αποφάσεων, έτσι ώστε τα νέα τεστ στη συνέχεια, να μπορούν να προσδιοριστούν αναλυτικά. Αν και αυτή η μέθοδος

λειτουργεί καλύτερα για τις εικόνες χαμηλής ανάλυσης, είναι επίσης προσαρμόσιμη και στις εικόνες με υψηλή ανάλυση (Xiong, 2001). Οι Turin και λοιποί (1998) πρότειναν έναν **αλγόριθμο δύο βημάτων** για την σχεδόν μη επιβλεπόμενη ανίχνευση των γραμμικών κατασκευών που θεωρούνται ως υποψήφια τμήματα δρόμων. Κατά τη διάρκεια του πρώτου βήματος, εξάγονται τα γραμμικά χαρακτηριστικά που εντοπίζονται ως υποψήφια οδικά τμήματα. Στο δεύτερο βήμα, προσδιορίζονται οι γνήσιοι δρόμοι μεταξύ των υποψηφίων τμημάτων, με τον καθορισμό ενός τυχαίου πεδίου Markov (Markov Random Field - MRF) σε ένα σύνολο τμημάτων, το οποίο εισάγει τη βασισμένη στα συμφραζόμενα γνώση για τη μορφή των οδών.

2.1.4. Αντιστοίχιση με χάρτη (map matching)

Η μέθοδος αντιστοίχισης με χάρτη είναι χρήσιμη για την εξαγωγή οδικών δικτύων σε περίπτωση μεγάλου όγκου δεδομένων σε οδικά συστήματα σε διάφορα μέρη του κόσμου (Maillard και Cavayas, 1989). Αποτελείται από δύο κύριους αλγορίθμους. Ο πρώτος αλγόριθμος εστιάζει στην αντιστοίχιση εικόνας-χάρτη για να προσδιορίσει τους δρόμους που μπορούν να βρεθούν τόσο στο χάρτη όσο και στην εικόνα. Ο δεύτερος αλγόριθμος ψάχνει τους νέους δρόμους με βάση την υπόθεση ότι οι νέοι αυτοί δρόμοι συνδέονται με τους παλιούς. Μια τέτοια αυτόματη προσέγγιση είναι κατάλληλη για την αναθεώρηση οριζοντιογραφικών στοιχείων κλίμακας 1:50.000 με τη χρήση παγχρωματικών εικόνων SPOT. Ο Stilla (1995) ανέπτυξε μια **μέθοδο συντακτικής ανάλυσης** (syntax-oriented) η οποία χρησιμοποιεί πληροφορία από χάρτη ως ενισχυτικό μέσο για τη φωτοερμηνεία των εικόνων. Οι πληροφορίες για τα οδικά δίκτυα λαμβάνονται αρχικώς μέσω της ανάλυσης χαρτών. Κατόπιν, προσδιορίζονται τα μοντέλα αντικειμένων της εικόνας και χρησιμοποιούνται για την αναζήτηση των αντικειμένων που ικανοποιούν τις απαιτήσεις των αντίστοιχων μοντέλων, με μια δεδομένη ανοχή. Η αξιολόγηση στα αντικείμενα της εικόνας, με συνεκτίμηση του βαθμού απόκρισης στις αντίστοιχες απεικονίσεις του χάρτη, οδηγεί στην ανίχνευση της ζητούμενης πληροφορίας για τους δρόμους.

Τα **νευρωνικά δίκτυα** είναι ένας εναλλακτικός τρόπος για την εξαγωγή νέων οδών, χωρίς να απαιτείται προκαθορισμός παραμέτρων ή καθορισμός οποιουδήποτε κατωφλίου ή στατιστική περιγραφή των θεματικών κατηγοριών που εξάγονται στην αναγνώριση προτύπων. Η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι το δίκτυο ανάποδης αναπαραγωγής (back-propagation network). Οι Fiset και Cavayas (1997) περιέγραψαν μια καθοδηγούμενη από χάρτη διαδικασία για να εξάγουν αυτόματα το οδικό δίκτυο, χρησιμοποιώντας αυτή την μέθοδο. Οι Bhattacharya και Parui (1997) βελτίωσαν το back-propagation νευρωνικό δίκτυο για την ανίχνευση γραμμικών στοιχείων από τις εικόνες IRS και SPOT με ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

Μια νέα προσέγγιση για τη βελτίωση της εξαγωγής αντικειμένων και της γεωχωρικής ανίχνευσης μεταβολών με βάση την εικόνα, είναι τα **διαφορικά οφιοειδή** (Differential snakes), επίσης γνωστά και ως παραμορφώσιμα μοντέλα καμπυλών (Agouris και λοιποί, 2001). Σε αυτήν την μέθοδο, η εξαγωγή της πληροφορίας πραγματοποιείται σε τρία επίπεδα. Στο χαμηλό επίπεδο της ανάλυσης, γίνεται απόδοση στις εικόνες και οι πληροφορίες προκύπτουν σε μια βάση εικονοστοιχείο προς εικονοστοιχείο, χρησιμοποιώντας μόνο τις μετρήσεις ανάκλασης / εκπομπής (π.χ. φιλτράρισμα, ανίχνευση ακμών, κατάτμηση, κλπ.). Στο ενδιάμεσο επίπεδο ανάλυσης, τα αποτελέσματα του προηγούμενου επιπέδου συμβολίζονται και επεξεργάζονται για να διαμορφώσουν τις δομές δεδομένων για την ανάλυση υψηλού επιπέδου. Τέλος, η ανάλυση υψηλού επιπέδου περιλαμβάνει στοιχεία εισόδου που προέρχονται όχι μόνο από τις εικόνες αλλά και από μετρήσεις πεδίου, τις βοηθητικές πηγές, και τα αποτελέσματα από το ενδιάμεσο επίπεδο για να επιτύχει αξιόπιστη φωτοερμηνεία. Το πρόγραμμα εφαρμόζει αρχικά μια διαδικασία συνταύτισης προτύπων, η οποία εντοπίζει τα πιθανά εικονοστοιχεία των οδών, και ακολουθεί μία βελτιστοποίηση για να προσδιορίσουν τα πιθανά οδικά τμήματα. Για να επιτραπεί μια πιο ευρεία αναζήτηση, χρησιμοποιείται ένα μη αυστηρό οδικό πρότυπο. Μετά από αυτήν την διαδικασία αναζήτησης, όλα τα τμήματα που ανιχνεύθηκαν θα θεωρηθούν ως υποψήφια τμήματα δρόμων. Κατόπιν, εφαρμόζεται η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τον αλγόριθμο ISODATA για να προσδιοριστεί εάν τα εντοπισθέντα υποψήφια τμήματα ανήκουν πράγματι σε δρόμο.

2.1.5. Ευρετική μέθοδος (heuristic reasoning)

Είναι γνωστή επίσης ως μέθοδος της βάσης γνώσης ή της βάσης κανόνων. Η ευρετική μέθοδος χρησιμοποιεί το ανθρώπινο σύστημα όρασης. Οι Meisels και Mintz (1990) ανέπτυξαν μια μέθοδο τριών επιπέδων συλλογισμού για την εξαγωγή των απλών ανθρώπινων κατασκευών με χρήση αεροφωτογραφιών. Στο χαμηλό επίπεδο, ως πρωταρχικά στοιχεία της εικόνας θεωρήθηκαν τα δομικά τμήματα του δρόμου και προσδιορίστηκε η τιμή τους με τον έλεγχο των γειτονικών τιμών. Κατά τη διάρκεια του ενδιάμεσου επιπέδου ανάλυσης, τα πρωταρχικά στοιχεία συνδυάστηκαν με τμήματα γραμμών με τη χρησιμοποίηση του συλλογιστικού μηχανισμού. Στο υψηλό επίπεδο της διαδικασίας, καλύπτονται τα κενά και ομαδοποιούνται τα τμήματα λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η απόσταση, η φωτεινότητα και η μεταξύ τους ομοιομορφία. Αυτή η μέθοδος είναι ευέλικτη όταν τα προβλήματα αφορούν την ευθυγράμμιση και τον τεμαχισμό γραμμικών στοιχείων.

ΜΕΡΟΣ Β΄

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :

Προκαταρκτικοί έλεγχοι και προεπεξεργασία

ΜΕΡΟΣ Β΄: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ & ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

3. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

3.1. Παράγοντες που Πρέπει να Ληφθούν υπ' Όψιν

Η επιτυχημένη ανίχνευση μεταβολών γενικά, προϋποθέτει τη λεπτομερή εξέταση των χαρακτηριστικών τόσο του συστήματος τηλεπισκόπησης, όσο και του περιβάλλοντος στην περιοχή κατόπτευσης. Η μη κατανόηση της επίδρασης των ποικίλων παραμέτρων στη διαδικασία της ανίχνευσης, μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Στην ιδανική περίπτωση, τα δεδομένα θα πρέπει να παρέχονται από τηλεπισκοπικό σύστημα που διατηρεί σταθερούς τους παρακάτω παράγοντες (Jensen, 1996): χρόνος λήψης, χωρική, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση. Το ίδιο ισχύει και για τους παράγοντες του περιβάλλοντος: ατμοσφαιρικές συνθήκες, εδαφική υγρασία, φαινολογικά χαρακτηριστικά και επίπεδο της παλίρροιας. Οι παράγοντες αυτοί αναλύονται στη συνέχεια.

3.1.1. Χρόνος λήψης των δεδομένων

Υπάρχουν δύο παράμετροι που θα πρέπει να εξεταστούν στην περίπτωση αυτή (Jensen, 1996). Πρώτον, οι διαχρονικές εικόνες θα πρέπει, κατά το δυνατόν, να έχουν ληφθεί κατά την ίδια ώρα (για παράδειγμα στις 09:00 πμ). Έτσι, περιορίζεται η επίδραση της γωνίας ύψους του ηλίου η οποία επηρεάζει την ένταση της ακτινοβολίας που μετράται σε κάθε σημείο του πεδίου κατόπτευσης. Κατά δεύτερον, θα πρέπει τα δεδομένα να έχουν ληφθεί κατά την ίδια ημέρα του χρόνου (πχ. στις 2 Μαρτίου διαφορετικών ετών). Στην περίπτωση αυτή αποφεύγεται η επίδραση από την εποχιακή θέση του ηλίου σχετικά με τη γη, καθώς και από τα εποχιακά χαρακτηριστικά της βλάστησης, σε περιοχές όπου αργότερα κατασκευάστηκαν νέοι δρόμοι.

3.1.2. Χωρική ανάλυση και γωνία λήψης

Η ακριβής χωρική προσαρμογή τουλάχιστον 2 διαχρονικών εικόνων είναι απαραίτητη για την ψηφιακή ανίχνευση μεταβολών. Συνήθως τα δεδομένα προέρχονται από συστήματα με το ίδιο στιγμιαίο πεδίο κατόπτρευσης (Instantaneous Field Of View, IFOV). Για παράδειγμα, τα δεδομένα του Landsat TM συλλέγονται με ανάλυση 30 x 30 m και είναι εύκολο να επιτευχθεί η προσαρμογή μεταξύ τους. Όμως, υπάρχει περίπτωση τα δεδομένα να έχουν συλλεχθεί από 2 διαφορετικά συστήματα με ανόμοιο IFOV, όπως για παράδειγμα Landsat TM (30 x 30 m) για τη χρονική στιγμή 1 και SPOT HRV XS (20 x 20 m) για τη χρονική στιγμή 2. Στις περιπτώσεις αυτές, θα πρέπει να γίνει εκλογή της ελάχιστης χαρτογραφικής μονάδας (πχ 20 x 20 m) και έπειτα να γίνει αναδόμηση των δεδομένων σε αυτή τη διάσταση εικονοστοιχείου. Σε κάθε περίπτωση, είναι αντιληπτό ότι τα δεδομένα από αναδόμηση δεν μπορούν να δώσουν πληροφορία μεγαλύτερης ακρίβειας σε σχέση με την αρχική τους ανάλυση (Jensen, 1996).

Η ατελής χωρική προσαρμογή των εικόνων επιφέρει λανθασμένη ανίχνευση περιοχών με μεταβολές. Για το λόγο αυτό, η γεωμετρική προσαρμογή θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) ≤ 0.5 φατνίου. Για παράδειγμα, αρκεί η ατέλεια ενός φατνίου για να αποδοθεί ως μεταβολή ένας δρόμος ο οποίος υπάρχει και στις δύο εικόνες (Jensen, 1996).

Επίσης, ορισμένοι δορυφόροι όπως, πχ ο SPOT, συλλέγουν δεδομένα σχηματίζοντας γωνία λήψης έως και $\pm 20^\circ$ από το ναδίρ. Συνεπώς, μια εικόνα που ελήφθη με γωνία 20° από το ναδίρ θα έχει σημαντικές διαφορές στην καταγραφείσα πληροφορία φωτεινότητας σε σχέση με μια άλλη που λήφθηκε με γωνία 0° εξαιτίας της διαφορετικής σκιάς των αντικειμένων. Οι διαφορές στις τιμές ανακλαστικότητας των εικόνων μπορούν να προκαλέσουν αρκετά προβλήματα στη διαδικασία της ανίχνευσης μεταβολών. Επομένως, τα δεδομένα είναι καλό να συλλέγονται με την ίδια γωνία λήψης, όποτε αυτό είναι δυνατό.

3.1.3. Φασματική ανάλυση

Θεμελιώδης προϋπόθεση για να ανιχνευθεί μεταβολή είναι η ύπαρξη διαφορετικής τιμής στην φασματική απόκριση του ίδιου φαινομένου στις 2 εικόνες, εφόσον έχουν αλλάξει τα βιοφυσικά υλικά με το πέρασμα του χρόνου. Οι αισθητήρες των δορυφόρων καταγράφουν την ανακλασθείσα ακτινοβολία σε περιοχές του φάσματος σύμφωνα με τα επικρατέστερα φασματικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων. Όμως, δεν έχουν όλοι οι δορυφόροι τις ίδιες δυνατότητες. Για παράδειγμα, ο Landsat TM καταγράφει την ακτινοβολία σε επτά κανάλια ενώ ο Landsat MSS σε τέσσερα κανάλια. Σε περίπτωση λοιπόν που τα δεδομένα προέρχονται από διαφορετικούς δορυφόρους, ο αναλυτής θα πρέπει να επιλέξει κανάλια που προσεγγίζουν το ένα το άλλο. Παραδείγματος χάριν, στον SPOT τα κανάλια 1(πράσινο), 2(κόκκινο) και 3 (εγγύς υπέρυθρο) μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς με τα κανάλια 2(πράσινο), 3(κόκκινο) και 4(εγγύς υπέρυθρο) του Landsat TM αντιστοίχως (Jensen, 1996). Θα πρέπει να σημειωθεί βέβαια ότι ορισμένοι από τους αλγόριθμους ανίχνευσης μεταβολών δεν λειτουργούν ικανοποιητικά όταν ταυτίζονται κανάλια ενός δέκτη με τα αντίστοιχα άλλου δέκτη (πχ. το κανάλι 1- μπλε του Landsat TM με το αντίστοιχο του SPOT ή του Landsat MSS).

3.1.4. Ραδιομετρική ανάλυση

Τα δεδομένα δορυφορικών δεκτών έχουν συνήθως ραδιομετρική ανάλυση 8-bit, με τιμές φωτεινότητας από 0 έως 255. Στην περίπτωση όμως που οι διαχρονικές εικόνες έχουν διαφορετική ραδιομετρική ανάλυση (πχ ο Landsat MSS 1 έχει 6-bit και ο Landsat TM έχει 8-bit), τότε η εικόνα χαμηλότερης ανάλυσης θα πρέπει να αποσυμπίεστεί σε 8-bit για τους σκοπούς της ανίχνευσης μεταβολών. Βέβαια, η ακρίβεια των αποσυμπιεσμένων τιμών φωτεινότητας δεν μπορεί ποτέ να είναι καλύτερη από την αρχική (Jensen, 1996).

3.1.5. Ατμοσφαιρικές συνθήκες

Η ύπαρξη νεφών ή αυξημένης υγρασίας κατά την ημέρα λήψης των δεδομένων, αποτελεί αρνητικό παράγοντα. Ακόμη και ένα λεπτό στρώμα ομίχλης είναι ικανό να προκαλέσει μεταβολή στις καταγραφείσες φασματικές τιμές και να οδηγήσει, κατά συνέπεια, σε εσφαλμένη ανίχνευση από τις διαχρονικές εικόνες. Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η σκιά των νεφών σκοτεινιάζει τα αντικείμενα του εδάφους και προκαλεί σημαντικά προβλήματα στην ταξινόμηση των εικόνων. Το αποδεκτό επίπεδο κάλυψης νεφών δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 20%. Παρόλα αυτά, απαιτείται προσεκτικός χειρισμός στην εξαγωγή πληροφορίας μεταβολών σε περιοχές που επηρεάζονται από νέφη (η διαδικασία εκεί μπορεί πχ. να γίνει με φωτοερμηνεία από αεροφωτογραφίες). Ακόμη και αν το επίπεδο κάλυψης νεφών είναι 0%, συνίσταται η επιβεβαίωση του θέματος αυτού από κατάλληλα μέσα (Jensen, 1996).

3.1.6. Εδαφική υγρασία

Στην ιδανική περίπτωση, οι συνθήκες εδαφικής υγρασίας θα πρέπει να είναι πανομοιότυπες για τις χρησιμοποιούμενες διαχρονικές εικόνες. Όμως, ιδιαίτερα υγρό ή ξηρό έδαφος κατά τη διάρκεια μίας από τις ημερομηνίες λήψης, είναι δυνατόν να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στη διαδικασία της ανίχνευσης μεταβολών γενικά. Συνεπώς, κατά τη συλλογή των τηλεπισκοπικών δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό, είναι σημαντικό να εξετάζεται όχι μόνο η κοινή ημερομηνία λήψης των εικόνων (από διαφορετικά έτη) αλλά και οι καταγραφές ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, ώστε να προσδιορίζεται το ποσό της βροχόπτωσης ή χιονόπτωσης κατά τις μέρες ή εβδομάδες πριν την ημέρα λήψης των εικόνων. Όταν η εδαφική υγρασία διαφέρει αρκετά μεταξύ των ημερομηνιών λήψης, αλλά μόνο για συγκεκριμένα τμήματα της περιοχής μελέτης (πιθανώς κατά τη διάρκεια μιας τοπικής καταιγίδας), τότε είναι αναγκαίο να εφαρμοσθεί ξεχωριστή ανάλυση για την περιοχή αυτή (Jensen, 1996).

3.1.7. Χαρακτηριστικά φαινολογικού κύκλου

Φαινολογία είναι η επιστήμη που μελετά τη σχέση μεταξύ περιοδικά επαναλαμβανόμενων βιολογικών ή φυσικών φαινομένων (όπως, π.χ. η αποδημία των πτηνών ή η άνθιση των φυτών) και των παραγόντων του κλίματος ή του περιβάλλοντος που μπορεί να επηρεάζουν τα φαινόμενα αυτά.

Φαινολογικά χαρακτηριστικά εμφανίζουν όχι μόνο τα φυσικά, αλλά και τα τεχνητά οικοσυστήματα. Αυτός ο κύκλος των φαινομένων υπαγορεύει το πότε θα πρέπει να συλλεχθούν τα τηλεπισκοπικά δεδομένα, έτσι ώστε να εξαχθεί το μέγιστο ποσό της πληροφορίας διαχρονικών μεταβολών. Συνεπώς είναι απαραίτητη η γνώση των βιοφυσικών χαρακτηριστικών σε οικοσυστήματα φυτών, εδάφους και ύδατος, όπως επίσης και των κύκλων ανάπτυξης ανθρωπογενών φαινομένων, όπως η οικιστική ανάπτυξη (Jensen, 1996).

Φαινολογικά χαρακτηριστικά της βλάστησης: Η βλάστηση αναπτύσσεται σύμφωνα με εποχιακούς και ετήσιους φαινολογικούς κύκλους. Χρησιμοποιώντας διαχρονικές εικόνες της ίδιας ή περίπου της ίδιας ημερομηνίας λήψης, ελαχιστοποιείται η επίδραση των εποχιακών φαινολογικών διαφορών στην διαδικασία της ανίχνευσης μεταβολών. Επιπροσθέτως, εκτός από τα βιοφυσικά χαρακτηριστικά, θα πρέπει να εξετασθούν και οι πρακτικές καλλιέργειας που εφαρμόζονται στην περιοχή μελέτης.

Φαινολογικά χαρακτηριστικά σε αστικό ή ημιαστικό περιβάλλον: Τα ανθρωπογενή οικοσυστήματα εμφανίζουν επίσης φαινολογικά χαρακτηριστικά (π.χ οικιστική ανάπτυξη ή η επέκταση του δικτύου μεταφορών). Συνεπώς, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν ο φαινολογικός κύκλος όλων των αστικών φαινομένων που μελετώνται, όπως και για τα φυσικά οικοσυστήματα (Jensen, 1996).

3.1.8. Το επίπεδο της παλίρροιας

Το επίπεδο της παλίρροιας είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για τη συλλογή τηλεπισκοπικών δεδομένων με σκοπό την ανίχνευση μεταβολών σε ακτές. Στην ιδανική περίπτωση, η παλίρροια θα πρέπει να είναι σταθερή κατά τους χρόνους

λήψης των εικόνων, αλλά κάτι τέτοιο θα απέκλειε τη χρήση δορυφόρων, αφού συλλέγουν δεδομένα σε συγκεκριμένη στιγμή της κάθε ημέρας. Γενικά, θα πρέπει να υπολογίζεται το επίπεδο της παλίρροιας κατά τις χρονικές στιγμές λήψης και να αποφεύγεται η περίοδος της πλημμυρίδας. Η επίδραση της παλίρροιας ποικίλει αρκετά από περιοχή σε περιοχή. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα, είναι απαραίτητη η αναζήτηση εναλλακτικών πηγών δεδομένων, όπως πχ. αεροφωτογραφίες ή βάσεις δεδομένων καλύψεων γης. Για τις περισσότερες περιοχές όμως, προτιμάται η λήψη εικόνων κατά την περίοδο της μέσης άμπωτης, ενώ μέχρι 1 ή 2 ft πάνω από το επίπεδο αυτό οι εικόνες θεωρούνται αποδεκτές για ανίχνευση (Jensen, 1993).

3.2. Προεπεξεργασία των Διαχρονικών Τηλεπισκοπικών Εικόνων

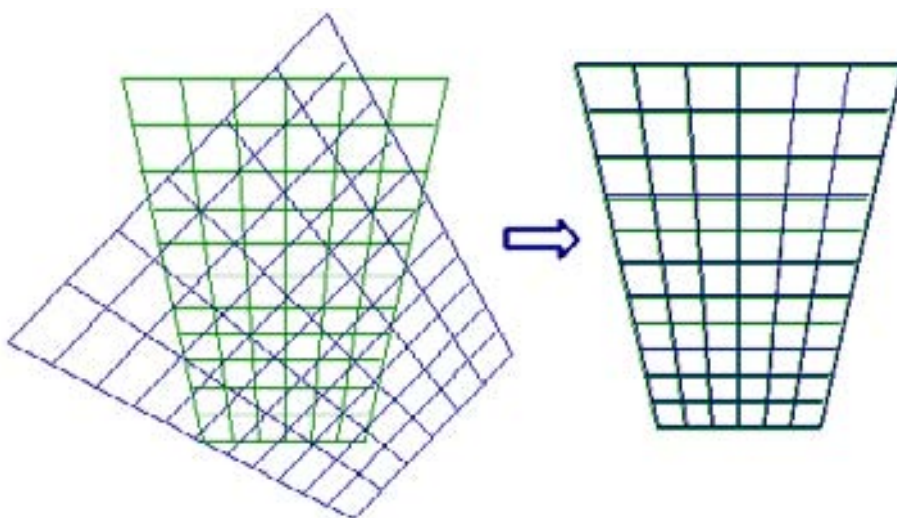
Υπάρχουν διάφορα προβλήματα που ανακύπτουν σε κάθε προσπάθεια ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών. Η προεπεξεργασία των εικόνων περιλαμβάνει τυποποιημένες διαδικασίες οι οποίες βοηθούν στην εξάλειψη πηγών λανθασμένης ή άκυρης εξαγχθείσας μεταβολής. Οι διαδικασίες αυτές είναι η γεωμετρική εγγραφή εικόνας προς εικόνα (co-registration) και η ραδιομετρική διόρθωση (ή κανονικοποίηση).

3.2.1. Γεωμετρική εγγραφή εικόνας προς εικόνα (co-registration)

Κάθε εικονοστοιχείο (i,j) μιας εικόνας, θα πρέπει να συγκριθεί με το αντίστοιχο μιας άλλης, το οποίο να εικονίζει την ίδια περιοχή του εδάφους. Ακόμη όμως και αν τα δεδομένα έχουν γεωαναφερθεί σε κοινό σύστημα συντεταγμένων και έχουν πλέον την γεωμετρική απεικόνιση ενός χάρτη, δεν είναι βέβαιο ότι η αντιστοίχιση των εικονοστοιχείων θα είναι απόλυτα ακριβής, εξαιτίας των σφαλμάτων της γεωμετρικής διόρθωσης που εφαρμόστηκε χωριστά σε κάθε εικόνα. Προκειμένου λοιπόν να γίνει επιτυχής σύγκριση, οι εικόνες θα πρέπει να έχουν ακριβή γεωμετρική εγγραφή η μία ως προς την άλλη (Εικόνα 3-1). Η διαδικασία συνίσταται αρχικώς στη συνταύτιση των εικόνων (image matching) και στη συνέχεια στην εφαρμογή κάποιου μετασχηματισμού συντεταγμένων στη

μία εικόνα ως προς την άλλη (εικόνα αναφοράς), χρησιμοποιώντας κατάλληλο αριθμό σημείων σύνδεσης (Imagine AutoSync White Paper, 2006).

Η ακρίβεια του μετασχηματισμού εξαρτάται από τη χωρική ανάλυση των δεδομένων και τις ανάγκες της εφαρμογής. Σε κάθε περίπτωση πάντως, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μετασχηματισμού (RMSE) θα πρέπει να είναι μικρότερο του μισού εικονοστοιχείου, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω (παράγραφος 3.1.2). Ακόμη, μετά την επιβολή του μετασχηματισμού, θα πρέπει να γίνει και η αναδόμηση (resampling) των εικονοστοιχείων της εικόνας, ώστε να αποδοθεί σε κάθε ένα και κατάλληλη τιμή φωτεινότητας.



Εικόνα 3-1: Γεωμετρική εγγραφή της εικόνας 1 (μπλε) ως προς την εικόνα 2 (πράσινη)

Για την απόδοση της τιμής φωτεινότητας σε κάθε εικονοστοιχείο της διορθωμένης εικόνας, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι. Η μέθοδος του **εγγύτερου γείτονα** (nearest neighbor) αποδίδει την τιμή του πλησιέστερου εικονοστοιχείου από την εικόνα εισόδου. Έχει το πλεονέκτημα ότι υπολογίζεται εύκολα και ότι αποφεύγει την αλλαγή των ψηφιακών τιμών της αρχικής εικόνας. Όμως, στην περίπτωση που τα εικονοστοιχεία της διορθωμένης εικόνας έχουν χωρική μετατόπιση πάνω από μισό εικονοστοιχείο, το αποτέλεσμα θα εμφανίζει κατακερματισμό ή ασυνεχή διάρθρωση, ειδικά στα απεικονιζόμενα γραμμικά στοιχεία. Οι πολυπλοκότερες μέθοδοι αναδόμησης λαμβάνουν υπόψη τις ψηφιακές τιμές αρκετών γειτονικών φαντίων της αρχικής εικόνας. Η **διγραμμική μέθοδος** (bilinear interpolation) χρησιμοποιεί τις τιμές των τεσσάρων

πλησιέστερων φατνίων, ανάλογα βέβαια και με την απόστασή τους (ERDAS Field Guide, 2005):

$$V_r = \sum_{i=1}^4 \frac{(D - \Delta x_i)(D - \Delta y_i)}{D^2} \cdot V_i \quad (3.1), \text{ όπου}$$

- V_r : η τελική τιμή φωτεινότητας στο εικονοστοιχείο (x_r, y_r)
- V_i : η τιμή φωτεινότητας στο γειτονικό εικονοστοιχείο i
- Δx_i : η μεταβολή κατά X μεταξύ του (x_r, y_r) και του i
- Δy_i : η μεταβολή κατά Y μεταξύ του (x_r, y_r) και του i
- D : Η απόσταση ανάμεσα στα εικονοστοιχεία κατά X ή Y

Η διγραμμική μέθοδος δημιουργεί μια αναδομημένη εικόνα με πιο ομαλή εμφάνιση και είναι χωρικά πιο ακριβής από τη μέθοδο του εγγύτερου γείτονα. Το μειονέκτημα είναι όμως ότι κάποιες τιμές από την αρχική εικόνα θα χαθούν και άρα δημιουργεί προβλήματα σε περίπτωση μελλοντικής εφαρμογής ταξινόμησης. Μία εναλλακτική μέθοδος είναι η **κυβική συνέλιξη** (cubic convolution) η οποία λαμβάνει υπόψη τις δεκαέξι πλησιέστερες τιμές του αντίστοιχου φατνίου της εικόνας εισόδου (ERDAS Field Guide, 2005).

$$V_r = \sum_{i=1}^4 V(i-1, j+n-2) \times f(d(i-1, j+n-2)+1) +$$

$$V(i, j+n-2) \times f(d(i, j+n-2)) + \quad (3.2), \text{ όπου}$$

$$V(i+1, j+n-2) \times f(d(i+1, j+n-2)-1) +$$

$$V(i+2, j+n-2) \times f(d(i+2, j+n-2)-2)$$

- V_r : η τελική τιμή φωτεινότητας
- $V(i, j)$: η τιμή φωτεινότητας στο εικονοστοιχείο (i, j)
- $d(i, j)$: η απόσταση μεταξύ του εικονοστοιχείου (i, j) και του (x_r, y_r)
- a : -0.5 (σταθερά)

$$f(x) = \begin{cases} (a+2)|x|^3 - (a+3)|x|^2 + 1 & , |x| < 1 \\ a|x|^3 - 5a|x|^2 + 8a|x| - 4a & , 1 < |x| < 2 \\ 0 & \end{cases}$$

Η κυβική συνέλιξη προκαλεί όξυνση της εικόνας και ομαλοποίηση του θορύβου και είναι κατάλληλη για τις περιπτώσεις που πρόκειται να μεταβληθεί σημαντικά το μέγεθος του φατνίου. Όπως και στην προηγούμενη μέθοδο όμως, έχει το μειονέκτημα ότι τροποποιεί τις αρχικές τιμές φωτεινότητας. Ένα ακόμη αρνητικό είναι ότι απαιτεί περισσότερο χρόνο για την εκτέλεση των υπολογισμών. Τέλος, η μέθοδος **δικυβικής καμπυλοειδούς παρεμβολής** (bicubic spline interpolation) παρεμβάλλει μια πολυωνυμική επιφάνεια χρησιμοποιώντας τα $m \times n$ πλησιέστερα φατνία, σύμφωνα με τη σχέση

$$V(x_r, y_r) = \sum_{p=0}^3 \sum_{q=0}^3 a_{p,q}^{(i,j)} (x_r - x_{i_r})^p (y_r - y_{j_r})^q \quad (3.3), \quad \text{όπου}$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$a_{p,q}^{(i,j)}$: συντελεστής βάρους αναλόγως της απόστασης του φατνίου (x_r, y_r) από το (x_{i_r}, y_{j_r})

Η μέθοδος αυτή ομαλοποιεί την εικόνα και παρέχει καλύτερη χωρική ακρίβεια. Είναι όμως η βραδύτερη συγκριτικά, εξαιτίας των πολύπλοκων υπολογισμών που εκτελεί (ERDAS Field Guide, 2005).

3.2.2. Ραδιομετρική διόρθωση (ή κανονικοποίηση)

Οι διαφορετικές συνθήκες φωτισμού μπορούν να προκαλέσουν διαφορές στην τιμή φωτεινότητας των αντίστοιχων φατνίων των διαχρονικών εικόνων. Πέρα όμως από το γεγονός αυτό, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επιδρούν στην αλλαγή της καταγραφείσας φωτεινότητας (πχ. τα σφάλματα βαθμονόμησης του χρησιμοποιούμενου τηλεπισκοπικού συστήματος). Η συνηθέστερη μέθοδος ραδιομετρικής διόρθωσης των δεδομένων είναι η μετατροπή των ψηφιακών τιμών σε απόλυτες τιμές έντασης ακτινοβολίας, μέσω της συνάρτησης ραδιομετρικής απόκρισης (Αργιαλάς, 1999).

Αντί όμως για τη ραδιομετρική διόρθωση, η οποία μάλιστα απαιτεί και πρόσθετη πληροφορία για τα δεδομένα βαθμονόμησης των καναλιών του χρησιμοποιούμενου δορυφόρου, αρκεί να εφαρμοσθεί η διαδικασία της ραδιομετρικής κανονικοποίησης (radiometric normalization). Κατά τη μέθοδο

αυτή "εξαναγκάζονται" τα στατιστικά στοιχεία της εικόνας 2 (η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση) να συνταυτιστούν με αυτά της εικόνας 1 (Lillestrand, 1972):

$$\tilde{I}_2(x) = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \{I_2(x) - \mu_2\} + \mu_1 \quad (3.4), \quad \text{όπου}$$

- $\tilde{I}_2(x)$: η τελική (κανονικοποιημένη) τιμή στο φατνίο της εικόνας 2
- $I_2(x)$: η αρχική τιμή φωτεινότητας στο φατνίο της εικόνας 2
- μ_1 : η μέση τιμή φωτεινότητας στην εικόνα 1
- μ_2 : η μέση τιμή φωτεινότητας στην εικόνα 2
- σ_1 : η τυπική απόκλιση στη φωτεινότητα της εικόνας 1
- σ_2 : η τυπική απόκλιση στη φωτεινότητα της εικόνας 2

Το αποτέλεσμα επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό των συντελεστών γραμμικού μετασχηματισμού από όλο το φασματικό εύρος του ζεύγους των εικόνων (Collins και Woodcock, 1996). Στη συνέχεια, ο γραμμικός αυτός μετασχηματισμός εφαρμόζεται στην εικόνα 2, ώστε να ταυτιστούν τα στατιστικά της στοιχεία με τα αντίστοιχα της εικόνας 1, κανάλι προς κανάλι.

Όπως άλλωστε έχουν δείξει και σχετικές μελέτες, για τους σκοπούς της ανίχνευσης μεταβολών, τα αποτελέσματα της απλής κανονικοποίησης των εικόνων σε σύγκριση με τα αντίστοιχα της ραδιομετρικής διόρθωσης καθεμίας ξεχωριστά, ήταν το ίδιο ικανοποιητικά και σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα και καλύτερα (Collins and Woodcock, 1996 και Varjo, 1996).

Επίσης, για την αποφυγή εξαγωγής εσφαλμένης πληροφορίας μεταβολών λόγω της σκιάς των αντικειμένων, ο Elgammal (2002) απέδειξε ότι οι συντεταγμένες χρώματος

$$\left(\frac{G}{R+G+B}, \frac{B}{R+G+B}, R+G+B \right) \quad (3.5)$$

είναι πιο αποτελεσματικές από τη χρήση του απλού συνδυασμού RGB.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 :

Αλγόριθμοι ανίχνευσης μεταβολών

4. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ

4.1. Γενικά

Η επιλογή του κατάλληλου αλγόριθμου ανίχνευσης είναι πολύ σημαντική. Πρώτον, διότι θα έχει άμεση επίδραση στον τύπο της ταξινόμησης που θα εφαρμοσθεί. Και δεύτερον, διότι θα καταδείξει το κατά πόσο μπορεί να εξαχθεί η ζητούμενη πληροφορία από τις διαθέσιμες εικόνες.

Υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι και τεχνικές για τους σκοπούς της ανίχνευσης μεταβολών. Γενικά, μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: στις τεχνικές μετασχηματισμού και στις τεχνικές ταξινόμησης μεταβολών (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007). Στην πρώτη περίπτωση παράγεται μία εικόνα εξόδου (εικόνα μεταβολών) στην οποία πρέπει να καθοριστεί ένα κατώφλι μεταξύ τιμής μεταβολής και μη μεταβολής. Αντίθετα, στις τεχνικές ταξινόμησης μεταβολών, τα εικονοστοιχεία που παριστάνουν μεταβολή ανιχνεύονται και παρουσιάζονται απευθείας στη αρχική εικόνα.

Οι σημαντικότεροι αλγόριθμοι ανίχνευσης μεταβολών είναι: Διαφορών Κανάλι προς Κανάλι, Σπουδαιότερης Διαφοράς, Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων, Διαφορών Κλίσεων των Καναλιών και ο αλγόριθμος Tasseled Cap. Οι αλγόριθμοι αυτοί παρουσιάζονται στη συνέχεια.

4.1.1. Αλγόριθμος Διαφορών Κανάλι προς Κανάλι (Single-Band Differences)

Οι μεταβολές στην περίπτωση αυτή προκύπτουν αφαιρώντας τις τιμές φωτεινότητας των φατνίων σε ένα κανάλι της μιας εικόνας απο τις τιμές στο αντίστοιχο κανάλι της άλλης εικόνας. Στην απλούστερη περίπτωση περιγράφεται από τη σχέση (Jensen, 1996):

$$D_{ijk} = BV_{ijk}(1) - BV_{ijk}(2) + c \quad (4.1) \quad , \text{ όπου}$$

D_{ijk} : η μεταβολή στην τιμή φωτεινότητας του εικονοστοιχείου (i,j)
 $BV_{ijk}(1)$: η τιμή φωτεινότητας στην εικόνα 1

$BV_{ijk}(2)$: η τιμή φωτεινότητας στην εικόνα 2
 c : σταθερά η οποία ορίζεται ως κατώφλι για τη θεώρηση μεταβολής
 i : ο αριθμός της γραμμής
 j : ο αριθμός της στήλης
 k : ο αριθμός του καναλιού (πχ. κανάλι 4 στον Landsat TM)

Επίσης, άλλος ένας τύπος που χρησιμοποιείται για τις σχετικές διαφορές είναι ο εξής:

$$\frac{BV_{ijk}(2) - BV_{ijk}(1)}{|BV_{ijk}(1)|} + \frac{BV_{ijk}(2) - BV_{ijk}(1)}{|BV_{ijk}(2)|} \quad (4.2)$$

Ο αλγόριθμος αυτός είναι χρήσιμος για ανίχνευση μεταβολών που συνήθως εμφανίζονται σε ένα μόνο κανάλι, ή εάν δεν διατίθενται πολυφασματικές εικόνες. Ακόμη, μπορεί να εφαρμοσθεί σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007).

4.1.2. Αλγόριθμος της Σπουδαιότερης Διαφοράς (Magnitude Difference)

Η σπουδαιότερη διαφορά στην τιμή φωτεινότητας για κάθε φατνίο υπολογίζεται λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα κανάλια της εικόνας, σύμφωνα με τον τύπο:

$$M_{ij}(1) = \sqrt{\sum_{k=1}^n BV_{ijk}(1)^2} \quad (4.3) \quad , \text{ όπου}$$

$M_{ij}(1)$: η σπουδαιότερη τιμή του εικονοστοιχείου (i,j) στην εικόνα 1
 $BV_{ijk}(1)$: η τιμή φωτεινότητας στην εικόνα 1
 i : ο αριθμός της γραμμής
 j : ο αριθμός της στήλης
 k : ο αριθμός του καναλιού
 n : συνολικός αριθμός καναλιών

Στη συνέχεια, υπολογίζεται και η σπουδαιότερη τιμή $M_{ij}(2)$ της εικόνας 2, οπότε η σχετική διαφορά θα είναι:

$$\frac{M_{ij}(2) - M_{ij}(1)}{|M_{ij}(1)|} + \frac{M_{ij}(2) - M_{ij}(1)}{|M_{ij}(2)|} \quad (4.4)$$

Με τον τρόπο αυτό παρέχεται ένα μέτρο της μεταβολής μεταξύ όλων των καναλιών των εικόνων. Μια τέτοια προσέγγιση χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου λαμβάνει χώρα αλλαγή της φωτεινότητας των φατνίων σε όλα τα φασματικά κανάλια, όπως για παράδειγμα εάν μετακινηθεί ένα όχημα ανοιχτού χρώματος από ένα ασφαλοστρωμένο υπαίθριο σταθμό αυτοκινήτων (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007).

4.1.3. Αλγόριθμος Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων (Primary Color Differences)

Ο αλγόριθμος έχει εφαρμογή μόνο σε πολυφασματικά δεδομένα. Καταρχάς κατωφλιώνει τα εικονοστοιχεία των εικόνων, ανάλογα με το πόσο κόκκινο, μπλε ή πράσινο εμφανίζεται ένα αντικείμενο και στη συνέχεια διαχωρίζονται όσα εικονοστοιχεία θεωρήθηκαν ότι έχουν ένα συγκεκριμένο χρώμα, με την ίδια διαδικασία όπως και στον αλγόριθμο διαφορών κανάλι προς κανάλι. Η τιμή του χρώματος των εικονοστοιχείων καθορίζεται με τον μετασχηματισμό φασματικής γωνίας (spectral angle transform). Αυτό γίνεται αντιληπτό εάν θεωρηθεί το χρώμα ως διάνυσμα του τρισδιάστατου χώρου στο οποίο ο αριθμός των καναλιών τοποθετούνται σε σειρά σύμφωνα με το μήκος κύματος. Το φάσμα του εικονοστοιχείου παριστάνεται τότε από το διάνυσμα

$$\vec{P} = (P_1, P_2, P_3) \quad (4.5)$$

Το συνημίτονο του μετασχηματισμού φασματικής γωνίας του διανύσματος του φατνίου με διάνυσμα αναφοράς το $\vec{R} = (R_1, R_2, R_3)$ δίνεται από τον τύπο:

$$\cos a = \left[\frac{\sum_{k=1}^n R_k P_k}{\left(\sum_k R_k^2 \right)^{1/2} \left(\sum_k P_k^2 \right)^{1/2}} \right] \quad (4.6)$$

Το φάσμα αναφοράς που αντιπροσωπεύει τα κύρια χρώματα (κόκκινο, πράσινο και μπλε) δίνεται από τους τύπους

$$\begin{aligned} \text{RED} &= (0,0,1) \\ \text{GREEN} &= (0,1,0) \\ \text{BLUE} &= (1,0,0) \end{aligned} \quad (4.7)$$

Συνεπώς, χρησιμοποιώντας τα διανύσματα (4.7) ως διανύσματα αναφοράς, προκύπτουν οι ακόλουθοι μετασχηματισμοί κόκκινου, πράσινου και μπλε αντίστοιχα:

$$\begin{aligned} \cos(a_{RED}) &= \left[\frac{P_3}{\left(\sum_k P_k^2 \right)^{1/2}} \right] \\ \cos(a_{GREEN}) &= \left[\frac{P_2}{\left(\sum_k P_k^2 \right)^{1/2}} \right] \\ \cos(a_{BLUE}) &= \left[\frac{P_1}{\left(\sum_k P_k^2 \right)^{1/2}} \right] \end{aligned} \quad (4.8)$$

Ο αλγόριθμος Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων εφαρμόζει τον δοθέντα μετασχηματισμό (4.8) σε κάθε εικόνα και στη συνέχεια διαφοροποιεί το αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας μια σχέση αντίστοιχη της (4.2). Για την αποφυγή σημαντικά εσφαλμένων ανιχνεύσεων, τίθεται αρχικώς κατάλληλη τιμή κατωφλίου για το αποτέλεσμα του μετασχηματισμού και στη συνέχεια υπολογίζεται το ποσό της μεταβολής μεταξύ των εικόνων. Με τη διαδικασία αυτή προστατεύονται, για παράδειγμα, οι μεταβολές του "πρασινωπού" από το να εκτιμηθούν ως μεταβολές του "κοκκινωπού", παρότι μεταβλήθηκε το συνημίτονο της φασματικής γωνίας. Εάν καμία από τις δύο γωνίες δεν είναι

κοντά στο κόκκινο, τότε καμία δεν θα συμπεριληφθεί στο τελικό αποτέλεσμα. Αρχικώς δηλαδή, το κατώφλι στην τιμή χρώματος διαχωρίζει αντικείμενα ενός δοθέντος χρώματος από τα υπόλοιπα και στη συνέχεια το κατώφλι στην τιμή μεταβολής θα καθορίσει τις αλλαγές μεταξύ των εικόνων.

Με τη χρησιμοποίηση εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης (πχ. δεδομένα QuickBird) ο αλγόριθμος αυτός αποδεικνύεται χρησιμότερος σε περιοχές όπου εκτιμώνται μεταβολές σε κτίρια ή άλλες βαμμένες κατασκευές, διότι κάθε εικονοστοιχείο θα καλύπτει επιφάνεια που θα είναι βαμμένη με ένα χρώμα. Όμως, όσο μειώνεται η ανάλυση των δεδομένων, τόσο θα μειώνεται και η αποδοτικότητα της συγκεκριμένης τεχνικής (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007).

Τέλος, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην περίπτωση χρησιμοποίησης εικόνων από δορυφόρο SPOT – 5, διότι τα κανάλια στην περίπτωση αυτή δεν ανταποκρίνονται με την ίδια σειρά στο ίδιο πεδίο του φάσματος (το κανάλι 1 είναι το πράσινο, το 2 είναι το κόκκινο και το 3 το εγγύς υπέρυθρο, σε αντίθεση με άλλους δορυφόρους).

4.1.4. Αλγόριθμος Διαφορών των Κλίσεων (Band–Slope Differences)

Η διαφορά στην κλίση μεταξύ διαδοχικών καναλιών είναι επίσης ένας δείκτης μεταβολών και περιγράφεται από τους τύπους (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007):

$$\begin{aligned} D(1) &= BV_{k+1}(1) - BV_k(1) \\ D(2) &= BV_{k+1}(2) - BV_k(2) \end{aligned} \quad (4.9) \text{ , όπου}$$

- $D(1)$: η μεταβολή στην τιμή φωτεινότητας στην εικόνα 1
- $D(2)$: η μεταβολή στην τιμή φωτεινότητας στην εικόνα 2
- $BV_{k+1}(1)$: η τιμή φωτεινότητας στο κανάλι k+1 της εικόνας 1
- $BV_k(1)$: η τιμή φωτεινότητας στο κανάλι k της εικόνας 1
- $BV_{k+1}(2)$: η τιμή φωτεινότητας στο κανάλι k+1 της εικόνας 2
- $BV_k(2)$: η τιμή φωτεινότητας στο κανάλι k της εικόνας 2

Η σχετική διαφορά των ποσοτήτων αυτών μεταξύ των εικόνων υπολογίζεται στη συνέχεια χρησιμοποιώντας μια σχέση αντίστοιχη της (4.2) .

4.1.5. Αλγόριθμος Tasseled Cap

Ο μετασχηματισμός Tasseled Cap συνίσταται στην εφαρμογή εξισώσεων γραμμικού μετασχηματισμού στα αρχικά δεδομένα, με βάση εμπειρικούς συντελεστές μετασχηματισμού που προσδιορίστηκαν για κάθε τύπο τηλεπισκοπικού αισθητήρα. Το διάνυσμα μετασχηματισμού για κάθε κανάλι δίνεται από τον τύπο (Horne, 2003):

$$u_i = R^T x_i + r \quad (4.10), \quad \text{όπου}$$

- u_i : το διάνυσμα των μετασχηματισμένων τιμών φωτεινότητας για το κανάλι i
- R : ο πίνακας των συντελεστών μετασχηματισμού
- x_i : το διάνυσμα των αρχικών τιμών φωτεινότητας για το κανάλι i
- r : το διάνυσμα των σταθερών που επιλέγονται αυθαίρετα για την αποφυγή αρνητικών τιμών στο u_i

Οι νέες συνιστώσες της μετασχηματισμένης εικόνας ανταποκρίνονται σε φαινόμενα όπως η μεταβολή της φωτεινότητας του εδάφους και του "πρασινωπού". Αφού υπολογιστούν οι αντίστοιχες συνιστώσες σε κάθε εικόνα, στη συνέχεια εφαρμόζεται η σχετική διαφορά (σχέση αντίστοιχη της 4.2) για να παραχθεί έτσι η εικόνα μεταβολών μιας δεδομένης συνιστώσας, πχ. θετική ή αρνητική μεταβολή στην εδαφική φωτεινότητα ή στο "πρασινωπό".

$$R = \begin{pmatrix} 0.326 & -0.311 & -0.612 & -0.650 \\ 0.509 & -0.356 & -0.312 & 0.719 \\ 0.560 & -0.325 & 0.722 & -0.243 \\ 0.567 & 0.819 & -0.081 & -0.031 \end{pmatrix}$$

Πίνακας 4-1 : Οι συντελεστές μετασχηματισμού Tasseled Cap, όπως προσδιορίστηκαν από τις κύριες συνιστώσες 195 δορυφορικών απεικονίσεων IKONOS (Horne, 2003)

Ο αλγόριθμος αυτός εξάγει μεταβολές οι οποίες μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές σε σχέση με άλλες τεχνικές. Γενικά, οι διαφορές στη βλάστηση ανιχνεύονται με περισσότερο λεπτομερή διάκριση. Επιπροσθέτως, μπορεί να εξάγει και ιδιαίτερα εκτεταμένες μεταβολές, όπως για παράδειγμα καταστροφή δάσους από πυρκαγιά ή ανοικοδόμηση μιας ευρείας περιοχής, χωρίς όμως να λαμβάνει υπ' όψιν εάν αυτές σχετίζονται με το φαινόμενο της συνιστώσας που εξετάζεται (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007).

Πρέπει να αναφερθεί ακόμη ότι ο μετασχηματισμός Tasseled Cap εφαρμόζεται μόνο σε πολυφασματικά δεδομένα, κάτι το οποίο σημαίνει ότι δεν είναι κατάλληλος για παγχρωματικές εικόνες. Τέλος, η επιτυχία του αλγόριθμου εξαρτάται σημαντικά από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες των αρχικών εικόνων αλλά και από το θόρυβο του τηλεπισκοπικού αισθητήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 :

**Επεξεργασία και ανάλυση της εξαχθείσας πληροφορίας
μεταβολών**

5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΑΧΘΕΙΣΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ

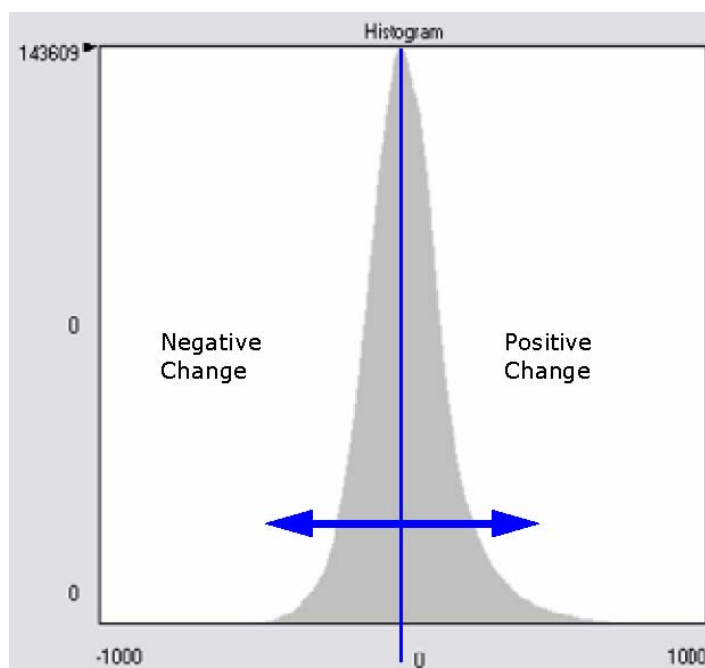
5.1. Γενικά – Καθορισμός Κατωφλίου Μεταβολής

Όλοι οι αλγόριθμοι που περιγράφηκαν προηγουμένως, εξάγουν τις μεταβολές μεταξύ των συγκρινόμενων εικόνων με βάση τις διαφορές των τιμών φωτεινότητας στα αντίστοιχα εικονοστοιχεία. Όπως όμως γίνεται εύκολα αντιληπτό, οποιαδήποτε απόκλιση από το μηδέν στις τιμές αυτές, δε σημαίνει απαραίτητα ότι οφείλεται σε πραγματική μεταβολή αλλά μπορεί και είναι αποτέλεσμα της διαφορετικής καταγραφείσας τιμής ακτινοβολίας σε ίδια αντικείμενα μεταξύ των διαχρονικών εικόνων, εξαιτίας των παραγόντων που εξετάστηκαν στο τρίτο κεφάλαιο.

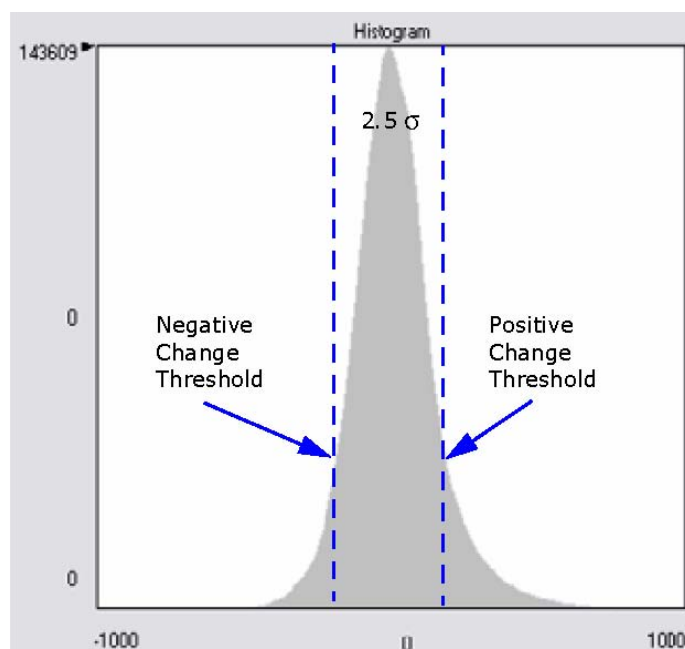
Ακόμη όμως και αν δεν υπήρχαν τέτοια προβλήματα, είναι γεγονός ότι κάθε αντικείμενο δεν καταγράφεται μόνο από μια φασματική τιμή αλλά από μια ποικιλία που καλύπτει ένα ορισμένο εύρος. Επομένως, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις διαφορές φωτεινότητας και άλλες εξωγενείς επιδράσεις, που δεν σχετίζονται με τις πραγματικές μεταβολές μεταξύ των εικόνων, πολύ σπάνια συναντώνται περιοχές χωρίς μεταβολή οι οποίες να έχουν ακριβώς τις ίδιες τιμές στα αντίστοιχα εικονοστοιχεία.

Επομένως, είναι απαραίτητο να καθορίζεται ένα κατώφλι (threshold), μια απόσταση δηλαδή από την τιμή μηδέν, στην οποία η εξαχθείσα εικόνα μεταβολής θα αντιπροσωπεύει πραγματική αλλαγή στην απεικονιζόμενη περιοχή. Ο ορισμός του κατωφλίου μεταβολής μπορεί να γίνει αρχικώς αυθαίρετα, με την επιλογή ενός τυχαίου ποσοστού στις μεταβληθείσες τιμές ή σε σχέση με κάποιο στατιστικό στοιχείο, όπως για παράδειγμα επιλέγοντας έναν αριθμό πολλαπλάσιο της τυπικής απόκλισης (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007). Σε μία εικόνα μεταβολής, ο στατιστικός μέσος όρος των τιμών μεταβολής βρίσκεται συνήθως κοντά στο μηδέν (θεωρώντας ως δεδομένο ότι το μεγαλύτερο τμήμα της απεικονιζόμενης περιοχής γης δεν έχει υποστεί αλλαγές). Τα δεδομένα τυπικώς ακολουθούν την κατανομή Gauss, όπου η κάθε

πλευρά της καμπύλης αντιπροσωπεύει θετικές ή αρνητικές μεταβολές στη φωτεινότητα (εικόνα 5-1).



Εικόνα 5-1: Τυπικό ιστόγραμμα μιας εικόνας μεταβολών με τον μέσο όρο να βρίσκεται στην τιμή μηδέν



Εικόνα 5-2: Τυπικό ιστόγραμμα μιας εικόνας μεταβολών με καθορισμό κατωφλίων

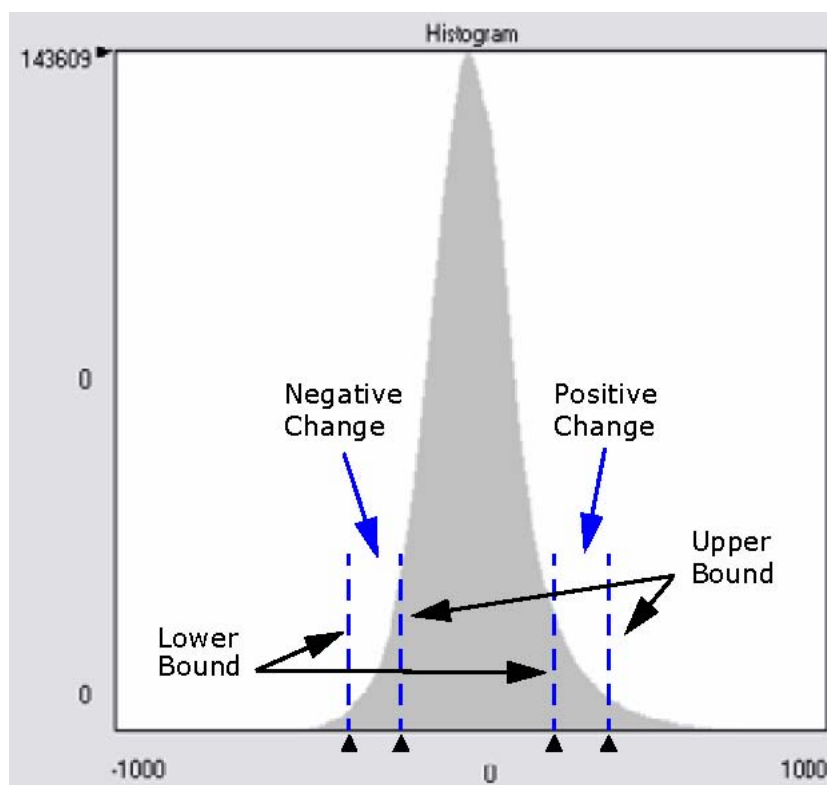
Η εικόνα 5-2 δείχνει το ιστογράμμα των τιμών αλλαγής φωτεινότητας όπου έχουν ορισθεί κατώφλια με τη χρήση των στατιστικών της εικόνας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση καθορίστηκε ως κατώφλι η τιμή 2.5 της τυπικής απόκλισης από τον μέσο όρο. Οι περιοχές που βρίσκονται πέραν αυτών των ορίων λογίζονται ως ανιχνευθείσες μεταβολές (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007).

Η επιλογή της κατάλληλης τιμής κατωφλίου εξαρτάται επομένως από την εύρεση των κρίσιμων σημείων στα άκρα του ιστογράμματος, από τα οποία και μετά οι τιμές θα αντιπροσωπεύουν πραγματικές μεταβολές στις εικόνες. Με τη χρήση βέβαια ενός αριθμού πολλαπλασίου της τυπικής απόκλισης, θεωρείται ως δεδομένο ότι τα κατώφλια για θετική και αρνητική μεταβολή είναι ίσα, διαφέροντας μόνο ως προς το πρόσημο, πχ. $\pm 2.5\sigma$ (εικόνα 5-2). Όμως μια τέτοια θεώρηση δεν είναι δυνατόν να ανταποκρίνεται πάντοτε στην πραγματικότητα, καθώς οι μεταβολές (θετική και αρνητική) δεν βρίσκονται πάντα σε ίση απόσταση από τον μέσο όρο. Αυτό εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες του κάθε ζεύγους των δεδομένων αλλά και από το χρησιμοποιούμενο αλγόριθμο ανίχνευσης.

Τα κατώφλια μεταβολής μπορούν επίσης να προκύψουν με βάση το ποσοστό μεταβολής που ανιχνεύεται. Αν για παράδειγμα καθοριστεί το ποσοστό 30%, τότε ένα φατνίο στο οποίο η τιμή φωτεινότητας αυξάνεται κατά 30% ή περισσότερο θα καταγραφεί ως μεταβολή. Επίσης, ανάλογα και με την εφαρμογή ή το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα, μπορεί να καθορισθεί και ένα εξωτερικό κατώφλι για την απαλοιφή ραγδαίων μεταβολών, όπως πχ. για ποσοστό πάνω από 300%.

Η εικόνα 5-3 παρουσιάζει το ιστογράμμα μιας εικόνας μεταβολών όπου έχουν θεσπιστεί ανώτερα και κατώτερα κατώφλια ανίχνευσης, τόσο για τις θετικές όσο και για τις αρνητικές μεταβολές. Με τον τρόπο αυτό δίνεται μια επιπρόσθετη βοήθεια για την εξεύρεση της ζητούμενης πληροφορίας, αφού γίνεται εστίαση σε συγκεκριμένες περιοχές του ιστογράμματος. Ειδικότερα, τα ανώτερα κατώφλια μπορούν να αποδειχθούν πολύ χρήσιμα σε περιπτώσεις όπου αναμένεται η εξεύρεση μεταβολών άνευ ενδιαφέροντος στα άκρα του ιστογράμματος, όπως για παράδειγμα αν κάποια από τις δεδομένες

δορυφορικές εικόνες εμφανίζει νέφη ή σκιές από νέφωση (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007).



Εικόνα 5-3: Ιστόγραμμα μιας εικόνας μεταβολών με καθορισμό ανώτερου & κατώτερου κατωφλίου

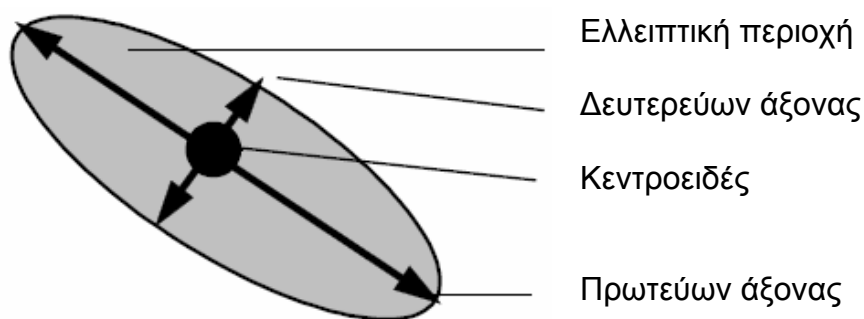
5.2. Απαλοιφή της Ανεπιθύμητης Εξαχθείσας Μεταβολής

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η ανίχνευση μεταβολών αποσκοπεί στην εξεύρεση όλων των αλλαγών γενικά που έλαβαν χώρα κατά το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε ανάμεσα στους χρόνους λήψης των εξεταζόμενων εικόνων. Στις περιπτώσεις αυτές, η ανάλυση της ανιχνευθείσας πληροφορίας μπορεί να ξεκινήσει αμέσως μετά τη θέσπιση κατωφλίων. Εντούτοις, συνήθως ο ερευνητής ενδιαφέρεται να βρει συγκεκριμένα είδη αλλαγών ενώ τα υπόλοιπα θεωρούνται έξω από την περιοχή ενδιαφέροντος της εφαρμογής που εξετάζεται. Σε αυτές λοιπόν τις περιπτώσεις, επιβάλλεται να γίνει "φιλτράρισμα" στην εξαχθείσα πληροφορία, ώστε να προκύψει ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Τέτοια είδη "φιλτραρίσματος" αποτελούν το χωρικό, το "φιλτράρισμα" για τις ατέλειες της γεωμετρικής εγγραφής εικόνας προς εικόνα (βλ. παράγραφο 3.2.1), το φασματικό και τέλος το "φιλτράρισμα" υλικών. Όλα αυτά τα είδη για την

απαλοιφή της ανεπιθύμητης ανιχνευθείσας πληροφορίας εξετάζονται στη συνέχεια.

5.2.1. Χωρικό φιλτράρισμα

Έστω ότι αναζητείται πληροφορία μεταβολής που αφορά αντικείμενα με συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Εάν, παραδείγματος χάριν, το ενδιαφέρον εστιάζεται στην εξεύρεση νέων κτιρίων δεδομένων διαστάσεων, τότε η ανίχνευση όλων των σπιτιών με μικρότερες διαστάσεις θα αποτελούσε θόρυβο για το αποτέλεσμα.



Εικόνα 5-4: Χωρικό φιλτράρισμα με καθορισμό ελλειπτικής περιοχής

Προκειμένου να απαλειφθεί λοιπόν η περιττή αυτή πληροφορία, εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος αναζήτησης ο οποίος εντοπίζει τις συσσωρεύσεις των εικονοστοιχείων μεταβολής και τις συγκρίνει με τους κύριους άξονες μιας ελλειπτικής περιοχής (εικόνα 5-4). Το κεντροειδές της ελλειπτικής περιοχής αντιπροσωπεύει το κεντρικό σημείο του εξεταζόμενου αντικειμένου. Όποια συσσώρευση βρεθεί να έχει μικρότερες διαστάσεις από αυτές της ελλειπτικής περιοχής, τότε αυτόματα διαγράφεται. Επομένως, καθορίζοντας το μήκος των κυρίων αξόνων, καταδεικνύονται ταυτόχρονα και οι χαρακτηριστικές διαστάσεις του αντικειμένου προς ανίχνευση, ειδικά αν αυτό έχει σχήμα συνηθισμένης μορφής (και όχι ακανόνιστης). Έτσι, για συνηθισμένα σχήματα όπως το σχήμα των κτιρίων, ο πρωτεύων άξονας θα αντιπροσωπεύει την κύρια διάσταση του κτιρίου. Το βασικό πλεονέκτημα της διαδικασίας είναι ότι δεν απαιτείται η γνώση του προσανατολισμού των κτιρίων με σκοπό να φιλτραριστούν οι ανεπιθύμητες

μεταβολές (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007). Η αναλυτική λειτουργία ενός τέτοιου αλγόριθμου δίνεται στο επόμενο κεφάλαιο (παράγραφος 6.1.2).

Επίσης, μία άλλη παράμετρος για χωρικό φιλτράρισμα αποτελεί ο καθορισμός της **επιμήκυνσης** των αντικειμένων που αναζητούνται. Ως επιμήκυνση ορίζεται ο λόγος των μηκών του πρωτεύοντος άξονα προς τον δευτερεύοντα άξονα. Για αντικείμενα συνηθισμένων σχημάτων, η επιμήκυνση είναι ένα μέτρο της έκτασης που αυτά καταλαμβάνουν. Έτσι, μια κυκλική πλατεία θα έχει επιμήκυνση 1.0 ενώ ένα μακρύς νέος δρόμος θα έχει πολύ μεγαλύτερη τιμή.

Τέλος, η **γεωμετρική πυκνότητα** είναι ένα ακόμη χαρακτηριστικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007). Η ποσότητα αυτή ορίζεται από το λόγο του εμβαδού της καθοριζόμενης ελλειπτικής περιοχής προς το γινόμενο των μηκών των κυρίων αξόνων :

$$C = \frac{A}{P_1 \cdot P_2} \quad (5.1), \text{ όπου}$$

- A: το εμβαδό της ελλειπτικής περιοχής
- P₁: το μήκος του πρωτεύοντος άξονα
- P₂: το μήκος του δευτερεύοντος άξονα

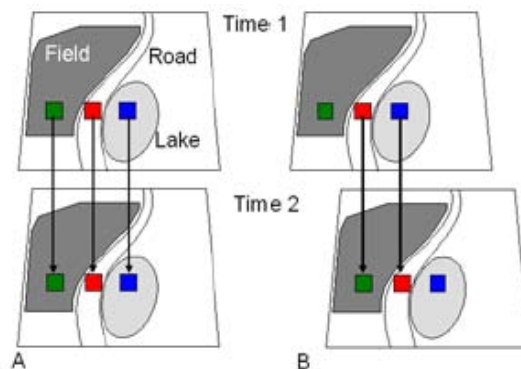
Τιμές επιμήκυνσης	Γεωμετρική πυκνότητα
1 (κύκλος)	0.785
2	0.698
3	0.589
4	0.502
5	0.436
10	0.260
15	0.184
20	0.142

Πίνακας 5-1: Σύγκριση τιμών επιμήκυνσης και γεωμετρικής πυκνότητας για διάφορα ορθογώνια σχήματα

Καθώς η ελλειπτική περιοχή μεγαλώνει προς τη μία διάσταση, η γεωμετρική πυκνότητα τείνει να μειώνεται. Έτσι, μια κυκλική περιοχή θα έχει $C=1$. Ο πίνακας 5-1 δείχνει πώς η γεωμετρική πυκνότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το φιλτράρισμα διαφόρων τύπων σχημάτων σε σχέση με την επιμήκυνσή τους.

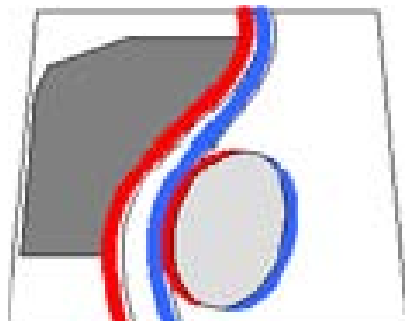
5.2.2. Φιλτράρισμα για τις ατέλειες της γεωμετρικής εγγραφής εικόνας προς εικόνα (misregistration filter)

Εφόσον δεν έχει επιτευχθεί ικανοποιητική ακρίβεια στη διαδικασία γεωμετρικής εγγραφής εικόνας προς εικόνα, τότε θα προκύψουν διάφορα προβλήματα στην εξαγόμενη εικόνα μεταβολών. Για παράδειγμα, κατά μήκος των δρόμων αλλά και στις άκρες των κτιρίων θα εμφανιστεί λανθασμένη πληροφορία μεταβολής, εξαιτίας της κακής συνταύτισης των φαντίων που θα πρέπει να συγκριθούν μεταξύ τους. Το πρόβλημα αυτό ονομάζεται **misregistration**. Η ατελής συνταύτιση κατά ένα μόνο εικονοστοιχείο είναι ικανή να οδηγήσει σε εσφαλμένη σύγκριση π.χ. μεταξύ φαντίου που αντιπροσωπεύει την ακμή ενός δρόμου με ένα άλλο που αντιπροσωπεύει καλλιεργήσιμη έκταση παραπλεύρως. Ομοίως, στην απέναντι πλευρά του ίδιου γραμμικού στοιχείου, θα γίνει η αντίστοιχη εσφαλμένη σύγκριση για την εύρεση μεταβολών. Η εικόνα 5-5 δείχνει μια σχηματική αναπαράσταση της σωστής (περίπτωση Α) και της λάθους (περίπτωση Β) σύγκρισης εικονοστοιχείων σε ζεύγος εικόνων κατά τη διαδικασία της ανίχνευσης μεταβολών, εξαιτίας της διαφορετικής ακρίβειας κατά τη διαδικασία γεωμετρικής εγγραφής εικόνας προς εικόνα.



Εικόνα 5-5: Σωστή και λανθασμένη σύγκριση εικονοστοιχείων (δεξιά και αριστερά αντίστοιχα) σε ζεύγος εικόνων εξαιτίας της διαφορετικής ακρίβειας στη διαδικασία co-registration

Επίσης, η εικόνα 5-6 αναπαριστά σχηματικά την επίδραση αυτών των ατελειών στην εικόνα μεταβολών: με κόκκινο και μπλε χρώμα καταδεικνύεται η λανθασμένη ανιχνευθείσα μεταβολή.



Εικόνα 5-6: Η επίδραση του misregistration στην εικόνα μεταβολών

Αυτό το πρόβλημα μπορεί να ελαχιστοποιηθεί εάν επαναληφθεί η διαδικασία του co-registration με περισσότερη προσοχή, όμως συχνά δεν είναι δυνατό να εξαλειφθεί τελείως.

Ένας τρόπος για να αντιμετωπισθεί αυτή η επίδραση είναι η χρήση ενός κατάλληλου φίλτρου πάνω από την εικόνα μεταβολών (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007). Το φίλτρο αυτό ερευνά τις επιπτώσεις της ανιχνευθείσας πληροφορίας και εξακριβώνει εάν η μεταβολή οφείλεται ή όχι στην επίδραση των ατελειών του μετασχηματισμού. Για κάθε εικονοστοιχείο που σημειώνεται ως μεταβολή, ο αλγόριθμος πηγαίνει πίσω στις αρχικές εικόνες και εφαρμόζοντας μια μάσκα καθορισμένης διάστασης (3x3, 5x5 κτλ) γύρω από το εικονοστοιχείο αυτό, εξετάζει αν υπάρχουν δύο εικονοστοιχεία τα οποία αντιστοιχίσθηκαν λανθασμένα, έχοντας προκαλέσει μικρή μετάθεση στην εικόνα. Σε κάθε τέτοια περίπτωση, η ανιχνευθείσα πληροφορία θεωρείται λανθασμένη και απαλείφεται από το εξαγόμενο αποτέλεσμα.

Η εικόνα 5-7 δείχνει το αποτέλεσμα από την ατελή γεωμετρική εγγραφή των εικόνων (misregistration), όπου έχει προκληθεί μετάθεση του εικονοστοιχείου A στη θέση A' στην εικόνα που απεικονίζει τη χρονική στιγμή 2. Ως συνέπεια, ανιχνεύθηκε λανθασμένη μεταβολή μεταξύ των τιμών A και B'. Με την εφαρμογή όμως μιας μάσκας 5x5 γύρω από το B', αποκαλύπτεται ότι το εικονοστοιχείο A' ταιριάζει απόλυτα με το A στη χρονική στιγμή 1. Το

misregistration επιβεβαιώνεται με τον έλεγχο μεταξύ B και B'. Εάν όχι μόνο το A ταυτίζεται με το A' αλλά και το B με το B', τότε η αρχικώς εξαχθείσα μεταβολή μεταξύ A και B' οφείλεται σε misregistration και συνεπώς απορρίπτεται από το τελικό αποτέλεσμα. Η μετάθεση από το B' στο B είναι ίση με αυτή από το A στο A' αλλά σε αντίθετη κατεύθυνση.



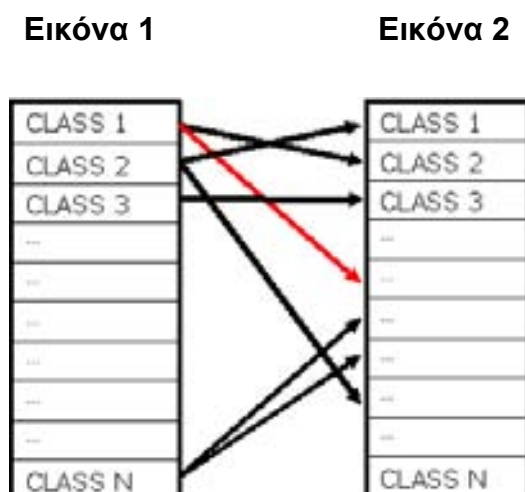
Εικόνα 5-7: Ανίχνευση του σφάλματος λόγω misregistration με εφαρμογή μάσκας 5x5

5.2.3. Φασματικό φιλτράρισμα

Εκτός του φιλτραρίσματος των μεταβολών που βασίζεται στα χωρικά χαρακτηριστικά, τα εξαγόμενα εικονοστοιχεία μεταβολών μπορούν επίσης να φιλτραριστούν και με βάση τις φασματικές ιδιότητες. Τα φασματικά χαρακτηριστικά μπορούν να συσχετισθούν με τους διάφορους τύπους εδαφοκάλυψης. Επομένως χρησιμοποιώντας κάποιον αλγόριθμο μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, μπορεί να γίνει φασματικός διαχωρισμός των εικονοστοιχείων των διαχρονικών εικόνων (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007). Οι κλάσεις που θα προκύψουν, αντιπροσωπεύουν τις διάφορες κατηγορίες κάλυψης γης τόσο κατά τη χρονική στιγμή 1 όσο και κατά τη στιγμή 2. Έτσι, η αντιστοίχιση των κλάσεων μεταξύ των εικόνων, θα παρουσιάζει τις μεταπτώσεις από την στιγμή 1 (πριν) στη χρονική στιγμή 2 (μετά).

Συνεπώς, αν για παράδειγμα ερευνώνται οι περιοχές βλάστησης που μετατράπηκαν σε γυμνό έδαφος, τότε μπορούν να διαγραφούν όλες οι κατηγορίες από την εικόνα 1 που δεν αντιπροσωπεύουν βλάστηση και όλες οι κατηγορίες από την εικόνα 2 που δεν αντιστοιχούν σε γυμνό έδαφος. Οπότε, οι

εναπομείναντες μεταπτώσεις θα παρουσιάζουν τις ζητούμενες μεταβολές από βλάστηση σε γυμνό έδαφος.



Εικόνα 5-8: Φασματικός διαχωρισμός με χρήση της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης

5.2.4. Φιλτράρισμα υλικών

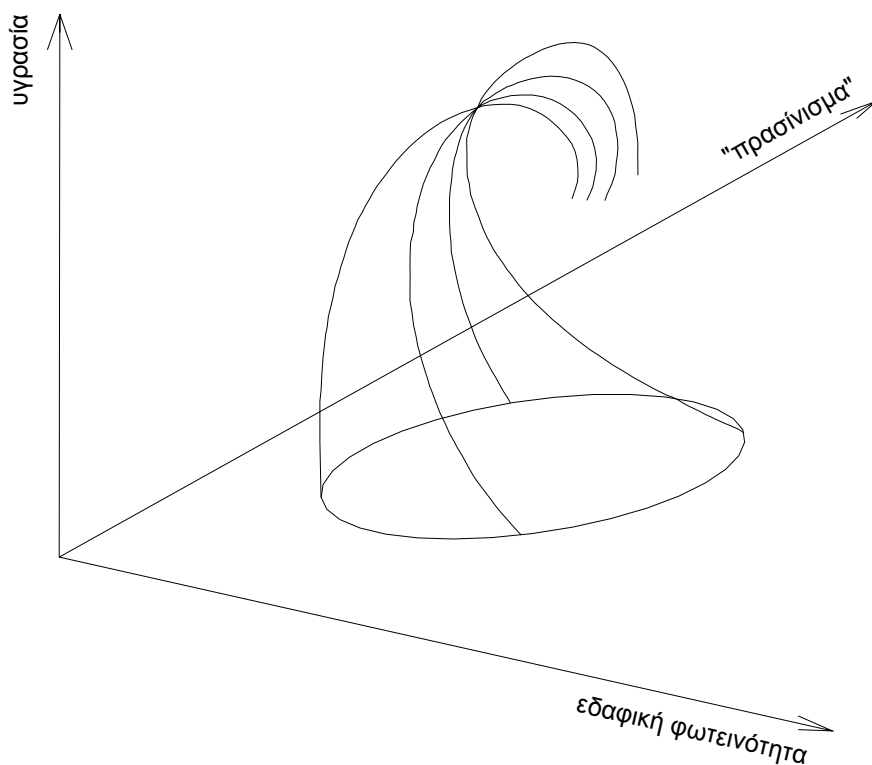
Πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι το φασματικό φιλτράρισμα που περιγράφηκε προηγουμένως, εκτελεί την ταξινόμηση χωρίς να μπορεί να δώσει πληροφορίες για το τι αναπαριστά η κάθε φασματική κατηγορία που προκύπτει. Αυτό επαφίεται στη φωτοερμηνεία από τον μελετητή ώστε να αποφασίσει κατόπιν για τις θεματικές κατηγορίες που χρειάζεται. Επομένως, χωρίς την αυστηρή βαθμονόμηση των εικόνων και τη διόρθωση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων σε συνδυασμό με τη χρήση βιβλιοθηκών φασματικών υπογραφών και δεδομένων επίγειου ελέγχου, είναι πολύ δύσκολο να αναγνωρισθεί η πληροφορία των θεματικών κατηγοριών που προέκυψαν από την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση.

Παρόλα αυτά όμως, είναι δυνατό να αφαιρεθούν αυτόματα ορισμένες ανεπιθύμητες ανιχνευθείσες μεταβολές, εάν χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά ο μετασχηματισμός Tasseled Cap (βλ. παράγραφο 4.1.5). Ο αλγόριθμος Tasseled Cap παράγει ένα γραμμικό μετασχηματισμό που δίνει πληροφορία για τη βλάστηση σε ορθογώνιους άξονες ως εξής (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007):

- στο πρώτο διάνυσμα βάσης αντιστοιχίζει τη μέση εδαφική φωτεινότητα από όλα τα κανάλια
- στο δεύτερο διάνυσμα βάσης (κάθετο στο πρώτο), αντιστοιχίζει το "πρασινίσμα", με τη σύγκριση ανάμεσα στο εγγύς υπέρυθρο και τα κανάλια του ορατού φάσματος
- στο τρίτο διάνυσμα βάσης (κάθετο στα δύο προηγούμενα), αντιστοιχίζει την κατεύθυνση υγρασίας συσχετίζοντας τις περιοχές με σκιά και την εδαφική υγρασία.

Η προβολή του φάσματος των εικονοστοιχείων επάνω στο επίπεδο που καθορίζεται από το πρώτο διάνυσμα βάσης (εδαφική φωτεινότητα) και το δεύτερο διάνυσμα βάσης ("πρασινίσμα") οδηγεί σε φυσική κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων. Ο διαχωρισμός τους μπορεί να γίνει με τη μέτρηση των γωνιών από την αρνητική κατεύθυνση του άξονα "πρασινίσματος".

Η θεωρητική γωνία ενός υλικού μη-βλάστησης (συμπεριλαμβανομένου του καθαρού χώματος) είναι 90 μοίρες, δεδομένου ότι πρέπει να ευθυγραμμιστεί με το πρώτο διάνυσμα βάσης. Τα εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύουν βλάστηση έχουν γωνία μεγαλύτερη από την μη-βλάστηση ενώ το νερό, η σκιά και τα φωτεινά επίπεδα υλικά έχουν μικρότερες γωνίες. Υπάρχει μια ασαφής ζώνη μεταξύ της βλάστησης και της μη-βλάστησης και μια άλλη ανάμεσα στη μη-βλάστηση και το νερό (και της σκιάς και των φωτεινών επιπέδων υλικών). Για τους αισθητήρες Quickbird II και IKONOS, το όριο βλάστηση/ μη-βλάστηση είναι περίπου 100 μοίρες ενώ το όριο μη-βλάστηση/ νερού-σκιάς είναι 80 μοίρες. Για τους αισθητήρες Landsat, οι γωνίες είναι 86 και 82 αντίστοιχα. Η γωνία 86 είναι μικρότερη από τη θεωρητική (90 μοίρες) διότι ο άξονας μη-βλάστησης δεν αντιστοιχίζεται με την πρώτη κύρια συνιστώσα όταν παράγονται οι συντελεστές του μετασχηματισμού Tasseled Cap. Τα φωτεινά αλλά επίπεδα υλικά, όπως πχ. τα σύννεφα, συγκαταλέγονται στην ίδια ζώνη γωνίας με αυτά του νερού/ σκιάς. Για το διαχωρισμό τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια άλλη παράμετρος - η εδαφική φωτεινότητα. Η τιμή της καθορίζεται σε 500 ψηφιακές τιμές φωτεινότητας (DN - Digital Number) για τους δορυφόρους Quickbird II και IKONOS (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007).



Εικόνα 5-9 : Διάγραμμα των τριών πρώτων συνιστωσών του μετασχηματισμού Tasseled Cap

Με την τεχνική αυτή είναι δυνατό να απαλειφθούν μεταβολές μη ενδιαφέροντος, όπως αυτές που σχετίζονται με φαινόμενα του φαινολογικού κύκλου, δηλαδή για παράδειγμα αλλαγές στη βλάστηση σε περιοχή φυλλοβόλων δένδρων ή αλλαγές που σχετίζονται με την επίδραση του νερού ή της σκιάς σε κάποια από τις εξεταζόμενες εικόνες. Η τεχνική επιδρά μόνο σε συσσωρεύσεις εικονοστοιχείων που αναγνωρίζεται ότι απεικονίζουν αποκλειστικά τις παραπάνω θεματικές κατηγορίες (δηλαδή όχι σε περιπτώσεις ανάμειξης θεματικών κατηγοριών).

5.3. Ανάλυση της Εξαχθείσας Πληροφορίας Μεταβολών

Ύστερα από το φιλτράρισμα της εικόνας μεταβολών, θα έχουν παραμείνει θεωρητικώς μόνο τα εικονοστοιχεία που αναπαριστούν την χρήσιμη πληροφορία. Τα εικονοστοιχεία αυτά θα έχουν πλέον κωδικοποιηθεί ως προς τη φορά της μεταβολής (θετική ή αρνητική, δηλαδή από το φωτεινό προς το

σκούρο ή από το σκούρο προς το φωτεινό αντίστοιχα), την ένταση ή την σπουδαιότητα της μεταβολής (ως ποσοστό μεταβολής ή ως κατηγορία εύρους μεταβολής) ή ως μεταβολή συγκεκριμένου τύπου ("πρασίνισμα" του εδάφους, αλλαγές στη βλάστηση κλπ). Περιοχές χωρίς αλλαγές θα έχουν την τιμή μηδέν. Το αποτέλεσμα μπορεί να εξαχθεί απευθείας σε ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) ως μοντέλο για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις, η τελική εξαγόμενη πληροφορία επιτίθεται στις αρχικές εικόνες προκειμένου να γίνει εκτίμηση των αποτελεσμάτων της διαδικασίας. Ο φωτοερμηνευτής τότε καλείται να εξετάσει τη φύση και τη σπουδαιότητα της ανιχνευθείσας μεταβολής, την ανάγκη για τυχόν περαιτέρω έρευνα ή τη λήψη απόφασης για ένα τρόπο δράσης.

Για παράδειγμα, έστω ότι το ενδιαφέρον εστιάζεται στην εύρεση νέων κατασκευών στη βιομηχανική περιοχή που βρίσκεται στις παρυφές ενός αστικού κέντρου. Με τη χρήση του κατάλληλου αλγόριθμου και των διαδικασιών φιλτραρίσματος, η εξαγόμενη πληροφορία μπορεί να απαλλαγεί από μεταβολές που οφείλονται σε θόρυβο, σε μικρές περιοχές από σταθμευμένα οχήματα και από μεταβολές της βλάστησης που έχουν παρόμοιο μέγεθος με τα κτίρια που αναζητώνται. Τότε, στην εικόνα μεταβολών θα έχουν απομείνει συσσωρεύσεις φατνίων που αντιστοιχούν στις φασματικές και χωρικές περιγραφές των ζητούμενων κατασκευών. Όμως, ανάμεσα στα νέα βιομηχανικά κτίρια μπορεί να βρίσκονται και κάποιες νέες κατοικίες που επίσης ανιχνεύτηκαν, εξαιτίας των παραπλήσιων φασματικών και χωρικών τους χαρακτηριστικών. Επομένως επαφίεται στον φωτοερμηνευτή ο τελικός έλεγχος για την εξαγωγή της χρήσιμης μόνο πληροφορίας και της ποιότητας των αποτελεσμάτων (Imagine Delta Cue Users Guide, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 :

Εξαγωγή πληροφορίας μεταβολών σε οδικό δίκτυο

6. ΕΞΑΓΩΓΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΕ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

6.1. Η Προσέγγιση Gao - Wu

Η επισκόπηση των μεθόδων εξαγωγής δρόμων που έγινε στο κεφάλαιο 2 δείχνει ότι ένας μεγάλος αριθμός μελετών έχει αναπτυχθεί για την ανίχνευση δρόμων από τηλεπισκοπικές εικόνες. Κάποιες από αυτές έχουν παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Εντούτοις, περιορίζονται από το γεγονός ότι σχεδιάστηκαν για την εξαγωγή του οδικού δικτύου από ένα συγκεκριμένο τύπο εικόνων. Σε περίπτωση όπου διατίθεται ένα διαφορετικό είδος δεδομένων ή γεωγραφικής περιοχής, αυτές οι μέθοδοι είναι συχνά εντελώς ανίκανες για να αποδώσουν επιθυμητά αποτελέσματα (Gao και Wu, 2004).

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μια νέα προσέγγιση για την εξαγωγή των οδικών δικτύων στις αστικές περιοχές, η οποία βασίζεται στη χωρική συλλογιστική των υπόψη αντικειμένων (Gao και Wu, 2004). Στο αστικό περιβάλλον, διάφορα άλλα εικονιζόμενα αντικείμενα μπορούν εύκολα να αναμιχθούν με τους δρόμους. Εκτός αυτού, η αστική βλάστηση μπορεί επίσης να αποκρύψει τμήματα των δρόμων. Σε εικόνες υψηλής ανάλυσης, δρόμοι με ποικίλα πλάτη και υπό διάφορες συνθήκες έχουν μοναδικές φασματικές ιδιότητες. Όλοι αυτοί οι παράγοντες δυσκολεύουν την ανίχνευση μεταβολών. Τα προβλήματα όμως μπορούν να ξεπεραστούν με τη χωρική συλλογιστική, η οποία λαμβάνει υπόψη τη χωρική διάταξη και τις χωρικές συσχετίσεις μεταξύ των εικονοστοιχείων που αναπαριστούν οδούς, στη διαδικασία λήψης απόφασης. Η τεχνική αυτή έχει εφαρμοστεί σε περιβάλλον που δεν υπόκειται στη χωρική ανάλυση των εικόνων εισόδου.

6.1.1. Ιδιότητες των δρόμων στην εικόνα

Ως ένα είδος τεχνητών οντοτήτων, οι δρόμοι διαφέρουν από άλλα ανθρωπογενή και φυσικά αντικείμενα στην υλική και γεωμετρική διαμόρφωση της επιφάνειάς τους. Ειδικότερα, είναι συνήθως στρωμένοι με την ασφαλτο ή

σκυρόδεμα, κάτι που προκαλεί την έντονη αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι δρόμοι είναι γραμμικοί στη μορφή και έχουν ομοιόμορφο πλάτος που ποικίλλει ανάλογα με τη σημασία τους. Οι εθνικές και οι επαρχιακές οδοί είναι ευρύτεροι από τις οδούς εσωτερικά των πόλεων.

Στις τηλεπισκοπικές εικόνες, οι δρόμοι είναι αναγνωρίσιμοι από το διακριτό τους τόνο, την υφή και το σχήμα τους. Η έντονη αντανάκλαση της ακτινοβολίας προκαλεί την εμφάνιση ενός ομοιόμορφου ελαφρού τόνου στην εικόνα. Αποτελούμενοι από το ίδιο υλικό επίστρωσης, οι δρόμοι έχουν μια ομαλή και πανομοιότυπη υφή. Υπάρχει μια δραστική αλλαγή στον τόνο και την υφή κατά μήκος των ορίων των δρόμων. Γεωμετρικώς, οι δρόμοι είναι επιμήκεις και χωρικά συνεχείς. Έχουν επίσης ομοιόμορφο πλάτος με μικρές καμπυλότητες. Η φυσική εμφάνισή τους σε μια εικόνα, εντούτοις, επηρεάζεται από τη χωρική ανάλυση. Σε μια εικόνα χαμηλής ανάλυσης, ένας δρόμος μπορεί να μην απεικονίζεται ή και να μην εμφανίζεται ακόμη και ως μια στενή γραμμή που αντιπροσωπεύεται από μια σειρά εικονοστοιχείων. Αντιθέτως, σε μια εικόνα υψηλής ανάλυσης, ο ίδιος δρόμος μπορεί να εμφανιστεί ως μία διάταξη εικονοστοιχείων με δύο παράλληλα όρια. Η χωρική συνέχεια ενός οδικού δικτύου μπορεί να διαταραχθεί από την παρουσία κλαδιών και φυλλωμάτων δέντρων καθώς και οχημάτων στο έδαφος, τα οποία προκαλούν ασυνέχειες. Συμπερασματικά λοιπόν, οποιαδήποτε αξιόπιστη εξαγωγή οδικών δικτύων πρέπει να λάβει πλήρως υπόψη τα χαρακτηριστικά αυτά.

Η μέθοδος εξαγωγής οδικών δικτύων με βάση τη χωρική συλλογιστική αποτελείται από τρία στάδια, μετά από την αρχική εφαρμογή μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Αυτά είναι η αφαίρεση του θορύβου, η ένωση των επιμέρους τμημάτων και η λέπτυνση (σκελετοποίηση).

6.1.2. Στάδιο 1: αφαίρεση του θορύβου

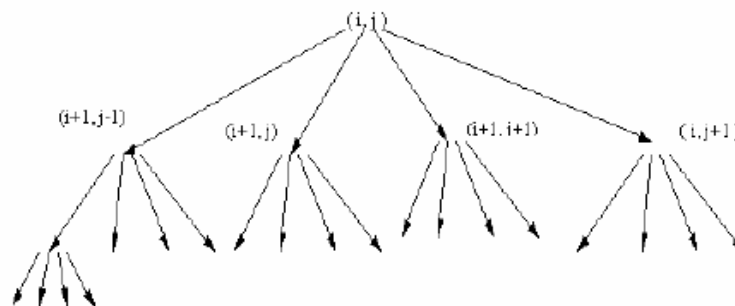
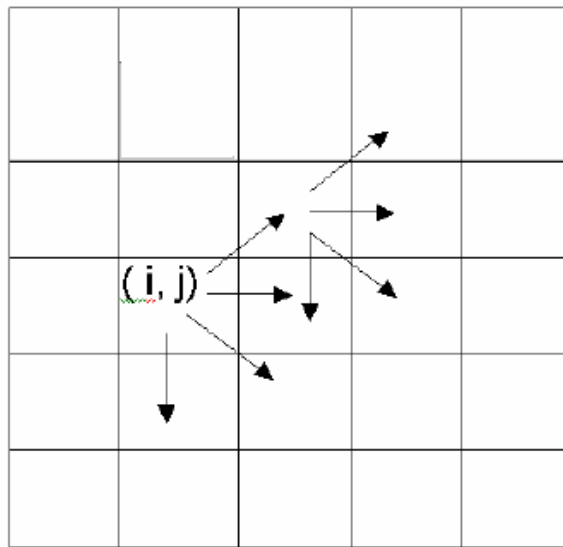
Οι στέγες των κτηρίων στις αστικές περιοχές εμφανίζουν στην εικόνα έναν τόνο παραπλήσιο με αυτόν των δρόμων. Κατά συνέπεια, υπάρχει σοβαρή πιθανότητα να κατηγοριοποιηθούν ανάμεσα στα οδικά εικονοστοιχεία κατά την

εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Στις περιπτώσεις αυτές, η εικόνα μεταβολών εμφανίζει μικρές και απομονωμένες συστάδες εικονοστοιχείων, οι οποίες δεν ευθυγραμμίζονται με τα οδικά εικονοστοιχεία σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Για να γίνει επομένως διάκριση μεταξύ οδικών και μη- οδικών εικονοστοιχείων, εφαρμόζεται ένα κατώφλι για τον αριθμό των εικονοστοιχείων που περιλαμβάνει μια συσσώρευση (βλέπε και παράγραφο 5.2.1). Προσοχή βέβαια πρέπει να επιδειχθεί στον καθορισμό του κατάλληλου κατώτατου κατωφλίου προτού αναληφθεί οποιαδήποτε περαιτέρω επεξεργασία. Όσο μεγαλύτερο το κατώφλι, τόσο περισσότερες συσσωρεύσεις χωρικά παρακείμενων εικονοστοιχείων κάτω από αυτό το κατώτατο όριο θα θεωρηθούν ως θόρυβος και θα απομακρυνθούν. Αφ' ετέρου όμως, ένα μεγαλύτερο κατώφλι μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια χρήσιμης πληροφορίας στην εικόνα εξόδου, δεδομένου ότι κάποια οδικά τμήματα μπορεί να αποτελούνται από μικρό αριθμό εικονοστοιχείων.

Όλα τα οδικά τμήματα που έχουν λιγότερα εικονοστοιχεία από το καθοριζόμενο κατώφλι θα αντιμετωπιστούν ως θόρυβος και θα αφαιρεθούν. Στη συνέχεια, υπολογίζεται στις εναπομείναντες συσσωρεύσεις το μεγαλύτερο μήκος τους και συγκρίνεται με ένα δεύτερο κατώφλι. Εάν το μήκος βρεθεί μικρότερο από την καθορισμένη τιμή, τότε όλα τα εικονοστοιχεία της συσσώρευσης θα απομακρυνθούν. Κατόπιν τούτου, όλα τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία θεωρούνται ότι αντιπροσωπεύουν τους αληθινούς δρόμους. Η εφαρμογή του αλγόριθμου για την αφαίρεση του θορύβου γίνεται ως εξής: Θεωρείται ότι το υπό εξέταση φαντίο είναι το (i, j) όπου το i ποικίλλει από το 0 μέχρι $j-1$, και το j από το 0 μέχρι $i-1$. Η εικόνα εισόδου διατρέχεται επαναληπτικά εικονοστοιχείο προς εικονοστοιχείο. Κατά τη διάρκεια κάθε επανάληψης, το i αυξάνεται κατά 1 έως ότου φθάσει στην τιμή $j-1$. Μέσα σε κάθε βρόχο, το j αυξάνεται επίσης κατά 1 μέχρι και αυτό να φθάσει στην τιμή $i-1$. Μέσω αυτών των επαναλήψεων όλα τα εικονοστοιχεία θα υποβληθούν σε επεξεργασία.

Υπάρχουν δύο σειρές μεταβλητών στη διαδικασία αφαίρεσης θορύβου, μία για την αποθήκευση της τιμής του φαντίου και η άλλη για την αποθήκευση της τιμής Boolean, η οποία δείχνει εάν ένα εικονοστοιχείο αντιπροσωπεύει δρόμο. Κατά τη διάρκεια κάθε επανάληψης, καθένα από τα τέσσερα γειτονικά

εικονοστοιχεία του (i, j) , δηλαδή τα $(i-1, j-1)$, $(i-1, j)$, $(i-1, j+1)$ και $(i, j-1)$, εξετάζεται διαδοχικά για να καθορισθεί εάν το (i, j) είναι ένα οδικό εικονοστοιχείο. Εάν ένα από τα τέσσερα γειτονικά εικονοστοιχεία είναι οδικό σύμφωνα με τις ιδιότητες που περιγράφηκαν προηγουμένως, τότε το (i, j) θεωρείται επίσης οδικό εικονοστοιχείο. Διαφορετικά, ο αλγόριθμος αναζήτησης ενεργοποιείται για να ψάξει στις άλλες τέσσερις κατευθύνσεις: $(i+1, j-1)$, $(i+1, j)$, $(i+1, j+1)$, $(i, j+1)$ και να ελέγξει εάν το (i, j) αποτελεί άκρο ενός οδικού τμήματος.



Εικόνα 6-1: Η δομή της επαναλαμβανόμενης αναζήτησης

Ο προσδιορισμός του μήκους μιας συσσώρευσης χωρικά παρακείμενων εικονοστοιχείων ολοκληρώνεται επαναληπτικά. Η δομή της επαναλαμβανόμενης αναζήτησης απεικονίζεται στην εικόνα 6-1. Το εικονοστοιχείο $(i+1, j-1)$ αξιολογείται πρώτο. Εάν βρεθεί να αντιπροσωπεύει δρόμο, τότε παίρνει τις συντεταγμένες (i, j) και το κατώφλι του οδικού μήκους

μειώνεται κατά 1. Κατόπιν, το πρόγραμμα αρχίζει και πάλι. Εάν το (i, j) δεν είναι ένα οδικό εικονοστοιχείο ή βρίσκεται έξω από το όριο της εικόνας, τότε η επανάληψη επιστρέφει μια ψευδή τιμή και ξαναρχίζει με την επόμενη κατεύθυνση. Εάν το κατώφλι τεθεί 0, τότε επιστρέφει μια αληθή τιμή. Τέσσερις κατευθύνσεις αναζήτησης εξετάζονται: $(i+1, j-1)$, $(i+1, j)$, $(i+1, j+1)$, $(i, j+1)$. Όταν όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας εισόδου θα έχουν αναζητηθεί, τότε θα έχουν υπολογιστεί και όλα τα παρακείμενα εικονοστοιχεία. Εφόσον ο αριθμός τους μειωθεί κάτω από το καθορισμένο κατώφλι, τότε όλα θα θεωρηθούν ως θόρυβος και θα αφαιρεθούν από την εικόνα εξόδου.

6.1.3. Στάδιο 2: ένωση των επιμέρους τμημάτων

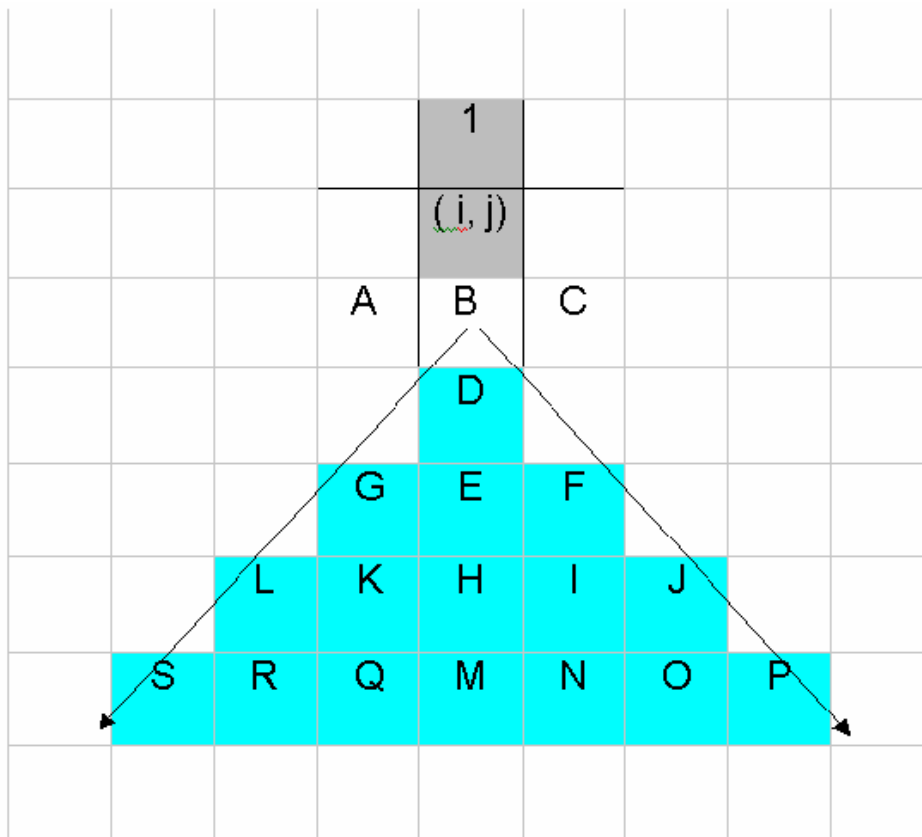
Υπάρχουν πολλές μέθοδοι με τις οποίες τα εναπομείναντα τμήματα οδών μπορούν να ενωθούν, όπως είναι ο μετασχηματισμός Hough (γενική εφαρμογή στην εικόνα), η βέλτιστη αναζήτηση (τοπική), το φίλτρο κατεύθυνσης (τοπικό), επίθεση επιπέδου (layer) από GIS, και άλλες. Για εικόνες εισόδου με υψηλή χωρική ανάλυση, η **μέθοδος κωνικής αναζήτησης** (directional cone search method) είναι η πλέον κατάλληλη (Gao και Wu, 2004). Η διαδικασία ένωσης αποτελείται από διάφορα βήματα. Το πρώτο βήμα είναι να προσδιοριστεί το τέλος ενός οδικού τμήματος μέσω επαναλήψεων με την υπόθεση ότι και τα δύο τελικά εικονοστοιχεία ενός τμήματος είναι οι άκρες του δρόμου. Όλα τα εικονοστοιχεία στην εικόνα εξετάζονται για να καθορισθεί εάν αποτελούν τις άκρες ενός δρόμου. Εάν ένα εικονοστοιχείο αναπαριστά δρόμο, τότε η αναζήτηση συνεχίζεται περαιτέρω για να διακριβωθεί εάν υπάρχουν και άλλα σε παράπλευρη θέση. Εάν ισχύει αυτό, τότε το εικονοστοιχείο δεν είναι το άκρο ενός οδικού τμήματος. Όμως, εάν βρεθούν εικονοστοιχεία να βρίσκονται παραπλεύρως στο υπό εξέταση εικονοστοιχείο, αλλά όχι όμως και από τις δύο του πλευρές, τότε το εικονοστοιχείο αυτό επιβεβαιώνεται ως άκρο ενός δρόμου. Η αναζήτηση συνεχίζεται έπειτα για να καθορισθεί εάν υπάρχει και άλλο άκρο οδού στην γειτονιά του. Σε αυτή την περίπτωση, και εφόσον και οι δύο συσσωρεύσεις είναι προσανατολισμένες στην ίδια διεύθυνση και η απόσταση μεταξύ τους είναι μικρότερη από το προκαθορισμένο κατώφλι, τότε θεωρούνται

ως διαφορετικά τμήματα του ίδιου δρόμου, και επομένως θα ενωθούν από κοινού.

Η λειτουργία του αλγόριθμου για να καθορίσει εάν το εικονοστοιχείο (i, j) είναι στο μέσο ενός δρόμου ή στο άκρο του, εκτελείται ως εξής. Εάν το (i, j) αναπαριστά δρόμο, τότε για τουλάχιστον ένα ακόμη εικονοστοιχείο γύρω από αυτό θα πρέπει να ισχύει το ίδιο. Το εικονοστοιχείο από επάνω $(i-1, j)$ θα αξιολογηθεί πρώτα. Εάν βρεθεί ότι και αυτό ανήκει στο δρόμο, τότε θα αξιολογηθούν τα $(i, j+1)$, $(i+1, j+1)$ και $(i+1, j)$. Εάν επίσης για ένα από αυτά βρεθεί ότι ισχύει το ίδιο, τότε το αρχικό εικονοστοιχείο (i, j) θεωρείται ως ενδιάμεσο ενός δρόμου. Καμία περαιτέρω επεξεργασία δεν εκτελείται. Το πρόγραμμα κινείται προς το επόμενο εικονοστοιχείο. Εάν όμως κανένα από τα $(i, j+1)$, $(i+1, j+1)$ και $(i+1, j)$ δεν απεικονίζει δρόμο, τότε το (i, j) πρέπει να είναι άκρο. Η λειτουργία ένωσης οδικών τμημάτων εκτελείται σε τότε σε αυτό. Εάν το εικονοστοιχείο $(i-1, j)$ δεν ανήκει σε δρόμο, το πρόγραμμα θα κινηθεί προς το $(i-1, j+1)$ και εφόσον αυτό το απεικονίζει οδό, τότε τα εικονοστοιχεία $(i+1, j)$, $(i+1, j-1)$ και $(i, j-1)$ θα αξιολογηθούν στη συνέχεια. Εφόσον και πάλι ένα από αυτά παριστάνει δρόμο, τότε το (i, j) καθορίζεται ως ενδιάμεσο του δρόμου και η επανάληψη μετατοπίζεται στο επόμενο εικονοστοιχείο. Διαφορετικά, το $(i, j+1)$ θα υποβληθεί στην ίδια διαδικασία με πριν. Τα περιγραφόμενα βήματα επαναλαμβάνονται μέχρι το τελευταίο εικονοστοιχείο μέσα στο καθορισμένο παράθυρο αναζήτησης. Επειδή το (i, j) δεν είναι απομονωμένο, ένα από οκτώ γειτονικά εικονοστοιχεία του πρέπει να απεικονίζει δρόμο.

Όταν για κάποιο εικονοστοιχείο βρίσκεται ότι αποτελεί το άκρο ενός δρόμου, τότε εκτελείται η λειτουργία ένωσης οδικών τμημάτων. Σε αυτήν την λειτουργία, αρχικά καθορίζεται ο κώνος κατά μήκος της κατεύθυνσης. Εάν τα εικονοστοιχεία (i, j) και 1 ανήκουν σε δρόμο (εικόνα 6-2) και για κανένα από τα A, B και C δεν συμβαίνει το ίδιο, τότε η αναζήτηση για την ένωση έχει φορά προς τα κάτω. Στην εικόνα 4-2 ο κατευθυνόμενος κώνος ορίζεται ως $D \rightarrow E, F, G \rightarrow H, I, J, K, L \rightarrow M, N, O, P, Q, R, S \rightarrow \dots$. Η αναζήτηση για την ένωση ολοκληρώνεται είτε με την εύρεση των εικονοστοιχείων του δρόμου είτε με τη συνάντηση του οριζόμενου κατωφλίου. Εάν ένα εικονοστοιχείο δρόμου βρεθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αναζήτησης, τότε οι συντεταγμένες του θα επιστραφούν ως $[(i,$

j) συν τις τιμές του ευρεθέντος φατινού] για την επόμενη ένωση. Εφόσον όμως δεν βρεθεί κανένα εικονοστοιχείο δρόμου και η επανάληψη έχει φθάσει στο κατώφλι, τότε το εικονοστοιχείο αυτό θεωρείται ως άκρο του δρόμου, και η λειτουργία ένωσης θα μετακινηθεί στο επόμενο εικονοστοιχείο. Παρόμοια οδικά τμήματα στις βασικές κατευθύνσεις (βορράς, ανατολή, δύση, νοτιοδυτικά, βορειοδυτικά, βορειοανατολικά, και νοτιοανατολικά) θα ληφθούν επίσης υπόψη κατά τη διαδικασία της ένωσης.



Εικόνα 6-2: Η διαδικασία της ένωσης οδικών τμημάτων με τον αλγόριθμο κωνικής αναζήτησης

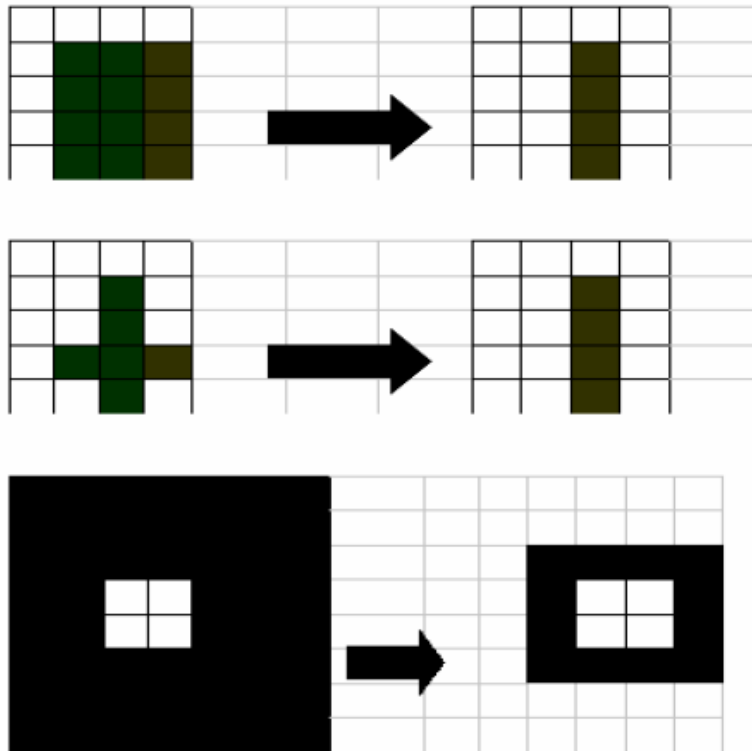
Μετά την περάτωση της λειτουργίας αυτής, τα τυχόν οδικά τμήματα που θα παραμείνουν «ξεκρέμαστα», θα ενωθούν με τα αμέσως εγγύτερά τους.

6.1.4. Στάδιο 3: Λέπτυνση

Οι διάφοροι θόρυβοι στις τηλεπισκοπικές εικόνες μπορούν να κάνουν το πλάτος ενός δρόμου να ποικίλει σε διαφορετικά μέρη. Μπορούν επίσης, αναλόγως και της χωρικής ανάλυσης, να καταστήσουν τους δρόμους παχύτερους από τη μονάδα πλάτους των εικόνων. Τέτοιες παραλλαγές μπορούν να ανιχνευθούν από τον άνθρωπο στη χειροκίνητη μέθοδο εξαγωγής οδών. Στην αυτόματη μέθοδο, το πλάτος των οδικών δικτύων μπορεί να διορθωθεί ενιαία μέσω της διαδικασίας λέπτυνσης. Υπάρχουν πέντε απαιτήσεις για τη λέπτυνση σε δρόμους (Choy, 1995): Τα ενωμένα τμήματα της εικόνας πρέπει να σκελετοποιηθούν σε συνδεδεμένες γραμμικές δομές (διατήρηση συνδεσιμότητας), οι κατά προσέγγιση θέσεις του τέλους των γραμμών πρέπει να διατηρηθούν (χωρίς υπερβολική παράλειψη), τα αποτελέσματα της λέπτυνσης πρέπει να διατηρούν ένα ελάχιστο αριθμό συνδεδεμένων εικονοστοιχείων (μονάδα - σκελετός μήκους) τα αποτελέσματα πρέπει να προσεγγίσουν τον άξονα των δρόμων (ενδιάμεση προσέγγιση γραμμών) και τέλος οι ατέλειες που προκαλούνται με την λέπτυνση πρέπει να ελαχιστοποιούνται (ανεπηρέαστοι σε θόρυβο μέχρι ενός ορίου). Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μέθοδοι για την εφαρμογή του αλγόριθμου λέπτυνσης. Ο πιο κοινός είναι το διαδοχικό "ξεφλούδισμα" των πιο ακραίων στρωμάτων από τα αντικείμενα έως ότου αποκτήσουν πλάτος ενός εικονοστοιχείου. Συνήθως εφαρμόζεται στην εικόνα ένα παράθυρο 3x3 για να αποφασισθεί εάν πρέπει να αφαιρεθεί το κεντρικό εικονοστοιχείο.

Οι Gao και Wu (2004) υιοθέτησαν έναν άλλο αλγόριθμο λέπτυνσης δύο σταδίων, με παράλληλη λειτουργία απλού περάσματος ενός κινούμενου παράθυρου 3x3. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την αφαίρεση των περιττών εικονοστοιχείων για να παραχθεί μια ενδιάμεση γραμμή σύμφωνα με το σύνολο των προτύπων. Τα πρότυπα που επιλέγονται για να αφαιρέσουν το κεντρικό εικονοστοιχείο P πρέπει να έχουν τις ακόλουθες δύο ιδιότητες: (α) η αφαίρεση του P δεν πρέπει να διαταράξει την τοπική συνδεσιμότητα του 3x3 εξεταζόμενου τμήματος και (β) η αφαίρεση του P δεν πρέπει να παραμορφώσει ανακριβώς τη μορφή του σχεδίου. Ο σκοπός αυτού του σταδίου είναι να καθοριστεί εάν το P πρέπει να αφαιρεθεί ή να διατηρηθεί χωρίς καταστροφή της τοπικής συνδεσιμότητας. Στην περίπτωση που η αφαίρεση του P καταστρέφει

τη γενική συνδεσιμότητα, τότε το εικονοστοιχείο αυτό πρέπει να αποκατασταθεί. Επομένως, το δεύτερο στάδιο είναι η θέσπιση προτύπων για την αποκατάσταση του P , ώστε να διατηρήσει τη γενική συνδεσιμότητα του εξεταζόμενου δρόμου. Για τον καθορισμό προτύπων, τέσσερα επιπρόσθετα εικονοστοιχεία που βρίσκονται από πάνω, κάτω, και στις δύο πλευρές του P χρησιμοποιούνται για να ορίσουν τη γενική συνδεσιμότητα. Εάν το κεντρικό εικονοστοιχείο P έχει συντεταγμένες (i, j) , τότε οι συντεταγμένες των τεσσάρων γειτονικών εικονοστοιχείων είναι $(i+2, j)$, $(i, j+2)$, $(i-2, j)$ και $(i, j-2)$. Δεδομένου ότι ο κανόνας επανάληψης εφαρμόζεται από την πάνω αριστερή γωνία προς την κάτω δεξιά, τα δύο επιπρόσθετα εικονοστοιχεία στα αριστερά και επάνω από το P δε χρειάζεται να εξεταστούν χωριστά.



Εικόνα 6-3: Εμφάνιση τριών αντιπροσωπευτικών συσσωρεύσεων από χωρικά παρακείμενα φατνία πριν και μετά από τη λέπτυνση

Η λέπτυνση θα οδηγήσει τα οδικά τμήματα εισόδου σε έναν σκελετό πλάτους μόνο ενός εικονοστοιχείου (εικόνα 6-3). Μετά από την εφαρμογή του αλγόριθμου λέπτυνσης σε εικόνα που είχε ήδη υποβληθεί σε επεξεργασία για την αφαίρεση του θορύβου και την ένωση των οδικών τμημάτων, το αποτέλεσμα μπορεί να αποθηκευθεί σε ξεχωριστό αρχείο για περαιτέρω ανάλυση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 :

**Υλοποίηση της μεθόδου σε διαχρονικές απεικονίσεις της Αττικής
Οδού**

7. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΕ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΟΔΟΥ

7.1. Περιγραφή του Έργου της Αττικής Οδού

Η Αττική Οδός είναι ένα πρωτοποριακό έργο που κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της Σύμβασης Παραχώρησης και αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα συγχρηματοδοτούμενα οδικά έργα της Ευρώπης. Ανήκει στην πρώτη γενιά των συγχρηματοδοτούμενων έργων που δημοπρατήθηκαν στην Ελλάδα τη δεκαετία του '90 και επί της ουσίας άνοιξε το δρόμο και έθεσε τις βάσεις για το μέλλον των επιτυχημένων συμβάσεων παραχώρησης, στην ελληνική επικράτεια αλλά και στην Ευρώπη γενικότερα.

Η Αττική Οδός είναι ένας σύγχρονος αυτοκινητόδρομος μήκους 65 km. Αποτελεί τον περιφερειακό δακτύλιο της ευρύτερης μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας και τη σπονδυλική στήλη του οδικού δικτύου ολόκληρου του Νομού Αττικής. Πρόκειται για έναν αστικού - περιαστικού τύπου αυτοκινητόδρομο, με 3 λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση και μια λωρίδα έκτακτης ανάγκης. Στο μέσον της, σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο, κινείται ο προαστιακός σιδηρόδρομος. Αποτελεί έργο υποδομής μοναδικό, ακόμα και για τα ευρωπαϊκά δεδομένα, ενός κλειστού αυτοκινητοδρόμου με διόδια, που διασχίζει μια μητροπολιτική πρωτεύουσα με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Ο αυτοκινητόδρομος της Αττικής Οδού αποτελεί το συνδετικό κρίκο του οδικού άξονα ΠΑΘΕ (Πάτρα-Αθήνα-Θεσσαλονίκη-Εύζωνοι), αφού συνδέει την Εθνική Οδό Αθηνών-Λαμίας με την Εθνική Οδό Αθηνών-Κορίνθου, παρακάμπτοντας το κέντρο της Αθήνας. Ως κλειστός αυτοκινητόδρομος, διαθέτει πλήρη έλεγχο των προσβάσεων και αποτελείται από δύο κάθετα μεταξύ τους τμήματα:

- την Ελεύθερη Λεωφόρο Ελευσίνας-Σταυρού-Σπάτων (Ε.Λ.Ε-Σ-Σ), μήκους περίπου 52 km και
- τη Δυτική Περιφερειακή Λεωφόρο Υμηττού (Δ.Π.Λ.Υ), μήκους περίπου 13 km

Συνολικό μήκος	65,20 km
Δίκτυο βοηθητικών/ παράπλευρων οδών	150 km
Ανισόπεδοι κόμβοι σε λειτουργία	29
Οδικές γέφυρες-Άνω διαβάσεις	100
Οδικές γέφυρες-Κάτω διαβάσεις	25
Γέφυρες σιδηροδρομικών γραμμών	38
Γέφυρες ρεμάτων	21
Πεζογέφυρες (άνω διαβάσεις)	12
Σηράγγες και πλήρως υπογειοποιημένα τμήματα Cut & Cover	56
Συνολικό μήκος σηράγγων και Cut & Cover	15,36 km
Μήκος Αντιπλημμυρικών Έργων	66,7 km
Σταθμοί Εξυπηρέτησης Αυτοκινητιστών / Σ.Ε.Α.	4
Κέντρο Λειτουργίας και Συντήρησης	1
Σημεία Εξυπηρέτησης Συνδρομητών	9
Σταθμοί Διοδίων	38
Συνολικές λωρίδες διοδίων	193
Ηλεκτρονικές λωρίδες διοδίων	54
Λωρίδες διοδίων με εισπράκτορα	139

Πίνακας 7-1 : Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά της Αττικής Οδού

Τα οφέλη που προέκυψαν τόσο από την κατασκευή όσο και από τη λειτουργία της Αττικής Οδού είναι πολλά και σημαντικά. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο αυτοκινητόδρομος:

- Δημιουργεί το βασικό κορμό διασύνδεσης όλων των μεταφορικών μέσων και υποδομών της Αττικής: οδικών, εναέριων, σταθερής τροχιάς (Μετρό, Τραμ, Σιδηρόδρομος, Προαστιακός κ.α.) και λιμανιών.
- Μειώνει σημαντικά τον κυκλοφοριακό φόρτο της πρωτεύουσας, αφού υπολογίζεται ότι έχει απορροφήσει σημαντικό ποσοστό της συνολικής καθημερινής διαμπερούς κίνησης των οχημάτων στο Λεκανοπέδιο.

- Συντελεί στην ανάπτυξη και ολοκλήρωση του χωροταξικού και πολεοδομικού σχεδιασμού του Νομού Αττικής.
- Βοηθά στη στρατηγική αναδιάρθρωση των δικτύων ενέργειας και τηλεπικοινωνιών.
- Συμβάλλει στην οικιστική και επιχειρηματική ανάπτυξη των απομακρυσμένων περιοχών του Νομού.

7.2. Ιστορικά Στοιχεία του Έργου

Η ανάγκη για την κατασκευή ενός αυτοκινητοδρόμου που θα αποτελούσε τον περιφερειακό δακτύλιο της Αθήνας είχε γίνει εμφανής από τη δεκαετία του '60. Βασικοί στόχοι και τότε ήταν από τη μια πλευρά η διευκόλυνση της κυκλοφορίας στο οδικό δίκτυο του Λεκανοπεδίου και από την άλλη, η περιβαλλοντική ανακούφιση της περιοχής.

Αρχικά το έργο πήρε το όνομα "Λεωφόρος Ελευσίνας-Σταυρού" αλλά στη δεκαετία του '80 με τη χωροθέτηση του Αεροδρομίου "Ελευθέριος Βενιζέλος" στα Σπάτα, ο σχεδιαζόμενος τότε αυτοκινητόδρομος, μετονομάστηκε σε Ελεύθερη Λεωφόρος Ελευσίνας – Σταυρού - Σπάτων (Ε.Λ.Ε-Σ-Σ). Αργότερα, τη δεκαετία του '90, εντάχθηκε στα σχέδια του περιφερειακού δακτυλίου και η Δυτική Περιφερειακή Λεωφόρος Υμηττού (Δ.Π.Λ.Υ). Με την ενοποίηση των δύο παραπάνω αυτοκινητοδρόμων δημιουργήθηκε ένα ενιαίο έργο που ονομάστηκε **"Αττική Οδός"**.

Το μέγεθος και οι ιδιαιτερότητες της κατασκευής καθώς και το ότι η Αττική Οδός θα διαπερνούσε κατοικημένες περιοχές και χώρους μεγάλης ιστορικής σημασίας, συνέβαλαν στο να ταυτιστεί η υλοποίηση του έργου με δυσεπίλυτο γρίφο. Παρόλα αυτά, στα μέσα της δεκαετίας του '90, οι "ασκήσεις επί χάρτου" πήραν τη μορφή ενός ολοκληρωμένου σχεδίου και το έργο πλέον μπορούσε να προχωρήσει στη φάση της υλοποίησης.

Ημερομηνίες	Γεγονότα
26/03/1996	Ανακήρυξη της Κοινοπραξίας «Αττική Οδός» ως αναδόχου του έργου
23/05/1996	Υπογραφή Σύμβασης Παραχώρησης - Έναρξη εκτέλεσης προδρόμων εργασιών
31/08/1997	Έναρξη εκτέλεσης εργασιών τμήματος Περιφερειακής Υμηττού
19/09/1997	Έναρξη εκτέλεσης εργασιών τμήματος "Παλλήνη - Σπάτα"
18/12/1997	Υπογραφή κύριας δανειακής σύμβασης με την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων
01/10/1998	Έναρξη εκτέλεσης εργασιών τμημάτων από Ελευσίνα έως Παλλήνη
06/03/2000	Οικονομικό κλείσιμο για τη δανειακή χρηματοδότηση
04/08/2000	Καταβολή πρώτης δόσης δανείων
28/02/2001	Διοικητική Παραλαβή προς χρήση τμημάτων Γέρακα - Παλλήνης και Παλλήνης - Α/Δ Σπάτων
18/03/2001	Εγκαίνια τμήματος "Γέρακας - Αεροδρόμιο" της Αττικής Οδού
19/03/2001	Έναρξη λειτουργίας τμημάτων "Γέρακας - Σπάτα" και "Λ. Κύμης - Μεταμόρφωση" άνευ διοδίων
25/04/2001	Εφαρμογή καταβολής τελών διοδίων
15/05/2002	Παράδοση τμήματος Περιφερειακής Υμηττού από κόμβο Γλυκών Νερών έως κόμβο Λεονταρίου. Πλήρης λειτουργία κόμβου Αεροδρομίου Σπάτων
25/05/2002	Πλήρης λειτουργία τμήματος "Γέρακας -Σπάτα" Παράδοση κόμβων και σταθμών διοδίων Παιανίας και Κάντζας
25/05/2002	Λειτουργία αυτοματοποιημένων συστημάτων διοδίων
31/01/2003	Παράδοση Τμήματος "Λ. Κύμης - Γέρακας"
03/09/2003	Παράδοση Περιφερειακής Υμηττού
30/11/2003	Παράδοση Τμήματος "Ελευσίνα - Μεταμόρφωση"
24/06/2004	Παράδοση Δυτικού κλάδου Περιφερειακής Υμηττού Πλήρης λειτουργία κόμβου Δουκίσσης Πλακεντίας και πλήρης λειτουργία Αττικής Οδού

Πίνακας 7-2 : Ημερομηνίες – σταθμοί για το έργο της Αττικής Οδού

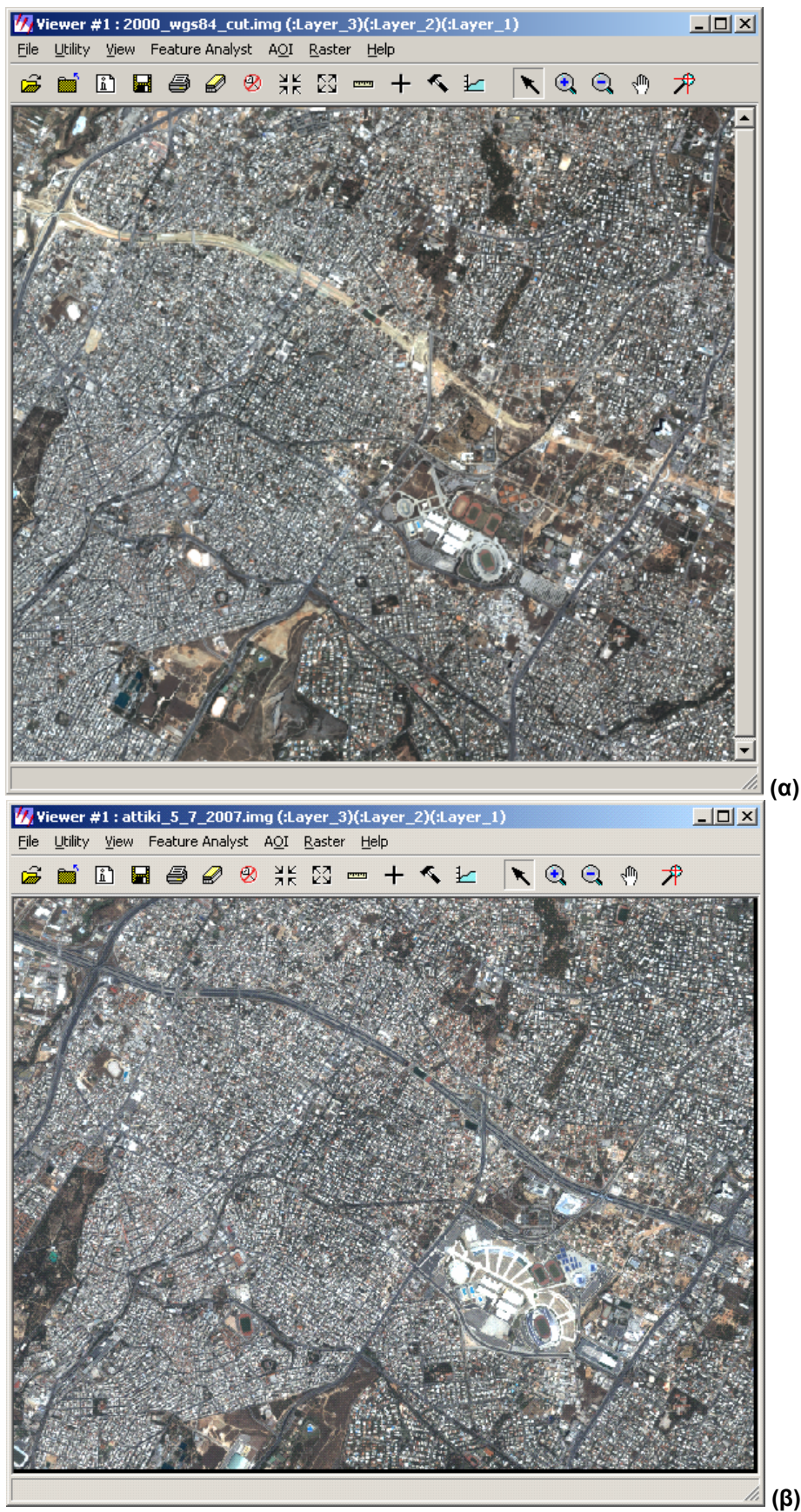
Όταν η Αττική Οδός βρισκόταν στη φάση κατασκευής, οι αρμόδιοι Δημόσιοι φορείς διαπίστωσαν την ανάγκη εκτέλεσης νέων πρόσθετων έργων. Τα έργα αυτά δεν αφορούσαν άμεσα τη λειτουργία της Αττικής Οδού, αλλά κρίθηκε απαραίτητο από το ελληνικό κράτος να εκτελεσθούν παράλληλα με την κατασκευή της, τόσο για λόγους ευκολότερης υλοποίησης όσο και για λόγους οικονομίας. Πρόκειται για:

- Τμήματα του προαστιακού τρένου και τμήματα του ΜΕΤΡΟ, ώστε να λειτουργήσει ο προαστιακός και το ΜΕΤΡΟ πριν τους Ολυμπιακούς Αγώνες.
- Την κατασκευή των σηράγγων στον Υμηττό, μετά τις αποφάσεις του Συμβουλίου Επικρατείας και την κατασκευή των σκεπαστών τμημάτων στους Δήμους Ζεφυρίου, Αχαρνών, Μεταμόρφωσης, Ηρακλείου, Χαλανδρίου και Βριλησσιών μετά τις προσφυγές των κατοίκων στην Ευρωπαϊκή Ένωση.
- Το πλήθος των αντιπλημμυρικών Έργων από τα Μεσόγεια μέχρι την Ελευσίνα που θωράκισαν αντιπλημμυρικά όλο τον Νομό Αττικής.
- Ρυθμίσεις και διαπλατύνσεις στις προσβάσεις και στις εισόδους προς την Αττική Οδό.

Οι ημερομηνίες – σταθμοί για το έργο, παρουσιάζονται στον πίνακα 7-2.

7.3. Η Περιοχή Μελέτης της Εργασίας

Στο πλαίσιο της πρακτικής εφαρμογής σε δορυφορικές εικόνες, επιχειρήθηκε η ανίχνευση μεταβολών σε τμήμα της Αττικής Οδού με χρήση ενός ζεύγους διαχρονικών απεικονίσεων IKONOS. Συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης εκτείνεται από τον κόμβο της Εθνικής Οδού (έξοδος 8) έως τον κόμβο της Λ. Κηφισίας (έξοδος 11). Η πρώτη εικόνα ελήφθη το έτος 2000, δηλαδή πριν την έναρξη των έργων, και η δεύτερη το έτος 2007, οπότε και είχαν ολοκληρωθεί οι εργασίες (βλέπε εικόνες 7-1(α) και 7-1(β) αντίστοιχα). Τα βασικά χαρακτηριστικά των εικόνων παρουσιάζονται στον πίνακα 7-3. Η εφαρμογή έγινε στο περιβάλλον του λογισμικού ERDAS Imagine 9.1 και συγκεκριμένα με το εργαλείο Delta Cue.



Εικόνα 7-1 : Το αρχικό ζεύγος των εικόνων

	Εικόνα έτους 2000	Εικόνα έτους 2007
Sensor Type	IKONOS - 2	IKONOS - 2
Processing Level	Orthorectified	Standard Geometrically Corrected
Map Projection	Transverse Mercator	UTM Zone 34 North
Datum	GGRS87	WGS84
Product Pixel Size	1.00 meters	1.00 meters
Product Map Units	meters	meters
File Format	GeoTIFF	GeoTIFF
Scan Azimuth	0.00 degrees	0.00 degrees
Sun Angle Azimuth	129.7444 degrees	130.1260 degrees
Sun Angle Elevation	63.96003 degrees	68.45852 degrees
Acquisition Date/Time	2000-05-17 08:57	2007-07-05 09:19 GMT
Percent Cloud Cover	0	0

Πίνακας 7-3 : Βασικά στοιχεία από τα αρχεία μεταδεδομένων των εικόνων

7.4. Αρχικοί Έλεγχοι στις Εικόνες

Σε πρώτη φάση, έγινε μετατροπή του format των δεδομένων από .tiff σε .img ώστε να αξιοποιηθούν όλα τα επίπεδα της φασματικής πληροφορίας που παρείχαν και εισήχθησαν στο ERDAS. Από τα μεταδεδομένα των εικόνων (πίνακας 7-3), εξετάσθηκε αρχικώς η καταλληλότητά τους για τους σκοπούς της συγκεκριμένης εφαρμογής. Έτσι, παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Τα δεδομένα προέρχονται από ίδιου τύπου δορυφόρο
- Η ημερολογιακή διαφορά των λήψεων είναι 49 ημέρες
- Η ώρα λήψης είναι παραπλήσια
- Η χωρική ανάλυση είναι η ίδια
- Η γωνία λήψης του δορυφόρου είναι η ίδια
- Η γωνία ανύψωσης του ηλίου κατά τη χρονική στιγμή της λήψης είναι παραπλήσια
- Οι εικόνες δεν καλύπτονται από νέφη

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι οι εικόνες έχουν γεωαναφορά σε διαφορετικό σύστημα. Προτιμήθηκε επομένως να μετατραπεί το σύστημα της πρώτης σε WGS 84, ώστε να αποκτήσει το ζεύγος κοινό σύστημα αναφοράς. Επιπροσθέτως, παρατηρήθηκε ότι στην εικόνα του 2007 δεν έχει γίνει ορθοαναγωγή, κάτι το οποίο είναι απαραίτητο για το μετασχηματισμό των εικονιζόμενων αντικειμένων σε ορθή προβολή, ώστε να αποκτήσουν απεικόνιση χάρτη και να αφαιρεθούν έτσι οι γεωμετρικές παραμορφώσεις που οφείλονται

σε παράμετρους όπως το τοπογραφικό ανάγλυφο ή τα συστηματικά σφάλματα των δορυφόρων. Για την εφαρμογή λοιπόν της ορθοαναγωγής, χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής και οι συντελεστές RPC της εικόνας στο περιβάλλον του λογισμικού ERDAS 9.1.

Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Terrain Model – DTM) της περιοχής, δημιουργήθηκε με βήμα καταγραφής 5m, από τις ισοϋψείς καμπύλες ανά 20 m των αντίστοιχων διαγραμμάτων 1:5000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), οι οποίες χορηγήθηκαν για τους σκοπούς της εργασίας αυτής.

Οι συντελεστές RPC (Rational Polynomial Coefficients - Συντελεστές Λόγων πολυωνύμων) είναι συντελεστές λόγων πολυωνύμων ενός αυστηρού μαθηματικού μοντέλου, που χρησιμοποιούνται για τον ακριβή μετασχηματισμό των ακόλουθων τύπων δορυφορικών δεδομένων:

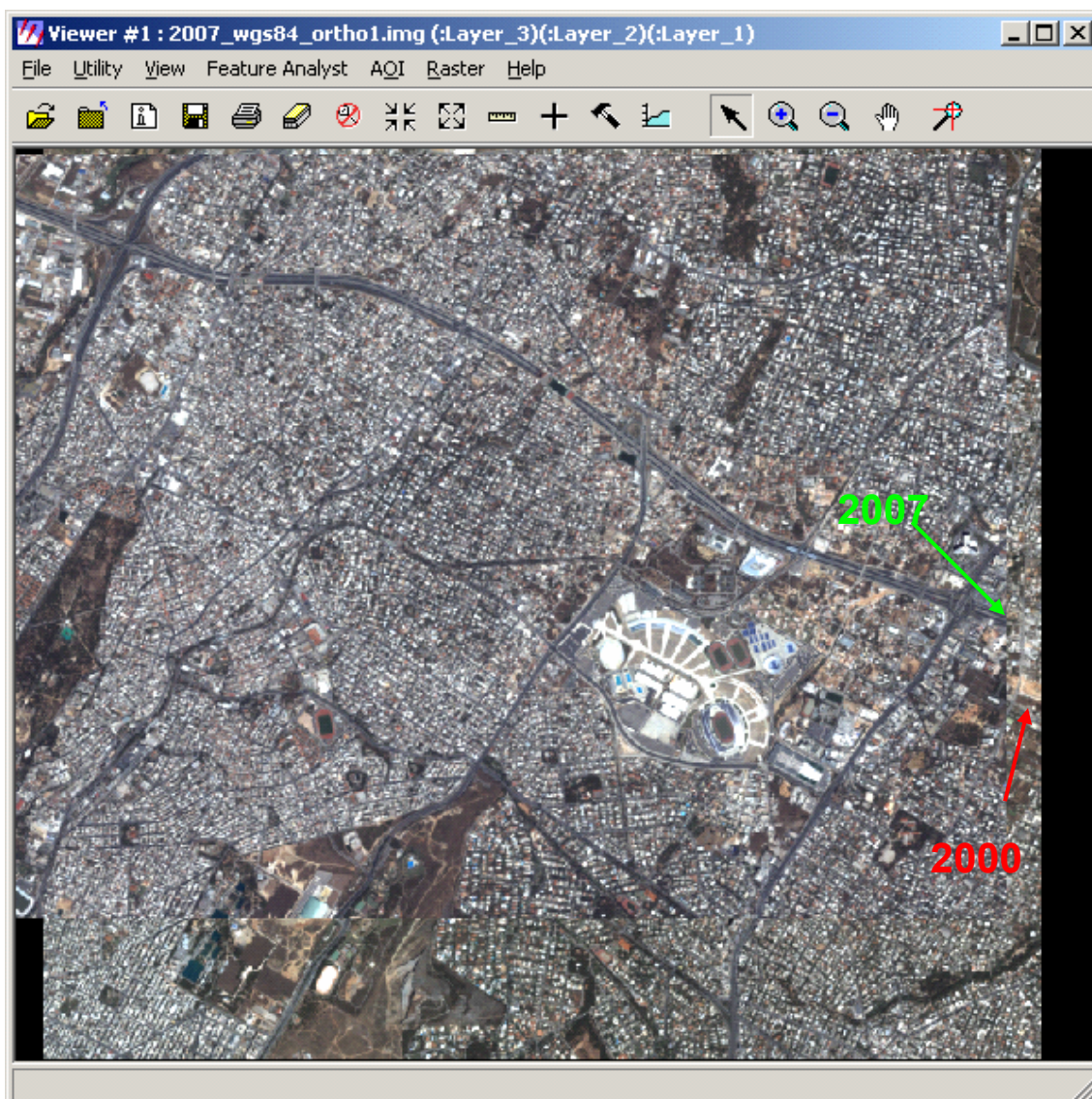
- IKONOS
- QuickBird
- OrbView
- NITF

Οι τιμές RPC δεν μπορούν να υπολογιστούν από τα σημεία σύνδεσης (tie points) και τα σημεία επίγειου ελέγχου (GCP), αλλά παρέχονται ως συνοδευτικά αρχεία των εικόνων.

Τέλος, μετά την εφαρμογή της ορθοαναγωγής, έγινε επίθεση των δύο εικόνων για τον έλεγχο της συνταύτισής τους (εικόνα 7-2), όπου όμως διαπιστώθηκε μη ικανοποιητικό αποτέλεσμα για τους σκοπούς της ανίχνευσης μεταβολών .

7.5. Βασική Προεπεξεργασία για την Εξαγωγή Πληροφορίας

Όπως εξηγήθηκε και στο κεφάλαιο 3, πριν την εφαρμογή κάποιου αλγόριθμου για την ανίχνευση μεταβολών, είναι απαραίτητο να προηγηθούν δύο βασικές διαδικασίες: η γεωμετρική εγγραφή εικόνας προς εικόνα (co-registration) και η ραδιομετρική κανονικοποίηση (radiometric normalization). Οι διαδικασίες αυτές έχουν ως στόχο την μείωση του "θορύβου" κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της ανίχνευσης.



Εικόνα 7-2 : Επίθεση της εικόνας του 2007 επάνω σε αυτήν του 2000, μετά την εφαρμογή της ορθοαναγωγής. Διαπιστώνεται η μη ικανοποιητική συνταύτιση του ζεύγους

7.5.1. Γεωμετρική εγγραφή εικόνας προς εικόνα (co-registration)

Για να αποκτήσουν τα δεδομένα τη γεωμετρική απεικόνιση ενός χάρτη, έπρεπε αρχικώς να υποστούν προσεκτική γεωμετρική διόρθωση. Η γεωμετρική διόρθωση απαιτείται να είναι ιδιαίτερα ακριβής, διότι η μη αντιστοίχιση των απεικονιζόμενων αντικειμένων στην ίδια θέση, θα μπορούσε να καταστήσει τα αποτελέσματα ασαφή.

Από τον έλεγχο που έγινε όμως με επίθεση των ορθοανηγμένων απεικονίσεων (εικόνα 7-2), παρατηρήθηκε ότι δεν συνταυτίζονταν απόλυτα. Επομένως

επιβάλλονταν η εφαρμογή της διαδικασίας γεωμετρικής εγγραφής εικόνας προς εικόνα. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή δοκιμάσθηκε η αυτόματη μέθοδος, μέσω του εργαλείου AutoSync του λογισμικού ERDAS. Το AutoSync χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο αυτόματης συνταύτισης σημείων (Automatic Point matching – APM), με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Αρχικώς, τμηματοποιεί τις εικόνες σε ίσα μέρη, ανάλογα με τον αριθμό των σημείων σύνδεσης που θα επιλέξει ο χρήστης. Στη συνέχεια, προσπαθεί να εντοπίσει σημεία σύνδεσης στο κέντρο κάθε τμήματος. Αυτό γίνεται καθορίζοντας ένα παράθυρο αναζήτησης που διατρέχει τη μία εικόνα και ένα παράθυρο συσχέτισης που διατρέχει την άλλη. Για κάθε ζεύγος σημείων που εντοπίζεται, υπολογίζεται ο συντελεστής συσχέτισης και γίνεται αρχικώς αποδεκτό εάν υπερβαίνει την καθοριζόμενη αρχική ακρίβεια. Τελικώς, θα επιλεγούν τα ζεύγη με το μεγαλύτερο ποσοστό συσχέτισης απο κάθε υποτμήμα, που να υπερβαίνει όμως το καθορισμένο τελικό κατώφλι. Με τη χρήση λοιπόν των σημείων συνδέσεως (tie points), εφαρμόζεται ακολούθως ένας διδιάστατος ή τρισδιάστατος μετασχηματισμός συντεταγμένων, εικόνας προς εικόνα.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, λόγω της έλλειψης των συντελεστών RPC για την εικόνα του 2000 (η εταιρία IKONOS δεν διαθέτει τέτοια δεδομένα για εικόνες πριν το 2001), εφαρμόσθηκε ο διδιάστατος πολυωνυμικός μετασχηματισμός που γενικώς περιγράφεται από την εξίσωση:

$$x_2 = \left(\sum_{i=0}^t \right) \left(\sum_{j=0}^i \right) a_k \cdot x_1^{i-j} \cdot y_1^j$$

$$y_2 = \left(\sum_{i=0}^t \right) \left(\sum_{j=0}^i \right) b_k \cdot x_1^{i-j} \cdot y_1^j$$

(7.1), όπου

t : ο βαθμός του πολυωνύμου
 a_k, b_k : συντελεστές

$$k = \frac{i \cdot i + j}{2} + j$$

ή σε αναλυτική μορφή, οι εξισώσεις περιγράφονται αντίστοιχα ως εξής:

$$x_2 = a_0 + a_1 x_1 + a_2 y_1 + a_3 x_1 y_1 + a_4 x_1^2 + a_5 y_1^2 + \dots$$

$$y_2 = b_0 + b_1 x_1 + b_2 y_1 + b_3 x_1 y_1 + b_4 x_1^2 + b_5 y_1^2 + \dots$$

(7.2)

Έγιναν δοκιμές τόσο για τον πολυωνυμικό μετασχηματισμό 2^{ου} όσο και 3^{ου} βαθμού. Τα ελάχιστα απαιτούμενα σημεία σύνδεσης ήταν αντίστοιχα 6 και 10 και προέκυψαν από την ακόλουθη σχέση

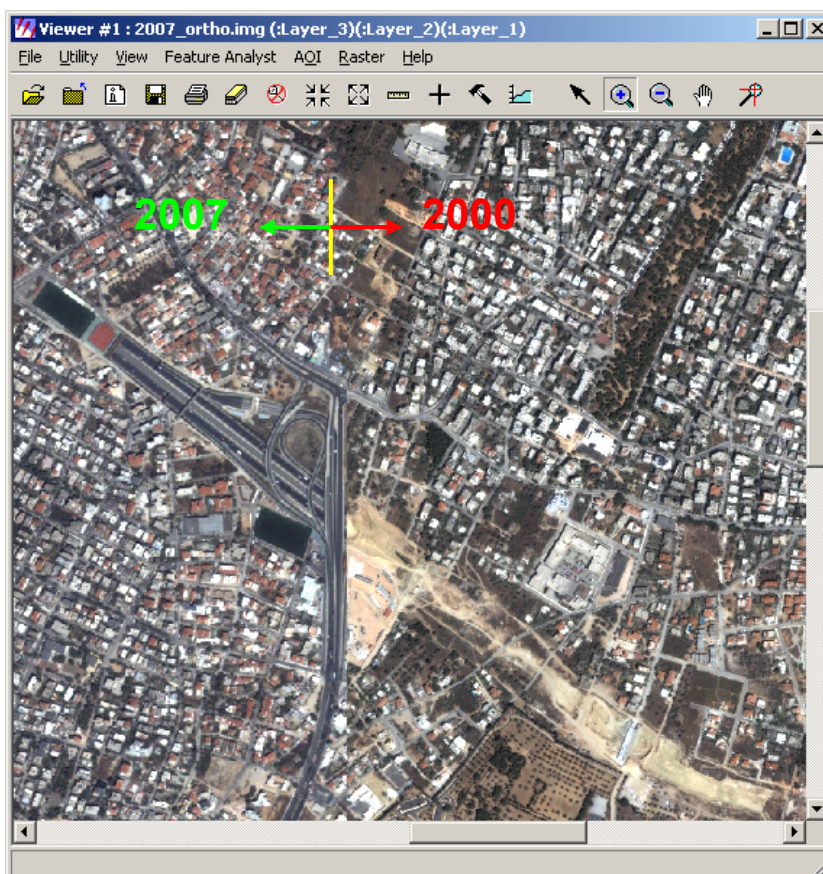
$$\frac{(t+1) \cdot (t+2)}{2} \quad (7.3), \quad \text{όπου } t \text{ ο βαθμός του πολυωνύμου}$$

Επιλέχθηκε ως εικόνα αναφοράς αυτή του 2007 και στο σύστημα συντεταγμένων της προσαρμόσθηκε η εικόνα του 2000. Οι παράμετροι που δόθηκαν καθώς και τα προκύπτοντα σφάλματα κάθε περίπτωσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

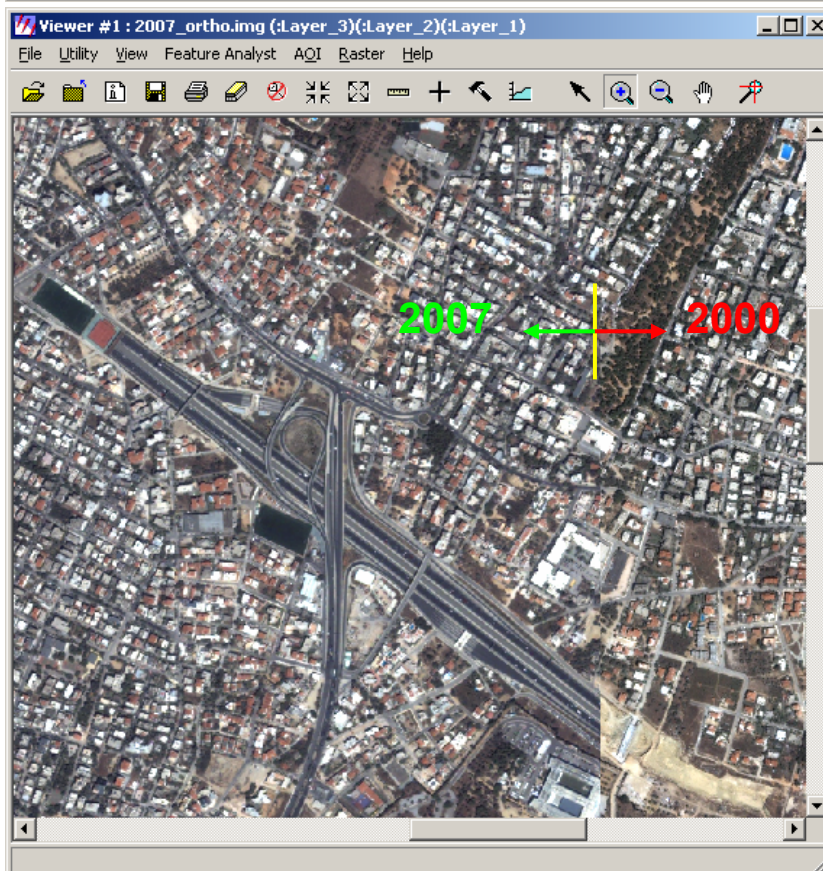
	Polynomial 2 rd order	Polynomial 3 rd order
Resample Method	Bilinear Interpolation	Bilinear Interpolation
Acceptance Threshold	0.5	0.5
Input Layer to Use	3	3
Reference Layer to Use	3	3
Find Points with:	Default distribution	Default distribution
Intended Number of Points	400	400
Search size	17	17
Correlation size	11	11
Least Squares size	21	21
Feature Point density	100%	100%
Min. Point Match quality	0.80	0.80
Initial Accuracy	10%	10%
Tie points found	14	18
RMS Error	0.453288	0.448962

Πίνακας 7-4 : Βασικές παράμετροι που επιλέχθηκαν και προκύπτοντα σφάλματα της διαδικασίας co-registration στο περιβάλλον του AutoSync

Όπως προέκυψε, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και στις δύο περιπτώσεις ήταν αποδεκτό, δηλαδή κάτω από το 0.5 του φατνίου. Επίσης, έγινε οπτικός έλεγχος με αλληλεπίθεση των εξαγόμενων εικόνων (εικόνες 7-3), όπου διαπιστώθηκε ότι και στις δύο περιπτώσεις υπήρξε ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Τελικώς αποφασίσθηκε να κρατηθεί το αποτέλεσμα από την εφαρμογή του πολυωνυμικού μετασχηματισμού 2^{ου} βαθμού, το οποίο ήδη κάλυπτε το όριο αποδοχής σφάλματος.



(α)



(β)

Εικόνα 7-3 : Δύο στιγμιότυπα από την επίθεση των εικόνων ύστερα από τη διαδικασία co-registration

7.5.2. Ραδιομετρική κανονικοποίηση (radiometric normalization)

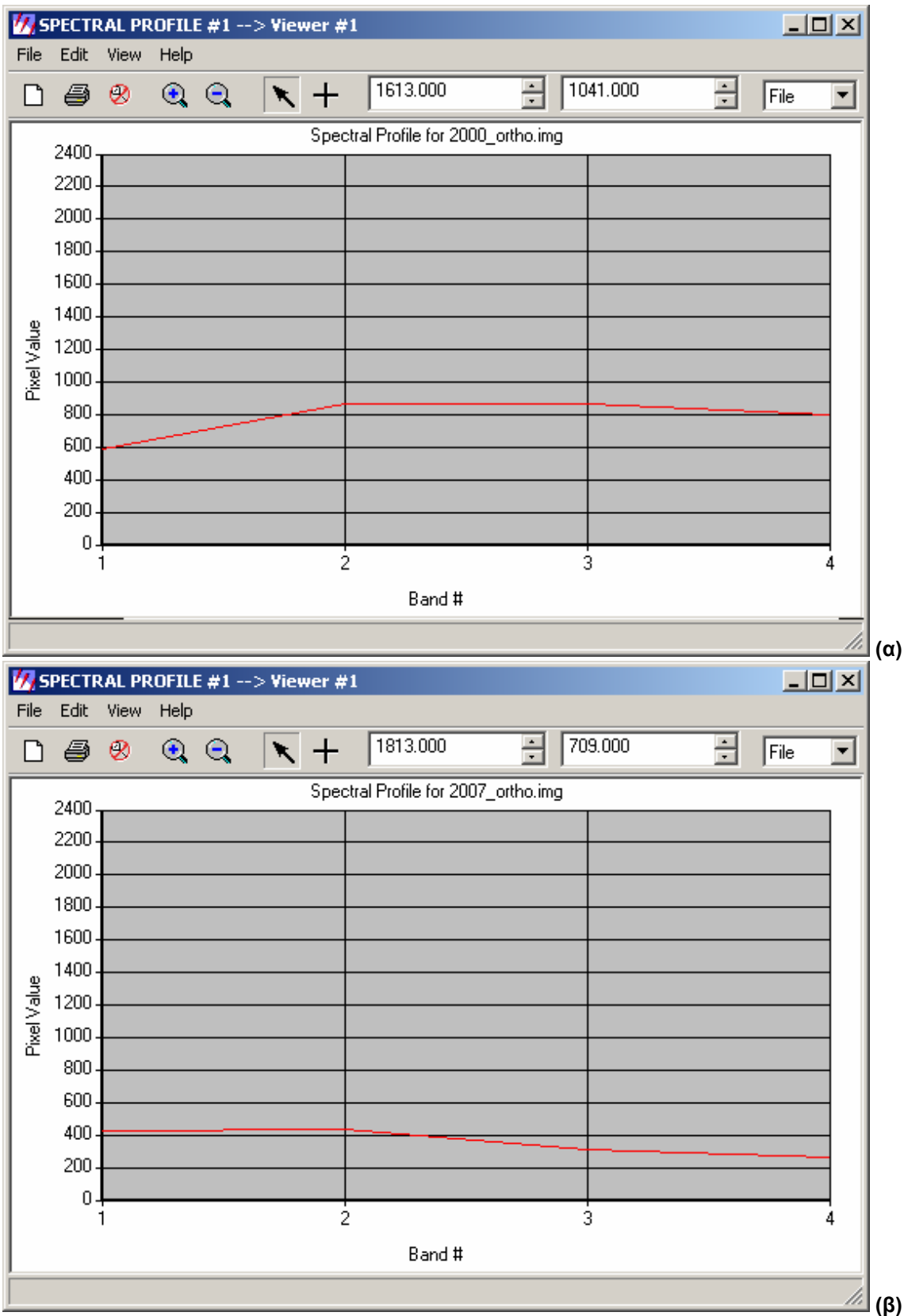
Όπως προκύπτει και από τον πίνακα 7-3, στο ζεύγος των δεδομένων υπάρχουν μικροδιαφορές στις συνθήκες φωτισμού, εξαιτίας των διαφορετικών ημερομηνιών λήψης και της γωνίας του ηλίου. Η ραδιομετρική κανονικοποίηση των εικόνων επομένως ήταν απαραίτητη, ώστε να προσαρμοσθούν στο ίδιο επίπεδο οι τιμές φωτεινότητας των αντίστοιχων εικονοστοιχείων των εικόνων. Η διαδικασία αυτή, όπως και κάθε διαδικασία που εφαρμόστηκε από εδώ και κάτω, έγινε αυτόματα με το εργαλείο Delta Cue. Η ραδιομετρική κανονικοποίηση έλαβε χώρα με τον υπολογισμό από το πρόγραμμα των συντελεστών γραμμικού μετασχηματισμού από όλο το φασματικό εύρος του ζεύγους των εικόνων και στη συνέχεια, ο γραμμικός αυτός μετασχηματισμός εφαρμόστηκε στην εικόνα του 2007, ώστε να ταυτιστούν τα στατιστικά της στοιχεία (η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση) με τα αντίστοιχα της εικόνας του 2000, κανάλι προς κανάλι (βλέπε παράγραφο 3.2.2).

7.6. Ανίχνευση Μεταβολών στο Οδικό Δίκτυο

Οι νέοι δρόμοι, όπως και οι περισσότερες καινούριες κατασκευές, συνήθως εμφανίζονται σε περιοχές όπου προϋπήρχε γυμνό έδαφος ή βλάστηση. Στις περιοχές αυτές επομένως, οι τιμές φωτεινότητας θα μειωθούν σε όλα τα κανάλια, αφού θα στρωθούν με άσφαλο. Επίσης, από τα διαγράμματα ανακλαστικότητας για τους δρόμους του ζεύγους των δορυφορικών εικόνων (εικόνες 7-4(α) και 7-4(β) αντίστοιχα), φαίνεται ότι η φασματική υπογραφή παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μεταβολή στο κανάλι 3 (κόκκινο).

Συγκεκριμένα, η τιμή φωτεινότητας στην ίδια περιοχή της Αττικής Οδού φαίνεται να μειώθηκε κατά 570 μονάδες στο κανάλι 3 (κόκκινο), ενώ οι μεταβολές για τα κανάλια 1(μπλε), 2(πράσινο) και 4(εγγύς υπέρυθρο) ήταν αντίστοιχα 140, 415 και 520 μονάδες.

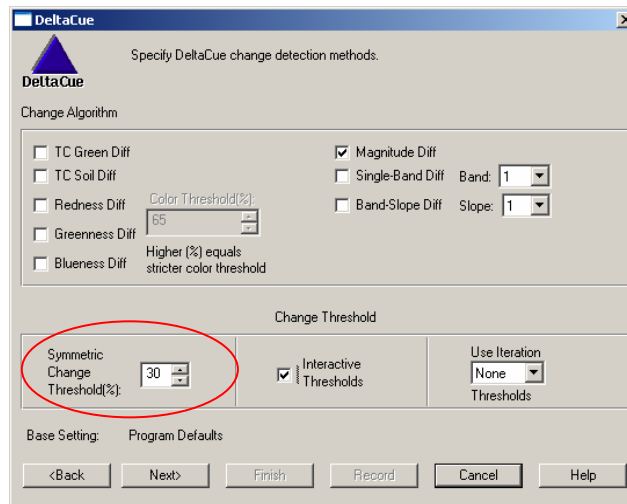
Η ανίχνευση μεταβολών στο οδικό δίκτυο δοκιμάστηκε με τους αλγόριθμους Σπουδαιότερης Διαφοράς, Tasseled Cap, Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων, Διαφορών Κλίσεων των Καναλιών και με τον αλγόριθμο Διαφορών Κανάλι προς Κανάλι .



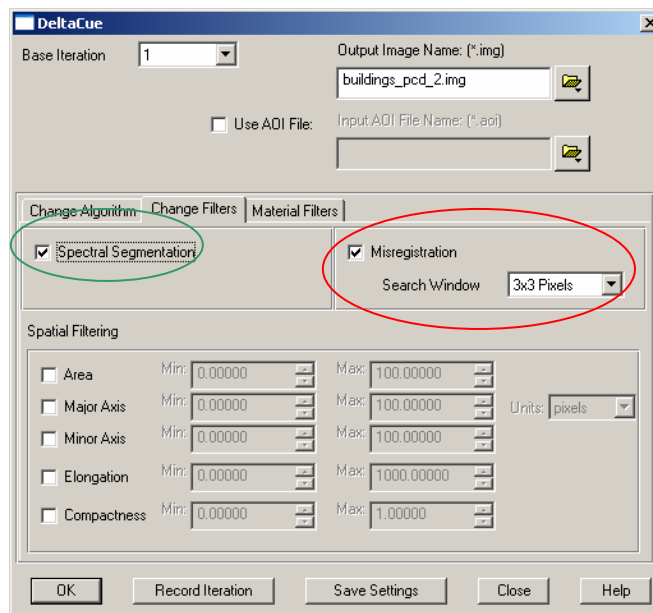
Εικόνα 7-4 : Διαγράμματα ανακλαστικότητας για την ίδια περιοχή της Αττικής Οδού, το έτος 2000 (α) και το έτος 2007 (β) αντίστοιχα

7.6.1. Διερεύνηση του αλγόριθμου της Σπουδαιότερης Διαφοράς

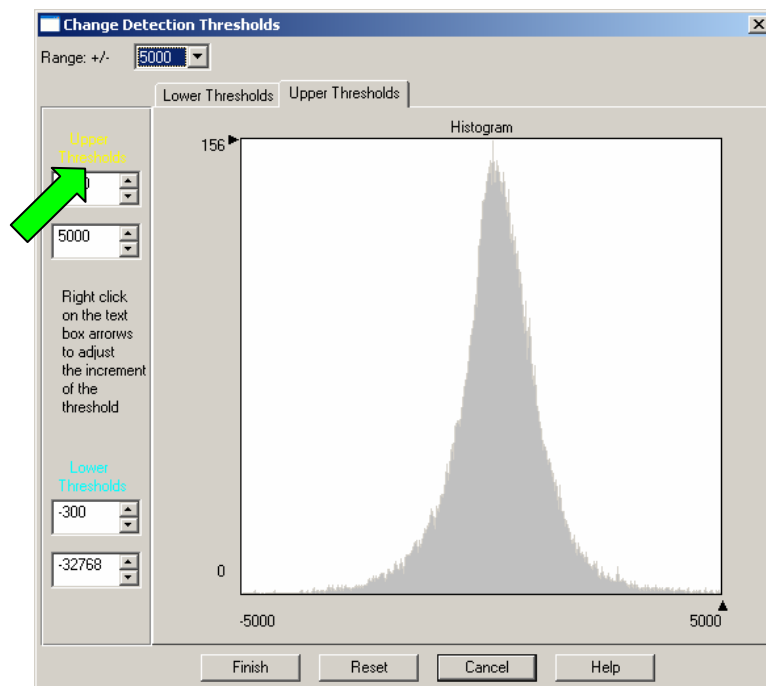
Αρχικώς ορίσθηκε ως κατώφλι για την εκτίμηση της μεταβολής στη φωτεινότητα, η τιμή 30% (Εικόνα 7-5) και επιλέχθηκε φιλτράρισμα για τις τυχόν ατέλειες της γεωμετρικής εγγραφής εικόνας προς εικόνα (Εικόνα 7-6). Ακόμη, ορίστηκε να γίνει φασματικός διαχωρισμός των εικονοστοιχείων μεταβολής, με την εφαρμογή μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης (Εικόνα 7-6). Επίσης, επειδή όπως αναφέρθηκε οι τιμές φωτεινότητας μειώνονται στις περιοχές ενδιαφέροντος, επιλέχθηκε να αποκοπούν οι αρνητικές μεταβολές, δηλαδή όπου η φωτεινότητα αυξήθηκε σε σχέση με πριν (Εικόνα 7-7). Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 7-8.



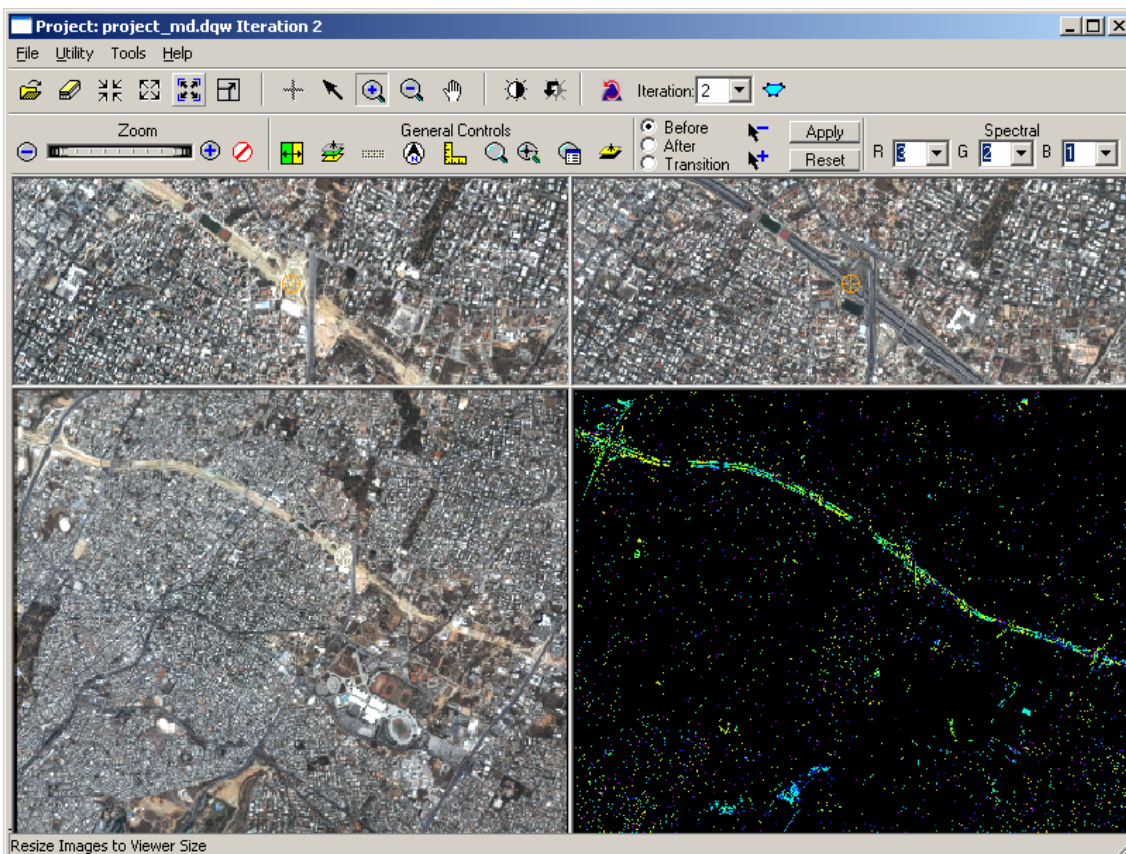
Εικόνα 7-5 : Καθορισμός κατωφλίου μεταβολής 30% στο περιβάλλον του Delta Cue



Εικόνα 7-6 : Καθορισμός φίλτρων για τις τυχόν ατέλειες της γεωμετρικής εγγραφής εικόνας προς εικόνα και φασματικού διαχωρισμού στο περιβάλλον του Delta Cue

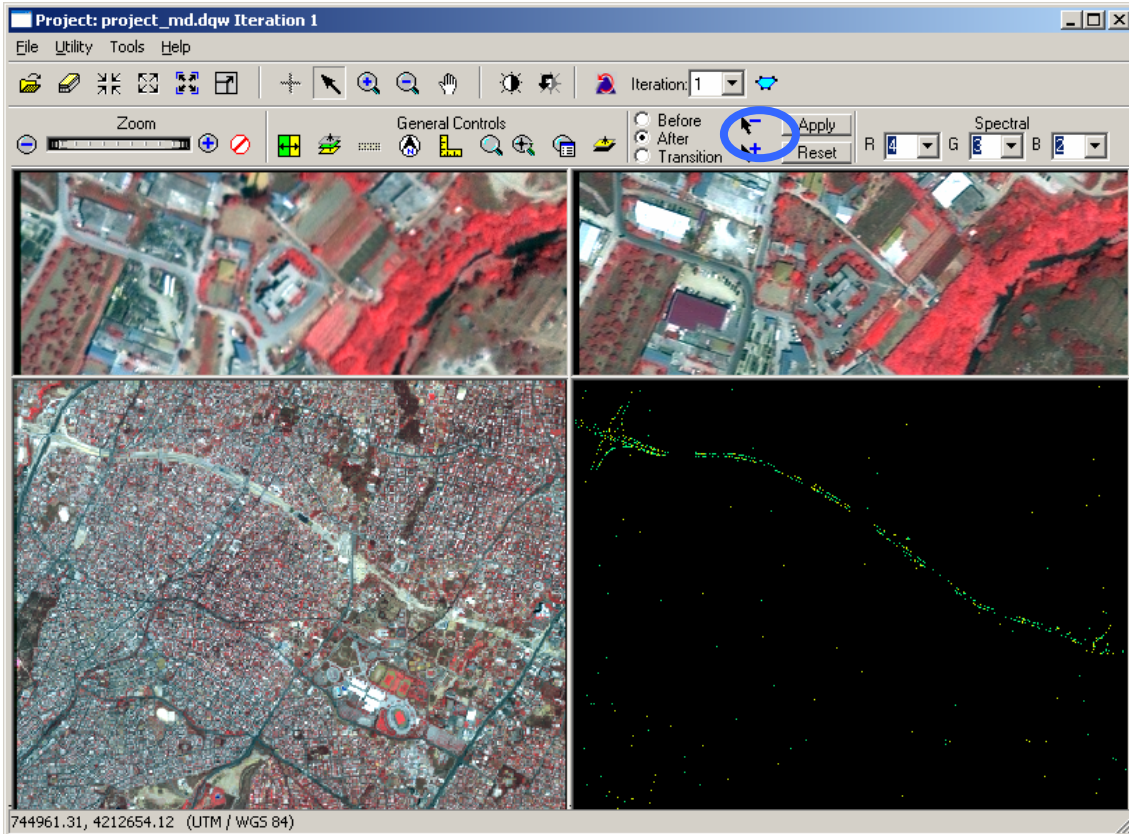


Εικόνα 7-7 : Αποκοπή των αρνητικών μεταβολών απο το ιστόγραμμα, στο περιβάλλον του Delta Cue



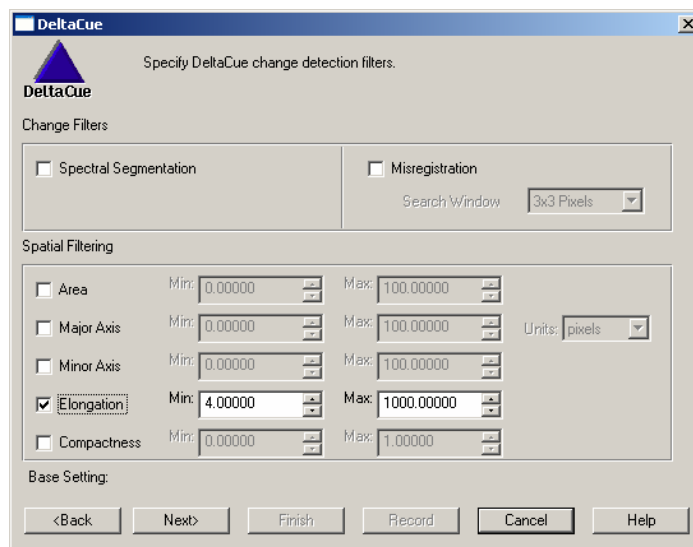
Εικόνα 7-8 : Αλγόριθμος Σπουδαιότερης Διαφοράς – αρχική εφαρμογή

Παρατηρήθηκε ότι αναγνωρίσθηκε η μεταβολή από την κατασκευή της Αττικής Οδού, όμως ανιχνεύθηκε και περιττή πληροφορία, η οποία έπρεπε να αφαιρεθεί. Για το λόγο αυτό, διαγράφηκαν οι φασματικές κατηγορίες εικονοστοιχείων που δεν απεικόνιζαν την μεταβολή ενδιαφέροντος (Εικόνα 7-9).

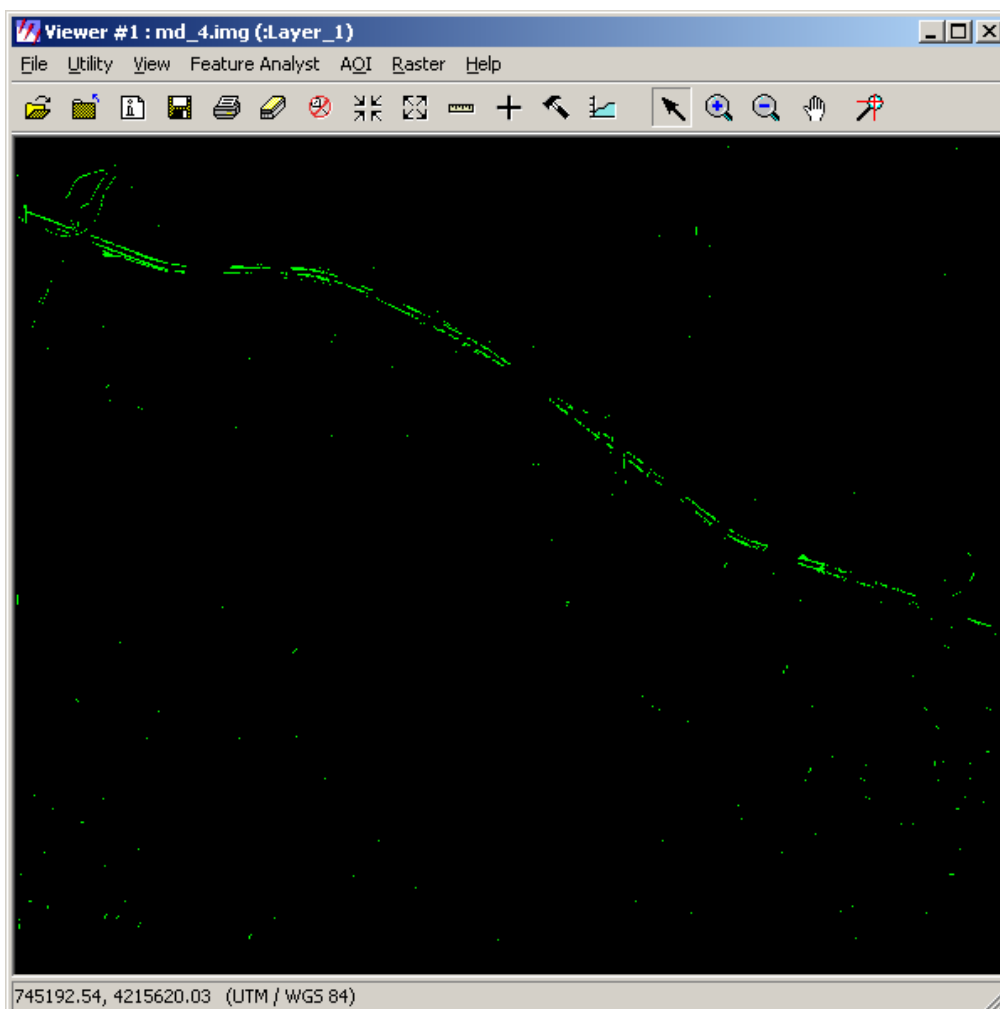


Εικόνα 7-9 : Αλγόριθμος Σπουδαιότερης Διαφοράς – αφαίρεση περιττών φασματικών κατηγοριών

Τέλος, επειδή παρέμειναν ακόμη περιττά εικονοστοιχεία, εφαρμόσθηκε και χωρικό φιλτράρισμα. Πιο συγκεκριμένα, ορίσθηκε για την επιμήκυνση των γραμμικών στοιχείων (δρόμοι) ο λόγος μήκους προς πλάτος να είναι από 4 έως 1000, ώστε να αφαιρεθούν οι πολύ μικρές περιοχές που αναγνωρίσθηκαν ως μεταβολές (Εικόνα 7-10). Το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής φαίνεται στην Εικόνα 7-11. Είναι προφανές από την εικόνα αυτή ότι η ολική απομάκρυνση των περιττών εικονοστοιχείων δεν κατέστη δυνατή.



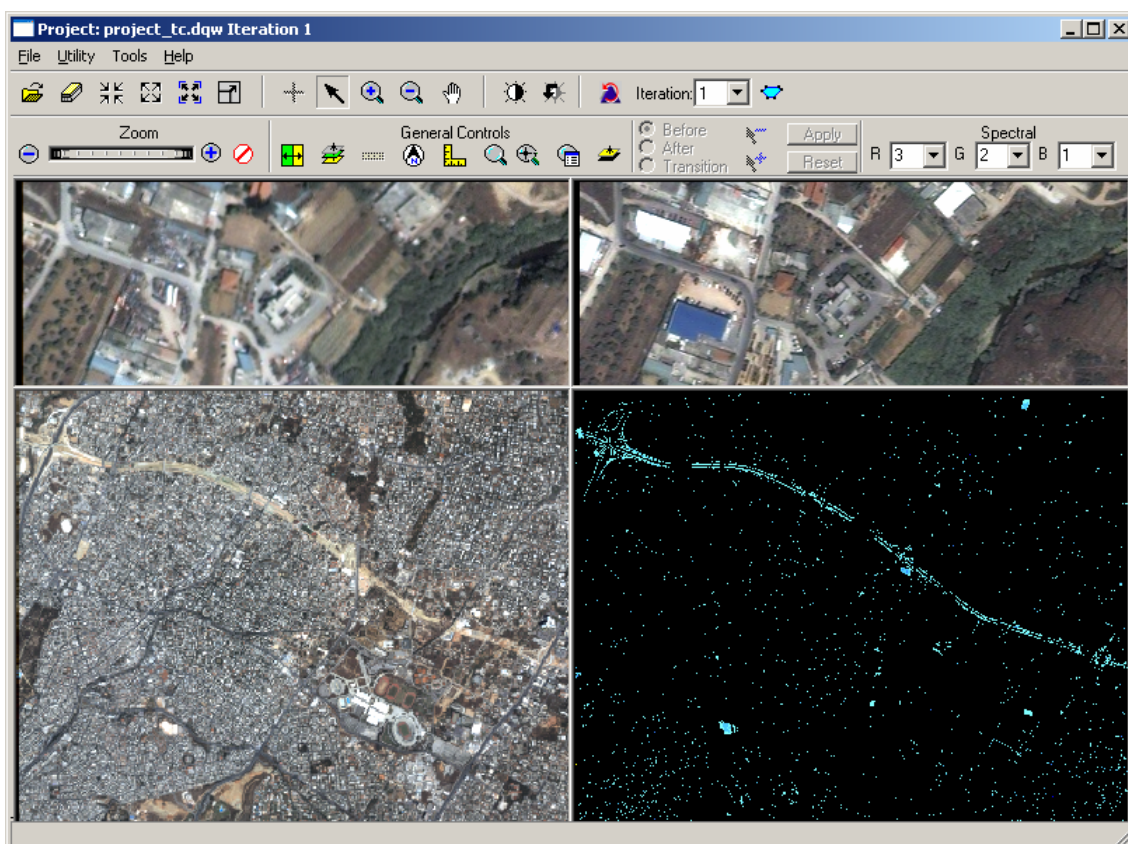
Εικόνα 7-10 : Χωρικό φιλτράρισμα με καθορισμό επιμήκυνσης στο περιβάλλον του Delta Cue



Εικόνα 7-11 : Αλγόριθμος Σπουδαιότερης Διαφοράς – τελικό αποτέλεσμα

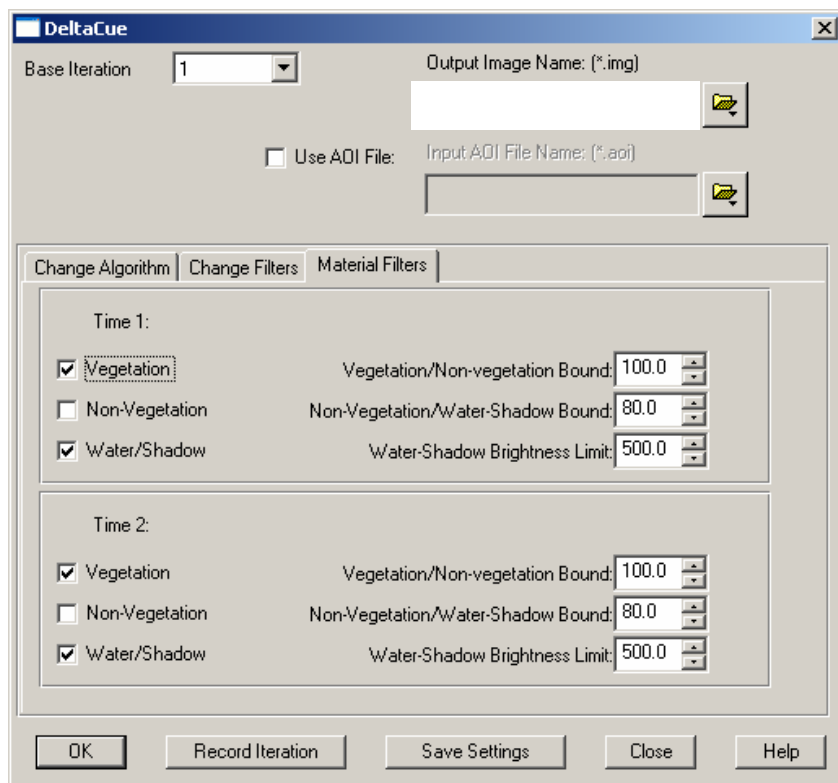
7.6.2. Διερεύνηση του αλγόριθμου Tasseled Cap

Επιλέχθηκε ο μετασχηματισμός Tasseled Cap για τις μεταβολές του εδάφους (Soil Differences). Αρχικώς ορίσθηκε κατώφλι για την εκτίμηση ως μεταβολή στη φωτεινότητα, η τιμή 30% (ομοίως με Εικόνα 7-5) και στη συνέχεια επιλέχθηκε να αποκοπούν οι αρνητικές μεταβολές (ομοίως με Εικόνα 7-7). Ακόμη, ορίσθηκε να γίνει φιλτράρισμα για τις τυχόν ατέλειες στη γεωμετρική εγγραφή εικόνας προς εικόνα (misregistration filter, όμοια με Εικόνα 7-6). Οι μεταβολές που ανιχνεύθηκαν φαίνονται στην Εικόνα 7-12.

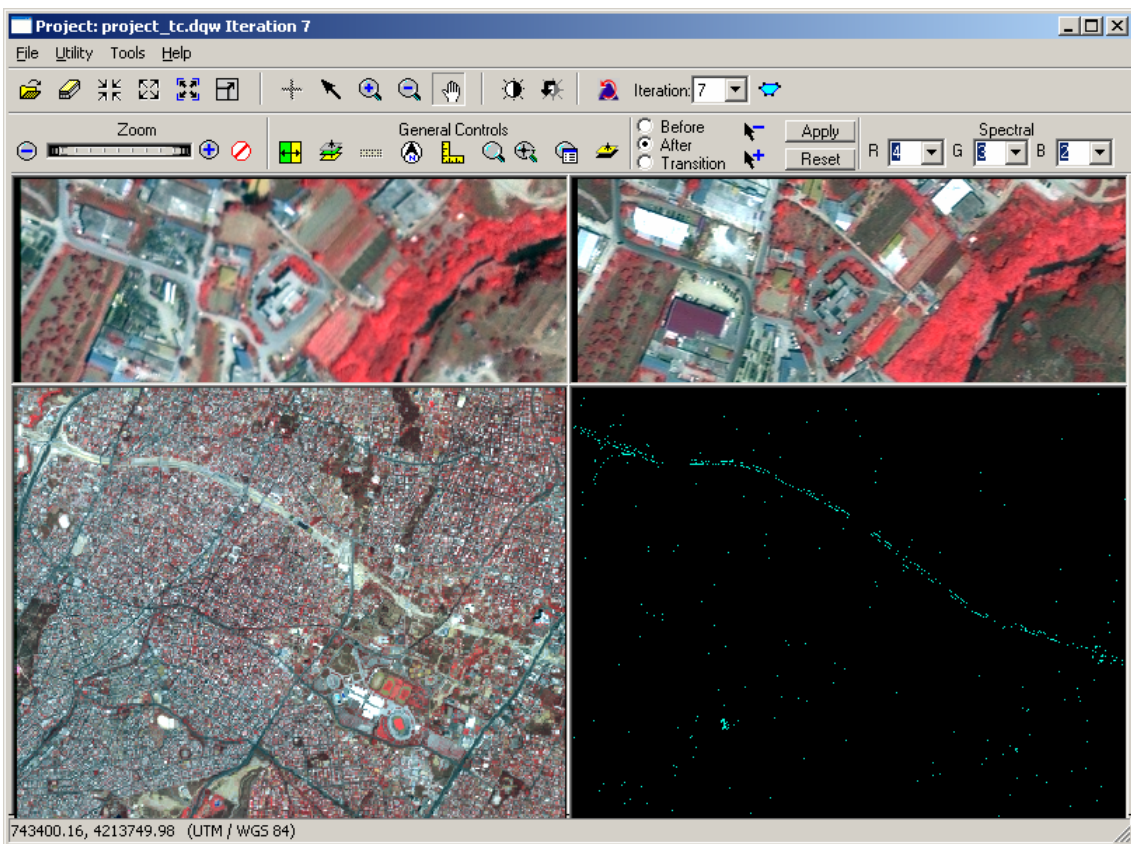


Εικόνα 7-12 : Αλγόριθμος Tasseled Cap – αρχική εφαρμογή

Παρατηρήθηκε ότι στην εικόνα μεταβολών υπήρχε αρκετή περιττή πληροφορία και για το λόγο αυτό επιχειρήθηκε η απαλοιφή της με την εφαρμογή φιλτραρίσματος υλικών για βλάστηση, νερό και σικιές (Εικόνα 7-13), καθώς και η αποκοπή των φασματικών κατηγοριών των εικονοστοιχείων που δεν απεικόνιζαν μεταβολές σε οδικό δίκτυο. Προέκυψε έτσι η Εικόνα 7-14.



Εικόνα 7-13 : Φιλτράρισμα υλικών στο περιβάλλον του Delta Cue

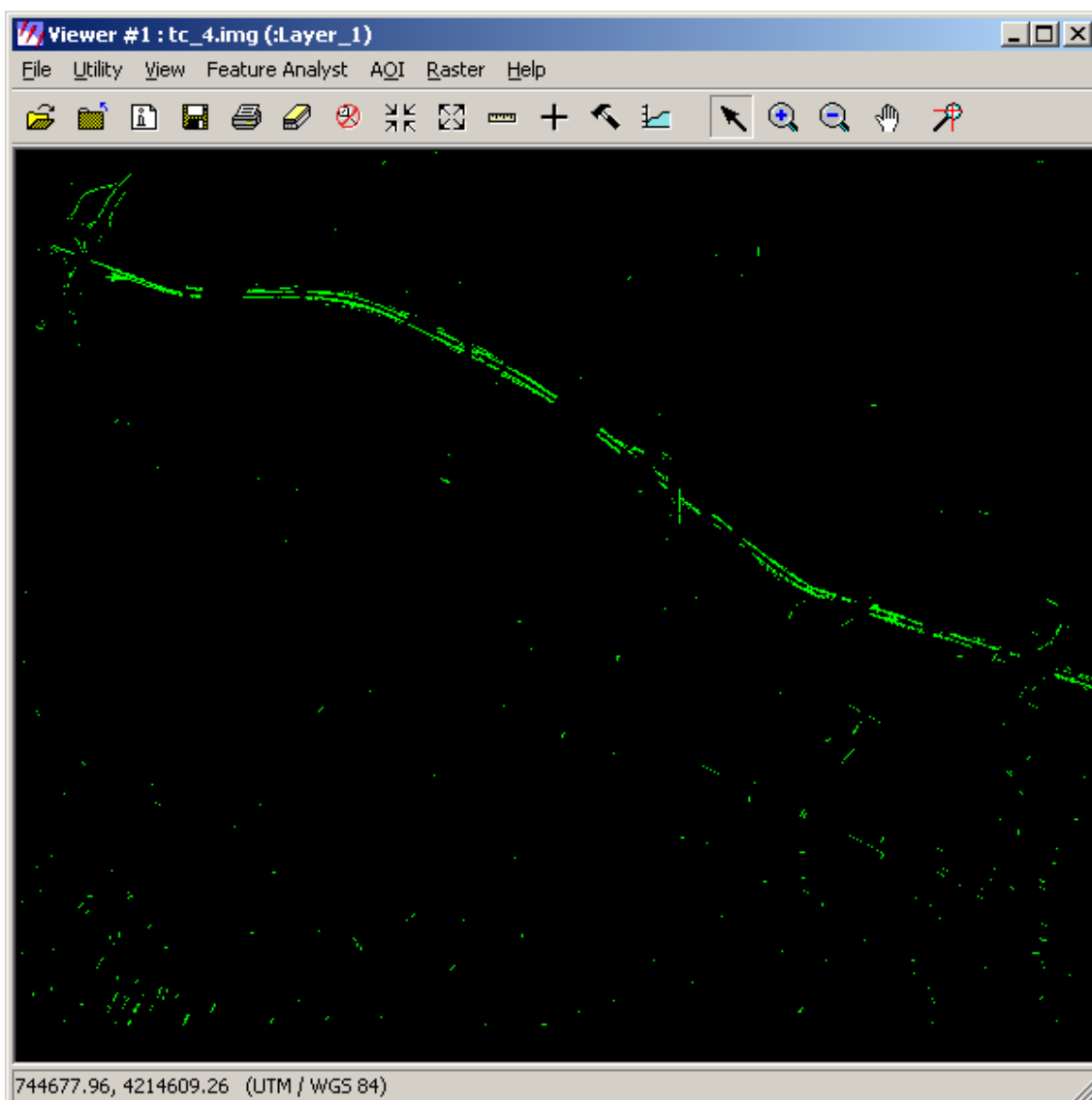


Εικόνα 7-14 : Αλγόριθμος Tasseled Cap – φιλτράρισμα υλικών και αφαίρεση περιττών φασματικών κατηγοριών

Τέλος, έγιναν δοκιμές για την απαλοιφή των εναπομείναντων περιπτώσεων εικονοστοιχείων, με χωρικό φιλτράρισμα (ομοίως με Εικόνα 7-10). Όπως προέκυψε, το καλύτερο αποτέλεσμα επετεύχθη για τις εξής τιμές:

- Επιμήκυνση: 3-10000, και
- Μικρός άξονας ελλειπτικής περιοχής: 5-100 m

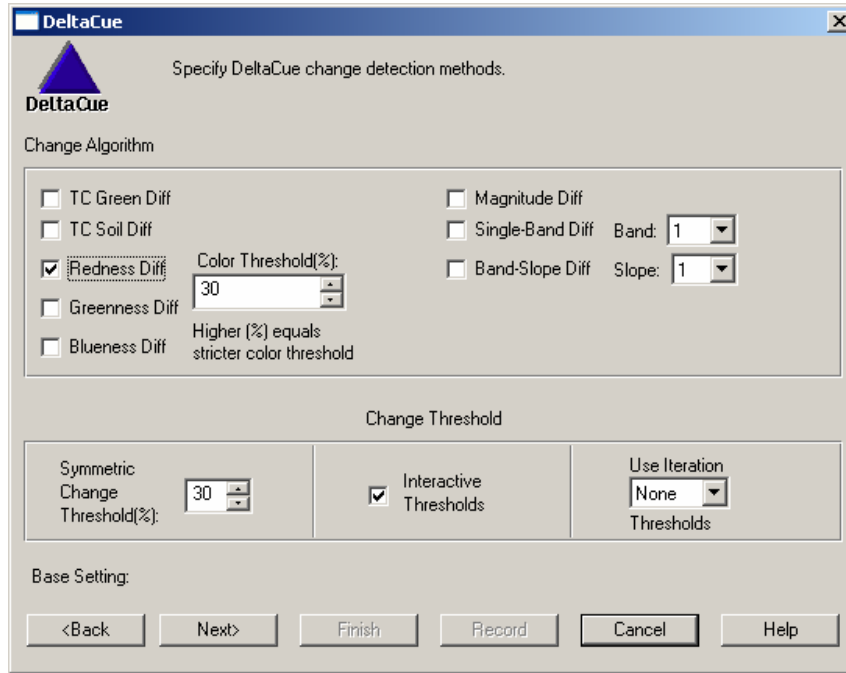
Το τελικό αποτέλεσμα από τον αλγόριθμο Tasseled Cap παρουσιάζεται στην Εικόνα 7-15.



Εικόνα 7-15 : Αλγόριθμος Tasseled Cap – τελικό αποτέλεσμα

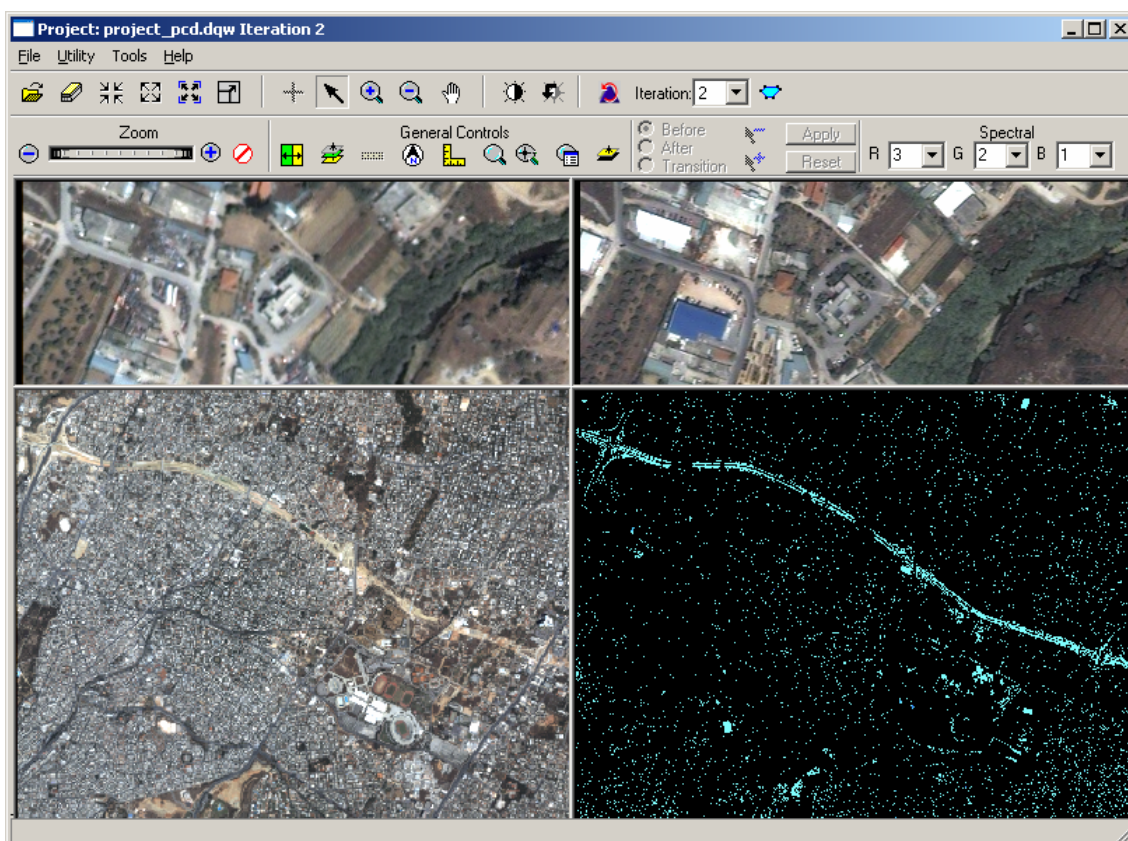
7.6.3. Διερεύνηση του αλγόριθμου Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων

Όπως φάνηκε και από τα διαγράμματα ανακλαστικότητας (εικόνες 7-4 (α) και (β)), η μεγαλύτερη διαφορά στην τιμή φωτεινότητας προέκυψε στο κανάλι 3 (κόκκινο). Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η εφαρμογή του αλγόριθμου για τις μεταβολές στο κόκκινο, θέτοντας αρχικό κατώφλι 30% ειδικά για αυτές τις μεταβολές (Εικόνα 7-16).



Εικόνα 7-16 : Καθορισμός κατωφλίου 30% στη μεταβολή του κόκκινου, στο περιβάλλον του Delta Cue

Έπειτα, ορίστηκε να αποκοπούν οι αρνητικές μεταβολές φωτεινότητας (ομοίως με Εικόνα 7-7) και επίσης τέθηκε φιλτράρισμα για τις τυχόν ατέλειες στη γεωμετρική εγγραφή εικόνας προς εικόνα (misregistration filter, όμοια με Εικόνα 7-6). Η πληροφορία που ανιχνεύθηκε φαίνεται στην Εικόνα 7-17.

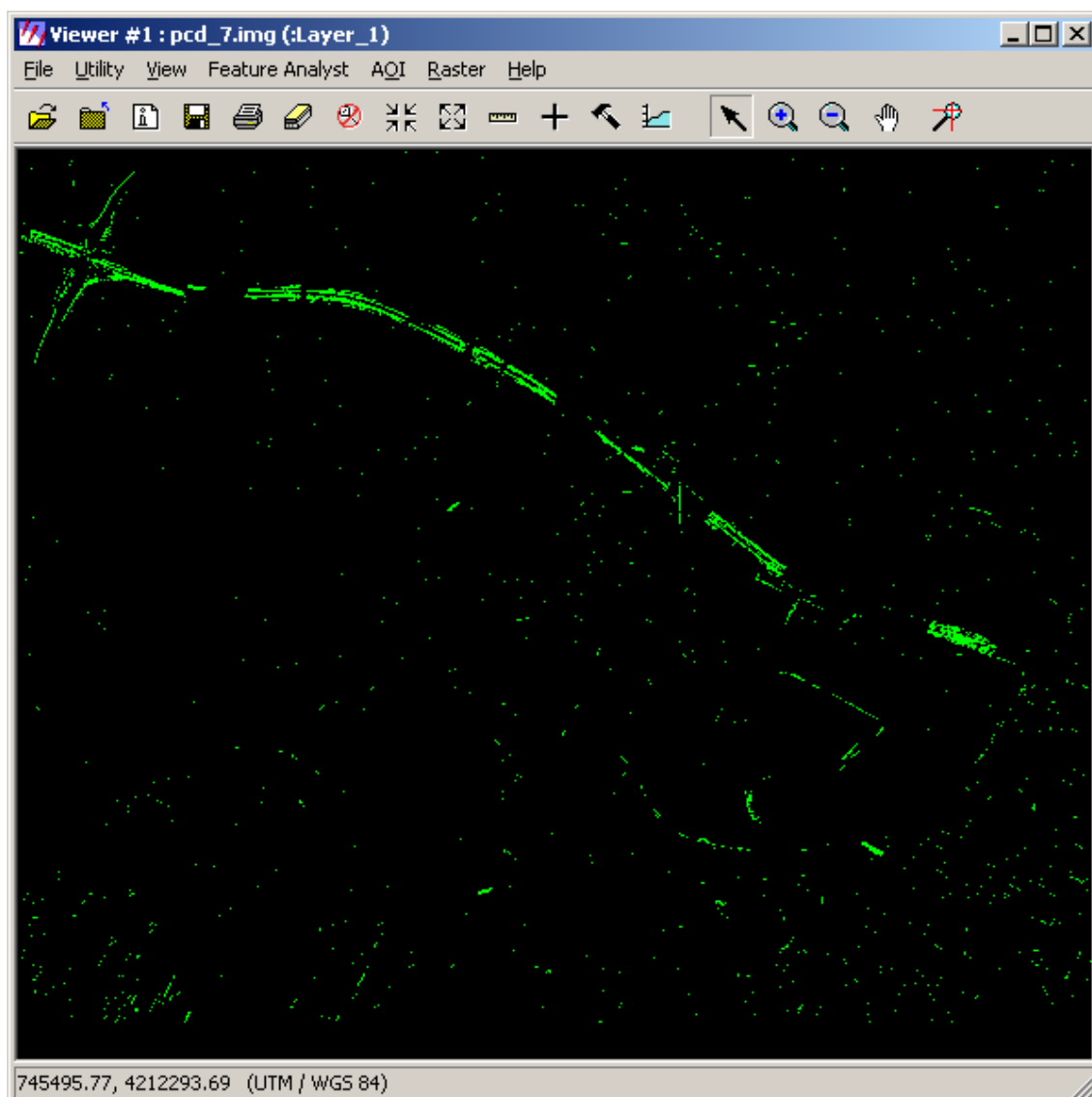


Εικόνα 7-17 : Αλγόριθμος Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων – αρχική εφαρμογή

Από το αποτέλεσμα αναγνωρίζεται εμφανώς ο νέος δρόμος (Αττική Οδός), αλλά φαίνεται ότι ανιχνεύθηκε και μη επιθυμητή πληροφορία. Για την απομάκρυνση της πληροφορίας αυτής, έγιναν δοκιμές με χωρικό φιλτράρισμα (ομοίως με Εικόνα 7-10), από όπου το καλύτερο αποτέλεσμα προέκυψε για τις παρακάτω τιμές:

- Επιμήκυνση: 3-10000, και
- Μικρός άξονας ελλειπτικής περιοχής: 4-100 m

Η Εικόνα 7-18 που ακολουθεί, παρουσιάζει το αποτέλεσμα από την εφαρμογή των τιμών αυτών.

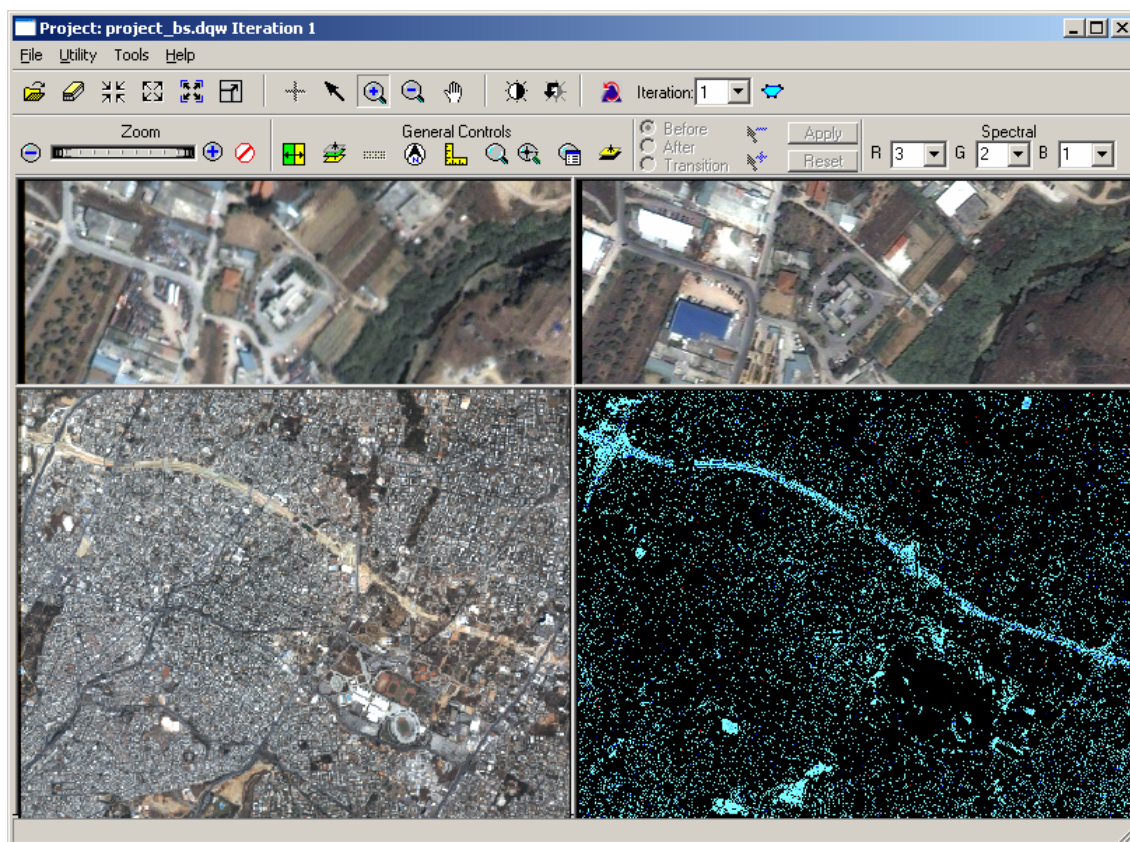


Εικόνα 7-18 : Αλγόριθμος Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων – τελικό αποτέλεσμα

7.6.4. Διερεύνηση του αλγόριθμου των Διαφορών των Κλίσεων

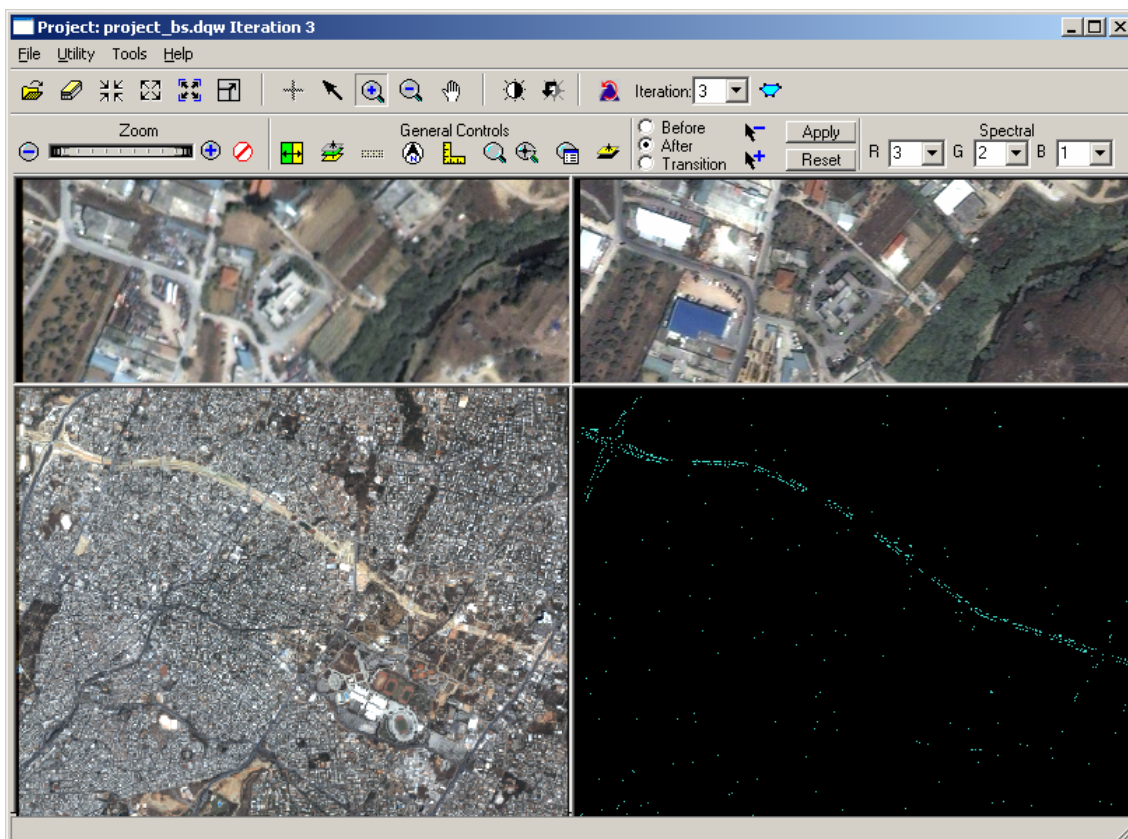
Από τα διαγράμματα ανακλαστικότητας των εικόνων (εικόνες 7-4 (α) και (β)), προέκυψε ότι η μεγαλύτερη μεταβολή στη φωτεινότητα υπάρχει μεταξύ των καναλιών 1 και 2, για την εικόνα του 2000. Επιλέχθηκε επομένως να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος μεταξύ των καναλιών αυτών. Τέθηκε αρχικό κατώφλι για αναγνώριση μεταβολών 30% στη φωτεινότητα, θετική και αρνητική (ομοίως με Εικόνα 7-5), αλλά στη συνέχεια διαγράφηκαν οι αρνητικές τιμές διότι αντιστοιχούσαν σε περιττή πληροφορία (ομοίως με Εικόνα 7-7). Ακόμη, ορίσθηκε προληπτικώς η εφαρμογή φιλτραρίσματος για τις τυχόν ατέλειες στη

γεωμετρική εγγραφή εικόνας προς εικόνα (misregistration filter, όμοια με Εικόνα 7-6). Η Εικόνα 7-19 ήταν το εξαγόμενο αποτέλεσμα.

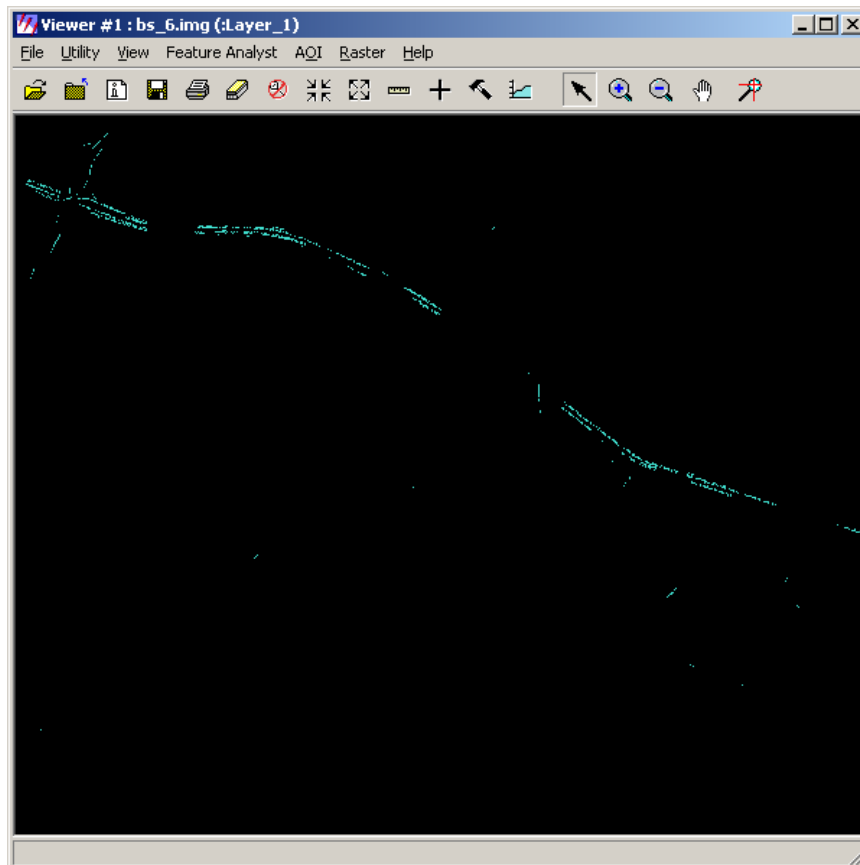


Εικόνα 7-19 : Αλγόριθμος Διαφορών των κλίσεων – αρχική εφαρμογή

Για την απαλοιφή, ακολούθως, όλων των μεταβολών μη ενδιαφέροντος, δοκιμάστηκε ο συνδυασμός χωρικού φιλτραρίσματος (ομοίως με Εικόνα 7-10) και αφαίρεση περιττών φασματικών κατηγοριών από την εφαρμογή μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Η πρώτη δοκιμή ήταν με καθορισμό επιμήκυνσης 3-1000 (Εικόνα 7-20), όμως το καλύτερο αποτέλεσμα επετεύχθη τελικώς για την τιμή 7-1000 (Εικόνα 7-21), όπου φαίνεται η αποτελεσματικότερη μείωση της άχρηστης πληροφορίας.



Εικόνα 7-20 : Αλγόριθμος Διαφορών των κλίσεων – καθορισμός επιμήκυνσης 3-1000

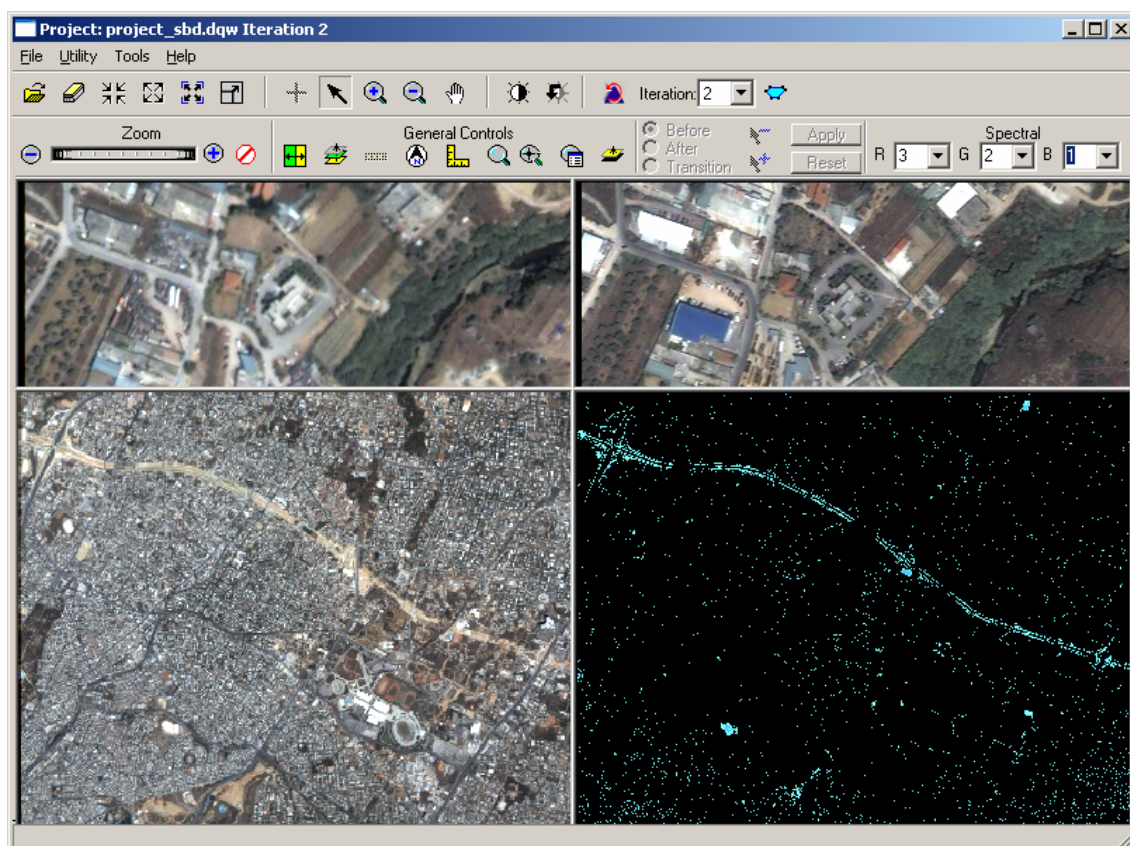


Εικόνα 7-21 : Αλγόριθμος Διαφορών των κλίσεων – τελικό αποτέλεσμα

7.6.5. Διερεύνηση του αλγόριθμου Διαφορών Κανάλι προς Κανάλι

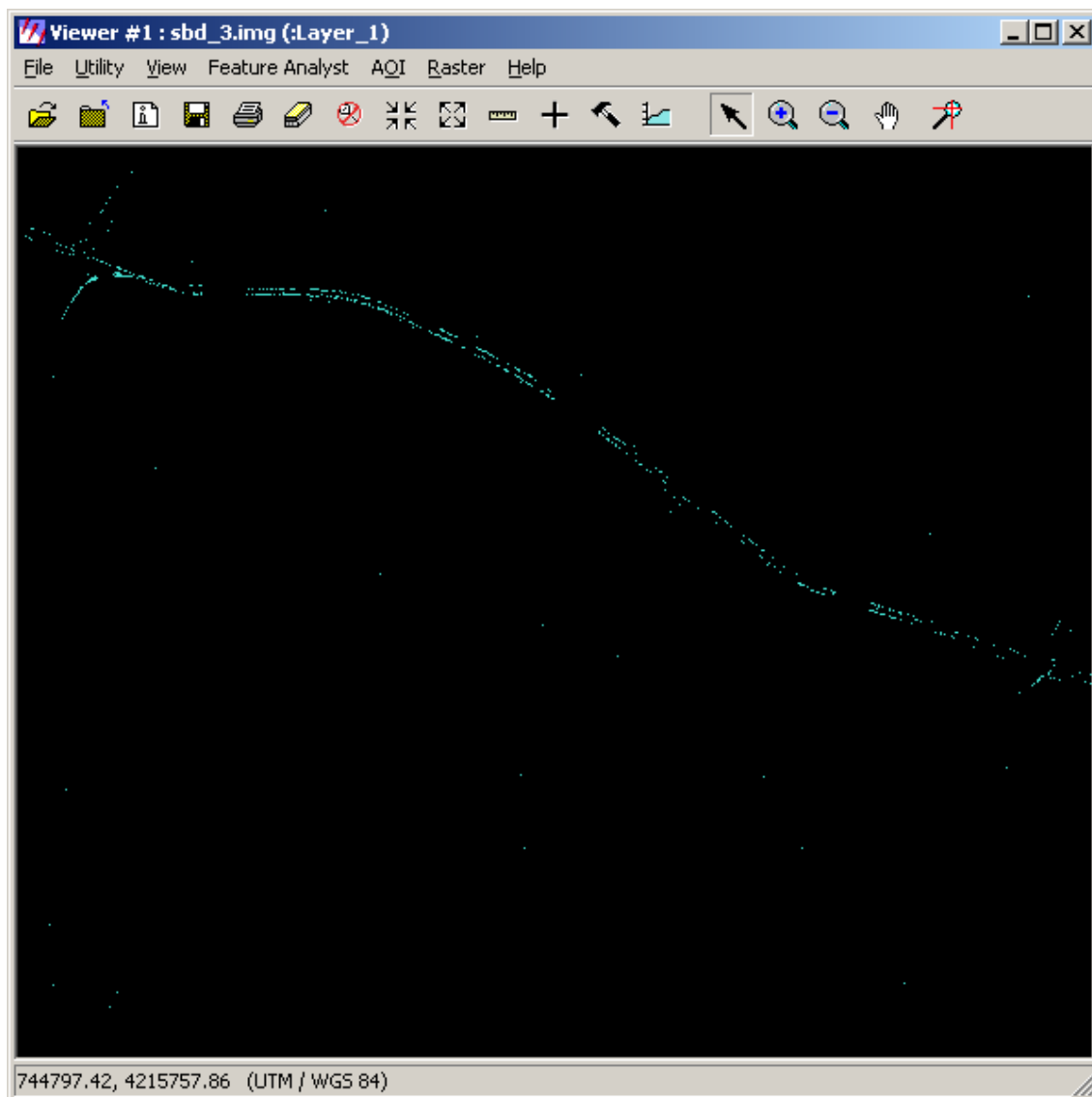
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το κανάλι 3 (κόκκινο) ήταν αυτό στο οποίο σημειώθηκε η μεγαλύτερη μεταβολή στη φωτεινότητα (περίπου 570 μονάδες) για την ίδια περιοχή της Αττικής Οδού, μεταξύ του ζεύγους των δεδομένων δορυφορικών απεικονίσεων (βλέπε και εικόνες 7-4 (α) και (β)). Η διαπίστωση αυτή οδήγησε στην εφαρμογή του αλγόριθμου στο κανάλι 3, όπου θα ήταν και πιο εμφανείς οι μεταβολές του οδικού δικτύου στην περιοχή μελέτης.

Οι αρχικές παράμετροι που δόθηκαν ήταν παρόμοιες με τις προηγούμενες περιπτώσεις, δηλαδή κατώφλι φωτεινότητας 30% για μεταβολή (ομοίως με Εικόνα 7-5), αποκοπή των άχρηστων αρνητικών μεταβολών που ανιχνεύθηκαν (δηλαδή όπου η φωτεινότητα αυξήθηκε σε σχέση με πριν, ομοίως με Εικόνα 7-7) και προληπτικό φιλτράρισμα για τις τυχόν ατέλειες στη γεωμετρική εγγραφή εικόνας προς εικόνα (misregistration filter, ομοίως με Εικόνα 7-6). Προέκυψε η Εικόνα 7-22.



Εικόνα 7-22 : Αλγόριθμος Διαφορών κανάλι προς κανάλι – αρχική εφαρμογή

Τέλος, για τη μείωση της περιττής πληροφορίας, δοκιμάσθηκε συνδυασμός χωρικού φιλτραρίσματος (ομοίως με Εικόνα 7-10) και αφαίρεση περιττών φασματικών κατηγοριών από την εφαρμογή μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Η πρώτη δοκιμή ήταν με καθορισμό επιμήκυνσης 3-1000, η οποία και κρίθηκε αποτελεσματική (Εικόνα 7-23).



Εικόνα 7-23 : Αλγόριθμος Διαφορών κανάλι προς κανάλι – τελικό αποτέλεσμα με καθορισμό επιμήκυνσης 3-1000

7.7. Εφαρμογή Διαδικασιών Ένωσης και Λέπτυνσης των Οδικών Τμημάτων

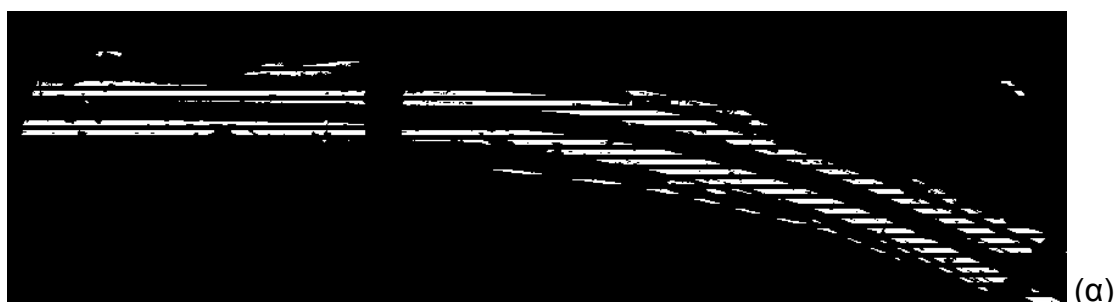
Όπως φάνηκε από όλα τις περιπτώσεις ανίχνευσης που εφαρμόστηκαν, τα εξαγόμενα αποτελέσματα δεν παρουσιάζουν την Αττική Οδό ως ένα συνεχές γραμμικό τμήμα, αλλά σε πολλά επιμέρους τμήματα τα οποία απέχουν μεταξύ τους με κάποια απόσταση. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη των κάθετα διασταυρούμενων γεφυρών οι οποίες υπέρκεινται της Αττικής Οδού (και οι οποίες εμφανίζονται να υπήρχαν και στην παλαιότερη εικόνα του 2001), αλλά και στα εικονοστοιχεία που διαγράφηκαν κατά το χωρικό και φασματικό φιλτράρισμα των εικόνων μεταβολών, προκειμένου να απομονωθεί κατά το δυνατό η ζητούμενη πληροφορία. Ακόμη, τα δύο αντίθετα ρεύματα κυκλοφορίας εμφανίζονται χωριστά, εξαιτίας της διέλευσης της γραμμής του προαστιακού σιδηρόδρομου. Επιπροσθέτως, με μία πιο λεπτομερή εξέταση, διαφάνηκε ότι υπήρχαν και μικρότερα κενά ανάμεσα στις ανιχνευθείσες μεταβολές, εξαιτίας των οχημάτων που κινούνταν στο δρόμο κατά τη χρονική στιγμή της λήψης.

Προκειμένου λοιπόν να εξαχθεί συνεχόμενος ο άξονας της Αττικής Οδού, επιβάλλονταν η εφαρμογή στην εικόνα των διαδικασιών ένωσης και λέπτυνσης. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε πρόγραμμα σε περιβάλλον MATLAB, το οποίο εκτέλεσε τις παραπάνω επεξεργασίες στην εικόνα μεταβολών, για κάθε μέθοδο ανίχνευσης που εκτελέστηκε. Το πρόγραμμα στηρίχθηκε στη χωρική συλλογιστική των Gao και Wu (2004) που αναφέρεται στο κεφάλαιο 6 .

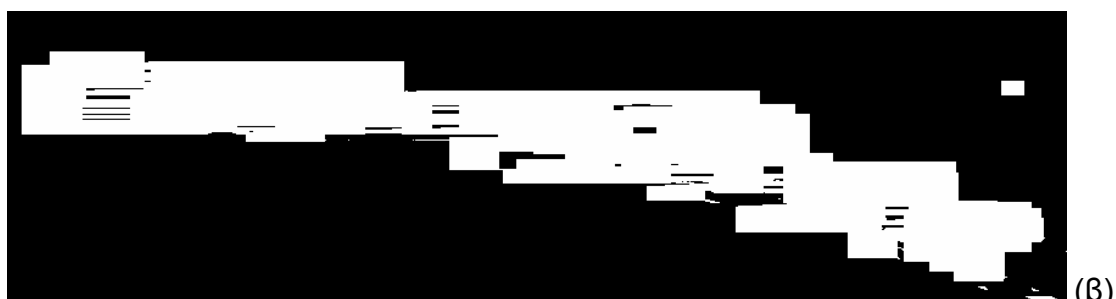
Αρχικώς οι εικόνες μεταβολών εξήχθησαν από το ERDAS σε μορφή geotiff, ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία τους στο περιβάλλον του MATLAB. Στη συνέχεια προγραμματίστηκε ο αλγόριθμος λέπτυνσης, ο οποίος εκτελεί κατά σειρά τα εξής:

- μετατροπή της εικόνας μεταβολών σε δυαδική, ώστε τα εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύουν δρόμο να πάρουν την τιμή 1 και τα εικονοστοιχεία του υποβάθρου να πάρουν την τιμή 0
- εύρεση των εικονοστοιχείων που αποτελούν άκρα των οδικών τμημάτων, κατά το συλλογισμό που αναπτύχθηκε στην παράγραφο 6.1.3
- ορισμός παραθύρου αναζήτησης γύρω από τα άκρα των οδικών τμημάτων και εύρεση των γειτονικών εικονοστοιχείων που αντιπροσωπεύουν δρόμο

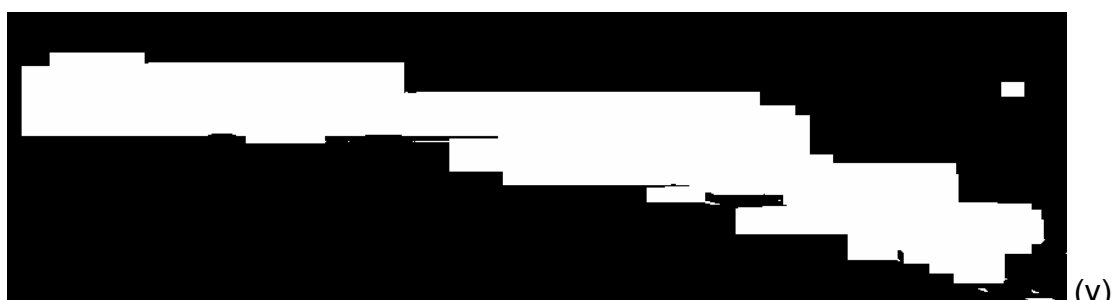
- για κάθε ζεύγος εικονοστοιχείων που εντοπίζεται, γίνεται υπολογισμός της εξίσωσης ευθείας καθώς και όλων των ενδιάμεσων εικονοστοιχείων που επαληθεύουν την εξίσωση
- εφαρμογή ένωσης, αποδίδοντας σε όλα τα ενδιάμεσα εικονοστοιχεία την τιμή 1
- εφαρμογή πλήρωσης ώστε να εξαλειφθούν τα τυχόν κενά που απέμειναν ανάμεσα στα εικονοστοιχεία των δρόμων
- τέλος, εφαρμογή του αλγόριθμου λέπτυνσης ώστε να προκύψει ο άξονας του δρόμου με πάχος ίσο με ένα εικονοστοιχείο



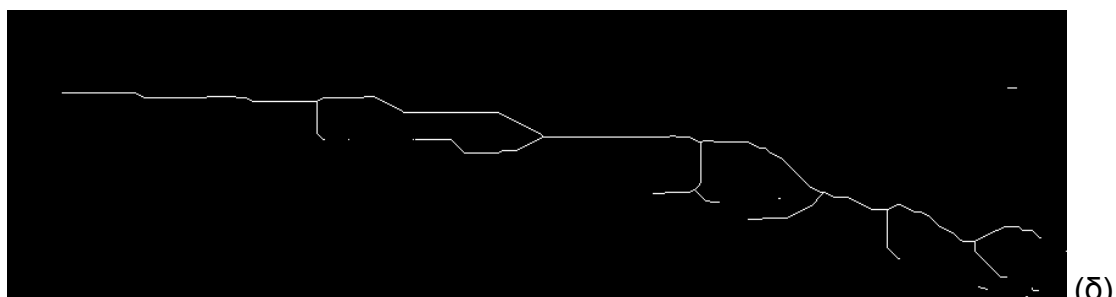
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνα 7-24 : Λεπτομέρεια από την εικόνα μεταβολών. Στη δυαδική εικόνα (α) εφαρμόζεται ένωση (β), στη συνέχεια πλήρωση των ενδιάμεσων κενών (γ) και τέλος λέπτυνση των γραμμικών στοιχείων (δ)

Έπειτα από τα παραπάνω, η τελική εικόνα εξόδου αποθηκεύεται σε μορφή geotiff για να αποκτήσει και πάλι τη γεωαναφορά της.

7.8. Διανυσματοποίηση του Άξονα του Δρόμου

Ο βασικός στόχος της όλης διαδικασίας, όπως προαναφέρθηκε, ήταν η εξαγωγή της πληροφορίας μεταβολών στο οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης, ώστε να επιτευχθεί αναθεώρηση των χαρτών και των χωρικών βάσεων δεδομένων. Επομένως, το τελευταίο στάδιο περιελάμβανε τη δημιουργία του άξονα του δρόμου σε διανυσματική μορφή.

Η μετατροπή της τελικής εικόνας μετά τη λέπτυνση από ψηφιδωτή μορφή (raster) σε διανυσματική (vector) έγινε αυτόματα με το λογισμικό ArcGIS. Από τα διανύσματα που προέκυψαν για κάθε μέθοδο ανίχνευσης που εφαρμόστηκε, έγινε χειροκίνητη επεξεργασία ώστε να απομακρυνθούν οι περιττές γραμμές. Στις εικόνες 7-25 έως 7-29 παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα τα οποία επιτέθηκαν στην εικόνα του 2007 για οπτικό έλεγχο.



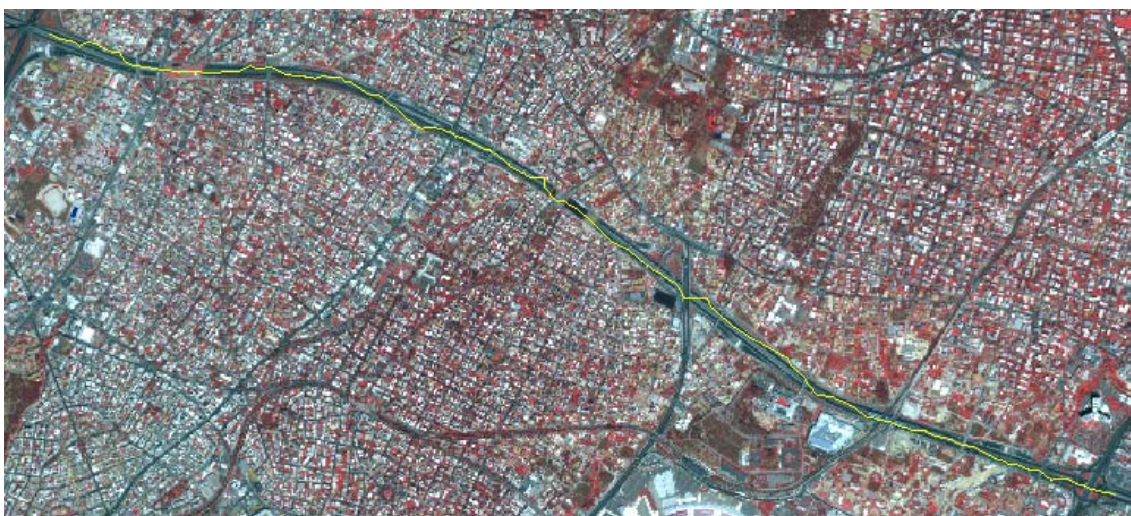
Εικόνα 7-25 : Επίθεση του άξονα της Αττικής Οδού που ανιχνεύθηκε με τη μέθοδο Tasseled Cap, στην εικόνα του 2007



Εικόνα 7-26 : Επίθεση του άξονα της Αττικής Οδού που ανιχνεύθηκε με τη μέθοδο των Διαφορών κανάλι προς κανάλι, στην εικόνα του 2007



Εικόνα 7-27 : Επίθεση του άξονα της Αττικής Οδού που ανιχνεύθηκε με τη μέθοδο του Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων, στην εικόνα του 2007



Εικόνα 7-28 : Επίθεση του άξονα της Αττικής Οδού που ανιχνεύθηκε με τη μέθοδο της Σπουδαιότερης Διαφοράς, στην εικόνα του 2007



Εικόνα 7-29 : Επίθεση του άξονα της Αττικής Οδού που ανιχνεύθηκε με τη μέθοδο των Διαφορών των κλίσεων, στην εικόνα του 2007

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 :

Συμπεράσματα και προτάσεις

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

8.1. Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων

Η επιτυχής υλοποίηση της αυτοματοποιημένης ανίχνευσης μεταβολών και η εκτίμηση των αποτελεσμάτων της, θα ήταν εφικτή εφόσον γίνονταν σύγκριση των αποτελεσμάτων της κάθε τεχνικής. Η ποσοτική σύγκριση βέβαια, είναι ένας δύσκολος στόχος, αφού το επιτευχθέν αποτέλεσμα από τις τεχνικές ανίχνευσης μπορεί να ποικίλλει κατά περίπτωση. Παραδείγματος χάριν, τα αποτελέσματα μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με την ετερογένεια της θέσης, την πυκνότητα των αντικειμένων της εικόνας, την παρουσία σκιών, τη σύγκλιση των αντικειμένων ενδιαφέροντος και των τύπων των άλλων αντικειμένων που απεικονίζονται. Η διαδικασία της αξιολόγησης επομένως χρειάζεται να γενικευτεί, ώστε να καλύπτει όλες τις περιπτώσεις. Η σύγκριση με επίγεια αληθή δεδομένα είναι ο ακριβέστερος τρόπος αξιολόγησης της ακρίβειας της αυτοματοποιημένης ανίχνευσης μεταβολών (Phalke, 2005). Εντούτοις, η λήψη τέτοιων δεδομένων είναι στις περισσότερες περιπτώσεις ιδιαίτερα δύσκολη. Τα επίγεια αληθή δεδομένα μπορούν να σχετίζονται με τη θέση των αλλαγμένων αντικειμένων, τη φύση της μεταβολής των αντικειμένων, εάν η μεταβολή είναι μερική ή πλήρης, εάν τα αντικείμενα έχουν αντικατασταθεί από άλλα αντικείμενα ή εάν έχουν ανανεωθεί κλπ. Επίσης αφορούν και γεωφυσικές πληροφορίες: το μέγεθος, τη μορφή και τη θέση των αντικειμένων που απαλείφθηκαν ή αντικαταστάθηκαν. Για τη συγκέντρωση όλων αυτών των πληροφοριών απαιτούνται εργασίες πεδίου, οι οποίες είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες και δαπανηρές.

Για τους σκοπούς της εργασίας αυτής, η ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε καταρχήν οπτικά, με την επίθεση των εξαγχθέντων δρόμων στις αρχικές εικόνες (βλέπε εικόνες 7-25 έως και 7-29). Όπως διαπιστώθηκε, για τις μεθόδους Tasseled Cap, Σπουδαιότερης Διαφοράς και για τις Διαφορές Κανάλι προς Κανάλι, ο άξονας του δρόμου αποδόθηκε ιδιαίτερα ικανοποιητικά για τη συντριπτική πλειοψηφία των εξαγχθέντων σημείων. Αντίθετα για τις περιπτώσεις του Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων καθώς και των Διαφορών των Κλίσεων, διαφάνηκαν προβλήματα στη σωστή απόδοση της γραμμής του

άξονα, τα οποία εντοπίζονται στις θέσεις όπου η Απτική Οδός διασταυρώνεται με πολύπλοκους ανισόπεδους κόμβους ή με παράπλευρους δρόμους.

Επιπροσθέτως, ο στατιστικός έλεγχος της ακρίβειας της διαδικασίας έγινε με δύο κριτήρια (Dal Poz και λοιποί, 2000). Το πρώτο κριτήριο υπολογίζει τη γεωμετρική ακρίβεια, με τις εκφράσεις του μέσου σφάλματος (e) και του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (rms) της απόστασης των κορυφών του εξαχθέντος άξονα :

$$e = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \quad (8.1)$$

$$rms = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}} \quad (8.2), \quad \text{όπου}$$

n : ο αριθμός των σημείων του εξαχθέντος άξονα του δρόμου και
 e_i : η απόσταση του σημείου i του εξαχθέντος δρόμου από τον άξονα του αληθή δρόμου.

Ως αληθής άξονας δρόμου χρησιμοποιήθηκε αυτός που προέκυψε με χειροκίνητη ψηφιοποίηση στην εικόνα του 2007. Το δεύτερο κριτήριο εκτιμά την ορθότητα της διαδικασίας, δηλαδή το ποσοστό των σωστά εξαχθέντων σημείων, από την επόμενη σχέση:

$$c = \frac{n_c}{n_e} \cdot 100 \quad (8.3), \quad \text{όπου}$$

n_c : ο αριθμός των σωστά εξαχθέντων σημείων
 n_e : ο συνολικός αριθμός των εξαχθέντων σημείων

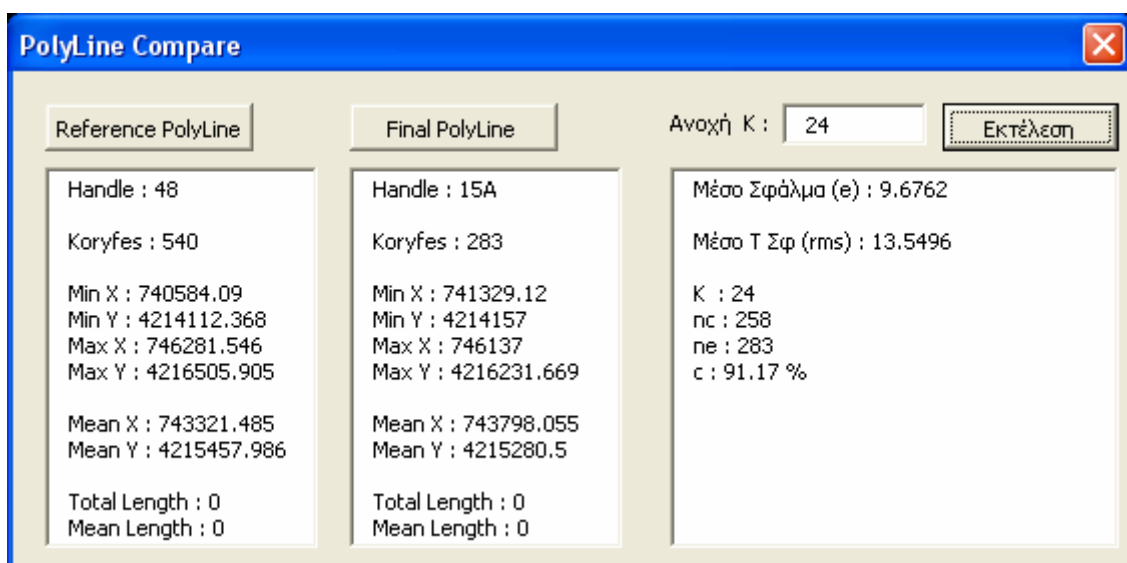
Η ποσότητα c υπολογίζεται αφού καθορισθεί ένα όριο ανοχής στην απόσταση μεταξύ του εξαχθέντος δρόμου και του αληθή δρόμου, μέχρι το οποίο τα σημεία θα θεωρούνται ως σωστή πληροφορία. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, το όριο αυτό τέθηκε ίσο με το μισό του πλάτους του δρόμου (24m). Τα στατιστικά αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε περίπτωση συνοψίζονται στον πίνακα 8-1 που ακολουθεί.

A/A	Τεχνική ανίχνευσης	Μέσο σφάλμα (e)	rms	Ποσοστό ορθότητας (c)
1	Σπουδαιότερης Διαφοράς	9.68 m	13.55 m	91.17%
2	Tasseled Cap	11.11 m	13.56 m	92.11%
3	Διαφορές Κανάλι προς Κανάλι	14.13 m	17.83 m	84.36%
4	Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων	24.12 m	38.89 m	65.67%
5	Διαφορών των Κλίσεων	35.32 m	51.89 m	57.50%

Πίνακας 8-1 : Στατιστικοί έλεγχοι των αποτελεσμάτων κάθε διαδικασίας ανίχνευσης μεταβολών

Από τον πίνακα 8-1 επαληθεύονται τα αποτελέσματα του εποπτικού ελέγχου που προηγήθηκε. Πράγματι, διαπιστώνεται ότι για τις μεθόδους Tasseled Cap, Σπουδαιότερης Διαφοράς και για τις Διαφορές Κανάλι προς Κανάλι, τα στατιστικά μεγέθη δίνουν αποδεκτές τιμές, με καλύτερη την τεχνική Tasseled Cap στο ποσοστό ορθότητας. Αντίθετα, για τις μεθόδους Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων καθώς και των Διαφορών των Κλίσεων, τα αποτελέσματα δεν μπορούν να γίνουν αποδεκτά.

Προκειμένου να εκτελεστούν οι υπολογισμοί, αναπτύχθηκε πρόγραμμα σε περιβάλλον Visual Basic (εικόνα 8-1), ο κώδικας του οποίου παρατίθεται στο Παράρτημα.



Εικόνα 8-1 : Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε για τη στατιστική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σε σύγκριση με τα αληθή δεδομένα

8.2. Συμπεράσματα

Η ανίχνευση μεταβολών αποτελεί μια μέθοδο που μπορεί να έχει ευρείες εφαρμογές σε διάφορα επιστημονικά αντικείμενα. Η πλήρης αυτοματοποίηση της διαδικασίας καθώς και η προσπάθεια εξαγωγής πληροφορίας διαφόρων αντικειμένων ενδιαφέροντος, αποτελεί «ανοιχτό» ερευνητικό παράθυρο το οποίο απαιτεί την πλήρη κατανόηση τόσο του θεωρητικού όσο και του διαδικαστικού της υποβάθρου.

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, διαπιστώθηκε ότι καθοριστικός παράγοντας για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων αποτελεί καταρχάς η προσεκτική προεπεξεργασία των εικόνων. Η ραδιομετρική κανονικοποίηση αλλά, κυρίως, η ακριβής γεωμετρική εγγραφή των εικόνων (co-registration) συμβάλλουν σημαντικά. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η αναζήτηση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους της περιοχής μελέτης, το οποίο μάλιστα να έχει πυκνό βήμα καταγραφής και μεγάλη ακρίβεια. Έτσι, θα μπορέσει να εφαρμοσθεί κατάλληλος τρισδιάστατος μετασχηματισμός, προσαρμοσμένος στις παραμέτρους του συγκεκριμένου δορυφόρου από τον οποίο προέρχονται οι εικόνες.

Επίσης, από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων όλων των τεχνικών ανίχνευσης που εφαρμόστηκαν στην εργασία, προέκυψε ότι η κατάταξη των τεχνικών αυτών από πλευράς ορθότητας, έχει ως εξής:

- Tasseled Cap
- Σπουδαιότερης Διαφοράς
- Διαφορών Κανάλι προς Κανάλι
- Διαχωρισμού Κυρίων Χρωμάτων
- Διαφορών των Κλίσεων

Οι τρεις πρώτες τεχνικές δίνουν αποτελέσματα εντός του επιτρεπτού ορίου, ενώ οι άλλες δύο μπορούν να γίνουν αποδεκτές μόνο για ορισμένα τμήματα του δρόμου που ανίχνευσαν. Βέβαια, διευκρινίζεται ότι τα αποτελέσματα αυτά εξαρτώνται κατά πολύ από τη διαδικασία φιλτραρίσματος περιπτώσεων εικονοστοιχείων που εφαρμόστηκε σε κάθε περίπτωση και γίνεται εύκολα

κατανοητό ότι θα διέφεραν, εφόσον είχαν καθοριστεί άλλες παράμετροι κατά το φιλτράρισμα.

Σχετικά με τη γενικότερη διαδικασία της ανίχνευσης μεταβολών, συμπεραίνεται ότι πρέπει να ακολουθείται η παρακάτω περιγραφόμενη στρατηγική. Αρχικώς, πρέπει να θέσει ο χρήστης πολύ ελαστικό κατώφλι στην τιμή μεταβολής, αφήνοντας έτσι να εμφανιστεί μεγάλο ποσοστό πληροφορίας. Είναι σημαντικό να αναγνωριστεί σε πρώτη φάση όλη η ζητούμενη μεταβολή ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια και παρά το γεγονός ότι πρέπει να ελαχιστοποιηθεί ο δαπανούμενος χρόνος για την απαλοιφή των περιττών εικονοστοιχείων, απαιτείται να γίνονται δοκιμές για την εύρεση του σημείου πέρα από το οποίο αρχίζει να αφαιρείται και χρήσιμη πληροφορία. Εάν όμως γίνει μειωμένο ή πολύ αυστηρό φιλτράρισμα, τα τελικά αποτελέσματα προκύπτουν με μειωμένη ακρίβεια. Η εμπειρία μέσα από την εργασία έδειξε ότι επιβάλλεται να βρεθεί μία μέση κατάσταση, διότι είναι αδύνατο να απομονωθούν και να αφαιρεθούν πλήρως τα περιττά εικονοστοιχεία, χωρίς να απομακρυνθεί παράλληλα και πληροφορία ενδιαφέροντος. Γενικώς, συστήνεται η υιοθέτηση ελαστικών ορίων κατά το φιλτράρισμα, καθώς αποδεικνύεται προτιμότερο να παραμείνει μικρό ποσοστό "θορύβου" στην εικόνα μεταβολών, το οποίο μπορεί να απομακρυνθεί ευκολότερα μετά την τελική διανυσματοποίηση της εικόνας.

Αναφορικά με την εφαρμογή του αλγόριθμου ένωσης στην εικόνα μεταβολών, διαφάνηκε ότι δίνει πολύ καλή ακρίβεια γενικώς. Προβλήματα διαπιστώνονται μόνο στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν μεγάλα ανοίγματα ανάμεσα στα ανιχνευθέντα οδικά τμήματα, ή όπου υπήρχαν συσσωρεύσεις εικονοστοιχείων σε κοντινή απόσταση, από παράπλευρους δρόμους ή από πολύπλοκους ανισόπεδους κόμβους οι οποίοι διασταυρώνονταν με τον υπό μελέτη δρόμο.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να τονισθεί ότι ο τελικός άξονας του δρόμου σε διανυσματική μορφή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί απ' ευθείας για την αναθεώρηση των υφιστάμενων χαρτών, ακόμη και για τις περιπτώσεις όπου τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερωσ ικανοποιητικά. Ο λόγος είναι ότι επιβάλλεται να προηγηθεί η εφαρμογή της διαδικασίας χαρτογραφικής γενίκευσης, ανάλογα βέβαια και με τη ζητούμενη κλίμακα του χάρτη.

Τέλος, από απόψεως κόστους, η ανίχνευση μεταβολών φαίνεται να μειονεκτεί σε σχέση με την κλασσική μέθοδο της φωτογραμμετρικής απόδοσης. Για την περιοχή μελέτης (περίπου 20 km²) ο μελετητής θα πρέπει να καταβάλλει με τις σημερινές τιμές το ποσό των 680\$ (= 432,58 €) για την αγορά του ζεύγους των δορυφορικών εικόνων, ενώ για την κλασσική μέθοδο απαιτείται ένα ζεύγος αεροφωτογραφιών κλίμακας 1:10.000 το οποίο στοιχίζει 14,40 €. Όμως το κόστος αυτό αντισταθμίζεται από την ταχύτητα και την ευκολία που προσφέρει η αυτόματη διαδικασία. (Διευκρινίζεται ότι η σύγκριση αυτή έγινε με την προϋπόθεση ότι διατίθεται όλος ο υπόλοιπος απαραίτητος εξοπλισμός για την εφαρμογή των δύο μεθόδων).

8.3. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Ένας από τους βασικούς σκοπούς κάθε έρευνας είναι να αποτελέσει η ίδια εφαλτήριο και ερέθισμα για περαιτέρω έρευνα. Στο πλαίσιο του θέματος αυτού, προτείνονται τα παρακάτω:

- Επέκταση της εφαρμογής των περιγραφόμενων μεθόδων ανίχνευσης μεταβολών και σε άλλες κατηγορίες δρόμων, ή και με διαφορετική πηγή δορυφορικών δεδομένων
- Επέκταση της εφαρμογής των περιγραφόμενων μεθόδων και σε άλλα αντικείμενα ενδιαφέροντος, όπως για παράδειγμα κτίρια, μεταβολές σε δασικές εκτάσεις, οικιστικές επεκτάσεις, κλπ
- Έρευνα για την αποτελεσματικότητα άλλων μεθόδων για την ανίχνευση μεταβολών (πχ. αντικειμενοστραφής ανάλυση) καθώς και χρησιμοποίηση άλλων λογισμικών του εμπορίου, όπως το e-Cognition ή το ENVI
- Προκειμένου να αξιοποιηθούν τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης για την ανίχνευση δρόμων της ίδιας κατηγορίας με την Αττική Οδό, προτείνεται η τυποποίηση και ενσωμάτωσή τους σε ένα έμπειρο σύστημα με τη μορφή κανόνων. Το έμπειρο σύστημα οφείλει να διαχειρίζεται τις γραμμές σύμφωνα με τη μορφή και το πάχος τους. Κατά τον τρόπο αυτό, θα ελαχιστοποιηθεί η παρέμβαση του χρήστη στη διαδικασία της ανίχνευσης οδικών μεταβολών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**1. ΚΩΔΙΚΑΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΣΕ ΓΛΩΣΣΑ VISUAL BASIC**

```
Public sel As AcadSelectionSet
Public MaxX1, MaxX2, MinX1, MinX2, MaxY1, MaxY2, MinY1,
MinY2, MeanX1, MeanX2, MeanY1, MeanY2 As Double
Public TotalLength1, TotalLength2 As Double
Public MeanLength1, MeanLength2 As Double

Dim n1, n2 As Long
Dim Coor1() As Double
Dim Coor2() As Double
Dim PerDist() As Double

Private Sub CommandButton1_Click()

Dim n As Long
Dim counter As Long
Dim pol As AcadLWPolyline

Set sel = ThisDrawing.SelectionSets.Add("POLY2")
UserForm1.Hide
sel.SelectOnScreen

For i = 1 To sel.Count

    If CStr(sel.Item(i - 1).ObjectName) = "AcDbPolyline"
Then

        Set pol = ThisDrawing.ObjectIdToObject(sel.Item(i -
1).ObjectID)

        MaxX2 = pol.Coordinates(0)
        MinX2 = MaxX2
        MaxY2 = pol.Coordinates(1)
        MinY2 = MaxY2

        n = (UBound(pol.Coordinates()) + 1) / 2
        n2 = n
        ReDim Coor2(2, n) As Double
        For j = 0 To UBound(pol.Coordinates())
            If j Mod 2 = 0 Then
                If pol.Coordinates(j) > MaxX2 Then MaxX2 =
pol.Coordinates(j)
```

```
        If pol.Coordinates(j) < MinX2 Then MinX2 =
pol.Coordinates(j)
        counter = counter + 1
        MeanX2 = MeanX2 + pol.Coordinates(j)
        Coor2(1, counter) = pol.Coordinates(j)
    Else
        If pol.Coordinates(j) > MaxY2 Then MaxY2 =
pol.Coordinates(j)
        If pol.Coordinates(j) < MinY2 Then MinY2 =
pol.Coordinates(j)
        MeanY2 = MeanY2 + pol.Coordinates(j)
        Coor2(2, counter) = pol.Coordinates(j)
    End If
Next j
MeanX2 = MeanX2 / counter
MeanY2 = MeanY2 / counter

'TotalLength2 = pol.Length
MeanLength2 = TotalLength2 / n2

End If
Next i

Dim a As String
a = ""
a = a & "Handle : " & pol.Handle & vbCrLf & vbCrLf
a = a & "Koryfes : " & CStr(n) & vbCrLf & vbCrLf
a = a & "Min X : " & CStr(Round(MinX2, 3)) & vbCrLf
a = a & "Min Y : " & CStr(Round(MinY2, 3)) & vbCrLf
a = a & "Max X : " & CStr(Round(MaxX2, 3)) & vbCrLf
a = a & "Max Y : " & CStr(Round(MaxY2, 3)) & vbCrLf &
vbCrLf
a = a & "Mean X : " & CStr(Round(MeanX2, 3)) & vbCrLf
a = a & "Mean Y : " & CStr(Round(MeanY2, 3)) & vbCrLf &
vbCrLf
a = a & "Total Length : " & CStr(Round(TotalLength2, 3)) &
vbCrLf
a = a & "Mean Length : " & CStr(Round(MeanLength2, 3)) &
vbCrLf

TextBox2.Text = a

UserForm1.show
```

```
End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()

Dim n As Long
Dim counter As Long
Dim pol As AcadLWPolyline

Set sel = ThisDrawing.SelectionSets.Add("POLY")
UserForm1.Hide
sel.SelectOnScreen

For i = 1 To sel.Count

    If CStr(sel.Item(i - 1).ObjectName) = "AcDbPolyline"
    Then

        Set pol = ThisDrawing.ObjectIdToObject(sel.Item(i -
1).ObjectID)

        MaxX1 = pol.Coordinates(0)
        MinX1 = MaxX1
        MaxY1 = pol.Coordinates(1)
        MinY1 = MaxY1

        n = (UBound(pol.Coordinates()) + 1) / 2
        n1 = n
        ReDim Coor1(2, n) As Double
        For j = 0 To UBound(pol.Coordinates())
            If j Mod 2 = 0 Then
                If pol.Coordinates(j) > MaxX1 Then MaxX1 =
pol.Coordinates(j)
                If pol.Coordinates(j) < MinX1 Then MinX1 =
pol.Coordinates(j)
                counter = counter + 1
                MeanX1 = MeanX1 + pol.Coordinates(j)
                Coor1(1, counter) = pol.Coordinates(j)
            Else
                If pol.Coordinates(j) > MaxY1 Then MaxY1 =
pol.Coordinates(j)
                If pol.Coordinates(j) < MinY1 Then MinY1 =
pol.Coordinates(j)
                MeanY1 = MeanY1 + pol.Coordinates(j)
                Coor1(2, counter) = pol.Coordinates(j)
            End If
        Next j
        MeanX1 = MeanX1 / counter
        MeanY1 = MeanY1 / counter
```

```
'TotalLength1 = pol.Length
MeanLength1 = TotalLength1 / n1

End If
Next i

Dim a As String
a = ""
a = a & "Handle : " & pol.Handle & vbCrLf & vbCrLf
a = a & "Koryfes : " & CStr(n) & vbCrLf & vbCrLf
a = a & "Min X : " & CStr(Round(MinX1, 3)) & vbCrLf
a = a & "Min Y : " & CStr(Round(MinY1, 3)) & vbCrLf
a = a & "Max X : " & CStr(Round(MaxX1, 3)) & vbCrLf
a = a & "Max Y : " & CStr(Round(MaxY1, 3)) & vbCrLf &
vbCrLf
a = a & "Mean X : " & CStr(Round(MeanX1, 3)) & vbCrLf
a = a & "Mean Y : " & CStr(Round(MeanY1, 3)) & vbCrLf &
vbCrLf
a = a & "Total Length : " & CStr(Round(TotalLength1, 3)) &
vbCrLf
a = a & "Mean Length : " & CStr(Round(MeanLength1, 3)) &
vbCrLf

TextBox1.Text = a

UserForm1.show

End Sub

Private Sub CommandButton3_Click()

TextBox4.Text = ""

Dim c1, c2, ct As Integer
Dim s1, s2, st As Double
ReDim PerDist(n2) As Double

For i = 1 To n2
    s1 = Sqr((Coor2(1, i) - Coor1(1, 1)) ^ 2 + (Coor2(2, i)
- Coor1(2, 1)) ^ 2)
    s2 = Sqr((Coor2(1, i) - Coor1(1, 2)) ^ 2 + (Coor2(2, i)
- Coor1(2, 2)) ^ 2)
    c1 = 1
```

```
c2 = 2
If s1 > s2 Then
    st = s1
    s1 = s2
    s2 = st
    ct = c1
    c1 = c2
    c2 = ct
End If

For j = 3 To n1
    st = Sqr((Coor2(1, i) - Coor1(1, j)) ^ 2 +
(Coor2(2, i) - Coor1(2, j)) ^ 2)
    If st < s1 Then
        s2 = s1
        s1 = st
        c2 = c1
        c1 = j
    ElseIf st < s2 Then
        s2 = st
        c2 = j
    End If

Next j

Dim x1, x2, y1, y2 As Double
x1 = Coor1(1, c1)
y1 = Coor1(2, c1)
x2 = Coor1(1, c2)
y2 = Coor1(2, c2)

Dim dx, dy As Double
dx = x2 - x1
dy = y2 - y1

If dx = 0 Then
    PerDist(i) = Abs(x1 - Coor2(1, i))
ElseIf dy = 0 Then
    PerDist(i) = Abs(y1 - Coor2(2, i))
Else

    Dim tan As Double
    tan = dy / dx

    Dim tan2 As Double
    tan2 = -1 / tan

    Dim a1, a2, b1, b2 As Double
    a1 = tan
```

```

a2 = tan2
b1 = y1 - a1 * x1
b2 = Coor2(2, i) - a2 * Coor2(1, i)

Dim xt, yt As Double
xt = (1 * b2 - b1 * 1) / (1 * (-a2) - 1 * (-a1))
yt = (b1 * (-a2) - (-a1) * b2) / (1 * (-a2) - 1 *
(-a1))

PerDist(i) = Sqr((Coor2(1, i) - xt) ^ 2 + (Coor2(2,
i) - yt) ^ 2)
End If

'TextBox4.Text = TextBox4.Text & CStr(i) & " - " &
CStr(c1) & "," & CStr(c2) & "          " &
CStr(Round(PerDist(i), 3)) & vbCrLf
Next i

Dim Nc As Double
Nc = 0
Dim k As Double
k = CDb1(TextBox3.Text)

Dim rms As Double
Dim MeanE As Double
MeanE = 0
rms = 0
For i = 1 To n2
    MeanE = MeanE + PerDist(i)
    rms = rms + PerDist(i) ^ 2
    If PerDist(i) < k Then Nc = Nc + 1
Next i
MeanE = MeanE / n2
rms = Sqr(rms / n2)

TextBox4.Text = TextBox4.Text & "Μέσο σφάλμα (e) : " &
CStr(Round(MeanE, 4)) & vbCrLf & vbCrLf
TextBox4.Text = TextBox4.Text & "Μέσο T Σφ (rms) : " &
CStr(Round(rms, 4)) & vbCrLf & vbCrLf
TextBox4.Text = TextBox4.Text & "K : " & CStr(k) & vbCrLf
TextBox4.Text = TextBox4.Text & "nc : " & CStr(Nc) & vbCrLf
TextBox4.Text = TextBox4.Text & "ne : " & CStr(n2) & vbCrLf
TextBox4.Text = TextBox4.Text & "c : " & CStr(Round(Nc / n2
* 100, 2)) & " %" & vbCrLf

End Sub

Private Sub TextBox3_Change()

```

End Sub

Private Sub UserForm_Activate()

```
Dim SSetColl As AcadSelectionSets
Set SSetColl = ThisDrawing.SelectionSets
Dim num As Integer
num = SSetColl.Count

For i = 0 To num - 1
    SSetColl.Item(i).Delete
Next i
End Sub
```

2. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΕΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΠΤΥΝΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΑΤΛΑΒ

```

clc;
%Μέγεθος παραθύρου αναζήτησης
k=40;

a=imread('Test_1.tif');
%Μετατροπή της εικόνας σε δυαδική
level=graythresh(a);
bw=im2bw(a,level);

figure(1),imshow(bw), title('Original');
imwrite(bw,'Test_1_bw.tif','Compression','packbits');

%Εύρεση των φατνίων στα άκρα των δρόμων
for i=2:(size(bw,1)-1)
    for j=2:(size(bw,2)-1)

        if bw(i,j)==1

            if bw(i-1,j)==1

                if (bw(i,j+1)==0 & bw(i+1,j+1)==0 & bw(i+1,j)==0)
                    x1=i;
                    y1=j;

                    %Αναζήτηση φατνίων για ένωση
                    for r=max(1,x1-k):min(x1+k,size(bw,1))
                        for c=max(1,y1-k):min(y1+k,size(bw,2))

                            if bw(r,c)==1
                                x2=r;
                                y2=c;

                                %Ένωση οδικών τμημάτων
                                dx = abs(x2 - x1);
                                dy = abs(y2 - y1);

                                if ((dx == 0) & (dy == 0))
                                    x = x1;
                                    y = y1;
                                    return;
                                end

                                flip = 0;
                                if (dx >= dy)

```



```

    if (x1 > x2)
        % Σχεδίαση από αριστερά προς τα δεξιά.

        t = x1; x1 = x2; x2 = t;
        t = y1; y1 = y2; y2 = t;
        flip = 1;
        end
        m = (y2 - y1)/(x2 - x1);
        x = (x1:x2).';
        y = round(y1 + m*(x - x1));

    else
        if (y1 > y2)
            % Σχεδίαση από κάτω προς τα πάνω.
            t = x1; x1 = x2; x2 = t;
            t = y1; y1 = y2; y2 = t;
            flip = 1;
            end
            m = (x2 - x1)/(y2 - y1);
            y = (y1:y2).';
            x = round(x1 + m*(y - y1));
        end

        if (flip)
            x = flipud(x);
            y = flipud(y);
        end
        % Ένωση επιμέρους τμημάτων
        for s=x
            for t=y
                bw(s,t)=1;
            end
        end
    end
end
end
end
end

elseif bw(i-1,j+1)==1
    if (bw(i+1,j)==0 & bw(i+1,j-1)==0 & bw(i,j-1)==0)
        x1=i;
        y1=j;
        %Αναζήτηση φατνίων για ένωση
        for r=max(1,x1-k):min(x1+k,size(bw,1))
            for c=max(1,y1-k):min(y1+k,size(bw,2))

                if bw(r,c)==1
                    x2=r;
                    y2=c;

```

```
%Ένωση οδικών τμημάτων
dx = abs(x2 - x1);
dy = abs(y2 - y1);

if ((dx == 0) & (dy == 0))
    x = x1;
    y = y1;
    return;
end

flip = 0;
if (dx >= dy)
    if (x1 > x2)
        % Σχεδίαση από αριστερά προς τα δεξιά.
        t = x1; x1 = x2; x2 = t;
        t = y1; y1 = y2; y2 = t;
        flip = 1;
    end
    m = (y2 - y1)/(x2 - x1);
    x = (x1:x2).';
    y = round(y1 + m*(x - x1));
else
    if (y1 > y2)
        % Σχεδίαση από κάτω προς τα πάνω.
        t = x1; x1 = x2; x2 = t;
        t = y1; y1 = y2; y2 = t;
        flip = 1;
    end
    m = (x2 - x1)/(y2 - y1);
    y = (y1:y2).';
    x = round(x1 + m*(y - y1));
end

if (flip)
    x = flipud(x);
    y = flipud(y);
end
% Ένωση επιμέρους τμημάτων
for s=x
    for t=y
        bw(s,t)=1;
    end
end
end
end
end
end
end
end
```

```
end  
end
```

```
figure(2),imshow(bw),title('Joined');  
imwrite(bw,'Test_1_Joined.tif','Compression','packbits');  
b=imfill(bw,'holes');  
figure(3), imshow(b), title('Filled')
```

```
R = worldfileread('pcd_7.tfw');  
worldfilewrite(R,'pcd_7_filled.tfw');  
imwrite(b,'Test_1_filled.tif','Compression','packbits');
```

```
c=imread('sbd_3_filled.tif');
```

```
d=bwmorph(b,'thin',Inf);  
figure(4), imshow(d), title('Thinning')  
worldfilewrite(R,'sbd_3_thined.tfw');  
imwrite(d,'Test_1_thined.tif','Compression','packbits');
```

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Agouris, P., Stefanidis, A. and Gyftakis, S., "Differential snakes for change detection in road segments", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 67(12), 2001, pp. 1391-1399.
2. Barzohar, M. and Cooper, D. B., "Automatic finding of main roads in aerial images by using geometric-stochastic models and estimation", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 18(7), 1996, pp. 707 – 721.
3. Bhattacharya, U. and Parui, S. K., "An improved backpropagation neural network for detection of road-like features in satellite imagery", International Journal of Remote Sensing, 18(16), 1991, pp. 3379-3394.
4. Chavez, P., and MacKinnon, D., "Automatic Detection of Vegetation Changes in the Southwestern United States Using Remotely Sensed Images", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 60, no. 5, May 1994, pp. 571-583.
5. Choy, S.S.O., Choy, C. S.-T. and Siu, W.-C., "New single-pass algorithm for parallel thinning", Computer Vision and Image Understanding, 62(1), 1995, pp. 69–77.
6. Collins, J., and Woodcock, C., "An Assessment of Several Linear Change Detection Techniques for Mapping Forest Mortality Using Multitemporal Landsat TM Data", Remote Sensing of Environment, vol. 56, 1996, pp. 66-77.
7. Crist, E., and Cicone, R., "A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data - The TM Tasseled Cap", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 22, no.3, 1984.
8. Crist, E., "A TM Tasseled Cap Equivalent Transformation for Reflectance Factor Data", Remote Sensing of Environment, vol. 17, 1985, pp. 301-306.
9. Dal Poz, A.P., Gyftakis, S., Agouris, P., "Semi-Automatic Road Extraction: Comparison of Methodologies and Experiments", DC 2000 ASPRS Annual Conference, Washington – DC, USA, 2000, CD-ROM.
10. Elgammal, A., Duraiswami, R., Harwood, D., Davis, L.S., "Background and Foreground Modeling Using Non – Parametric Kernel Density Estimation for Visual Surveillance", Proceedings of the IEEE, vol. 90, no. 7, July 2002, pp. 1151-1163.
11. "ERDAS Field Guide", Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC, 2005
12. Fiset, R. and Cavayas, F., " Automatic comparison of a topographic map with remotely sensed images in a map updating perspective: the road network case", International Journal of Remote Sensing, 18(4), 1997, pp. 991-1006.

- 13.** Gao, J., and Wu, L., "Automatic Extraction of Road Networks in Urban Areas from IKONOS Imagery Based on Spatial Reasoning", ISPRS Congress, 2004, p. 331-337
- 14.** Geman, D. and Jedynak, B., "An active testing model for tracking roads in satellite images", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 18(1), 1996, pp. 1–14.
- 15.** Gruen, A. and Li, H., "Road extraction from aerial and satellite images by dynamic programming", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 50(4), 1995, pp. 11-20.
- 16.** Hall, F., Strebel, D., Nickeson, J. and Goetz, S., "Radiometric Rectification: Toward a Common Radiometric Response Among Multidate, Multisensor Images", Remote Sensing of Environment, vol. 35, 1991, pp. 11-27.
- 17.** Horne, J., "A Tasseled Cap Transformation for IKONOS Images", ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings, May 2003, Anchorage, Alaska, pp. 34-43.
- 18.** "Imagine AutoSync White Paper", Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC, February 2006
- 19.** "Imagine Delta Cue Users Guide", Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC, January 2007
- 20.** Jensen J., Rutchey, K., Koch, M. and Narumalani, S., "Inland Wetland Change Detection in the Everglades Water Conservation Area 2A Using a Time Series of Normalized Remotely Sensed Data", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 61, no. 2, February 1995, pp. 199-209.
- 21.** Jensen J., Cowen D., Narumalani S., Althausen D., and Weatherbee O., "An Evaluation of CoastWatch Change Detection Protocol in South Carolina", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 59(6), 1993, pp.1039-1046.
- 22.** Jensen J. R., "Introductory Digital Image Processing, a Remote Sensing Perspective" , 2nd edition, Prentice Hall series, 1996.
- 23.** Kauth, R., and Thomas, G., "The Tasseled Cap - A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat", Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, LARS, Purdue University, West Lafayette, IN, 1976, pp. 4b41-4b51.
- 24.** Lillestrand, R., "Techniques for Change Detection", IEEE Trans. on Computers, vol. 21, no. 7, 1972, pp. 654-659
- 25.** Maillard, P. and Cavayas, F., "Automatic map-guided extraction of roads from SPOT imagery for cartographic database updating", International Journal of Remote Sensing, 10(11), 1989, pp. 1775-1787.

- 26.** Meisels, A. and Mintz, D., "Symbolic reasoning in object extraction", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 52(3), 1990, pp. 447-459.
- 27.** Nevatia, R. and Babu, K. R., "Linear feature extraction and description", *Computer Graphics and Image Processing*, 13(3), 1980, pp. 257-269.
- 28.** Olsson, H., "Reflectance Calibration of Thematic Mapper Data for Forest Change Detection", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 16, no. 1, 1995, pp. 81-96.
- 29.** Phalke, S., "Change Detection of Man – Made Objects Using Very High Resolution Images", University of Calgary, Department of Geomatics Engineering, 2005
- 30.** Steger, C., "Extraction of curved lines from images", *Proceedings of the 13th International Conference on Pattern Recognition*, 25-29 Aug. 1996, vol. 2, 1996, pp. 251-255.
- 31.** Stilla, U., "Map-aided structural analysis of aerial images", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 50(4), 1995, pp. 3-10.
- 32.** Tupin, F., Maitre, H., Mangin, J. F., Nicolas, J. M. and Pechersky, E., "Detection of linear features in SAR images: application to road network extraction", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(2), 1998, pp. 434 – 453.
- 33.** Varjo, J., "Controlling Continuously Updated Forest Data by Satellite Remote Sensing", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, no. 1, 1996, pp. 43-67.
- 34.** Wang, J. Treitz, P. M., and Howarth, P. J., " Road network detection from SPOT imagery for updating geographical information systems in the rural-urban fringe", *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(2), 1992, pp. 141-157.
- 35.** Xiong, D., "Automated road network extraction from high resolution images, National Consortia on Remote Sensing in Transportation: Safety, Hazards, and Disaster Assessment", Albuquerque, New Mexico, May 2001, pp. 1-4.
- 36.** Αργιαλάς, Δ., "Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση", Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 1999