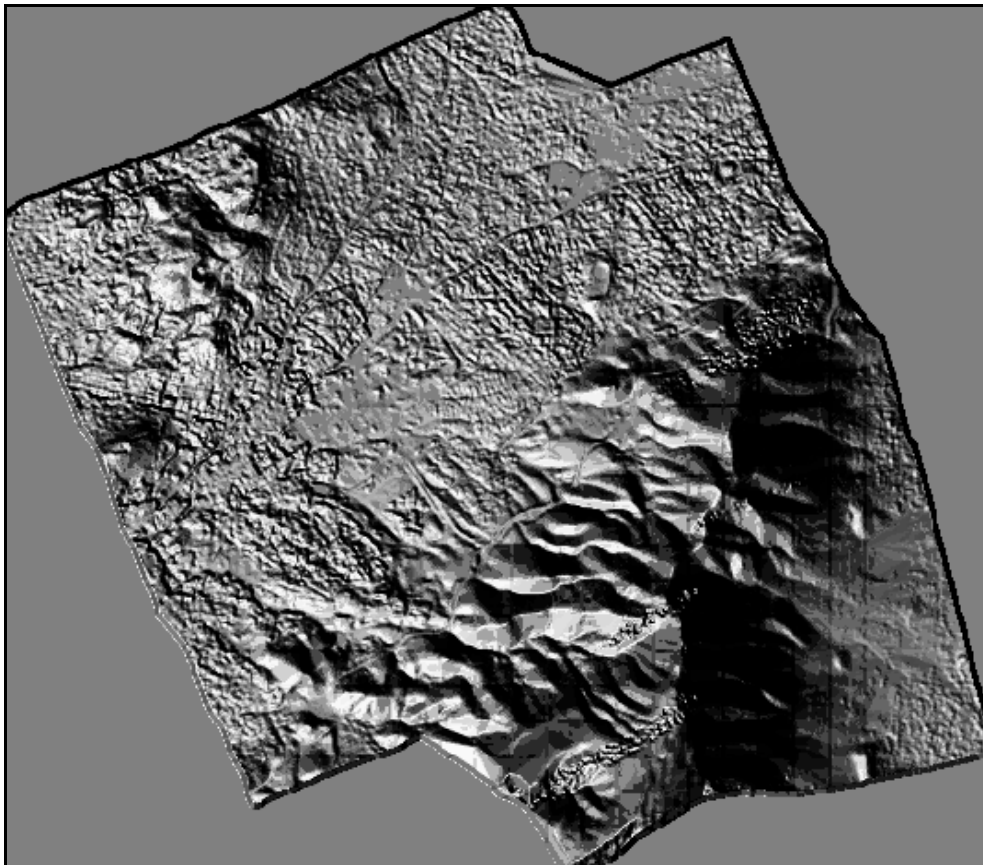




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ «ΜΙΚΤΟΥ ΔΕΚΤΗ» ΤΟΥ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ LEICA PHOTOGRAMMETRY SUITE**



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΜΟΥΥΒΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Χ. ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.**

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2009



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ «ΜΙΚΤΟΥ ΔΕΚΤΗ» ΤΟΥ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ LEICA PHOTOGRAMMETRY SUITE

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΜΟΛΥΒΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Χ. ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2009

Εξώφυλλο: Η ανάγλυφη παρουσίαση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της περιοχής όπου έγινε η εφαρμογή στην παρούσα εργασία.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αποτελεί το επιστέγασμα της ακαδημαϊκής πορείας του συγγραφέα της. Μιας μακρόχρονης αναζήτησης της επιστημονικής γνώσης που είχε ως αφετηρία τη Σχολή Τοπογραφίας της ΓΥΣ, ενδιάμεσο σταθμό τις προπτυχιακές σπουδές και τερματισμό τις μεταπτυχιακές σπουδές στη Σχολή των Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ. Στην πρώτη τέθηκαν υγιή θεμέλια, ενώ στη δεύτερη ολοκληρώθηκε η μαθησιακή διαδικασία με κύρια εμβάθυνση στην επιστήμη της Φωτογραμμετρίας.

Με βάση το παραπάνω πλαίσιο, μου ανατέθηκε το Φεβρουάριο του 2009 το θέμα που πραγματεύτηκα, από τον επιβλέποντα, Επίκουρο Καθηγητή της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ, κύριο Χαράλαμπο Ιωαννίδη, τον οποίο και αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω για την αμέριστη υποστήριξη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Επίσης, θερμές ευχαριστίες απευθύνω στον αγαπητό συνάδελφο και φίλο Γιώργο Τσιγγενόπουλο, για το υλικό και τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχε, τα οποία προήλθαν από την προγενέστερη ενασχόλησή του με το θέμα.

Στη Σοφία, την Ινώ και τη Σέβη από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, ένα μεγάλο ευχαριστώ για τις υπερπολύτιμες υποδείξεις τους αλλά και την ουσιαστική υποστήριξη που παρείχαν κατά τη φάση του σχεδιασμού και της εκτέλεσης των μετρήσεων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου Βασιλεία Παναγιωτοπούλου, που είναι ακούραστη συνοδοιπόρος στο μαγικό ταξίδι της ζωής μας.

Αθήνα, Οκτώβριος 2009

Χαράλαμπος Μολύβας

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η γεωαναφορά δορυφορικών εικόνων είναι μια σημαντική εργασία διότι αποτελεί το αναπόφευκτο βήμα για πολλές δορυφορικές και φωτογραμμετρικές εφαρμογές. Ειδικά, από τη στιγμή που οι διεθνείς αρχές απελευθέρωσαν την εμπορική εκμετάλλευση δορυφορικών εικόνων χωρικής ανάλυσης 1 μέτρου ή και μεγαλύτερης, η συγκεκριμένη αγορά επεκτάθηκε σημαντικά με αποτέλεσμα να λειτουργεί ανταγωνιστικά ή ακόμα και να αντικαθιστά τις κλασικές αεροφωτογραφίες.

Σκοπός της γεωαναφοράς είναι η αποκατάσταση της σχέσης ανάμεσα στην εικόνα και το έδαφος. Για να επιτευχθεί αυτή, δύο διαφορετικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται από τη διεθνή φωτογραμμετρική κοινότητα, μία παραμετρική και μία μη παραμετρική.

Η ανάλυση των μεθόδων αυτών καθώς και η διερεύνηση της δυνατότητας χρησιμοποίησης εικόνων διαφορετικών δορυφορικών δεκτών σε κοινό στερεοζεύγος αποτέλεσαν τα ερεθίσματα για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΣΕΛ
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	III
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	IV
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	V
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	VII
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΥΨΗΛΗΣ	
ΑΝΑΛΥΣΗΣ	
1.1 Εισαγωγή.....	3
1.2 Μοντέλα Δορυφορικών Δεκτών.....	3
1.3 Μη παραμετρικά μοντέλα δορυφόρων.....	4
1.3.1 Ο άμεσος γραμμικός μετασχηματισμός (Direct Linear Transformation - DLT).....	4
1.3.2 Το μοντέλο παράλληλης προβολής (Parallel Perspective Model - PP).....	5
1.3.3 Ο άμεσος γραμμικός μετασχηματισμός με αυτοβαθμονόμηση (Self calibration DLT - SDLT).....	6
1.3.4 Ο τρισδιάστατος αφινικός μετασχηματισμός (3D Affine Model).....	6
1.3.5 Παραδείγματα από εφαρμογές μη παραμετρικών μοντέλων δορυφόρων.....	7
1.4 Το μοντέλο RFM.....	9
1.5 Τροχιακό Μοντέλο με Δεδομένα Εφημερίδων.....	12
1.6 Γενικευμένο Pushbroom Μοντέλο.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΤΟ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ «ΜΙΚΤΟΥ ΔΕΚΤΗ» ΤΟΥ LEICA PHOTOGRAMMETRY SUITE	
2.1 Εισαγωγή.....	17
2.2 Συνδυασμός Δορυφορικών Εικόνων από Διαφορετικούς δέκτες.....	18
2.3 Μοντέλα Γεωαναφοράς Δορυφορικών Εικόνων στο LPS.....	19
2.4 Χαρακτηριστικά του Μοντέλου Μικτού Δέκτη (Mixed Sensor Model).....	22
2.5 Οι Orthocalibrated Εικόνες.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ «ΜΙΚΤΟΥ ΔΕΚΤΗ»	

3.1	Γενικά.....	26
3.2	Διαθέσιμες Δορυφορικές Εικόνες.....	26
3.2.1	Δορυφορική Εικόνα Quickbird.....	27
3.2.2	Δορυφορική Εικόνα Worldview.....	29
3.3	Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους.....	31
3.3.1	Δεδομένα.....	32
3.3.2	Επιλογή και Μέτρηση Φωτοσταθερών και Σημείων Ελέγχου.....	33
3.3.3	Αεροτριγωνισμός.....	37
3.3.4	Εξαγωγή Ψηφιακού Μοντέλου με το LPS ATE.....	38
3.3.5	Διόρθωση Ψηφιακού Μοντέλου με το LPS TE.....	42
3.4	Διερεύνηση της Ακρίβειας του Βελτιωμένου RFM Μοντέλου.....	43
3.5	Ορθοβαθμονόμηση Δορυφορικών Εικόνων.....	48
3.5.1	Ορθοβαθμονόμηση Δορυφορικής Εικόνας Quickbird....	48
3.5.2	Ορθοβαθμονόμηση Δορυφορικής Εικόνας Worldview.....	49
3.6	Χρήση του Μικτού Μοντέλου για τις Δορυφορικές Εικόνες... ..	50
3.6.1	Αεροτριγωνισμός.....	50
3.6.2	Εξαγωγή DTM.....	52
3.6.3	Στερεοαπόδοση.....	55
3.7	Εφαρμογή του Μικτού Μοντέλου σε Αεροφωτογραφίες.....	59
3.7.1	Δεδομένα.....	59
3.7.2	Ορθοβαθμονόμηση Αεροφωτογραφιών.....	60
3.7.3	Δημιουργία του Μικτού Μοντέλου για τις Αεροφωτογραφίες.....	61
3.8	Προβλήματα.....	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1	Συμπεράσματα.....	65
4.2	Προτάσεις.....	67
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	68
	ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ.....	69
	ABSTRACT.....	70
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	
	ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	71
	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΓΝΩΣΤΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ..	72

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση των γεωμετρικών μοντέλων των δορυφορικών δεκτών που χρησιμοποιούνται για φωτογραμμετρικές εφαρμογές καθώς και η διερεύνηση της δυνατότητας χρησιμοποίησης εικόνων διαφορετικών δορυφορικών δεκτών και διαχρονικών αεροφωτογραφιών διαφορετικών φωτομηχανών σε κοινό στερεοζεύγος.

Η εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στους δορυφόρους υψηλής διακριτικής ικανότητας και στα γεωμετρικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την γεωαναφορά των εικόνων τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται το γεωμετρικό μοντέλο μικτού δέκτη (mixed sensor) που περιλαμβάνεται στο λογισμικό Leica Photogrammetry Suite, τις απαιτήσεις και τις δυνατότητές του.

Στο τρίτο κεφάλαιο ακολουθεί η λεπτομερής ανάλυση της εφαρμογής που υλοποιήθηκε, από τη φάση του σχεδιασμού, της εκτέλεσης των εργασιών πεδίου, των εργασιών γραφείου, τα αποτελέσματα και τα προβλήματα που προέκυψαν.

Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα της εργασίας καθώς επίσης και οι προτάσεις από την εμπειρία και γνώση που αποκτήθηκε.

Η ανάθεση του θέματος έγινε το Φεβρουάριο του 2009 και ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του 2009.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Φωτογραμμετρία είναι η τέχνη, επιστήμη και τεχνολογία για την απόκτηση αξιόπιστης πληροφορίας σχετικά με φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων αλλά και προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ASP, 1980). [Πατιάς Π., 1991]

Επινοήθηκε το 1851 από τον Γάλλο Συνταγματάρχη Aimé Laussedat και συνέχισε να αναπτύσσεται μέχρι σήμερα. Κατά τη διάρκεια αυτών των 158 ετών η ανάπτυξή της πέρασε από την αναλογική, στην αναλυτική και τελευταία στην ψηφιακή φάση.

Παραδοσιακά η μεγαλύτερη εφαρμογή της είναι η εξαγωγή τοπογραφικής πληροφορίας από αεροφωτογραφίες, που έχουν ληφθεί από φωτογραφικές μηχανές ειδικά προσαρμοσμένες σε αεροσκάφη. Τα τελευταία χρόνια οι φωτογραμμετρικές τεχνικές εφαρμόζονται ευρύτατα και στην επεξεργασία δορυφορικών εικόνων υψηλής διακριτικής ικανότητας με σκοπό την απόκτηση τοπογραφικής πληροφορίας.

Στην αναλογική Φωτογραμμετρία, από το 1901 που επινοήθηκαν οι στερεοσκοπικές μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκαν τα οπτικομηχανικά όργανα προκειμένου να υλοποιηθούν τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα από διαδοχικές επικαλυπτόμενες αεροφωτογραφίες. Το κύριο προϊόν αυτής της διαδικασίας ήταν τοπογραφικοί χάρτες.

Στην αναλυτική Φωτογραμμετρία ο ηλεκτρονικός υπολογιστής αντικατέστησε ορισμένους οπτικομηχανικούς μηχανισμούς. Τα παραγόμενα προϊόντα αυτή τη φορά ήταν τόσο τοπογραφικοί χάρτες όσο και ψηφιακά προϊόντα όπως ψηφιακοί χάρτες και ψηφιακά μοντέλα εδάφους.

Στην ψηφιακή Φωτογραμμετρία οι τεχνικές της εφαρμόζονται σε ψηφιακές εικόνες που επεξεργάζονται και αποθηκεύονται αποκλειστικά σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι εικόνες αυτές μπορεί να προέρχονται είτε από σάρωση αεροφωτογραφιών είτε από ψηφιακή φωτογραφική μηχανή είτε από δορυφορικούς δέκτες. Τα προϊόντα της είναι ψηφιακοί χάρτες, ψηφιακά μοντέλα εδάφους και ψηφιακές ορθοεικόνες και αποθηκεύονται σε ψηφιακά μέσα.

Για την εκτέλεση μάλιστα των φωτογραμμετρικών τεχνικών έχουν αναπτυχθεί από διεθνείς οίκους εξελιγμένα πακέτα λογισμικού τα οποία έχουν αυτοματοποιήσει μεγάλο μέρος της παραγωγικής διαδικασίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα αφενός την εξοικονόμηση χρόνου αφετέρου τον περιορισμό της παρέμβασης του χειριστή, άρα και την πιθανή εισαγωγή σφαλμάτων, στο απολύτως απαραίτητο.

Σε γενικές γραμμές η μεθοδολογία που ακολουθείται από όλους τους οίκους στα λογισμικά που έχουν παραχθεί είναι:

- Δημιουργία του project όπου δηλώνονται από τον χειριστή το όνομά του, ο φάκελος όπου θα αποθηκευτεί αυτό, το είδος του γεωμετρικού μοντέλου του δέκτη (π.χ. κλασική κάμερα ή συγκεκριμένο μοντέλο δορυφόρου) το οριζοντιογραφικό και κατακόρυφο σύστημα αναφοράς, οι επιδιωκόμενες ακρίβειες.

- Εισαγωγή των ψηφιακών εικόνων στο φάκελο του project που έχει δημιουργηθεί και δημιουργία των απαραίτητων πυραμίδων για την γρήγορη περιήγηση στις εικόνες και την επιτάχυνση της διαδικασίας αυτόματης εξαγωγής ομόλογων σημείων από τον αλγόριθμο στη φάση της αυτόματης εξαγωγής ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

- Δήλωση των γεωμετρικών στοιχείων της κάμερας ή δέκτη που χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη της κάθε εικόνας.

- Αποκατάσταση του εσωτερικού προσανατολισμού με τη δήλωση της θέσης των εικονοσημάτων για τις κλασικές φωτομηχανές ή με τη δήλωση του αρχείου με τα στοιχεία που προμηθεύουν οι προμηθευτές των δορυφορικών εικόνων όταν αυτές χρησιμοποιούνται. (π.χ. αρχείο RPC)

- Αποκατάσταση του σχετικού προσανατολισμού με την επιλογή των κατάλληλων ομόλογων σημείων ανάμεσα στις εικόνες.

- Δήλωση των απαραίτητων σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων τα οποία χρησιμοποιούνται είτε σαν σημεία προσαρμογής των εικόνων (control points), είτε σαν σημεία ελέγχου (check points).

- Εκτέλεση αεροτριγωνισμού με τη μέθοδο συνόρθωσης μπλόκ δέσμης.

Μετά από την επιτυχή εκτέλεση του αεροτριγωνισμού, άρα και την επιτυχή αποκατάσταση του απόλυτου προσανατολισμού ο χειριστής μπορεί πλέον να προχωρήσει σε κάποια από τις παρακάτω επιλογές:

- Αυτόματη εξαγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους.
- Εξαγωγή διανυσματικών δεδομένων από τον χειριστή.
- Αυτόματη παραγωγή ορθοεικόνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

1.1 Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα σε δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης από μία μεγάλη ποικιλία δορυφόρων. Η παλαιότερη γενιά δορυφόρων περιλαμβάνει τους SPOT, IRS-1C, IKONOS, ORBIMAGE, OrbView 2 and QuickBird ενώ οι νεότεροι δέκτες είναι οι SPOT 5, ASTER, EROS, ALOS PRISM, GeoEye OrbView 3, QuickBird, WorldView, CARTOSAT and FORMOSAT2, THEOS κ.α.

Οι δέκτες της δεύτερης κατηγορίας παράγουν pushbroom εικόνες με ονομαστική γεωδαιτική ανάλυση από μισό μέτρο έως 10 μέτρα, στο κανάλι με τη μεγαλύτερη ανάλυση, συνήθως το παγχρωματικό. Κάποιοι από αυτούς παρέχουν στερεοκάλυψη κατά μήκος της τροχιάς του δέκτη, ενώ άλλοι εγκάρσια της τροχιάς με επικάλυψη από γειτονικές τροχιές. Εξαιτίας της υψηλής τους ανάλυσης, της σταθερής τους γεωμετρίας και της ικανότητας για στερεοκάλυψη, η χαρτογράφηση της Γης από αυτές τις εικόνες τείνει να γίνει διεθνώς παραγωγική διαδικασία έχοντας ξεπεράσει το επίπεδο της έρευνας.

1.2 Μοντέλα Δορυφορικών Δεκτών

Αν και υπάρχουν αρκετοί pushbroom δέκτες σε λειτουργία, για όλους ισχύει η γενική αρχή ότι κάθε εικόνα pushbroom αποτελείται από ένα συγκεκριμένο αριθμό γραμμών σάρωσης (framelet) και η κάθε γραμμή ακολουθεί την εξίσωση συγγραμμικότητας. Για χαρτογραφικούς σκοπούς οι πιο κατάλληλες εικόνες είναι οι μη επεξεργασμένες που έχουν ωστόσο διορθωθεί ραδιομετρικά. Αυτές αποκαλούνται συνήθως επιπέδου I, όπως οι SPOT Scene level 1A και οι ALOS PRISM 1A/1B.

Γενικά, οι δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης παρέχονται σε τρεις κατηγορίες όσον αφορά την πληροφορία για την γεωμετρία και τον προσανατολισμό τους.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει εικόνες που πωλούνται μαζί με τους συντελεστές κλασματικών πολυωνύμων (RPC). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις IKONOS RPC, QuickBird RPC, NITF RPC, RESOURCESAT RPC, ALOS RPC καθώς και άλλες.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει εικόνες που πωλούνται με μεταδεδομένα ή αρχεία DIMAP files, τα οποία περιλαμβάνουν τις πληροφορίες των εφημερίδων των δορυφόρων, περιλαμβανομένης της θέσης, της ταχύτητας και του υψομέτρου του δέκτη κατά την λήψη της εικόνας. Πολλοί οίκοι παρέχουν εικόνες σε αυτήν την κατηγορία όπως οι SPOT 5, ASTER, EROS, ALOS PRISM, FORMOSAT 2, THEOS, GeoEye OrbView και QuickBird WorldView.

Η τρίτη κατηγορία είναι οι δορυφόροι προηγούμενης γενιάς με pushbroom δέκτες όπως ο SPOT και ο IRS-1C. Οι εικόνες σε αυτήν την κατηγορία έχουν συνήθως συνημμένο ένα απλό header αρχείο όπου περιλαμβάνει μόνο κάποια γενική πληροφορία σχετικά με το δέκτη και την εικόνα όπως το ύψος της τροχιάς, την εστιακή απόσταση του φακού, τις γωνίες παρατήρησης, τον χρόνο λήψης και τη θέση. Δεν παρέχονται λεπτομέρειες για τον προσανατολισμό σε αυτήν την κατηγορία.

1.3 Μη παραμετρικά μοντέλα δορυφόρων

Επιμέρους μη παραμετρικά μοντέλα δορυφόρων είναι:

- ο άμεσος γραμμικός μετασχηματισμός (Direct Linear Transformation - DLT).
- το μοντέλο παράλληλης προβολής (Parallel Perspective Model - PP).
- ο άμεσος γραμμικός μετασχηματισμός με αυτοβαθμονόμηση (Self calibration DLT - SDLT).
- ο τρισδιάστατος αφινικός μετασχηματισμός (3D Affine Model).

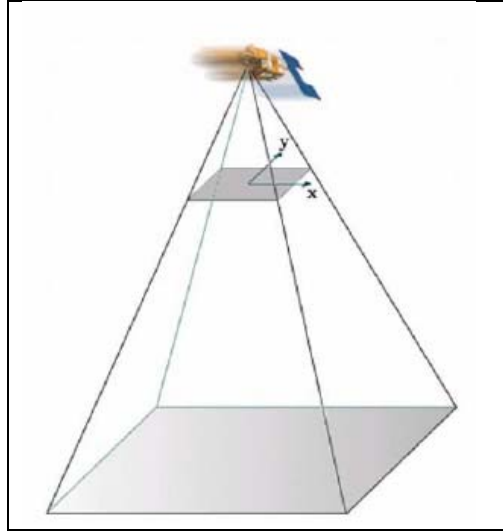
1.3.1 Ο άμεσος γραμμικός μετασχηματισμός (Direct Linear Transformation - DLT)

Αυτό το μοντέλο περιγράφει μία γεωμετρία κεντρικής προβολής με μία επιπλέον αφινική διαστρόφη, όπως στην *Εικόνα 1.1* που ακολουθεί.

Έντεκα παράμετροι προσανατολισμού καθορίζουν τη σχέση ανάμεσα στον 2D χώρο της εικόνας και στον 3D χώρο του αντικειμένου:

$$x = \frac{a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z}{1 + c_1X + c_2Y + c_3Z} \quad (1.1)$$

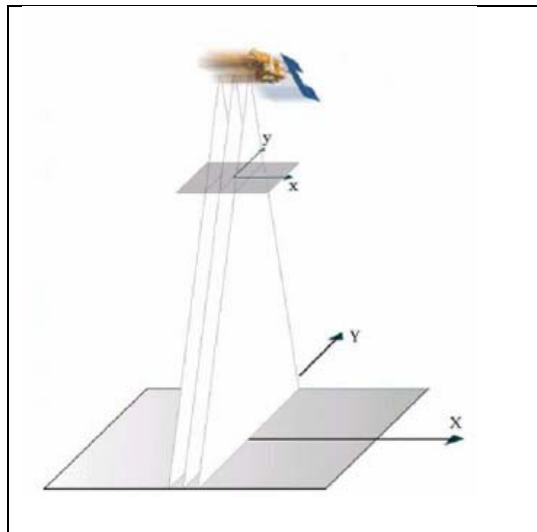
$$y = \frac{b_0 + b_1X + b_2Y + b_3Z}{1 + c_1X + c_2Y + c_3Z}$$



Εικόνα 1.1: Μοντέλο Direct Linear Transformation

1.3.2 Το μοντέλο παράλληλης προβολής (Parallel Perspective Model - PP)

Εφόσον τα όργανα συλλογής της πληροφορίας είναι γραμμικά συστήματα σάρωσης, μία απλοποίηση του DLT που περιορίζει τις εξισώσεις (1.1) σε μία γραμμή μοιάζει λογική.



Εικόνα 1.2: Μοντέλο Parallel Perspective

Η εικόνα μοντελοποιείται με μία ακολουθία παραλλήλων προβολών, όπως στην *Εικόνα 1.2* που προηγήθηκε. Τελικά το σύστημα των εξισώσεων γίνεται:

$$x = B_1X + B_2Y + B_3Z + B_4 \quad y = \frac{B_5X + B_6Y + B_7Z + B_8}{B_9X + B_{10}Y + B_{11}Z + 1} \quad (1.2)$$

1.3.3 Ο άμεσος γραμμικός μετασχηματισμός με αυτοβαθμονόμηση (Self calibration DLT - SDLT)

Το μοντέλο αποτελεί μία επέκταση του DLT που περιγράφηκε στην §1.3.1 με την προσθήκη του συντελεστή a_4 . Έτσι δώδεκα παράμετροι προσανατολισμού καθορίζουν τη σχέση ανάμεσα στον 2D χώρο της εικόνας και στον 3D χώρο του αντικειμένου:

$$x = \frac{a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z}{1 + c_1X + c_2Y + c_3Z} + a_4xy, \quad y = \frac{b_0 + b_1X + b_2Y + b_3Z}{1 + c_1X + c_2Y + c_3Z} \quad (1.3)$$

1.3.4 Ο τρισδιάστατος αφινικός μετασχηματισμός (3D Affine Model)

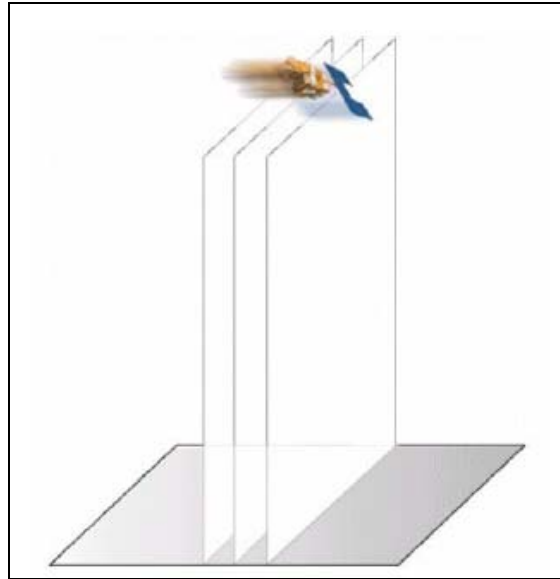
Δυστυχώς πολλοί προμηθευτές παρέχουν εικόνες που έχουν υποστεί επαναδειγματοληψία (resampling) ή ακόμη και διόρθωση (rectification) με αποτέλεσμα μία γραμμή σάρωσης του δορυφόρου να μην αντιστοιχεί σε μία γραμμή της εικόνας.

Με βάση αυτό το φαινόμενο αλλά και εξαιτίας του στενού οπτικού πεδίου (Field of view – FoV) μία επιπλέον απλούστευση μοιάζει λογική.

Εάν υποθεθεί ότι οι δορυφόροι ταξιδεύουν σε υψόμετρο 600km και ότι το FoV είναι μόνο 1° τότε είναι λογικό να υποθεθεί ότι οι οπτικές ακτίνες είναι σχεδόν παράλληλες στον χώρο του αντικειμένου, όπως στην *Εικόνα 1.3* που ακολουθεί.

Επομένως, οκτώ παράμετροι προσανατολισμού καθορίζουν τη σχέση ανάμεσα στον 2D χώρο της εικόνας και στον 3D χώρο του αντικειμένου:

$$x = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z, \quad y = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3Z \quad (1.4)$$



Εικόνα 1.3: Μοντέλο 3D Affine

1.3.5 Παραδείγματα από εφαρμογές μη παραμετρικών μοντέλων δορυφόρων

Στο παράδειγμα που ακολουθεί παρουσιάζεται μία ολοκληρωμένη εφαρμογή για τα παραπάνω μοντέλα και γίνεται μία σύγκριση των επιμέρους μεθόδων [G. Vozikis et al, 2003].

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν περιγράφονται στον Πίνακα 1.1 που ακολουθεί:

Satellite	Location	No of GCPs	RPCs	Image extents
IKONOS	Melbourne (Australia)	52	YES	7396m x 7942m
IKONOS	San Diego (USA)	23	YES	5480m x 1110m
IKONOS	Athens (Greece)	27	NO	11926m x 19747m
SPOT5	Attika (Greece)	30	NO	72551m x 72344m

Πίνακας 1.1: Δεδομένα εφαρμογής

Στα πλαίσια της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι δορυφόρων. Ο IKONOS και ο SPOT5, που είναι pushbroom σαρωτές. Οι εικόνες του δορυφόρου IKONOS είναι προϊόντα υψηλής ακρίβειας και διαθέτουν γεωμετρική ανάλυση 1m στο παγχρωματικό κανάλι. Ο χρόνος επαναφοράς στον Ισημερινό για αυτόν τον δορυφόρο είναι 3 ημέρες και το κοινό επικαλυπτόμενο τμήμα της εικόνας είναι περίπου 11.3km. Οι εικόνες SPOT5 αποκτήθηκαν από τα HRG (High-Resolution Geometric) όργανα στο παγχρωματικό και έχουν γεωμετρική ανάλυση 2.5m. Ο χρόνος επαναφοράς στον Ισημερινό για αυτόν τον δορυφόρο κυμαίνεται από 1 ημέρα έως 4 ημέρες και το κοινό επικαλυπτόμενο τμήμα της εικόνας κυμαίνεται από 60 έως 120km στην περίπτωση που τα δύο HRG

όργανα λειτουργούν ταυτόχρονα. Τα σημεία επιγείου ελέγχου μετρήθηκαν στο επίγειο σύστημα συντεταγμένων με DGPS (Differential Global Positioning System). Κάποια από αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως φωτοσταθερά για τον υπολογισμό των παραμέτρων του μοντέλου και άλλα ως ανεξάρτητα σημεία ελέγχου για την εκτίμηση του μοντέλου. Η a-priori γεωδαιτική ακρίβεια ήταν τα 5cm και τα σημεία προσδιορίστηκαν στην εικόνα με ακρίβεια ½ του pixel.

Προκειμένου να είναι δυνατή η ενδεδειγμένη έρευνα της συμπεριφοράς των μοντέλων και τα αποτελέσματα στην τελική ποιότητα, εφαρμόστηκε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης για τη δημιουργία δύο τέλειων σετ δεδομένων. Και τα δύο σετ δεδομένων βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο εντός της ζώνης 34. Το σετ του SPOT5-HRG καλύπτει μία περιοχή 45km x 72km, ενώ το αντίστοιχο σετ IKONOS καλύπτει μία περιοχή 11km x 11km.

Τα αποτελέσματα των ελέγχων που ακολούθησαν στα σετ δεδομένων του Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.2. Η εκτίμηση έγινε με τη χρήση ανεξάρτητων σημείων ελέγχου για να διαπιστωθεί εάν οι υπολογισμένοι παράμετροι του μοντέλου είναι αποδεκτοί ή όχι. Οι τιμές στην τελευταία στήλη αναφέρονται στο μέσο τετραγωνικό σφάλμα στο χώρο της εικόνας. Το μοντέλο RFM εμφανίζεται σαν Bias Compensated RPCs διότι τα ήδη υπάρχοντα RPCs βελτιώθηκαν με τη χρήση GCPs.

	Testfield	Coordinate System	RMS (pixel)
DLT	Melbourne - IKONOS	Geocentric	0.737
Affine	Melbourne - IKONOS	UTM	0.351
Parallel Perspective	Melbourne - IKONOS	Geocentric	0.308
Bias Compensated RPCs	Melbourne - IKONOS	Geographic	0.519
Estimated RPCs	Melbourne - IKONOS	Geographic	0.351
Affine			
	San Diego - IKONOS	UTM	0.473
Bias Compensated RPCs	San Diego - IKONOS	Geographic	0.658
Estimated RPCs	San Diego - IKONOS	Geographic	0.474
Affine			
	Athens - IKONOS	UTM	0.723
DLT	Athens - IKONOS	Geocentric	1.089
Affine	Athens - IKONOS	UTM	0.723
Parallel Perspective	Athens - IKONOS	UTM	1.952
Affine			
	Attika - Spot5	Geocentric	0.902
DLT	Attika - Spot5	Geocentric	0.912
Affine	Attika - Spot5	Geocentric	0.902
Parallel Perspective	Attika - Spot5	UTM	2.367

Πίνακας 1.2: Αποτελέσματα των ελέγχων

Το βέλτιστο σύστημα συντεταγμένων μοιάζει να είναι το UTM, κυρίως εξαιτίας του τοπικού του χαρακτήρα. Αρκετές φορές στο γεωκεντρικό σύστημα συντεταγμένων προέκυψαν σχεδόν τόσο καλά

αποτελέσματα όπως στο σύστημα UTM. Η εργασία στο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων συχνά οδήγησε σε αριθμητικές αστάθειες. Αν και οι έρευνα πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας διάφορους συνδυασμούς από GCPs, ο πίνακας που προηγήθηκε παρουσιάζει μόνο τα αποτελέσματα που προέκυψαν με τη χρήση 8 καλά κατανεμημένων φωτοσταθερών. Το καλύτερο μοντέλο για την περιγραφή των δεκτών SPOT5 και IKONOS μοιάζει να είναι το Affine Model. Αυτό παρουσιάζει και στο γεωκεντρικό σύστημα συντεταγμένων και στην UTM πολύ καλά αποτελέσματα. Το μοντέλο DLT δείχνει να αποδίδει αποδεκτά αποτελέσματα μόνο στο γεωκεντρικό σύστημα συντεταγμένων με απαραίτητη την ύπαρξη αρκετών πλεοναζουσών παρατηρήσεων.

Δυστυχώς οι διαθέσιμες εικόνες δεν είναι ακατέργαστα δεδομένα. Αυτός είναι ο κύριος λόγος που εξηγεί το γιατί το Parallel Perspective Model δεν αποδίδει πάντα καλά αποτελέσματα αν και θεωρητικά αποτελεί την ιδανική προσέγγιση για την μοντελοποίηση των pushbroom σαρωτών. Ωστόσο τα αποτελέσματα πλησιάζουν αρκετά αυτά του Affine Model. Στην περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμα περισσότερα από 8 GCPs, τα αποτελέσματα του Parallel Perspective Model προκύπτουν ακόμη καλύτερα από αυτά του Affine Model, αν και τα δεδομένα είναι προεπεξεργασμένα. Για τα συγκεκριμένα σετ δεδομένων ένα μέγιστο 8 παραμέτρων μοιάζει να είναι αρκετό για να μοντελοποιηθεί η σχέση ανάμεσα στο χώρο της εικόνας και στο χώρο του αντικειμένου.

Δεν πρέπει να προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι τα καλύτερα αποτελέσματα για τα εξομοιωμένα σετ δεδομένων αποκτήθηκαν με το Parallel Perspective model, καθώς αυτά δημιουργήθηκαν με την τεχνική σάρωσης γραμμής. Οι ακρίβειες είναι της τάξης του ενός pixel.

1.4 Το μοντέλο RFM

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει διαθέσιμη ακριβής πληροφορία για τον δέκτη και την τροχιά που ακολουθεί, δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί κάποιο παραμετρικό μοντέλο. Συνεπώς θα πρέπει να εφαρμοστεί μία μη-παραμετρική λύση, η οποία στην πράξη αποτελεί ένα μαθηματικό μοντέλο που υλοποιείται με τη χρήση ορισμένων γενικών συναρτήσεων, χωρίς να μοντελοποιείται η φυσική διαδικασία λήψης των εικόνων. Τελικά, το μοντέλο που καθιερώθηκε ευρέως, κυρίως εξαιτίας του γεγονότος ότι πολλοί προμηθευτές δορυφορικών εικόνων το υιοθέτησαν για την εκμετάλλευση των εικόνων που παρέχουν, είναι το Rational Function Model (RFM). Αυτό στηρίζεται σε κλάσματα πολυωνύμων με διάφορο βαθμό, από 0 έως 2. Οι παράμετροι των προσανατολισμών τηρούνται απόρρητοι, καθώς δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός τους

από τις παραμέτρους του RFM, τους Rational Polynomial Coefficients (RPCs). Οι RPCs εκτιμώνται, αν δεν χορηγούνται από τους προμηθευτές, με τη χρήση ενός μεγάλου αριθμού σημείων επίγειου ελέγχου.

Για εικόνες που παρέχονται με τα RPC, η ειδική πληροφορία του δέκτη, όπως τύπος δέκτη, εστιακή απόσταση και θέση πρωτεύοντος σημείου, είναι άγνωστα. Αντί αυτών παρέχεται ένα σύνολο κλασματικών πολυωνυμικών συντελεστών για να περιγράψουν τη σχέση ενός σημείου στην εικόνα με το αντίστοιχο επίγειο σημείο, όπως φαίνεται στην εξίσωση που ακολουθεί:

$$\begin{aligned} x &= \frac{P_1(X,Y,Z)}{P_2(X,Y,Z)} \\ y &= \frac{P_3(X,Y,Z)}{P_4(X,Y,Z)} \end{aligned} \quad (1.5)$$

όπου (x, y) είναι οι συντεταγμένες των pixel της εικόνας και (X,Y,Z) είναι οι αντίστοιχες επίγειες συντεταγμένες. Το $P_i(X,Y,Z)$ είναι μία πολυωνυμική συνάρτηση του σημείου (X,Y,Z) , συνήθως 3^{ου} βαθμού με 20 συντελεστές για κάθε συνάρτηση:

$$\begin{aligned} P_i(X,Y,Z) = & a_{i0} + a_{i1}X + a_{i2}Y + a_{i3}Z + a_{i4}X^2 + a_{i5}XY + \\ & a_{i6}Y^2 + a_{i7}YZ + a_{i8}XZ + a_{i9}Z^2 + a_{i10}X^3 + \\ & a_{i11}X^2Y + a_{i12}X^2Z + a_{i13}XY^2 + a_{i14}XZ^2 + \\ & + a_{i15}Y^3 + a_{i16}Y^2Z + a_{i17}YZ^2 + a_{i18}Z^3 + \\ & a_{i19}XYZ \end{aligned} \quad (1.6)$$

όπου $i = 1, 2, 3$ και 4 , αντιπροσωπεύουν 4 διαφορετικά πολώνυμα αντιστοίχως. Από τη στιγμή που αυτοί οι συντελεστές υπολογίζονται από την πληροφορία του δέκτη και από τις εφημερίδες της τροχιάς του, δεν είναι αρκετά ακριβείς για να ορθοδιορθώσουν την εικόνα στην ακρίβεια που απαιτείται συνήθως για χαρτογραφικούς σκοπούς.

Για την βελτίωση της επιδιωκόμενης ακρίβειας καθιερώθηκε η επιβολή μίας επιπλέον πολυωνυμικής διόρθωσης στο μοντέλο του δέκτη, όπως περιγράφεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$\begin{aligned}
x + f_1(x, y) &= \frac{P_1(X, Y, Z)}{P_2(X, Y, Z)} \\
y + f_2(x, y) &= \frac{P_3(X, Y, Z)}{P_4(X, Y, Z)}
\end{aligned}
\tag{1.7}$$

όπου η συνάρτηση $f(x, y)$ μπορεί να είναι πολυώνυμο $0^{\text{ου}}$, $1^{\text{ου}}$ ή $2^{\text{ου}}$ βαθμού το οποίο επιλέγεται κατάλληλα, ανάλογα με τον αριθμό των διαθέσιμων σημείων προσαρμογής των εικόνων (GCP) και περιγράφεται όπως παρακάτω:

$$\begin{aligned}
f_1(x, y) &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 \\
f_2(x, y) &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2
\end{aligned}
\tag{1.8}$$

Πρόκειται για μία απλή μετάθεση όταν το πολυώνυμο είναι $0^{\text{ου}}$ βαθμού ενώ όταν είναι $1^{\text{ου}}$ βαθμού πρόκειται για έναν 2διάστατο αφινικό μετασχηματισμό.

Σε κάθε παράμετρο μπορεί να δοθεί μεμονωμένα βάρος. Δίνοντας ένα συγκεκριμένο βάρος σε μία συγκεκριμένη παράμετρο τότε αυτή μπορεί να κρατηθεί σε μία συγκεκριμένη τιμή ή ακόμη και να εξαιρεθεί από την επίλυση του μοντέλου.

Μία συνόρθωση κατά μπλόκ δέσμης θα εφαρμοστεί για την επίλυση αυτών των παραμέτρων. Το όφελος από την χρήση αυτού του απλού πολυωνυμικού μοντέλου είναι ότι αυτό μπορεί να αρχίσει να βελτιώνεται εφόσον υπάρχει διαθέσιμο έστω και ένα GCP. Όταν υπάρχουν περισσότερα GCPs, περισσότερες παράμετροι μπορούν να συμπεριληφθούν με σκοπό να συμψηφιστούν τα συστηματικά σφάλματα που περιλαμβάνονται στα RPCs.

Ο Πίνακας 1.3 παρουσιάζει το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) των υπολοίπων των εικονοσυντεταγμένων των σημείων ελέγχου (check point image residuals) από δύο σετ δεδομένων. Για τη διατήρηση της μυστικότητας των προμηθευτών των δεδομένων, τα ονόματα των δεκτών δεν δίνονται στη δημοσιότητα [Y. Wang et al, 2008]. Μπορεί κάποιος να διαπιστώσει ότι το αρχικό RPC μοντέλο παρουσιάζει σημαντικά σφάλματα, 80 και 20 pixels στο κάθε σετ αντίστοιχα. Με τη χρήση 1 ή 2 GCPs, το σφάλμα μπορεί να περιοριστεί στο 1/10 έως 1/20 του αρχικού.

Ένα επιπλέον ενδιαφέρον σημείο που μπορεί να παρατηρήσει κανείς είναι ότι δεν είναι αναγκαίο να αυξάνεται η ακρίβεια όσο αυξάνεται και ο βαθμός του πολυωνύμου.

$rmse = \sqrt{(rx^2 + ry^2) / 2n}$		check point RMSE (pixels)		
		0 order	1 st order	2 nd order
data set I: check points n=3	No Refine	79.17		
	1 GCP	4.88		
	3 GCPs	3.80	3.93	
data set II: check points n=5	No Refine	20.89		
	2 GCPs	2.40		
	4GCPs	1.91	2.48	
	6 GCPs	1.87	2.24	2.28

Πίνακας 1.3: Το RMSE των υπολοίπων των Check Points στην βελτίωση των RPC [Y. Wang et al, 2008]

1.5 Τροχιακό Μοντέλο με Δεδομένα Εφημερίδων

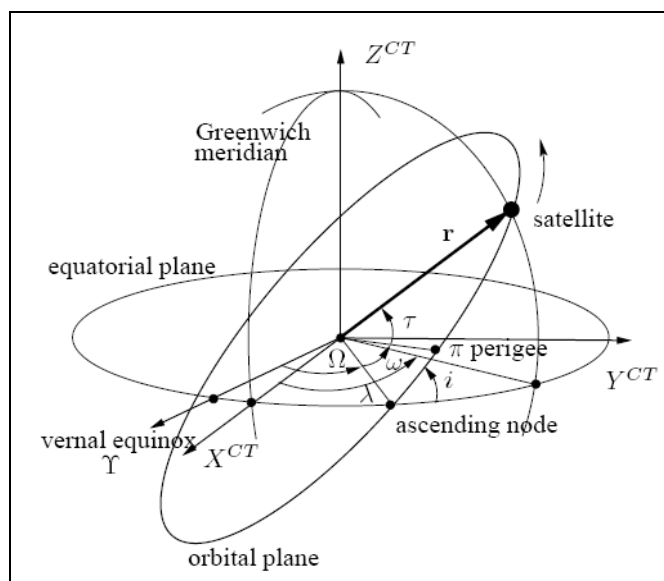
Αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της κατηγορίας των παραμετρικών μοντέλων (orbital parameter model). Μπορεί να εφαρμοστεί στις εικόνες pushbroom με σκοπό τον καθορισμό των παραμέτρων του εξωτερικού προσανατολισμού. Η χρήση αυτού του είδους μοντέλων βασίζεται στη διαθεσιμότητα δεδομένων του δορυφόρου καθώς και της εφημερίδας του δορυφόρου.

Μια μέθοδος τροχιακής οπισθοτομίας έχει αναπτυχθεί προκειμένου να μοντελοποιηθεί η συνεχής αλλαγή της θέσης και της συμπεριφοράς των δεκτών με την χρησιμοποίηση των τροχιακών παραμέτρων του δορυφόρου κατά τη διάρκεια λήψης της εικόνας. Επίσης μια συνόρθωση κατά μπλοκ δέσμης έχει αναπτυχθεί προκειμένου να καθοριστούν αυτές οι παράμετροι με τη χρησιμοποίηση γνωστών επίγειων σημείων.

Πιο συγκεκριμένα η συνθήκη συγγραμμικότητας συσχετίζει τις συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα αναφοράς του δέκτη με εκείνες του αντικειμένου στο επίγειο σύστημα αναφοράς. Η συσχέτιση ανάμεσα σ' αυτά τα δύο συστήματα βασίζεται σε τρεις στροφές χρησιμοποιώντας συνδυασμούς των Κεπλέρων στοιχείων, με επιπλέον τρεις στροφές (ω , φ , κ) του δορυφόρου κατά τη στιγμή της λήψης (Εικόνα 1.4).

Γενικά οι προμηθευτές εικόνων των νεότερων pushbroom δεκτών τις παρέχουν με αρχεία μεταδεδομένων, τα οποία εμπεριέχουν λεπτομέρειες για τον δέκτη, τη θέση του, την ταχύτητά του και τη συμπεριφορά του (attitude information). Αυτά τα δεδομένα προέρχονται από όργανα που βρίσκονται πάνω στο δέκτη, όπως το Star Tracker, Gyro, GPS και Sun sensor.

Αυτά μπορεί να είναι υψηλής ακρίβειας, αλλά συνήθως οι παρατηρήσεις αυτές χρειάζεται να μετατραπούν σε στοιχεία εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού, για χαρτογραφικούς σκοπούς.



Εικόνα 1.4: Τροχιακές σχέσεις δορυφόρου

Η μετατροπή μπορεί να σχετίζεται με μία σειρά συστημάτων συντεταγμένων, όπως το σύστημα των συντεταγμένων των pixels, της κάμερας, του δορυφορικού δέκτη (satellite body), το τροχιακό σύστημα, το γεωκεντρικό αδρανειακό σύστημα (Earth centred inertial, ECI), το γεωκεντρικό σταθερό σύστημα (Earth centred Fixed, ECF) και το προβολικό σύστημα.

Πολλοί προμηθευτές παρέχουν εικόνες με εφημερίδες με τη θέση του δέκτη, την ταχύτητα και τη συμπεριφορά του στο σύστημα ECF, όπως ο SPOT 5 και ο QuickBird. Έπειτα ο πελάτης των εικόνων θα πρέπει να μετατρέψει την πληροφορία από το σύστημα ECF, στο Γεωδαιτικό και έπειτα σε ένα τοπικό προβολικό σύστημα (local space rectangular, LSR).

Κάποιοι άλλοι προμηθευτές εικόνων παρέχουν πληροφορίες εφημερίδων βασισμένες στο σύστημα ECI, όπως για τον EROS, FORMOSAT 2 και THEOS. Στην περίπτωση αυτή ο πελάτης πρέπει αρχικά να μετατρέψει την πληροφορία για τη θέση και τη συμπεριφορά του δέκτη, από το σύστημα ECI στο ECF. Η μετατροπή του συστήματος ECI στο ECF περιλαμβάνει 4 στροφές, ειδικότερα στροφές που προκαλούνται από την αστρική γωνία (Sidereal Time), την κλόνηση (notation), μετάπτωση (precession) και κίνηση (polar motion) του πόλου.

Επιπλέον η πληροφορία για τη συμπεριφορά του δέκτη παραδίδεται συνήθως σε μία τετράδα παραμέτρων $q1$, $q2$, $q3$ και $q4$. Αυτές θα πρέπει να μετατραπούν σε συμβατικές παραμέτρους στροφής (ω , φ , κ), με τη βοήθεια ενός πίνακα στροφής. Από τη στιγμή που αυτές οι προετοιμασίες

ολοκληρωθούν οι παράμετροι του εξωτερικού προσανατολισμού είναι διαθέσιμοι σαν συνάρτηση του χρόνου t .

Εφόσον κάθε γραμμή της εικόνας του pushbroom δέκτη ικανοποιεί μία κεντρική προβολή, τα σημεία της εικόνας με τα αντίστοιχα επίγεια σημεία υπακούουν στην συνθήκη συγγραμμικότητας:

$$\begin{bmatrix} x - p_x \\ -p_y \\ -f \end{bmatrix} = \lambda \cdot M \cdot \begin{bmatrix} X - X_s \\ Y - Y_s \\ Z - Z_s \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

όπου x είναι η εικονοσυντεταγμένη του τυχαίου pixel στη γραμμή σάρωσης (framelet).

Αντίστοιχα (X, Y, Z) είναι οι επίγειες συντεταγμένες, p_x, p_y είναι το πρωτεύον σημείο, f είναι η εστιακή απόσταση. Ο πίνακας στροφής M από τις στροφές $(\omega, \varphi, \kappa)$ και το προβολικό κέντρο (X_s, Y_s, Z_s) μπορούν να εξαχθούν από την πληροφορία της εφημερίδας μετά την μετατροπή.

Επειδή ο εξωτερικός προσανατολισμός $(X_s, Y_s, Z_s, \omega, \varphi, \kappa)$ από τις εφημερίδες μπορεί να μην είναι αρκετά ακριβής, χρησιμοποιείται το παρακάτω μοντέλο για καλύτερη προσαρμογή στην επιφάνεια της Γης, όταν είναι διαθέσιμα φωτοσταθερά σημεία (GCPs):

$$\begin{bmatrix} x - p_x \\ -p_y \\ -f \end{bmatrix} = \lambda \cdot \Delta M \cdot M \cdot \begin{bmatrix} X - X_s - \Delta X_s \\ Y - Y_s - \Delta Y_s \\ Z - Z_s - \Delta Z_s \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

όπου ο επιπρόσθετος πίνακας στροφής ΔM και οι διορθώσεις $(\Delta X_s, \Delta Y_s, \Delta Z_s)$ αναπαριστούν την επιπρόσθετη διόρθωση στον εξωτερικό προσανατολισμό που προκύπτει από τις εφημερίδες.

Από τον διαθέσιμο αριθμό των GCPs και την ακρίβεια της πληροφορίας των εφημερίδων, η διόρθωση που επιβάλλεται στον εξωτερικό προσανατολισμό μπορεί να είναι μία απλή μετάθεση ή πολυώνυμο μεγαλύτερου βαθμού. Κάθε παράμετρος μπορεί να έχει διαφορετικό βαθμό και βάρος. Μία συνόρθωση κατά μπλόκ δέσμης εφαρμόζεται έτσι ώστε να καθοριστούν οι βέλτιστες διορθώσεις για τις παραμέτρους καθώς και οι επίγειες συντεταγμένες των σημείων.

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τα αποτελέσματα από αρκετά σετ δεδομένων και διαφορετικούς pushbroom δέκτες. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) των συντεταγμένων των σημείων ελέγχου (check points), στο σύστημα αναφοράς της εικόνας, κατά x και y ξεχωριστά και το RMSE του σημείου που ισούται με:

$$RMSE(pt) = \sqrt{RMSE^2(x) + RMSE^2(y)} \quad (1.11)$$

Data Source		check point RMSE (pixels)		
		RMSE(x)	RMSE(y)	RMSE(Pt)
Dataset I check points n=5	No GCP	31.85	71.99	78.72
	3 GCPs	1.79	2.01	2.75
	7 GCPs	1.73	1.18	2.10
	13 GCPs	0.69	0.95	1.18
Dataset II check points n=6	No GCP	39.28	1214.05	1214.68
	3 GCPs	24.75	22.95	33.75
	6 GCPs	1.04	3.03	3.20
	9 GCPs	0.76	2.16	2.29
Dataset III check points n=4	No GCP	16.91	32.92	37.01
	3 GCPs	0.41	3.25	3.28
	6 GCPs	0.39	1.03	1.10
	9 GCPs	0.37	0.96	1.03
Dataset IV check points n=4	No GCP	2.67	8.65	9.05
	3 GCPs	0.97	0.57	1.13
	6 GCPs	0.49	0.82	0.96
	9 GCPs	0.54	0.59	0.80

Πίνακας 1.4: Το RMSE των υπολοίπων των Check Points στην βελτίωση του τροχιακού pushbroom μοντέλου [Y. Wang et al, 2008]

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τον παραπάνω πίνακα είναι:

- Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται μόνο οι εφημερίδες, χωρίς GCPs, η ακρίβεια είναι χειρότερη κατά την κατεύθυνση της πτήσης (κατεύθυνση y).
- Η ακρίβεια που παρέχουν οι πληροφορίες των εφημερίδων μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάμεσα στους δέκτες και ανάμεσα στα σετ δεδομένων.
- Με την χρήση έστω και λίγων GCPs η ακρίβεια του προσανατολισμού μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά, με το μοντέλο αυτό.
- Συγκρινόμενος ο πίνακας αυτός με τον Πίνακα 1.3, συμπεραίνεται ότι το τροχιακό pushbroom μοντέλο μπορεί να επιτύχει μεγαλύτερη ακρίβεια από το βελτιωμένο RPC μοντέλο, συμπέρασμα βέβαια που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

1.6 Γενικευμένο Pushbroom Μοντέλο

Κάποιοι οίκοι που διαχειρίζονται παλιότερους δορυφορικούς pushbroom δέκτες παρέχουν εικόνες χωρίς λεπτομερείς εφημερίδες ή RPCs. Απλά μαζί με τις εικόνες δίνουν και κάποιες βασικές παραμέτρους για τον δέκτη, όπως την εστιακή απόσταση, ένα ονομαστικό ύψος πτήσης, γωνίες λήψης κατά μήκος και εγκάρσια της τροχιάς. Για παράδειγμα, οι SPOT και IRS-1C παρέχουν αυτού του είδους εικόνες. Στην περίπτωση αυτή ένα γενικευμένο μοντέλο pushbroom δέκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί, το οποίο εξακολουθεί να περιγράφει κάθε γραμμή σάρωσης με τη συνθήκη συγγραμμικότητας και οι παράμετροι του εξωτερικού προσανατολισμού θα αλλάξουν σε συνάρτηση με τον χρόνο, σε πολυωνυμική μορφή, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x} - \mathbf{x}_0 \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} = \lambda \cdot M(\omega, \varphi, \kappa) \cdot \begin{bmatrix} X - X_s \\ Y - Y_s \\ Z - Z_s \end{bmatrix} \quad (1.12)$$

όπου:

$$\begin{aligned} X_s &= x_0 + a_1 * t + a_2 * t^2 + \dots \\ Y_s &= Y_0 + b_1 * t + b_2 * t^2 + \dots \\ Z_s &= Z_0 + c_1 * t + c_2 * t^2 + \dots \\ \omega &= \omega_0 + d_1 * t + d_2 * t^2 + \dots \\ \varphi &= \varphi_0 + e_1 * t + e_2 * t^2 + \dots \\ \kappa &= \kappa_0 + f_1 * t + f_2 * t^2 + \dots \end{aligned} \quad (1.13)$$

όπου τα a_i , b_i , c_i και τα λοιπά, είναι συντελεστές πολυωνύμων. Αντίθετα με το βελτιωμένο RPC μοντέλο ή το τροχιακό Pushbroom μοντέλο, θα πρέπει να υπάρχουν αρκετά GCPs για να λυθεί το μοντέλο και να προκύψουν τελικά επίγειες συντεταγμένες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΟ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ «ΜΙΚΤΟΥ ΔΕΚΤΗ» ΤΟΥ LEICA PHOTOGRAMMETRY SUITE

2.1 Εισαγωγή

Στις συνήθειες κλασικές φωτογραμμετρικές εργασίες η πρακτική που ακολουθείται είναι η χρησιμοποίηση ενός συνόλου αεροφωτογραφιών που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια μίας κοινής αεροφωτογράφισης από μία μόνο φωτομηχανή και η επεξεργασία τους για την παραγωγή των επιθυμητών προϊόντων.

Παρόμοια, τα στερεοζεύγη των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιούνται για φωτογραμμετρικές εργασίες αποτελούνται από εικόνες του ίδιου δέκτη και του ίδιου γεωμετρικού μοντέλου (RFM, ORBITAL κ.α.), σε διαδοχικές λήψεις κατά την τροχιά κίνησης του δορυφόρου, είτε στερεοζεύγη εικόνων του ίδιου δέκτη που έχουν ληφθεί από διαδοχικές λήψεις κατά την εγκάρσια κατεύθυνση της κίνησης του δορυφόρου (διαδοχικές τροχιές).

Επίσης, τα όργανα και οι εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί διαχρονικά βασίζονται ως επί το πλείστον σε αυτήν την αρχή.

Ουσιαστική διαφοροποίηση από τη συγκεκριμένη μεθοδολογία εισήγαγε η δημιουργία από την εταιρία Leica του Μοντέλου Μικτού Δέκτη (Mixed Sensor Model), που αποτελεί εφαρμογή του Photogrammetry Suite (LPS). Στην πράξη καθίσταται δυνατή η χρησιμοποίηση σε ένα κοινό μπλοκ εικόνων από διαφορετικούς δέκτες, με διαφορετικά προβολικά συστήματα και διαφορετικά υψομετρικά datums, καθώς και διαφορετικές μονάδες μετρήσεις.

Ο συνδυασμός εικόνων από διαφορετικούς δέκτες έχει μεγάλο οικονομικό ενδιαφέρον καθώς:

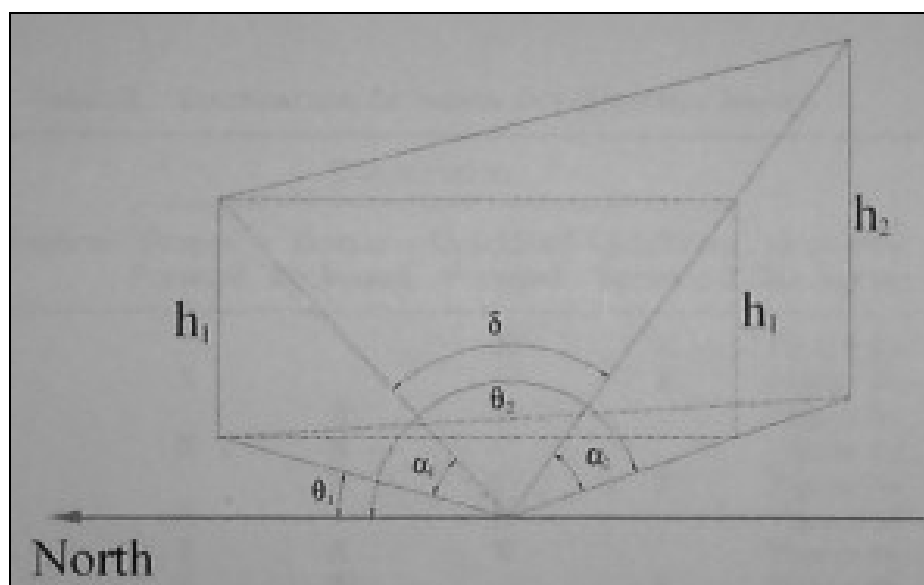
- Το κόστος απόκτησης ενός στερεοζεύγους εικόνων είναι δυσανάλογο σε σχέση με εκείνο της απόκτησης δύο απλών εικόνων.
- Εάν υπάρχει ήδη μία εικόνα μίας περιοχής και απαιτείται η δημιουργία στερεομοντέλου τότε είναι ενδεχομένως δυνατή η απόκτηση μίας μόνο εικόνας, άρα περιορίζεται σημαντικά το κόστος.
- Για μεγάλες εταιρίες και οργανισμούς που έχουν πλούσιο αρχείο διαχρονικών δορυφορικών εικόνων η χρησιμοποίηση του Mixed Sensor Model παρέχει ακόμη περισσότερες δυνατότητες αξιοποίησης του υπάρχοντος αρχείου.

2.2 Συνδυασμός Δορυφορικών Εικόνων από Διαφορετικούς δέκτες

Η διεθνής εμπειρία σε αυτόν τον χώρο είναι περιορισμένη, ειδικά όσον αφορά τις εικόνες υψηλής ανάλυσης. Ωστόσο τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από το συνδυασμό ενός στερεοζεύγους Quickbird και ενός στερεοζεύγους Ikonos, με τη βοήθεια ενός ειδικού προγράμματος που αναπτύχθηκε για τη συγκεκριμένη εφαρμογή [Rongxing Li et al, 2007], είναι τα παρακάτω:

α. Από την κοινή αντιμετώπιση εικόνων Quickbird με εικόνες Ikonos, επιτυγχάνονται καλύτερες ακρίβειες σε σχέση με το στερεοζεύγος Ikonos που είναι χαμηλότερης ανάλυσης.

β. Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της τελικής ακρίβειας διαδραματίζει η γεωμετρία – θέση του δορυφόρου κατά τη στιγμή της λήψης της εικόνας. Πιο συγκεκριμένα, όταν δημιουργούνται στερεοζεύγη είτε περιπτώσεις τριγωνισμού τριών εικόνων, τότε η τελική ακρίβεια εξαρτάται άμεσα από τη γωνία σύγκλισης δ των εικόνων, όπως αυτή ορίζεται στην *Εικόνα 2.1*. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή τόσο μεγαλύτερη είναι και η επιτυγχανόμενη ακρίβεια.



Εικόνα 2.1: Η γωνία σύγκλισης δ των εικόνων 1 και 2.

γ. Η γωνία σύγκλισης στις περιπτώσεις στερεοζευγών έχει μεγαλύτερη επίδραση κατά τον άξονα Y (κατά μήκος της τροχιάς του δέκτη) και κατά τον άξονα Z (υψόμετρο), παρά κατά τον άξονα X (κατά την εγκάρσια διεύθυνση της τροχιάς του δέκτη).

δ. Από την κοινή αντιμετώπιση και των δύο στερεοζευγών ταυτόχρονα δεν παράγεται πιο ακριβές αποτέλεσμα σε σχέση με το στερεοζεύγος Quickbird, κάτι που ήταν αναμενόμενο, επειδή είναι υψηλότερης ανάλυσης.

ε. Τα παραπάνω συμπεράσματα είναι αξιόπιστα μόνο σε μη ορεινές περιοχές, διότι σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα.

2.3 Μοντέλα Γεωαναφοράς Δορυφορικών Εικόνων στο LPS

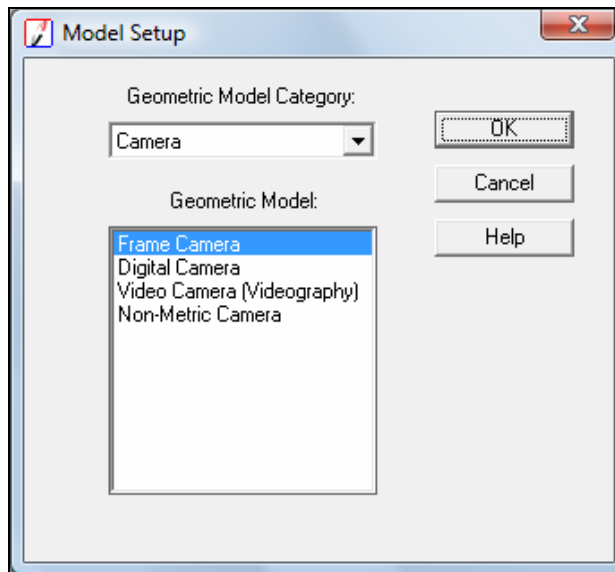
Για την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων στο λογισμικό LPS δημιουργείται αρχικά ένα αρχείο με κατάληξη .blk στο οποίο ουσιαστικά δηλώνονται από τον χειριστή όλες οι απαραίτητες παράμετροι του μπλοκ των εικόνων. Απαραίτητως θα πρέπει πρώτα από όλα να δηλωθεί το γεωμετρικό μοντέλο του δέκτη και ακολούθως το προβολικό σύστημα, το ελλειψοειδές, το Datum των τελικών προϊόντων, καθώς και το σύστημα στροφής των αξόνων Ωμέγα, Φι, Κάπα και το μέσο ύψος πτήσης για τις κλασικές φωτομηχανές. Αφού δηλωθούν προσεκτικά τα παραπάνω, ο χειριστής είναι σε θέση πλέον να προχωρήσει σε όποια εφαρμογή απαιτείται.

Πιο συγκεκριμένα, το γεωμετρικό μοντέλο του δέκτη καθορίζει τα εσωτερικά και εξωτερικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του. Τα εσωτερικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν παραμέτρους που καθορίζουν την εσωτερική γεωμετρία της κάμερας ή του δέκτη του δορυφόρου κατά τη στιγμή της λήψης της εικόνας. Τα εξωτερικά χαρακτηριστικά καθορίζουν τη θέση και τον προσανατολισμό της κάμερας ή του δέκτη του δορυφόρου κατά τη στιγμή της λήψης της εικόνας.

Συνεπώς κάθε κάμερα ή δέκτης δορυφόρου έχει διαφορετικά εσωτερικά και εξωτερικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με αυτόν και το LPS προσδιορίζει σε κάθε περίπτωση τα παραπάνω με τη βοήθεια των στοιχείων που δηλώνονται από τον χειριστή.

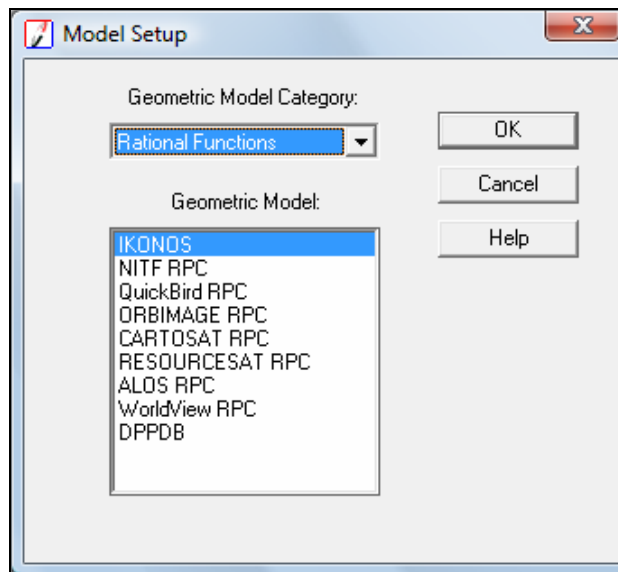
Η επιλογή του γεωμετρικού μοντέλου γίνεται, όπως προαναφέρθηκε, στη φάση της δημιουργίας ενός νέου μπλοκ και υλοποιείται επιλέγοντας από την κεντρική μπάρα εργαλείων File >New > Create New Block File > Model Setup > Geometric Model Category. Οι επιλογές που έχει πλέον ο χειριστής είναι:

- **Camera** Πρόκειται για την κλασική φωτομηχανή. Τα χαρακτηριστικά της που δηλώνονται είναι η εστιακή απόσταση, η θέση του πρωτεύοντος σημείου, οι θέσεις των εικονοσημάτων και η ακτινική διαστροφή των φακών (Εικόνα 2.2).



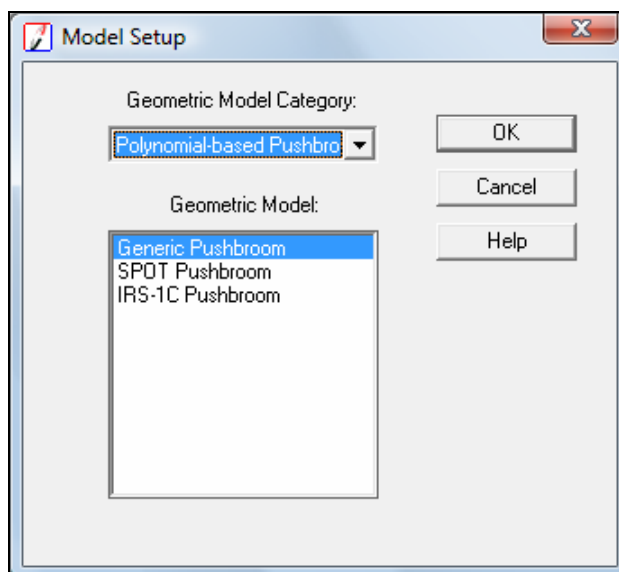
Εικόνα 2.2: Η κατηγορία Camera με τα επιμέρους γεωμετρικά της μοντέλα.

- **Rational Functions** Αυτά τα γεωμετρικά μοντέλα χρησιμοποιούν τα αρχεία των συντελεστών κλασματικών πολυωνύμων (Rational Polynomial Coefficient - RPC) (Εικόνα 2.3).



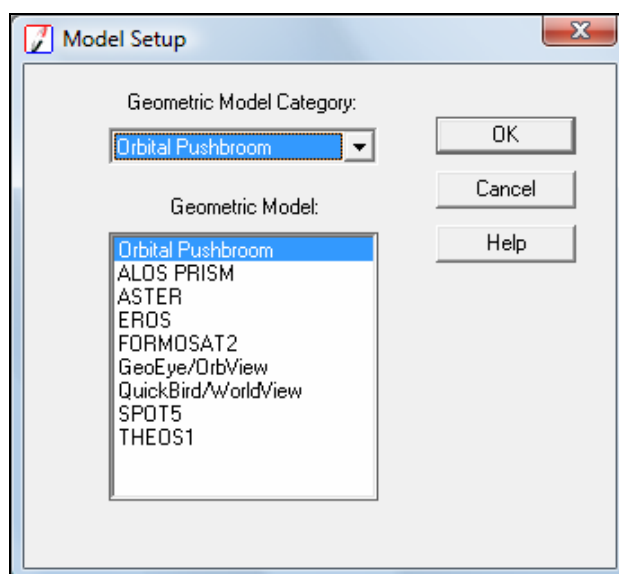
Εικόνα 2.3: Η κατηγορία Rational Functions με τα επιμέρους γεωμετρικά της μοντέλα.

- **Polynomial-based Pushbroom** Οι εικόνες των Pushbroom δεκτών συλλέγονται σαν ένα σύνολο σαρωμένων γραμμών κατά μήκος της τροχιάς του δέκτη, ενώ η κάθε σαρωμένη γραμμή έχει το δικό της προβολικό κέντρο και τις δικές της γωνίες στροφής που μοντελοποιούνται με πολυωνυμικές συναρτήσεις (Εικόνα 2.4).



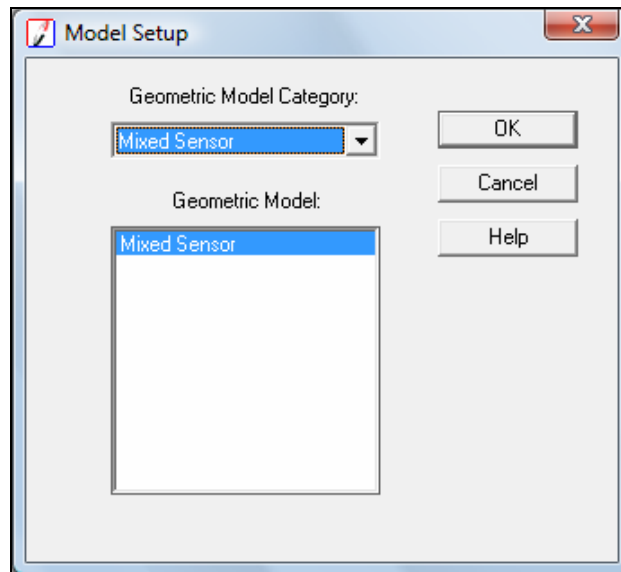
Εικόνα 2.4: Η κατηγορία *Polynomial-based Pushbroom* με τα επιμέρους γεωμετρικά της μοντέλα.

- **Orbital Pushbroom** Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούν πλήρως τις εφημερίδες των τροχιών των δορυφόρων. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα συγκεκριμένα μοντέλα πάντα λαμβάνουν υπόψη την καμπυλότητα της Γης (Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5: Η κατηγορία *Orbital Pushbroom* με τα επιμέρους γεωμετρικά της μοντέλα.

- **Mixed Sensor** Αυτό δεν αποτελεί ένα ιδιαίτερο γεωμετρικό μοντέλο, απλά οι εικόνες που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτό έχουν συσχετιστεί ήδη με κάποιο από τα προηγούμενα γεωμετρικά μοντέλα (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.6: Η κατηγορία Mixed Sensor.

2.4 Χαρακτηριστικά του Μοντέλου Μικτού Δέκτη (Mixed Sensor Model)

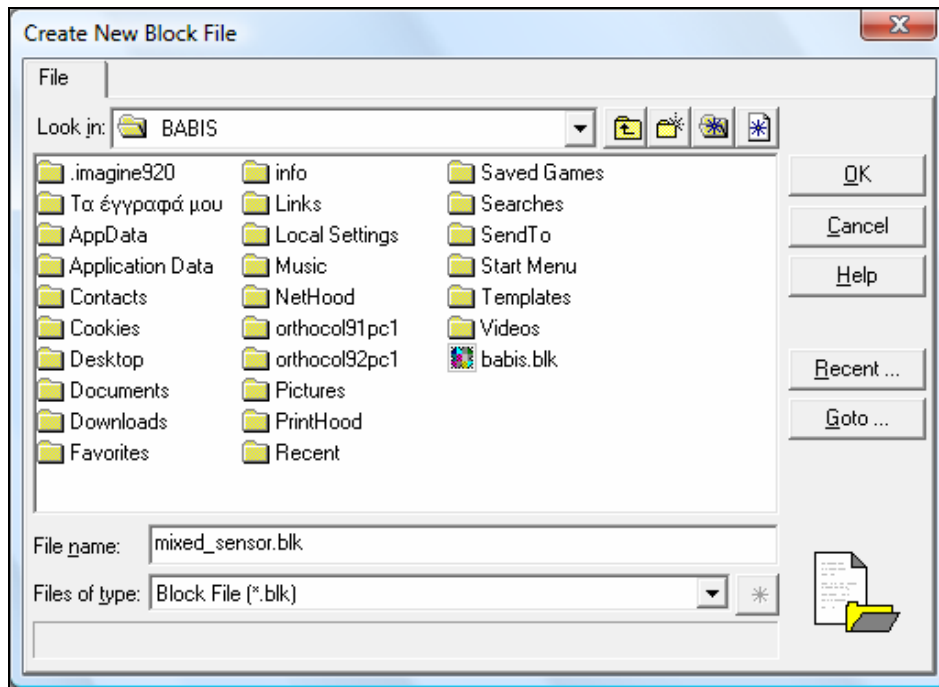
Με το μοντέλο μικτού δέκτη οι calibrated εικόνες, οι εικόνες για τις οποίες έχουν επιλυθεί οι προσανατολισμοί και τα αρχεία SOCET SET (*.sup) μπορούν να εισαχθούν σε ένα ενιαίο μπλοκ. Ουσιαστικά για να συμπεριληφθεί μία εικόνα σε ένα μοντέλο μικτού δέκτη θα πρέπει να έχει επιλυθεί ο εσωτερικός και ο εξωτερικός της προσανατολισμός.

Εικόνες οι οποίες δεν έχουν συσχετιστεί με κάποιο γεωμετρικό μοντέλο δέκτη δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτό. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εικόνες με διαφορετικά προβολικά συστήματα και διαφορετικά υψομετρικά datums, καθώς και διαφορετικές μονάδες μέτρησης.

Συνεπώς το μοντέλο μικτού δέκτη δεν αποτελεί ένα νέο γεωμετρικό μοντέλο, απλά χρησιμοποιεί τις ιδιότητες των ήδη υπάρχοντων.

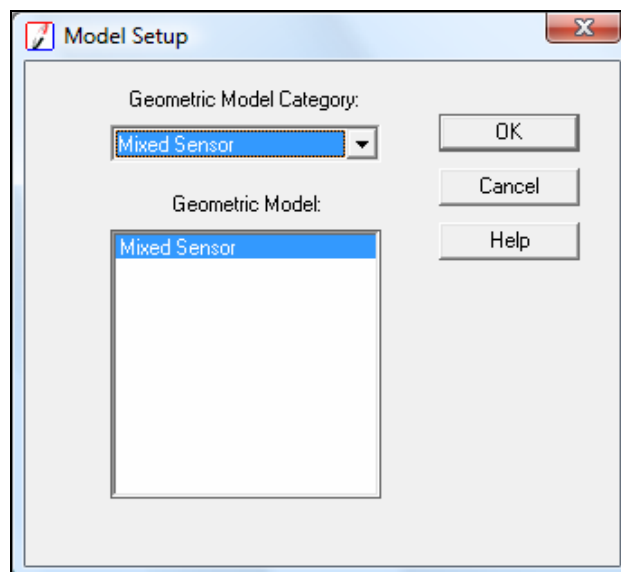
Μία ιδιαιτερότητα του μοντέλου, σε σχέση με τα υπόλοιπα που παρέχονται από το λογισμικό, είναι ότι δεν δίνεται η επιλογή στο χειριστή να εκτελέσει τριγωνισμό των εικόνων, παρά μόνο να εκτελέσει μία παρόμοια διαδικασία που αποκλειστικά ελέγχει τα σφάλματα των GCPs.

Πιο αναλυτικά το μοντέλο μικτού δέκτη υλοποιείται επιλέγοντας από την κεντρική μπάρα εργαλείων File >New > Create New Block File ... Έπειτα επιλέγεται το όνομα του μπλοκ, π.χ. mixed_sensor.blk (Εικόνα 2.7).



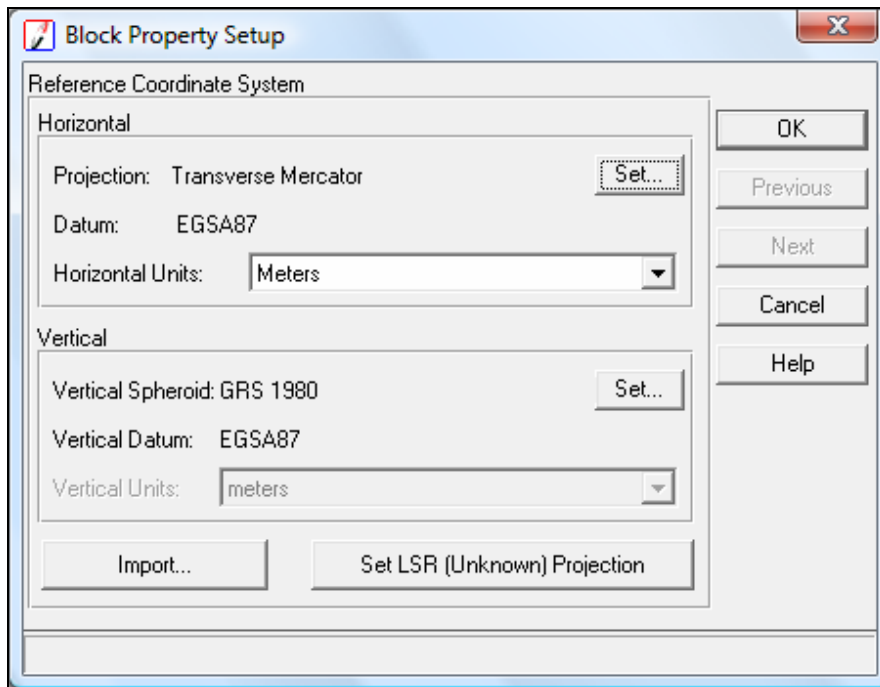
Εικόνα 2.7: Δημιουργία ενός νέου μπλοκ (.blk).

Έπειτα, επιλέγεται: Model Setup > Geometric Model Category >Mixed Sensor... (Εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.8: Η επιλογή του μοντέλου Mixed Sensor.

Στη συνέχεια επιλέγεται το οριζοντιογραφικό και το υψομετρικό σύστημα συντεταγμένων που θα έχει το μπλοκ και τα τελικά προϊόντα που θα εξαχθούν (Εικόνα 2.9). Τονίζεται πως αυτά μπορεί να είναι εντελώς διαφορετικά σε σχέση με εκείνα που έχουν οριστεί στις επιμέρους εικόνες που θα συνθέσουν το μπλοκ.



Εικόνα 2.9: Ο καθορισμός του συστήματος συντεταγμένων.

Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται η διαδικασία δημιουργίας του μπλοκ και ακολουθεί η εισαγωγή των εικόνων, οι οποίες θα πρέπει να πληρούν τις προϋποθέσεις που προαναφέρθηκαν. Κατόπιν τούτου, δίνεται η δυνατότητα στο χειριστή για:

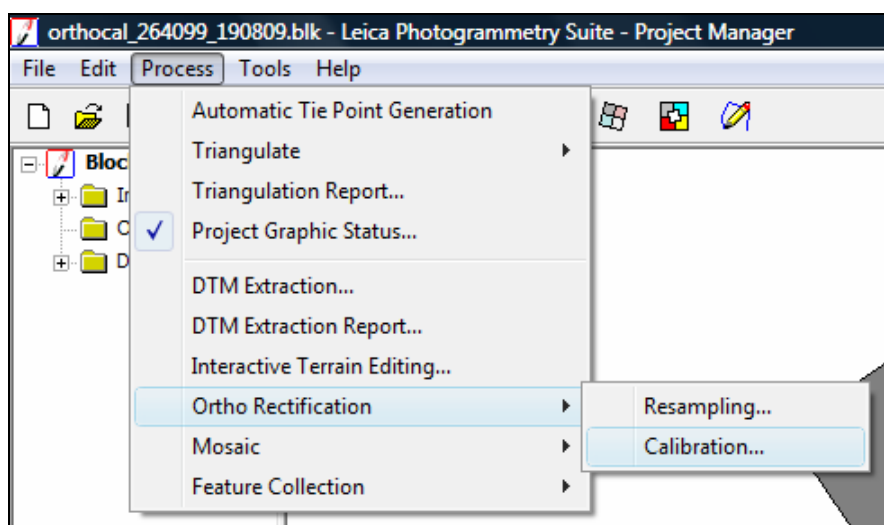
- Εκτέλεση αυτόματης δημιουργίας ψηφιακού μοντέλου εδάφους.
- Χειροκίνητη διόρθωση του δημιουργημένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους.
- 3D απόδοση διανυσματικών δεδομένων από τα στερεοζεύγη.

2.5 Οι Orthocalibrated Εικόνες

Όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο ανάμεσα στις εικόνες που μπορούν να εισαχθούν σε ένα ενιαίο μπλοκ με τη χρήση του μοντέλου μικτού δέκτη είναι και οι orthocalibrated εικόνες, οι οποίες προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου της ορθοβαθμονόμησης (orthocalibration).

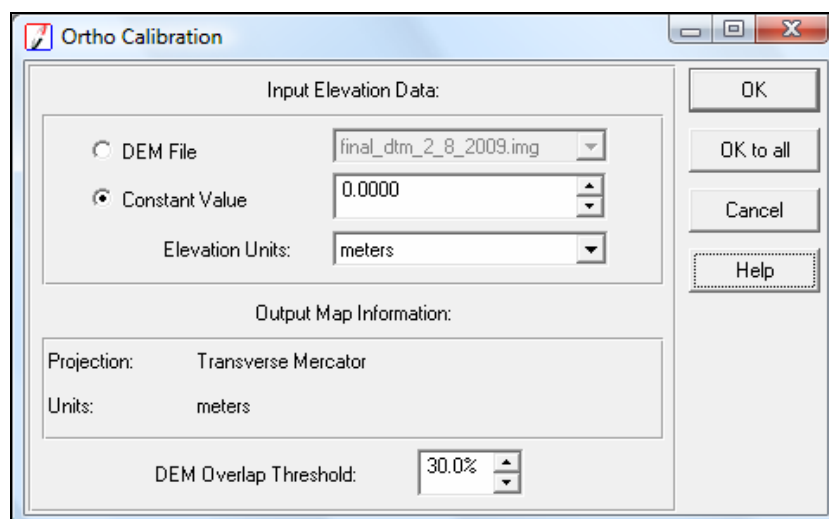
Γενικά η διαδικασία αυτή συσχετίζει την αρχική εικόνα με την επιφάνεια της Γης με τη βοήθεια ενός μαθηματικού μοντέλου, χωρίς όμως να δημιουργείται μία νέα εικόνα όπως στην περίπτωση της ορθοαναγωγής. Προτιμάται μάλιστα έναντι αυτής όταν υπάρχει περιορισμένος αποθηκευτικός χώρος καθώς επιτυγχάνεται η διατήρηση της αρχικής εικόνας και η εξοικονόμηση χώρου στους δίσκους.

Η διαδικασία της ορθοβαθμονόμησης υλοποιείται επιλέγοντας από την κεντρική μπάρα εργαλείων Process > Ortho Rectification > Calibration... (Εικόνα 2.10).



Εικόνα 2.10: Επιλογή της μεθόδου OrthoCalibration.

Απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο καθορισμός της υψομετρικής πληροφορίας που μπορεί να γίνει επιλέγοντας είτε καλύτερο διαθέσιμο DEM της περιοχής, είτε καθορίζοντας μία μέση τιμή υψομέτρου (Εικόνα 2.11). Η δεύτερη επιλογή καθίσταται χρήσιμη μόνο σε περιοχές με διακύμανση αναγλύφου μικρότερη των 20 μέτρων από τη μέση τιμή.



Εικόνα 2.11: Οι παράμετροι της μεθόδου OrthoCalibration.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ «ΜΙΚΤΟΥ ΔΕΚΤΗ»

3.1 Γενικά

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αποφασίστηκε να υλοποιηθούν κάποιες εφαρμογές του μοντέλου του μικτού δέκτη προκειμένου αφενός για να γίνει πλήρως κατανοητός ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται, αφετέρου για να διερευνηθεί σε βάθος η αποτελεσματικότητά του.

Για να συμβεί αυτό χρησιμοποιήθηκαν μία δορυφορική εικόνα Quickbird και μία Worldview υψηλής ανάλυσης, που αποτέλεσαν το πρώτο στερεοζεύγος και δύο αεροφωτογραφίες διαφορετικών χρονολογιών λήψης η καθεμία, που αποτέλεσαν το δεύτερο πειραματικό στερεοζεύγος. Και τα δύο στερεοζεύγη καλύπτουν την ίδια περιοχή και μάλιστα η περιοχή του πρώτου υπερκαλύπτει εκείνη του δεύτερου. Επίσης χρησιμοποιήθηκε και ένα μπλοκ αεροφωτογραφιών για την εξαγωγή του απαραίτητου Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους. Τα παραπάνω δεδομένα χορηγήθηκαν από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας του ΕΜΠ.

Το γενικό περίγραμμα των εργασιών που έλαβαν χώρα μπορεί να συνοψισθεί όπως παρακάτω:

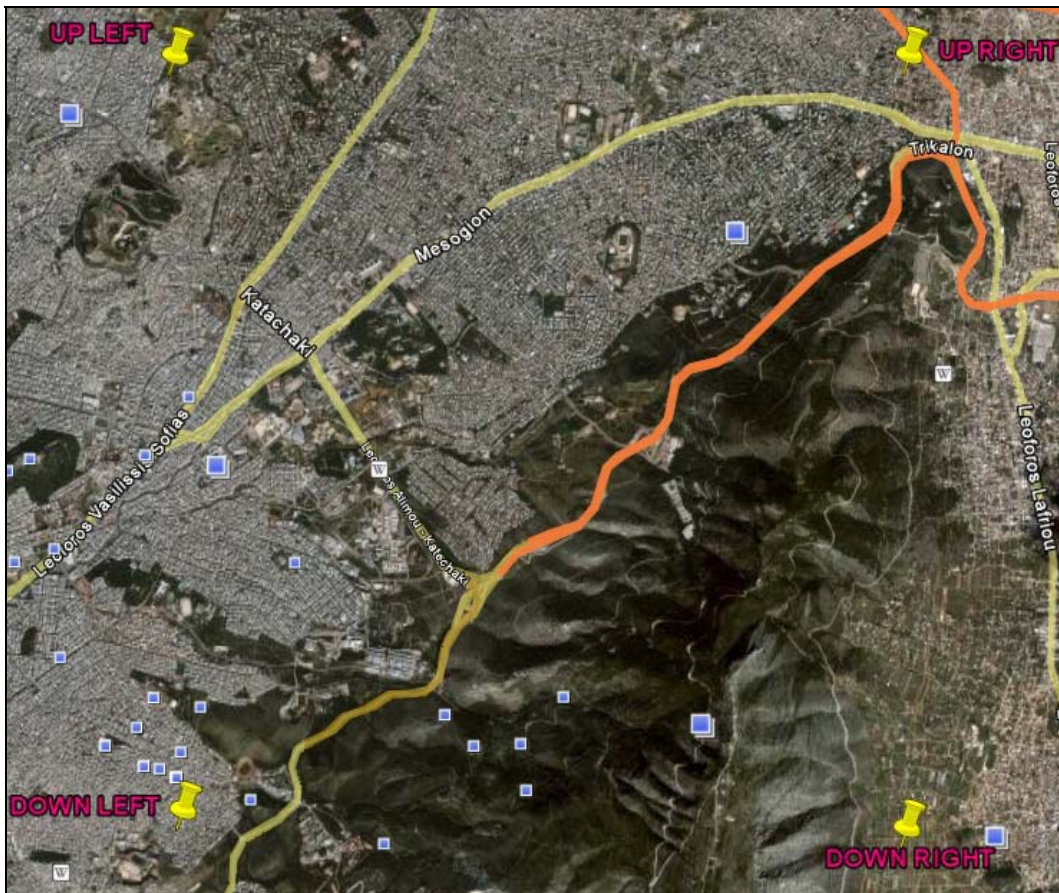
- Δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους της περιοχής.
- Γεωαναφορά Δορυφορικών Εικόνων με εφαρμογή Βελτιωμένου RFM Μοντέλου και Προσανατολισμός Αεροφωτογραφιών.
- Ορθοβαθμονόμηση Δορυφορικών Εικόνων και Αεροφωτογραφιών.
- Προσδιορισμός των Μικτών Μοντέλων των Δορυφορικών Εικόνων και των Αεροφωτογραφιών.
- Έλεγχοι ακριβειών.

3.2 Διαθέσιμες Δορυφορικές Εικόνες

Η περιοχή που καλύπτουν οι διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1 που ακολουθεί. Τα γεωγραφικά όρια της περιοχής είναι:

- ΒΔ: Ψυχικό.
- ΒΑ: Σταυρός Αγίας Παρασκευής.
- ΝΔ: Βύρωνας.

- ΝΑ: Παιανία



Εικόνα 3.1: Η περιοχή μελέτης των δορυφορικών εικόνων
(Πηγή: GoogleEarth)

3.2.1 Δορυφορική Εικόνα Quickbird

Από την περίληψη του τεχνικού εγχειριδίου της εικόνας Quickbird αντλούμε τα παρακάτω στοιχεία [Τσιγγενόπουλος Γ., 2009]:

- Ημερομηνία εκτόξευσης δορυφόρου: Οκτώβριος 18, 2001, Vandenberg Αεροπορική Βάση, Καλιφόρνια.
- Ύψος τροχιάς δορυφόρου: 450 km.
- Γεωμετρική ανάλυση δέκτη: παγχρωματικό 0.6m-0.7m και πολυφασματικό 2.44m-2.88m.
- Περίοδος τροχιάς δορυφόρου: 93.5 min.
- Πλάτος σάρωσης: 16.5km x 16.5km.
- Τύπος τροχιάς: ηλιοσύγχρονη.
- Στερεοκάλυψη: ναί.
- Αισθητήρες: γραμμικός.
- Ταχύτητα: 7.1km/sec.
- Προϊόντα: εικόνες, ορθοφωτογραφίες, στερεομοντέλα.

- *Κύρια πεδία εφαρμογών:* χαρτογράφηση, μεταφορές, δασικά, περιβάλλον, τοπική αυτοδιοίκηση.

Όλες οι δορυφορικές εικόνες QuickBird παρέχονται με ένα σετ αρχείων μεταδεδομένων, τα οποία ονομάζονται «Δεδομένα Υποστήριξης Εικόνας (Image Support Data-ISD)», με όλα τα βοηθητικά δεδομένα τα οποία αναμένεται να είναι χρήσιμα για το χρήστη. Ο αριθμός και το είδος των αρχείων ποικίλλει ανάλογα του είδους του προϊόντος [Τσιγγενόπουλος Γ., 2009]. Τα είδη των αρχείων που περιέχονται είναι:

- *Attitude File (.att)* – συμπεριλαμβάνει την ώρα του πρώτου σημείου των δεδομένων, τον αριθμό των σημείων, το βήμα ανάμεσα στα σημεία και την πληροφορία της «*συμπεριφοράς*» του δέκτη.

- *Ephemeris File (.eph)* – συμπεριλαμβάνει την ώρα του πρώτου σημείου των δεδομένων, τον αριθμό των σημείων και το βήμα ανάμεσα στα σημεία και την πληροφορία των *εφημερίδων* του δέκτη.

- *Geometric Calibration File (.geo)* – περιέχει τις βασικές φωτογραμμετρικές παραμέτρους μιας πραγματικής φωτομηχανής, έτσι ώστε να μοντελοποιεί την αντίστοιχη φωτομηχανή και το οπτικό σύστημα που φέρει ο QuickBird, για τα βασικά προϊόντα εικόνας.

- *License File (.txt)* – το κείμενο της επιλεχθείσας άδειας.

- *Image Metadata File (.imd)* – περιγράφει ιδιότητες του προϊόντος της εικόνας, συμπεριλαμβανομένου του επιπέδου του προϊόντος, τις συντεταγμένες των τεσσάρων άκρων της εικόνας, πληροφορίες του προβολικού συστήματος και την ώρα λήψης.

- *README File (.txt)* – παρέχει πληροφορίες για τα δικαιώματα της εικόνας και τα ονόματα των αρχείων ISD.

- *RPC File (.rpc)* – περιέχει πληροφορίες για τα κλασματικά πολυώνυμα οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την γεωαναφορά της εικόνας.

- *Tile Map (.til)* – βοηθάει το χρήστη να αποφασίσει το tile για να επιλέξει το πολύγωνο παραγγελίας.

- *Layout file (.jpg)* – χάρτης που δείχνει τα όρια κάθε προϊόντος, όπως επίσης και τον αριθμό του media, όπου κάθε προϊόν είναι τοποθετημένο (κάθε προϊόν είναι χρωματικά κωδικοποιημένο).

- *Browse image (.jpg)* – μία περίληψη όλων των αρχείων της εικόνας.

- *Gis files* – φάκελος που περιέχει τα shape files ολόκληρης της λωρίδας, της περιοχής που έχει ζητηθεί, του προϊόντος της περιοχής και tiles.

Πιο συγκεκριμένα η διαθέσιμη εικόνα (*Εικόνα 3.2*) έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- *Όνομα Αρχείου:* 08mar14094111-s2as-052035497020_01_p001.tif.

- *Ημερομηνία λήψης:* 14 Μαρτίου 2008, 09:41:11.
- *Αριθμός Layers:* 4.
- *Τύπος Εικόνας:* Tiff.
- *Συμπίεση Εικόνας:* Καμία.
- *Βάθος Pixel:* Unsigned 16-bit.
- *Πληροφορίες προβολικού συστήματος :* Προβολή UTM, Ζώνη: 34, Ελλειψοειδές WGS 84.
- *Μέγεθος Pixel κατά X:* 0.60m.
- *Μέγεθος Pixel κατά Y:* 0.60m.



Εικόνα 3.2: Δορυφορική Εικόνα Quickbird

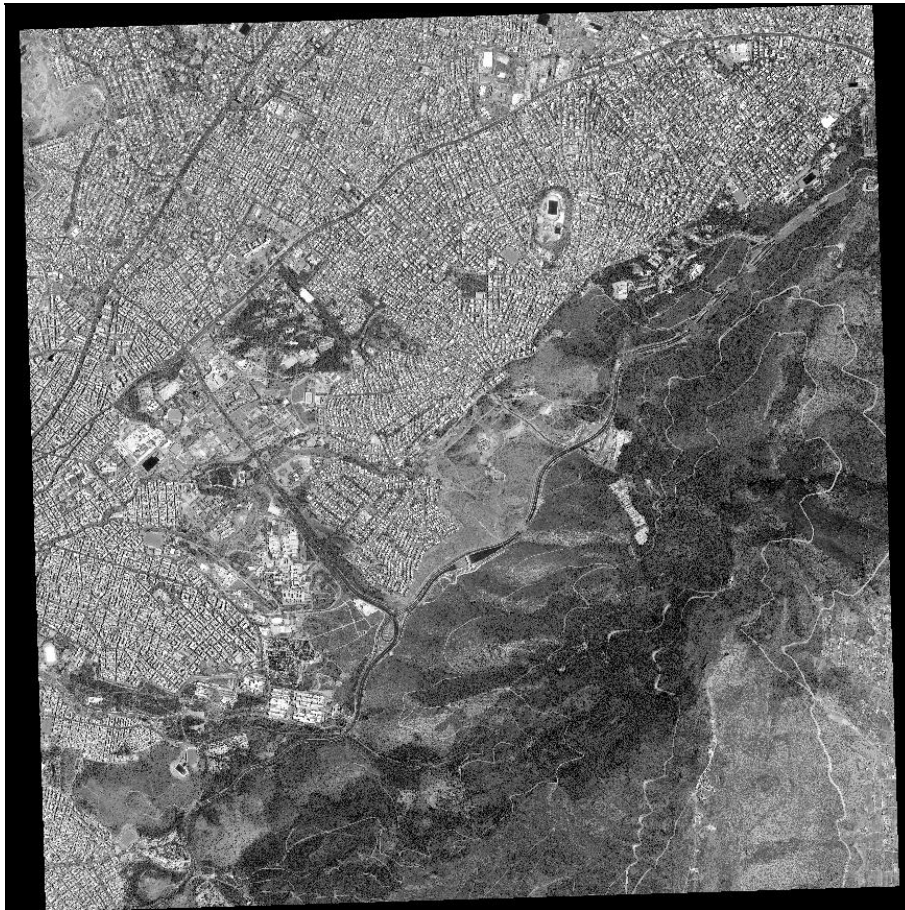
3.2.2 Δορυφορική Εικόνα Worldview

Από την περίληψη του τεχνικού εγχειριδίου της εικόνας Worldview αντλούμε τα παρακάτω στοιχεία [Τσιγγενόπουλος Γ., 2009]:

- *Ημερομηνία εκτόξευσης δορυφόρου:* Σεπτέμβριος 18, 2007, Vandenberg Αεροπορική Βάση, Καλιφόρνια.
- *Ύψος τροχιάς δορυφόρου:* 496km.
- *Γεωμετρική ανάλυση δέκτη:* παγχρωματικό 0.5m.

- *Περίοδος τροχιάς:* 94.6min.
- *Πλάτος σάρωσης:* 17.6km x 17.6km.
- *Τύπος τροχιάς:* ηλιοσύγχρονη.
- *Στερεοκάλυψη:* ναί.
- *Αισθητήρες:* γραμμικός.
- *Προϊόντα:* εικόνες, ορθοφωτογραφίες, στερεομοντέλα.
- *Κύρια πεδία εφαρμογών:* χαρτογράφηση, μεταφορές, δασικά, περιβάλλον, τοπική αυτοδιοίκηση.

Όλες οι δορυφορικές εικόνες WorldView παρέχονται με ένα σετ αρχείων μεταδεδομένων, τα οποία ονομάζονται «Δεδομένα Υποστήριξης Εικόνας (Image Support Data-ISD)», με όλα τα βοηθητικά δεδομένα τα οποία αναμένεται να είναι χρήσιμα για το χρήστη. Ο αριθμός και το είδος των αρχείων ποικίλλει ανάλογα του είδους του προϊόντος [Τσιγγερόπουλος Γ., 2009]. Τα αρχεία αυτά είναι ίδια με του QuickBird που παρουσιάστηκαν στην §3.2.1.



Εικόνα 3.3: Δορυφορική Εικόνα Worldview

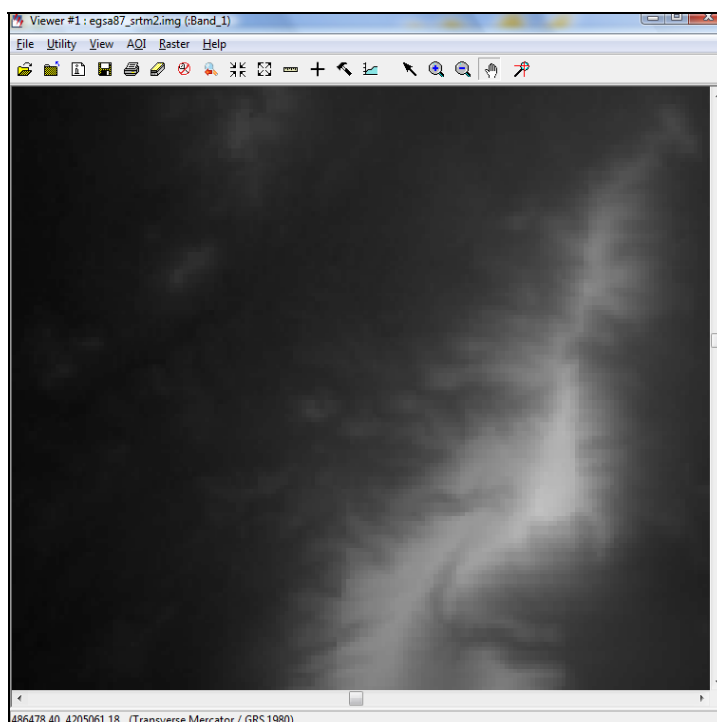
Η διαθέσιμη εικόνα (Εικόνα 3.3) έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- *Όνομα Αρχείου:* 08jul04092122-p2as-052035497010_01_p001.tif.

- *Ημερομηνία λήψης:* 14 Μαρτίου 2008, 09:41:11.
- *Αριθμός Layers:* 1.
- *Τύπος Εικόνας:* Tiff.
- *Συμπίεση Εικόνας:* Καμία.
- *Βάθος Pixel:* Unsigned 16-bit.
- *Πληροφορίες προβολικού συστήματος :* Προβολή UTM, Ζώνη: 34, Ελλειψοειδές WGS 84.
- *Μέγεθος Pixel κατά X:* 0.50m.
- *Μέγεθος Pixel κατά Y:* 0.50m.

3.3 Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων από την εφαρμογή του μοντέλου μικτού δέκτη είναι η ύπαρξη ενός αξιόπιστου ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Για την ανεύρεση του βέλτιστου ψηφιακού μοντέλου εδάφους αρχικά έγινε μία έρευνα στο διαδίκτυο. Από τον δικτυακό τόπο του USGS (<http://seamless.usgs.gov/products/srtm3arc.php>) κατέστη δυνατό να αποκτηθεί δωρεάν DEM της περιοχής με ανάλυση 3 arc second (περίπου 90m), σε σύστημα αναφοράς WGS 84. Αυτό προήλθε από το πρόγραμμα Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) της NASA, ενώ το κατακόρυφο σφάλμα του DEM είναι καλύτερο από 16m.



Εικόνα 3.4: Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους του αρχείου *egsa87_srtm2.img*

Το αρχικό διαθέσιμο μοντέλο, μετονομάστηκε σε *egsa87_srtm2.img*, και υπέστη μετάπτωση από το WGS 84 στο ΕΓΣΑ '87 (Εικόνα 3.4).

Δυστυχώς, εξαιτίας του πολύ μεγάλου μεγέθους του pixel (90m) του DEM, σε αντιδιαστολή με το πολύ μικρό μέγεθος του pixel (0.5m και 0.6m) των δορυφορικών εικόνων, τα αποτελέσματα από δοκιμές ορθοαναγωγής των εικόνων ήταν πολύ φτωχά.

Η διαπίστωση αυτή οδήγησε στην απόφαση για δημιουργία εξαρχής ενός αξιόπιστου και πιο ακριβούς DSM. Η ακρίβειά του ελέγχεται από την ακρίβεια των αρχικών δεδομένων ενώ η αξιοπιστία του εξασφαλίζεται από την καταγραφή και έλεγχο των αποτελεσμάτων σε όλα τα ενδιάμεσα στάδια παραγωγής του.

3.3.1 Δεδομένα

Για την υλοποίηση του παραπάνω στόχου υπήρχαν δύο διαφορετικές επιλογές. Είτε να διανυσματοποιηθούν οι ισοϋψείς καμπύλες των ψηφιοποιημένων και γεωαναφερμένων τοπογραφικών διαγραμμάτων κλίμακας 1:5.000 της ΓΥΣ και από αυτές με παρεμβολή να δημιουργηθεί ένα DEM με μικρό μέγεθος pixel, είτε να εξαχθεί το DEM με φωτογραμμετρικές μεθόδους.

Από τις δύο μεθόδους επιλέχθηκε η δεύτερη διότι τα τοπογραφικά διαγράμματα εμπεριέχουν σφάλματα που οφείλονται στον φωτογραμμέτρη που τα δημιούργησε, στην ποιότητα της σάρωσης, στην ακρίβεια της εκτίμησης της θέσης της ισοϋψούς κατά τη φάση της διανυσματοποίησης, στον αλγόριθμο της παρεμβολής.

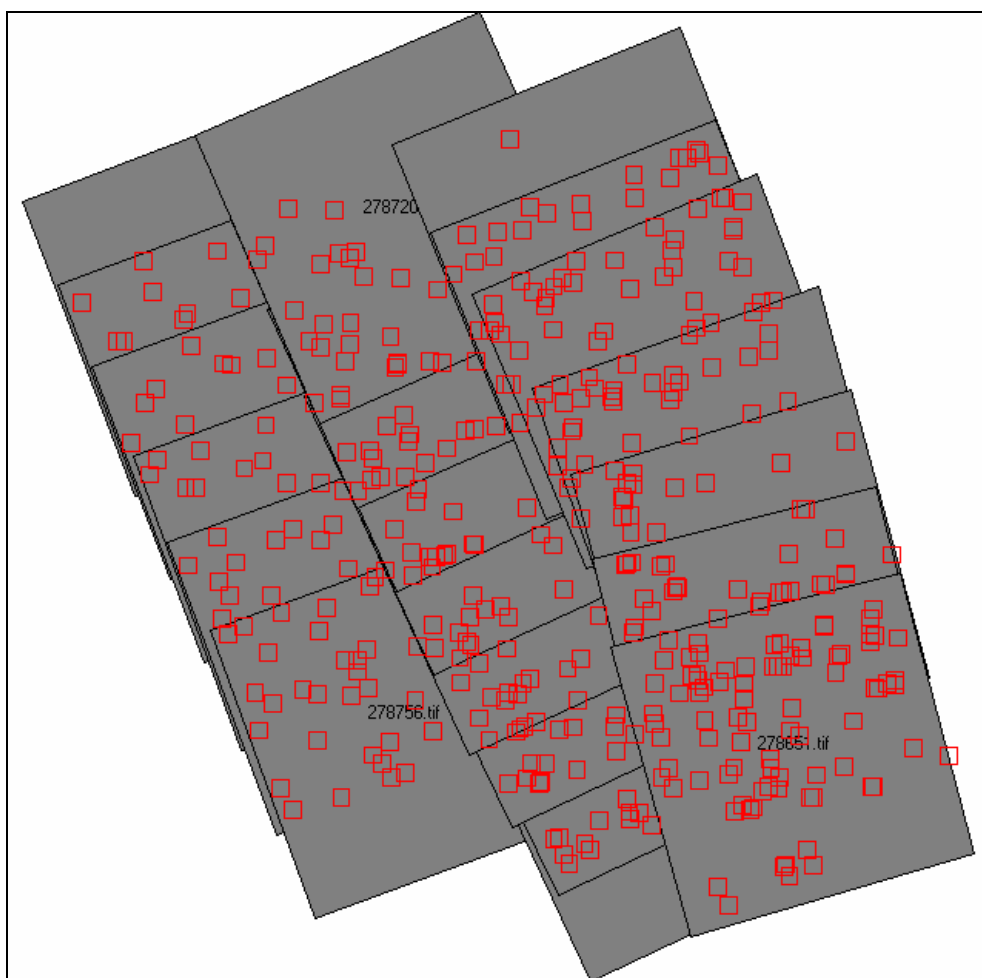
Από την άλλη μεριά η χρήση των σύγχρονων φωτογραμμετρικών προγραμμάτων εξασφαλίζει τον έλεγχο της διαδικασίας σε επιμέρους στάδια, την αυτοματοποίηση των διαδικασιών, την επιτάχυνση της παραγωγής DEM ενώ ταυτόχρονα περιορίζουν στο ελάχιστο την παρέμβαση του χειριστή μόνο στον έλεγχο και βελτίωση του παρεχόμενου αποτελέσματος.

Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν 21 αεροφωτογραφίες της περιοχής, που διατέθηκαν από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, οι οποίες έχουν ληφθεί το 2005, με μέσο ύψος πτήσης 3200m από την επιφάνεια της θάλασσας, φωτομηχανή με εστιακή απόσταση 153.12mm, άρα και μέση κλίμακα 1:20000. Σαρώθηκαν σε υψηλή ανάλυση 1700dpi, σε μορφότυπο TIFF, με βάθος pixel 8bit ανά κανάλι.

Όλες οι φωτογραμμετρικές εργασίες πραγματοποιήθηκαν στο πρόγραμμα Erdas Imagine 9.2 και Leica Photogrammetry Suite 9.2. Πιο αναλυτικά, δημιουργήθηκε ένα νέο project στο οποίο έγινε εισαγωγή των αεροφωτογραφιών και ο σχηματισμός του μπλοκ που φαίνεται στην

Εικόνα 3.5. Έπειτα επιλύθηκε ο εσωτερικός προσανατολισμός για κάθε εικόνα με RMSE καλύτερο του 0.5pixel για όλες τις εικόνες.

Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν τα ομόλογα σημεία ανάμεσα στις φωτογραφίες για την αποκατάσταση του σχετικού προσανατολισμού. Αρχικά έγινε χειροκίνητη επιλογή των απολύτως απαραίτητων σημείων ενώ στη συνέχεια επιλέχθηκε η διαδικασία AutoTiePoints με την οποία έγινε αυτόματη πύκνωσή τους. Τα σημεία αυτά ελέγχθηκαν για την ποιότητά τους κατά την εκτέλεση του τριγωνισμού που ακολούθησε, διαδικασία που θα αναλυθεί διεξοδικά στην §3.3.3.



Εικόνα 3.5: Το μπλοκ των Α/Φ

3.3.2 Επιλογή και Μέτρηση Φωτοσταθερών και Σημείων Ελέγχου

Για την αποκατάσταση του απόλυτου προσανατολισμού των φωτογραφιών απαιτούνται σημεία γνωστών συντεταγμένων, στο επίγειο σύστημα αναφοράς.

Τρεις πηγές σημείων γνωστών συντεταγμένων χρησιμοποιήθηκαν:

- 9 σημεία μετρημένα στο πλαίσιο προηγούμενης εργασίας στην περιοχή [Τσιγγενόπουλος Γ., 2009].

- 5 τριγωνομετρικά σημεία της ΓΥΣ, που χρησιμοποιήθηκαν μόνο ως σημεία γνωστού υψομέτρου (vertical points).

- 36 σημεία των οποίων οι συντεταγμένες προσδιορίστηκαν με μετρήσεις GPS στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

Από τα παραπάνω σημεία, τα 8 χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία εξωτερικού και ανεπηρέαστου ελέγχου του τριγωνισμού (Check Points) ενώ τα υπόλοιπα ως σημεία προσαρμογής αεροφωτογραφιών για την εκτέλεση του αεροτριγωνισμού (Control Points).

Αναλυτική κατάσταση των χρησιμοποιηθέντων σημείων παρατίθεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ενώ στις *Εικόνες 3.6* και *3.7* παρουσιάζεται σε γράφημα η κατανομή στο μπλοκ των Check Points και των Control Points αντίστοιχα.

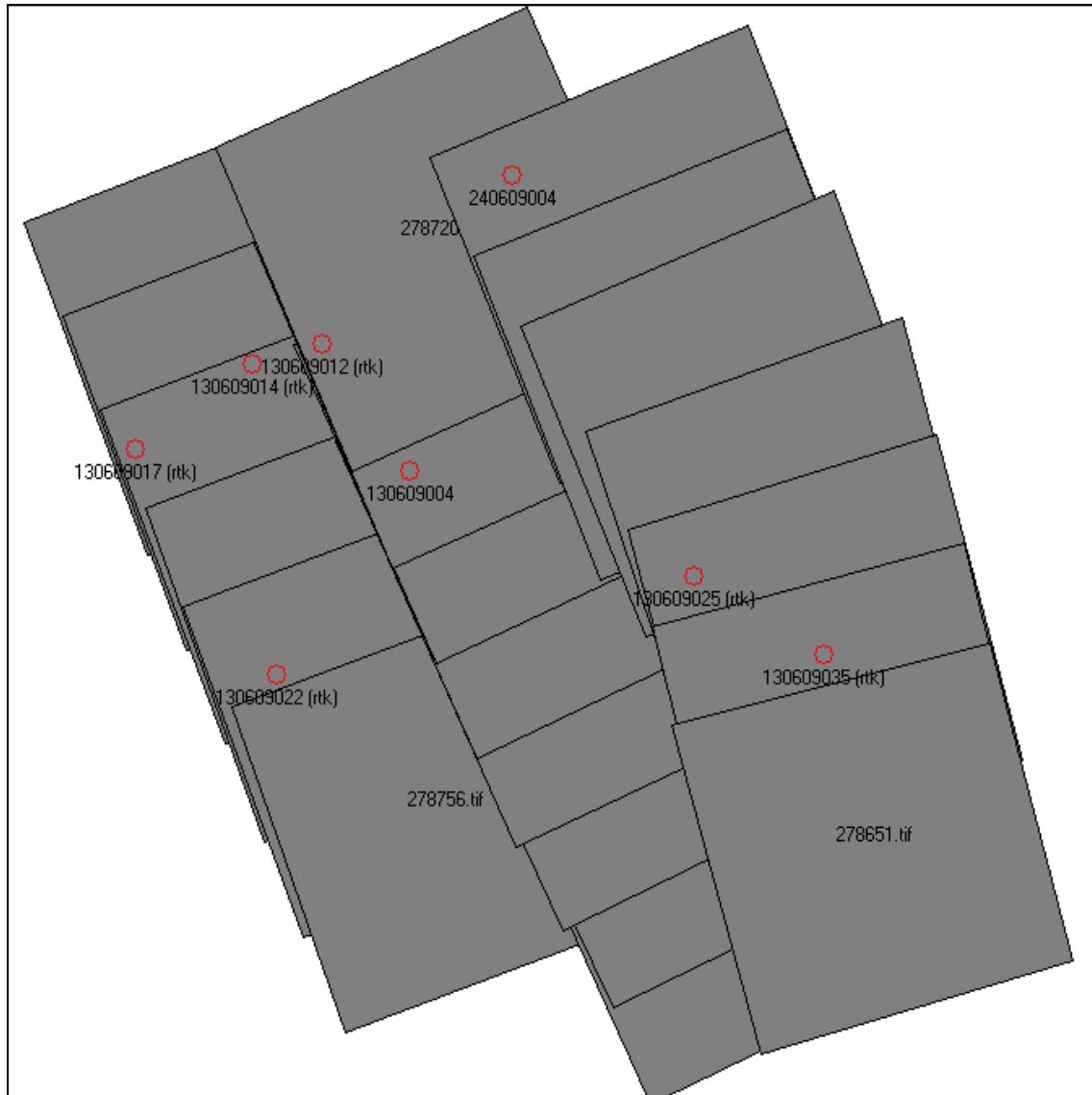
Αφού εντοπίστηκε η θέση των 14 ήδη γνωστών σημείων στο μπλοκ των φωτογραφιών, προσδιορίστηκε η θέση των υπόλοιπων απαραίτητων σημείων. Η μέθοδος που επιλέχθηκε για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων είναι οι μετρήσεις με δέκτες GPS και μέθοδο επίλυσης τη Real Time Kinematic (RTK).

Πραγματοποιήθηκαν τρεις εξορμήσεις για την εκτέλεση των μετρήσεων. Η πρώτη την 13^η, η δεύτερη την 16^η και η τρίτη την 24^η Ιουνίου 2009. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ένα ζεύγος Epoch 25 της Spectra Precision, διπλής συχνότητας, με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

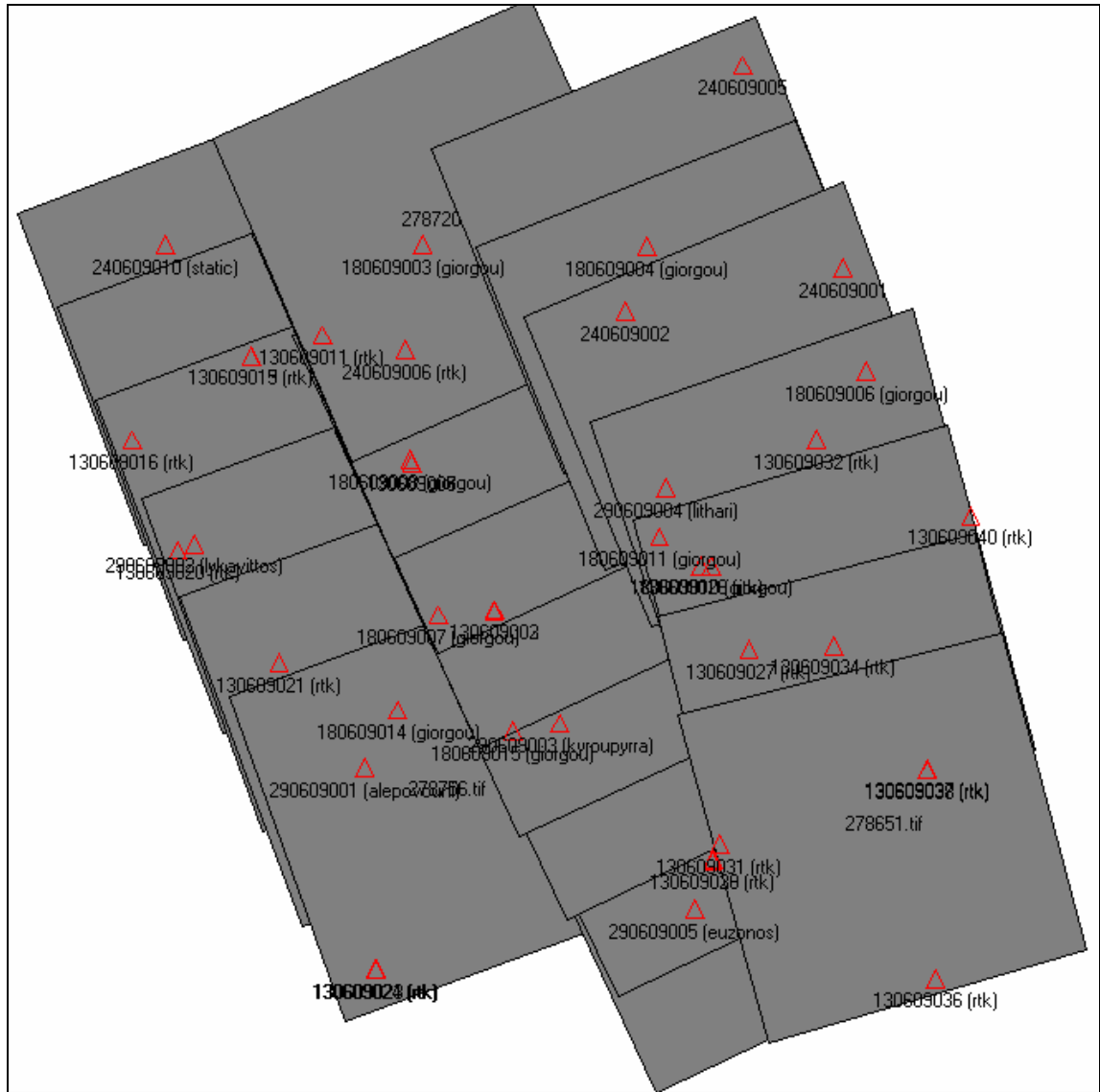
- *Λειτουργικό:* Windows Mobile
- *Ακρίβεια:* 10mm + 1ppm RTK
- *Ακρίβεια:* 5mm + 0.5ppm Static
- *Ακρίβεια:* 10mm + 1ppm Kinematic

Με την εφαρμογή της μεθόδου RTK κατέστη δυνατό να ληφθούν άμεσα οι συντεταγμένες των σημείων που μετρήθηκαν, μετά από παραμονή 3 λεπτών στο καθένα από αυτά. Η οριζοντιογραφική ακρίβεια που επιτεύχθηκε ήταν καλύτερη από 10cm ενώ η υψομετρική ήταν αντίστοιχα καλύτερη από 15 cm για όλα τα σημεία.

Μετά την επιτυχή εκτέλεση των μετρήσεων GPS εισήχθησαν τα σημεία και οι συντεταγμένες τους στο project.



Εικόνα 3.6: Κατανομή των Check Points στο μπλοκ των Α/Φ



Εικόνα 3.7: Κατανομή των Control Points στο μπλοκ των Α/Φ

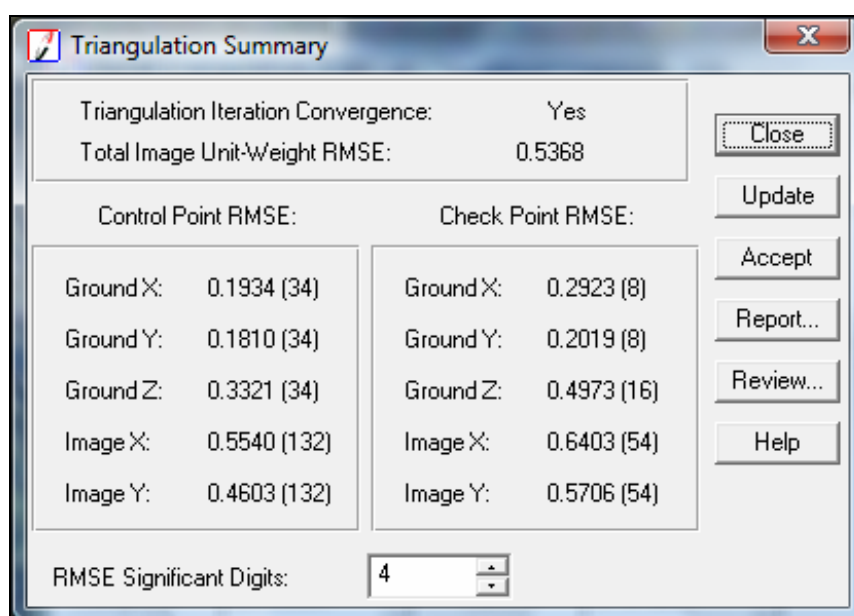
3.3.3 Αεροτριγωνισμός

Το επόμενο βήμα ήταν η εκτέλεση του αεροτριγωνισμού. Εξ ορισμού: «Αεροτριγωνισμός είναι η διαδικασία πύκνωσης του οριζοντιογραφικού και υψομετρικού δικτύου ελέγχου, κατά την οποία οι μετρήσεις σε επικαλυπτόμενες φωτογραφίες συσχετίζονται σε ενιαία λύση στο χώρο με τη βοήθεια των προοπτικών ιδιοτήτων των εικόνων.» [Ιωαννίδης Χ.,2008]

Οι παράμετροι που καθορίστηκαν για την εκτέλεση της διαδικασίας είναι:

- Ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων της MET: Επιλέχθηκε η τιμή 10.
- Η τιμή σύγκλισης της MET: Επιλέχθηκε η τιμή 0.01m.
- Η ακρίβεια μέτρησης των εικονοσυντεταγμένων: Επιλέχθηκε η τιμή 0.33pixel
- Η ακρίβεια μέτρησης των σημείων γνωστών επίγειων συντεταγμένων: Επιλέχθηκε η τιμή 0.10m για τις X,Y συντεταγμένες ενώ για τα υψόμετρα η τιμή 0.15m.

Στη συνέχεια έγινε η συνόρθωση του αεροτριγωνισμού. Αρχικά ελέγχθηκαν όλα τα ομόλογα σημεία σύνδεσης που εισήγαγαν μεγάλα σφάλματα στην επίλυση. Σε πρώτη φάση επιδιώχθηκε να βελτιωθεί η θέση εκείνων που εμφανώς είχαν επιλεγεί λάθος είτε κατά τη χειροκίνητη είτε κατά την αυτόματη διαδικασία. Σε δεύτερη φάση εξαιρέθηκαν εντελώς από την επίλυση εκείνα που εξακολουθούσαν να εισάγουν μεγάλα σφάλματα. Τελικά ελαχιστοποιήθηκαν τα σφάλματα κλεισίματος του αεροτριγωνισμού και η σύνοψή τους παρουσιάζεται στην *Εικόνα 3.8* που ακολουθεί.



Control Point RMSE:		Check Point RMSE:	
Ground X:	0.1934 (34)	Ground X:	0.2923 (8)
Ground Y:	0.1810 (34)	Ground Y:	0.2019 (8)
Ground Z:	0.3321 (34)	Ground Z:	0.4973 (16)
Image X:	0.5540 (132)	Image X:	0.6403 (54)
Image Y:	0.4603 (132)	Image Y:	0.5706 (54)

Triangulation Iteration Convergence: Yes
Total Image Unit-Weight RMSE: 0.5368
RMSE Significant Digits: 4

Εικόνα 3.8: Σύνοψη του αεροτριγωνισμού

3.3.4 Εξαγωγή Ψηφιακού Μοντέλου με το LPS ATE

Έχοντας επιλυθεί ο αεροτριγωνισμός είναι δυνατό να εκτελεστούν οι υπόλοιπες φωτογραμμετρικές εργασίες, όπως η παραγωγή ορθοφωτογραφιών, η απόδοση τοπογραφικών διαγραμμάτων από τα στερεοζεύγη και η παραγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM).

Το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM) είναι μια ψηφιακή μαθηματική αναπαράσταση ενός πραγματικού ή εικονικού αντικειμένου και του περιβάλλοντός του (π.χ. της μορφής του εδάφους εντός μιας καθορισμένης περιοχής). Όταν τα δεδομένα του DEM αναφέρονται μόνο σε υψόμετρα σημείων της επιφάνειας του εδάφους (ή και υδάτινων επιφανειών) τότε αυτό ονομάζεται Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM). Ένα DEM όμως με υψομετρική πληροφορία σημείων όχι μόνο της φυσικής γήινης επιφάνειας αλλά και της επιφάνειας μη εδαφικών αντικειμένων (κτίρια) αποκαλείται Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM). Τα φυσικά τοπία είναι πολύ πολύπλοκα για να μπορούν να περιγραφούν από μαθηματικά μοντέλα βασισμένα σε αναλυτικές σχέσεις, γι' αυτό η μοντελοποίησή τους γίνεται βάσει δειγματοληψιών. Θεωρητικά ένα μοντέλο θα έπρεπε να περιλαμβάνει και ένα κανόνα παρεμβολής για την εύρεση των υψομέτρων σημείων μεταξύ των δειγμάτων, αλλά αυτό έγκειται γενικά στον χρήστη.

Οι προδιαγραφές των DEMs περιλαμβάνουν:

- Στοιχεία σχετικά με την ακρίβεια των υψομετρικών δεδομένων.
- Τυπικά γεωδαιτικά στοιχεία που συναντάμε και στους αναλογικούς χάρτες, δηλαδή το χρησιμοποιούμενο ελλειψοειδές αναφοράς, το προβολικό σύστημα και την αφετηρία μέτρησης σημείων.
- Στοιχεία για την γεωγραφική θέση της περιοχής στην οποία αναφέρονται τα υψομετρικά δεδομένα.
- Παραμέτρους απαραίτητες για την ανακατασκευή της επιφάνειας από τα ψηφιακά δεδομένα, όπως τη δομή του κανάβου που μπορεί να είναι κανονική (τυπική περίπτωση θεωρείται η μορφή ενός κανονικού τετραγωνικού κανάβου), ή μη κανονική (TIN ή ψηφιοποιημένες ισοϋψείς γραμμές) και το βήμα κανάβου, απαραίτητο όταν πρόκειται για μορφή τετραγωνικού κανονικού κανάβου, το οποίο όμως δεν πρέπει να εκλαμβάνεται ως ανάλυση.

Οι κυριότερες μορφές των DEMs είναι η μορφή κανονικού κανάβου (Regular Raster Grids), τα ακανόνιστα δίκτυα τριγώνων (TIN) και τα δίκτυα ψηφιοποιημένων ισοϋψών γραμμών και γραμμών ασυνέχειας (breaklines).

Υπάρχουν διαφορετικές τεχνικές για την συλλογή DEMs, αναλόγως των διαθέσιμων δεδομένων, οργάνων και της κατεχόμενης τεχνογνωσίας:

- Ψηφιοποίηση ισοϋψών γραμμών υπαρχόντων χαρτών και παρεμβολή.
- Χειροκίνητη συλλογή από ένα στερεοζεύγος σε αναλυτικό ή ψηφιακό φωτογραμμετρικό σταθμό.
- Παραγωγή βασισμένη σε μεθόδους ψηφιακής συσχέτισης εικόνων.
- Συμβολομετρία αερομεταφερόμενων ή δορυφορικών ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR).
- Υψομετρία με λέιζερ (Laser Altimetry) με χρήση εναέριων λέιζερ σαρωτών.
- Συμβατικές ή σύγχρονες τοπογραφικές μέθοδοι (ταχυμετρία, GPS).

Στην παρούσα εργασία για την παραγωγή του DEM της περιοχής ενδιαφέροντος χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Automatic Terrain Extraction (ATE) το οποίο είναι ένα μέρος του LPS 9.2 της Leica. Η βασική αρχή στην οποία βασίζεται η παραγωγή DEM στο ATE είναι η ψηφιακή συσχέτιση των εικόνων. Η διαδικασία της παραγωγής μπορεί να χωριστεί σε τρία επιμέρους βήματα:

1^ο Βήμα: Ψηφιακή συσχέτιση των εικόνων για τη συλλογή του νέφους των ομόλογων σημείων του DTM. Εδώ σημεία του εδάφους που βρίσκονται στο κοινό επικαλυπτόμενο τμήμα αναγνωρίζονται στις δύο εικόνες και καταχωρούνται οι εικονοσυντεταγμένες τους.

2^ο Βήμα: Προσδιορισμός των Επίγειων Συντεταγμένων των Σημείων. Οι 3D συντεταγμένες ενός σημείου που επιλέχθηκε στο 1^ο βήμα προσδιορίζονται με τη χρήση φωτογραμμετρικών αρχών (συγγραμμικότητα).

3^ο Βήμα: Κατασκευή του DTM. Το νέφος των σημείων, που έχουν αποκτήσει ήδη επίγειες συντεταγμένες, χρησιμοποιείται για την κατασκευή του DTM, ανάλογα με την μορφή που έχει προεπιλέξει ο χρήστης.

Οι σημαντικότερες ρυθμίσεις στις οποίες προβαίνει ο χρήστης στα πλαίσια του προγράμματος είναι:

- *Ο τύπος του εξαγόμενου DTM:* DEM, TERRAMODEL TIN κ.α. Στην παρούσα εφαρμογή επιλέχθηκε DEM.

- *Το είδος του εξαγόμενου DTM:* Single εάν πρόκειται για ένα μόνο αρχείο ή Individual εάν πρόκειται για ένα σύνολο αρχείων, το καθένα από τα οποία προέρχεται από ένα μόνο στερεοζεύγος. Εδώ επιλέχθηκε το Single.

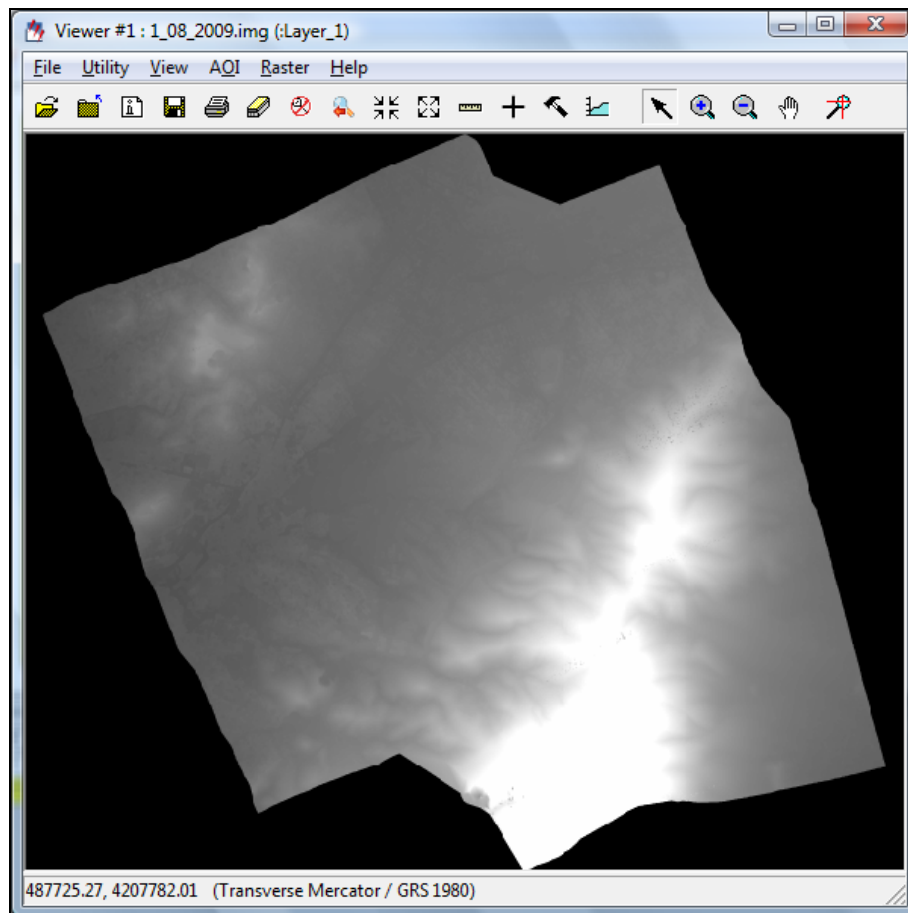
- *Το μέγεθος του τελικού pixel:* Συνήθως το πρόγραμμα δίνει εξορισμού μία τιμή που είναι το 10πλάσιο του μεγέθους του pixel της αρχικής εικόνας. Στην περίπτωση που εξετάζεται το πρόγραμμα έδωσε μία τιμή 7.31m. Τελικά αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η τιμή 5m.

- *Επιλογή των στοιχείων για τον Προσδιορισμό των Στατιστικών της Ακρίβειας του DEM:* Δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει ποια στοιχεία θα χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των στατιστικών της ακρίβειας του DEM. Αυτά μπορεί να είναι τα GCPs, τα Check Points, τα Tie Points ή κάποιο External DEM. Εδώ επιλέχθηκαν τα GCPs, τα Check Points και τα Tie Points.

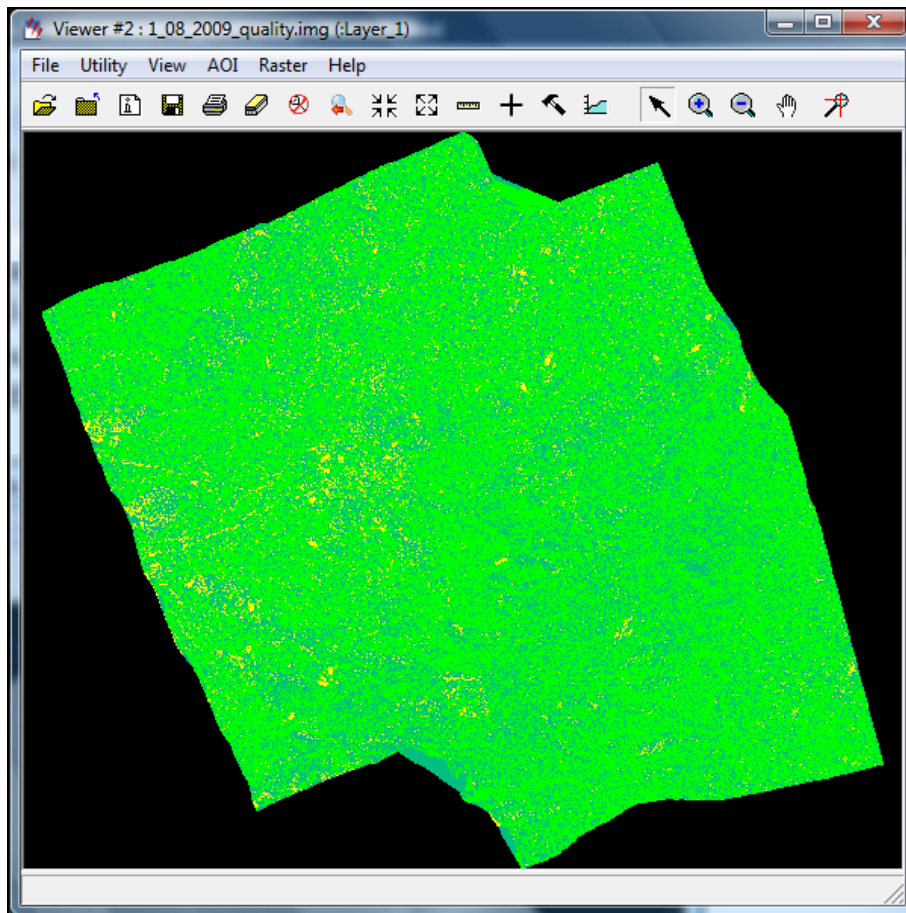
- *Δημιουργία Εικόνας με το Τελικό Status των Pixels:* Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα να επιλέξει ο χρήστης αν επιθυμεί να δημιουργηθεί μία τελική εικόνα όπου το κάθε ένα pixel της θα δείχνει πόσο καλά έχει προσδιοριστεί το υψόμετρο στο pixel αυτό.

Μετά από διαδοχικές δοκιμές καθορίστηκε ο καλύτερος συνδυασμός των ανωτέρω παραμέτρων και έπειτα δόθηκε η εντολή στο πρόγραμμα να εκτελέσει τον αλγόριθμο. Το εξαχθέν DEM είναι αυτό που φαίνεται στην *Εικόνα 3.9*. Στην *Εικόνα 3.10* παρουσιάζεται το τελικό status των pixels, ενώ στην εικόνα 3.11 παρουσιάζεται το υπόμνημα της *Εικόνας 3.10*.





Μετά από έλεγχο διαπιστώθηκε ότι το εξαχθέν DEM δεν κάλυψε ένα 5% των δορυφορικών εικόνων. Για την αντιμετώπιση αυτής της αδυναμίας έγινε επαναδειγματοληψία του DEM που εξασφαλίστηκε από το διαδίκτυο (*egsa87_srtm2.img*), με μέγεθος pixel 5m.



Εικόνα 3.9: Το αρχικό εξαχθέν DEM

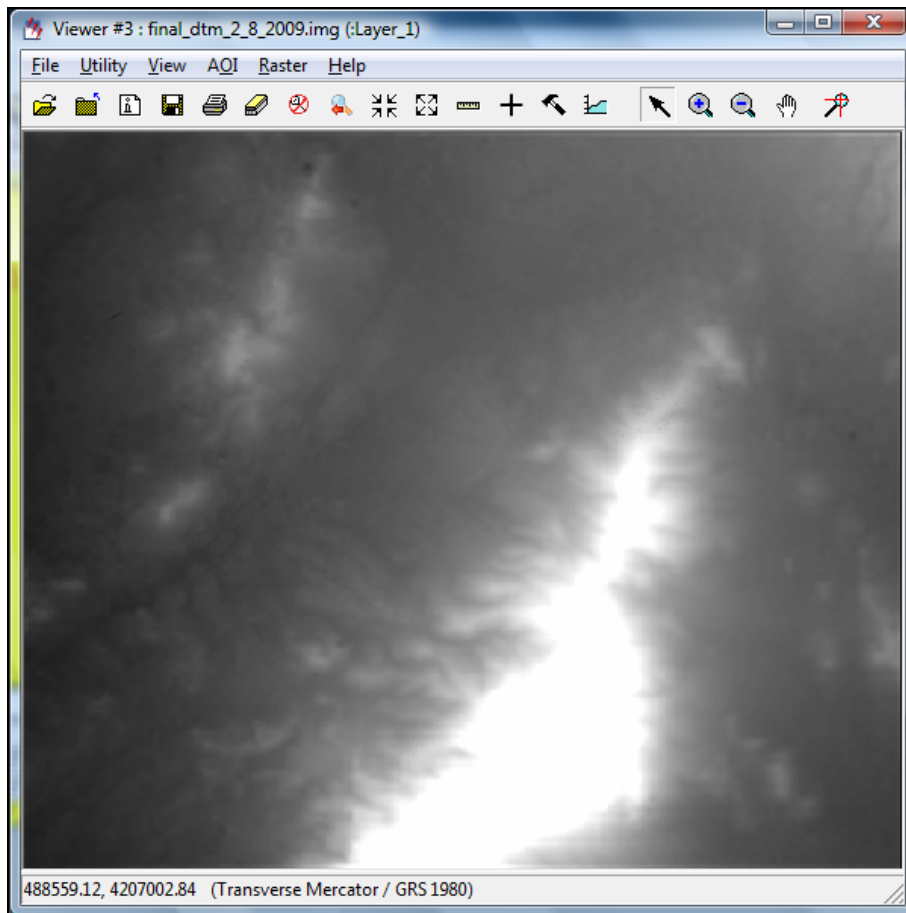


Εικόνα 3.10: Εικόνα με το τελικό status των pixels

Class Names	Color	Red	Green	Blue	Opacity	Histogram
Background		0	0	0	0	1630484
Excellent		0	1	0	1	1925697
Good		0	0.75	0.5	1	881043
Fair		1	1	0	1	110220

Εικόνα 3.11: Υπόμνημα του τελικού status των pixels

Έπειτα, με τη βοήθεια του προγράμματος MosaicPro δημιουργήθηκε ένα νέο μωσαϊκό το οποίο αποτελούνταν από το σύνολο του εξαχθέντος DEM και το συμπλήρωμα του `egsa87_srtm2.img`. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην *Εικόνα 3.12*. Αυτό ήταν και το τελικό DEM που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις εφαρμογές που ακολούθησαν.



Εικόνα 3.12: Το τελικό DEM

3.3.5 Διόρθωση Ψηφιακού Μοντέλου με το LPS TE

Το εξαχθέν ψηφιακό μοντέλο εδάφους από το LPS ATE μπορεί να βελτιωθεί για να εξαλειφθούν οι αδυναμίες που προκλήθηκαν στις περιοχές όπου ο αλγόριθμος δεν κατάφερε να αποδώσει το ανάγλυφο με επιτυχία.

Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία από το χρήστη γραμμών ασυνέχειας (breaklines) καθώς και με τη βελτίωση του υψομέτρου σημείων χειρονακτικά σε τρισδιάστατο περιβάλλον εργασίας. Το πρόγραμμα LPS TE παρέχει το τρισδιάστατο περιβάλλον εργασίας καθώς και όλα τα εργαλεία για να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις.

Στην παρούσα εργασία επιχειρήθηκε να γίνουν βελτιώσεις σε σημεία όπου κρίθηκε αναγκαίο. Ωστόσο τα αποτελέσματα δεν ήταν τα αναμενόμενα (π.χ. στην περιοχή πυκνής δόμησης) οπότε αποφασίστηκε τελικά να χρησιμοποιηθεί το DEM χωρίς επιπλέον διορθώσεις.

3.4 Διερεύνηση της Ακρίβειας του Βελτιωμένου RFM Μοντέλου

Όπως προαναφέρθηκε στην §1.3, για την βελτίωση της επιδιωκόμενης ακρίβειας του RFM μοντέλου καθιερώθηκε η επιβολή μίας επιπλέον πολυωνυμικής διόρθωσης στο μοντέλο του δέκτη, όπως περιγράφηκε στην *Εξίσωση 1.3*, όπου αυτή μπορεί να είναι πολυώνυμο 0^{ου}, 1^{ου} ή 2^{ου} βαθμού. Πρόκειται για μία απλή μετάθεση όταν το πολυώνυμο είναι 0^{ου} βαθμού, ενώ όταν είναι 1^{ου} βαθμού πρόκειται για έναν 2διάστατο αφινικό μετασχηματισμό. Μία συνόρθωση κατά μπλόκ δέσμης εφαρμόζεται για την επίλυση των παραμέτρων του πολυωνύμου. Το όφελος από την χρήση αυτού του απλού πολυωνυμικού μοντέλου είναι ότι αυτό μπορεί να αρχίσει να βελτιώνεται εφόσον υπάρχει έστω και ένα GCP διαθέσιμο. Όταν υπάρχουν περισσότερα GCPs, περισσότερες παράμετροι μπορούν να συμπεριληφθούν με σκοπό να συμψηφιστούν τα συστηματικά σφάλματα που περιλαμβάνονται στα RPCs.

Στο πλαίσιο αυτό αποφασίστηκε να διερευνηθεί η επιτυγχανόμενη ακρίβεια από την εφαρμογή του μοντέλου στις διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες. Από το σύνολο των σημείων γνωστών συντεταγμένων που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του μπλοκ των αεροφωτογραφιών στην προηγούμενη παράγραφο επιλέχθηκαν συνολικά 16, τα οποία αναγνωρίστηκαν και στις δύο εικόνες.

Πιο συγκεκριμένα:

- 6 σημεία χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία ελέγχου (Check Points). Η κατανομή τους στις εικόνες παρουσιάζεται στην *Εικόνα 3.13*.

- 10 σημεία χρησιμοποιήθηκαν ως ΣΠΑΦ (Control Points). Η κατανομή τους στις εικόνες παρουσιάζεται στην *Εικόνα 3.14*.

Η μεθοδολογία που υλοποιήθηκε ήταν η διαδοχική εφαρμογή του μοντέλου:

- χωρίς βελτίωση
- με βελτίωση, χρησιμοποιώντας πολυώνυμο μηδενικού βαθμού
- με βελτίωση, χρησιμοποιώντας πολυώνυμο πρώτου βαθμού

Για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις επιλέχθηκαν διαδοχικά:

- 0 Control Points
- 1 Control Points
- 2 Control Points
- 3 Control Points
- 4 Control Points
- 5 Control Points
- 6 Control Points
- 7 Control Points
- 8 Control Points

- 9 Control Points
- 10 Control Points

Υπήρξε μέριμνα έτσι ώστε τα ίδια σημεία να επιλέγονται διαδοχικά και στις δύο εικόνες για να είναι συγκρίσιμα και τα τελικά αποτελέσματα. Επίσης χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις δοκιμές το σύνολο των Check Points.



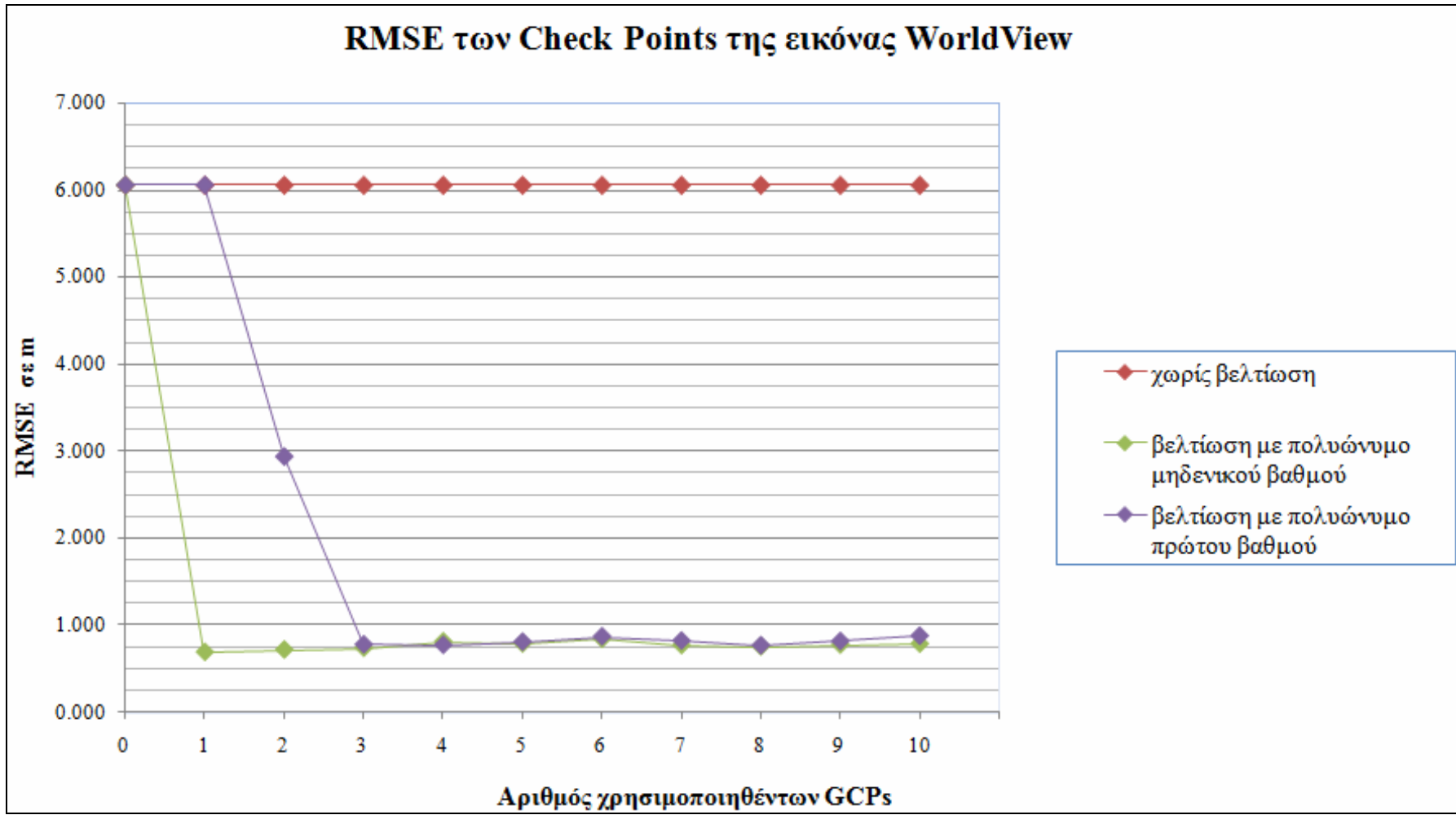
Εικόνα 3.13: Η κατανομή των Check Points στις εικόνες.



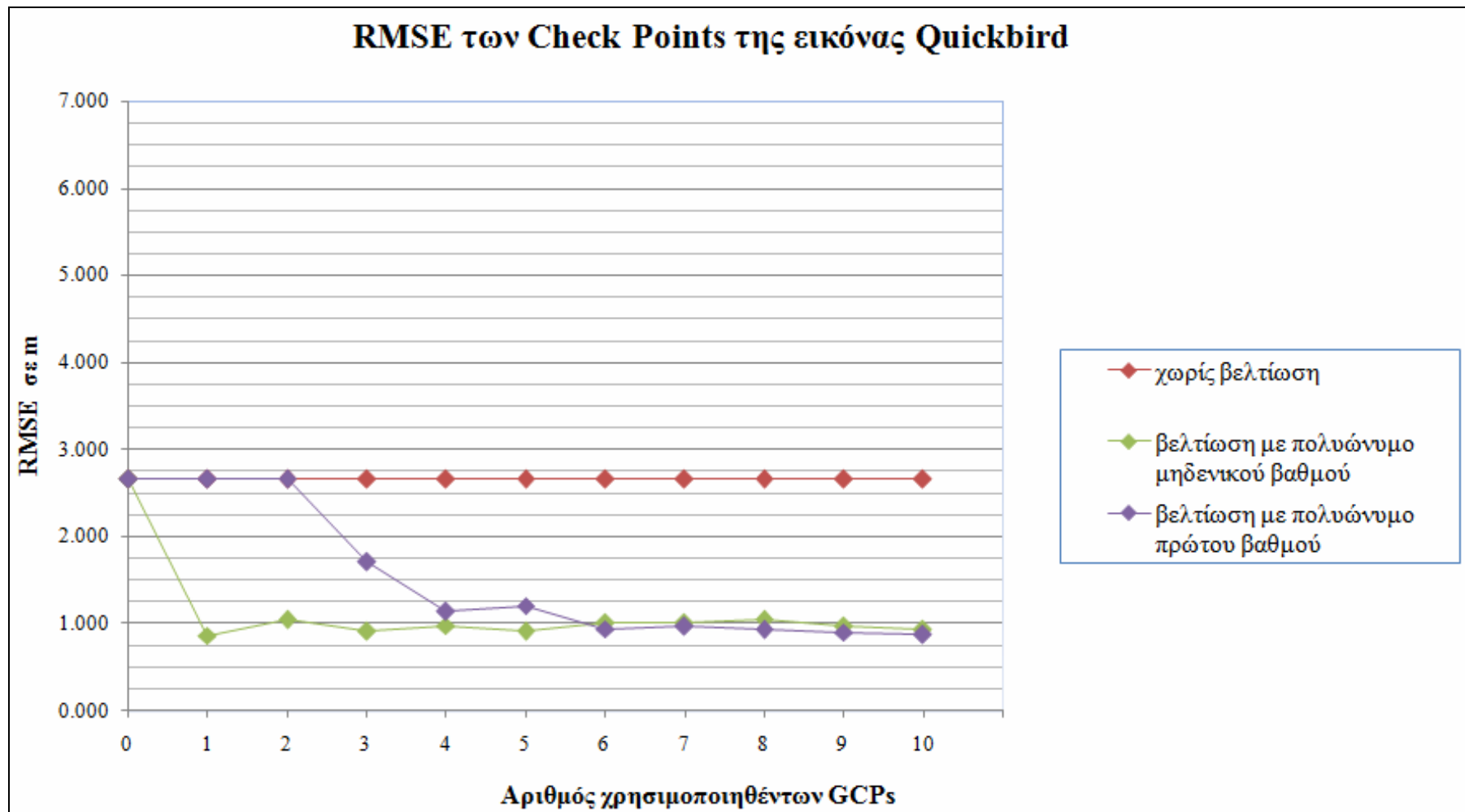
Εικόνα 3.14: Η κατανομή των Control Points στις εικόνες.

Έπειτα για κάθε ένα από τους παραπάνω συνδυασμούς εκτελέστηκε βελτίωση του μοντέλου RFM. Από τα reports που παρήγαγε το πρόγραμμα απομονώθηκαν $rmsex$ και $rmsey$ των Check Points. Από την εφαρμογή της *Εξίσωσης 1.7* υπολογίστηκε $rmse$ των σημείων και σχηματίστηκαν τα *Διαγράμματα 3.1* και *3.2*.

Στο πρώτο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την εικόνα Quickbird, ενώ στο δεύτερο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την εικόνα WorldView. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση αυτών των διαγραμμάτων παρουσιάζονται αναλυτικά στην *§4.1*.



Διάγραμμα 3.1: Αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου RFM στην εικόνα WorldView.



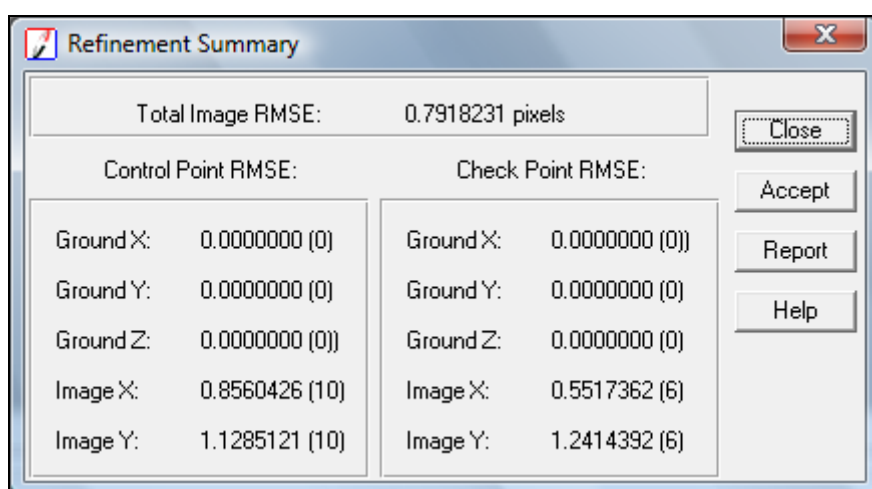
Διάγραμμα 3.2: Αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου RFM στην εικόνα Quickbird.

3.5 Ορθοβαθμονόμηση Δορυφορικών Εικόνων

Όπως περιγράφηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2, για να εισαχθούν οι δορυφορικές εικόνες στο μικτό μοντέλο θα πρέπει να υποστούν την ορθοβαθμονόμηση, διαδικασία που επίσης αναλύθηκε στο ίδιο κεφάλαιο. Επισημαίνεται πως το αποτέλεσμα αυτής της μεθόδου δεν είναι η δημιουργία μίας νέας εικόνας αλλά ο προσδιορισμός των συντελεστών ενός μαθηματικού μοντέλου που αποκαθιστά τη σχέση ανάμεσα στα pixels της εικόνας και τις συντεταγμένες των σημείων στο έδαφος.

3.5.1 Ορθοβαθμονόμηση Δορυφορικής Εικόνας Quickbird

Αρχικά έλαβε χώρα η ορθοβαθμονόμηση της δορυφορικής εικόνας Quickbird. Σε πρώτη φάση δημιουργήθηκε ένα νέο .blk αρχείο με την ονομασία orthocal_quickbird. Σε αυτό έγινε εισαγωγή της αρχικής εικόνας Quickbird, η οποία μετονομάστηκε σε orthocal_quickbird.img. Έπειτα καταχωρήθηκαν τα 10 Control Points και τα 6 Check Points που προαναφέρθηκαν και εκτελέστηκε βελτίωση των RPC, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στην *Εικόνα 3.15* που ακολουθεί.



Control Point RMSE:		Check Point RMSE:	
Ground X:	0.0000000 (0)	Ground X:	0.0000000 (0)
Ground Y:	0.0000000 (0)	Ground Y:	0.0000000 (0)
Ground Z:	0.0000000 (0)	Ground Z:	0.0000000 (0)
Image X:	0.8560426 (10)	Image X:	0.5517362 (6)
Image Y:	1.1285121 (10)	Image Y:	1.2414392 (6)

Additional information from the dialog box:
Total Image RMSE: 0.7918231 pixels
Buttons: Close, Accept, Report, Help

Εικόνα 3.15: Αποτελέσματα της βελτίωσης των RPC της εικόνας Quickbird

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι είναι δυνατή η εκτέλεση της ορθοβαθμονόμησης χωρίς την βελτίωση των RPC. Ωστόσο, στην πράξη αποδείχτηκε πως τα αποτελέσματα του μικτού μοντέλου που σχηματίζεται με αυτόν τον τρόπο είναι πολύ φτωχά, ειδικά κατά την εξαγωγή του DTM.

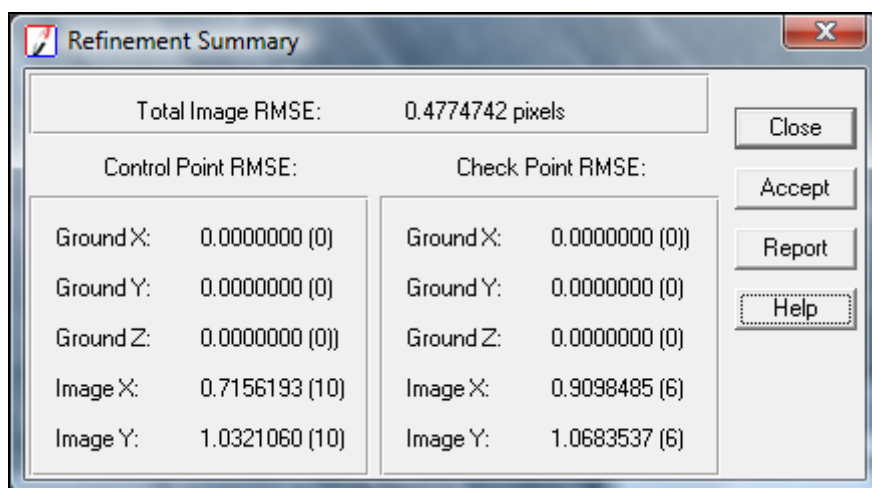
Επίσης, από την μελέτη των *Διαγραμμάτων 3.1* και *3.2* προκύπτει το συμπέρασμα ότι θα μπορούσε να γίνει βελτίωση των πολυωνύμων και με

λιγότερα από 10 σημεία. Παρόλα αυτά επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν και τα 10 γιατί ήταν μετρημένα με ακρίβεια και αναγνωρίστηκαν ευκρινώς και στις δύο εικόνες. Ενδεχομένως, εάν δεν ήταν διαθέσιμα και έπρεπε να προγραμματιστεί η μέτρηση των απολύτως απαραίτητων σημείων τότε προφανώς για λόγους οικονομίας θα επιλέγαμε λιγότερα σημεία, το πολύ έξι στην περίπτωση που χρησιμοποιείται πολυώνυμο 1^{ου} βαθμού, ενώ στην περίπτωση που χρησιμοποιείται πολυώνυμο 0^{ου} βαθμού απαιτείται στην πράξη ένα μόνο σημείο.

Μετά την αποδοχή της βελτίωσης των RPC, εκτελέστηκε η ορθοβαθμονόμηση της εικόνας, με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου που παράχθηκε στην §3.3.4.

3.5.2 Ορθοβαθμονόμηση Δορυφορικής Εικόνας Worldview

Σε δεύτερη φάση πραγματοποιήθηκε η ορθοβαθμονόμηση της δορυφορικής εικόνας Worldview. Επίσης και εδώ δημιουργήθηκε ένα νέο .blk αρχείο με την ονομασία orthocal_worldview. Σε αυτό έγινε εισαγωγή της αρχικής εικόνας Worldview, η οποία μετονομάστηκε σε orthocal_worldview.img. Έπειτα καταχωρήθηκαν τα 10 Control Points και τα 6 Check Points και εκτελέστηκε και εκτελέστηκε βελτίωση των RPC, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στην *Εικόνα 3.16* που ακολουθεί.



Total Image RMSE:		0.4774742 pixels			
Control Point RMSE:		Check Point RMSE:			
Ground X:	0.0000000 (0)	Ground X:	0.0000000 (0)	Close	
Ground Y:	0.0000000 (0)	Ground Y:	0.0000000 (0)	Accept	
Ground Z:	0.0000000 (0)	Ground Z:	0.0000000 (0)	Report	
Image X:	0.7156193 (10)	Image X:	0.9098485 (6)	Help	
Image Y:	1.0321060 (10)	Image Y:	1.0683537 (6)		

Εικόνα 3.16: Αποτελέσματα της βελτίωσης των RPC της εικόνας Worldview.

Μετά την αποδοχή της βελτίωσης των RPC, εκτελέστηκε η ορθοβαθμονόμηση της εικόνας, με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου που παράχθηκε στην §3.3.4.

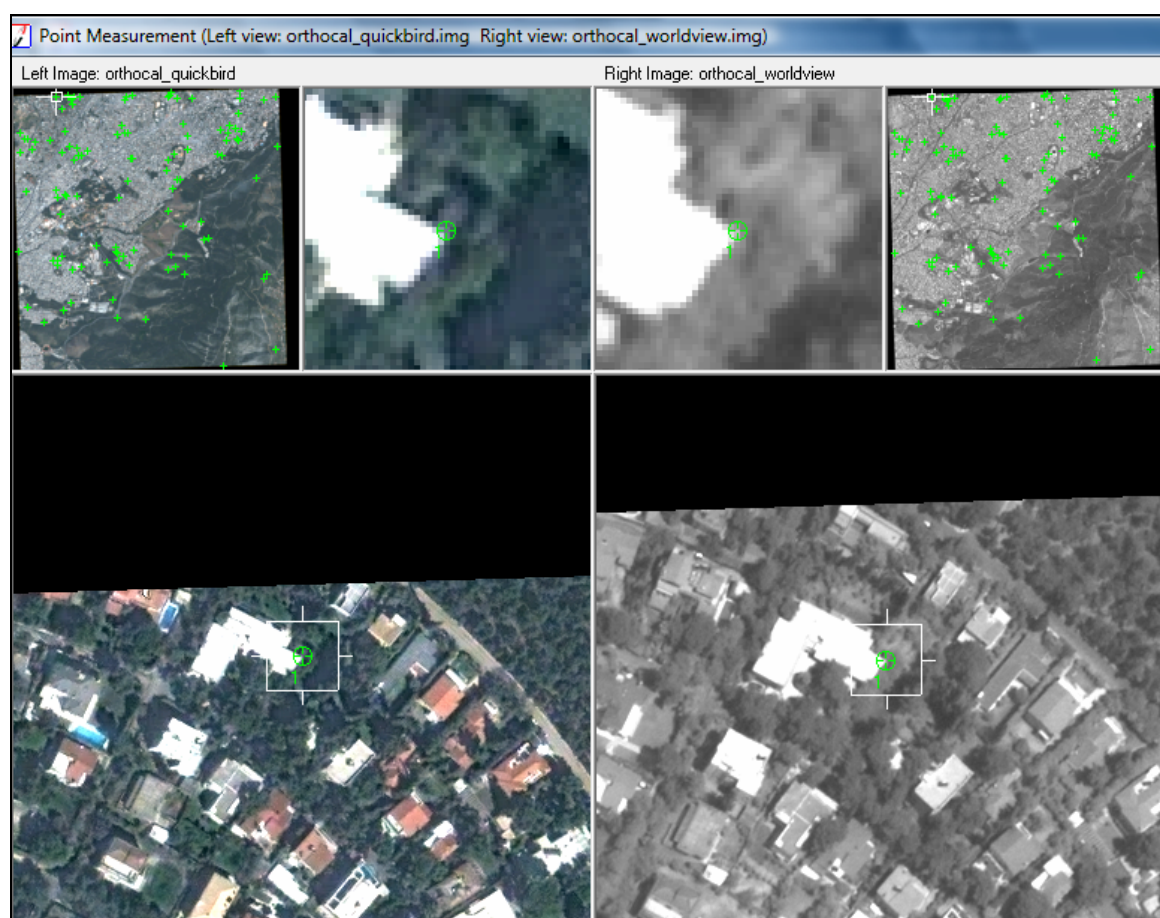
3.6 Χρήση του Μικτού Μοντέλου για τις Δορυφορικές Εικόνες

Για την υλοποίηση του μικτού μοντέλου δημιουργήθηκε ένα νέο blk αρχείο με την ονομασία `mixed_sensor_14_08_2009` και αφού ορίστηκε το προβολικό σύστημα έγινε η εισαγωγή των ορθοβαθμονομημένων εικόνων `orthocal_quickbird.img` και `orthocal_worldview.img`. Έπειτα επιχειρήθηκε να εκτελεστούν όλες οι επιμέρους φωτογραμμετρικές εργασίες που είναι διαθέσιμες στο Leica Photogrammetry Suite.

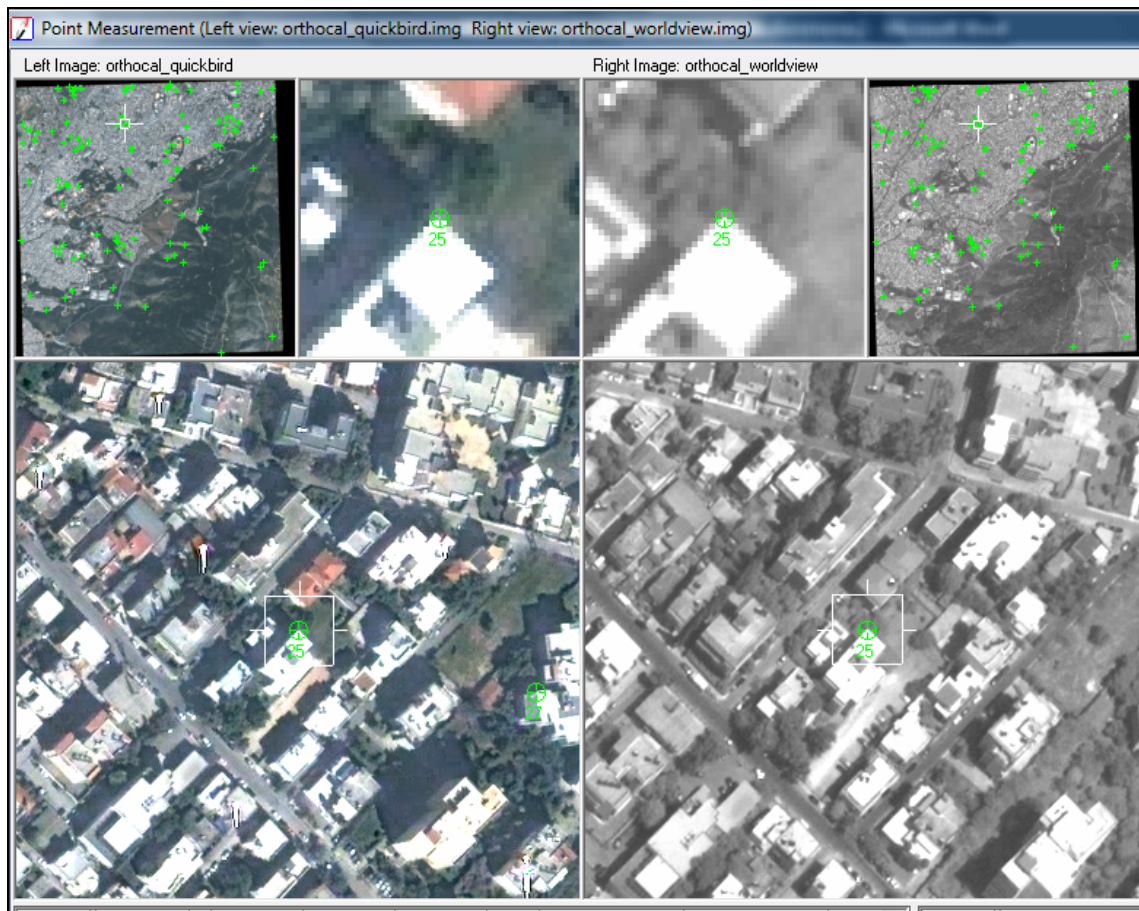
3.6.1 Αεροτριγωνισμός

Αφτηρία αποτέλεσε η εκτέλεση του αεροτριγωνισμού. Ζητήθηκε από το πρόγραμμα να αναζητήσει αυτόματα 50 ομόλογα σημεία ανάμεσα στις δύο εικόνες, κάτι που στις οδηγίες του προγράμματος αναφέρεται πως δεν μπορεί να γίνει.

Παρόλα αυτά, ομόλογα σημεία βρέθηκαν και μετά από λεπτομερή έλεγχο που έλαβε χώρα διαπιστώθηκε ότι επιλέχτηκαν και με μεγάλη επιτυχία, όπως φαίνεται στις *Εικόνες 3.17* και *3.18*.



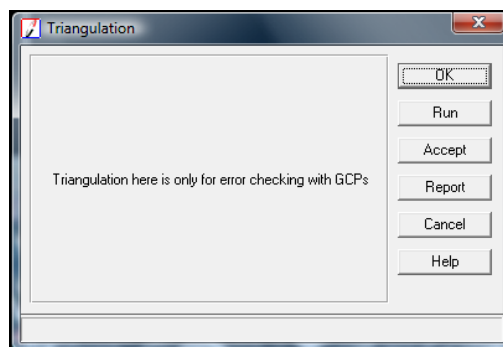
Εικόνα 3.17: Το ομόλογο σημείο με άξοντα αριθμό 1.



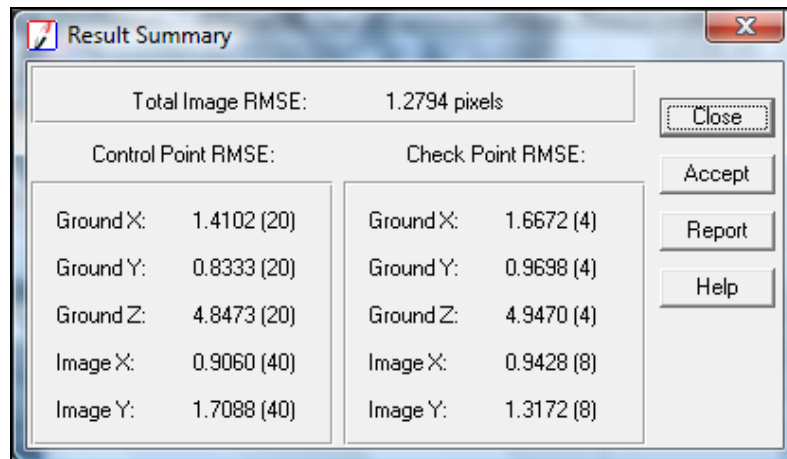
Εικόνα 3.18: Το ομόλογο σημείο με άξοντα αριθμό 25.

Έπειτα, ανοίγοντας το παράθυρο διαλόγου των ιδιοτήτων του αεροτριγωνισμού, το πρόγραμμα προειδοποιεί ότι δεν εκτελείται αεροτριγωνισμός με την κλασική του έννοια παρά μόνο μία διαδικασία για τον έλεγχο των σφαλμάτων με τη χρήση των GCPs, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.19.

Με την επιλογή Run εκτελείται ο αλγόριθμος και τα αποτελέσματα που προέκυψαν στη συγκεκριμένη περίπτωση φαίνονται στην Εικόνα 3.20 που ακολουθεί.



Εικόνα 3.19: Παράθυρο των ιδιοτήτων του αεροτριγωνισμού στο μικτό μοντέλο δέκτη.



Εικόνα 3.20: Αποτελέσματα του αεροτριγωνισμού του μικτού μοντέλου για τις δορυφορικές εικόνες.

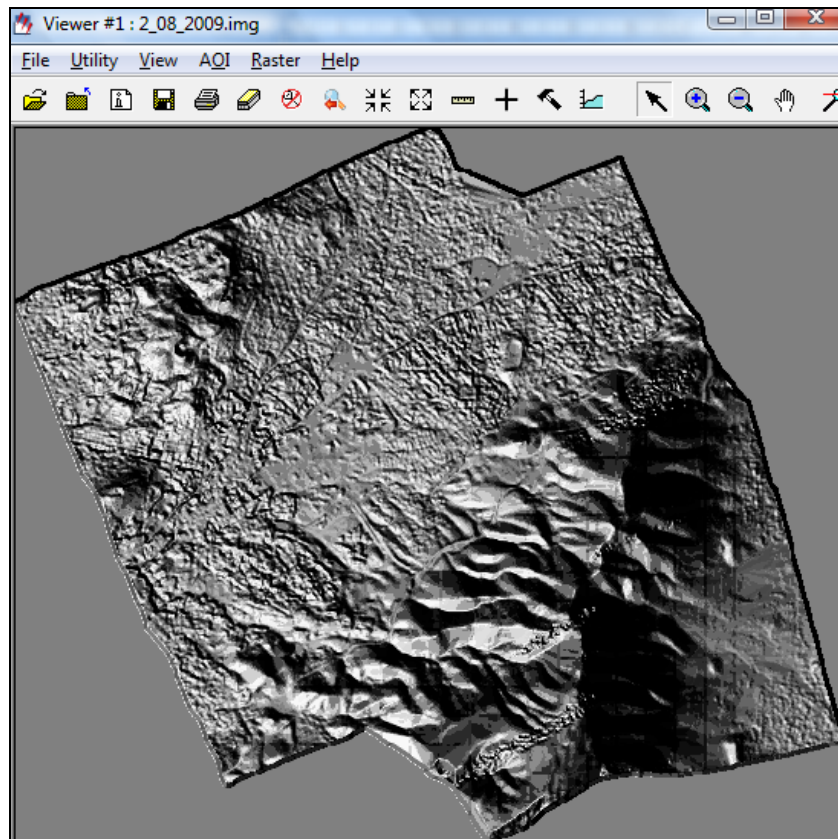
3.6.2 Εξαγωγή DTM

Η επόμενη εργασία που πραγματοποιήθηκε ήταν η αυτόματη εξαγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Οι παράμετρος του ΑΤΕ καθορίστηκαν όπως και στην §3.3.4 έτσι ώστε το εξαγόμενο dem να είναι συγκρίσιμο με το αρχικό.

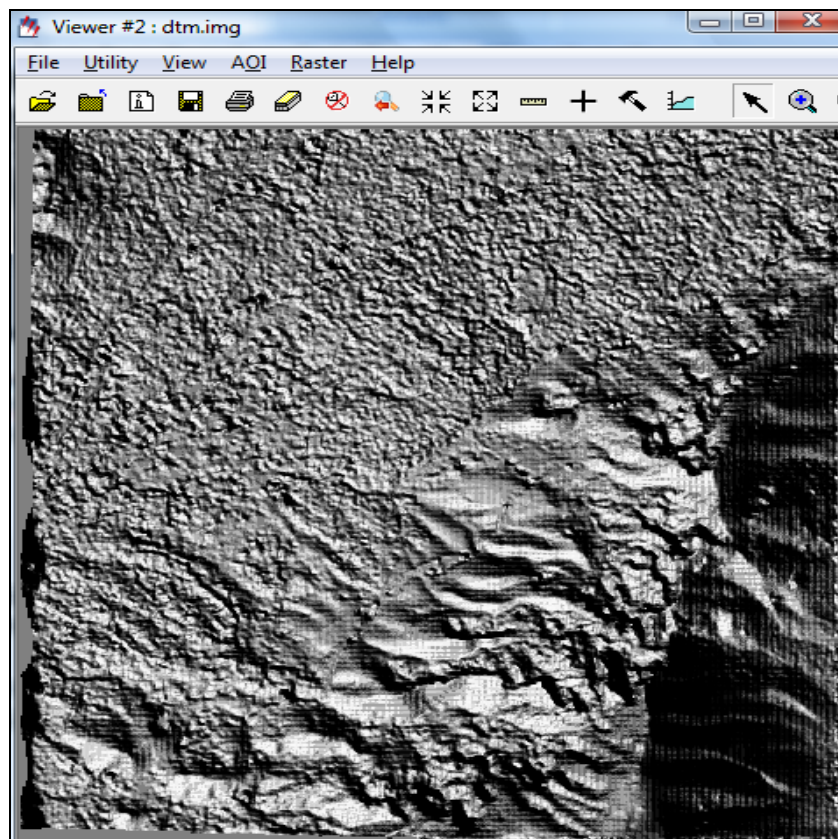
Στην Εικόνα 3.21 φαίνεται το αρχικό dem σε μορφή αναγλύφου, στην Εικόνα 3.22 παρουσιάζεται το παραχθέν dem του μικτού δέκτη σε αντίστοιχη μορφή. Επιπρόσθετα, στην Εικόνα 3.23 παρουσιάζεται το τελικό status των pixels, ενώ στην Εικόνα 3.24 παρουσιάζεται το υπόμνημα της Εικόνας 3.23.

Από τη μελέτη των εικόνων αυτών προκύπτει ότι ο αλγόριθμος της αυτόματης εξαγωγής ψηφιακού μοντέλου εδάφους για το στερεοζεύγος των δορυφορικών εικόνων με το μοντέλο μικτού δέκτη κρίνεται επιτυχημένο και αποδεκτό καθώς προκύπτει ότι το 36.26% των pixels είναι άριστο, το 37.11% είναι καλό, το 13.24% είναι μέτριο, ενώ μόλις το 13.39% δεν είναι αποδεκτό.

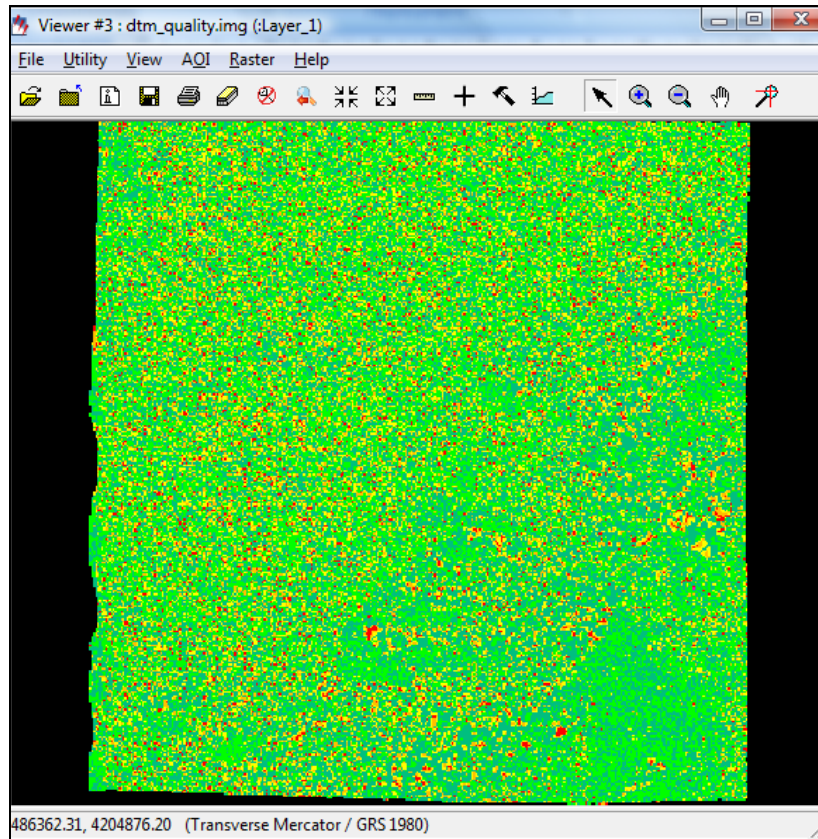
Για την περαιτέρω διερεύνηση των αποτελεσμάτων έγινε αφαίρεση των τιμών των pixels του τελικού dem, από το αρχικό (Εικόνα 3.25). Η διαδικασία της αφαίρεσης υλοποιήθηκε επιλέγοντας από την κεντρική μπάρα του Erdas Imagine 9.2: Image Interpreter> Utilities> Operators... Το γενικό συμπέρασμα που εξάγεται από τη μελέτη της εικόνας αυτής είναι ότι ο αλγόριθμος έδωσε σαφώς καλύτερα αποτελέσματα σε πεδινές και ημιορεινές περιοχές από ότι σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο όπου φαίνεται ότι τα παραχθέντα υψόμετρα είναι πολύ μικρότερα από εκείνα του ψηφιακού μοντέλου αναφοράς.










Εικόνα 3.21: Το αρχικό dem σε μορφή αναγλύφου.



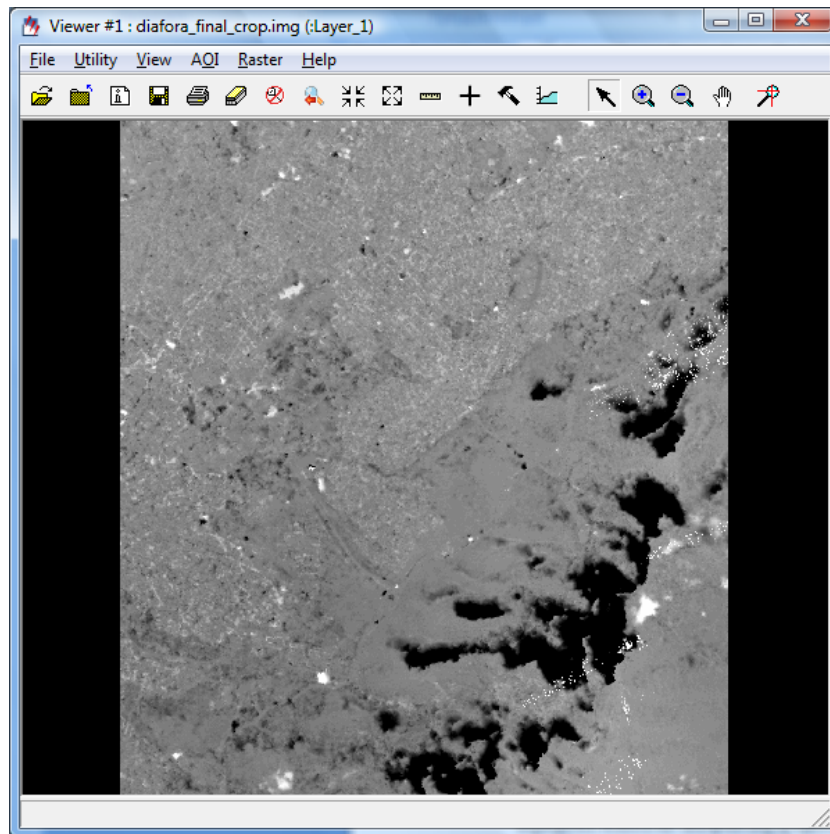
Εικόνα 3.22: Το παραχθέν dem σε μορφή αναγλύφου.



Εικόνα 3.23: Εικόνα με το τελικό status των pixels

Class Names	Color	Red	Green	Blue	Opacity	Histogram
Background		0	0	0	0	42089
Excellent		0	1	0	1	666661
Good		0	0.75	0.5	1	682217
Fair		1	1	0	1	243442
Isolated		1	0.75	0	1	170966
Suspicious		1	0	0	1	75165
Measured		1	0	0.75	1	10

Εικόνα 3.24: Υπόμνημα του τελικού status των pixels



Εικόνα 3.25: Αφαίρεση των τιμών των pixels του τελικού dem, από το αρχικό.

3.6.3 Στερεοαπόδοση

Η τελευταία εφαρμογή του LPS που υλοποιήθηκε ήταν η εφαρμογή του Stereo Analyst. Πιο συγκεκριμένα επιχειρήθηκε από το στερεοζεύγος των δορυφορικών εικόνων να αποδοθούν στερεοσκοπικά τα όρια κάποιων χαρακτηριστικών κατασκευών στην περιοχή. Έπειτα για να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα για την ποιότητα και την ακρίβεια των διανυσματικών αυτών δεδομένων, έγινε η εξαγωγή των ορίων των ιδίων κατασκευών από το στερεοζεύγος 278716-717 του μπλοκ των αεροφωτογραφιών, που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

Με δεδομένο ότι το μέγεθος του pixel στις αεροφωτογραφίες είναι της τάξης του 0.30m ενώ το αντίστοιχο της Worldview είναι 0.50m και της Quickbird είναι 0.60m τότε τα διανυσματικά δεδομένα που εξάγονται από τις αεροφωτογραφίες μπορούν με ασφάλεια να χρησιμοποιηθούν σαν βάση-μέτρο σύγκρισης εκείνων που προέρχονται από το στερεοζεύγος των δορυφορικών εικόνων.

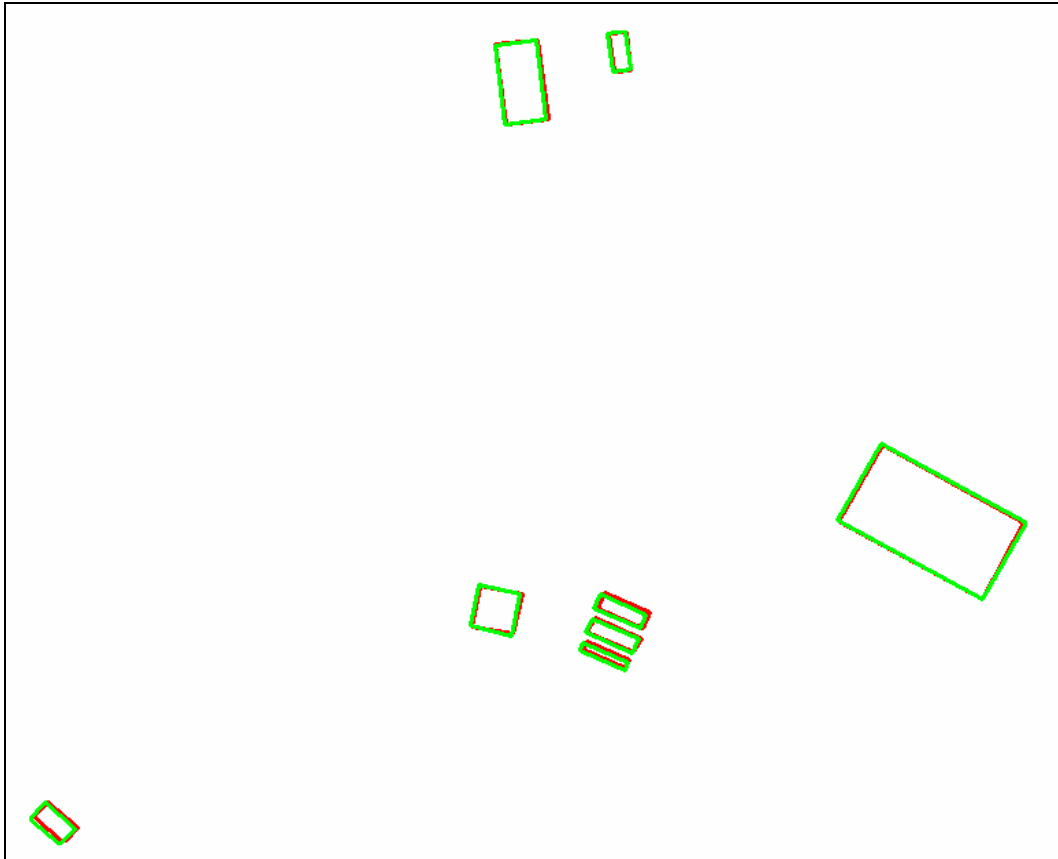
Στην *Εικόνα 3.26* παρουσιάζονται οι κατασκευές που αποδόθηκαν, ενώ στην *Εικόνα 3.27* παρουσιάζονται τα περιγράμματά τους που προέκυψαν από το στερεοζεύγος των δορυφορικών εικόνων (με κόκκινο

χρώμα) και από το στερεοζεύγος των αεροφωτογραφιών (με πράσινο χρώμα).

Στο Παράρτημα παρουσιάζονται τα παραπάνω δεδομένα σε εκτύπωση υπο κλίμακα 1:5.000.



Εικόνα 3.26: Η περιοχή των κατασκευών που αποδόθηκαν στερεοσκοπικά



Εικόνα 3.27: Περιγράμματα των κατασκευών που αποδόθηκαν από το στερεοζεύγος των δορυφορικών εικόνων (κόκκινο χρώμα) και το στερεοζεύγος των αεροφωτογραφιών (πράσινο χρώμα).

Στο σημείο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να μετρηθούν οι αποκλίσεις ανάμεσα στις κορυφές των κατασκευών των δύο αρχείων, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η εκτίμηση της κλίμακας του τοπογραφικού διαγράμματος που μπορεί να δημιουργηθεί από το στερεομοντέλο των δορυφορικών εικόνων.

Σε περιβάλλον ArcMap 9.3, θεωρώντας σαν σχέδιο αναφοράς αυτό που προέκυψε από το στερεοζεύγος των αεροφωτογραφιών μετρήθηκαν οι αποκλίσεις του αντίστοιχου των δορυφορικών εικόνων και τοποθετήθηκαν σε ένα νέο αρχείο με την ονομασία *apokliseis.shp*, όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 3.28*. Επίσης, δημιουργήθηκε ένα νέο shapefile το οποίο ονομάστηκε *koryfes.shp* και στο οποίο σχεδιάστηκαν οι κορυφές των πολυγώνων.

Έπειτα, οι συντεταγμένες των κορυφών και εισήχθησαν σε ένα φύλλο εργασίας του Excel και προσδιορίστηκαν οι μέσες τιμές των συντεταγμένων των κορυφών X και Y, με βάση τις παρακάτω σχέσεις:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3.1)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad (3.2)$$

όπου \bar{X}, \bar{Y} οι μέσες τιμές των συντεταγμένων X, Y και n ο αριθμός των παρατηρήσεων.

Το τυπικό σφάλμα της μίας μέτρησης των συντεταγμένων X, Y προέκυψε από τις σχέσεις:

$$\sigma_X = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{n-1}} \quad (3.3)$$

$$\sigma_Y = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{n-1}} \quad (3.4)$$

όπου u_i τα υπόλοιπα των μετρήσεων.

Τέλος, το τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής των συντεταγμένων X, Y , προέκυψε από τις σχέσεις:

$$\sigma_{\bar{X}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (3.5)$$

$$\sigma_{\bar{Y}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (3.6)$$

Από την εφαρμογή των σχέσεων (3.1) έως και (3.6) προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

$$\bar{X} = 1.081\text{m}$$

$$\bar{Y} = 0.323\text{m}$$

$$\sigma_X = \pm 0.884\text{m}$$

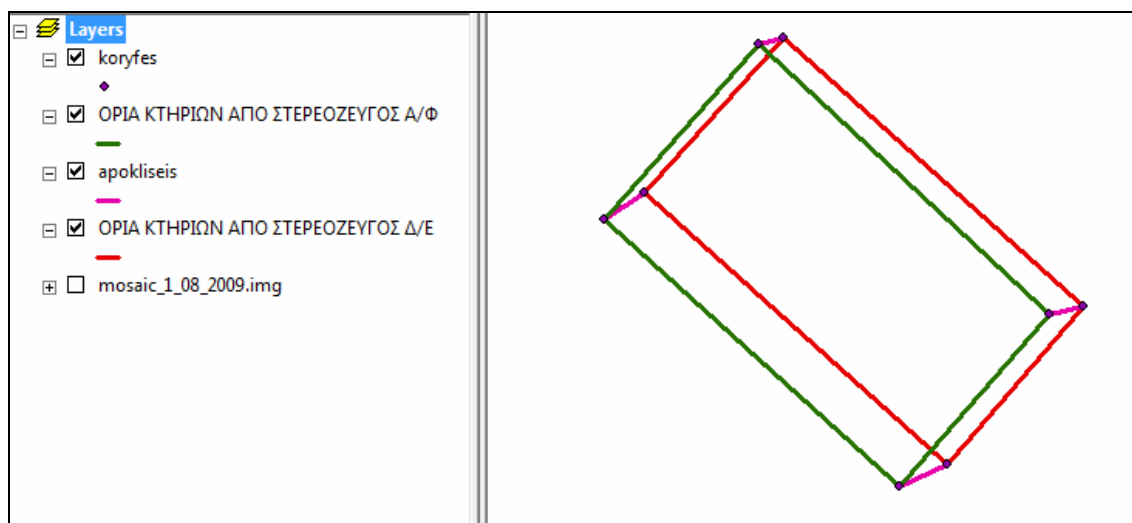
$$\sigma_Y = \pm 0.705\text{m}$$

και

$$\sigma_{\bar{X}} = \pm 0.156\text{m}$$

$$\sigma_{\bar{Y}} = \pm 0.125\text{m}$$

Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα σφάλματα που προκύπτουν από το συγκεκριμένο στερεοζεύγος δορυφορικών εικόνων, είναι στα ανεκτά όρια για την παραγωγή τοπογραφικών διαγραμμάτων κλίμακας 1:5.000, συμπέρασμα ωστόσο που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.



Εικόνα 3.28: Παράδειγμα αποκλίσεων από τα περιγράμματα των κατασκευών (ματζέντα χρώμα).

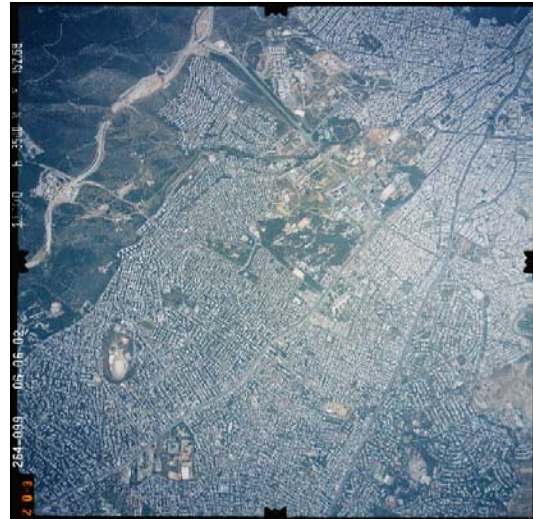
3.7 Εφαρμογή του Μικτού Μοντέλου σε Αεροφωτογραφίες

3.7.1 Δεδομένα

Αφού ολοκληρώθηκε η εφαρμογή του στερεοζεύγους των δορυφορικών εικόνων αποφασίστηκε να ελεγχθεί η δυνατότητα και πιθανώς η χρησιμότητα της εφαρμογής του μικτού μοντέλου σε στερεοζεύγος αεροφωτογραφιών, οι οποίες έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονολογίες, με διαφορετικές φωτομηχανές και από διαφορετικό ύψος πτήσης.



Εικόνα 3.29: Η αεροφωτογραφία 278716.



Εικόνα 3.30: Η αεροφωτογραφία 264099.

Η αριστερή αεροφωτογραφία είναι η 278716 (*Εικόνα 3.29*) που έχει ληφθεί το 2005, με μέσο ύψος πτήσης 3200m από την επιφάνεια της θάλασσας, φωτομηχανή με εστιακή απόσταση 153.12mm, άρα μέση κλίμακα 1:20000. Σαρώθηκε σε υψηλή ανάλυση 1700dpi, σε μορφότυπο TIFF και με βάθος pixel 8bit ανά κανάλι.

Η δεξιά αεροφωτογραφία είναι η 264099 (*Εικόνα 3.30*) που έχει ληφθεί το 2002, με μέσο ύψος πτήσης 3500m από την επιφάνεια της θάλασσας, φωτομηχανή με εστιακή απόσταση 152.68mm, άρα μέση κλίμακα 1:23000. Σαρώθηκε σε υψηλή ανάλυση 1700dpi, σε μορφότυπο TIFF και με βάθος pixel 8bit ανά κανάλι.

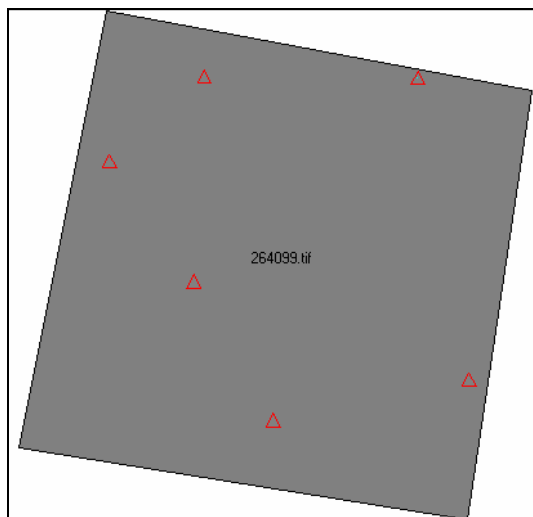
3.7.2 Ορθοβαθμονόμηση Αεροφωτογραφιών

Για να δημιουργηθεί το μικτό μοντέλο των αεροφωτογραφιών θα πρέπει αυτές να ακολουθήσουν τη διαδικασία της ορθοβαθμονόμησης, όπως αυτή περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 2.

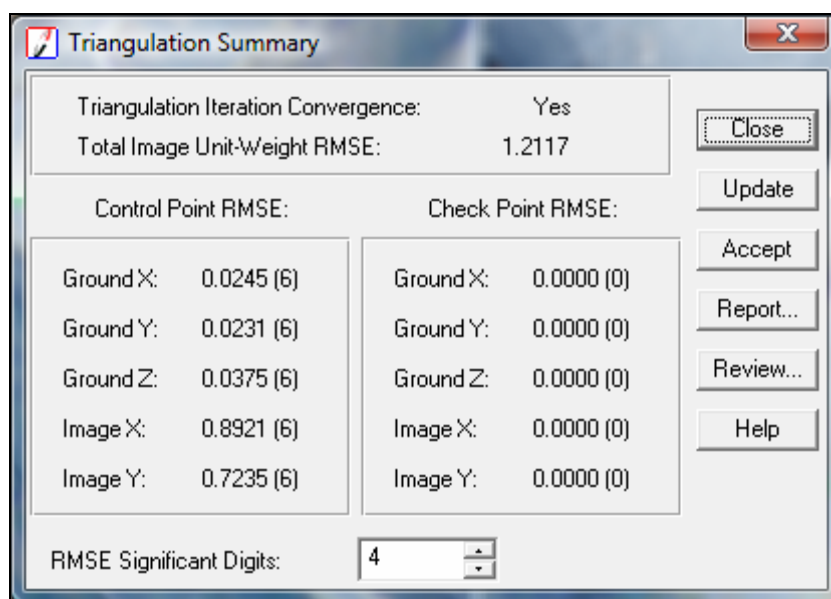
Για την αεροφωτογραφία 278716 η ορθοβαθμονόμηση έλαβε χώρα άμεσα καθώς αποτέλεσε τμήμα του μπλοκ των αεροφωτογραφιών που επιλύθηκαν στα πλαίσια της §3.3. Συνεπώς με γνωστά τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού της εικόνας κατέστη δυνατό να δοθεί η εντολή στο LPS, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 2 και αυτό να ορθοβαθμονομήσει την εικόνα.

Για την αεροφωτογραφία 264099 δημιουργήθηκε ένα νέο αρχείο .blk. Σε αυτό έγινε η εισαγωγή της σαρωμένης αεροφωτογραφίας και δηλώθηκαν τα χαρακτηριστικά της φωτομηχανής με εστιακή απόσταση 152.68mm από την αναφορά βαθμονόμησης (calibration report). Στη συνέχεια από τα μετρημένα σημεία γνωστών συντεταγμένων

επιλέχθηκαν 6 σημεία (Εικόνα 3.31) που βρισκόταν εντός της περιοχής που καλύπτει η αεροφωτογραφία, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του εξωτερικού προσανατολισμού της. Τα αποτελέσματα δίνονται στην Εικόνα 3.32 σε μέτρα.



Εικόνα 3.31: Κατανομή διαθέσιμων Control Points στην αεροφωτογραφία 264099.

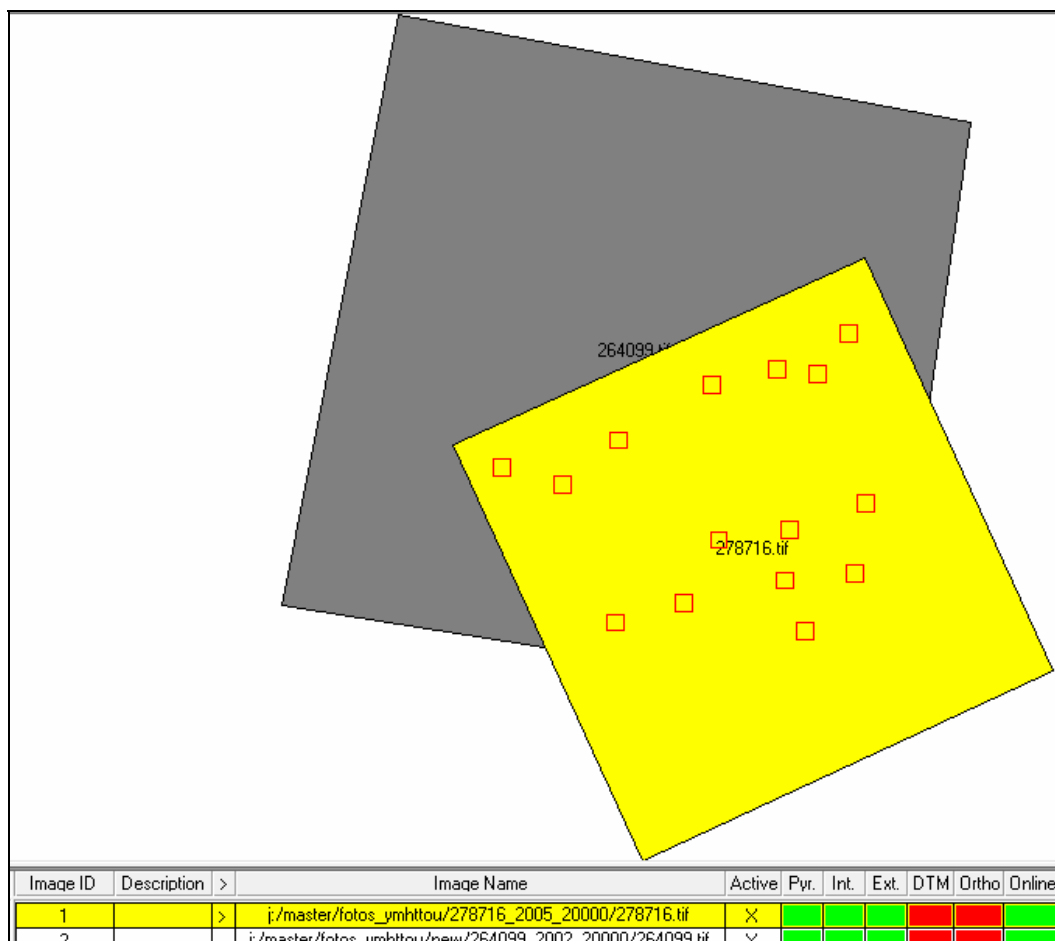


Εικόνα 3.32: Αποτελέσματα του εξωτερικού προσανατολισμού της αεροφωτογραφίας 264099.

3.7.3 Δημιουργία του Μικτού Μοντέλου για τις Αεροφωτογραφίες.

Αμέσως μετά την ορθοβαθμονόμηση των αεροφωτογραφιών ακολούθησε η εισαγωγή τους σε ένα νέο .blk αρχείο, το οποίο ονομάστηκε mixed_sensor_14_08_2009_a.

Έπειτα επιλέχθηκαν από τον χρήστη 15 ομόλογα σημεία, όπως παρουσιάζονται στην *Εικόνα 3.33*. Αμέσως μετά ζητήθηκε από το πρόγραμμα να επιλέξει αυτόματα 25 σημεία, τα οποία και επέλεξε όμως απορρίφθηκαν όλα διότι ήταν απαράδεκτα, σε αντίθεση με τις δορυφορικές εικόνες

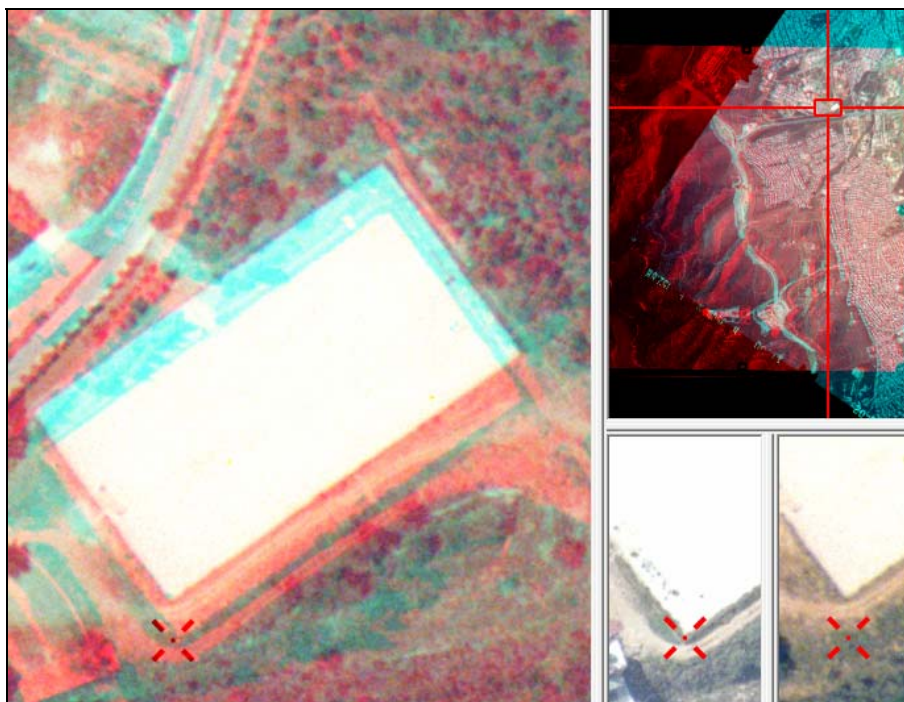


Εικόνα 3.33: Το αρχείο mixed_sensor_14_08_2009_a.blk με τα ομόλογα σημεία του.

Στη συνέχεια, στα πλαίσια της διερεύνησης των δυνατοτήτων του μικτού μοντέλου, έγινε προσπάθεια να δημιουργηθεί αυτόματα ψηφιακό μοντέλο εδάφους από το στερεοζεύγος με τη βοήθεια του ΑΤΕ. Δυστυχώς η εφαρμογή δεν έδωσε αποτελέσματα χωρίς μάλιστα να προβάλλει κάποιο σφάλμα που να δικαιολογεί την αιτία. Οι πιο πιθανοί λόγοι είναι η μικρή επικάλυψη ανάμεσα στις δύο αεροφωτογραφίες καθώς και η στροφή που παρουσίασε η μία σε σχέση με την άλλη

Τέλος έγινε μία απόπειρα να εξαχθούν τα ίδια διανυσματικά δεδομένα όπως και στα δύο προηγούμενα στερεοζεύγη με τη βοήθεια του προγράμματος Stereo Analyst. Όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 3.34*, η εξαγωγή διανυσματικών δεδομένων από το συγκεκριμένο ζεύγος δεν

ήταν δυνατή λόγω της εναπομένουσας παράλλαξης που προκάλεσε αδυναμία ορθής στερεοσκοπικής παρατήρησης.



Εικόνα 3.34: Η εναπομένουσα παράλλαξη στο στερεοζεύγος 278716/264099.

3.8 Προβλήματα

Τα σημαντικότερα προβλήματα που δημιουργήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας είναι:

Το γεγονός ότι η Leica δεν έχει δημοσιεύσει λεπτομέρειες για τον αλγόριθμο που εφαρμόζει, ούτε στον δικτυακό της τόπο ούτε στα εγχειρίδια που συνοδεύουν το πρόγραμμα ήταν ένα σοβαρό πρόβλημα. Μάλιστα έγιναν επανειλημμένες εκκλήσεις στη μητρική εταιρία Leica, μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, για παροχή διευκρινήσεων όσον αφορά τον αλγόριθμο στον οποίο βασίζεται η εφαρμογή οι οποίες ωστόσο δεν είχαν κάποιο αποτέλεσμα παρά μόνο την επανάληψη των λιγοστών πληροφοριών που παρέχονται στα εγχειρίδια. Αυτή η αγνοία των μηχανισμών που χρησιμοποιεί το μοντέλο αποτελεί ουσιαστική τροχοπέδη για την κατανόηση των υπέρ, των κατά και την εκμετάλλευση του μεγίστου των δυνατοτήτων του.

Άλλο σημαντικό πρόβλημα αποτελεί η έλλειψη διεθνούς εμπειρίας από τη χρήση του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, έγινε σχολαστική έρευνα στο διαδίκτυο για την εξεύρεση δημοσιεύσεων πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο χωρίς ωστόσο να βρεθεί ούτε μία σχετική δημοσίευση, παρά

μόνο μία με παρόμοιο αντικείμενο, τα συμπεράσματα της οποίας παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2. Εάν υπήρχε εμπειρία στον χώρο αυτόν τότε θα υπήρχε και μέτρο σύγκρισης για τα εξαγόμενα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.

Όσον αφορά τις εργασίες πεδίου η σημαντικότερη δυσχέρεια προέκυψε από τη μεγάλη γεωγραφική περιοχή που κάλυπταν οι εικόνες. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να χρειαστούν αρκετά σημεία γνωστών συντεταγμένων σε μία ευρεία περιοχή, με άμεσο αντίκτυπο στον χρόνο που τελικά απαιτήθηκε.

Επίσης το γεγονός ότι η ανάλυση των αεροφωτογραφιών ήταν διαφορετική από αυτή των δορυφορικών εικόνων οδήγησε στην ανάγκη μέτρησης επιπλέον σημείων γνωστών συντεταγμένων καθώς μερικά από αυτά που μετρήθηκαν σε προηγούμενη εργασία στις δορυφορικές εικόνες δεν κατέστη δυνατό να εντοπιστούν στις αεροφωτογραφίες.

Τέλος, κατά την εφαρμογή του μοντέλου μικτού δέκτη το πλέον σημαντικό πρόβλημα που δημιουργήθηκε και το οποίο τελικά δεν θεραπεύτηκε, ήταν αυτό της εναπομένουσας παράλλαξης στο στερεομοντέλο των διαχρονικών αεροφωτογραφιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1 Συμπεράσματα

Από τη μελέτη και ανάλυση των αποτελεσμάτων των εργασιών που έλαβαν χώρα, τα συμπεράσματα που εξάγονται μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

α. Η σύγκριση ανάμεσα στα παραμετρικά και μη παραμετρικά μοντέλα δορυφορικών δεκτών οδηγεί στη σαφή υπεροχή των πρώτων. Συνεπώς θα πρέπει να επιδιώκεται η λήψη των εφημερίδων των τροχιών των δορυφόρων κατά την παραγγελία των εικόνων από τους οίκους, όταν αυτό είναι δυνατό, για να υλοποιούνται τα τροχιακά μοντέλα αντί των RFM.

β. Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό, είτε διότι δεν τα παρέχει ο προμηθευτής είτε διότι δεν απαιτήθηκαν κατά την παραγγελία, τότε είναι επιβεβλημένο να γίνεται χρήση των RPCs για την εφαρμογή του μοντέλου RFM.

γ. Από το *Διάγραμμα 3.1*, όπου εμφανίζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου RFM στην εικόνα WorldView, διαπιστώνεται ότι χωρίς την βελτίωση του RFM το RMSE των Check Points είναι 6m. Εάν εφαρμοστεί βελτίωση με τη χρήση πολωνύμου 0^{ου} βαθμού με ένα και μόνο GCP το RMSE γίνεται καλύτερο του 1m. Αντίθετα εάν εφαρμοστεί βελτίωση με τη χρήση πολωνύμου 1^{ου} βαθμού το RMSE γίνεται καλύτερο του 1m με τη χρήση 3 GCPs.

δ. Από το *Διάγραμμα 3.2*, όπου εμφανίζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου RFM στην εικόνα Quickbird, διαπιστώνεται ότι χωρίς την βελτίωση του RFM το RMSE των Check Points είναι της τάξης των 3m. Εάν εφαρμοστεί βελτίωση με τη χρήση πολωνύμου 0^{ου} βαθμού με ένα και μόνο GCP το RMSE γίνεται καλύτερο του 1m. Αντίθετα εάν εφαρμοστεί βελτίωση με τη χρήση πολωνύμου 1^{ου} βαθμού το RMSE γίνεται καλύτερο της τάξης του 1m με τη χρήση 4 GCPs.

ε. Η διαδικασία της ορθοβαθμονόμησης των εικόνων αποτελεί μία απαραίτητη λειτουργία για τη δημιουργία του μικτού δέκτη. Ωστόσο στην πράξη αποδείχτηκε ότι γενικά δεν θα πρέπει να προτιμάται από την ορθοαναγωγή διότι οι ορθοβαθμονομημένες εικόνες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλα προγράμματα. Γενικά, πρόκειται για μία διαδικασία που είναι ιδανική για την διατήρηση της αρχικής εικόνας και την εξοικονόμηση χώρου στους δίσκους.

στ. Η λειτουργία της αυτόματης επιλογής, μέσω συνταύτισης, ομόλογων σημείων από δορυφορικές εικόνες με εφαρμογή του μοντέλου μικτού δέκτη, έλαβε χώρα με πλήρη επιτυχία κάτι που δεν διαπιστώθηκε στην περίπτωση του στερεοζεύγους των διαχρονικών αεροφωτογραφιών. Βέβαια το συμπέρασμα αυτό δεν μπορεί να γενικευτεί γιατί η αποτυχία του αλγορίθμου είναι πολύ πιθανό να οφείλεται στη διάταξη των εικόνων.

ζ. Το αποτέλεσμα της αυτόματης εξαγωγής ψηφιακού μοντέλου εδάφους για το στερεοζεύγος των δορυφορικών εικόνων με το μοντέλο μικτού δέκτη κρίνεται επιτυχημένο και αποδεκτό καθώς προκύπτει ότι το 36.26% των pixels είναι άριστο, το 37.11% είναι καλό, το 13.24% είναι μέτριο, ενώ μόλις το 13.39% δεν είναι αποδεκτό. Από την περαιτέρω διερεύνηση των αποτελεσμάτων που έγινε με αφαίρεση των τιμών των pixels του τελικού dem, από το αρχικό, εξάγεται το γενικό συμπέρασμα ότι ο αλγόριθμος έδωσε σαφώς καλύτερα αποτελέσματα σε πεδινές και ημιορεινές περιοχές από ότι σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο όπου φαίνεται ότι τα παραχθέντα υψόμετρα είναι πολύ μικρότερα από εκείνα του ψηφιακού μοντέλου αναφοράς.

η. Επιπρόσθετα, τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διανυσματοποίηση του στερεοζεύγους των δορυφορικών εικόνων Quickbird και WorldView με τη χρήση του Stereo Analyst, μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω:

(1) Επιτυγχάνεται πράγματι στερεοσκοπική παρατήρηση που υστερεί ωστόσο σε ποιότητα σε σχέση με εκείνη που επιτυγχάνεται από κλασικές αεροφωτογραφίες.

(2) Δίνεται η δυνατότητα στερεοαπόδοσης σε όλο το κοινό επικαλυπτόμενο κομμάτι των δορυφορικών εικόνων.

(3) Από τον έλεγχο της ακρίβειας των διανυσμάτων που δημιουργήθηκαν, εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα σφάλματα που προκύπτουν από το συγκεκριμένο στερεοζεύγος δορυφορικών εικόνων, είναι στα ανεκτά όρια για την παραγωγή τοπογραφικών διαγραμμάτων κλίμακας 1:5.000, συμπέρασμα ωστόσο που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

θ. Τέλος το γενικό συμπέρασμα που εξάγεται από την παρούσα εργασία είναι ότι το μοντέλο μικτού δέκτη μπορεί όντως να χρησιμοποιηθεί σε αρκετές φωτογραμμετρικές εργασίες με τη χρήση δορυφορικών εικόνων από διαφορετικούς δέκτες, γεγονός που έχει μεγάλο οικονομικό ενδιαφέρον καθώς:

(1) Το κόστος απόκτησης ενός στερεοζεύγους εικόνων είναι δυσανάλογο σε σχέση με εκείνο της απόκτησης δύο απλών εικόνων.

(2) Εάν υπάρχει ήδη μία εικόνα μίας περιοχής και απαιτείται η δημιουργία στερεομοντέλου τότε είναι ενδεχομένως δυνατή η απόκτηση μίας μόνο εικόνας, άρα περιορίζεται σημαντικά το κόστος.

(3) Για μεγάλες εταιρίες και οργανισμούς που έχουν πλούσιο αρχείο διαχρονικών δορυφορικών εικόνων η χρησιμοποίηση του Mixed Sensor Model παρέχει ακόμη περισσότερες δυνατότητες αξιοποίησης του υπάρχοντος αρχείου.

4.2 Προτάσεις

Από την εμπειρία που αποκτήθηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν και τους τρόπους που αυτά αντιμετωπίστηκαν, προτείνεται να γίνουν τα εξής:

α. Θα πρέπει να γίνουν επιπλέον δοκιμές με το μοντέλο μικτού δέκτη, με εικόνες διαφορετικών δεκτών για να καταστεί δυνατή η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για τη χρησιμότητά του.

β. Αντικείμενο περαιτέρω διερεύνησης αποτελεί και η εφαρμογή του μοντέλου με διαχρονικές αεροφωτογραφίες. Θα πρέπει να υπάρξει επιπλέον έρευνα έτσι ώστε να διαπιστωθεί εάν είναι δυνατή η επιτυχής εφαρμογή του μοντέλου και σε αυτήν την κατηγορία εικόνων.

γ. Τέλος, προτείνεται η συγκεντρωτική αποθήκευση, σε επίπεδο Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας, των σημείων γνωστών συντεταγμένων (GCPs) που συλλέγονται κατά την εκτέλεση των διάφορων εργασιών έτσι ώστε μελλοντικά να μην παρίσταται τόσο συχνά η ανάγκη για εκτέλεση γεωδαιτικών μετρήσεων, να μην γίνονται επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε επικαλυπτόμενες περιοχές και να επιτυγχάνεται τελικά εξοικονόμηση πολύτιμου χρόνου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ιωαννίδης Χ., *Συμπληρωματικές Σημειώσεις στη Φωτογραμμετρία*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2008.
2. Πατιάς Π., *Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1991.
3. Τσιγγενόπουλος Γ., *Μεγάλες Θερινές Ασκήσεις Φωτογραμμετρίας*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2009.
4. Rongxing Li, Feng Zhou, Xutong Niu, Kaichang Di, *Integration of Ikonos and Quickbird Imagery for Geopositioning Accuracy Analysis*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 73, No. 9, pp. 1067-1074, Ohio 2007.
5. Vozikis G., Fraser C., Jansa J., *Alternative Sensor Orientation Models For High Resolution Satellite Imagery*, Vienna University of Technology, Vienna, 2003.
6. Wang Y., Yang X., Xu F., Leason A., Megenta S., *An operational system for sensor modeling and dem generation of satellite pushbroom sensor images*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1, Beijing 2008.

ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

1. <http://www.earth.google.com>
2. <http://www.leica-geosystems.com>, επίσημος δικτυακός τόπος της εταιρείας Leica.
3. <http://www.digitalglobe.com>, επίσημος δικτυακός τόπος της εταιρείας DigitalGlobe που παρέχει τις εικόνες QuickBird και Worldview.
4. <http://seamless.usgs.gov>. επίσημος δικτυακός τόπος της USGS

EXPERIMENTATIONS ON THE POTENTIALS OF THE MIXED SENSOR MODEL OF LEICA PHOTOGRAMMETRY SUITE

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the analysis of the satellite sensors geometric models, which are used for photogrammetric purposes and the experimentations on the potentials of using images coming from different sensors in common stereo pairs.

The thesis consists of four chapters.

In the first chapter an introduction to the high resolution sensors and their geometric models takes place.

The second chapter analyzes the requirements and potentials of mixed sensor geometric model which is part of Leica Photogrammetry Suite.

The third chapter presents the study area, the equipment, the raw data and methods that were used to perform the measurements, the results and the problems during the work.

In the last chapter the final conclusions are presented and some proposals are made.

The main conclusion is that the use of satellite images from different sensors in mixed sensor geometric model can deliver very good results in many photogrammetric applications, such as automatic terrain extraction and creation of planimetric maps.

Especially it is proved that from the integration of a WorldView and a Quickbird image a planimetric map at the scale 1:5.000 can be created.

On the contrary, the results from tests on stereopairs from photographs coming from different ages and different cameras were very poor and disappointing, mainly due to remaining parallax.

Further work must be done with this kind of data in order to affirm the conclusions related with the mixed sensor model.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Ημερομηνία	Εργασίες
1/3/09	Ανάθεση μεταπτυχιακής εργασίας
2/3 – 10/6/09	Προετοιμασία από πλευράς βιβλιογραφίας – Έρευνα στο διαδίκτυο
11/6/09	Έρευνα για επιλογή οργάνων
12/6/09	Εκτέλεση δοκιμαστικών μετρήσεων στον προαύλιο χώρο του κτηρίου "Λαμπαδαρίου"
13/6-16/6 -24/6/09	Εκτέλεση μετρήσεων GPS.
24/6 – 1/8/09	Επεξεργασία μετρήσεων GPS Εκτέλεση αεροτριγωνισμών, Εξαγωγή ΨΜΕ, Εξαγωγή διανυσματικών δεδομένων.
2/8-31/8/09	Σύνταξη κειμένων
1/9/09 – 22/10/09	Τελικές διορθώσεις – εκτύπωση

**ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΓΝΩΣΤΩΝ
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ**

<i>a/a</i>	<i>Ονομασία</i>	<i>Περιγραφή</i>	<i>Τύπος</i>	<i>Χρήση</i>	<i>X(m)</i>	<i>Y(m)</i>	<i>Z(m)</i>
1	130609001	rtk	Full	Control	481156.653	4203090.66	200.795
2	130609002	rtk	Full	Control	481172.68	4203062.856	202.293
3	130609003	rtk	Full	Control	481168.55	4203056.494	202.454
4	130609004	rtk	Full	Check	480203.848	4204770.092	156.456
5	130609005	rtk	Full	Control	480207.153	4204765.601	156.779
6	130609006	rtk	Full	Control	480211.014	4204768.813	156.689
7	240609001	rtk	Full	Control	485220.91	4207010.397	227.371
8	240609002	rtk	Full	Control	482693.311	4206508.194	192.454
9	240609004	rtk	Full	Check	481419.047	4208177.073	163.956
10	240609005	rtk	Full	Control	484062.577	4209348.11	213.771
11	130609011	rtk	Full	Control	479175.341	4206234.892	231.898
12	130609012	rtk	Full	Check	479170.918	4206234.3	232.541
13	130609013	rtk	Full	Control	478345.478	4205999.223	320.128
14	130609014	rtk	Full	Check	478349.613	4205999.016	320.077
15	130609015	rtk	Full	Control	478344.135	4205994.694	319.843
16	130609016	rtk	Full	Control	476963.212	4205022.954	100.828
17	130609017	rtk	Full	Check	476958.516	4205019.443	100.991
18	130609020	rtk	Full	Control	477497.296	4203752.928	228.186
19	130609021	rtk	Full	Control	478670.901	4202453.149	130.71
20	130609022	rtk	Full	Check	478638.9	4202429.797	129.43
21	130609023	rtk	Full	Control	479801.425	4198917.949	336.005
22	130609024	rtk	Full	Control	479792.104	4198913.619	335.243
23	130609025	rtk	Full	Check	483564.782	4203559.484	362.468
24	130609026	rtk	Full	Control	483565.115	4203573.153	361.602
25	130609027	rtk	Full	Control	484130.458	4202607.596	637.406
26	130609028	rtk	Full	Control	484174.537	4202624.895	639.793
27	130609029	rtk	Vertical	Control	483713.7702	4200179.513	964.545
28	130609030	rtk	Vertical	Control	483707.5407	4200171.482	964.147
29	130609031	rtk	Vertical	Control	483786.6973	4200354.148	956.508
30	130609032	rtk	Full	Control	484909.437	4205029.454	461.046
31	130609033	rtk	Full	Check	484907.292	4205034.13	461.187

32	130609034	rtk	Full	Control	485117.268	4202650.791	378.244
33	130609035	rtk	Full	Check	485119.248	4202654.73	378.059
34	130609036	rtk	Full	Control	486297.526	4198809.96	188.193
35	130609038	rtk	Full	Control	486199.817	4201216.385	228.729
36	130609037	rtk	Full	Control	486203.917	4201225.359	228.424
37	130609040	rtk	Full	Control	486704.935	4204148.58	209.729
38	240609006	rtk	Full	Control	480134.21	4206068.077	178.111
39	180609003	giorgou	Full	Control	480335.077	4207274.376	191.666
40	180609004	giorgou	Full	Control	482940.139	4207257.163	192.144
41	180609006	giorgou	Full	Control	485490.101	4205812.851	342.15
42	180609007	giorgou	Full	Control	480520.885	4203001.985	170.918
43	180609008	giorgou	Full	Control	480192.907	4204797.328	157.344
44	180609010	giorgou	Full	Control	483696.459	4203576.079	397.75
45	180609011	giorgou	Full	Control	483093.049	4203906.585	296.347
46	180609012	giorgou	Full	Control	485042.175	4202529.281	386.074
47	180609014	giorgou	Full	Control	480045.992	4201909.184	198.898
48	180609015	giorgou	Full	Control	481383.069	4201663.526	268.096
49	240609010	static	Full	Control	477351.877	4207279.607	124.771
50	290609001	alepovouni	Vertical	Control	479666.6319	4201237.991	299.28
51	290609002	lykavittos	Vertical	Control	477681.621	4203825.152	262.69
52	290609003	kyroupyrra	Vertical	Control	481932.2561	4201753.384	435.62
53	290609004	lithari	Vertical	Control	483163.7913	4204474.513	362.89
54	290609005	euzonos	Vertical	Control	483504.8907	4199603.049	1021.37