



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
*Τομέας Τοπογραφίας-Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας*

## **Διερεύνηση Γεωαναφοράς Δορυφορικών Εικόνων**

**Διπλωματική εργασία**

Κοσμίδης Ευστάθιος

**Επιβλέπων Καθηγητής**

Ιωαννίδης Χαράλαμπος

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
ΕΝΟΤΗΤΑ Α΄: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	8
Γενικά.....	8
Χάρτες.....	9
Αφρινικός Μετασχηματισμός.....	10
Διγραμμικός Μετασχηματισμός .....	11
Μετασχηματισμοί Πολυωνυμικοί 2ου Βαθμού .....	11
Επαναδειγματοληψία .....	12
Έλεγχος .....	13
Αεροφωτογραφίες-Δορυφορικές Εικόνες.....	15
Γενικά.....	15
Αεροφωτογραφίες.....	18
Εσωτερικός Προσανατολισμός.....	18
Εξωτερικός Προσανατολισμός .....	19
Διαδικασία Ορθοαναγωγής.....	20
Ακρίβεια Ορθοαναγωγής .....	21
Δορυφορικές Απεικονίσεις .....	22
Γενικά.....	22
Είδη Δεκτών.....	23
Παραμορφώσεις Δορυφορικών Εικόνων.....	26
Αυστηρά Μοντέλα (Rigorous Models).....	27
Τροποποιημένες Εξισώσεις της Συνθήκης Συγγραμμικότητας για pushbroom δέκτες .....	29
Το Κεπλέριο Μοντέλο για μία εικόνα .....	30
Αυστηρά μοντέλα για στερεοζεύγη εικόνων αισθητήρα Along Track.....	30

Το Κεπλέριο Μοντέλο .....	30
Το μοντέλο Gauss-Lambert συνδυασμένο με το μοντέλο Kerrick-Gibbs .....	31
Εφαρμογή και αξιολόγηση των παραπάνω Αυστηρών Μοντέλων .....	33
Άλλα Μοντέλα .....	35
Προσεγγιστικά Μοντέλα.....	36
Άμεσος Γραμμικός Μετασχηματισμός (DLT) .....	37
Τρισδιάστατος Αφινικός Μετασχηματισμός (3D Affine Transformation) .....	38
Μοντέλο Κλασματικών Πολυωνύμων (Rational Functions Model) .....	40
Εφαρμογές του Μοντέλου Κλασματικών Πολυωνύμων .....	43
Συμπεράσματα .....	45
SAR Απεικονίσεις.....	46
Γεωμετρία της SAR λήψης.....	46
Γεωαναφορά SAR Απεικονίσεων.....	47
Άμεση Γεωαναφορά.....	48
Έμμεση Γεωαναφορά .....	49
ΕΝΟΤΗΤΑ Β΄: ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	50
Δορυφορικός Δέκτης ALOS .....	50
Δορυφορικός Δέκτης GEOEYE-1 .....	51
Δορυφορικός Δέκτης IKONOS .....	51
Περιοχή Καλάμου .....	51
Γεωαναφορά με το LPS .....	53
Παραγωγή Ορθοεικόνας .....	56
Γεωαναφορά με DLT .....	61
Συμπεράσματα-Διαπιστώσεις .....	63
Περιοχή Κρυονερίου.....	64
Γεωαναφορά με κλασματικά πολυώνυμα μέσω του LPS.....	64

Παραγωγή Ορθοεικόνας .....	65
Συμπεράσματα- Διαπιστώσεις .....	66
Περιοχή Αντιπάρου.....	67
Παραγωγή Ορθοεικόνας .....	69
Συμπεράσματα-Διαπιστώσεις .....	70
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	71
Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την ενασχόληση με την παραπάνω εργασία, μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:.....	71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	75

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Διερεύνηση Γεωαναφοράς Δορυφορικών Εικόνων.....	1
Εικόνα1: Ψηφιδωτό αρχείο .....	9
Εικόνα2: Εφαρμογή Αφφινικού Μετασχηματισμού σε ιστορικό χάρτη .....	12
Εικόνα3: Εφαρμογή Πολυωνυμικού Μετασχηματισμού 2ου βαθμού σε ιστορικό χάρτη .....	12
Εικόνα4: Διάχυση ακτινοβολίας.....	16
Εικόνα5: Απορρόφηση ακτινοβολίας .....	16
Εικόνα 6: Παράδειγμα αρχείου με τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού.....	18
Εικόνα7: Φυσική σχέση εικονοστοιχείου, κέντρου προβολής και αντικειμένου ....	19
Εικόνα8: Η Συνθήκη Συγγραμικότητας μετασχηματισμένη .....	19
Εικόνα9: Η διαδικασία της γεωαναφοράς .....	20

Εικόνα11: Δημιουργία σκηνης από διαδοχικά Framelet σε αισθητήρα Pushbroom .....	23
Εικόνα12: Δημιουργία σκηνης σε αισθητήρα Panoramic .....	24
Εικόνα13: Δημιουργία σκηνης σε αισθητήρα Whiskbroom.....	25
Εικόνα14: Λήψη στερεοζεύγους σε δέκτη along track.....	25
Εικόνα15: Λήψη στερεοζεύγους σε δέκτη across track .....	25
Εικόνα 16: Τρόπος λειτουργίας των RPC.....	40
Εικόνα 17: Τρόπος λειτουργίας του Ραντάρ .....	46
Εικόνα 18: Ανακλαστήρας σε SAR απεικόνιση.....	49
<i>Κατανομή σημείων στην δορυφορική εικόνα ALOS</i> .....	52
Εικόνα 19: Model Setup στο Erdas Imagine και Metadata Δορυφορικής Εικόνας .....	53
Εικόνα 20: Διάταξη GCP – CheckPoint με 2 GCP στα άκρα της εικόνας.....	54
Εικόνα 21: Διάταξη GCP – CheckPoint με 2 GCP στο μέσον της εικόνας.....	55
Εικόνα 22: Διάταξη GCP – CheckPoint με 6 GCP καλά κατανομημένα στην εικόνα .....	55
Εικόνα 23: Διάταξη 10 CheckPoint για έλεγχο της ακρίβειας της ορθοεικόνας.....	58
Εικόνα 24: Διάταξη GCP και CheckPoint για την γεωμετρική διόρθωση της εικόνας .....	62
Εικόνα 25: Διάταξη GCP και CheckPoint για την γεωαναφορά των εικόνων GEOEYE στην περιοχή Αντιπάρου.....	68

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: RMSE στην περιοχή Aix-en-Provence (με 12 GCP).....	33
Πίνακας 2: RMSE σε σχέση με διαφορετικό αριθμό GCP στην περιοχή Aix-en-Provence ....	34
Πίνακας 3: RMSE σε σχέση με διαφορετικό αριθμό GCP στην περιοχή της Βαυαρίας.....	34
Πίνακας 4: Σύγκριση μοντέλων σε ΔΕ IKONOS και SPOT .....	39

Πίνακας 5: RMSE (σε m)των σημείων ελέγχου, σε διαδικασία βελτίωσης των RPC.....	43
Πίνακας 5: Συν/νες σημείων της περιοχής Καλάμου.....	52
Πίνακας 6: Αποτελέσματα Γεωαναφοράς στην περιοχή Καλάμου .....	54
Πίνακας 7: Αποκλίσεις Συν/νων της ορθοεικόνας στην περιοχή Καλάμου.....	58
Πίνακας 8 : Πίνακας με τις διαφορές συν/νων αν μετατεθεί η εικόνα με βάση το σημείο 6 στις μετρημένες συν/νες.....	59
Πίνακας 9 : Πίνακας με τις διαφορές συν/νων αν μετατεθεί η εικόνα με βάση το σημείο 6 στις συν/νες που προκύπτουν από την μέση μετάθεση.....	60
Πίνακας 10 : Πίνακας με τις αποκλίσεις των Checkpoints μετά από εφαρμογή DLT.....	62
Πίνακας 11 : Πίνακας με τα αποτελέσματα γεωαναφοράς στην περιοχή Κρυονερίου .....	65
Πίνακας 12 : Πίνακας με τις αποκλίσεις της ορθοεικόνας στην περιοχή Κρυονερίου.....	66
Πίνακας 13 : Πίνακας με τα αποτελέσματα της γεωαναφοράς στην περιοχή Αντιπάρου.....	68
Πίνακας 14 : Πίνακας με τις αποκλίσεις της ορθοεικόνας στην περιοχή Αντιπάρου.....	69

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εισαγωγή των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών που διαθέτουν μεγάλη υπολογιστική ισχύ, εδώ και μερικές δεκαετίες, έχει επιφέρει πραγματική επανάσταση στον χώρο της Τηλεπισκόπησης, της Χαρτογραφίας και της Φωτογραμμετρίας. Η δε εξέλιξη της τεχνολογίας, μας επιτρέπει πλέον να κατέχουμε, να διαχειριζόμαστε και να εκμεταλλευόμαστε μεγάλη ποσότητα πληροφοριών, λαμβανόμενη από κάθε είδους πηγή, ενώ τα παράγωγα που μπορούν να εξαχθούν είναι πολυπληθή και με πολλές εφαρμογές.

Η χρήση των δεδομένων, αλλά και των προγραμμάτων που τα διαχειρίζονται, μπορούν πλέον να γίνουν από εξειδικευμένους αλλά και μη χρήστες. Στην σύγχρονη εποχή, ο κάθε χρήστης μπορεί εύκολα να αποκτήσει όχι μόνο αναλογικούς χάρτες, όπως παραδοσιακά γινόταν, αλλά και αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες με εδαφοψηφίδα μεγέθους μικρότερης του 1 μέτρου.

Η εκμετάλλευση αυτού του πλούτου της πληροφορίας, εκτός από τα προφανή οφέλη, ελοχεύει και πολλούς κινδύνους. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν τα όποια παράγωγα φερ' ειπείν σε κάποιο GIS σύστημα, θα πρέπει πρωτίστως να υποστούν κάποιου είδους επεξεργασία, και να αναχθούν σε κάποιο χαρτογραφικό υπόβαθρο της επιλογής του χρήστη.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα αναλυθεί η έννοια της Γεωαναφοράς, στα ευρέως χρησιμοποιούμενα ψηφιακά δεδομένα, προκειμένου να μπορούν αυτά να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή παραγωγών δεδομένων με την εκάστοτε απαιτούμενη ακρίβεια.

# ΕΝΟΤΗΤΑ Α΄: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

## Γενικά

Πριν προχωρήσουμε στον ορισμό της Γεωαναφοράς, είναι θεμιτό να αναφερθούν ορισμένα γενικά θέματα που οριοθετούν το πλαίσιο μέσα στο οποίο ο κάθε χρήστης καλείται να εργαστεί.

Ένας διανυσματικός χώρος είναι, χωρίς να επιμείνουμε στον αυστηρό μαθηματικό ορισμό, το σύνολο των διανυσμάτων που πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις και χαρακτηριστικά. Έτσι, εάν θεωρήσουμε το σύνολο των διανυσμάτων με τρεις διαστάσεις (πχ μήκος, πλάτος, ύψος), τότε ο διανυσματικός χώρος που δημιουργείται ονομάζεται Τρισδιάστατος Διανυσματικός Χώρος  $R^3$ . Ομοίως ένας άλλος επίσης τρισδιάστατος χώρος είναι εκείνος που δημιουργείται – και άρα περιλαμβάνει- από το πλήθος των διανυσμάτων με τρεις διαστάσεις, αλλά με μέγιστη τιμή μήκους για κάθε διάνυσμα 1 μονάδα. Ας ονομάσουμε τον νέο αυτό χώρο  $V$ .

Οι δύο αυτοί χώροι είτε είναι ασυσχέτιστοι, είτε με κάποιον τρόπο σχετίζονται μεταξύ τους. Παραδείγματα σχέσεων είναι οι δύο χώροι να ταυτίζονται, ο ένας να είναι υποχώρος του άλλου, ή να σχετίζονται με κάποιου είδους μαθηματική σχέση. Η σχέση αυτή, συνδέει κάθε διάνυσμα του ενός χώρου, με κάποιο άλλο του άλλου χώρου.

Αυτή η τελευταία περίπτωση είναι και εκείνη που ενδιαφέρει τον τομέα της Τοπογραφίας, και ιδιαίτερα της Φωτογραμμετρίας, διότι η διαδικασία της Γεωαναφοράς περιέχει ως αναπόσπαστο κομμάτι της τέτοιου είδους μαθηματικές σχέσεις, που ονομάζονται Μετασχηματισμοί.

Γεωαναφορά λοιπόν (Georeference) ονομάζεται η διαδικασία εκείνη, κατά την οποία προσδίδονται συντεταγμένες του πραγματικού κόσμου σε μία ψηφιακή εικόνα, η οποία έχει προέλθει από διάφορες πηγές (πχ σάρωση τοπογραφικού χάρτη, σαρωμένη αεροφωτογραφία ή ψηφιακή αεροφωτογραφία, δορυφορική εικόνα).

Η εικόνα που προκύπτει ονομάζεται έτσι γεωαναφερμένη, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή χαρτογραφικής πληροφορίας σε διανυσματική μορφή ( πχ σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών), ή και να συνδυαστεί με ήδη υπάρχοντα ψηφιακά δεδομένα για την δημιουργία χαρτοσύνθεσης

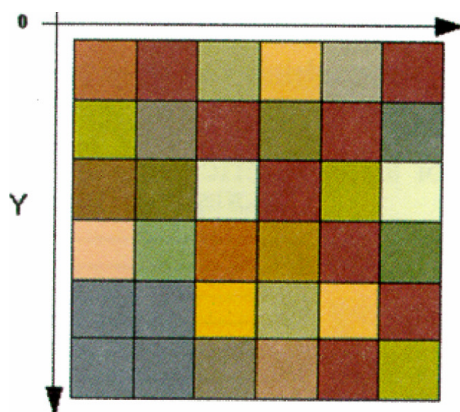


ή την γεωγραφική ανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων, υπό την προϋπόθεση ύπαρξης κοινού συστήματος αναφοράς.

Παρακάτω θα αναφερθεί η απλή περίπτωση της γεωαναφοράς χαρτών, ως εισαγωγή στην όλη διαδικασία της γεωαναφοράς.

## Χάρτες

Τα διανυσματικά δεδομένα χωρίζονται γενικά σε δύο κατηγορίες, τα ψηφιδωτά (raster), και τα διανυσματικά (vector). Ένας σαρωμένος χάρτης σε συγκεκριμένη ανάλυση σάρωσης (scanning resolution, σε dpi) αποτελεί ένα raster αρχείο, το οποίο δεν είναι τίποτε άλλο από ένα σύνολο φατνίων σε γραμμές και στήλες, των οποίων ο H/Y αντιλαμβάνεται το πλήθος και το μέγεθος. Κατά την εισαγωγή του ψηφιδωτού αρχείου, ο H/Y δίνει αυθαίρετα αρχή συντεταγμένων στην πάνω αριστερά γωνία της εικόνας (εικόνα1).



Εικόνα1: Ψηφιδωτό αρχείο

Η διαδικασία της γεωαναφοράς συνίσταται στην σκόπευση σημείων στον διδιάστατο διανυσματικό χώρο της εικόνας (με συντεταγμένες τις σειρές και τις στήλες της εικόνας), και στην απόδοση σε αυτά συντεταγμένων στο επιθυμητό για τον χρήστη σύστημα. Εν προκειμένω στους χάρτες ως τέτοια σημεία επιλέγονται συνήθως σημεία του καννάβου, λόγω του γεγονότος ότι οι συντεταγμένες για τα

σημεία αυτά παρέχονται από τον ίδιο τον χάρτη. Τα σημεία αυτά ονομάζονται επιγεία σταθερά σημεία (GCP), και ως τέτοια θα αναφέρονται στο εξής.

Η κατανομή των σημείων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να καλύπτει όσο το δυνατόν περισσότερη επιφάνεια της προς γεωαναφορά περιοχής.

Ο αριθμός των σταθερών επίγειων σημείων θα προκύψει από την επιλογή του μετασχηματισμού που θα χρησιμοποιηθεί. Η επιλογή αυτή είναι βαρύνουσα, δεδομένου ότι ο μετασχηματισμός αυτός θα κρίνει κατά πόσον τα σημεία του διανυσματικού χώρου της εικόνας θα απεικονίσουν με πληρότητα και ακρίβεια τα σημεία του άλλου διανυσματικού χώρου, αυτού της πραγματικής επιφάνειας του εδάφους (μόνο οριζοντιογραφικά).

Οι μετασχηματισμοί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι πολυωνυμικοί και είναι συνήθως:

- Γραμμικοί ή πολυωνυμικοί 1ου βαθμού, όπου απαιτούνται τουλάχιστο 3 σημεία ελέγχου.
- 2ου βαθμού πολυωνυμικοί, όπου απαιτούνται τουλάχιστο 6 σημεία ελέγχου.
- 3ου βαθμού πολυωνυμικοί, όπου απαιτούνται τουλάχιστο 10 σημεία ελέγχου.

### Αφφινικός Μετασχηματισμός

Ο αφφινικός μετασχηματισμός ανήκει στους γραμμικούς μετασχηματισμούς και επιφέρει δύο μετατοπίσεις, δύο μεταβολές στην κλίμακα (μία ανά άξονα) μία στροφή και την απόκλιση από την ορθογωνικότητα.

Ο μαθηματικός τύπος φαίνεται παρακάτω:

$$X = a_0 + a_1 * x + a_2 * y$$

$$Y = b_0 + b_1 * x + b_2 * y$$

Όπως φαίνεται οι άγνωστες παράμετροι είναι έξι (6), συνεπώς απαιτούνται κατ'ελάχιστον τρία σημεία για την επίλυση των εξισώσεων και την εύρεση των αγνώστων παραμέτρων. Στην πράξη χρησιμοποιούνται περισσότερα (συνήθως τέσσερα με έξι (4-6) είναι αρκετά), ώστε με την μέθοδο της MET να προκύψει και το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα, ένας δείκτης της ποιότητας του τελικού αποτελέσματος.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η χρήση του εν λόγω μετασχηματισμού είναι επαρκής. Οφείλουμε να σημειώσουμε ότι ο αφφινικός μετασχηματισμός αν και αλλοιώνει το σχήμα των αντικειμένων διατηρεί τις παραλληλίες (Καρράς, 1998), προφανές πλεονέκτημα για την εφαρμογή του στην γεωαναφορά χαρτών.

### Διγραμμικός Μετασχηματισμός

Σε αυτόν τον μετασχηματισμό οι άγνωστοι είναι οχτώ (8) και συνεπώς απαιτούνται τέσσερα κατ'ελάχιστον σημεία. Η μαθηματική του έκφραση φαίνεται παρακάτω:

$$X = a_0 + a_1 * x + a_2 * y + a_3 * xy$$

$$Y = b_0 + b_1 * x + b_2 * y + b_3 * xy$$

Οι παραμορφώσεις που επιφέρει ο μετασχηματισμός είναι περισσότερες απ'ότι ο αφφινικός, και γι αυτό συνήθως δεν χρησιμοποιείται.

### Μετασχηματισμοί Πολυωνυμικοί 2ου Βαθμού

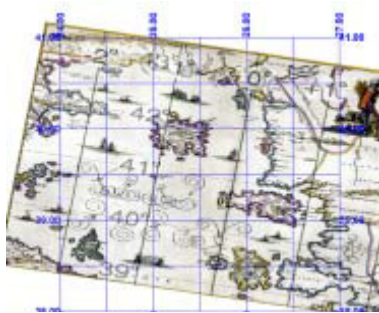
Οι μετασχηματισμοί αυτοί ανήκουν στους μη γραμμικούς μετασχηματισμούς και δεν διατηρούν το σχήμα των ευθειών. Ως εκ τούτου, τα γεωμετρικά σχήματα και οι διαστάσεις μεταβάλλονται. Οι άγνωστες παράμετροι είναι δώδεκα (12), δηλαδή απαιτούνται κατ'ελάχιστον έξι (6) σημεία για την επίλυση.

Η μαθηματική έκφραση δίνεται παρακάτω:

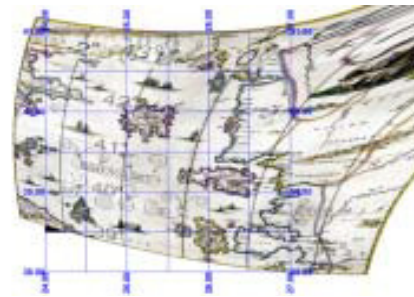
$$X = a_0 + a_1 * x + a_2 * y + a_3 * xy + a_4 * x^2 + a_5 * y^2$$

$$Y = b_0 + b_1 * x + b_2 * y + b_3 * xy + b_4 * x^2 + b_5 * y^2$$

Η αύξηση του βαθμού του πολωνύμου γενικά επιτρέπει την τοπική προσαρμογή της εικόνας, κάνοντας έτσι το αποτέλεσμα πιο επιρρεπές σε σφάλματα, όπως εκείνα από την λανθανσμένη αναγνώριση σημείων. Οι μετασχηματισμοί αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά για την γεωαναφορά παλαιών ιστορικών χαρτών, με ποικίλα αποτελέσματα. Γενικά, η χρησιμοποίησή τους πρέπει να γίνεται με προσοχή και το τελικό αποτέλεσμα να ελέγχεται σχολαστικά. Προφανώς, αύξηση του βαθμού του πολωνύμου δεν οδηγεί αυτόματα και σε αύξηση της τελικής ακρίβειας. Οι δε παραμορφώσεις είναι ιδιαίτερα εμφανείς στις περιοχές εκείνες της εικόνας, όπου δεν υπάρχει έλεγχος της γεωαναφοράς (Μπουτουρα,2003).



Εικόνα2: Εφαρμογή Αφφινικού Μετασχηματισμού σε ιστορικό χάρτη



Εικόνα3: Εφαρμογή Πολυωνυμικού Μετασχηματισμού 2ου βαθμού σε ιστορικό χάρτη

### Επαναδειγματοληψία

Μετά την επιλογή του μετασχηματισμού και την σκόπευση των σημείων, ακολουθεί η διαδικασία της επαναδειγματοληψίας. Κατά την διαδικασία αυτή, δημιουργείται ένας κάρναβος, ο οποίος θα αποτελέσει την βάση για την νέα εικόνα. Ο χρήστης καλείται να επιλέξει μία από τις τρεις παρακάτω μεθόδους

- Του εγγύτερου Γείτονα (Nearest Neighbour)
- Της διγραμμικής παρεμβολής (Bilinear Interpolation)
- Της κυβικής συνέλιξης(Cubic Convolution)

προκειμένου να ορίσει την μέθοδο παρεμβολής του χρώματος. Συνήθως χρησιμοποιείται αυτή του Εγγύτερου Γείτονα.

Τελικά, pixel to pixel , μέσω της εξίσωσης του μετασχηματισμού και της επιλεγείσας μεθόδου παρεμβολής, λαμβάνεται τιμή χρώματος από την αρχική εικόνα, και δημιουργείται η τελική γεωαναφερμένη εικόνα.

### Έλεγχος

Το τελικό αποτέλεσμα της γεωαναφοράς θα πρέπει να ελεγχθεί ως προς την επιτευχθείσα ακρίβεια. Ένας πρώτος εποπτικός έλεγχος, είναι η σύγκριση των συντεταγμένων που εμφανίζει ο Η/Υ στην γεωαναφερμένη εικόνα, με τις αντίστοιχες που αναγράφονται στον χάρτη στα σημεία τομής του καννάβου.

Ένας δεύτερος έλεγχος είναι μέσω του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (RMS). Ένας γενικός κανόνας υποδεικνύει ότι αποδεκτό σφάλμα είναι εκείνο που αντιστοιχεί στο  $\frac{1}{2}$  της διάστασης του pixel της τελικής εικόνας , σε συντεταγμένες εδάφους. Έτσι, για χάρτη κλίμακας 1:50.000, και σαρωμένο με ανάλυση 150dpi, σε 1 cm αντιστοιχούν 60 pixel. Με άλλα λόγια, τα 60 pixel απεικονίζουν 500 m πραγματικού εδάφους. Τελικά το μέγεθος pixel είναι  $500/60=8,33m$ . Συνεπώς, ένα RMS μικρότερο από  $8,33/2=4,16m$  είναι εν γένει αποδεκτό.

Το RMS είναι μια καλή ένδειξη της ακρίβειας της όλης διαδικασίας, αλλά μόνο του δεν επαρκεί. Μικρό RMS δεν είναι απαραίτητο ότι συνεπάγεται και καλή ποιότητα. Θα μπορούσαν φερ' ειπείν να έχουν χρησιμοποιηθεί σημεία φτωχά σε σημαντικότητα, και σε κακή διασπορά. Το αποτέλεσμα έτσι θα ήταν ένα μικρό RMS, πλην όμως στα σημεία όπου δεν υπήρχε έλεγχος, οι αποκλίσεις που θα προέπυπταν πιθανόν να μην μπορούσαν να θεωρηθούν αποδεκτές. Συνεπώς ο έλεγχος που προαναφέρθηκε με την χρήση των σημείων του καννάβου κρίνεται επιβεβλημένος.

Από την άλλη, ένα RMS με τιμή μεγαλύτερη της αποδεκτής υποδεικνύει πιθανώς τα εξής:

- Δυσκολία ή σφάλματα κατά την σκόπευση των σημείων
- Κακή κατανομή των σημείων (εφ' όσον δεν έχουν χρησιμοποιηθεί τα ακραία σημεία)
- Σφάλματα κατά την σάρωση του πρωτογενούς υλικού
- Χαμηλή ποιότητα ή άσχημη κατάσταση του πρωτογενούς υλικού

Συμπερασματικά μπορούμε να συνοψίσουμε την διαδικασία της γεωαναφοράς σε τοπογραφικούς χάρτες στα εξής βήματα:

1. Σάρωση του χάρτη με συγκεκριμένη ανάλυση σάρωσης (σε dpi)
2. Επιλογή του μετασχηματισμού που θα χρησιμοποιηθεί προκειμένου να σχετιστούν οι δύο διανυσματικοί χώροι, αυτός της εικόνας με εκείνον του εδάφους (οριζοντιογραφικά).
3. Σκόπευση ικανού αριθμού σημείων με ομοιόμορφη διασπορά, και απόδοση σε αυτά συντεταγμένων εδάφους.
4. Επιλογή μεθόδου παρεμβολής για την τιμή χρώματος.
5. Επιλογή μεγέθους pixel.
6. Δημιουργία καννάβου με συντεταγμένες εδάφους.
7. Μέσω του μετασχηματισμού (με αντίθετη φορά), οι συντεταγμένες εδαφους του κάθε pixel της τελικής εικόνας μετασχηματίζονται σε συντεταγμένες εικόνας (γραμμή, στήλη) στην αρχική εικόνα, και με την μέθοδο παρεμβολής αποδίδεται το ανάλογο χρώμα.
8. Επανάληψη του παραπάνω βήματος για κάθε pixel , προκειμένου να δημιουργηθεί η γεωαναφερόμενη εικόνα.
9. Διενέργεια ελέγχων ακρίβειας μέσω του RMS και των σημείων τομής του καννάβου.

Μετά την διαδικασία της γεωαναφοράς, ο χάρτης μπορεί να εισαχθεί σε οποιοδήποτε πρόγραμμα, στο οποίο θα απεικονίζονται απ' ευθείας οι συντεταγμένες εδάφους. Αυτό γίνεται συνήθως με την εγγραφή της απαραίτητης πληροφορίας στην αρχική εγγραφή του αρχείου (header). Ως παραδείγματα τέτοιων αρχείων μπορούν να αναφερθούν αρχεία BIL, BIP, GeoTIFF και άλλα.

Εναλλακτικά, η παραπάνω πληροφορία μπορεί να αποτυπώνεται σε κάποιο ξεχωριστό αρχείο ASCII, το οποίο συνοδεύει το αρχείο της εικόνας, και είναι περισσότερο γνωστό ως «αρχείο κόσμου» (World File). Στην κοινή περίπτωση των TIFF αρχείων, το συνοδευτικό αρχείο έχει την κατάληξη TFW (TIFF WORLD FILE). Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα ενός τέτοιου αρχείου:

0.50	Το μέγεθος του pixel στον άξονα των X (Συνήθως σε μέτρα)
0.0	Στροφή για την γραμμή
0.0	Στροφή για την στήλη
-0.50	Το μέγεθος του pixel στον άξονα των Y (Συνήθως σε μέτρα)
304000.25	Η συντεταγμένη X του κέντρου του πάνω αριστερά pixel
4242099.71	Η συντεταγμένη Y του κέντρου του πάνω αριστερά pixel

## **Αεροφωτογραφίες-Δορυφορικές Εικόνες**

### **Γενικά**

Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί περιληπτικά η διαδικασία δημιουργίας μιας οπτικής απεικόνισης, είτε αυτή καταγράφεται από μια αερομηχανή είτε από κάποιον δορυφορικό δέκτη.

Ηλιακή ακτινοβολία εκπέμπεται από τον ήλιο και κατευθύνεται σφαιρικά προς όλες τις κατευθύνσεις. Τμήμα της ακτινοβολίας αυτής προσκρούει αρχικά στα εξώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας, και εκεί τμήμα της είτε ανακλάται είτε απορροφάται. Τα εναπομένοντα μήκη κύματος που περνούν στην ατμόσφαιρα επηρεάζονται από τα διάφορα αιωρήματα και αέρια με δύο τρόπους:

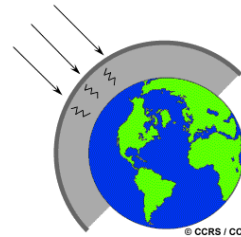
- Υφίστανται διάχυση
- Υφίστανται απορρόφηση.

Η **διάχυση** λαμβάνει χώρα όταν τα μεγάλα σε όγκο μόρια των ατμοσφαιρικών αερίων, αλληλεπιδρούν με την ακτινοβολία και της αλλάζουν την διεύθυνση. Το μέγεθος της διάχυσης εξαρτάται από παράγοντες όπως το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, η διαχυτική ικανότητα του εκάστοτε αερίου, καθώς και η απόσταση που διανύει η ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η επίδραση των νεφών (εικόνα 4).

Η **απορρόφηση** είναι ο δεύτερος μηχανισμός αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα. Κατά την απορρόφηση τα μόρια της ατμόσφαιρας απορροφούν μέρος της ενέργειας της ακτινοβολίας. Το ποσό που απορροφάται είναι διαφορετικό στο κάθε μήκος κύματος. Το όζον, το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρατμοί είναι τα τρία βασικά συστατικά που απορροφούν ενέργεια.(εικόνα 5)



Εικόνα4: Διάχυση  
ακτινοβολίας



Εικόνα5: Απορρόφηση ακτινοβολίας

Το ποσό της ακτινοβολίας που τελικά φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους, προσκρούει στα διάφορα αντικείμενα, και με την σειρά του υφίσταται τα εξής:

- Μέρος της απορροφάται
- Μέρος της διαπερνά το αντικείμενο και εισχωρεί βαθύτερα
- Μέρος της ανακλάται

Το ποσό της ακτινοβολίας που θα υποστεί τα παραπάνω εξαρτάται από παράγοντες όπως το μήκος κύματος, την υφή του εκάστοτε αντικειμένου, το υλικό κατασκευής του κλπ.



Η ανακλώμενη ακτινοβολία είναι αυτή που καταγράφεται σε κάποια ευαίσθητη επιφάνεια, όπως για παράδειγμα το φιλμ της αερομηχανής ή οι συστοιχίες CCD των δορυφορικών δεκτών.

Εύκολα θα μπορούσε να διατυπώσει κανείς λοιπόν την άποψη ότι αυτό που τελικά απεικονίζεται στην φωτοευαίσθητη επιφάνεια είναι και η ακριβής απεικόνιση της πραγματικότητας. Παρ'όλ'αυτά, αυτό όχι μόνο δεν συμβαίνει, αλλά ο κάθε δέκτης επιφέρει τις δικές του γεωμετρικές παραμορφώσεις στις αρχικές εικόνες (raw images) και μάλιστα με μοναδικό τρόπο.

Οι γεωμετρικές παραμορφώσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο ευρείς ομάδες (Toutin,2003):

- Αυτές που σχετίζονται με τον παρατηρητή (Observer)
- Αυτές που σχετίζονται με το παρατηρούμενο (Observed)

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει παραμορφώσεις που αναφέρονται στα τεχνικά χαρακτηριστικά του δέκτη. Προκειμένου για αερομηχανές, αναφέρονται η θέση του πρωτεύοντος σημείου, η σταθερά της μηχανής, η ακτινική διαστροφή και η εν γένει εσωτερική γεωμετρία της μηχανής. Για δορυφορικούς δέκτες, εκτός από τα χαρακτηριστικά της εσωτερικής τους γεωμετρίας, μπορούν να αναφερθούν η ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης του δορυφόρου, οι γωνία λήψης κλπ.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει παραμορφώσεις λόγω ατμοσφαιρικής διάθλασης, καμπυλότητας και περιστροφής της Γης, ακόμα και παραμορφώσεις λόγω αναγλύφου.

Λαμβάνοντας υπ'όψη και τις όποιες παραμορφώσεις λόγω χαρτογραφικής προβολής, πάνω στην οποία επιθυμούν να εργαστούν οι τελικοί χρήστες, είναι φανερό ότι οι αρχικές εικόνες (raw images) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έχουν.

## Αεροφωτογραφίες

### Εσωτερικός Προσανατολισμός

Όπως προαναφέρθηκε κατά την λήψη φωτογραφιών, η δέσμη των ακτίνων που θα αποτυπωθούν στην φωτοευαίσθητη επιφάνεια υφίσταται μετατοπίσεις κατά την διάρκεια της πορείας της στο εσωτερικό της μηχανής. Επιβάλεται λοιπόν η ανάπλαση της δέσμης έτσι ώστε ει δυνατόν να ταυτιστεί με εκείνο το μοντέλο της Κεντρικής Προβολής που περιγράφει καλύτερα την συγκεκριμένη μηχανή. Η διαδικασία ονομάζεται αποκατάσταση του εσωτερικού προσανατολισμού και προϋποθέτει την γνώση ορισμένων μεγεθών. Αυτά τα στοιχεία ονομάζονται στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού και είναι τα παρακάτω:

- η απόσταση ( $c$ ) του προβολικού κέντρου από το εστιακό επίπεδο (δηλαδή το αρνητικό)
- η θέση ( $x_0, y_0$ ) του προβολικού κέντρου στο σύστημα αναφοράς που υλοποιείται από τα εικονοσήματα
- το μέτρο της ακτινικής διαστροφής του φακού ( $\Delta r$ )

Τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού συνήθως περιλαμβάνονται σε κάποιο αρχείο της παρακάτω μορφής:

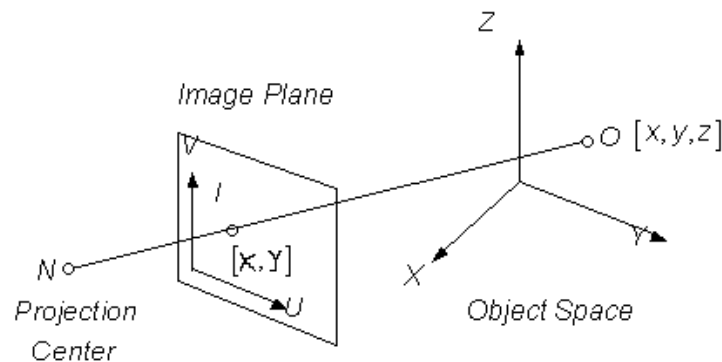
```
150.12
0.025
0
0
0
0
0
16
115.999 -0.001
-119.001 0.001
-0.001 119.016
0.001 -115.991
119.007 115.01
-114.998 -114.988
-114.996 119.013
115.995 -114.996
32
0 0
10 0
20 -0.25
30 -0.25
40 0.25
50 0.75
60 1.25
70 1
80 0
90 -1
100 -1.5
110 -1
120 -1.5
130 0
140 1
1.25 0
```

Εικόνα 6: Παράδειγμα αρχείου με τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού

## Εξωτερικός Προσανατολισμός

Μετά τον εσωτερικό, ακολουθεί ο εξωτερικός προσανατολισμός. Έχοντας αποκαταστήσει ορθά την δέσμη των ακτινών, ο σκοπός πλέον είναι να συνδεθεί το κάθε εικονοστοιχείο με συντεταγμένες εδάφους.

Η φυσική σχέση που συνδέει το κάθε σημείο της εικόνας με το ομόλογό του στην επιφάνεια του εδάφους, αλλά και με το κέντρο προβολής, είναι ότι τα τρία αυτά σημεία ανήκουν στην ίδια ευθεία (εικόνα 7).



Εικόνα7: Φυσική σχέση εικονοστοιχείου, κέντρου προβολής και αντικειμένου

Τα διανύσματα (NI) και (NO) είναι τότε συγγραμμικά και συνδέονται με μια σχέση του τύπου  $(NO) = \lambda * (NI)$ . Μαθηματικά αυτό περιγράφεται από την Συνθήκη Συγγραμμικότητας, που μετασχηματίζεται στις επόμενες εξισώσεις

$$x = -c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{12}(Y - Y_0) + r_{13}(Z - Z_0)}{r_{31}(X - X_0) + r_{32}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$
$$y = -c \frac{r_{21}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{23}(Z - Z_0)}{r_{31}(X - X_0) + r_{32}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

Εικόνα8: Η Συνθήκη Συγγραμμικότητας μετασχηματισμένη

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραπάνω σχέση δεν είναι αμφιμονοσήμαντη, δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ως έχει και όχι αντιστρόφως. Μπορεί κανείς να εξάγει ένα ζεύγος εικονοσυντεταγμένων από τις γεωδαιτικές συντεταγμένες ενός σημείου, ενώ για να γίνει το αντίστροφο απαιτούνται δύο ζευγάρια εικονοσυντεταγμένων (εμπροσθοτομία).

Το γεγονός ότι οι αεροφωτογραφίες λαμβάνονται από σχετικά χαμηλό ύψος (σε σχέση με τους δορυφορικούς δέκτες), σημαίνει ότι -πέραν εκείνων λόγω της μηχανής και της θέσης του σκάφους κατά την λήψη- ενυπάρχουν παραμορφώσεις και λόγω

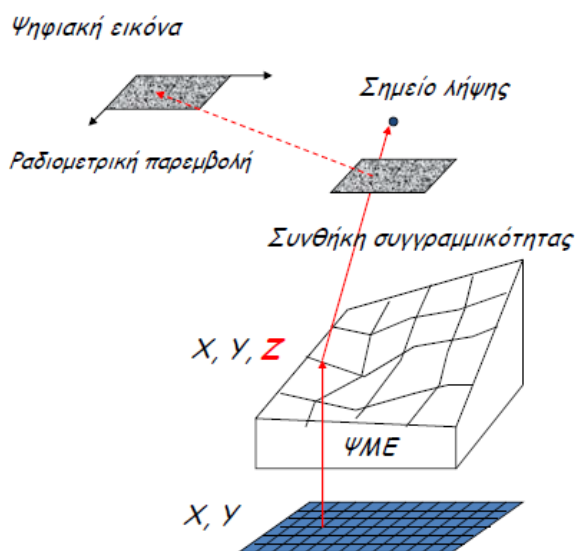
του αναγλύφου. Οι παραμορφώσεις λοιπόν αυτές θα πρέπει να εξαλειφθούν κατά την διαδικασία της γεωαναφοράς προκειμένου να επιτευχθεί αποδεκτό αποτέλεσμα.

Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την προαναφερθείσα Συνθήκη Συγγραμμικότητας, η οποία με την σειρά της ενέχει τον παράγοντα του υψομέτρου για το κάθε σημείο. Είναι λοιπόν απαραίτητο να υπάρχει κάποιου είδους γνώση της γεωμετρίας του αναγλύφου, με άλλα λόγια πρέπει να διατίθεται κάποιο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους. Αυτό θα μπορούσε να έχει προέλθει είτε από χάρτη (μέσω ψηφιοποίησης καμπυλών), είτε φωτογραμμετρικά, είτε μέσω Τοπογραφικών μεθόδων (πχ. με χρήση GPS), είτε και από άλλες πηγές (πχ SAR, Lidar).

Η τελική γεωαναφερμένη εικόνα θα βρίσκεται πλέον σε ορθή προβολή (ενώ η αρχική θεωρούμε ότι ακολουθούσε το μοντέλο της Κεντρικής Προβολής), και διαθέτει ενιαία κλίμακα. Ως εκ τούτου ονομάζεται Ορθοεικόνα ή Ορθοφωτογραφία, η δε όλη διαδικασία ονομάζεται Ορθοαναγωγή.

### Διαδικασία Ορθοαναγωγής

Η διαδικασία είναι παρεμφερής με εκείνη που περιγράφηκε στην ενότητα των χαρτών, περιλαμβάνοντας κάποια επιπλέον ενδιάμεσα βήματα (εικόνα 9)



Εικόνα9: Η διαδικασία της γεωαναφοράς

Περίληπτικά η διαδικασία συνοψίζεται στα εξής βήματα:

- Δημιουργία καννάβου με γεωδαιτικές συντεταγμένες και καθορισμένο μέγεθος pixel ο οποίος θα αποτελέσει την τελική εικόνα.
- Για κάθε ένα Pixel (και άρα γνωστών X,Y) παρεμβολή στο ΨΜΕ για λήψη της υψομετρικής πληροφορίας (Z)
- Μέσω της Συνθήκης Συγγραμμικότητας εύρεση εικονοσυντεταγμένων (x,y).
- Μέσω του αφφινικού μετασχηματισμού, μετατροπή των εικονοσυντεταγμένων (x,y) σε (r,c), δηλαδή σε συντεταγμένες εικόνας.
- Παρεμβολή χρώματος με κάποια από τις τρεις μεθόδους παρεμβολής (Εγγύτερου Γείτονα, Διγραμμική Παρεμβολή, Κυβική Συνέλιξη) στην αρχική εικόνα
- Λήψη Τιμής χρώματος για το pixel της τελικής εικόνας
- Επανάληψη του αλγορίθμου.

Στην πράξη ο χρήστης μετά την αποκατάσταση του εσωτερικού προσανατολισμού καλείται να εισάγει το αρχείο του ΨΜΕ και κατόπιν να σκοπεύσει GCP, αποδίδοντας σε αυτά κατα τα γνωστά γεωδαιτικές συντεταγμένες. Κατ'ελάχιστον απαιτούνται 3 σημεία, πλην όμως για να υπάρχει και έλεγχος χρησιμοποιούνται κατ'ελάχιστον 4. Η εμπειρία έχει δείξει ότι καλά αποτελέσματα επιτυγχάνονται με 6 GCP, και για εικόνες με έντονο ανάγλυφο ίσως και 9. Χρήση περισσότερων Επίγειων Σταθερών Σημείων δεν αυξάνει την ακρίβεια, ενώ όπως και στην περίπτωση των χαρτών, απαιτείται καλή κατανομή αυτών και με τέτοιο τρόπο ώστε να περιβάλλεται πλήρως η περιοχή ενδιαφέροντος.

### Ακρίβεια Ορθοαναγωγής

Η οριζοντιογραφική ακρίβεια του τελικού προϊόντος μπει να ελεγχθεί με διάφορους τρόπους.

Ο απλούστερος είναι με την επίθεση της εικόνας επάνω σε κάποιον χάρτη (κατάλληλης κλίμακας) και έλεγχο κυρίως των γραμμικών στοιχείων (δρόμοι, ρεύματα).

Ένας δεύτερος τρόπος είναι με την χρήση σημείων ελέγχου (Check Points), δηλαδή σημείων με γνωστές συντεταγμένες τα οποία όμως δεν έχουν χρησιμοποιηθεί

ως Επίγεια Σταθερά Σημεία. Τα σημεία αυτά θα πρέπει να κατανέμονται επίσης σε όλη την εικόνα, ενώ η ακρίβεια με την οποία έχουν μετρηθεί θα πρέπει να είναι καλύτερη εκείνης του μεγέθους pixel της εικόνας.

Τέλος μπορεί να γίνει έλεγχος με επίθεση άλλης ορθοεικόνας , καλύτερης ακρίβειας.

Εν γένει η οριζοντιογραφική ακρίβεια εξαρτάται από πλήθος παραγόντων , μεταξύ των οποίων τα παρακάτω:

- Σφάλματα κατά την σάρωση
- Σφάλματα αναγνώρισης και σκόπευσης σημείων (είτε στον εσωτερικό, είτε στον εξωτερικό)
- Ακρίβεια και βήμα ΨΜΕ
- Κατανομή και ακρίβεια μέτρησης των Επίγειων Σταθερών Σημείων.

### Δορυφορικές Απεικονίσεις

#### Γενικά

Οι δορυφορικές εικόνες τα τελευταία χρόνια κερδίζουν ολοένα και περισσότερο έδαφος σε εφαρμογές σε πολλούς τομείς του δημόσιου, αλλά και ιδιωτικού τομέα. Ως παραδείγματα μπορούν να αναφερθούν η προστασία του περιβάλλοντος, η πολεοδομία και χωροταξία, η γεωλογία, η χαρτογραφία, πρόληψη καταστροφών, ο σχεδιασμός για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, η εθνική άμυνα κ.α.).

Το γεγονός ότι πλέον ο οποιοσδήποτε μπορεί να αποκτήσει διαφόρων τύπων δορυφορικές εικόνες, ιδιαίτερα αυτών που διαθέτουν πολύ υψηλή διακριτική ικανότητα, έκανε την αγορά των δορυφορικών δεδομένων ακόμη πιο ανταγωνιστική, αφού δεν υπάρχουν πλέον απαγορεύσεις ή χρονοβόρες γραφειοκρατικές διαδικασίες.

Ο συνδυασμός χαμηλών τιμών πώλησης των δεδομένων, με τον μικρό χρόνο επανεπίσκεψης του δορυφόρου στην περιοχή μελέτης (μόλις λίγες ημέρες), καθώς και ο μικρός χρόνος παραλαβής τους (ακόμη και εντός 24ώρου), κάνει την αγορά τους ιδιαίτερα ελκυστική .

Τέλος, η ανάπτυξη της διαλειτουργικότητας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) με τα δορυφορικά δεδομένα καθώς και με τα δεδομένα του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού θέσης (GPS), οδηγεί σε εύκολες διαδικασίες διαχείρισης και ανάπτυξης των χωρικών δεδομένων των τριών συστημάτων που αποτελούν πλέον τεχνολογία αιχμής (Τσιγγενόπουλος,2011).

Πριν προχωρήσουμε στην διαδικασία της γεωαναφοράς των Δορυφορικών Εικόνων, είναι χρήσιμο να αναφερθούν οι τύποι των Δεκτών, καθώς και να γίνει μια μικρή εισαγωγή στον τρόπο δημιουργίας της κάθε εικόνας.

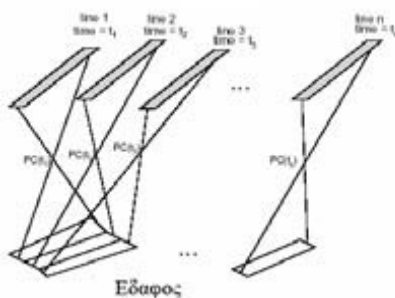
### Είδη Δεκτών

Πρώτη κατηγορία αισθητήρων είναι οι τύπου Pushbroom. Εδώ η εικόνα δημιουργείται με την κίνηση του αισθητήρα κατά μήκος της τροχιάς, και έχει πλάτος όσο το πλάτος του γραμμικού σαρωτή (δεν υπάρχει κάτοπτρο). Βασικό δομικό στοιχείο της εικόνας είναι μία μονή σειρά από εικονοστοιχεία, με διεύθυνση κάθετη σε αυτή της κίνησης της πλατφόρμας, το λεγόμενο framelet. Η παράθεση μεγάλου αριθμού διαδοχικών τέτοιων framelet οδηγεί στην δημιουργία της σκηνής της εικόνας (image scene) (εικόνα 11).

Στην περίπτωση των συστημάτων με διδιάστατο εστιακό επίπεδο, το framelet αποτελεί ολόκληρη την εικόνα, και τότε ονομάζεται frame image.

Υπάρχουν βέβαια και παραλλαγές των αισθητήρων Pushbroom, όπως εκείνη κατά την οποία αποτυπώνονται περισσότερα του ενός framelet για μία θέση. Μία άλλη παραλλαγή υπάρχει όταν το framelet είναι ασυνεχές και αποτελείται από μία λωρίδα από εικονοστοιχεία διατεταγμένα με ακανόνιστο τρόπο (Καροπούλου, 2007).

Παραδείγματα αισθητήρων τύπου είναι ο IRS, IKONOS, SPOT κλπ.

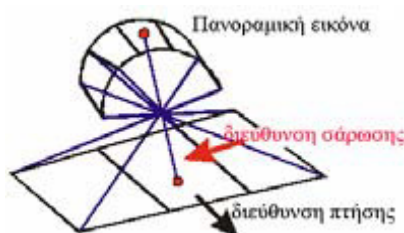


Εικόνα11: Δημιουργία σκηνής από διαδοχικά Framelet σε αισθητήρα Pushbroom

Δεύτερη κατηγορία είναι οι αισθητήρες τύπου Panoramic. Οι αισθητήρες αυτοί σαρώνουν το έδαφος σε κατεύθυνση κάθετη με αυτήν της κίνησης του αισθητήρα. Οι παραμορφώσεις του κάθε framelet που οφείλονται στην κίνηση της πλατφόρμας κατά την διάρκεια της σάρωσης, απαλείφονται με τη βοήθεια του FMC (Forward Motion Compensation).

Η γεωμετρία της σκηνής από ένα τέτοιο αισθητήρα είναι όμοια με αυτή του αισθητήρα Pushbroom. Συνήθως δεν υπάρχει δυνατότητα για στερεοσκοπική κάλυψη, αλλά είναι πιθανή η πολυφασματική. Λόγω της ανάγκης δε για ύπαρξη πολύ μεγάλων framelet, είναι αρκετά συνηθισμένα τα ασυνεχή framelet (Καροπούλου, 2007).

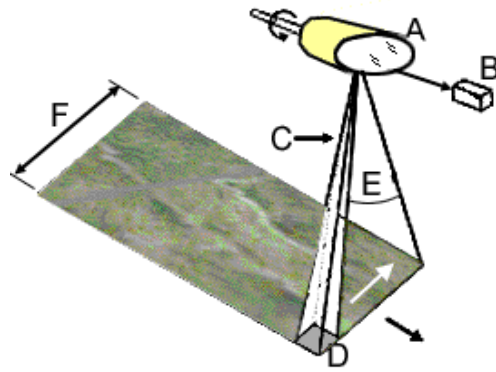
Ο τρόπος δημιουργίας μιας σκηνής φαίνεται παρακάτω (εικόνα 12):



Εικόνα12: Δημιουργία σκηνής σε αισθητήρα Panoramic

Η τρίτη κατηγορία στην ουσία αποτελεί ένα συνδυασμό των δύο παραπάνω, και ονομάζεται Whiskbroom. Η εικόνα δημιουργείται από ένα φωτοευαίσθητο στοιχείο (εικόνα 13). Το framelet εδώ είναι συνήθως πολύ μικρό σε μήκος, και σαρώνεται με πολύ μεγάλη ταχύτητα σε διεύθυνση κάθετη της κίνησης της πλατφόρμας, με ή χωρίς FMC (Forward Motion Compensation). Η τελική εικόνα περιλαμβάνει framelet που μεταξύ τους δεν επικαλύπτονται. Παραδείγματα είναι οι αισθητήρες MSS και TM του LANDSAT.

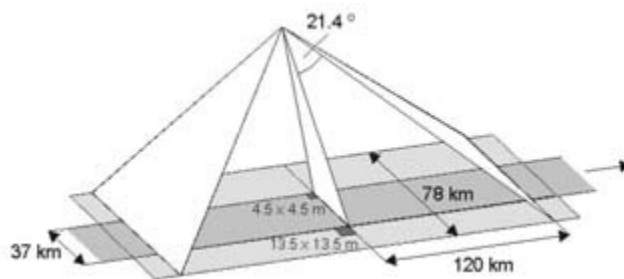




Εικόνα13: Δημιουργία σκηής σε αισθητήρα Whiskbroom

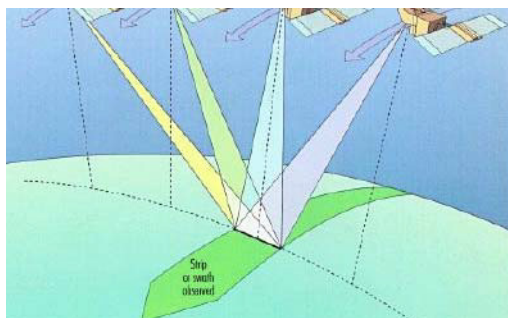
Για λόγους πληρότητας μπορεί να αναφερθεί και η διάκριση των δεκτών σε along track και across track, ανάλογα με τον τρόπο λήψης στερεοζεύγους εικόνων.

Στους πρώτους η λήψη επιτυγχάνεται με κατάλληλο προγραμματισμό της κατεύθυνσης των τηλεσκοπίων (εικόνα 14)



Εικόνα14: Λήψη στερεοζεύγους σε δέκτη along track

Στους δεύτερους, η λήψη γίνεται από διαδοχικές τροχιές (πχ δέκτης SPOT) (εικόνα 15)



Εικόνα15: Λήψη στερεοζεύγους σε δέκτη across track

## Παραμορφώσεις Δορυφορικών Εικόνων

Όπως έχει προαναφερθεί, οι αρχικές εικόνες που παραλαμβάνονται από κάποιον δορυφορικό δέκτη περιλαμβάνουν παραμορφώσεις, οι οποίες πρέπει να διορθωθούν προκειμένου να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον τελικό χρήστη. Η διόρθωση αυτή είναι καίριας σημασίας για τους παρακάτω λόγους (Toutin, 2003):

- Οι εικόνες λαμβάνονται από θέση off-nadir, ενώ σε αντίθεση με παλαιότερα, η διακριτική τους ικανότητα είναι κάτω του μέτρου.
- Τα προϊόντα δεν είναι αναλογικά αλλά ψηφιακά.
- Μεγάλος αριθμός των εικόνων χρησιμοποιούνται για Τηλεπισκοπικούς σκοπούς, και μάλιστα μέσω αυτόματων μεθόδων με την χρήση υπολογιστή.
- Χρησιμοποιείται ευρέως η συγχώνευση τόσο raster όσο και vector δεδομένων από ποικίλες πηγές, τα οποία θα πρέπει να βρίσκονται σε κοινό σύστημα αναφοράς προκειμένου να είναι διαθέσιμα για οποιαδήποτε χρήση.

Οι παραμορφώσεις που υπεισέρχονται στις Δορυφορικές Εικόνες οφείλονται σε παράγοντες όπως:

- Μεταβολή του υψους πτήσης του δέκτη, το οποίο συδυαζόμενο με την μη σταθερή εστιακή απόσταση του φακού του δέκτη και το ανάγλυφο του εδάφους, επιφέρει μεταβολές στο μέγεθος του κάθε pixel, ακόμα και μέσα στο ίδιο framelet.
- Οι στροφές του δέκτη κατά την στιγμή της λήψης (roll, pitch, yaw), οι οποίες παραμορφώνουν τα σχήματα.
- Μεταβολές στα διανύσματα της ταχύτητας πτήσης του δέκτη που αυξομειώνουν τις αποστάσεις μεταξύ των framelet, αφήνοντας ορισμένες φορές κενά μεταξύ τους.
- Αβεβαιότητα στην στιγμιαία γωνία θέασης (instant field of view)
- Περιστροφή της Γης

- Καμπυλότητα της Γης και μη ομαλό ανάγλυφο του εδάφους.

Προκειμένου να διορθωθούν οι προαναφερθείσες παραμορφώσεις και να επιτευχθεί η γεωαναφορά, έχουν αναπτυχθεί δύο μεγάλες κατηγορίες μεθόδων:

- Τα Αυστηρά Μοντέλα (rigorous models)
- Τα Προσεγγιστικά ή Εμπειρικά Μοντέλα

Τα πρώτα καθορίζουν το φυσικό μοντέλο του δέκτη, η δε εσωτερική γεωμετρία του δέκτη είναι γνωστή. Με δεδομένα, λοιπόν, τις παραμέτρους του εξωτερικού προσανατολισμού του δέκτη, και προφανώς τις εικονοσυντεταγμένες, μέσω της συνθήκης συγγραμμικότητας μπορούν να υπολογιστούν οι συντεταγμένες εδάφους για κάθε στοιχείο της εικόνας (Wolf and Dewitt, 2000; Mikhail et al, 2001).

Προφανώς τα φυσικά μοντέλα είναι μοναδικά για κάθε δέκτη, αφού περιγράφουν την γεωμετρία και τον εξωτερικό του προσανατολισμό κατά την ώρα της λήψης (Touin, 2003). Δυστυχώς τα στοιχεία αυτά, κατά το παρελθόν κυρίως, δεν ήταν συνήθως διαθέσιμα για το ευρύ κοινό, αλλά μόνο για την εταιρεία εκμετάλλευσης, κάνοντας την χρήση τους σπάνια.

Λόγω των παραπάνω δυσχερειών, έχουν αναπτυχθεί τα Προσεγγιστικά Μοντέλα, τα οποία συνδέουν τις συντεταγμένες της εικόνας και του εδάφους με γενικευμένες σχέσεις. Επειδή δεν λαμβάνεται υπ' όψη το φυσικό μοντέλο του δέκτη, δεν απαιτείται καμμία προηγούμενη γνώση για την εσωτερική γεωμετρία, την θέση, τις στροφές ή την ταχύτητά του. Παραδείγματα μοντέλων είναι ο Άμεσος Γραμμικός Μετασχηματισμός (DLT), ο Τρισδιάστατος Αφινικός και τα Κλασματικά Πολυώνυμα (Rational Functions). Τα δύο πρώτα συχνά αναφέρονται ως απλά μοντέλα και όπως θα δούμε παρακάτω δίνουν μειωμένη ακρίβεια, ενώ αυτά που χρησιμοποιούνται κατά κόρον είναι τα Κλασματικά Πολυώνυμα, με τα οποία επιτυγχάνεται πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια.

### Αυστηρά Μοντέλα (Rigorous Models)

Τα αυστηρά μοντέλα καθορίζουν το φυσικό μοντέλο του δέκτη, και προσαρμόζονται μοναδικά για τον κάθε ένα. Στους δέκτες pushbroom η κάθε εικόνα αποτελείται από χιλιάδες διαδοχικά framelets, το κάθε ένα από τα οποία έχει και τον δικό του εξωτερικό προσανατολισμό. Προκειμένου λοιπόν να επιτευχθεί η μέγιστη

δυνατή ακρίβεια, θα πρέπει να γνωρίζουμε με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, τα στοιχεία που περιγράφουν την κίνηση του δέκτη κάθε χρονική στιγμή. Συνολικά εννέα παράμετροι επαρκούν για την παραπάνω περιγραφή, και αφορούν το τρισδιάστατο διάνυσμα της θέσης, το αντίστοιχο της ταχύτητας και φυσικά εκείνο του προσανατολισμού του δέκτη.

Τα αυστηρά μοντέλα εν γένει χρησιμοποιούν την Συνθήκη Συγγραμμικότητας, τροποποιημένη όμως ώστε να εμπεριέχει και τροχιακά στοιχεία που προσδιορίζουν ή προβλέπουν την θέση του δέκτη. Τα τροχιακά αυτά στοιχεία όμως, υπόκεινται σε ορισμένες θεωρήσεις και προϋποθέσεις, οι οποίες είναι κοινές σε όλα τα μοντέλα που κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί, και είναι εν γένει αποδεκτές. Οι κυριότερες εξ αυτών είναι οι παρακάτω (Michalis and Dowman, 2003; 2004; 2005):

- Η τροχιά του δέκτη είναι καλά ορισμένη, ομαλή και ακολουθεί μια σχεδόν ελλειπτική τροχιά.
- Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα στις λήψεις είναι σταθερό, και ως εκ τούτου δεν υφίστανται μεταβολές στην κλίμακα κατά μήκος της διεύθυνσης πτήσης.
- Τα framelets είναι κάθετα στην διεύθυνση πτήσης.
- Οι γωνίες στροφής του δέκτη παραμένουν σταθερές.
- Ο προσανατολισμός των εικόνων θα πρέπει να εκτελείται σε γεωκεντρικό σύστημα, ώστε να αποφεύγονται παραμορφώσεις λόγω χαρτογραφικής προβολής ή καμπυλότητας της Γης.
- Κατά την διάρκεια λήψης στερεοζεύγους εικόνων, ο δέκτης ακολουθεί το Κεπλέριο μοντέλο τροχιάς. Αυτό σε συνδυασμό με το παραπάνω, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να χρησιμοποιείται κάποιο αδρανειακό σύστημα.

Γενικά στην Φωτογραμμετρία, ως αφετηρία μετρήσεων στην εικόνα χρησιμοποιείται το πρωτεύον σημείο σε σύστημα συντεταγμένων, όπως αυτό ορίζεται από τα εικονοσήματα. Για τις Δορυφορικές Εικόνες αυτό δεν ισχύει, μιας και το κάθε framelet έχει δικό του εξωτερικό προσανατολισμό. Τα framelets όμως μεταξύ τους, μπορούν να συσχετισθούν με την χρήση κάποιου πολωνύμου χαμηλού βαθμού,

συναρτήσει του χρόνου λήψης. Συνήθης πρακτική είναι να χρησιμοποιείται μία γραμμή της εικόνας ως βασική (base line ή base framelet), με γνωστό και σταθερό εξωτερικό προσανατολισμό, ενώ οι αντίστοιχοι των μετέπειτα γραμμών προκύπτουν εφαρμόζοντας το εν λόγω πολυώνυμο για την εκάστοτε χρονική διαφορά στην λήψη. Για λόγους απλότητας, βασική γραμμή ορίζεται η πρώτη γραμμή της εκάστοτε εικόνας, ενώ ως κέντρο της το μεσαίο pixel.

### Τροποποιημένες Εξισώσεις της Συνθήκης Συγγραμμικότητας για pushbroom δέκτες

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι γνωστές εξισώσεις της Συνθήκης Συγγραμμικότητας τροποποιούνται έτσι ώστε η θέση και οι στροφές του Κέντρου Προβολής να εμφανίζονται ως συναρτήσεις του χρόνου. Αυτό εκφράζεται μαθηματικά ως εξής :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ y-y_0 \\ -c \end{bmatrix} = \lambda \times M(t) \times \begin{bmatrix} X-X(t) \\ Y-Y(t) \\ Z-Z(t) \end{bmatrix}$$

όπου:

- c η εστιακή απόσταση
- t ο χρόνος λήψης για το κάθε framelet
- X,Y,Z οι επίγειες συντεταγμένες του σημείου
- X(t),Y(t),Z(t) οι συν/νες του κέντρου προβολής συναρτήσει του χρόνου
- λ ο συντελεστής κλίμακας , ο οποίος αλλάζει από σημείο σε σημείο
- M(t) ο πίνακας στροφής που παραλληλίζει το επίγειο σύστημα συντεταγμένων με το σύστημα της κάθε γραμμής, πάντα σε συνάρτηση με τον χρόνο
- y η συντεταγμένη του σημείου στο σύστημα της εικόνας
- y<sub>0</sub> η y συντεταγμένη του προβολικού κέντρου στο σύστημα της εικόνας.

### Το Κεπλέριο Μοντέλο για μία εικόνα

Το παραπάνω μοντέλο είναι το πιο κατάλληλο για την περιγραφή της λήψης μιας εικόνας. Ως αγνώστους έχει τα τρισδιάστατα διανύσματα θέσης και ταχύτητας, καθώς επίσης και τις τρεις στροφές του δέκτη. Συνολικά, λοιπόν, εννέα παράμετροι. Τα παραπάνω στοιχεία μπορούν να εξαχθούν ή να προβλεφθούν από τροχιακά δεδομένα.

### Αυστηρά μοντέλα για στερεοζεύγη εικόνων αισθητήρα Along Track

Βασικό θέμα στην δημιουργία ενός αυστηρού μοντέλου για ζεύγη εικόνων είναι η εύρεση κοινών παραμέτρων για όλες τις εικόνες, ή η επίτευξη σχετικού προσανατολισμού μεταξύ τους. Διάφορα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς προσπαθώντας να επιτύχουν τα παραπάνω, αλλά και να μειώσουν τον συνολικό αριθμό των αγνώστων, όπως επίσης να μειώσουν την συσχέτιση μεταξύ τους. Οι Michalis και Dowman (Michalis and Dowman, 2005) στο άρθρο τους “A Model for Along Track Stereo Sensor using Rigorous Orbit Mechanics” παραθέτουν τα παρακάτω:

### Το Κεπλέριο Μοντέλο

Στην απλή περίπτωση των δύο εικόνων, οι άγνωστες παράμετροι είναι συνολικά δώδεκα. Το διάνυσμα θέσης και ταχύτητας του βασικού framelet της πρώτης εικόνας περιλαμβάνει τους έξι πρώτους. Το αντίστοιχο του βασικού framelet της δεύτερης εικόνας θα προκύψει από το παραπάνω μέσω της Εξίσωσης του Κέπλερ, συνεπώς δεν ανήκει στους αγνώστους. Η παρακάτω εξίσωση εκφράζει μαθηματικά τα παραπάνω:

$$\begin{pmatrix} X_c(t) \\ Y_c(t) \\ Z_c(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{pmatrix} \times \tau - \frac{GM \cdot t^2}{2 \cdot (X_o^2 + Y_o^2 + Z_o^2)} \cdot \begin{pmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{pmatrix}$$

Με  $\tau=t$  για την πρώτη εικόνα

Και  $\tau= t+dt$  για την δεύτερη εικόνα

Όπου:

- $X_c(t), Y_c(t), Z_c(t)$  το διάνυσμα θέσης του βασικού framelet της δεύτερης εικόνας
- $X_0, Y_0, Z_0$  το διάνυσμα θέσης του βασικού framelet της αρχικής εικόνας
- $t$  ο χρόνος λήψης ενός framelet με βάση το σύστημα συντεταγμένων της εικόνας
- $dt$  ο χρόνος λήψης του βασικού framelet της δεύτερης εικόνας
- $GM$  ο συντελεστής γήινης βαρύτητας με τιμή  $398600,4415 \text{ km}^3/\text{s}^2$

Οι εναπομείναντες άγνωστοι είναι οι γωνίες στροφής των δύο εικόνων, τρεις για κάθε μία, δεδομένου ότι έχουμε υποθέσει ότι κατά την διάρκεια λήψης αυτές παραμένουν σταθερές. Εάν οι εικόνες αυτές αντιμετωπίζονταν ξεχωριστά η μία από την άλλη, τότε οι άγνωστοι θα ήταν εννέα για κάθε εικόνα, δηλαδή δεκαοχτώ συνολικά. Με την υιοθέτηση του εν λόγω μοντέλου, λοιπόν, έχουμε μείωση των αγνώστων κατά έξι.

Στην περίπτωση περισσοτέρων εικόνων, το διάνυσμα για κάθε εικόνα υπολογίζεται με βάση το διάνυσμα του βασικού framelet της πρώτης εικόνας μέσω της εξίσωσης του Κέπλερ. Η κάθε εικόνα προσθέτει μόνο τρεις αγνώστους, τις τρεις γωνίες στροφής της. Είναι προφανές το πλεονέκτημα του μοντέλου σε σύγκριση με την αντιμετώπιση της κάθε εικόνας ξεχωριστά. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι στο Κεπλέριο Μοντέλο ο τρόπος μετάβασης από την πρώτη εικόνα σε όλες τις υπόλοιπες είναι μέσω του χρονικού διαστήματος μεταξύ των λήψεων.

#### Το μοντέλο Gauss-Lambert συνδυασμένο με το μοντέλο Kerrick-Gibbs

Το μοντέλο Gauss-Lambert χρησιμοποιείται στην ειδική περίπτωση μόνο δύο εικόνων από δέκτη along track. Στο μοντέλο οι εικόνες αυτές αντιμετωπίζονται ως μία. Τα βασικά framelet των εικόνων συνδέονται μεταξύ τους με τις εξισώσεις Gauss-Lambert. Οι συν/νες εδάφους των βασικών framelet προκύπτουν από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$X_c^1(t) = X_1 + u_{1x} \cdot t - \frac{1}{2} a_{1x} \cdot t^2 = X_1 + \frac{X_2 - f \cdot X_1}{g} \cdot t - \frac{GM \cdot X_1 \cdot t^2}{2 \cdot (X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2)^{3/2}}$$

$$Y_c^1(t) = Y_1 + u_{1y} \cdot t - \frac{1}{2} a_{1y} \cdot t^2 = Y_1 + \frac{Y_2 - f \cdot Y_1}{g} \cdot t - \frac{GM \cdot Y_1 \cdot t^2}{2 \cdot (X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2)^{3/2}}$$

$$Z_c^1(t) = Z_1 + u_{1z} \cdot t - \frac{1}{2} a_{1z} \cdot t^2 = Z_1 + \frac{Z_2 - f \cdot Z_1}{g} \cdot t - \frac{GM \cdot Z_1 \cdot t^2}{2 \cdot (X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2)^{3/2}}$$

για την πρώτη εικόνα, και

$$X_c^2(t) = X_2 + u_{2x} \cdot t - \frac{1}{2} a_{2x} \cdot t^2 = X_2 + \frac{\dot{g} \cdot X_2 - X_1}{g} \cdot t - \frac{GM \cdot X_2 \cdot t^2}{2 \cdot (X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2)^{3/2}}$$

$$Y_c^2(t) = Y_2 + u_{2y} \cdot t - \frac{1}{2} a_{2y} \cdot t^2 = Y_2 + \frac{\dot{g} \cdot Y_2 - Y_1}{g} \cdot t - \frac{GM \cdot Y_2 \cdot t^2}{2 \cdot (X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2)^{3/2}}$$

$$Z_c^2(t) = Z_2 + u_{2z} \cdot t - \frac{1}{2} a_{2z} \cdot t^2 = Z_2 + \frac{\dot{g} \cdot Z_2 - Z_1}{g} \cdot t - \frac{GM \cdot Z_2 \cdot t^2}{2 \cdot (X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2)^{3/2}}$$

για την δεύτερη, όπου :

- $(X_i, Y_i, Z_i)$ ,  $(u_{ix}, u_{iy}, u_{iz})$ ,  $(a_{ix}, a_{iy}, a_{iz})$  τα διανύσματα της θέσης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης του Κέντρου Προβολής των βασικών framelet των εικόνων ( $i=1,2$ ) αντίστοιχα.
- $(X_c^i, Y_c^i, Z_c^i)$  οι συντεταγμένες εδάφους των βασικών framelet των εικόνων ( $i=1,2$ ) αντίστοιχα.
- $f, g, f', g'$  οι συναρτήσεις μετασχηματισμού (transition functions)

Οι συντεταγμένες των γραμμών προκύπτουν από τις συντεταγμένες του βασικού framelet της κάθε εικόνας ξεχωριστά, και όχι από εκείνο της αρχικής, όπως στο Κεπλέριο μοντέλο. Στην ουσία δηλαδή το εν λόγω μοντέλο χωρίζει την πλασματική αυτή εικόνα σε δύο τμήματα, όπου το κάθε ένα έχει το δικό του Κέντρο Προβολής, τα οποία σχετίζονται μεταξύ τους με τις εξισώσεις Gauss-Lambert.

Προκειμένου τώρα να επεκταθεί η χρήση του μοντέλου και σε περισσότερες εικόνες, χρησιμοποιείται ο συνδυασμός του με το μοντέλο Kerrick-Gibbs. Στην περίπτωση των τριών εικόνων, οι άγνωστοι είναι εννέα και αντιπροσωπεύουν τα διανύσματα θέσης τους. Άγνωστοι επίσης είναι και οι γωνίες στροφής (τρεις για κάθε εικόνα), συνεπώς συνολικά οι άγνωστοι ανεβαίνουν στους δεκαοχτώ. Το μοντέλο Gauss-Lambert δίνει την δυνατότητα υπολογισμού των διανυσμάτων της ταχύτητας για τις ακραίες εικόνες, ενώ το μοντέλο Kerrick-Gibbs υπολογίζει το αντίστοιχο διάνυσμα για την μεσαία εικόνα, λαμβάνοντας υπ' όψη τις θέσεις των εικόνων καθώς επίσης και την ταχύτητα του βασικού framelet της μεσαίας εικόνας.

Το μοντέλο αυτό μειώνει τους προς υπολογισμό αγνώστους κατά εννιά, σε σχέση με την ανεξάρτητη επίλυσή τους. Στην περίπτωση δε περισσότερων από τρεις εικόνες, όλα τα διανύσματα ταχυτήτων των ενδιάμεσων εικόνων υπολογίζονται από



το μοντέλο Herrick-Gibbs. Το διάνυσμα της ταχύτητας της μεσαίας εικόνας προκύπτει ως εξής:

$$\vec{u}_M = -dt_{2M} \left( \frac{1}{dt_{M1} \cdot dt_{31}} + \frac{GM}{12 \cdot r_1^3} \right) \vec{r}_1 + (dt_{2M} - dt_{M1}) \cdot \left( \frac{1}{dt_{M1} \cdot dt_{2M}} + \frac{GM}{12 \cdot r_M^3} \right) \vec{r}_M + dt_{M1} \left( \frac{1}{dt_{2M} \cdot dt_{21}} + \frac{GM}{12 \cdot r_2^3} \right) \vec{r}_2$$

όπου:

- $r_1, r_M, r_2$  τα διανύσματα θέσης της πρώτης, της μεσαίας και της τρίτης εικόνας.
- $(X_M, Y_M, Z_M), (u_{Mx}, u_{My}, u_{Mz})$  τα διανύσματα θέσης και ταχύτητας του Κέντρου Προβολής του βασικού framelet της μεσαίας εικόνας.

#### Εφαρμογή και αξιολόγηση των παραπάνω Αυστηρών Μοντέλων

Οι Michalis and Dowman (2005) συνέκριναν τα αποτελέσματα που προέρχονται από μονοεικονικό μοντέλο (Κεπλέριο) με εκείνα που προκύπτουν από μοντέλα για στερεοζεύγη εικόνων along track δεκτών. Ως πρώτο σετ δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ζεύγος εικόνων SPOT5-HRS στην περιοχή Aix-en-Provence της ΝΑ Γαλλίας. Συνολικά 33 σημεία εξήχθησαν από χάρτες κλίμακας 1:25000, 12 από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως GCP και τα υπόλοιπα 21 ως Check Points. Το δεύτερο σετ περιελάμβανε επίσης ζεύγος εικόνων για περιοχή της Βαυαρίας, με 81 σημεία μετρημένα με επίγειες μεθόδους, μόνο 41 από τα οποία αναγνωρίστηκαν στις εικόνες και τελικά χρησιμοποιήθηκαν. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τόσο το Κεπλέριο όσο και το μοντέλο Herrick-Gibbs δίνουν μικρότερο RMS σε σχέση με εκείνο που προκύπτει από μονοεικονική αντιμετώπιση (πίνακας 1).

RMSE	Single images	Kepler model	Gauss-Lambert
X(m)	12,18	11,10	11,99
Y(m)	18,90	10,76	11,36
Z(m)	11,33	9,86	11,53

**Πίνακας 1: RMSE στην περιοχή Aix-en-Provence (με 12 GCP)**

Τα σφάλματα είναι μικρότερα όπως φαίνεται, ενώ ιδιαίτερα στην διεύθυνση Y σχεδόν υποδιπλασιάζεται. Στην ίδια εργασία αποδεικνύεται ότι τα αποτελέσματα

είναι θεαματικά καλύτερα στα άκρα των εικόνων. Επίσης και στα δύο σεντ ελέγχθηκε το RMSE (για το Κεπλέριο Μοντέλο) σε σχέση με τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων GCP (Πίνακες 2 και 3).

RMSE	3 GCPs	4 GCPs	6 GCPs
X(m)	13,26	12,56	12,21
Y(m)	26,36	19,93	13,78
Z(m)	16,37	13,34	12,58

**Πίνακας 2: RMSE σε σχέση με διαφορετικό αριθμό GCP στην περιοχή Aix-en-Provence**

RMSE	4 GCPs	6 GCPs	8 GCPs	10 GCPs	12 GCPs
X(m)	6,85	6,54	6,57	6,56	6,31
Y(m)	8,51	6,10	6,08	6,02	6,01
Z(m)	7,58	7,53	7,10	7,03	5,52

**Πίνακας 3: RMSE σε σχέση με διαφορετικό αριθμό GCP στην περιοχή της Βαυαρίας**

Συγκρίνοντας τους πίνακες 1 και 2 προκύπτουν τα εξής (Michalis and Dowman,2005):

- Το Κεπλέριο και το μοντέλο Gauss-Lambert δίνουν ίδιας ακρίβειας αποτελέσματα.
- Το along track μοντέλο μόνο με 4 GCP πέτυχε ίδια ακρίβεια με το μονοεικονικό μοντέλο, για το οποίο απαιτήθηκαν 12 GCP. Επίσης, κατά την μονοεικονική αντιμετώπιση οι άγνωστοι είναι συνολικά 18, άρα με 4 GCP δεν υφίσταται λύση.
- Το along track μοντέλο με έξι GCP έχει σχεδόν την ίδια ακρίβεια με εκείνη που επιτυγχάνεται με δώδεκα.

Από τον πίνακα 3 εξάγονται τα εξής συμπεράσματα (Michalis and Dowman,2005):

- Η ακρίβεια διπλασιάζεται σε σχέση με το προηγούμενο σετ δεδομένων, το οποίο όμως θα μπορούσε να οφείλεται σε ακριβέστερη πρωτογενή πληροφορία.
  - Επίσης, όπως και προηγουμένως, η χρήση 12 GCP δεν αυξάνει ιδιαίτερα την ακρίβεια σε σχέση με την χρήση 6 GCP.

### Άλλα Μοντέλα

Αναλόγως του εκάστοτε δέκτη, έχουν κατά καιρούς προταθεί διάφορα Αυστηρά Μοντέλα με ποικίλα αποτελέσματα. Ένα εξ' αυτών έχει διατυπωθεί από τους Ιωαννίδη και Δελτσίδη ) (2011) στο άρθρο τους “Orthirectification of WorldView2 Stereopair Using A New Rigorous Orientation Model”, που αφορά γραμμικούς pushbroom δέκτες με μικρό Field Of View.

Το μοντέλο περιλαμβάνει τις εξισώσεις της συνθήκης συγγραμμικότητας, τα στοιχεία του εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού του δέκτη καθώς και τροχιακά δεδομένα. Η συγγραμμικότητα έχει επιλεγεί γιατί περιγράφει με τον βέλτιστο τρόπο την γεωμετρία της δέσμης, όπως επίσης την διαδρομή μιας οπτικής ακτίνας από το έδαφος έως την φωτοευαίσθητη επιφάνεια στον δέκτη. Εκτός αυτού είναι ο πλέον ακριβής τρόπος να περιγράψει την σχέση μεταξύ δύο συστημάτων αναφοράς, πχ του ECEF (Earth CEntered Fixed) και του συστήματος της κάμερας. Ως στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού μπορούν να αναφερθούν η εστιακή απόσταση, οι διαστροφές του φακού, η μετατόπιση του πρωτεύοντος σημείου κλπ, ενώ τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού μοντελοποιούνται μέσω πολυωνύμων.

Το μοντέλο στην πλήρη του μορφή έχει 24 αγνώστους. Παρόλα αυτά, ο συνδυασμός του στενού Field Of View, με την μεγάλη διαφορά μεταξύ των υψομετρικών διαφορών του εδάφους σε σχέση με το ύψος πτήσης, δίνει την δυνατότητα για την μοντελοποίηση της διόρθωσης της κλίμακας ως ένα πολυώνυμο δευτέρου βαθμού. Αυτό με την σειρά του οδηγεί σε τρεις εξισώσεις ανά GCP αντί για δύο, και συνεπώς για τον προσδιορισμό των αγνώστων απαιτούνται τελικά λιγότερα GCPs.

Επίσης, η υψηλή συσχέτιση μεταξύ των αγνώστων έχει ως αποτέλεσμα να απαιτούνται συνήθως λιγότεροι άγνωστοι από τους 24 του πλήρους μοντέλου. Πειράματα που αναφέρονται στο ίδιο άρθρο με προσομοιωμένα και πραγματικά δεδομένα (WorldView2, pixelsize 0.5m), απέδειξαν ότι ο υπολογισμός 10-13 παραμέτρων, αναλόγως του αναγλύφου, είναι συνήθως επαρκής. Με άλλα λόγια, απαιτούνται κατ'ελάχιστον 6 GCPs, υπό την προϋπόθεση της καλής κατανομής.

Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με τον παραπάνω αριθμό GCPs είναι καλύτερη του 0.5m οριζοντιογραφικά και του 1m υψομετρικά για την «εμπρός» εικόνα, και λίγο χειρότερη για την «πίσω» εικόνα, κυρίως λόγω της μεγάλης γωνίας λήψης της τελευταίας (που οδηγεί σε pixelsize της τάξης των 0.86m). Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό όλων των παραμέτρων του πλήρους μοντέλου είναι σαφώς καλύτερη, αλλά απαιτεί και περισσότερα GCPs. Και στις δύο περιπτώσεις όμως, η ακρίβειες είναι παρεμφερείς και κάτω του pixel.

Τέλος, σε αντίθεση με τα συνήθη μοντέλα που απαιτούν 9 GCPs, το εν λόγω μοντέλο απαιτεί μόνο 6, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα συναφή ή και καλύτερη ακρίβεια.

### Προσεγγιστικά Μοντέλα

Τα προσεγγιστικά μοντέλα έχουν την ιδιότητα να συνδέουν τις συντεταγμένες της εικόνας με εκείνες του εδάφους χωρίς να απαιτούν κάποια προηγούμενη γνώση της τροχιάς, του εξωτερικού προσανατολισμού ή της εσωτερικής γεωμετρίας του δέκτη. Δεδομένου λοιπόν ότι τα στοιχεία αυτά, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, δεν είναι εύκολα διαθέσιμα, τα προσεγγιστικά μοντέλα τυγχάνουν ευρείας απήχησης στην προτίμηση του κοινού. Τα περισσότερα χρησιμοποιούμενα μοντέλα είναι:

- Άμεσος Γραμμικός Μετασχηματισμός (DLT)
- Τρισδιάστατος Αφινικός Μετασχηματισμός
- Κλασματικά Πολυώνυμα (Rational Functions)

## Άμεσος Γραμμικός Μετασχηματισμός (DLT)

Ο Γραμμικός Άμεσος Μετασχηματισμός συνδέει με γραμμικό τρόπο τα GCP και τα σημεία που απεικονίζονται στην εικόνα. Βασίζεται στην Συνθήκη Συγγραμμικότητας, περικλείοντας μέσα του όμως και αφινικές παραμορφώσεις. Στην ουσία ο DLT περιγράφει την γραμμική απεικόνιση (προβολικότητα) ενός τρισδιάστατου σημειοσυνόλου στο επίπεδο (Καρράς, 1998).

Οι εξισώσεις που τον περιγράφουν φαίνονται παρακάτω:

$$x = \frac{b_{11} * X + b_{12} * Y + b_{13} * Z + b_{14}}{b_{31} * X + b_{32} * Y + b_{33} * Z + 1}, \quad y = \frac{b_{21} * X + b_{22} * Y + b_{23} * Z + b_{24}}{b_{31} * X + b_{32} * Y + b_{33} * Z + 1}$$

Οι άγνωστοι είναι συνολικά 11, και συνεπώς απαιτούνται κατ'ελάχιστον 6 σημεία για την επίλυσή του. Προφανώς ο μετασχηματισμός είναι μονοσήμαντος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο από τον χώρο στην εικόνα και όχι αντιστρόφως. Χαρακτηριστικό του μετασχηματισμού είναι ότι οι συντεταγμένες της εικόνας μπορούν να βρίσκονται στο οποιοδήποτε σύστημα αναφοράς, σαφές πλεονέκτημα στις Δορυφορικές Εικόνες όπου η εσωτερική τους γεωμετρία –κατά το παρελθόν– ήταν συνήθως άγνωστη. Ως αντιστάθμισμα μπορεί να αναφερθεί ότι για να αποδώσει σωστά ο μετασχηματισμός, απαιτείται καλή κατανομή των σημείων, τόσο οριζοντιογραφικά όσο και υψομετρικά. Συνήθως πάντως, ο μετασχηματισμός χρησιμοποιείται ως ένας τρόπος υπολογισμού προσεγγιστικών τιμών για την χρήση της MET σε άλλα μοντέλα (Καροπούλου, 2007).

Οι Jacobsen et al (2005) στο άρθρο τους «*Geometric Models for the Orientation of High Resolution Optical Satellite Sensors*» εξετάζουν την εφαρμογή του DLT μετασχηματισμού σε δορυφορικές εικόνες IKONOS, στην περιοχή Zonguldak της Τουρκίας. Οι 11 άγνωστοι του μετασχηματισμού προσδιορίστηκαν εκεί με 6 τουλάχιστον σημεία. Το μικρό πεδίο λήψης που έχουν οι εικόνες υψηλής ανάλυσης, σε συνδυασμό με τη περιορισμένη υψομετρική κατανομή των σημείων – εν συγκρίσει με το μεγάλο ύψος πτήσης του δέκτη - οδήγησε σε διάφορα αριθμητικά προβλήματα. Αυτό γιατί ο DLT μετασχηματισμός βασίζεται στην προοπτική γεωμετρία της εικόνας, η οποία όμως αναφέρεται μόνο κατά την κατεύθυνση της γραμμής CCD (Jacobsen et al (2005).). Στο ίδιο άρθρο επισημαίνεται ότι εν γένει δεν ενδείκνυται ο μετασχηματισμός αυτός για την γεωαναφορά Δορυφορικών Εικόνων, δεδομένου ότι

το RMS που προέκυψε σε έξι Check Points έφτασε στα 2,4 m, τιμή μη αποδεκτή για τον IKONOS.

### Τρισδιάστατος Αφινικός Μετασχηματισμός (3D Affine Transformation)

Ο 3D Αφινικός Μετασχηματισμός συνδέει τον χώρο και την εικόνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$\begin{aligned}x &= A_1X + A_2Y + A_3Z + A_4 \\y &= A_5X + A_6Y + A_7Z + A_8\end{aligned}$$

όπου:

- $x, y$  οι συντεταγμένες της εικόνας
- $X, Y, Z$  οι συντεταγμένες εδάφους
- $A_1, \dots, A_8$  οι συντελεστές που εκφράζουν τις 2 μετατοπίσεις (κατά  $x$  και  $y$ ), τις δύο μεταβολές στην κλίμακα (επίσης μία κατά άξονα), την απόκλιση από την καθετότητα, και τις τρεις στροφές.

Οι οκτώ παράμετροι για να υπολογιστούν απαιτούνται τουλάχιστον τέσσερα καλά κατανομημένα σημεία. Η κατανομή και εδώ αναφέρεται τόσο στην οριζοντιογραφία όσο και στην υψομετρία. Εάν για παράδειγμα τα σημεία βρίσκονται όλα σε πεδινό έδαφος, τότε μεγάλες παραμορφώσεις θα παρατηρηθούν στις περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο. Επίσης, θα πρέπει να ελέγχεται ο βαθμός συσχέτισης μεταξύ των υπολογιζόμενων αγνώστων. Μεγάλες τιμές συσχέτισης θα οδηγήσουν σε αριθμητικά προβλήματα, και παραμορφώσεις στα τμήματα της εικόνας που βρίσκονται έξω από την περιοχή που περικλείουν τα GCPs, ενώ την ίδια στιγμή τα υπόλοιπα στα Check Points θα παραμένουν χαμηλά, αφού οι τιμές της συσχέτισης δεν τα επηρεάζει.

Οι Jacobsen et al (2005) στο άρθρο «*Geometric Models for the Orientation of High Resolution Optical Satellite Sensors*» εξετάζουν την εφαρμογή 3D αφινικού μετασχηματισμού σε δορυφορικές εικόνες IKONOS, στην περιοχή Zonguldak της Τουρκίας. Στο συγκεκριμένο πεδίο μετρήθηκαν με δέκτες GPS με επαρκή ακρίβεια, ενώ ως GCPs χρησιμοποιήθηκαν 4 ομοίμορφα κατανομημένα σημεία, με αρκετά διαφορετικές τιμές στο υψόμετρο. Τα ανεξάρτητα σημεία ελέγχου οδήγησαν σε μη

αποδεκτά υπόλοιπα, με  $RMSX=1.91m$  και  $RMSY=18.53m$ . Το πρόβλημα που δημιουργήθηκε φάνηκε ότι οφειλόταν στον υψηλό βαθμό συσχέτισης  $r=0.999$ , με αποτέλεσμα αυτό να επισημανθεί από το πρόγραμμα του πανεπιστημίου του Ανόβερου TRAN3D (Jacobsen et al., 2005).

Οι Dial και Grodecki (2005) στο άρθρο τους «*RPC Replacement Camera Models*», αναφέρουν μεταξύ άλλων ότι πολλοί επιστήμονες προσπάθησαν να μοντελοποιήσουν τη γεωμετρία δορυφορικών εικόνων με τη βοήθεια του αφινικού μετασχηματισμού. Το αφινικό μοντέλο ουσιαστικά καταρρέει από την στιγμή που η γωνία θέασης δεν παραμένει σταθερή σε όλη την εικόνα. Αν και οι μεταβολές της γωνίας είναι μικρές (π.χ. η δορυφορική εικόνα IKONOS έχει  $0.9^\circ$  FOV), αυτές μπορεί να γίνουν αισθητές όταν η λωρίδα είναι μεγάλη ή δεν είναι παράλληλη με την διεύθυνση κίνησης του δορυφόρου. Συνεπώς, παρ' όλο που τα αφινικά μοντέλα έχουν δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ορισμένες περιπτώσεις, σε άλλες έχουν παρουσιάσει σημαντικές δυσκολίες στην περιγραφή του μοντέλου του αισθητήρα.

Οι Vozikis et al (2003) στο άρθρο τους «*Alternative Sensor Orientation Models For High Resolution Satellite Imagery*», συγκρίνουν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή διαφόρων μη παραμετρικών μοντέλων σε δορυφορικές εικόνες IKONOS και SPOT σε περιοχές της Αθήνας, της Μελβούρνης και του Σαν Ντιέγκο. Παρατηρήθηκε ότι με τη χρήση 8 GCPs, σε κάθε σκηνή, το μοντέλο που προσέγγιζε καλύτερα το γεωμετρικό μοντέλο του SPOT και του IKONOS, ήταν αυτό που προέκυπτε με τον αφινικό μετασχηματισμό. Τα αποτελέσματα φαίνονται σε μορφή πίνακα παρακάτω (Πίνακας 4):

	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
DLT	Athens - IKONOS	Geocentric	1.089
Affine	Athens - IKONOS	UTM	0.723
Parallel Perspective	Athens - IKONOS	UTM	1.952
DLT	Attika - Spot5	Geocentric	0.912
Affine	Attika - Spot5	Geocentric	0.902
Parallel Perspective	Attika - Spot5	UTM	2.367

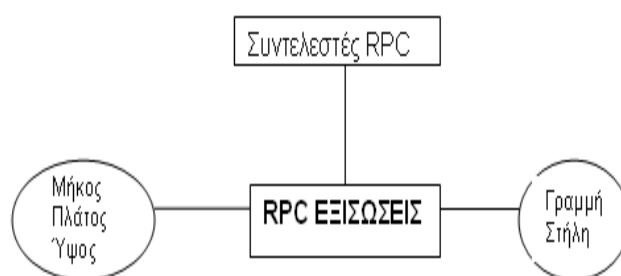
Πίνακας 4: Σύγκριση μοντέλων σε ΔΕ IKONOS και SPOT

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι ο αφινικός μετασχηματισμός, συγκρινόμενος με τον DLT μετασχηματισμό, δίνει παρεμφερή αποτελέσματα υπό προϋποθέσεις. Το βέλτιστο σύστημα συντεταγμένων μοιάζει να είναι το UTM, κυρίως λόγω του τοπικού του χαρακτήρα.

### Μοντέλο Κλασματικών Πολυωνύμων (Rational Functions Model)

Το μοντέλο των Κλασματικών Πολυωνύμων είναι το πλέον χρησιμοποιούμενο από τα προσεγγιστικά μοντέλα, λόγω του γεγονότος ότι τα τελικά αποτελέσματα που δίνει είναι και τα πλέον ακριβή.

Η ιδέα των Κλασματικών Πολυωνύμων προήλθε ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης χρήσης προϊόντων από ποικιλία αερομηχανών και δορυφορικών δεκτών. Γεννήθηκε δηλαδή η ανάγκη για την δημιουργία γενικών μαθηματικών σχέσεων, ικανών να περιγράψουν την σχέση εικόνας και πραγματικού χώρου με επαρκή ακρίβεια και για το σύνολο των διαφόρων δεκτών, ιδανικά μόνο με την μεταβολή ορισμένων συντελεστών. Αυτοί οι συντελεστές ονομάζονται RPC (Rational Polynomial Coefficients), και συνδέουν τις συντεταγμένες της εικόνας (γραμμή, στήλη) με εκείνες του χώρου (γεωγρ. Μήκος, γεωγρ. Πλάτος, υψόμετρο) όπως φαίνεται σχηματικά παρακάτω:



Εικόνα 16: Τρόπος λειτουργίας των RPC

Το ίδιο το μοντέλο δεν είναι τίποτε άλλο από ρητές συναρτήσεις (πολυώνυμα ή κλάσματα πολυωνύμων) που περιλαμβάνουν όλη την πληροφορία για τον προσανατολισμό των εικόνων. Οι παράμετροι που περιλαμβάνονται είναι προφανώς



περισσότεροι από εκείνους των άλλων μετασχηματισμών (DLT και Αφινικού), ενώ θα μπορούσε να ειπωθεί ότι οι εν λόγω μετασχηματισμοί αποτελούν μερικές απλουστευμένες υποπεριπτώσεις του RFM.

Η μαθηματική έκφραση του μοντέλου παρατίθεται παρακάτω:

$$x = \frac{p_1(X, Y, Z)}{p_3(X, Y, Z)} = \frac{\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^i \sum_{k=0}^j a_m X^{i-j} Y^{j-k} Z^k}{\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^i \sum_{k=0}^j c_m X^{i-j} Y^{j-k} Z^k}$$

$$y = \frac{p_2(X, Y, Z)}{p_3(X, Y, Z)} = \frac{\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^i \sum_{k=0}^j b_m X^{i-j} Y^{j-k} Z^k}{\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^i \sum_{k=0}^j c_m X^{i-j} Y^{j-k} Z^k}$$

όπου  $a_m$ ,  $b_m$ ,  $c_m$ , οι πολυωνυμικοί συντελεστές (με  $c_0=1$ ) και

$$m = \frac{i(i+1)(i+2)}{6} + \frac{j(j+1)}{2} + k$$

Κάθε πολυώνυμο περιλαμβάνει 20 όρους ως εξής:

$$P_1 = \begin{bmatrix} a_0 + a_1 Z + a_2 Y + a_3 X + a_4 ZY + a_5 ZX \\ + a_6 YX + a_7 Z^2 + a_8 Y^2 + a_9 X^2 + a_{10} ZXY \\ + a_{11} Z^2 Y + a_{12} Z^2 X + a_{13} Y^2 Z + a_{14} Y^2 X \\ + a_{15} ZX^2 + a_{16} YX^2 + a_{17} Z^3 + a_{18} Y^3 + a_{19} Z^3 \end{bmatrix}$$

και συνεπώς το μοντέλο περιλαμβάνει συνολικά 80 άγνωστους συντελεστές.

Οι συντελεστές αυτοί υπολογίζονται μέσω δύο προσεγγίσεων. Η πρώτη εξαρτάται το ανάγλυφο του εδάφους (terrain dependent), ενώ η δεύτερη όχι (terrain independent).

Ξεκινώντας με την πρώτη, ο υπολογισμός των συντελεστών πραγματοποιείται με την μέτρηση μεγάλου αριθμού φωτοσταθερών (μερικές εκατοντάδες), την σκόπευση των αντίστοιχων σημείων στην εικόνα και την ελαχιστοτετραγωνική επίλυσή τους. Αυτή η μέθοδος χαρακτηρίζεται από την υψηλή εξάρτησή της από τον αριθμό και την κατανομή των GCPs (οριζοντιογραφικά και υψομετρικά), καθώς και από τον βαθμό που αυτά επιτυγχάνουν να περιγράψουν επαρκώς το ανάγλυφο. Εάν κάποιο από αυτά

δεν πληρείται τότε η μέθοδος μπορεί να δώσει λανθασμένα αποτελέσματα (Tao et al, 2004) ενώ η κακή διάταξη θα οδηγήσει σε σοβαρές παραμορφώσεις (Gianinetto et al, 2004).

Στην δεύτερη μέθοδο, ο υπολογισμός υλοποιείται με την βοήθεια δύο τρισδιάστατων καννάβων, ενός στο έδαφος και άλλου ενός στην εικόνα. Πρώτα δημιουργείται εκείνος της εικόνας, και μέσω ενός τρισδιάστατου μοντέλου (επιλυμένο από την εταιρεία παροχής που γνωρίζει το φυσικό μοντέλο του δέκτη, πχ το SPOTCHECK+) υπολογίζονται οι 3D συντεταγμένες των σημείων του καννάβου στο έδαφος. Αν το μοντέλο παρέχεται ήδη από βοηθητικά αρχεία (όπως στην περίπτωση των SPOT-5/HRG και SPOT-5HRS), τότε ο καννάβος της εικόνας προβάλλεται σε διάφορα ύψη στο έδαφος καλύπτοντας όλο το υψομετρικό εύρος του αντικειμένου. Είτε στην μία είτε στην άλλη περίπτωση, τα σημεία του καννάβου στην εικόνα και στο έδαφος χρησιμοποιούνται ως φωτοσταθερά για την επίλυση των εξισώσεων και τον υπολογισμό των συντελεστών (Toulin, 2004).

Η εφαρμογή των προσδιοριζόμενων, με τις παραπάνω διαδικασίες, συντελεστών δεν διασφαλίζουν την ακρίβεια που απαιτείται για την πλειονότητα των χαρτογραφικών εργασιών. Εξακολουθούν να παραμένουν συστηματικά σφάλματα, για την εξάλειψη των οποίων απαιτείται μια επιπλέον διόρθωση (με τη χρήση GCPs), μέσω πολυωνύμου 0-2 βαθμού (Μολύβας, 2009):

$$x+f_1(x,y) = P1(X,Y,Z) / P2(X,Y,Z)$$

$$y+f_2(x,y) = P3(X,Y,Z) / P4(X,Y,Z)$$

με το  $f(x,y)$  πολυώνυμο έως και 2<sup>ου</sup> βαθμού:

$$f(x,y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2$$

Όταν το πολυώνυμο είναι μηδενικού βαθμού πρόκειται για απλή μετάθεση, ενώ για πολυώνυμο πρώτου βαθμού πρόκειται για 2D αφινικό μετασχηματισμό. Η επιλογή του βαθμού, είναι προφανώς συνάρτηση του αριθμού των διατιθέμενων GCPs.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις ακρίβειες που επιτεύχθηκαν (σε pixel) σε δύο σετ δεδομένων με την χρήση διαφόρων αριθμών GCP. Για λόγους μυστικότητας των προμηθευτών των δεδομένων, τα ονόματα των δεκτών δεν έχουν δοθεί στην δημοσιότητα (Wang et al, 2008).

RMS		0 βαθμού	1ου βαθμού	2ου βαθμού
Data Set I	No refine	79,17		
	1 GCP	4,88		
	3 GCP	3,80	3,93	
Data Set II	No refine	20,89		
	2 GCP	2,40		
	4 GCP	1,91	2,48	
	6 GCP	1,87	2,24	2,28

**Πίνακας 5: RMSE (σε m) των σημείων ελέγχου, σε διαδικασία βελτίωσης των RPC**

Όπως φαίνεται παραπάνω, το αρχικό μοντέλο (no refine) δίνει σφάλμα μέχρι και 80 Pixel. Με την χρήση έστω και ενός GCP τα σφάλματα περιορίζονται σχεδόν στο 1/20 του αρχικού. Επίσης, ενδιαφέρον είναι ότι η αύξηση του βαθμού του πολυωνύμου δεν συνεπάγεται και αύξηση της ακρίβειας.

#### Εφαρμογές του Μοντέλου Κλασματικών Πολυωνύμων

Τα RF εφαρμόστηκαν από τον Madani (Madani, 1999) προκειμένου να προσδιοριστούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους, εν συγκρίσει με τα φυσικά μοντέλα. Η ακρίβεια της επίλυσης πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας 12 δορυφορικές σκηνές του SPOT (τύπου Level 1A) στην περιοχή του Winchester στην Virginia. Χρησιμοποιώντας δύο στερεοζεύγη και 50 GCPs, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων εκτιμήθηκε σε 0,18 m, ενώ το αντίστοιχο για τη Z συντεταγμένη ήταν περίπου 10 m (Τσιγγενόπουλος, 2011)

Οι Tao and Hu (2000; 2001b) και Tao et al. (2000) διεξήγαγαν μία επίλυση ελαχίστων τετραγώνων για την εξαγωγή παραμέτρων των RF, και εκτίμησαν την ακρίβεια προσαρμογής τους χρησιμοποιώντας δεδομένα από DEM, μία δορυφορική σκηνή SPOT και μία αεροφωτογραφία. Στην έρευνά τους εξέτασαν διάφορα σενάρια, με διαφορετικής τάξης πολυώνυμα και διαφορετικές μορφές των παρονομαστών τους, και εν συνεχεία τα συνέκριναν μεταξύ τους. Αποδείχτηκε ότι τα RF είναι ευαίσθητα ως προς τη κατανομή των GCPs. Αν αυτά είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα, τα RF συμπεριφέρονται πρακτικά καλύτερα απ' ό,τι τα απλά πολυώνυμα. Οι συγγραφείς πρότειναν δύο μεθόδους προκειμένου να ανανεώνονται οι επιλύσεις των μοντέλων RF με τη χρήση επιπρόσθετων επιγείων σταθερών σημείων (GCPs) (Καροπούλου, 2007).

Οι Fraser et al. (2001) εξέτασαν την ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων εδάφους (geopositioning), με χρήση στερεοσκοπικών εικόνων του IKONOS (IKONOS Geo imagery) σε περιοχή της Μελβούρνης. Εξετάστηκαν για τον σκοπό αυτό και συγκρίθηκαν το μοντέλο RF, ένα επεκταμένο μοντέλο DLT και ένας αφινικός μετασχηματισμός. Με την χρήση του RF η ακρίβεια της θέσης για δύο και τρεις διαστάσεις προέκυψε καλύτερη του 1 m (Τσιγγενόπουλος, 2011).

Οι Baltasvias et al. (2001) εξέτασαν τα ραδιομετρικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά των εικόνων IKONOS, καθώς και τη χρήση τους για παραγωγή ορθοφωτογραφίας και απόδοσης 3D πληροφορίας. Η θέση των σημείων εκτιμήθηκε με την χρήση των ίδιων στερεοσκοπικών εικόνων της περιοχής της Μελβούρνης. Χρησιμοποιώντας 4 με 8 καλά κατανομημένα GCPs, και επιφέροντας μία απλή μετάθεση (για να απορροφηθεί το συστηματικό σφάλμα που συνήθως παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των επίλυσεων με RF), επιτεύχθηκαν ακρίβειες της τάξης των 0.4-0.5 m οριζοντιογραφικά, και της τάξης των 0.6-0.8 m υψομετρικά. Τα αποτελέσματα αυτά αναφέρονται στην εφαρμογή του πλήρους πακέτου των 80 πολυωνυμικών συντελεστών (RFCs) για κάθε εικόνα, ή μικρότερου αριθμού αυτών έπειτα από απομάκρυνση των όρων ανώτερης τάξης.

Οι Tao et al (2000) διαπίστωσαν ότι για αεροφωτογραφίες τα μοντέλα RFM και τα πολυωνυμικά μοντέλα, είναι ικανά να αποδώσουν ικανοποιητική ακρίβεια. Διαπιστώθηκε επίσης ότι η ακρίβεια παραμένει ίδια τόσο με χρήση 4ου βαθμού μοντέλου RFM όσο και με τη χρήση 6ου βαθμού μοντέλου RFM. Επομένως χρήση μοντέλων μεγαλύτερου βαθμού δεν απαιτούνται. Επίσης οι επαναληπτικές μέθοδοι επίλυσης στα μοντέλα RFM παρέχουν καλύτερη ακρίβεια σε σχέση με την μέθοδο της απευθείας επίλυσης.

Τέλος σημειώνεται ότι η μέθοδος της απευθείας επίλυσης είναι και αυτή επαρκής όταν είναι διαθέσιμος ικανοποιητικός αριθμός GCPs (Tao et al.,2001).

## Συμπεράσματα

- Συγκρίνοντας τα Αυστηρά Μοντέλα και τα Προσεγγιστικά Μοντέλα, τα πρώτα διατηρούν μια σαφή υπεροχή ως προς την τελική επιτυγχανόμενη ακρίβεια. Κατά πλειονότητα όμως αυτά που χρησιμοποιούνται είναι τα τελευταία, λόγω μη κοινοποίησης απαραίτητων δεδομένων για την χρήση των πρώτων.
- Η γεωαναφορά των Δορυφορικών Εικόνων με την χρήση Προσεγγιστικών Μοντέλων, θα πρέπει να εκτελείται μέσω του Μοντέλου των Κλασματικών Πολυωνύμων, δεδομένου ότι δίνει τα καλύτερα τελικά αποτελέσματα. Η χρήση των RPC μόνο, δεν παρέχει την απαιτούμενη ακρίβεια προκειμένου για χαρτογραφικές εργασίες, και απαιτείται μια επιπλέον διόρθωση με την χρήση αριθμού GCP. Συνήθως ένα με τρία είναι αρκετά.
- Το RF Μοντέλο αποτελείται από γενικές σχέσεις που περιλαμβάνουν πολυώνυμα ή κλάσματα πολυωνύμων με βαθμό έως και 2<sup>ο</sup>, και αποκαθιστούν την σχέση αντικειμένου και εικόνας.
- Το RF Μοντέλο έχει μεγάλη ευελιξία στην χρήση διαφόρων συστημάτων αναφοράς, καθώς δίνει συντεταγμένες αντικειμένου σε διάφορα συστήματα όπως γεωκεντρικό, γεωγραφικό ή άλλο προβολικό (πχ UTM).
- Το RF μοντέλο επιτυγχάνει υψηλές ακρίβειες με πολύ μικρό κόστος σε χρόνο και μέσα για τον χρήστη. Αυτός είναι και ένας από τους κύριους λόγους προτίμησής τους από το κοινό.
- Οι παράμετροι των RF δεν έχουν κάποια φυσική σημασία, και έτσι κανείς δεν μπορεί εύκολα να τις συσχετίσει με εκείνες του φυσικού μοντέλου του δέκτη. Συνεπώς οι πληροφορίες για τον δέκτη και την τροχιά του μπορούν να παραμείνουν μυστικές από το κοινό, και αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο οι εταιρείες παροχής δεδομένων παρέχουν με κάθε σκηνή το αντίστοιχο αρχείο με τα RPCs.
- Με το RF μοντέλο πραγματοποιούνται πλήθος φωτογραμμετρικών διαδικασιών, όπως ορθοαναγωγή, δημιουργία στερεομοντέλου, εξαγωγή ΨΜΕ κλπ, χωρίς να παρατηρείται σημαντική απώλεια ακρίβειας.

## SAR Απεικονίσεις

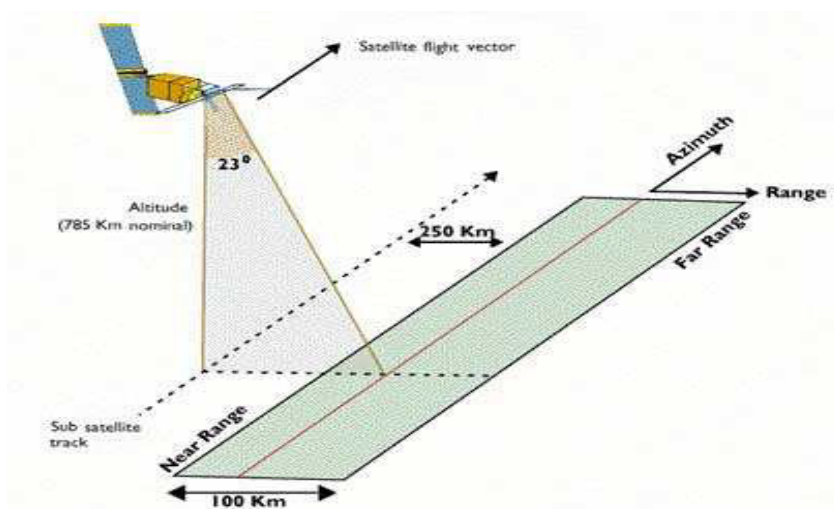
Η SAR τεχνολογία ολοένα και κερδίζει έδαφος τα τελευταία χρόνια, τόσο στην χρήση όσο και στην συνείδηση του κοινού, ιδιαίτερα όσον αφορά την εξαγωγή ΨΜΕ. Κρίνεται σκόπιμο λοιπόν να ανφερθούν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά των SAR απεικονίσεων, καθώς και για την διαδικασία γεωαναφοράς αυτών.

Οι μικροκυματικοί δέκτες διακρίνονται σε παθητικούς και ενεργητικούς, ανάλογα με το εάν η λαμβανόμενη ακτινοβολία προέρχεται από φυσική ή τεχνητή πηγή. Τα SAR συστήματα (Synthetic Aperture Radar, Ραντάρ Συνθετικού Ανοίγματος) ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία, δεδομένου ότι διαθέτουν μια κεραία η οποία εκπέμπει μικροκυματική ακτινοβολία σε παλμούς προς την επιφάνεια του εδάφους. Η ίδια κεραία λαμβάνει και καταγράφει την ηχώ του σήματος, δηλαδή πληροφορίες για την ισχύ, την διεύθυνση και την φάση του επιστρεφόμενου σήματος. Κατόπιν το σήμα επιδέχεται επεξεργασίας, ενισχύεται και διαχωρίζεται στις δύο μιγαδικές του συνιστώσες. Από αυτές μπορούν να εξαχθούν η απεικόνιση της ισχύος και η απεικόνιση της φάσης, με επεξεργασία των οποίων προκύπτουν πληροφορίες για την οπισθοσκέδαση, την υγρασία, την ομαλότητα κλπ του εδάφους.

## Γεωμετρία της SAR λήψης

Πριν αναφερθεί η διαδικασία της γεωαναφοράς, θα πρέπει να παρατεθούν ορισμένα στοιχεία για τον τρόπο δημιουργίας της ίδιας της απεικόνισης.

Το Ραντάρ βλέπει την γήινη επιφάνεια υπό γωνία όπως φαίνεται παρακάτω: (Εικόνα 17 )



Εικόνα 17: Τρόπος λειτουργίας του Ραντάρ

Η εγκάρσια (across track) συνιστώσα της απεικόνισης λαμβάνει τιμές που αντιστοιχούν στο σήμα που λαμβάνεται από μια συγκεκριμένη παλμοσειρά, μέσα σε μία χρονική διάρκεια. Η πρώτη τιμή του σήματος εντός της ίδιας χρονοσειράς, μας δίνει πληροφορία για στόχους οι οποίοι βρίσκονται στην εγγύτερη πλευρική απόσταση (near range), οι ενδιάμεσες τιμές αντιστοιχούν σε ενδιάμεσους στόχους (slant range), ενώ η τελευταία για στόχους οι οποίοι βρίσκονται στην μακρύτερη απόσταση (far range).

Σύμφωνα με την εξίσωση του radar η πληροφορία αυτή συνδέεται με την “ενεργό διατομή radar” και δίνει τον βαθμό οπισθοσκέδασης του στόχου.

Η απόσταση μεταξύ εγγύτερου και απώτερου στόχου ορίζει το πλάτος της λήψης (swath), ενώ η απόσταση εδάφους (ground range), είναι η απόσταση επί του εδάφους οποιουδήποτε στόχου από το ναδίρ σημείο του radar.

Η κατά μήκος της γραμμής πτήσης (along track ή azimuth) συνιστώσα της απεικόνισης, προκύπτει από την επανάληψη των εκπεμπόμενων παλμών κατά τη διάρκεια της κίνησης του δέκτη κατά μήκος της γραμμής πτήσης (flight line).

#### Γεωαναφορά SAR Απεικονίσεων

Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιαστούν οι κύριες εξισώσεις της γεωμετρίας λήψης και γεωαναφοράς των SAR απεικονίσεων. Οι εξισώσεις αυτές συσχετίζουν τις εικονοσυντεταγμένες ενός σημείου της εικόνας SAR με τις γεωδαιτικές συντεταγμένες της γήινης επιφάνειας.

Ένα σημείο της γήινης επιφάνειας εντοπίζεται με τις καρτεσιανές συντεταγμένες  $X, Y$  και  $Z$  σε σύστημα αξόνων με αφετηρία, το κέντρο της γης, ενώ ένα σημείο στη SAR απεικόνιση εντοπίζεται από τις συντεταγμένες πλάγιας απόστασης ( $j$ ) και αζιμουθίου ( $i$ ).

Η συντεταγμένη ( $j$ ) της πλάγιας απόστασης ενός pixel, εάν κατάλληλα προστεθεί στη χρονική καθυστέρηση του πρώτου pixel (first pixel delay), μας δίνει το γρήγορο χρόνο (fast time) του συγκεκριμένου pixel, από τον οποίο εύκολα προκύπτει η απόσταση δέκτη-σημείου  $R$  (range).

Η συντεταγμένη ( $i$ ) του αζιμουθίου του pixel, σε συνδυασμό με την συχνότητα επανάληψης παλμών PRF και τον χρόνο λήψης της πρώτης γραμμής (slow time), μας δίνει την ακριβή θέση του δέκτη την στιγμή λήψης του συγκεκριμένου pixel, ως σημείο της τροχιάς  $S$  του δορυφόρου, με συντεταγμένες  $S_x, S_y$  και  $S_z$ .

Τα διανύσματα της ταχύτητας του δορυφόρου  $s$   $V$  και της γήινης επιφάνειας  $p$   $V$  είναι γνωστά από το αρχείο της εφημερίδας του δορυφόρου.

Οι εξισώσεις που συνδέουν τις εικονοσυντεταγμένες με τις συντεταγμένες εδάφους είναι οι εξής τρεις:

1. Η εξίσωση της πλάγιας απόστασης

$$|S-P|^2 = (S_x - P_x)^2 + (S_y - P_y)^2 + (S_z - P_z)^2 = R^2$$

Όπου  $S, P$  τα διανύσματα θέσης του δορυφόρου και του σημείου επί του εδάφους.

2. Η εξίσωση της συχνότητας Doppler

$$f_D = \frac{2}{\lambda} \frac{(\vec{V}_s - \vec{V}_p) \cdot (\vec{P} - \vec{S})}{|\vec{P} - \vec{S}|}$$

Η εξίσωση αυτή περιγράφει την σχέση μεταξύ των διανυσμάτων ταχυτήτων του δορυφόρου και του σημείου, με την συχνότητα Doppler του σημείου. Η στιγμή της λήψης της τιμής του γκρίζου για το σημείο  $P$  γίνεται τη στιγμή μηδενισμού της συχνότητας Doppler, ( $F_d = 0$ ), δηλαδή όταν το σημείο βρίσκεται στην ελάχιστη απόσταση από τον δέκτη

3. Η εξίσωση της γήινης επιφάνειας

$$\frac{P_x^2}{(a+h)^2} + \frac{P_y^2}{(a+h)^2} + \frac{P_z^2}{(b+h)^2} = 1$$

η οποία ορίζει την επιφάνεια της Γης ως ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής με ημιάξονες  $a, b$ , λαμβάνοντας υπ' όψη και το γεωμετρικό υψόμετρο ( $h$ ) του σημείου  $P$ .

Οι παραπάνω εξισώσεις χρησιμοποιούνται για την γεωαναφορά των SAR απεικονίσεων, ακολουθώντας έναν από τους παρακάτω τρόπους:

Άμεση Γεωαναφορά

Σ' αυτήν την περίπτωση θεωρούνται γνωστές οι εικονοσυντεταγμένες του σημείου ( πλάγια απόσταση ( $i$ ) και αζιμούθιο ( $j$ )), και προσδιορίζεται η γεωδαιτική θέση του σημείου  $P$ . Αυτό επιτυγχάνεται με ταυτόχρονη επίλυση των τριών παραπάνω εξισώσεων. Το σύστημα δεν είναι γραμμικό και συνεπώς απαιτείται εφαρμογή της επαναληπτικής μεθόδου Newton - Raphson.



Η μέθοδος αυτή απαιτεί (στην εξίσωση της Γήινης Επιφάνειας ) την γνώση του υψομέτρου του σημείου από το ελλειψοειδές (h). Γι αυτό το λόγο μπορεί να εφαρμοστεί για περιοχές που έχουμε αποτελέσματα της συμβολομετρικής διαδικασίας. Αν στην τρίτη σχέση το υψόμετρο ληφθεί 0 τότε η επίλυση που θα προκύψει δεν θα λαμβάνει υπ' όψη το τοπικό ανάγλυφο.

### Έμμεση Γεωαναφορά

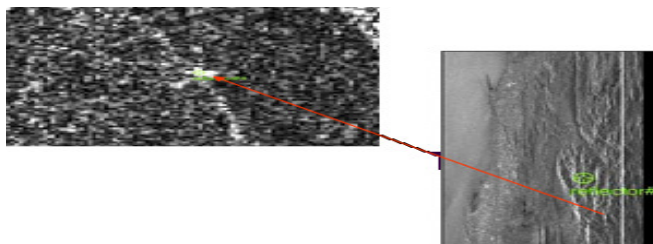
Σε αυτή την περίπτωση ως αρχικά δεδομένα λαμβάνονται οι γεωδαιτικές συντεταγμένες του σημείου με σκοπό τον προσδιορισμό των εικονοσυντεταγμένων του. Αυτή η εφαρμογή είναι απλούστερη της προηγούμενης αφού χρησιμοποιούνται μόνο οι δύο πρώτες εξισώσεις και δεν επιλύεται σύστημα.

Από την εξίσωση της συχνότητας Doppler, βρίσκοντας την τιμή του χρόνου για την οποία  $fD = 0$ , προκύπτει το αζιμούθιο και η απόσταση δέκτη-στόχου. Στη συνέχεια από την απόσταση δέκτη-στόχου υπολογίζεται η συντεταγμένη της πλάγιας απόστασης.

Στην πράξη χρησιμοποιείται η διαδικασία της έμμεσης γεωαναφοράς για τους εξής παρακάτω λόγους:

- Είναι απλούστερη αφού επιλύει μόνο δύο εξισώσεις και όχι σύστημα.
- Η άμεση γεωαναφορά απαιτεί επίλυση με την Μέθοδο Newton – Raphson, μια μέθοδο ιδιαίτερα ευαίσθητη στις αρχικές προσεγγιστικές τιμές που θα χρησιμοποιηθούν.
- Η άμεση γεωαναφορά απαιτεί καλή γνώση του γεωμετρικού υψομέτρου, μέγεθος που είτε δεν είναι διαθέσιμο παντού είτε η ακρίβειά του δεν είναι επαρκής.

Η έμμεση γεωαναφορά υλοποιείται με την χρήση ειδικών στόχων μεγάλης ανακλαστικότητας, για τους οποίους είναι γνωστές οι συντεταγμένες εδάφους, και οι οποίοι εύκολα μπορούν να αναγνωριστούν και να σκοπευτούν στην SAR απεικόνιση (Εικόνα 18)



Εικόνα 18: Ανακλαστήρας σε SAR απεικόνιση

## **ΕΝΟΤΗΤΑ Β΄: ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ**

Η δεύτερη ενότητα περιλαμβάνει την πρακτική εφαρμογή των παραπάνω, δηλαδή την διεξαγωγή γεωαναφοράς σε δορυφορικές εικόνες. Προς τούτο, χρησιμοποιήθηκαν τρία σετ εικόνων από τους δορυφορικούς δέκτες ALOS, GEOEYE-1 και IKONOS για τις περιοχές του Καλάμου Αττικής, της νήσου Αντιπάρου, και της περιοχής Αγ.Στεφάνου-Κρυονερίου Αττικής αντίστοιχα. Για την παραγωγή ορθοεικόνων χρησιμοποιήθηκαν ΨΜΕ που εξήχθησαν από τα στερεοζεύγη, αλλά και από άλλες πηγές, όπως αυτό της Κτηματολόγιο ΑΕ (μέγεθος εικονοστοιχείου 5m), ή άλλα που διατίθενται ελεύθερα στο διαδίκτυο όπως αυτό του δέκτη ASTER2 (με μέγεθος pixel 30m) και εκείνο του SRTM (με μέγεθος εικονοστοιχείου 90m). Η όλη διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό ERDAS IMAGINE, ενώ χρησιμοποιήθηκε επαρκής αριθμός GCPs από προηγούμενες εργασίες στην εκάστοτε περιοχή, μετρημένα με GPS και επαρκή ακρίβεια (κάτω του 0,5m). Τα χαρακτηριστικά των δεκτών που χρησιμοποιήθηκαν παρατίθενται παρακάτω:

### **Δορυφορικός Δέκτης ALOS**

Ο δορυφορικός δέκτης ALOS είναι Ιαπωνικής προελεύσεως και εκτοξεύτηκε στις 24 Ιανουαρίου 2006. Η τροχιά του είναι ηλιοσύγχρονη ενώ το ύψος πτήσης του αγγίζει τα 692km περίπου. Περιλαμβάνει τρεις αισθητήρες, τον ALOS PRISM, τον AVNIR-2 και τον PALSAR. Ο αισθητήρας AVNIR-2 αποσκοπεί κυρίως στην δημιουργία θεματικών χαρτών και παρακολούθηση μεταβολών της γήινης επιφάνειας. Ο αισθητήρας PALSAR είναι ένας ενεργός μικροκυματικός SAR δέκτης. Για χαρτογραφικούς σκοπούς χρησιμοποιείται ο αισθητήρας ALOS PRISM, ο οποίος διαθέτει τρία τηλεσκόπια, με θέαση εμπρός, πίσω και σε θέση ναδιρ. Σε αυτήν την τελευταία, η χωρική ανάλυση φτάνει στα 2,5 m (panchromatic). Το εύρος του κάθε framelet είναι 35km, ενώ η παρουσία των τριών τηλεσκοπίων δίνει την δυνατότητα για εξαγωγή ΨΜΕ ακρίβειας εφάμιλης εκείνης του 1:25.000.

## **Δορυφορικός Δέκτης GEOEYE-1**

Ο δέκτης GEOEYE εκτοξεύτηκε στις 6 Σεπτεμβρίου 2008 και τηρεί μια ηλιοσύγχρονη τροχιά στα 684km περίπου με περίοδο 98min. Στην θέση ναδίρ το μέγεθος του εικονοστοιχείου είναι 0.41m (panchromatic) και 1.65m (multispectral), ενώ το swath φτάνει τα 15 km. Ο χρόνος επανα-επισκευσιμότητας είναι μικρότερος των τριών ημερών, ενώ διατίθεται και η δυνατότητα λήψης pan-sharpened εικόνων. Οι μπάντες που χρησιμοποιούνται είναι η Panchromatic (450-800nm), η Blue (450-510nm), η Green (510-580nm), η Red (650-690nm) και η NIR (780-920nm).

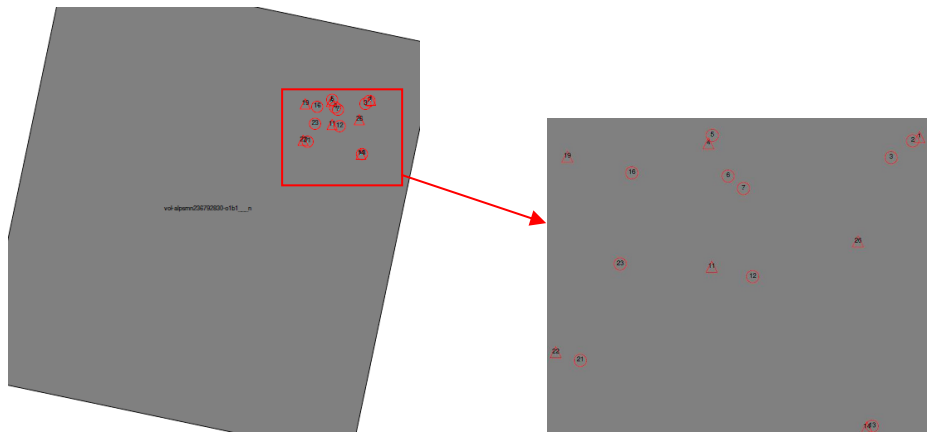
## **Δορυφορικός Δέκτης IKONOS**

Ο Δορυφορικός Δέκτης IKONOS εκτοξεύτηκε στις 24 Σεπτεμβρίου 1999 στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Η τροχιά του είναι όπως και των προηγούμενων ηλιοσύγχρονη με ύψος πτήσης τα 681 km. Η περίοδος επανα-επισκευσιμότητας είναι τρεις ημέρες, ενώ το swath είναι 11,3km στην θέση ναδίρ. Η χωρική ανάλυση είναι 0.82m (panchromatic) και 3.2m (multispectral) στην θέση ναδίρ, ενώ φτάνουν τα 1m και 4m σε θέση 26° off-nadir. Διατίθεται και εδώ η δυνατότητα pan-sharpened εικόνων με ανάλυση 1m, και οι μπάντες που χρησιμοποιούνται για την λήψη των δεδομένων είναι οι Panchromatic, Blue, Green, Red και η NIR.

## **Περιοχή Καλάμου**

Για την γεωαναφορά της περιοχής του Καλάμου στη ΒΑ Αττική χρησιμοποιήθηκε στερεοζεύγος του Δέκτη ALOS με μέγεθος pixel 2,5m. Τα διαθέσιμα φωτοσταθερά προέρχονται από προγενέστερη εργασία ()στην ίδια περιοχή και με διασπορά σε συγκεκριμένο τμήμα της εικόνας. Ο αριθμός τους ανέρχεται στα 26 σημεία, και έχουν μετρηθεί σε ΕΓΣΑ87 και UTM/WGS84.

Δυστυχώς η αρχική εργασία (Μπουρεξής, 2012) ασχολούταν με την γεωαναφορά SAR δεδομένων και ως εκ τούτου η επιλογή των σημείων δεν ήταν η βέλτιστη δυνατή προκειμένου για οπτικές εικόνες. Τελικά χρησιμοποιήθηκαν μόνο 17 απ' τα 26 συνολικά σημεία, κυρίως λόγω αδυναμίας ή μεγάλης αβεβαιότητας στην αναγνώρισή τους στην οπτική εικόνα.



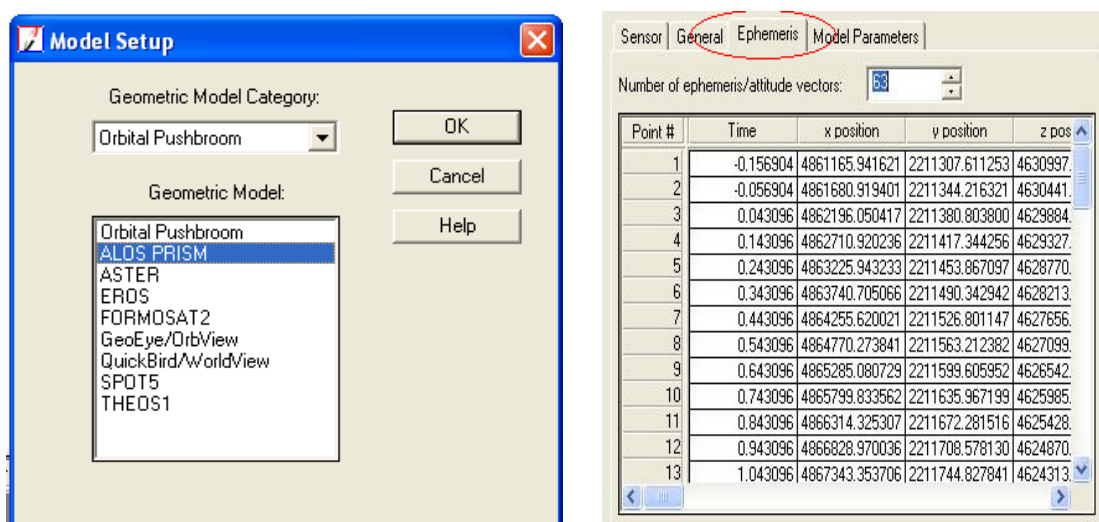
Κατανομή σημείων στην δορυφορική εικόνα ALOS

	Συν/νες Σε ΕΓΣΑ87			Προβολικές (UTM 34 North)		
	X	Y	Z(ορθ)	X	Y	Z(ορθ,)
1	490771,48	4237550,65	108,62	753302,14	4241801,61	108,62
2	490651,43	4237486,53	98,38	753184,14	4241733,58	98,38
3	490253,98	4237198,84	94,18	752795,93	4241432,91	94,18
4	486997,44	4237560,23	277,95	749526,86	4241688,61	277,95
5	487071,64	4237700,20	251,54	749596,53	4241831,03	251,54
6	487329,36	4236961,01	368,52	749878,32	4241100,03	368,52
7	487599,35	4236730,74	367,24	750155,85	4240878,47	367,24
8	487541,10	4236270,39	364,47	750112,53	4240416,12	364,47
9	487548,47	4236269,85	365,26	750119,92	4240415,81	365,26
10	486964,63	4235518,90	358,00	749560,33	4239645,73	358,00
11	486982,80	4235347,27	355,85	749584,07	4239474,66	355,85
12	487712,35	4235146,36	450,89	750320,31	4239297,38	450,89
13	489759,99	4232397,60	493,72	752457,66	4236614,40	493,72
14	489665,56	4232383,09	495,08	752363,69	4236596,81	495,08
15	485539,18	4237400,21	219,69	748073,47	4241481,20	219,69
16	485610,46	4237074,84	268,38	748155,33	4241158,07	268,38
17	484357,02	4238425,37	153,08	746857,75	4242468,19	153,08
18	484301,45	4238436,21	149,46	746801,82	4242477,23	149,46
19	484468,02	4237403,39	226,69	747001,97	4241449,59	226,69
20	484616,34	4237152,47	235,02	747158,47	4241203,43	235,02
21	484582,66	4233745,45	368,89	747235,38	4237794,57	368,89
22	484145,66	4233907,21	331,38	746793,04	4237942,19	331,38
23	485350,02	4235449,43	354,65	747947,61	4239523,84	354,65
24	485325,99	4235487,34	359,43	747922,34	4239560,98	359,43
25	484377,06	4235868,77	257,26	746960,82	4239911,68	257,26
26	489612,84	4235718,48	430,66	752202,70	4239931,34	430,66

Πίνακας 5: Συν/νες σημείων της περιοχής Καλάμου

## Γεωαναφορά με το LPS

Η όλη διαδικασία διενεργήθηκε στο module LPS του ERDAS Imagine9.2, και οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι VOL-ALPSMF236792775-O1B1\_\_\_F και VOL-ALPSMN236792830-O1B1\_\_\_N. Στο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε (orbital pushbroom) λήφθηκαν υπ' όψην τα τροχιακά δεδομένα και ο εξωτερικός προσανατολισμός του δέκτη κατά την στιγμή της λήψης. Τα παραπάνω στοιχεία περιέχονταν στα metadata των εικόνων.



Εικόνα 19: Model Setup στο Erdas Imagine και Metadata Δορυφορικής Εικόνας

Έγινε γεωαναφορά με διάφορους αριθμούς GCPs και ποικίλες κατανομές, ενώ η παραγωγή ορθοεικόνων πραγματοποιήθηκε με διάφορους τύπους ΨΜΕ.

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια της γεωαναφοράς παρατίθενται παρακάτω, ακολουθούμενα από συμπεράσματα και διαπιστώσεις.

Περιοχή Καλάμου							
	gcp			checkpoints			Total TriangulationRMS (pixel)
RMS	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)	
no refinement	--	--	--	52,43	100,06	131,38	
2 gcps (στα άκρα)	0,22	0,93	2,96	3,48	3,92	4,60	0,015
2 gcps (στο μέσον)	0,27	1,04	2,18	2,36	3,20	4,09	0,012
4 gcps	1,89	2,45	1,37	2,17	2,09	3,95	0,018

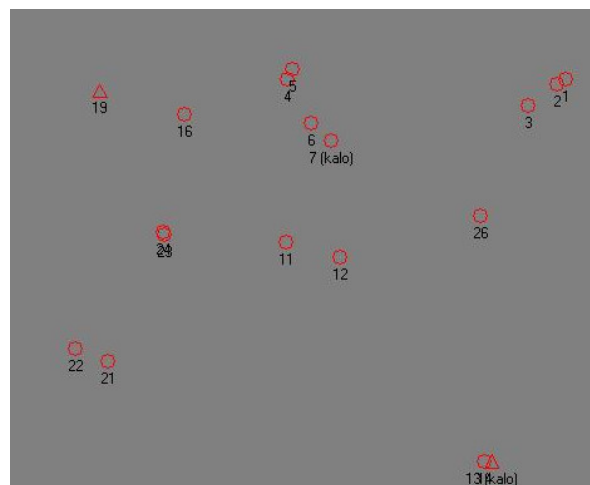
6gcps	1,44	2,02	1,64	2,48	1,69	4,70	0,012
8gcps	1,43	1,75	1,64	2,52	1,90	5,29	0,022
10gcps	1,77	1,76	3,13	2,02	1,93	3,15	0,005

#### Πίνακας 6: Αποτελέσματα Γεωαναφοράς στην περιοχή Καλάμου

Στην πρώτη γραμμή του παραπάνω πίνακα βλέπουμε τα αποτελέσματα της γεωαναφοράς χωρίς την χρήση GCPs, λαμβάνοντας υπ' όψην δηλαδή μόνον τα στοιχεία που διατίθενται στα metadata της εικόνας. Ενδιαφέρον είναι ότι το σφάλμα των υψομέτρων είναι 2,5 φορές μεγαλύτερο του αντίστοιχου στην διεύθυνση X.

Οι επόμενες δύο εγγραφές δίνουν τα αποτελέσματα , έχοντας κάνει χρήση δύο GCPs, την μία φορά στα άκρα της εικόνας και την δεύτερη στο μέσον. Αν και εκ πρώτης όψεως τα αποτελέσματα είναι περίπου ίδια -και ίσως λίγο καλύτερα- όταν τα GCPs βρίσκονται στο κέντρο της περιοχής-, μια προσεκτικότερη ματιά στα report (βλ. Παράρτημα) δίνει εντελώς διαφορετική εικόνα, όπως αναλύεται παρακάτω.

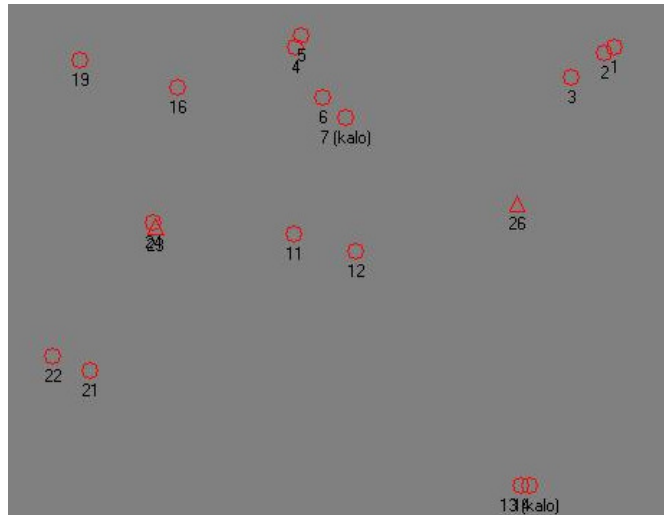
Στην πρώτη περίπτωση τα GCPs (απεικονίζονται με τρίγωνο σύμβολο) βρίσκονται πάνω σε μια διαγώνιο με φορά από πάνω αριστερά προς τα κάτω και δεξιά, όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 20: Διάταξη GCP – CheckPoint με 2 GCP στα άκρα της εικόνας

Τα σφάλματα είναι εν γένει πάνω από 3 m, ενώ στα σημεία 1,2,3, 21, και 22 (στα άκρα δηλαδή) φτάνουν μέχρι και τα 7m.

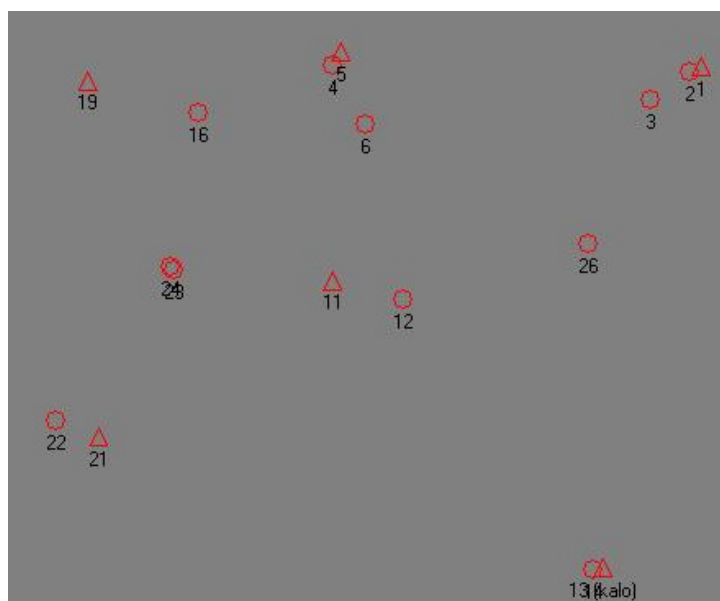
Στην δεύτερη περίπτωση τα GCPs αναδιανέμονται στο κέντρο της εικόνας, όπως φαίνεται παρακάτω, και τα αποτελέσματα εμφανίζονται ελαφρώς καλύτερα.



Εικόνα 21: Διάταξη GCP – CheckPoint με 2 GCP στο μέσον της εικόνας

Παρ'όλ'αυτά, τα σφάλματα στα σημεία στις άκρες είναι στην πλειοψηφία τους μεγαλύτερα και ξεπερνούν τα 8m.

Ουσιαστικά αποδεκτά αποτελέσματα επιτυγχάνονται με την χρήση τεσσάρων GCPs στα άκρα της περιοχής. Το RMS των CheckPoints πέφτει κάτω από το μέγεθος του pixel (2,5m), ενώ το RMS των σημείων που βρίσκονται κοντά στα άκρα είναι είτε αυτής της τάξης, είτε την ξεπερνά ελαφρώς (<0.5pixel). Ακόμα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται με τα έξι σημεία, καταναμημένα όπως παρακάτω.



Εικόνα 22: Διάταξη GCP – CheckPoint με 6 GCP καλά καταναμημένα στην εικόνα

Αν και τα RMS των CheckPoints κατά X εμφανίζονται μεγαλύτερα, εν τούτοις από το report βλέπουμε τα υπόλοιπα (residuals) όλων των σημείων εμφανίζονται σαφώς μικρότερα, με το μεγαλύτερο να είναι της τάξεως των 4m. Στα παραπάνω θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη και η αβεβαιότητα της σκόπευσης σε συνδυασμό με το σχετικά μεγάλο μέγεθος pixel (2,5m).

Τα αποτελέσματα των τελευταίων δύο εγγραφών του πίνακα είναι εφάμιλλα των προηγούμενων, και επιβεβαιώνουν ότι η χρήση μεγαλύτερου αριθμού GCPs δεν βελτιώνει απαραίτητα το αποτέλεσμα, αντιθέτως μπορεί και να επιφέρει το ακριβώς αντίθετο. Για παραδειγμα, στην περίπτωση των 8 GCPs, βλέπουμε το RMS των GCPs να μειώνεται και το αντίστοιχο των CheckPoints να αυξάνεται, σε σχέση με τα εκείνα της περίπτωσης των 6 GCPs. Αυτό σημαίνει ότι τα δύο σημεία που μεταπήδησαν από την κατηγορία των CheckPoints σε εκείνη των GCP, ήταν πολύ καλά σκοπευμένα, και ενώ μέχρι πρότενος «απορροφούσαν» τα σφάλματα των λοιπών CheckPoints, τώρα απορροφούν τα αντίστοιχα των λοιπών GCPs. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το RMS κατά Y των GCPs να πέφτει από 2,02 σε 1,75, ενώ το αντίστοιχο των CheckPoints να ανεβαίνει από 1,69 σε 1,90.

### Παραγωγή Ορθοεικόνας

Για την παραγωγή της ορθοεικόνας προηγήθηκε εξαγωγή του ΨΜΕ από το στερεοζεύγος των δορυφορικών εικόνων. Πέραν των GCPs στο στερεοζεύγος σκοπεύτηκε και αριθμός σημείων σύνδεσης. Το πρόγραμμα ERDAS παρέχει την δυνατότητα διαφόρων format ΨΜΕ τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

- DEM
- TerraModel TIN
- 3D SHAPEFILE
- ASCII
- Leica Terrain Format

ΨΜΕ εξήχθησε σε όλα τα παραπάνω format, και διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα είναι σχεδόν πανομοιότυπα, το δε βήμα καννάβου του ΨΜΕ (μέγεθος pixel) που προτείνει το ίδιο το πρόγραμμα είναι της τάξης των 30m. Φάνηκε βέβαια ότι το TIN format παρουσίαζε προβλήματα στα άκρα της εικόνας, και ιδιαίτερα στην παραλιακή ζώνη. Από την άλλη, η περιοχή ενδιαφέροντος έχει εν γένει ομαλή μεταβολή υψομέτρου, γεγονός που κάνει δύσκολη την διάκριση των αποκλίσεων στα



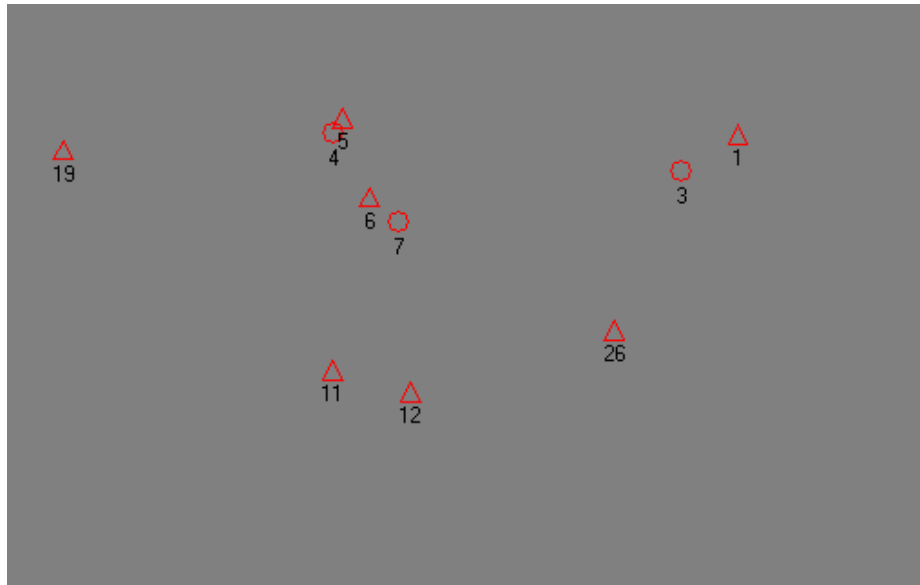
διάφορα format. Εν πάσει περιπτώσει, ορθοεικόνες (μέγεθος εδαφοψηφίδας 3m) εξήχθησαν με την χρήση του LTF format, του 3D Shp και του DEM. Οι αποκλίσεις μεταξύ τους ανέρχονται στο 1-2 pixel , και παρατηρούνται κυρίως στα ορεινά τμήματα της περιοχής.

Επίσης, ορθοεικόνες παρήχθησαν χρησιμοποιώντας ΨΜΕ του ASTER2 (pixelsize 30m) και του SRTM (pixelsize 90m). Οι διαφορές των αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας τα δύο ΨΜΕ είναι της τάξεως των 10m (φτάνουν μέχρι τα 16 στα ορεινά), ενώ σε σχέση με τις προηγούμενες, οι αποκλίσεις είναι περίπου του ίδιου μεγέθους για εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του SRTM και μεγαλύτερα για εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του ASTER.

Επίσης, χρησιμοποιήθηκε το ΨΜΕ της Κτηματολόγιο ΑΕ για την εν λόγω περιοχή σε μορφή shapefile, και το οποίο έχει εξαχθεί Φωτογραμμετρικά από αεροφωτογραφίες. Το αποτέλεσμα που προέκυψε παρουσιάζει διαφορές από την πρώτη ομάδα ορθοεικόνων κατά περίπου 20m, ενώ από την δεύτερη κατά λίγο περισσότερο.

Τέλος, διεξήχθη και ορθοαναγωγή με την χρήση ενός μέσου υψομέτρου που προήλθε από τα ΦΣ (320μ), και το αποτέλεσμα σε σχέση με το αμέσως προηγούμενο διαφέρει κυρίως στις ορεινές και τις παραθαλάσσιες περιοχές κατά περίπου 16-20m.

Συγκρίνοντας όλες τις παραπάνω ορθοεικόνες σε σχέση με την απόλυτη θέση των ΦΣ, παρατηρήθηκε μια απόκλιση της τάξεως των 100m περίπου τόσο κατά Χ όσο και κατά Υ. Η απόκλιση παρατηρήθηκε ότι ήταν σχεδόν ομοιόμορφη για όλα τα σημεία (GCP-CheckPoints). Θεωρώντας ως καλύτερο αποτέλεσμα εκείνο που είχε επιτευχθεί με το ΨΜΕ της Κτηματολόγιο (ως το πλέον ακριβές ΨΜΕ όλων των υπολοίπων), έγινε μια σύγκριση σε συνολικά 10 σημείων, μεταξύ των συντεταγμένων που είχαν μετρηθεί στο ύπαιθρο, και εκείνων που αποδίδονται από την ορθοεικόνα. Η κατανομή τους επιλέχθηκε ομοιόμορφη έτσι ώστε να ελεγχθούν τυχόν παραμορφώσεις στα ακραία σημεία.



Εικόνα 23: Διάταξη 10 CheckPoint για έλεγχο της ακρίβειας της ορθοεικόνας

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Αρ.ΦΣ	Μετρημένες Συν/νες		Συν/νες από ορθοεικόνα		Διαφορά		Διαφορά σε pixel (pixelsize 3m) από την μέση μετάθεση	
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY	ΚΑΤΑ X	ΚΑΤΑ Y
1	490771,480	4237550,645	490662,2763	4237460,538	109,204	90,107	1,05	0,68
3	490253,976	4237198,844	490145,095	4237107,884	108,881	90,960	0,94	0,96
4	486997,440	4237560,232	486895,0323	4237474,089	102,408	86,143	1,22	0,64
5	487071,637	4237700,202	486963,3624	4237613,309	108,275	86,893	0,74	0,39
6	487329,356	4236961,013	487225,3815	4236872,584	103,975	88,429	0,70	0,12
7	487599,348	4236730,736	487498,2113	4236636,248	101,137	94,488	1,64	2,14
11	486982,795	4235347,273	486878,4525	4235260,531	104,342	86,742	0,57	0,44
12	487712,347	4235146,362	487603,5492	4235057,349	108,798	89,013	0,91	0,31
19	484468,019	4237403,388	484364,7259	4237320,639	103,293	82,749	0,92	1,78
26	489612,843	4235718,481	489502,519	4235633,243	110,324	85,238	1,42	0,95
					106,064	88,076		
					ΜΕΣΗ ΜΕΤΑΘΕΣΗ			

**Πίνακας 7: Αποκλίσεις Συν/νων της ορθοεικόνας στην περιοχή Καλάμου**

Από τον παραπάνω πίνακα φάνηκε ότι η ορθοεικόνα ήταν μετατοπισμένη προς τα κάτω και αριστερά αντιστοίχως κατά 100 και 90 m περίπου. Η επαναδημιουργία της εικόνας σε νεότερη έκδοση του ίδιου λογισμικού (LPS 2010), ή η ορθοδιόρθωσή της σε άλλο προβολικό σύστημα (UTM/WGS84) δεν έλυσαν το πρόβλημα, αλλά έδωσαν παρόμοια αποτελέσματα. Μετά από έλεγχο όλων των

αρχικών δεδομένων (αρχικές συν/νες , μετατροπές μεταξύ συστημάτων, οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια των ΨΜΕ, αποτελέσματα αεροτριγωνισμού), αλλά και όλων των παραμέτρων που απαιτεί το πρόγραμμα προκειμένου να εκτελεστεί ορθοδιόρθωση, αποφασίστηκε να εφαρμοστεί μια απλή μετάθεση στην ορθοεικόνα και να μελετηθούν τα αποτελέσματα.

Από τον πίνακα 7, φαίνεται ότι εφαρμόζοντας μια μετάθεση κατά X ίση με 106m και κατά Y κατά 88m, τα σφάλματα θα ανέρχονταν στο μέγεθος του Pixel. Εξαιρέση αποτελεί το σημείο 7, το οποίο είναι η άκρη γηπέδου, και το οποίο εμπεριέχει μια κάπως μεγαλύτερη αβεβαιότητα στην σκόπευση.

Διακρίναμε δύο περιπτώσεις για μελέτη. Η πρώτη θα περιελάμβανε την μετάθεση της εικόνας με βάση ένα κεντρικό σημείο στις αρχικές (μετρημένες) του συντεταγμένες, ενώ η δεύτερη με βάση το ίδιο σημείο στις συντεταγμένες που προκύπτουν μετά από εφαρμογή της μέσης μετάθεσης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχτηκε το σημείο 6 λόγω της κεντρικής του θέσης στην εικόνα. Η μετάθεση επιτεύχθηκε μέσω του Viewer/ Raster/ Set Drop Point. Κατόπιν σκοπεύτηκαν εκ νέου τα σημεία που αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα και μετρήθηκαν οι διαφορές στις συντεταγμένες τους και στις δύο περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:

Αρ.ΦΣ	Μετρημένες Συν/νες		Συν/νες από ορθοεικόνα		Διαφορά(m)		Διαφορά σε pixel (pixelsize 3m) από την μετρημενη θέση	
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY	ΚΑΤΑ X	ΚΑΤΑ Y
1	490771,480	4237550,645	490766,3407	4237549,302	5,139	1,343	1,71	0,45
3	490253,976	4237198,844	490252,4904	4237195,864	1,486	2,980	0,50	0,99
4	486997,440	4237560,232	486998,9703	4237560,752	-1,530	-0,520	0,51	0,17
5	487071,637	4237700,202	487067,8204	4237700,933	3,817	-0,731	1,27	0,24
6	487329,356	4236961,013	487329,1679	4236961,001	0,188	0,012	0,06	0,00
7	487599,348	4236730,736	487601,848	4236726,431	-2,500	4,305	0,83	1,44
11	486982,795	4235347,273	486982,0855	4235348,905	0,710	-1,632	0,24	0,54
12	487712,347	4235146,362	487712,6105	4235146,168	-0,264	0,194	0,09	0,06
19	484468,019	4237403,388	484468,4977	4237407,813	-0,479	-4,425	0,16	1,47
26	489612,843	4235718,481	489606,2793	4235721,256	6,564	-2,775	2,19	0,93

**Πίνακας 8 : Πίνακας με τις διαφορές συν/νων αν μετατεθεί η εικόνα με βάση το σημείο 6 στις μετρημένες συν/νες**

Αρ.ΦΣ	Μετρημενες Συν/νες		Συν/νες από ορθοεικόνα		Διαφορά(m)		Διαφορά σε pixel (pixelsize 3m) από την μετρημένη θέση	
	X	Y	X	Y	ΔΧ	ΔΥ	ΚΑΤΑ Χ	ΚΑΤΑ Υ
1	490771,480	4237550,645	490766,509	4237549,118	4,971	1,527	1,66	0,51
3	490253,976	4237198,844	490251,828	4237196,342	2,148	2,502	0,72	0,83
4	486997,440	4237560,232	486996,921	4237559,944	0,519	0,288	0,17	0,10
5	487071,637	4237700,202	487067,745	4237701,195	3,893	-0,993	1,30	0,33
6	487329,356	4236961,013	487330,089	4236961,081	-0,733	-0,068	0,24	0,02
7	487599,348	4236730,736	487599,852	4236725,765	-0,504	4,971	0,17	1,66
11	486982,795	4235347,273	486982,061	4235348,35	0,734	-1,077	0,24	0,36
12	487712,347	4235146,362	487709,595	4235146,084	2,752	0,278	0,92	0,09
19	484468,019	4237403,388	484468,300	4237406,607	-0,281	-3,219	0,09	1,07
26	489612,843	4235718,481	489609,138	4235720,84	3,705	-2,359	1,23	0,79

**Πίνακας 9 : Πίνακας με τις διαφορες συν/νων αν μετατεθει η εικονα με βαση το σημειο 6 στις συν/νες που προκύπτουν από την μέση μετάθεση**

Επαληθεύεται, λοιπόν, από τα παραπάνω ότι η εικόνα όντως μετά την ορθοδιόρθωση υφίστατο μια γενική μετάθεση χωρίς κάποιου άλλου είδους επιπλέον παραμορφώσεις.

Έχουμε λοιπόν ως δεδομένα τα παρακάτω:

- Οι συν/νες των ΦΣ είναι ορθές, ενώ στο block χρησιμοποιήθηκαν τα ορθομετρικά υψόμετρα
- Ο αεροτριγωνισμός έχει RMS μικρότερο του μεγέθους pixel.
- Τα ΨΜΕ είναι ορθά τόσο οριζοντιογραφικά όσο και υψομετρικά.
- Η ορθοδιόρθωση έγινε με διάφορα ΨΜΕ, και σε διάφορες εκδόσεις του ίδιου λογισμικού, και έδωσε αποτελέσματα τα οποία, μεταξύ τους είναι παρόμοιας οριζοντιογραφικής ακρίβειας, αλλά ταυτόχρονα όλα παρουσιάζουν μια μετάθεση ως προς την αληθή τους θέση κατά περίπου 100μ, τόσο κατά Χ όσο και κατά Υ.

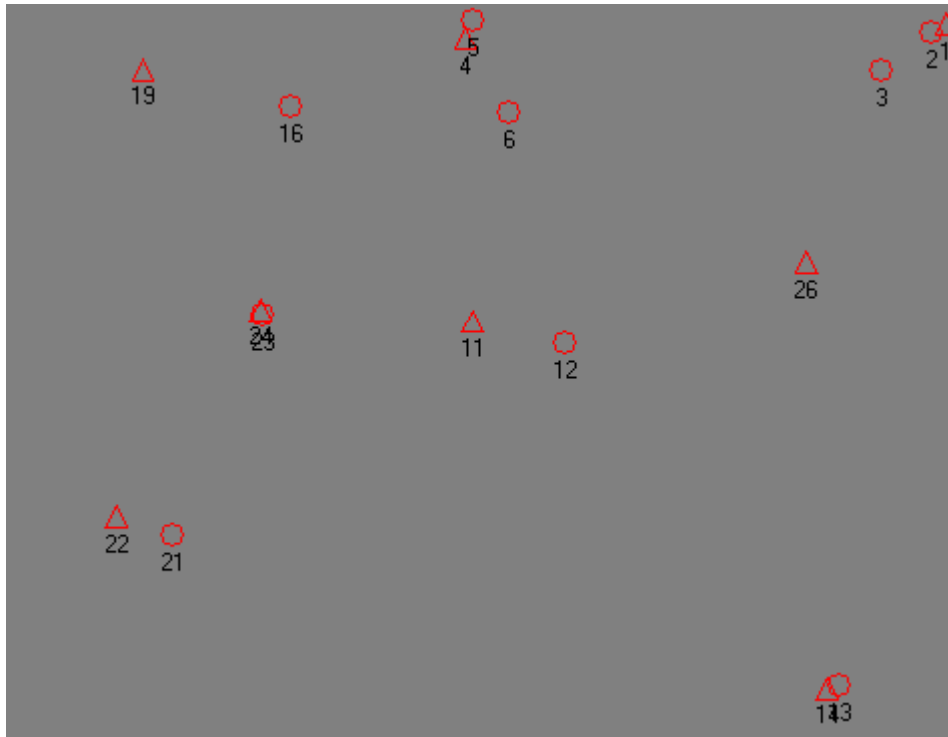
Λαμβάνοντας λοιπόν υπ' όψην όλα τα παραπάνω, και γνωρίζοντας ότι το LPS κατά την ορθοδιόρθωση χρησιμοποιεί την Συνθήκη Συγγραμμικότητας, το μόνο που απομένει να υποθέσουμε είναι ότι ενυπάρχει κάποιο σφάλμα στην αναγνώριση των

στοιχείων από το LPS που παρέχονται ενσωματωμένα στην εικόνα και αποκαθιστούν την εσωτερική γεωμετρία του δορυφόρου. Για την διακρίβωση του παραπάνω θα μπορούσε εναλλακτικά να πραγματοποιηθεί ορθοδιόρθωση της ίδιας εικόνας με την χρήση του μοντέλου των Rational Functions.

### Γεωαναφορά με DLT

Για περαιτέρω μελέτη, αποφασίστηκε να εκτελεστεί γεωαναφορά σε μια εκ των εικόνων μέσω του μετασχηματισμού DLT και να συγκριθεί με τα ήδη εξαχθέντα προϊόντα. Επιλέχθηκε η εικόνα VOL-ALPSMN236792830-O1B1\_\_\_N, η οποία περιλαμβάνει ενσωματωμένα στοιχεία της τροχιάς και του Εξωτ. Προσανατολισμού του δέκτη κατά την στιγμή της λήψης. Οι συντεταγμένες που παρουσιάστηκαν στον Viewer ήταν γεωγραφικές φ,λ στο σύστημα WGS84. Κάνοντας reproject την εικόνα σε UTM /WGS84Z34, και κάνοντας επίθεση πάνω της τα ΦΣ σε διανυσματικό αρχείο shp -στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων-, παρατηρήθηκε ότι ενυπάρχουν αποκλίσεις μεταξύ της αληθούς και της φαινόμενης θέσης των ΦΣ, αλλά αυτές δεν ξεπερνούσαν σε καμία περίπτωση τα 30m. Αυτό έρχεται σε πλήρη αντιδιαστολή με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από το LPS , όπου οι αποκλίσεις εμφανίζονται μέχρι και τα 100m. Μία πιθανή εξήγηση για το παραπάνω είναι το LPS να μην αναγνωρίζει κάποιο από τα δεδομένα που περιέχει η εικόνα και ως εκ τούτου να δημιουργούνται όλα τα προβλήματα που παρατίθενται στην προηγούμενη παράγραφο.

Προχωρώντας στην γεωμετρική διόρθωση της εικόνας, μέσω του Viewer επιλέχτηκε Raster/Geometric Correction/Direct Linear Transformation. Για την επίλυση του DLT απαιτούνται 6 σημεία , με καλή κατανομή. Τα σημεία που επιλέχθηκαν είναι τα 1,4,11,14,19,22,24,26, δηλαδή δύο περισσότερα από τα απαιτούμενα. Για τον έλεγχο επιλέχθηκαν άλλα 8 σημεία γνωστών γεωδαιτικών συν/ων, με την ιδιότητα CheckPoints, και πιο συγκεκριμένα τα 2,3,5,6,12,13,21,23. Η κατανομή φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 24: Διάταξη GCP και CheckPoint για την γεωμετρική διόρθωση της εικόνας

Μετά από την διεξαγωγή της διόρθωσης , η νέα εικόνα που δημιουργήθηκε ελέγχθηκε και τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Αρ ΦΣ	Μετρημένες Συν/νες		Σκόπευση απο DLT			
	Συν/νη Χ	Συν/νη Υ	Συν/νη Χ	Συν/νη Υ	ΔΧ(μ)	ΔΥ(μ)
2	753184,139	4241733,58	753173,22	4241737,85	10,92	-4,26
3	752795,932	4241432,911	752786,63	4241425,21	9,30	7,70
5	749596,53	4241831,028	749590,4	4241823,47	6,13	7,55
6	749878,315	4241100,03	749877,24	4241094,72	1,07	5,31
23	747947,606	4239523,837	747952,06	4239520,49	-4,46	3,35
12	750320,313	4239297,381	750323,84	4239293,38	-3,53	4,00
21	752457,663	4236614,399	752471,3	4236609,9	-13,64	4,50
13	747235,38	4237794,566	747235,83	4237790,86	-0,45	3,70

Πίνακας 10 : Πίνακας με τις αποκλίσεις των Checkpoints μετά από εφαρμογή DLT

## Συμπεράσματα-Διαπιστώσεις

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την όλη εργασία με τον δέκτη ALOS μπορούν να συνοψιστούν παρακάτω:

- Η γεωαναφορά με τα τροχιακά δεδομένα μόνο του δέκτη δεν είναι επαρκής και απαιτείται η χρήση ΦΣ. Συνήθως τέσσερα με έξι ΦΣ επιτυγχάνουν ακρίβεια καλύτερης του μεγέθους του Pixel.
- Τα σφάλματα φαίνονται πάντα να είναι μεγαλύτερα κατά την διεύθυνση πτήσης του δέκτη (διεύθυνση Y).
- Στις περιοχές με όχι ιδιαίτερα έντονες εναλλαγές αναγλύφου, οι ορθοεικόνες που παράχθηκαν χρησιμοποιώντας ΨΜΕ που διατίθενται ελεύθερα στο δίκτυο δεν εμφάνισαν ιδιαίτερες διαφορές μεταξύ τους. Το ίδιο ισχύει και για εκείνες που χρησιμοποίησαν διάφορες μορφές ΨΜΕ που παράγονται αυτόματα από το πρόγραμμα. Οι διαφορές μεταξύ των εικόνων της πρώτης και της δεύτερης ομάδας αρχίζουν να γίνονται ιδιαίτερα εμφανείς στα ορεινά, εκεί που οι εναλλαγές υψομέτρου είναι και πιο έντονες.
- Το module LPS του ERDAS φαίνεται να παρουσιάζει κάποιου είδους δυσλειτουργία όσον αφορά την ορθή αναγνώριση των μεταδεδομένων των εικόνων του δέκτη ALOS, δεδομένου ότι οι ορθοεικόνες που παράγονται εμφανίζουν μετάθεση. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι μέσω του Viewer οι οποιεσδήποτε αποκλίσεις που εμφανίζονται είναι αισθητά μικρότερες σε σχέση μ' εκείνες που εμφανίζονται μέσω του LPS από επίλυση τριγωνισμού χωρίς GCP.
- Τα αποτελέσματα που έδωσε η γεωμετρική διόρθωση με την χρήση του Άμεσου Γραμμικού Μετασχηματισμού κρίνονται ικανοποιητικά (3-4 Pixel διαφορά), δεδομένου ότι η εμπειρία έχει δείξει ότι ο εν λόγω μετασχηματισμός είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος τόσο στην ορθή κατανομή όσο και στην σκόπευση των ΦΣ, κάτι που στην συγκεκριμένη εργασία αποδείχτηκε σχετικά δύσκολο.
- Η επιλογή των σημείων που θα χρησιμοποιηθούν ως ΦΣ ή ως Σημεία Ελέγχου είναι ιδιαίτερα σημαντική προκειμένου να επιτευχθεί ορθά η

οποιαδήποτε φωτογραμμετρική εργασία, και ιδιαίτερα για την αξιόπιστη διεξαγωγή οποιουδήποτε ελέγχου επί του τελικού αποτελέσματος.

## **Περιοχή Κρυονερίου**

Προκειμένου για την περιοχή του Κρυονερίου Αττικής χρησιμοποιήθηκε στερεοζεύγος εικόνων από τον δέκτη IKONOS διακριτικής ικανότητας 1m. Οι εικόνες είναι οι PO\_12671\_0000010000.TIF και PO\_12671\_001000000.TIF, οι οποίες για να χρησιμοποιηθούν από το πρόγραμμα μεταράπηκαν πρώτα σε format .img. Αν και δεν απαιτούνταν, το βάθος χρώματος παρέμεινε στα 16 Bit προς αποφυγή απώλειας πληροφορίας (για πιθανή μελλοντική εργασία), κυρίως στον τομέα της Τηλεπισκόπησης. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 32 επίγεια σταθερά σημεία (ΦΣ και Σημεία Ελέγχου), όπως επίσης σκοπεύτηκαν και Σημεία Σύνδεσης.

Τα επίγεια σταθερά σημεία λήφθηκαν από προηγούμενη εργασία στην περιοχή (Μπισδάρη, 2003), και η κατανομή τους εστιαζόταν κυρίως στην αστική περιοχή. Παρ'όλ'αυτά, υπήρχε επαρκής αριθμός ΦΣ και στην μη αστική περιοχή προκειμένου να πραγματοποιηθεί η γεωαναφορά. Το σύστημα συντεταγμένων των ΦΣ είναι το ETRS89, μετρημένα με δέκτη GPS και με επαρκή ακρίβεια.

Για την παραγωγή ορθοεικόνων χρησιμοποιήθηκαν ΨΜΕ του προγράμματος SRTM και του δέκτη ASTER. Επίσης ΨΜΕ εξήχθησαν και από το στερεοζεύγος μέσω του LPS.

### Γεωαναφορά με κλασματικά πολυώνυμα μέσω του LPS

Κατά τα γνωστά δημιουργήθηκε Block με το όνομα AgiosStefanos.blk στο οποίο εισήχθησαν οι εικόνες και εν συνεχεία τα RPC τους. Κατόπιν σκοπεύθηκαν τα επίγεια σταθερά σημεία και πραγματοποιήθηκε εναλλαγή αριθμού GCPs και θέσης αυτών. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.



Άγιος Στέφανος-Κρυονέρι							
MS	gcp			checkpoints			Total TriangulationRMS
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)	
no refinement	-	-	-	146,67	287,14	5,27	0,25
4 gcps	0,32	0,23	0,79	0,42	0,73	1,1	0,23
6gcps	0,29	0,19	0,88	0,35	0,72	1,04	0,23
8gcps	0,36	0,44	0,86	0,34	0,5	1,09	0,24
10gcps	0,31	0,37	0,84	0,42	0,53	1,06	0,22

**Πίνακας 11 : Πίνακας με τα αποτελέσματα γεωαναφοράς στην περιοχή Κρυονερίου**

Παρατηρούμε ότι η χρήση μονάχα των RPC δίνει αποτελέσματα απαράδεκτα, και συνεπώς η γεωαναφορά χωρίς refinement δεν μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτή. Αντιθέτως η χρήση τεσσάρων GCPs κατανεμημένων στα άκρα δίνει αποτελέσματα ακρίβειας κάτω του μεγέθους του pixel οριζοντιογραφικά και στο μέγεθος του pixel υψομετρικά. Από το report μπορεί κανείς να ελέγξει την μέγιστη απόκλιση, η οποία αγγίζει τα 2m (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ). Διάφορες εναλλαγές των θέσεων των GCPs έδωσαν παρόμοια αποτελέσματα, με χειρότερα εκείνα κατά τα οποία τα GCPs δεν ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένα ή η κατανομή τους ήταν σε κεντρικό τμήμα της εικόνας. Σε αυτή την περίπτωση, τα RMS των CheckPoints ανέρχονται στο 1m και 1.70m οριζοντιογραφικά και υψομετρικά αντίστοιχα. Στην περίπτωση που τα GCPs κατανεμήθηκαν στο κέντρο της εικόνας και με γραμμικό τρόπο, τα αντίστοιχα RMS έφτασαν τα 9m, 5m και 32 m κατά X,Y,Z αντίστοιχα.

Όσον αφορά την χρήση περισσότερων GCPs , τα αποτελέσματα βελτιώθηκαν με την ενσωμάτωση δύο επιπλέον σημείων, συνολικά 6 δηλαδή, και παρέμειναν σχεδόν στα ίδια επίπεδα με εκείνα των 8 σημείων. Στην περίπτωση των 10 GCPs, τα αποτελέσματα χειροτέρεψαν, κυρίως λόγω κακής κατανομής των σημείων.

### Παραγωγή Ορθοεικόνας

Για την παραγωγή ορθοεικόνας απαιτήθηκε η δημιουργία ΨΜΕ με αυτόματο τρόπο μέσω του LPS. Δημιουργήθηκαν δύο ΨΜΕ, ένα σε μορφή καννάβου (.img) και ένα σε μορφή TIN (.pro). Τα αποτελέσματα ήταν σχεδόν πανομοιότυπα, με διαφορές στα ορεινά τμήματα της εικόνας και της τάξης του 1-2pixel.

Επίσης, παρήχθη ορθοεικόνα με την χρήση του ΨΜΕ του SRTM. Οι διαφορές μεταξύ αυτής της εικόνας και μιας εκ των παραπάνω ανέρχεται στις πεδινές περιοχές στα 20m, ενώ στις ορεινές –και ιδιαίτερα εκεί που οι μεταβολές αναγλύφου είναι έντονες-, ξεπερνά τα 40m.

Παρόμοια αποτελέσματα έχουμε και εάν συγκρίνουμε την ορθοεικόνα που παρήχθη με την χρήση του ΨΜΕ του ASTER2.

Για να ελεγχθεί η απόλυτη ακρίβεια των ορθοεικόνων, δημιουργήθηκε διανυσματικό αρχείο, με επιλεγμένα 10 ΦΣ με καλή κατανομή. Εν συνεχεία ως ακριβέστερη όλων επιλέχθηκε η ορθοεικόνα που δημιουργήθηκε με την χρήση ΨΜΕ σε μορφή TIN, και ελέγχθηκε η ακρίβειά της σε σχέση με το παραπάνω διανυσματικό αρχείο. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:

Αρ.ΦΣ	Μετρημένες Συν/νες		Συν/νες από Ορθοεικόνα		ΔΧ (m)	ΔΥ (m)
	Χ	Υ	Χ	Υ		
8031	485776,5	2224462,575	485776	2224462	0,5	0,6
8032	485975	2223280,387	485975	2223280	0,0	0,4
8034	483937,9	2224579,249	483937	2224579	0,9	0,2
8035	483924,1	2225049,922	483923	2225049	1,1	0,9
8036	485491,8	2225469,252	485492	2225469	-0,2	0,2
8042	487272,2	2225412,545	487274	2225412	-1,8	0,5
8040	487393	2222714,38	487392	2222715	1,0	-0,6
8005	484633,9	2220900,032	484632	2220901	1,9	-1,0
8013	485003,2	2220968,711	485003	2220969	0,2	-0,3
8029	485858,5	2220933,726	485857	2220935	1,5	-1,3

**Πίνακας 12 : Πίνακας με τις αποκλίσεις της ορθοεικόνας στην περιοχή Κρουονερίου**

Όπως φαίνεται από τον πίνακα, η απόλυτη ακρίβεια ανέρχεται στα 1-2 pixel, με τις μεγαλύτερες αποκλίσεις να εμφανίζονται στις ακραίες περιοχές της εικόνας.

### Συμπεράσματα- Διαπιστώσεις

Από την παραπάνω εργασία στην περιοχή μπορούν να εξαχθούν οι παρακάτω διαπιστώσεις:

- Η διαδικασία του refinement πρέπει να εκτελείται πάντοτε, δεδομένου ότι από μόνη τους η χρήση των RPC αρχείων δεν δίδει αποδεκτή ακρίβεια.

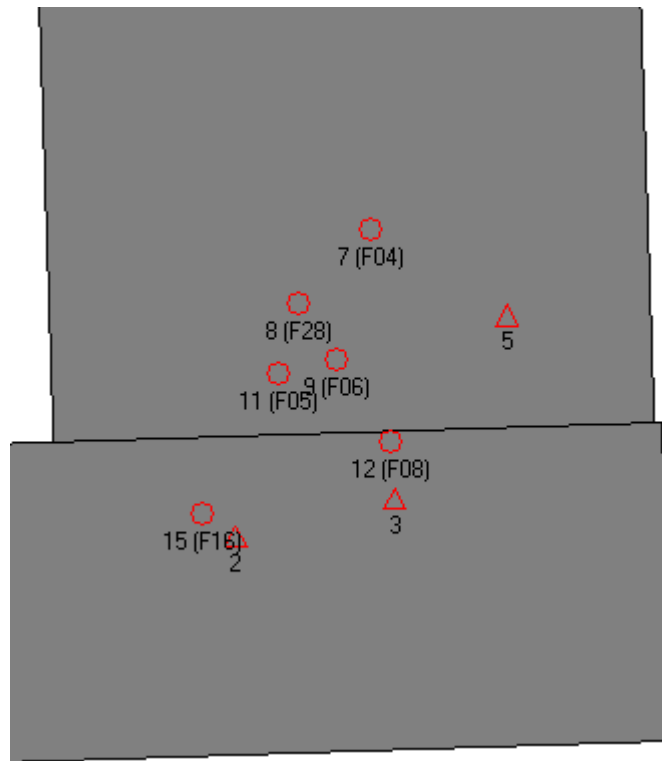
- Η χρήση τεσσάρων GCPs δίνει αποτελέσματα με ακρίβεια καλύτερης του μεγέθους του Pixel.
- Τα ΨΜΕ των δεκτών SRTM και ASTER2 εμφανίζουν υψομετρικές αποκλίσεις σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο, και ως εκ τούτου οι παραγόμενες ορθοεικόνες εμφανίζουν οριζοντιογραφικά σφάλματα που ξεπερνούν τα 40m.
- Το ΨΜΕ που παράγεται με αυτόματο τρόπο από ΔΕ του δέκτη IKONOS είναι αξιόπιστο, ενώ μεταξύ των διαφορετικών format, εκείνο του TIN δείχνει να εμφανίζει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα.
- Η ποιότητα του αποτελέσματος που παρήχθη στην παρούσα εργασία οφείλεται κατά μεγάλο ποσοστό στο γεγονός ότι τα ΦΣ είχαν ληφθεί ειδικά για το συγκεκριμένο στερεοζεύγος, έστω κι αν η κατανομή τους εστίαζε κυρίως σε συγκεκριμένο τμήμα της.

## Περιοχή Αντιπάρου

Για την περιοχή της Αντιπάρου χρησιμοποιήθηκε στερεοζεύγος τεσσάρων συνολικά εικόνων του δέκτη GEOEYE-1 στο παγχρωματικό κανάλι. Η διακριτική ικανότητα των εικόνων ανέρχεται στα 0,50 m. Το βάθος χρώματος των εικόνων μετατράπηκε από 16 σε 8bit για λόγους ταχύτητας απόκρισης του προγράμματος LPS.

Η γεωαναφορά έλαβε χώρα με το LPS με την χρήση μικρού αριθμού ΦΣ, μόλις πέντε (5), από τα οποία τελικά χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα τρία (3) λόγω έλλειψης δυνατότητας σκόπευσης των υπολοίπων στις εικόνες. Μάλιστα, τα δύο εξ αυτών βρίσκονταν στο χερσαίο τμήμα του νησιού, ενώ το τρίτο βρισκόταν στο νοτιοδυτικό τμήμα της Πάρου.

Αν και διατίθονταν επιπλέον ΦΣ που μετρήθηκαν για τις ανάγκες άλλης διπλωματικής εργασίας, αυτά αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν μόνο ως CheckPoints για να ελεγχθεί η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες. Η κατανομή των σημείων φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 25: Διάταξη GCP και CheckPoint για την γεωαναφορά των εικόνων GEOEYE στην περιοχή Αντιπάρου

Τα αποτελέσματα του τριγωνισμού παρατίθενται ακολούθως:

Αντίπαρος							
	gcp			checkpoints			
RMS	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)	Total Triangulation RMS
no refinement	-	-	-	0,71	1,14	9,49	0,35
3 gcps	0,33	0,37	0,49	0,36	0,25	1,35	0,34

Πίνακας 13 : Πίνακας με τα αποτελέσματα της γεωαναφοράς στην περιοχή Αντιπάρου

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι ο συγκεκριμένος δέκτης στην συγκεκριμένη περιοχή δίνει πολύ καλά αποτελέσματα ακόμα και χωρίς την χρήση ΦΣ, τουλάχιστον οριζοντιογραφικά. Με δεδομένο μέγεθος pixel 0,50m , η συνολική μέση απόκλιση είναι λιγότερη από 2 pixel κατά X και σχεδόν 3 κατά Y. Με την χρήση 3 ΦΣ, ακόμα και με αυτήν την κακή κατανομή, οι απόλυτες ακρίβειες πέφτουν

κάτω από το μέγεθος του pixel, εκτός από την διεύθυνση Z που αναμενόταν να είναι περίπου 2,5 φορές χειρότερη, κάτι που εδώ επιβεβαιώνεται.

### Παραγωγή Ορθοεικόνας

Αρχικά δημιουργήθηκε ΨΜΕ με αυτόματο τρόπο μέσω του LPS σε μορφή καννάβου (.img), και κατόπιν παρήχθη ορθοεικόνα με μέγεθος pixel 0,50m. Επίσης παρήχθη ορθοεικόνα με την χρήση του ΨΜΕ του SRTM, καθώς και με εκείνο του ASTER2. Τα παραπάνω προϊόντα συγκρίθηκαν μεταξύ τους, ενώ ελέγχθηκαν και ως προς την απόλυτη ακρίβειά τους με την χρήση διανυσματικού αρχείου με τις θέσεις των ΦΣ.

Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:

Αρ ΦΣ	Μετρημένες Συν/νες		Συν/νες Ορθοεικόνας		Διαφορές	
	X	Y	X	Y	ΔX(m)	ΔY(m)
F04	594577,57	4099035,74	594578	4099035	0,4	0,7
F28	592986,12	4097424,712	592987	4097424	0,9	0,7
F06	593864,79	4096182,345	593865	4096181	0,2	1,3
F07	595262,88	4095266,333	595263	4095266	0,1	0,3
F05	592543,46	4095844,116	592544	4095843	0,5	1,1
F08	595056,31	4094319,351	595056	4094318	0,3	1,3
F27	593873,19	4093202,235	593873	4093201	0,2	1,2
F16	590858,83	4092762,764	590860	4092762	1,2	0,8

**Πίνακας 14 : Πίνακας με τις αποκλίσεις της ορθοεικόνας στην περιοχή Αντιπάρου**

Παρατηρείται ότι η απόλυτη ακρίβεια της ορθοεικόνας που παρήχθη με το ΨΜΕ του στερεοζεύγους, στα παραπάνω σημεία δεν υπερβαίνει το 1,5m, δηλαδή τα 3 pixel. Στο παραπάνω θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη και οι αβεβαιότητες σκόπευσης των σημείων στην ορθοεικόνα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα που παρήχθησαν με τα ΨΜΕ του SRTM και του ASTER, οι μεταξύ τους διαφορές ξεκινούν από τα 2m στις περιοχές κοντά στην ακτογραμμή, και ξεπερνούν τα 100m στις ορεινές περιοχές. Σημειώνεται ότι το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται από έντονες εναλλαγές και απότομες κλίσεις. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι το ΨΜΕ του ASTER δεν περιλαμβάνει δεδομένα για μια

μικρή ζώνη κοντά στις παραθαλάσσιες περιοχές, και ως εκ τούτου δεν ενδείκνυται η χρήση του για νησιωτικές περιοχές.

Αν και θα περίμενε κανείς η απόλυτη ακρίβεια της εικόνας που παρήχθη με το ΨΜΕ του ASTER να είναι καλύτερη από την αντίστοιχη του SRTM (δεδομένου ότι το pixel size του πρώτου είναι της τάξης των 30m έναντι των 90 του δεύτερου), οι αποκλίσεις που παρατηρούνται ανέρχονται μέχρι και τα 80m στα ορεινά στην πρώτη περίπτωση, έναντι των 55m στην δεύτερη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η υψομετρική ακρίβεια που παρέχει το ΨΜΕ του ASTER είναι χειρότερη από εκείνη του ΨΜΕ του SRTM. Αυτό έχει και ως αποτέλεσμα η γενικότερη εικόνα να είναι ακριβέστερη, και ιδιαίτερα στα πεδινά τμήματα όπου οι αποκλίσεις δεν υπερβαίνουν τα 5m έναντι των 15-20m που παρατηρούνται στην εικόνα όπου έχει χρησιμοποιηθεί ο ASTER.

### Συμπεράσματα-Διαπιστώσεις

Από την εργασία στην περιοχή της Αντιπάρου μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η εργασία με εικόνες του δέκτη GEOEYE-1 είναι ιδιαίτερα απλή και χωρίς προβλήματα, αφ' ενός λόγω της υψηλής ανάλυσης των εικόνων, αφ' ετέρου λόγω της ακρίβειας που παρέχουν τα συνοδευτικά RPC αρχεία τους.
- Το ΨΜΕ που εξάγεται από στερεοζεύγος είναι αξιόπιστο και ακριβές.
- Ακόμη και με τρία όχι καλά κατανομημένα ΦΣ, η ακρίβεια της γεωαναφοράς βρέθηκε μικρότερη του μεγέθους του pixel.
- Οι ορθοεικόνες που παρήχθησαν με την χρήση των ΨΜΕ του ASTER και του SRTM εμφανίζουν χαμηλή απόλυτη ακρίβεια, με εκείνη του SRTM να δίνει καλύτερα αποτελέσματα κυρίως στις πεδινές περιοχές.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την ενασχόληση με την παραπάνω εργασία, μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- Η Γεωαναφορά είναι μια διαδικασία με την οποία αποδίδονται συν/νες εδάφους σε μια ψηφιακή εικόνα. Η εν λόγω διαδικασία είναι απαραίτητη προκειμένου να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από διάφορες πηγές ταυτόχρονα.
- Η Γεωαναφορά στους χάρτες υλοποιείται μέσω ενός μετασχηματισμού, στις αεροφωτογραφίες μέσω της διαδικασίας της Ορθοαναγωγής, και στις Δορυφορικές Εικόνες μέσω των Αυστηρών Μοντέλων και των Προσεγγιστικών Μοντέλων.
- Συγκρίνοντας τα Αυστηρά Μοντέλα και τα Προσεγγιστικά Μοντέλα, τα πρώτα διατηρούν μια σαφή υπεροχή ως προς την τελική επιτυγχανόμενη ακρίβεια. Κατά πλειονότητα όμως αυτά που χρησιμοποιούνται είναι τα τελευταία, κυρίως λόγω μη κοινοποίησης (τουλάχιστον μέχρι πρόσφατα) απαραίτητων δεδομένων για την χρήση των πρώτων.
- Η γεωαναφορά των Δορυφορικών Εικόνων με την χρήση Προσεγγιστικών Μοντέλων, θα πρέπει να εκτελείται μέσω του Μοντέλου των Κλασματικών Πολυωνύμων, δεδομένου ότι δίνει τα καλύτερα τελικά αποτελέσματα .
- Οι παράμετροι των RF δεν έχουν κάποια φυσική σημασία, και έτσι κανείς δεν μπορεί εύκολα να τις συσχετίσει με εκείνες του φυσικού μοντέλου του δέκτη. Συνεπώς οι πληροφορίες για τον δέκτη και την τροχιά του μπορούν να παραμείνουν μυστικές από το κοινό, και αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο οι εταιρείες παροχής δεδομένων παρέχουν με κάθε σκηνή το αντίστοιχο αρχείο με τα RPCs.

- Η χρήση των RPC μόνο, δεν παρέχει την απαιτούμενη ακρίβεια προκειμένου για χαρτογραφικές εργασίες, και απαιτείται μια επιπλέον διόρθωση με την χρήση αριθμού GCP. Συνήθως ένα με τρία είναι αρκετά.
- Το RF μοντέλο επιτυγχάνει υψηλές ακρίβειες με πολύ μικρό κόστος σε χρόνο και μέσα για τον χρήστη. Αυτός είναι και ένας από τους κύριους λόγους προτίμησής τους από το κοινό.
- Στις περιοχές με όχι ιδιαίτερα έντονες εναλλαγές αναγλύφου, οι ορθοεικόνες που παράχθηκαν χρησιμοποιώντας ΨΜΕ που διατίθενται ελεύθερα στο δίκτυο δεν εμφάνισαν ιδιαίτερες διαφορές μεταξύ τους. Το ίδιο ισχύει και για εκείνες που χρησιμοποίησαν διάφορες μορφές ΨΜΕ που παράγονται αυτόματα από το πρόγραμμα. Οι διαφορές μεταξύ των εικόνων της πρώτης και της δεύτερης ομάδας αρχίζουν να γίνονται ιδιαίτερα εμφανείς στα ορεινά, εκεί που οι εναλλαγές υψομέτρου είναι και πιο έντονες.
- Το module LPS του ERDAS φαίνεται να παρουσιάζει κάποιου είδους δυσλειτουργία όσον αφορά την ορθή αναγνώριση των μεταδεδομένων των εικόνων του δέκτη ALOS.
- Η επιλογή των σημείων που θα χρησιμοποιηθούν ως ΦΣ ή ως Σημεία Ελέγχου είναι ιδιαίτερα σημαντική προκειμένου να επιτευχθεί ορθά η οποιαδήποτε φωτογραμμετρική εργασία, και ιδιαίτερα για την αξιόπιστη διεξαγωγή οποιουδήποτε ελέγχου επί του τελικού αποτελέσματος.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

**Deltsidis, P., Ioannidis, C., 2011.** Orthorectification of WorldView 2 Stereo Pair using a New Rigorous Orientation Model. ISPRS Workshop 2011, Hanover.

**Dowman, I.J., Michalis, P., 2003** Generic Rigorous Model for Along Track Stereo Satellite Sensors. ISPRS Workshop on HR mapping for Space 2003, Hanover.

**Dowman, I.J., Michalis, P., 2005** A Model For Along Track Stereo Sensors Using Rigorous Orbit Mechanics. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol 36, Commission I, WG1.



**Dowman, I.J., Michalis, P., 2008.** A Generic Model For Along Track Stereo Sensors Using Rigorous Orbit Mechanics. Dept. of Geomatic Engineering, University College London, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol 74, No3, pp. 303-309.

**Gianinetto, M., Scaioni, M., 2008.** Automated Geometric Correction of High Resolution Pushbroom Satellite Data. PE&RS, 74(1) pp. 107-116

**Grodecki, J., Dial, G., 2005.** RPC Replacement Camera Models. ASPRS Annual Conference, Baltimore, Maryland

**Jacobsen, K., Büyüksalih, G., Topan, H., 2005.** Geometric Models for the Orientation of High Resolution Optical Satellite Sensors. ISPRS Workshop, Hannover

**Madani, M., 1999.** Real-time sensor-independent positioning by rational functions, Proceedings of ISPRS Workshop on Direct versus Indirect Methods of Sensor Orientation, Barcelona, Spain, pp. 64-75

**Tao, V., Hu, Y., 2001.** A Comprehensive Study On The Rational Function Model For Photogrammetric Processing. PE&RS, 67(12), pp. 1347-1357.

**Tao, V., Hu, Y., Croitoru, A., 2004.** Understanding the Rational Function Model: Methods And Applications. Proceedings of the XXth ISPRS, Istanbul, Turkey.

**Toutin, T., 2003.** Review Paper: Geometric Processing Of Remote Sensing Images: Models, Algorithms and Methods. INT. J. Remote Sensing, Vol. 25, No10, 1893-1924.

**Vozikis, G., Fraser, C., Jansa, J., 2003.** Alternative Sensor Orientation Models For High Resolution Satellite Imagery. "Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetria". Bochum, pp. 179-186.

**Weser, T., Rottensteiner, F., Willneff, J., Fraser, C., 2007.** A Generic Pushbroom Sensor Model For High-Resolution Satellite Imagery Applied To Spot 5, QuickBird and Alos Data Sets. ISPRS, Hannover

- Ιωαννίδης, Χ., 2007.** Συμπληρωματικές Σημειώσεις Φωτογραμμετρία II και διαφάνειες. ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Καρράς, Γ., 1998.** Γραμμικοί Μετασχηματισμοί Συντεταγμένων στην Φωτογραμμετρία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Καραθανάση, Β.,** Σημειώσεις Ραδιομετρία και Μικροκυματική και διαφάνειες, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Καροπούλου, Θ., 2007.** Ανάπτυξη Αλγορίθμου για απευθείας Γεωαναφορά Δορυφορικών Εικόνων-Εφαρμογή σε Εικόνες ASTER. Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μολύβας, Χ., 2009.** Διερεύνηση των Δυνατοτήτων Του Γεωμετρικού Μοντέλου «Μικτού Δέκτη» του Λογισμικού Leica Photogrammetry Suite, Μεταπτυχιακή Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα
- Μπισδάρη, Μ., 2003.** Σύγκριση ορθοφωτογραφιών από εικόνες IKONOS και αεροφωτογραφίες, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μπουρεξής, Φ., 2012.** Φωτογραμμετρική επεξεργασία και αξιολόγηση αποτελεσμάτων και απεικονίσεων Terra Sar-X, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Τσιγγενόπουλος, Γ., 2011.** Γεωαναφορά Δορυφορικών Εικόνων Υψηλής Ανάλυσης, Μεταπτυχιακή Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΑΜΟΥ (0 GCPs)

---

Triangulation Report With LPS

Output image units: pixels

Output ground units: meters

Output angular units: radians

Control and check point residuals in meters:

type	pid	residual_x	residual_y	residual_z
chk	1	-55.85688023	-101.59473590	-122.27651088
chk	2	-57.54975408	-100.94170031	-125.88908427
chk	3	-58.13173663	-104.96905775	-129.23900021
chk	4	-51.01729509	-99.61542509	-129.35321593
chk	5	-51.82840341	-100.85996504	-135.41723224
chk	6	-49.66869485	-100.21633697	-124.20774292
chk	7	-50.11542557	-104.11212821	-128.43517228
chk	11	-53.63108262	-99.26071870	-135.25151630
chk	12	-53.95444514	-101.06673678	-126.52095484
chk	13	-55.63855545	-98.87147321	-122.48337796
chk	14	-56.05010119	-97.66419025	-126.65327129
chk	16	-46.17201185	-99.30174054	-136.85571281
chk	19	-51.99430653	-95.35143209	-140.74910670
chk	21	-47.10350046	-101.99864526	-134.06960098
chk	22	-46.35091279	-98.96814751	-143.51824749
chk	23	-48.60723512	-97.89009200	-139.20952327
chk	24	-50.09568784	-98.98044184	-136.00362684
chk	26	-57.43958504	-98.93145305	-125.94220549

Summary RMSE for GCPs and CHKs (number of observations in parenthesis):

	Control	Check
Ground X:	0.0000000 (0)	52.4284401 (18)
Ground Y:	0.0000000 (0)	100.0574951 (18)
Ground Z:	0.0000000 (0)	131.3792114 (18)
Image X:	0.0000000 (0)	12.2717266 (36)
Image Y:	0.0000000 (0)	33.1363792 (36)

---

ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΑΜΟΥ (2 GCPs, στα άκρα)

Triangulation Report With LPS

Output image units: pixels

Output ground units: meters

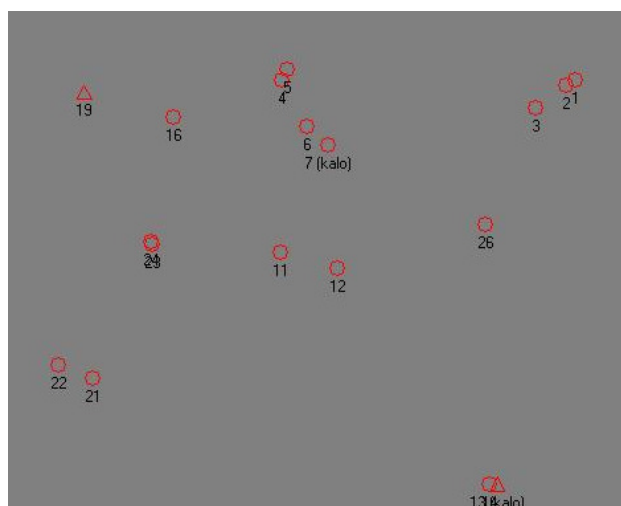
Output angular units: radians

Control and check point residuals in meters:

type	pid	residual_x	residual_y	residual_z
chk	1	-0.68459791	-4.43192723	-3.16833759
chk	2	-2.43261786	-3.81188196	-6.71493982
chk	3	-3.18181650	-7.91168762	-9.37415064
chk	4	2.29510691	-2.80790248	2.76911623
chk	5	1.49698293	-4.10273461	-3.98516499
chk	6	3.89451881	-3.15501172	8.35735414
chk	7	3.60570229	-7.01601519	3.08788977
chk	11	-0.04304053	-2.17377233	-3.09418078
chk	12	0.02828829	-3.69845776	5.29081331
gcp	13	-0.28530687	-0.90792379	2.96562190
chk	14	-0.74418470	0.26048045	-1.09443735
chk	16	6.53349511	-2.71264683	-1.58043745
gcp	19	0.12036705	0.95322576	-2.96284053
chk	21	5.53347925	-5.19460734	3.73223533
chk	22	6.05035299	-2.33157975	-5.30482960
chk	23	4.18525794	-1.09317549	-2.71009604
chk	24	2.68127021	-2.18580876	0.69129026
chk	26	-2.59260624	-1.33337948	0.71681292

Summary RMSE for GCPs and CHKs (number of observations in parenthesis):

	Control	Check
Ground X:	0.2189614 (2)	3.4828463 (16)
Ground Y:	0.9308504 (2)	3.9263821 (16)
Ground Z:	2.9642315 (2)	4.5934930 (16)
Image X:	0.2262554 (4)	1.5018557 (32)
Image Y:	0.7267253 (4)	1.4504688 (32)



ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΑΜΟΥ (2 GCPs, στο μέσον)

Triangulation Report With LPS

Output image units: pixels

Output ground units: meters

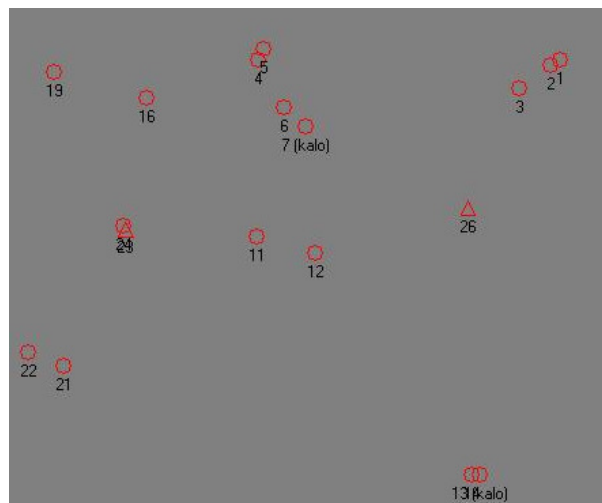
Output angular units: radians

Control and check point residuals in meters:

type	pid	residual_x	residual_y	residual_z
chk	1	2.60276871	-4.31650851	0.86551512
chk	2	0.69980880	-3.62540738	-2.63479627
chk	3	-0.52114562	-7.53164991	-5.37686548
chk	4	-0.04202774	-1.39880491	4.35377505
chk	5	-0.78634615	-2.69063717	-2.15358967
chk	6	2.29830308	-1.96114149	9.40901990
chk	7	2.50902632	-5.90273176	4.28383969
chk	11	-1.49611174	-0.68820274	-2.02080226
chk	12	-0.25556194	-2.62411793	5.93612057
chk	13	3.61768322	-0.50934376	4.02164169
chk	14	3.02299191	0.70493972	-0.04034671
chk	16	2.33353990	-0.69062437	-0.37873589
chk	19	-5.92939619	3.47065490	-1.86205670
chk	21	1.16593714	-2.64242722	3.86242684
chk	22	0.96564467	0.44651434	-5.00587986
gcp	23	0.25798876	1.04574443	-2.17946640
chk	24	-1.29972468	-0.04860440	1.16455599
gcp	26	-0.28144148	-1.03544351	2.18524627

Summary RMSE for GCPs and CHKs (number of observations in parenthesis):

	Control	Check
Ground X:	0.2699699 (2)	2.3564715 (16)
Ground Y:	1.0406067 (2)	3.2035978 (16)
Ground Z:	2.1823583 (2)	4.0889840 (16)
Image X:	0.4584393 (4)	1.0756357 (32)
Image Y:	0.6799994 (4)	1.3281368 (32)



ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΑΜΟΥ ( 4 GCPs )

-----  
 Triangulation Report With LPS

Output image units: pixels

Output ground units: meters

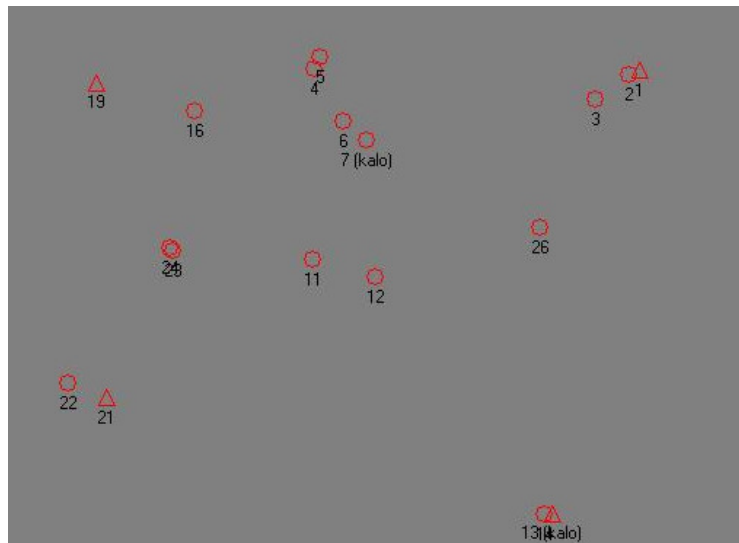
Output angular units: radians

Control and check point residuals in meters:

type	pid	residual_x	residual_y	residual_z
gcp	1	0.57539238	-1.08406344	0.37325893
chk	2	-1.15138194	-0.45148374	-2.97715103
chk	3	-2.03105572	-4.58350060	-5.57997651
chk	4	0.60079797	-0.52087251	3.28972760
chk	5	0.00904960	-1.73039136	-2.90557752
chk	6	1.90308516	-1.01147367	7.25298945
chk	7	1.82294744	-4.79284684	2.08594136
chk	11	-1.84121899	0.02586088	-4.11771308
chk	12	-1.95572131	-1.59777706	2.64583981
gcp	13	-0.97846629	1.54774595	-0.66572492
chk	14	-1.47199988	2.71642218	-4.66524822
chk	16	4.31368015	-0.62318005	-1.00230289
gcp	19	-2.43494694	2.91640268	-1.70615288
gcp	21	2.67165829	-3.39296744	2.01383077
chk	22	3.22757629	-0.50427796	-6.26375496
chk	23	1.57371310	0.81644260	-3.78795640
chk	24	0.00574445	-0.29778303	-0.50201539
chk	26	-3.51725896	1.12941693	-1.31068096

Summary RMSE for GCPs and CHKs (number of observations in parenthesis):

	Control	Check
Ground X:	1.8944126 (4)	2.1714263 (14)
Ground Y:	2.4283917 (4)	2.0887167 (14)
Ground Z:	1.3737707 (4)	3.9505839 (14)
Image X:	0.9361298 (8)	0.9348806 (28)
Image Y:	0.8988706 (8)	0.9719580 (28)



ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΑΜΟΥ ( 6 GCPs )

Triangulation Report With LPS

Output image units: pixels

Output ground units: meters

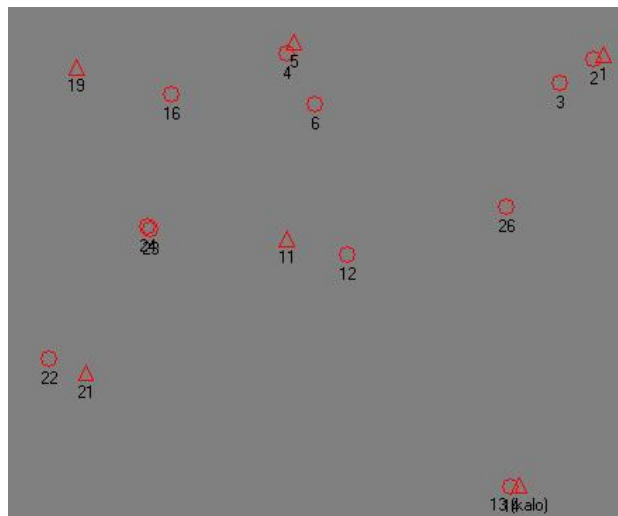
Output angular units: radians

Control and check point residuals in meters:

type	pid	residual_x	residual_y	residual_z
gcp	1	0.57532508	-0.60708706	1.55901655
chk	2	-1.32423989	0.11354885	-1.95099875
chk	3	-2.47613624	-3.87486172	-4.76892606
chk	4	2.02708383	-0.63488754	5.71004423
gcp	5	1.22922714	-1.73279794	-0.63001355
chk	6	3.84719480	-1.43373728	9.96664893
gcp	11	-1.25586916	0.20292277	-2.72894546
chk	12	-0.48733206	-1.89570239	4.72586621
gcp	13	-0.96136746	1.73280698	-0.14187049
chk	14	-1.48974123	2.92982324	-4.11953347
chk	16	5.11079344	-0.42301560	0.93222849
gcp	19	-1.99755040	3.32684423	0.09642108
gcp	21	2.06020936	-2.65069135	2.42956247
chk	22	2.22413179	0.45321184	-6.06831954
chk	23	2.03116257	1.09812883	-2.36493850
chk	24	0.56065341	-0.06024531	1.02768987
chk	26	-1.79038622	0.66832414	1.04558731

Summary RMSE for GCPs and CHKs (number of observations in parenthesis):

	Control	Check
Ground X:	1.4478780 (6)	2.4856694 (11)
Ground Y:	2.0210969 (6)	1.6977043 (11)
Ground Z:	1.6435120 (6)	4.7023010 (11)
Image X:	0.7548355 (12)	1.0174670 (22)
Image Y:	0.7332604 (12)	0.9904639 (22)



ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΑΜΟΥ ( 8 GCPs )

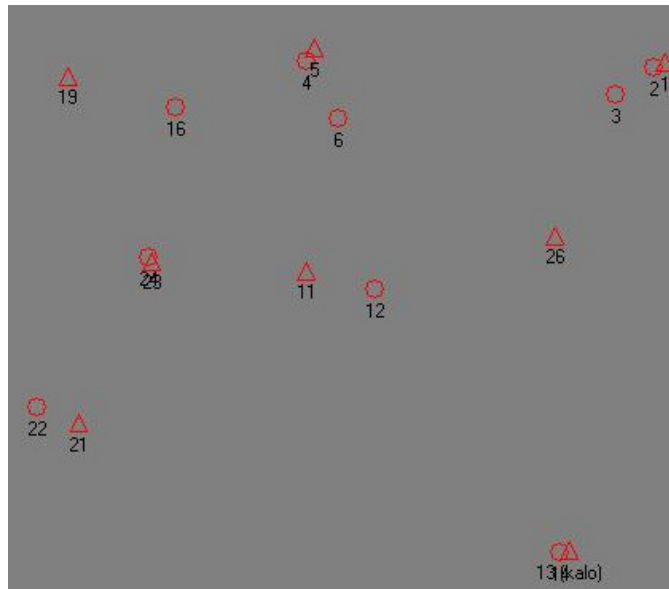
-----  
 Triangulation Report With LPS  
 Output image units: pixels  
 Output ground units: meters  
 Output angular units: radians

Control and check point residuals in meters:

type	pid	residual_x	residual_y	residual_z
gcp	1	0.86281385	-0.48925736	1.16586825
chk	2	-1.12448994	0.27858308	-2.34299904
chk	3	-2.44298644	-3.64873449	-5.12060915
chk	4	2.23343932	-1.02185860	6.04564868
gcp	5	1.36086915	-2.05028054	-0.32528426
chk	6	4.34001544	-1.99080325	10.29554679
gcp	11	-1.30473711	-0.03101347	-2.47468074
chk	12	-0.05086716	-2.38268499	4.95144025
gcp	13	-0.64962504	1.58683879	-0.37079366
chk	14	-1.20776370	2.79154528	-4.33175050
chk	16	4.84678209	-0.69110733	1.43346294
gcp	19	-2.61450726	3.13257050	0.75529614
gcp	21	1.18380658	-2.68014513	2.96712933
chk	22	1.11087111	0.52870587	-5.49185071
gcp	23	1.64771867	0.85288765	-1.85569221
chk	24	0.21020759	-0.33416681	1.55257071
gcp	26	-0.94466813	0.16802122	1.00035528

Summary RMSE for GCPs and CHKs (number of observations in parenthesis):

	Control	Check
Ground X:	1.4389747 (8)	2.5229490 (9)
Ground Y:	1.7576215 (8)	1.9072115 (9)
Ground Z:	1.6410829 (8)	5.2932343 (9)
Image X:	0.7207891 (16)	1.0622149 (18)
Image Y:	0.6786775 (16)	1.0986662 (18)





ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΑΜΟΥ ( 10 GCPs )

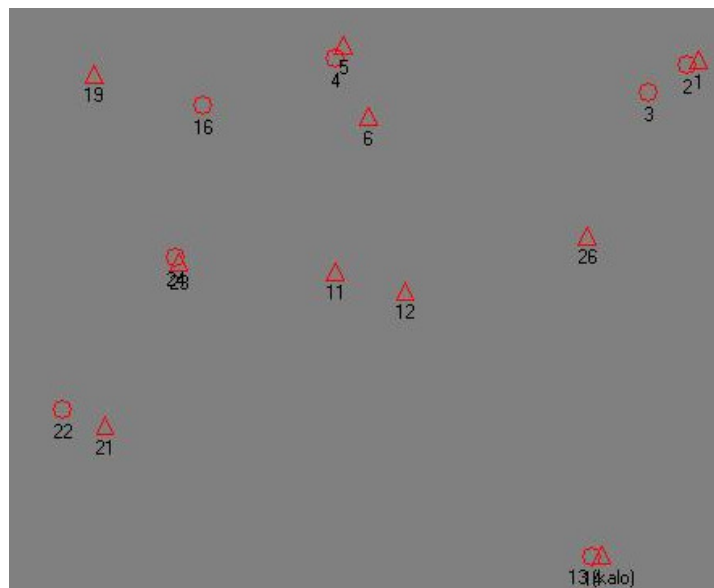
-----  
 Triangulation Report With LPS  
 Output image units: pixels  
 Output ground units: meters  
 Output angular units: radians

Control and check point residuals in meters:

type	pid	residual_x	residual_y	residual_z
gcp	1	0.89177876	-0.74885480	1.39159597
chk	2	-1.00020194	-0.07787982	-1.78198665
chk	3	-2.16421708	-4.13742786	-4.06029345
chk	4	1.26711936	-0.36835842	3.22641587
gcp	5	0.50455739	-1.53226884	-2.72592693
gcp	6	3.14111649	-0.99631851	6.49209193
gcp	11	-1.62493269	0.30310403	-3.77341295
gcp	12	-0.82264400	-1.53060606	2.00671616
gcp	13	-0.29527090	1.79798726	-0.62106224
chk	14	-0.83747935	2.98521429	-4.52254421
chk	16	4.21550477	-0.30726780	-0.45702024
gcp	19	-3.11160714	3.34788190	-0.72569373
gcp	21	1.57112823	-2.81780333	3.44630082
chk	22	1.69490866	0.17359436	-4.36610688
gcp	23	1.32374339	1.17369756	-3.20391060
chk	24	-0.17314432	0.04346528	0.00733025
gcp	26	-1.80977504	1.09444001	-2.29994724

Summary RMSE for GCPs and CHKs (number of observations in parenthesis):

	Control	Check
Ground X:	1.7747935 (10)	2.0235887 (7)
Ground Y:	1.7689646 (10)	1.9382615 (7)
Ground Z:	3.1324778 (10)	3.1576762 (7)
Image X:	0.8363296 (20)	0.8128662 (14)
Image Y:	0.8337706 (20)	0.8964517 (14)



ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓ.ΣΤΕΦΑΝΟΥ-ΚΡΥΟΝΕΡΙΟΥ ( 0 GCPs )

-----  
 OUTPUT OF BUNDLE BLOCK REFINEMENT

iteration number = 1      unit-weight standard error = 0.2351  
 maximum correction of the object points =0.79540

iteration number = 2      unit-weight standard error = 0.2351  
 maximum correction of the object points =0.00001

Final adjustment parameters

Image ID = 2  
 a[0]=0.00068161      a[1]=-3.4507e-007      a[2]=8.078e-007  
 b[0]=0.30819      b[1]=0.0001805      b[2]=-5.1043e-005  
 Image ID = 3  
 a[0]=-0.00064345      a[1]=8.0796e-007      a[2]=-8.7046e-007  
 b[0]=-0.30861      b[1]=0.00015352      b[2]=1.2e-006

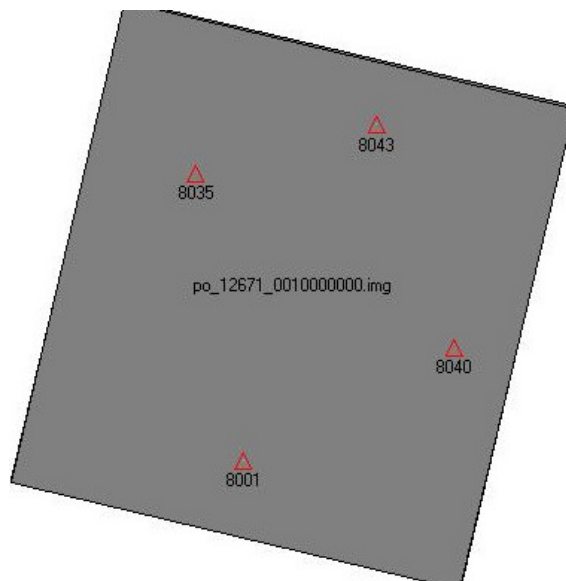
Check point residuals

Point ID	rX	rY	rZ
8001	-146.2177	-286.7670	4.9672
8002	-146.6117	-287.0111	
8004	-146.6920	-287.4850	
8005	-147.3880	-287.9403	5.8905
8006	-147.0154	-288.7763	
8007	-146.3956	-287.3306	3.0634
8009	-146.8551	-287.2851	5.2312
8010	-146.4576	-286.7062	3.4858
8013	-146.8235	-287.1352	5.8285
8014	-147.1072	-286.8560	4.9156
8015	-146.5885	-286.8941	3.8917
8017	-146.7332	-286.6977	4.8586
8019	-147.7328	-286.8743	5.1217
8022	-146.8116	-287.4517	5.2641
8023	-146.8507	-286.7532	4.8346
8024	-146.0508	-287.4998	5.4156
8026	-146.8346	-287.5049	
8027	-146.4058	-287.3845	5.5095
8028	-146.1402	-287.2831	5.9960
8029	-147.0431	-286.5090	4.4920
8031	-146.2693	-286.6457	
8032	-146.2312	-287.2905	7.0595
8033	-146.3792	-286.7903	6.8997
8034	-145.9979	-287.6476	5.3732
8035	-146.4817	-287.7972	4.7362
8036	-146.1459	-287.6145	5.5224
8037	-146.9566	-287.5752	5.0584
8038	-147.2937	-286.9560	3.3600
8039	-147.5797	-285.9550	2.7974
8040	-147.0838	-286.2599	4.1170
8042	-146.3413	-286.7472	7.1290
8043	-146.0913	-287.2673	6.6957

meanX	meanY	meanZ
-146.6752	-287.1466	5.0931
rmseX	rmseY	rmseZ
146.6759	287.1471	5.2169



8007	0.0848	-0.6427	-1.2856
8009	-0.3813	-0.5653	0.8303
8010	0.0302	-0.0207	-0.9033
8013	-0.2992	-0.5613	1.5285
8014	-0.5730	-0.2932	0.5839
8017	-0.2583	0.0353	0.4141
8019	-1.1829	-0.3346	0.7524
8022	-0.3198	-0.7258	0.7360
8023	-0.3302	-0.0836	0.2914
8026	-0.2673	-0.9718	
8028	0.4825	-0.8793	1.5640
8031	0.1814	0.5030	
8032	0.3031	-0.4644	2.0153
8034	0.1906	0.0617	-0.0113
8002	-0.1448	-0.3026	
8036	0.2255	-0.1659	-0.1475
8037	-0.2206	-1.4077	0.5895
8039	-0.7634	0.0951	-1.8196
8004	-0.2349	-0.7613	
8042	0.2974	0.1570	1.4638
8006	-0.5272	-2.1302	
meanX	meanY	meanZ	
-0.1765	-0.4504	0.4126	
rmseX	rmseY	rmseZ	
0.4275	0.7310	1.1048	



ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓ.ΣΤΕΦΑΝΟΥ-ΚΡΥΟΝΕΡΙΟΥ (6 GCPs )

---

OUTPUT OF BUNDLE BLOCK REFINEMENT

iteration number = 1      unit-weight standard error = 0.2657  
 maximum correction of the object points =287.62263

iteration number = 2      unit-weight standard error = 0.2326  
 maximum correction of the object points =0.00968

iteration number = 3      unit-weight standard error = 0.2326  
 maximum correction of the object points =0.00477

Final adjustment parameters

	Image ID = 2		
a[0]=313.84	a[1]=0.00012014	a[2]=-0.00024578	
b[0]=76.17	b[1]=0.00013527	b[2]=0.00016745	
	Image ID = 3		
a[0]=311.05	a[1]=-9.2549e-005	a[2]=-0.00016983	
b[0]=75.754	b[1]=7.8971e-005	b[2]=0.00019427	

Control point residuals

Point ID	rX	rY	rZ
8001	0.3927	-0.0222	0.2819
8029	-0.2214	-0.1373	-0.0118
8033	0.0110	0.3885	1.2844
8035	-0.3470	-0.1540	-1.3256
8040	-0.2090	0.0656	-0.8859
8043	0.3737	-0.1406	0.6570
meanX	meanY	meanZ	
0.0000	0.0000	-0.0000	
rmseX	rmseY	rmseZ	
0.2907	0.1906	0.8853	

Check point residuals

Point ID	rX	rY	rZ
8010	0.1873	-0.0202	-1.2031
8013	-0.1266	-0.5444	1.2555
8014	-0.4035	-0.2754	0.3184
8017	-0.1096	0.0285	0.1050
8019	-1.0166	-0.3145	0.4991
8022	-0.1805	-0.7336	0.4396
8023	-0.1902	-0.0845	0.0160
8026	-0.1098	-0.9529	
8028	0.6476	-0.8430	1.3646
8002	0.0191	-0.3037	
8031	0.1987	0.4187	
8032	0.3772	-0.4974	1.7497
8004	-0.0698	-0.7640	
8034	0.1828	-0.0952	-0.5315
8006	-0.3562	-2.1221	
8036	0.1940	-0.2982	-0.5398
8037	-0.0491	-1.3414	0.4743
8039	-0.6045	0.1731	-1.8765
8007	0.2465	-0.6417	-1.5910
8042	0.2883	0.0929	1.2589
8009	-0.2270	-0.5694	0.5202

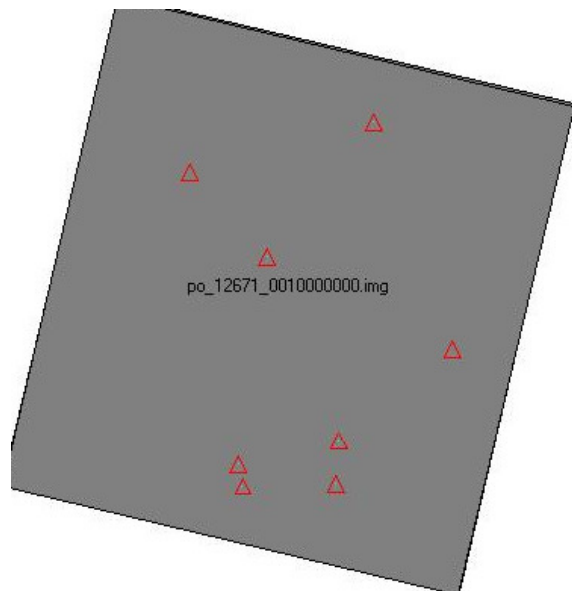


meanX	meanY	meanZ
0.0000	0.0000	-0.0000
rmseX	rmseY	rmseZ
0.3648	0.4434	0.8695

Check point residuals

Point ID	rX	rY	rZ
8013	0.0169	-0.0062	0.7288
8014	-0.2725	0.2432	-0.1887
8017	0.0321	0.5156	-0.3751
8019	-0.9026	0.1801	0.0159
8022	-0.0658	-0.2943	0.0074
8023	-0.0951	0.3353	-0.3952
8026	-0.0209	-0.5035	
8004	0.1112	-0.2017	
8028	0.7068	-0.4086	0.9447
8002	0.1913	0.2468	
8031	0.1592	0.4409	
8032	0.3607	-0.3315	1.5885
8006	-0.1898	-1.5628	
8034	0.2943	0.0357	-0.6764
8007	0.4052	-0.1099	-2.1140
8036	0.1450	-0.3907	-0.4479
8037	-0.0631	-0.9699	0.1224
8039	-0.6953	0.4386	-2.1193
8009	-0.0756	-0.0605	0.0189
8042	0.0903	-0.1129	1.4853
8010	0.3333	0.4888	-1.7036

meanX	meanY	meanZ
0.0222	-0.0966	-0.1943
rmseX	rmseY	rmseZ
0.3470	0.5061	1.0904



ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓ.ΣΤΕΦΑΝΟΥ-ΚΡΥΟΝΕΡΙΟΥ (10 GCPs )

---

OUTPUT OF BUNDLE BLOCK REFINEMENT

iteration number = 1      unit-weight standard error = 0.2886  
 maximum correction of the object points =287.42728

iteration number = 2      unit-weight standard error = 0.2278  
 maximum correction of the object points =0.00973

iteration number = 3      unit-weight standard error = 0.2278  
 maximum correction of the object points =0.00597

Final adjustment parameters

	Image ID = 2		
a[0]=313.8	a[1]=5.4268e-005	a[2]=-0.00012194	
b[0]=75.864	b[1]=0.00019097	b[2]=0.00017541	
	Image ID = 3		
a[0]=310.78	a[1]=-0.00016041	a[2]=2.4228e-005	
b[0]=75.375	b[1]=0.0001398	b[2]=0.00021725	

Control point residuals

Point ID	rX	rY	rZ
8001	0.2024	0.3061	0.2396
8015	-0.0513	0.0920	-0.7329
8024	0.4982	-0.4971	0.5826
8027	0.2655	-0.4879	0.9166
8029	-0.3418	0.3444	0.1029
8033	-0.0786	0.4701	1.1897
8035	-0.4672	-0.2880	-1.5729
8038	-0.2561	-0.3510	-0.7580
8040	-0.1876	0.5134	-0.6533
8043	0.4168	-0.1019	0.6856

meanX	meanY	meanZ
0.0000	0.0000	-0.0000
rmseX	rmseY	rmseZ
0.3127	0.3751	0.8453

Check point residuals

Point ID	rX	rY	rZ
8017	-0.2770	0.3575	0.0842
8019	-1.1653	0.0874	0.5394
8022	-0.3273	-0.4084	0.4360
8023	-0.3229	0.2588	0.0369
8004	-0.2671	-0.4217	
8026	-0.2397	-0.5552	
8006	-0.5434	-1.7511	
8028	0.5386	-0.3990	1.4684
8007	0.0658	-0.2902	-1.6101
8031	0.1736	0.5274	
8032	0.3307	-0.2472	1.7975
8009	-0.4019	-0.2326	0.4970
8034	0.0503	-0.1791	-0.7630
8010	0.0163	0.3293	-1.2150
8036	0.1796	-0.3209	-0.6130
8037	-0.1063	-0.8181	0.6754
8013	-0.2973	-0.1497	1.2715
8039	-0.6058	0.7252	-1.6041



8014	-0.5649	0.1208	0.3439
8042	0.3777	0.2521	1.4029
8002	-0.1717	0.0425	
meanX	meanY	meanZ	
-0.1694	-0.1463	0.1717	
rmseX	rmseY	rmseZ	
0.4174	0.5389	1.0572	

ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΝΤΙΠΑΡΟΥ ( NO GCPs )

iteration number = 1      unit-weight standard error = 0.3159  
maximum correction of the object points =0.04699

iteration number = 2      unit-weight standard error = 0.3159  
maximum correction of the object points =0.00000

Final adjustment parameters

Image ID = 1  
a[0]=0.45844  
b[0]=0.11391  
Image ID = 2  
a[0]=0.81826  
b[0]=0.22367  
Image ID = 3  
a[0]=-0.45852  
b[0]=-0.11368  
Image ID = 4  
a[0]=-0.8183  
b[0]=-0.22354

Point ID	Check point residuals		
	rX	rY	rZ
7	0.6595	-1.5023	8.6928
8	1.2578	-1.0214	9.0639
9	0.7973	-1.1745	10.0775
11	0.6339	-0.9855	9.8308
12	0.0331	-1.1140	9.7475
15	-0.0951	-1.0053	
	meanX	meanY	meanZ
	0.5477	-1.1338	9.4825
	rmseX	rmseY	rmseZ
	0.7147	1.1476	9.4967

ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΝΤΙΣΤΑΘΟΥ ( 3 GCPs )

-----  
 OUTPUT OF BUNDLE BLOCK REFINEMENT

iteration number = 1      unit-weight standard error = 0.4931  
                          maximum correction of the object points =8.26889

iteration number = 2      unit-weight standard error = 0.3418  
                          maximum correction of the object points =0.00044

iteration number = 3      unit-weight standard error = 0.3418  
                          maximum correction of the object points =0.00013

Final adjustment parameters

Image ID = 1  
 a[0]=-1.6595  
 b[0]=-9.7373  
 Image ID = 2  
 a[0]=0.91869  
 b[0]=-9.0718  
 Image ID = 3  
 a[0]=-5.5773  
 b[0]=1.7924  
 Image ID = 4  
 a[0]=-2.9943  
 b[0]=-0.047472

Control point residuals

Point ID	rX	rY	rZ
2	0.4166	-0.4507	0.6057
3	-0.4123	0.4549	-0.6062
5	0.0001	-0.0000	-0.0004
	meanX	meanY	meanZ
	0.0015	0.0014	-0.0003
	rmseX	rmseY	rmseZ
	0.3384	0.3697	0.4947

Check point residuals

Point ID	rX	rY	rZ
7	-0.0252	-0.2709	0.4635
8	0.5418	0.1451	0.8278
9	0.0904	-0.0402	1.8387
11	-0.0959	0.1266	1.6016
12	-0.6621	-0.0292	1.5013
15	0.1993	0.5112	
	meanX	meanY	meanZ
	0.0081	0.0738	1.2466
	rmseX	rmseY	rmseZ
	0.3628	0.2498	1.3491