

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΤΣΑΚΑΛΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ
Επιβλέπων Καθηγητής : **ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΡΗΓΟΡΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

ΙΟΥΛΙΟΣ 2018

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Π. Ραλλη & Θηβών 250, 12244 Αιγάλιω , Αθήνα – Ελλάδα Τηλ. 210-5381488

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με στήριξαν και μου έδωσαν τη δύναμη να τελειώσω τις σπουδές μου έπειτα από πολλά χρόνια.

Ευχαριστώ την οικογένεια μου για τη στήριξη καθ'όλα τα χρόνια των σπουδών μου, τον άντρα μου, για την παρότρυνση να φέρω εις πέρας την παρούσα εργασία και τον καθηγητή μου, Γρηγόρη Νικολάου, για τη βοήθειά του.

Ένα επί πλέον ευχαριστώ, και πάλι στον κύριο Νικολάου, για την απεριόριστη υπομονή που έδειξε για να τελειώσει η παρούσα εργασία.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Παρασκευή Τσακάλη, του Αθανασίου, φοιτητής του Τμήματος **Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής** του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Η Δηλούσα

Ημερομηνία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο παρόν σύγγραμμα θα παρουσιάσουμε τις αρχές της φωτογραμμετρίας και θα ασχοληθούμε κυρίως με τις μεθόδους της αναλυτικής και ψηφιακή φωτογραμμετρίας. Θα γνωρίσουμε τις ψηφιακές μεθόδους επεξεργασίας εικόνας, ξεκινώντας από τα πλέον εύκολα και εύχρηστα φίλτρα και καταλήγοντας σε πολυπλοκότερες μεθόδους. Επίσης θα παρουσιαστούν παραδείγματα εφαρμογής φίλτρων σε εικόνες από το περιβάλλον Matlab.

Σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιαστούν οι αρχές και τα προβλήματα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας και οι μέθοδοι για την επεξεργασία των εικόνων που χρησιμοποιούνται στη φωτογραμμετρία. Η κατανόηση της φωτογραμμετρικής διαδικασίας κρίνεται απαραίτητη πριν την παρουσίαση των μεθόδων επεξεργασίας, καθώς ο σκοπός της επεξεργασίας μιας εικόνας καθορίζει και το είδος της επεξεργασίας της.

Στο πρώτο κεφάλαιο θα γνωρίσουμε ορισμούς, παραδείγματα χρήσης, καθώς και τις σημαντικότερες στιγμές της ιστορίας της φωτογραμμετρίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύουμε τα βήματα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας και παρουσιάζουμε τα όργανα που σήμερα χρησιμοποιούνται. Τα όργανα που παρουσιάζονται δεν είναι μόνον ψηφιακά, καθώς - όπως θα γνωρίσουμε σε επόμενο κεφάλαιο - ακόμα και σήμερα και στις εφαρμογές της ψηφιακής φωτογραμμετρίας συχνά χρησιμοποιούνται αναλογικά όργανα, κυρίως κατά τη συλλογή των δεδομένων.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρουμε βασικές έννοιες για την κατανόηση της μαθηματικής υπόστασης των φωτογραφιών και θα αναλύσουμε την έννοια και τις ιδιότητες της κεντρικής προβολής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο εξηγούμε τα συστήματα συντεταγμένων και τους προσανατολισμούς της εικόνας, καθώς επίσης και την επίλυσή τους, συμπεριλαμβανομένων των κυριότερων σφαλμάτων που υπεισέρχονται στη διαδικασία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και εξηγούνται οι διαδικασίες της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων, απαραίτητες στην ψηφιακή φωτογραμμετρία, καθώς επίσης δίδονται παραδείγματα εντολών matlab για κάποιες από τις διαδικασίες αυτές.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα βασικά στοιχεία του περιβάλλοντος του Matlab, τις απαραίτητες πληροφορίες και τις βασικές εντολές για την επεξεργασία εικόνων σε αυτό.

Τέλος, στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που η συγγραφέας εξάγει έπειτα από την εκπόνηση της παρούσης εργασίας.

Abstract

This thesis presents the principles of photogrammetry and introduces the methods that analytical and digital photogrammetry utilize. We will learn digital image processing methods, starting from easier and most used to more complicated methods. Furthermore, examples of images before and after filter application from Matlab will be presented.

The goal of this thesis is to present principles and problems of photogrammetric procedure and digital image processing methods. Understanding photogrammetry's procedures is essential to understand digital image processing, as the purpose of an image process dictates the method of the process itself.

In the first chapter definitions, examples of photogrammetry's usage and the history of photogrammetry are introduced.

In the second chapter we present the steps of photogrammetric procedure and the instruments that are being used nowadays.

Basic terms for understanding mathematics for images are introduced in chapter three. Furthermore in this chapter meaning of central projection and its attributes are analyzed.

Fourth chapter contains the orientations of photogrammetric procedure and methods used to solve the orientations, including the major errors that occur during the procedures.

In fifth chapter we will present and explain procedures of digital images processing that are essential for digital photogrammetry. In some cases, we give and explain the matlab code for given process.

In sixth chapter we present the basics of Matlab's GUI and basic commands for processing images through it.

Finally, chapter 7 presents conclusions of this thesis.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ / ΕΙΚΟΝΩΝ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ	10
1.1 ΟΡΙΣΜΟΙ.....	10
1.2 ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ	11
1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	11
1.4 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ¹	13
1η περίοδος : Φωτογραμμετρία Επίπεδου Τραπεζίου (1840-1900).....	14
2η περίοδος : Αναλογική Φωτογραμμετρία (1900-1950).....	14
3η Περίοδος : Αναλυτική Φωτογραμμετρία (1950-σήμερα).....	16
4η περίοδος : Ψηφιακή Φωτογραμμετρία (τα τελευταία 30 χρόνια).....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	18
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΑ ΌΡΓΑΝΑ	18
2.1. ΒΑΣΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ	18
2. ΟΡΓΑΝΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ.....	20
2.2.1. Όργανα Συλλογής Δεδομένων.....	20
2.2.2 Όργανα Επεξεργασίας Δεδομένων.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	32
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	32
3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	32
3.1.1 Κατηγοριοποίηση Αεροφωτογραφιών, ανάλογα με τη γωνία λήψης.....	32
3.1.2 Κατηγοριοποίηση Αεροφωτογραφιών, ανάλογα με τη γωνιακή κάλυψη.....	34
3.1.3 Κατηγοριοποίηση Φωτογραμμετρίας, ανάλογα με τον τύπο γαλακτώματος	35
3.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	35
3.2.1 Ορισμοί Μεγεθών.....	35
3.2.2 Κεντρική Προβολή.....	37
3.2.2.1 Βασικές έννοιες	38
3.2.2.2 Βασικές ιδιότητες της κεντρικής προβολής	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	47
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΟΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΙ	47
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	47

4.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ	48
4.2.1 Σύστημα εικονοσυντεταγμένων	48
4.2.2 Σύστημα της εικόνας.....	49
4.2.3 Σύστημα του πραγματικού χώρου (γεωδαιτικό)	50
4.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΩΝ.....	51
4.3.1 Εσωτερικός Προσανατολισμός	51
4.3.2 Εξωτερικός Προσανατολισμός	57
4.4 ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ	61
4.4.1 Συνόρθωση Δέσμης (<i>Bundle Adjustment</i>).....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	62
ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	62
5.1 ΑΠΑΛΟΙΦΗ ΘΟΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΚΟΝΑΣ (DEBLURRING)	62
5.1.1 Απαλοιφή θολώματος με τη χρήση του αλγόριθμου αποσυνέλιξης	62
5.1.2 Απαλοιφή θολώματος με χρήση κανονικοποιημένου φίλτρου	63
5.1.3 Απαλοιφή θολώματος με χρήση φίλτρου Wiener.....	63
5.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ	64
5.2.1 Αφαίρεση θορύβου.....	64
5.2.2 Ενίσχυση Αντίθεσης.....	66
5.2.3 Βελτίωση Ευκρίνειας (όζυνση άκρων).....	69
5.2.4 <i>Thresholding</i>	72
5.3 ΑΝΑΓΩΓΗ ΕΙΚΟΝΑΣ (IMAGE REGISTRATION)	74
5.3.1 Αναγωγή Εναέριας φωτογραφίας σε υπάρχουσα ορθοφωτογραφία.....	74
5.4 ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΩΣΑΙΚΟ (DIGITAL MOSAICKING)	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	76
MATLAB	76
6.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ MATLAB	76
6.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΤΟΛΕΣ MATLAB	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	84
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	85
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	86

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μεγάλη ανάπτυξη στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνων. Αυτό συνέβη λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης των υπολογιστικών συστημάτων που είχε ως συνέπεια την ευκολία επίλυσης σύνθετων αλγορίθμων και την αυτοματοποίηση αυτών.

Πάμπολλες είναι οι νέες μορφές αρχείων, όπως .jpg και ακόμα περισσότερες, που επιτυγχάνουν υψηλό βαθμό συμπίεσης και άρα μικρότερη απαίτηση στον αποθηκευτικό χώρο, όπως .tiff, .tif, .pdf. Αυτό μας επιτρέπει να επιλέγουμε κάθε φορά την κατάλληλη μορφοποίηση από ένα αρκετά μεγάλο εύρος επιλογών.

Όμως, εκτός των αμέτρητων επιλογών στη μορφή των αρχείων, έχουμε δυνατότητα επιλογής μεθόδου και υπολογιστικού συστήματος από ένα εξίσου μεγάλο εύρος και μάλιστα με αρκετά χαμηλό κόστος.

Όλα τα παραπάνω σε έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη μεθόδων για την επεξεργασία εικόνων, για τις περισσότερες αν όχι για όλες τις περιπτώσεις.

Χηηρά παραδείγματα είναι οι τρισδιάστατες απεικονίσεις ιστορικών χώρων, η διαδραστική διδασκαλία μέσω τρισδιάστατων αναπαραστάσεων, η ψηφιακή ανοικοδόμηση παλαιότερων πολιτισμών, προσώπων και σκηνών εγκλημάτων και τα google maps και Bing maps (προϊόντα φωτογραμμετρίας).

Στο παρόν σύγγραμμα θα παρουσιάσουμε τις αρχές της φωτογραμμετρίας και ασχοληθούμε κυρίως με τις μεθόδους της ψηφιακή φωτογραμμετρίας, καθώς η ανάλυση όλων των διαδικασιών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων δεν μπορεί να αποτελέσει το περιεχόμενο μιας πτυχιακής εργασίας, λόγω του εξαιρετικά μεγάλου όγκου των δεδομένων που θα έπρεπε να αναλυθούν.

Κατάλογος Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΕΣΤΙΑΚΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΓΩΝΙΑΚΕΣ ΚΑΛΥΨΕΙΣ [T. SCHENK, 2005] ²	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 : ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΤΟΥ MATLAB ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	81

Κατάλογος Σχημάτων / Εικόνων

ΣΧΕΔΙΟ 2.1 : ΒΑΣΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ [ΕΛΛΗ ΠΕΤΣΑ 2000] ¹	18
ΣΧΗΜΑ 2.2 : ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΜΕ ΕΙΚΟΝΟΣΗΜΑΤΑ ¹	22
ΣΧΗΜΑ 2.3 : LEICA RCD105 MEDIUM-FORMAT AIRBORNE DIGITAL FRAME CAMERA	24
ΣΧΗΜΑ 2.4 : ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΑΕΡΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ ¹	25
ΣΧΗΜΑ 2.5 : SCANNER HP DESIGNJET 4200	26
ΣΧΗΜΑ 2.6 : ΨΗΦΙΑΚΟΙ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ.....	31
ΣΧΗΜΑ 3.1 : ΚΑΘΕΤΗ ΚΑΙ ΜΗ ΚΑΘΕΤΕΣ ΛΗΨΕΙΣ ²	32
ΣΧΗΜΑ 3.2 : ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΤΡΟΠΟΥ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ¹	33
ΣΧΗΜΑ 3.3 :ΟΙ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΥΝΗΘΩΣ ΤΡΑΒΙΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΒΟΡΑ ΠΡΟΣ ΤΟ ΝΟΤΟ Η ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΗ ΠΡΟΣ ΤΗ ΔΥΣΗ ΣΕ ΠΑΡΑΛΛΗΛΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΠΤΗΣΗΣ. ¹	34
ΣΧΗΜΑ 3.4 : ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ ΚΕΚΛΙΜΕΝΗΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΕΛΛΑΦΟΥΣ (ΧΥΖ). ¹	36
ΣΧΗΜΑ 3.5 : ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΚΑΜΕΡΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΟΥΣ ΟΠΗΣ (PINHOLE CAMERA) ¹	38
ΣΧΗΜΑ 3.6 : ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΤΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ Ρ (ΚΑΘΕΤΗ ΛΗΨΗ).....	39
ΣΧΗΜΑ 3.7 : ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΣΕ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΟ ΖΕΥΓΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ. ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ.....	39
ΣΧΗΜΑ 3.8 : ΕΚΦΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ¹	41
ΣΧΗΜΑ 3.9 ΊΔΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ ΕΙΚΟΝΑΣ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΥΨΗ ΠΤΗΣΗΣ ²	42
ΣΧΗΜΑ 3.10 : ΕΚΤΡΟΠΗ ΔR ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ Η ²	43
ΣΧΗΜΑ 3.11 : ΕΚΤΡΟΠΗ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΦΑΚΟΥΣ [ΕΛΛΗ ΠΕΤΣΑ 2000]	45
ΣΧΗΜΑ 3.12 : ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΙΔΙΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΦΑΚΟΥΣ ¹	46
ΣΧΗΜΑ 4.1: ΣΧΗΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ ¹	47
ΣΧΗΜΑ 4.2 : ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΟΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ²	48
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ ΟΡΙΖΟΥΜΕ ΩΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΟΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΕΝΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΚΑΙ ΔΕΞΙΟΣΤΡΟΦΟ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ	

ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ ΤΗΝ ΠΑΝΩ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΓΩΝΙΑ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ. ΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΤΟ ΕΚΦΡΑΖΟΝΤΑΙ ΣΕ PIXELS. ³	48
ΣΧΗΜΑ 4.3 : ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΙΚΟΝΑΣ [X_P , Y_P] ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ PIXELS [X_M , Y_M] ¹	49
ΣΧΗΜΑ 4.3 : ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΑΣ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΟΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ¹	50
ΣΧΗΜΑ 4.4 : ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΙΚΟΝΑΣ [X_P , Y_P] ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ PIXELS [X_M , Y_M]	50
ΣΧΗΜΑ 4.6 :ΣΥΣΧΕΤΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΙΚΟΝΟΣΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ¹	53
ΣΧΗΜΑ 4.7 : ΑΚΤΙΝΙΚΗ ΔΙΑΣΤΡΟΦΗ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ¹	55
ΣΧΗΜΑ 4.8: ΑΚΤΙΝΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΛΟΓΩ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ²	56
ΣΧΗΜΑ 4.8 : ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΕ ΣΤΡΟΦΕΣ ¹	58
5.1: ΑΝΤΙΠΑΡΑΘΕΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΕ ΘΟΡΥΒΟ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ¹	65
ΣΧ 5.2: ΕΙΚΟΝΑ ΜΕ ΘΟΡΥΒΟ ΤΥΠΟΥ ΑΛΑΤΟΠΗΠΕΡΟ ³	65
ΣΧ 5.3: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΜΕ ΦΙΛΤΡΑ ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΓΕΙΤΟΝΕΙΑΣ 3X3 ΚΑΙ 5X5 ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ	66
ΣΧ 5.4: ΑΣΠΡΟΜΑΥΡΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ. ΕΙΚΟΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ (INPUT_IMAGE) ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ IMADJUST	67
ΣΧ 5.5: ΑΣΠΡΟΜΑΥΡΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ. ΕΙΚΟΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ (INPUT_IMAGE) ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ HISTEQ	67
ΣΧ 5.6: ΑΣΠΡΟΜΑΥΡΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ. ΕΙΚΟΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ (INPUT_IMAGE) ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ADAPRHISTEQ	67
ΣΧ 5.7: ΈΓΧΡΩΜΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ. ΚΑΤΑ ΣΕΙΡΑ : ΕΙΚΟΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ (PHOTO1) ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ IMADJUST, HISTEQ ΚΑΙ ADAPRHISTEQ ¹	69
ΣΧ 5.8: ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΥΚΡΙΝΕΙΑΣ ΣΕ ΑΣΠΡΟΜΑΥΡΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ. ΠΑΝΩ Η ΜΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΚΑΤΩ Η ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ	70
ΣΧ 5.9: ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΥΚΡΙΝΕΙΑΣ ΣΕ ΕΓΧΡΩΜΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ. ΠΑΝΩ Η ΜΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗ (CHEETAHΡΑΤΗΕGREEΚCΑΤ) ΚΑΙ ΚΑΤΩ Η ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ	71
ΣΧ . 5.10: ΜΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ (I). (SNARFΤΗΕGREEΚCΑΤ)	72
ΣΧ 5.11: ΕΝΙΣΧΜΕΝΕΣ ΑΣΠΡΟΜΑΥΡΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ. ΠΑΝΩ ΜΕ ΜΙΑ ΤΙΜΗ THRESHOLDING ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΜΕ ΤΡΕΙΣ	73
ΣΧΗΜΑ 6.4 : ΈΓΧΡΩΜΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΤΟ ΜΑΤLAB ¹	80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

Πολλοί ορισμοί έχουν δοθεί για τη φωτογραμμετρία

"**Φωτογραμμετρία** ονομάζεται μια ιδιαίτερη μέθοδος - τεχνική προσδιορισμού διαστάσεων αντικειμένων με χρήση φωτογραφιών." (<http://el.wikipedia.org/wiki/Φωτογραμμετρία>)

"**Φωτογραμμετρία** είναι η τέχνη, επιστήμη και τεχνική απόκτησης αξιόπιστων μετρητικών πληροφοριών για φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον, μέσω διαδικασιών καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και άλλων φαινομένων." (The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)).

"**Φωτογραμμετρία** είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί φωτογραφίες στην τοπογραφία για την κατασκευή χαρτών." (Encyclopedia Britannica)

"**Φωτογραμμετρία** είναι η διαδικασία απόκτησης μετρήσεων από φωτογραφίες, χρησιμοποιούμενη ειδικά στην κατασκευή χαρτών από εναέριες φωτογραφίες και επίσης σε στρατιωτικές, ιατρικές εφαρμογές και στην βιομηχανική έρευνα." (World English Dictionary (Collins))

Η λέξη φωτογραμμετρία είναι σύνθετη, με τρία συνθετικά. Αυτά είναι οι λέξεις φωτογραφία, γραφή και μέτρηση. Από την ετοιμολογία της λέξης λοιπόν, καταλαβαίνουμε ότι πρόκειται για μέτρηση της γραφικής αναπαράστασης ενός αντικειμένου, μέσω του φωτός.

1.2 ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

Η φωτογραμμετρία στη βιβλιογραφία χωρίζεται συνήθως σε εναέρια και επίγεια. Όμως ανάλογα με τα κριτήρια που θέτουμε η φωτογραμμετρία μπορεί να χωριστεί ως εξής:

- α. Ανάλογα με τη θέση λήψης σε Εναέρια, Επίγεια, Υποβρύχια και Δορυφορική
- β. Ανάλογα με τον αριθμό των εικόνων σε Μονοεικονική, Στερεοσκοπική και Πολυσκοπική
- γ. Ανάλογα με τη μορφή των εικόνων σε Αναλογική και Ψηφιακή
- δ. Ανάλογα με τη γωνία λήψης σε Κάθετη και μη κάθετη (ή διαγώνια)

1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η φωτογραμμετρία χρησιμοποιήθηκε εν τη γενέσει της στην κατασκευή χαρτών και τον εντοπισμό και καταμέτρηση των αντιπάλων στρατευμάτων κατά τη διάρκεια πολέμων. Σήμερα, μετά την τεχνολογική επανάσταση και την ευρέως διαδεδομένη χρήση υπολογιστικών συστημάτων, βρίσκει εφαρμογή στους περισσότερους επιστημονικούς τομείς. Στην κατασκευή δισδιάστατων και τρισδιάστατων χαρτών, σε στρατιωτικές εφαρμογές, στην ιατρική, στην οδοποιία, την τοπογραφία, την αρχαιολογία, την αρχιτεκτονική, την βιομηχανία.

Παραδείγματα εφαρμογών στους τομείς αυτούς είναι :

Στρατιωτικές εφαρμογές : σχεδιασμός αποστολών, καθορισμός στόχων, πλασματική εικονική αναπαράσταση πεδίων μαχών, προσομοίωση πτήσεων ή μαχών κλπ.

Ιατρική : χαρτογράφηση ανθρωπίνου σώματος

Οδοποιία : έλεγχος οδοστρωμάτων, αποτυπώσεις ζώνης για οδοποιία

Τοπογραφία : χαρτογράφηση, κατασκευή χαρτών, ανάλυση ατυχημάτων

Αρχαιολογία : τρισδιάστατα μοντέλα χώρων ανασκαφής, ψηφιακές περιηγήσεις αρχαιολογικών χώρων

Βιομηχανία : online έλεγχος ποιότητας, έλεγχος μηχανών σε μη προσβάσιμα ή δύσκολα προσβάσιμα σημεία.

Δασονομία : εποπτεία δασικών εκτάσεων, αποτυπώσεις ζωνών για αντιπυρική προστασία, παρακολούθηση και εκτίμηση καταστροφών λόγω πυρκαγιών

Αν και έχουν κατασκευαστεί αρκετά λογισμικά ειδικού σκοπού για να είναι ευκολότερη υλοποίηση της φωτογραμμετρίας, το MatLAB παραμένει ένα από τα κυρίαρχα εργαλεία για τους μηχανικούς και για τη φωτογραμμετρία. Ένας λόγος είναι ότι τα λογισμικά ειδικού σκοπού αφήνουν το χρήστη να εισάγει φωτογραφίες ή τιμές για συγκεκριμένες παραμέτρους και τον αποκλείουν από την υλοποίηση και ως εκ τούτου και από τη διατριβή στη θεωρία και το μαθηματικό υπόβαθρο της φωτογραμμετρίας, καθώς και το αυξημένο κόστος των φωτογραμμετρικών αυτών λογισμικών σε σχέση με το κόστος του MatLAB.

Στο παρόν σύγγραμμα θα προσπαθήσουμε να καταγράψουμε το θεωρητικό υπόβαθρο, που είναι απαραίτητο για την υλοποίηση των μεθόδων της φωτογραμμετρίας.

1.4 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ¹

Η φωτογραμμετρία στηρίζεται στην αρχή αντανάκλασης (ή ανάκλασης) του φωτός. Κάθε αντικείμενο στο οποίο προσπίπτει ακτινοβολία, απορροφά μέρος αυτής και αντανακλά την ακτινοβολία που δεν μπορεί να απορροφήσει. Η ακτινοβολία που αντανακλάται είναι το εκείνη που κάνει ορατό το αντικείμενο.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διαφορούμενες αναφορές σχετικά με τις ρίζες τις φωτογραμμετρίας. Μία άποψη είναι ότι η απαρχή της βασίζεται στον Αριστοτέλη, ο οποίος γύρω στο 310 π. Χ. αναφέρθηκε στη "διαδικασία προβολής εικόνων οπτικά" και στο φαινόμενο του "σκοτεινού θαλάμου" στο 15ο κεφάλαιο του βιβλίου του "ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ", ενώ υπάρχει και η άποψη ότι βασίζεται στον Λεονάρντο ντα Βίντσι και στη φράση του "Η προοπτική δεν είναι τίποτε άλλο από το να βλέπουμε ένα αντικείμενο πίσω από ένα φύλλο γυαλιού λείο και διαφανές, στην επιφάνεια του οποίου μπορεί να φαίνεται ότι όλα τα πράγματα είναι πίσω από αυτό. Όλα τα πράγματα μεταδίδουν το είδωλό τους στο μάτι μέσω πρισματικών γραμμών και αυτές εμποδίζονται από το υαλί. Όσο πιο κοντά στο μάτι αυτές τέμνονται, τόσο μικρότερο εμφανίζεται το είδωλο που αυτές προκαλούν."

Και οι δύο απόψεις αφορούν το θεωρητικό "έναυσμα" για την περαιτέρω μελέτη της φωτογραμμετρίας, όμως σε καμμία περίπτωση δε βρίσκουμε καταγεγραμμένες πρακτικές εφαρμογές.

Η πρακτική εφαρμογή της φωτογραμμετρίας δεν ήταν φυσικά δυνατή πριν την εφεύρεση της φορητής φωτογραφικής μηχανής και φυσικά πριν την ανάπτυξη μίας πρακτικής μεθόδου λήψης φωτογραφιών. Η πρώτη φορητή φωτογραφική μηχανή (camera obscura), ικανή να μεταφερθεί από δύο άτομα, εμφανίζεται περί τα 1600 με 1620, ενώ η πρώτη πρακτική μέθοδος λήψης φωτογραφιών παρουσιάστηκε το 1839 στο Παρίσι από τον Louis Daguerre. Στη μέθοδο του Daguerre, η έκθεση πραγματοποιείται σε φωτοευαίσθητες - λόγω της επικάλυψης τους με ιωδιούχο άργυρο - μεταλλικές πλάκες. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα.

¹ Διαδικτυακή πηγή 41

http://geo.skku.ac.kr/board/system/db/geo_lecture1/upload/185/1239707355/photo.pdf, 09/11/2013

Από την παρουσίαση της μεθόδου του Daguerre μέχρι σήμερα, η ανάπτυξη της φωτογραμμετρίας χωρίζεται σε 4 περιόδους, τη φωτογραμμετρία επιπέδου τραπεζιού, την αναλογική φωτογραμμετρία, την αναλυτική φωτογραμμετρία και την ψηφιακή φωτογραμμετρία.

1η περίοδος : Φωτογραμμετρία Επίπεδου Τραπεζίου (1840-1900)

Το 1840 ο Γάλλος Francois Arago παρουσίασε την χρησιμότητα των φωτογραφιών στην τοπογραφική μελέτη. Το 1849 γίνονται τα πρώτα πειράματα χρήσης της φωτογραμμετρίας στην τοπογραφική καταγραφή, υπό την εποπτεία του στρατηγού Aime Laussedat, με τη χρήση χαρταετών και αερόστατων για την απόκτηση αεροφωτογραφιών. Λόγω της δυσκολίας χρήσης των ιπτάμενων αυτών συσκευών, ο Laussedat χρησιμοποιεί επίγειες φωτογραφίες και το 1859 παρουσιάζει το έργο του στη χαρτογράφηση με τη χρήση φωτογραφιών. Για το έργο του αυτό κέρδισε τον τίτλο "Πατέρας της φωτογραμμετρίας".

Μόλις ένα χρόνο πριν, το 1858 εισήχθη ο όρος "Φωτογραμμετρία" από τον Γερμανό αρχιτέκτονα Μείντενμπάουερ.

Επίσης το 1855, ο Τουραχόν, έπειτα από εντολή του Ναπολέοντα, χρησιμοποιώντας αερόστατα, λαμβάνει εναέριες φωτογραφίες για την αναγνώριση των δυνάμεων του αντιπάλου στρατού πριν τη μάχη του Σολφερίνο.

Το 1865 ο Paulo Ignazio Pietro Porro σχεδίασε το φωτογωνιόμετρο, όργανο που ήταν ικανό να εξαλείψει την παραμόρφωση των φωτογραφικών φακών. Η τελευταία σημαντική εφεύρεση της πρώτης περιόδου ανήκει στον Frenchman Chevallier, ο οποίος το 1868 εφήυρε το "photographic plane table". Μία κάμερα στην οποία η φωτογραφική πλάκα εκτίθεται σε οριζόντια θέση. Οι προσπίπτουσες ακτίνες φωτός εκτρέπονται σε ορθές γωνίες χρησιμοποιώντας ένα πρίσμα που εφάπτεται στο σκόπευτρο, το οποίο είναι ικανό να περιστρέφεται.

2η περίοδος : Αναλογική Φωτογραμμετρία (1900-1950)

Η κατασκευή του αεροπλάνου από τους αδερφούς Wright το 1902 ήταν ίσως η μεγαλύτερη ανακάλυψη της περιόδου αυτής, καθώς καθιστούσε ευκολότερη την απόκτηση εναερίων

φωτογραφιών. Πέρασαν όμως 12 χρόνια για να χρησιμοποιηθεί το αεροπλάνο για την απόκτηση αεροφωτογραφιών για χαρτογραφικούς σκοπούς.

Ο Αυστριακός Theodore Scheimpflug, ανέπτυξε τη θεωρία του διπλού προβολέα, η οποία μας επιτρέπει να βλέπουμε τις προβαλλόμενες εικόνες. Επίσης, παρουσίασε μια μέθοδο για τη διατήρηση μιας σταθερής εστίασης στην διόρθωση των φωτογραφιών, την κατάσταση Scheimpflug.

Ο Γερμανός Sebastian Finsterwalder, στις αρχές του 1899 δημοσιεύει εργασίες πάνω στην αναλυτική φωτογραμμετρία. Στην εργασία του "Die geometrischen Grundlagen der Photogrammetrie" (Οι Γεωμετρικές Αρχές της Φωτογραμμετρίας), που δημοσιεύτηκε το 1899, περιγράφει τις αρχές της στερεοσκοπικής φωτογραμμετρίας και τη μεθοδολογία για το σχετικό και τον απόλυτο προσανατολισμό.

Το 1901 ο Γερμανός φυσικός Carl Pulfrich σχεδίασε τον πρώτο στερεοσκοπικό συγκριτή, εισάγοντας τις συντεταγμένες και παρουσίασε τα αποτελέσματα στην 73rd Conference of Natural Science and Physicians in Hamburg. Έξι χρόνια αργότερα, το 1907 ο Ritter von Orel κατασκευάζει τον πρώτο στερεοσκοπικό αυτογράφο. Η αρχή κατασκευής αυτής της σχεδιαστικής μηχανής έκανε εφικτή τη χρήση της επίγεια φωτογραμμετρίας σε περιοχές με βουνά.

Το 1914 οι Arthur Brock Jr, Norman H. Brock και Edward H. Cahill ξεκινούν να σχεδιάζουν την πρώτη κάμερα, που ήταν τοποθετημένη πάνω στο αεροπλάνο.

Κατά τη διάρκεια του 1ου Παγκοσμίου πολέμου (1914-1918) ο Sherman Mills Fairchild ανακαλύπτει το πρόβλημα της παραμόρφωσης στις εναέριες φωτογραφικές μηχανές που εχρησιμοποιούντο την εποχή εκείνη. Κατασκεύασε λοιπόν ένα κλείστρο που τοποθετούταν μεταξύ των φακών, χρησιμοποιώντας μία περιστροφική λεπίδα.

Ο καθηγητής Reinhard Hegershoff κατασκεύασε το 1921 τον πρώτο αναλογικό σχεδιαστή (plotter), τον επονομαζόμενο Hegershoff Autocartograph (αυτοχαρτογραφητής). Ο ίδιος το 1926 κατασκεύασε τον αεροχαρτογραφητή (Aerocartograph), ένα όργανο που είχε τη δυνατότητα αλλαγής της οπτικής διαδρομής, επιτρέποντας στον χειριστή να δειτε την αριστερή φωτογραφία με το δεξί μάτι και τη δεξιά με το αριστερό. Αυτό έδωσε στο χειριστή την δυνατότητα να εκτελεί αναλογικό αεροτριγωνισμό.

Δύο χρόνια νωρίτερα, το 1924, ο Otto von Gruber παρήγαγε τις προβολικές εξισώσεις και τα διαφορικά τους, θεμελιώδεις έννοιες στην αναλυτική φωτογραμμετρία. Η μεθοδός του για τον

σχετικό προσανατολισμό κάνει τη διαδικασία του προσανατολισμού ευκολότερη και γρηγορότερη. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα.

3η Περίοδος : Αναλυτική Φωτογραμμετρία (1950-σήμερα)

Η εφεύρεση του ηλεκτρονικού υπολογιστή συνετέλεσε στην αλματώδη ανάπτυξη της φωτογραμμετρίας και ειδικότερα της αναλυτικής φωτογραμμετρίας.

Το 1953 ο Dr. Hellmut Schmid ανέπτυξε σε εργαστήριο βαλλιστικής έρευνας στο Maryland τις αρχές της νέας αναλυτικής φωτογραμμετρίας χρησιμοποιώντας τη σημειογραφία σε πίνακες (matrix notation). Τα κυριότερα σημεία της προσέγγισής του ήταν η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων, η ταυτόχρονη λύση οποιουδήποτε αριθμού φωτογραφιών και η ολοκληρωμένη μελέτη της διάδοσης των σφαλμάτων.

Η επόμενη προσέγγιση στον αναλυτικό έλεγχο ανήκει στον Dr. Paul Herget ο οποίος χρησιμοποίησε τα διανύσματα.

Ο Duane Brown το 1955 ανέπτυξε νέες μεθόδους για τη βαθμονόμηση της κάμερας. Ο ίδιος, το 1979 πήρε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την ανακάλυψη της πλάκας reseau.

Ο "Πατέρας του Αναλυτικού Σχεδιαστή", ο Uno Vilho Helava το 1957 ανέπτυξε τον αναλυτικό σχεδιαστή, μηχανήμα το οποίο χρησιμοποιούσε σερβομηχανισμούς αντί των οπτικών ή μηχανικών κατασκευών των προηγούμενων οργάνων.

Οι Houssam Mahmoud Karara και Y.I. Abdel-Azis, ανέπτυξαν το 1971 το Direct Linear Transformation (DLT).

Το 1896, ο Edouard Deville, Γενικός Επιθεωρητής του Dominion, εφηύρε το πρώτο όργανο στερεοσκοπικής σχεδίασης, το στερεοσκοπικό πλανογράφο.

4η περίοδος : Ψηφιακή Φωτογραμμετρία (τα τελευταία 30 χρόνια)

Στην ψηφιακή φωτογραμμετρία οι εικόνες είναι αποθηκευμένες σε ψηφιακή μορφή, σε ψηφιακά μέσα αποθήκευσης. Οι εικόνες αποθηκεύονται ψηφιακά σε μορφή πινάκων. Κάθε εικονοστοιχείο (pixel) τη δική του θέση και τιμή έντασης στον πίνακα. Για ασπρόμαυρες εικόνες χρησιμοποιείται ένας πίνακας, ενώ για έγχρωμες εικόνες περισσότεροι.

Το 1988 ο Harry T. Kelsh και ο Wild Heerbrugg ένωσαν τις ομόνυμες εταιρίες τους, δημιουργώντας την Leica. Η εταιρία αυτή το 1991 κατασκεύασε τον αναλυτικό σχεδιαστή SD

2000, ενώ το 2000 απορροφώντας άλλες τρεις εταιρίες (Azimuth Corporation, ERDAS, και LH Systems) η Leica μπορούσε πλέον να προσφέρει το LIDAR scanning system, τηλεπισκόπηση / πακέτα λογισμικού επεξεργασίας εικόνας και ψηφιακά stereoplotter.

Την περίοδο αυτή την μεγαλύτερη ανάπτυξη παρουσιάζει η κατασκευή λογισμικών για τη φωτογραμμετρία. Ευρέως διαδεδομένα λογισμικά σήμερα είναι:

Zeiss-Intergraph Imagestation

ISM DiAP

Imagine 8.5 Photogrammetry Suite

ATLAS Photogrammetric Software

DAT/EM International Summit Evolution

PCI Geomatica

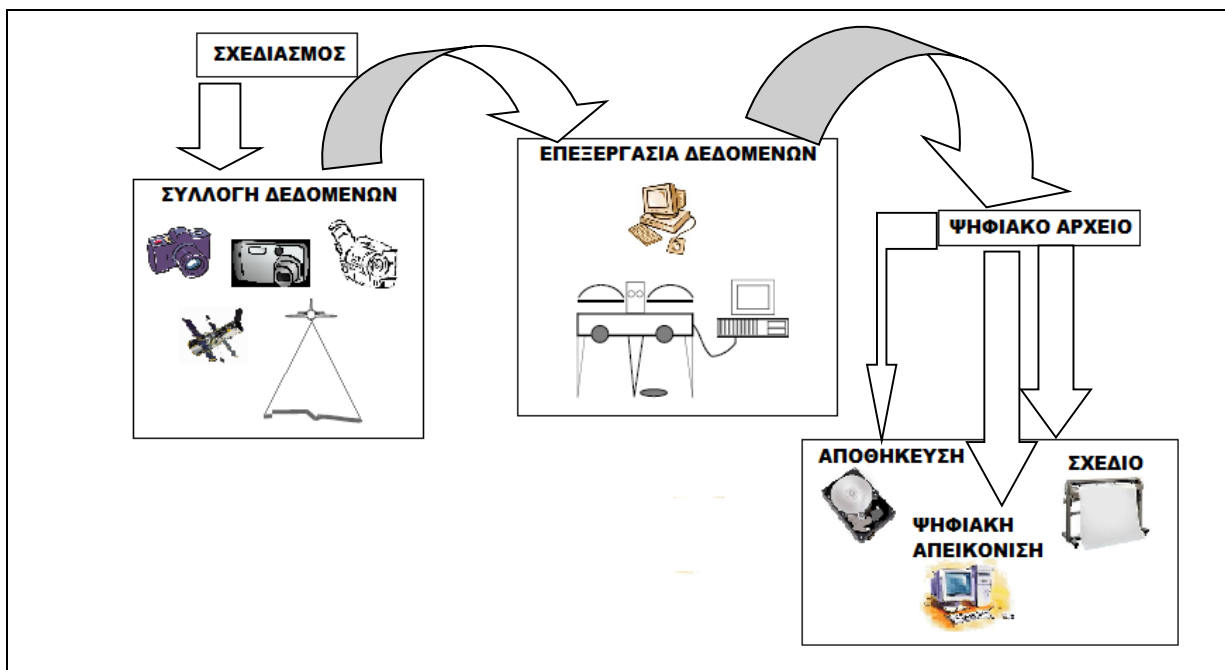
OrthoMapper

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Φωτογραμμετρικά Όργανα

2.1. ΒΑΣΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στις διεργασίες-βήματα που είναι απαραίτητες για την υλοποίηση της φωτογραμμετρίας, καθώς και τα εργαλεία, τα απαραίτητα για τις διεργασίες αυτές.



Σχέδιο 2.1 : Βασικά βήματα φωτογραμμετρίας [Έλλη Πέτσα 2000]¹

α. Σχεδιασμός

Όπως κάθε διαδικασία, η φωτογραμμετρία απαιτεί σχεδιασμό σε πρώτη φάση. Κατά το σχεδιασμό πρέπει να επιλεγεί το υλικό (hardware), το λογισμικό (software) και η διαδικασία, ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Επιθυμητό αποτέλεσμα θεωρείται η απόκτηση δεδομένων κατάλληλων για το τον σκοπό μας, καθώς και συμβατά με το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί.

¹Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας'

β. Συλλογή Δεδομένων

Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει την αλματώδη ανάπτυξη της, εμφανίζονται συνεχώς περισσότερες επιλογές στον τρόπο και τις συσκευές συλλογής δεδομένων. Κλασσικά στο παρελθόν εργαλεία τείνουν να εξαφανιστούν και τη θέση τους παίρνουν ψηφιακά εργαλεία όπως ψηφιακές φωτογραφικές και αισθητήρες.

γ. Επεξεργασία δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων για την απόκτηση μετρήσεων είναι αυτή κάθε αυτή η φωτογραμμετρία. Λαμβάνουμε τα δεδομένα και τα επεξεργαζόμαστε ώστε να αποκτήσουμε τις επιθυμητές μετρήσεις.

Για την επεξεργασία των δεδομένων παλαιότερα χρησιμοποιούνταν αναλογικά όργανα (χάρακες, στερεοσκοπικοί αυτόγραφοι). Σήμερα, την περίοδο της ψηφιακής φωτογραμμετρίας, ανάλογα με το σκοπό της εργασίας, χρησιμοποιούνται σταθμοί εργασίας ή κοινοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές εφοδιασμένοι με το κατάλληλο λογισμικό και την ανάλογη υπολογιστική και αποθηκευτική ισχύ.

δ. Ψηφιακό αρχείο

Αποκτώντας το ψηφιακό αρχείο τα αποθηκεύουμε και είτε η διεργασία σταματά εδώ, είτε τα αποκτηθέντα δεδομένα υπόκεινται σε περαιτέρω επεξεργασία για σκοπούς όπως σχεδιασμό χαρτών και ψηφιακή απεικόνιση δεδομένων.

2. ΟΡΓΑΝΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

Στη ψηφιακή φωτογραμμετρία τα δεδομένα που εισάγουμε στο σύστημα είναι ψηφιακές φωτογραφίες ή σπανιότερα σκαναρισμένες αναλογικές φωτογραφίες.

2.2.1. Όργανα Συλλογής Δεδομένων

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται σήμερα για τη συλλογή δεδομένων της φωτογραμμετρίας είναι κάμερες και αισθητήρες (χρήση remote sensing).

Φωτογραφικές Μηχανές

1. Μετρικές φωτογραφικές μηχανές είναι ο τεχνικός όρος που χρησιμοποιείται για να δηλώσει τις εξειδικευμένες αναλογικές (που χρειάζονται φιλμ) φωτογραφικές μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές πριν την εμφάνιση της ψηφιακής τεχνολογίας και των ψηφιακών αισθητήρων σε φωτογραφικές μηχανές. Η χρήση των εικόνων από μετρικές μηχανές διατηρείται ακόμη και σήμερα, καθώς με την ψηφιοποίηση των φωτογραφιών τους από μεγάλης ακρίβειας σαρωτές φωτογραφιών (ή αρνητικών) μπορεί να επεξεργαστούν σε σύγχρονα φωτογραμμετρικά συστήματα.

Οι μετρικές φωτογραφικές μηχανές διαφέρουν από τις κοινές φωτογραφικές μηχανές στις υψηλές προδιαγραφές των φακών και στη σταθερότητα της εσωτερικής γεωμετρίας.

Χαρακτηριστικά στοιχεία κάθε μετρικής φωτογραφικής μηχανής είναι:

Σταθερή εστιακή απόσταση των φακών

Εικονοσήματα: Τα εικονοσήματα είναι χαρακτηριστικά σημάδια σε μία γυάλινη πλάκα που παρεμβάλλεται ανάμεσα στο σύστημα των φακών και το αρνητικό. Κάθε εικονόσημα φέρει ένα σταυρόνημα. Σε κάθε έκθεση του φιλμ στο φως μαζί με το αντικείμενο, τα εικονοσήματα και τα σταυρονήματά τους, αποτυπώνονται στην ίδια πάντα θέση και καθορίζουν την εσωτερική γεωμετρία της φωτογραφικής μηχανής.

Χαμηλή ακτινική διαστρόφη: σφάλμα των φακών, που προκαλεί αποκλίσεις από το μοντέλο της κεντρικής προβολής.

Επιπεδότητα του φιλμ: όταν το φιλμ δεν είναι επίπεδο, προκαλεί γεωμετρικά σφάλματα, μειώνοντας έτσι την ακρίβεια.

Μεγάλο μέγεθος αρνητικού: Για ευρύτερη κάλυψη του αντικειμένου.

Διαθέτουν τη **δυνατότητα καταγραφής διαφόρων χρήσιμων πληροφοριών στη φωτογραφία**, όπως π.χ. την τιμή της σταθεράς της μηχανής, αρίθμηση κ.τ.λ.

Οι *μετρικές μηχανές* βαθμονομούνται πριν παραδοθούν στον τελικό τους χρήστη.

Η διαδικασία βαθμονόμησης οδηγεί στον ακριβή προσδιορισμό των παραμέτρων της εσωτερικής γεωμετρίας φωτογραφικής μηχανής.

Η χρήση των φωτογραφιών που προέρχονται από μια μετρική φωτογραφική μηχανή προϋποθέτει τη ψηφιοποίησή τους κειμένου να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύγχρονο ψηφιακό φωτογραμμετρικό σύστημα. Η ψηφιοποίηση είναι προτιμότερο να γίνεται απευθείας από το αρνητικό ή διαθετικό της φωτογράφησης, καθώς η εκτύπωσή τους είναι πιθανότερο να οδηγήσει σε παραμορφώσεις και σε σφάλματα.

2. Οι *ημιμετρικές μηχανές* μοιάζουν με τις κοινές φωτογραφικές μηχανές. Έχουν όμως επιπλέον γυάλινη πλάκα με ειδικά σταυρονήματα που προσδιορίζουν την εσωτερική γεωμετρία της μηχανής. Τα σημάδια αυτά ονομάζονται σημεία resau, απέχουν απόσταση 1 ή 2 cm στο αρνητικό και εμφανίζονται σε απόλυτα προσδιορισμένες θέσεις στην εκτυπωμένη φωτογραφία, το αρνητικό ή το διαθετικό. Ο φακός των ημιμετρικών φωτογραφικών μηχανών έχει σταθερές προσδιορισμένες θέσεις εστίασης για τις οποίες έχει προσδιοριστεί σχεδόν απόλυτα η εστιακή τους απόσταση. Επίσης έχει εκ των προτέρων προσδιοριστεί και η παραμόρφωση που επιφέρουν σε κάθε φωτογραφία. Οι ημιμετρικές φωτομηχανές έχουν βαθμονομηθεί πριν την πώληση τους σε ειδικά εργαστήρια της κατασκευάστριας εταιρείας ώστε να προσδιοριστούν όλες οι παράμετροι παραμορφώσεις κατά τη στιγμή της αποτύπωσης της φωτογραφικής εικόνας.

3. Στις *ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές* δεν βρίσκουμε μηχανισμό κίνησης του αρνητικού και της, ούτε όμως και σταθερής θέσης του ψηφιακού αισθητήρα. Μπορούμε όμως να έχουμε ακριβή φωτογραμμετρικά προϊόντα, αν ακολουθήσουμε κάποια διαδικασία βαθμονόμησης. Η εστιακή απόσταση που χρησιμοποιείται στις φωτογραφικές λήψεις, εφόσον είναι αμετάβλητη από λήψη σε λήψη, και με δεδομένο ότι έχουμε στη διάθεσή μας αρκετά σημεία ελέγχου

(φωτοσταθερά) , μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια ώστε να οδηγηθούμε μέσω της διαδικασίας που ονομάζεται αυτοβαθμονόμηση στον προσδιορισμό όχι μόνο της εσωτερικής γεωμετρίας της μηχανής και των παραμέτρων ακτινικής παραμόρφωσης των φακών (παραμέτροι βαθμονόμησης) αλλά και της θέσης (εξωτερικού προσανατολισμού) στο χώρο που είναι απαραίτητη για την εξαγωγή μετρήσεων από στερεοσκοπικές φωτογραφικές εικόνες ενός στερεοσκοπικού μοντέλου.



Σχήμα 2.2 : Φωτογραφία με εικονοσήματα ¹

¹ <http://www.blm.gov/nstc/library/pdf/TN428.pdf> 09/11/2013

Χαρακτηριστικά στοιχεία που κατά τη βιβλιογραφία πρέπει να έχει κάθε ψηφιακή φωτογραφική μηχανή που θα χρησιμοποιηθεί για φωτογραμμετρικούς σκοπούς είναι:

Δυνατότητα επιλογής παρμέτρων zoom, εστίασης, χρόνου έκθεσης και ανοίγματος φακού χειροκίνητα.

Ανάλυση(αριθμός pixels): Όσο μεγαλύτερη ανάλυση, τόσο το καλύτερο. Όμως η μεγάλη ανάλυση πρέπει να συνοδεύεται και από το ανάλογο CCD Chip, καθώς μικρό chip με μεγάλο αριθμό pixels οδηγεί σε μικρό μέγεθος pixel και μικρή φωτοευαισθησία.

Ζουμ(focal length range): Καθοριστικό είναι το οπτικό ζούμ και όχι το ψηφιακό, καθώς το ψηφιακό επιφέρει μεγάλη παραμόρφωση.

Εστίαση (focus): Πρέπει να παρέχεται δυνατότητα απενεργοποίησης της αυτόματης εστίασης (auto focus).

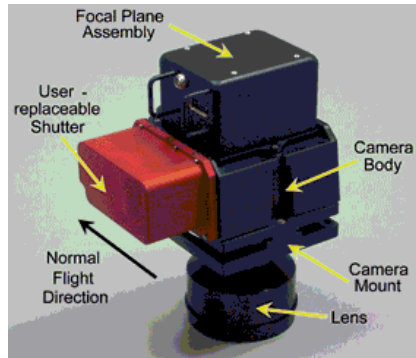
Χρόνος έκθεσης(exposure time): Ο χρόνος έκθεσης πρέπει να έχει έκταση τουλάχιστον από 1/1000 έως 1 δευτερόλεπτο.

Εστιακή απόσταση(f number): Το άνοιγμα των φακών πρέπει να είναι τουλάχιστον 1:2.8

Δυνατότητα αποθήκευσης φωτογραφιών σε συνήθεις μορφές όπως JPEG και TIFF. Ιδανικά τα αρχεία δε συμπιέζονται, για να μειωθεί η απώλεια ποιότητάς τους.

Αποθήκευση αρχείων: Όλες οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές έχουν δυνατότητα επέκτασης μνήμης. Όπως προείπαμε, το ιδανικό είναι τα αρχεία να μη συμπιέζονται. Συνεπώς όσο μεγαλύτερη η μνήμη της μηχανής, τόσο καλύτερα.

Ενεργειακή αυτονομία: Από την κοινή ψηφιακή φωτογραφική μηχανή μέχρι τις μηχανές που χρησιμοποιούνται για αεροφωτογραφίες απαραίτητη είναι η μεγάλη ενεργειακή αυτονομία, ώστε να φτάσει η αποστολή σε πέρας.



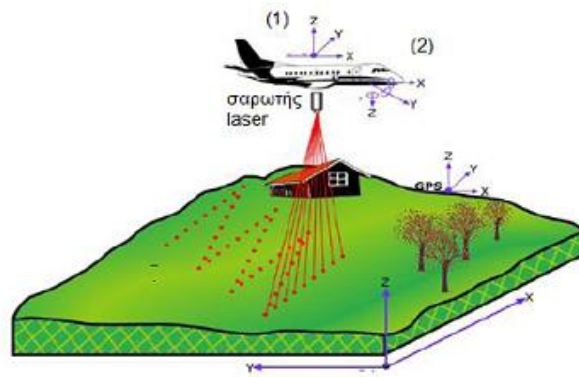
Η μαισαίου μεγέθους εναέρια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Leica RCD105 παράγει έγχρωμες εικόνες 39 Megapixel. Έχει σχεδιαστεί να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ALS scanners της ίδιας εταιρίας, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως stand-alone imager. (Source: Leica Geosystems)

Σχήμα 2.3 : Leica RCD105 medium-format airborne digital frame camera

Οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές που προτιμώνται είναι οι dSLR(digital Single Lens Reflex) μηχανές. Η επιλογή της φωτογραφικής μηχανής που θα χρησιμοποιηθεί (μετρική, ημιμετρική, ψηφιακή, αναλογική) εξαρτάται από τη χρήση της σε στερεοσκοπική ή μονοσκοπική εφαρμογή και την απαιτούμενη τελική ακρίβεια των φωτογραμμετρικών προϊόντων. Σημαντικό ρόλο παίζει η ανάλυση της ψηφιακού αισθητήρα εφόσον είναι ψηφιακή ή το μέγεθος του format αν πρόκειται για αναλογική. Η μέση κλίμακα της φωτογράφισης που συνδέεται άμεσα με την ανάλυση της φωτογραφικής εικόνας σε μονάδες εδάφους, καθορίζει την απόσταση φωτογράφισης, δηλαδή τη μέση απόσταση του αντικειμένου από το φωτογραφικό φακό. Συνήθως η κλίμακα φωτογράφισης είναι 1:200 ή μεγαλύτερη με σκοπό να δημιουργηθούν φωτογραμμετρικά προϊόντα κλίμακας 1:50 ή μεγαλύτερης. Μια προσεγγιστική σχέση που δίνει την κλίμακα της φωτογράφισης προκύπτει από το λόγο της εστιακής απόστασης προς την απόσταση του φακού από το προς μελέτη αντικείμενο ($1/H = c/H$).

Σαρωτές Laser

Πρόκειται για ένα ενεργητικό σύστημα απόκτησης δεδομένων. Ο αισθητήρας εκπέμπει μια δέσμη laser προς την επιθυμητή επιφάνεια και στη συνέχεια λαμβάνει την ανάκλαση σε συνάρτηση με το χρόνο. Οι σαρωτές laser αποτυπώνουν ένα κωνοειδές πεδίο με κορυφή το κέντρο του φακού. Κυρίως χρησιμοποιούνται σε εναέρια σαρώσεις.



Σχήμα 2.4 : Αρχή λειτουργίας εναέριου σαρωτή ¹

Σαρωτές αναλογικών φωτογραφιών (scanners)

Οι σαρωτές αναλογικών φωτογραφιών είναι τα γνωστά σε όλους μας scanners. Πρόκειται για συσκευές που εκπέμπουν προκαθορισμένη ποσότητα φωτός και μετρούν την ποσότητα του ανακλώμενου φωτός, την οποία και μετατρέπουν σε ψηφιακό σήμα. Οι σαρωτές που χρησιμοποιούνται στην φωτογραμμετρία μπορεί να είναι ειδικού σκοπού ή και οικιακοί, ανάλογα με το αντικείμενο σάρωσης και τη φύση της εργασίας. Πρόκειται για συσκευές μείζονος σημασίας, καθώς είναι αυτές που μας έδωσαν τη δυνατότητα να ψηφιοποιήσουμε παλαιότερες μορφές ήδη συλλεγμένων δεδομένων.

¹ ΣΤΑΥΡΟΣ ΒΑΒΙΑΣ (2011). 'ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ' ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Μέγιστο μέγεθος επιφάνεια
σάρωσης : 42 inches(106 cm)

Originals : Mechanical drawing
map,Engineering desing
map,File,Photo,Blueprint,Poster,etc.

Ανάλυση : έως και 2400 dpi(gloss
424dpi)

Ταχύτητα σάρωσης : Έγχρωμη(3.8
cm/sec), Ασπρόμαυρη(7.6cm/sec)

Μορφοποίηση σάρωσης: PDF,
TIFF, JPEG, CALSG4

Σχήμα 2.5 : Scanner HP DesignJet 4200

Αισθητήρες - Τηλεπισκόπηση

"Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) είναι η τέχνη, η επιστήμη, και η τεχνολογία λήψης αξιόπιστων πληροφοριών, από την απόκτηση εικόνων χωρίς την άμεση επαφή με τον στόχο και από δεδομένα προερχόμενα από άλλα συστήματα αισθητήρων, για τη Γη και το περιβάλλον της, και άλλα φυσικά αντικείμενα και διαδικασίες μέσω της καταγραφής, της μέτρησης, της ανάλυσης και της παρουσίασης" (ISPRS).¹

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούμε εκτενέστερα στα τηλεσκοπικά συστήματα, καθώς πρόκειται για νεότερα συστήματα. Σκοπός της αναφοράς αυτής είναι η καλύτερη και ευκολότερη κατανόηση της χρήσης και της κατηγοριοποίησης των οργάνων συλλογής δεδομένων

¹ <http://www.isprs.org/>, 09/11/2013

Τηλεπισκοπικοί Ανιχνευτές (αισθητήρες)

Κατηγοριοποιούμε τους τηλεσκοπικούς αισθητήρες με 2 κριτήρια. Το πρώτο είναι η προέλευση της ακτινοβολίας και το δεύτερο το ο αριθμός των καναλιών που ανιχνεύουν και το φασματικό εύρος αυτών.

Έτσι, ανάλογα με την προέλευση της ακτινοβολίας, έχουμε τους παθητικούς και τους ενεργητικούς τηλεσκοπικούς αισθητήρες (αισθητήρες, ανιχνευτές, δέκτες ή σαρωτές όπως συναντώνται στη βιβλιογραφία)

Οι παθητικοί τηλεπισκοπικοί ανιχνευτές έχουν συνήθως ως πηγή τον ήλιο και καταγράφουν την ακτινοβολία που ανακλάται στο υπό μελέτη αντικείμενο. Παραθέτουμε ως παραδείγματα παθητικών τηλεπισκοπικών συστημάτων τους αισθητήρες που μεταφέρονται από τους δορυφόρους Landsat και SPOT.¹

Οι ενεργητικοί τηλεπισκοπικοί ανιχνευτές εμπεριέχουν την δική τους τεχνητή πηγή ενέργειας. Η πηγή αυτή ενέργειας εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια σε ορισμένα - προκαθορισμένα μήκη κύματος. Καθώς, λοιπόν, η τεχνητή πηγή ενέργειας εκπέμπει προς το υπό μελέτη αντικείμενο ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ορισμένων μηκών κύματος, ο αισθητήρας καταγράφει την ανακλώμενη σε αυτό ακτινοβολία. Παραδείγματα ενεργητικών τηλεσκοπικών συστημάτων είναι τα SLAR (Side Looking Airborne Radar) και τα SAR (Synthetic Aperture Radar).¹

Ακολουθως, ανάλογα με τον αριθμό των καναλιών που ανιχνεύουν και σε ποιό φασματικό εύρος, κατά τη διαδυσκτιακή πηγή 24 (wikipedia.org) διακρίνονται σε μονοφασματικούς, παγχρωματικού, πολυφασματικούς και υπερφασματικούς.

Μονοφασματικοί ονομάζονται οι ανιχνευτές που καταγράφουν σε μία μόνον φασματική ζώνη και μπορεί να ανιχνεύει τη φασματική αντανάκλαση σε ένα μικρό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου ή σε μία ευρύτερη περιοχή.²

Παγχρωματικοί ονομάζονται οι μονοχρωματικοί ανιχνευτές που καταγράφουν σε ολόκληρο το ορατό τμήμα και στο εγγύς υπέρυθρο.²

¹ ΣΤΑΥΡΟΣ ΒΑΒΙΑΣ (2011). 'ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ' ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

² <https://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεπισκόπηση>, 02/01/2014

Πολυφασματικοί είναι οι ανιχνευτές που καταγράφουν δεδομένα σε περισσότερες από μία φασματικές ζώνες.¹

Τέλος, Υπερφασματικοί καλούνται οι ανιχνευτές που καταγράφουν την αντανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε πολλές φασματικές ζώνες στενού εύρους.¹

Λειτουργία Τηλεπισκοπικών Συστημάτων

Όπως έχουμε ήδη επισημάνει, η παρουσία πηγής ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας αποτελεί θεμέλιο για τη λειτουργία των τηλεπισκοπικών συστημάτων. Η πιο γνωστή μας πηγή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας είναι ο ήλιος. Η πηγή όμως, όπως προαναφέραμε, μπορεί να είναι και τεχνητή. Κατά τη διαδρομή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας προς το αντικείμενο υπό μελέτη η ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την ατμόσφαιρα και απορροφάται, διαχέεται και σκεδάζεται. Όταν η ακτινοβολία φτάσει το υπό μελέτη αντικείμενο, προσπίπτει στην επιφάνειά του και αναλόγως της φύσεως του αντικειμένου μέρος αυτής απορροφάται και το υπόλοιπο ανακλάται, εκπέμπεται, μεταβιβάζεται, είτε σκεδάζεται. Τη στιγμή αυτή οι αισθητήρες καλούνται να καταγράψουν τόσο την εκπεμπόμενη όσο και την ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Οι καταγεγραμμένες μετρήσεις της μεταδίδονται σε ένα σταθμό λήψης και επεξεργασίας των συλλεγόμενων πληροφοριών. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας έχει την μορφή εικόνας. (Βαβίας 2011)²

Κατηγοριοποίηση οργάνων συλλογής δεδομένων Τηλεσκοπικών Συστημάτων

α. Ηλεκτροπτικοί αισθητήρες

Οι ηλεκτροπτικοί αισθητήρες (electro – optical sensors) μετασχηματίζουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης σε ηλεκτρικό και κατόπιν οπτικό σήμα. Χρησιμοποιούν ανιχνευτές για να μετατρέπουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε ανιχνεύσιμα ηλεκτρικά σήματα - όπως π.χ ηλεκτρόνια - ώστε να μεταφέρουν πληροφορίες για την υπό καταγραφή εικόνα. Ο ανιχνευτής καταγράφει μόνο την εισερχόμενη ακτινοβολία και τη μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα.

¹ <https://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεπισκόπηση>, 02/01/2014

² ΣΤΑΥΡΟΣ ΒΑΒΙΑΣ (2011). 'ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ' ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Το ηλεκτρικό σήμα αργότερα κβαντοποιείται για να είναι δυνατή η καταγραφή του σε ψηφιακά μέσα. Η

καταγραφή και η δειγματοληψία είναι δυνατές αφού το ηλεκτρικό σήμα έχει μεταδοθεί και καταγραφεί σε κάποιο σταθμό λήψης στη γη. (Βαβίας 2011, Μερτίκας 1999)^{1,2}

Οι ανιχνευτές ακτινοβολίας διακρίνονται σε (Βαβίας 2011, Μερτίκας 1999)^{1,2} :

- **Θερμικούς ανιχνευτές.** Οι θερμικοί ανιχνευτές χρησιμοποιούν θερμοευαίσθητο υλικό. Καθώς το υλικό αυτό του οποίου η θερμοκρασία αυξάνει, καθώς αυτό απορροφά ακτινοβολία. Η μεταβολή της θερμοκρασίας του υλικού οδηγεί σε αντίστοιχη (ανάλογη) μεταβολής της ηλεκτρικής του αντίστασης.

- **Ανιχνευτές φωτονίων.** Τα φωτόνια που περιέχονται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διεγείρουν τα ηλεκτρόνια στην επιφάνειά του ανιχνευτή, καθώς προσπίπτουν σε αυτόν. Τα ηλεκτρόνια της επιφάνειάς του ανιχνευτή μεταπηδούν από το ένα επίπεδο ενέργειας τους σε κάποιο άλλο εντός του κρυστάλλου του υλικού του ανιχνευτή. Η διαδικασία αυτή είναι γρήγορη. Η απόκριση του ανιχνευτή φωτονίων είναι ανάλογη με τον αριθμό των μεταπτώσεων των ηλεκτρονίων οι οποίες λαμβάνουν χώρα ανά μονάδα ενέργειας εισερχόμενης ακτινοβολίας.

β. Εικονοληπτικά συστήματα

Στην τηλεπισκόπηση τρεις είναι οι τύποι συστημάτων καταγραφών (ανιχνευτών) που χρησιμοποιούνται (Βαβίας 2011, Μερτίκας 1999)^{1,2} :

- **Συστήματα σάρωσης γραμμών,** καταγράφουν την ακτινοβολία που ανακλάται από την επιφάνεια της γης. Για να επιτύχουν την ανάκλαση της ακτινοβολίας, χρησιμοποιούν ένα ταλαντευμένο ή περιστρεφόμενο επίπεδο κάτοπτρο.
- **Συστήματα διανυσματικής καταγραφής,** καταγράφουν την ακτινοβολία από τη γη μέσω μιας σειράς ανιχνευτών.
- **Σύστημα κεραιών,** που είναι ειδικά σχεδιασμένα για τη ζώνη των μικροκυμάτων και μπορεί να είναι πραγματικού ανοίγματος (RAR) ή συνθετικού ανοίγματος (SAR).

¹ ΣΤΑΥΡΟΣ ΒΑΒΙΑΣ (2011). 'ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ' ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

² Στέλιος Π. Μερτίκας (1999). 'Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή ανάλυση εικόνας', Εκδόσεις Ίων

2.2.2 Όργανα Επεξεργασίας Δεδομένων

Σταθμοί Εργασίας:

Οι ψηφιακοί σταθμοί επεξεργασίας αποτελούνται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, εξοπλισμένο φυσικά με το κατάλληλο λογισμικό και εργαλεία, και το σύστημα απεικόνισης (οθόνες) υψηλής ανάλυσης (1200×1600 και άνω).

H/Y ψηφιακού σταθμού επεξεργασίας (softcopy photogrammetric workstation)

Λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας, ικανοί να επεξεργαστούν δεδομένα για φωτογραμμετρία είναι και οι κοινοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, καθώς είναι εξοπλισμένοι με ισχυρούς επεξεργαστές και ισχυρές κάρτες γραφικών, έχουν τη δυνατότητα επέκτασης μνήμης RAM και της αποθηκευτικής τους ισχύος, δυνατότητα σύνδεσης σε δίκτυο και σύνδεσης με όλες της άλλες συσκευές που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της φωτογραμμετρίας. Φυσικά απαραίτητη είναι η παρουσία συσκευών προβολής (οθόνες), ενώ σε κάποια συστήματα απαραίτητη κρίνεται κ η παρουσία συσκευής στερεοσκοπικής παρατήρησης (συνήθως γυαλιά που επιτρέπουν στο χρήστη να βλέπει στη οθόνη του H/Y τρισδιάστατα) σε συνδυασμό με τρισδιάστατο ποντίκι.

Όσον αφορά το λογισμικό υπάρχουν τα λογισμικά που εκτελούν διάφορες εργασίες, αλλά είναι ικανά να φέρουν σε πέρας και τις διαδικασίες, με τον κατάλληλο προγραμματισμό (πχ MatLAB) και τα φωτογραμμετρικά λογισμικά (αυτά που κατασκευάστηκαν για το σκοπό αυτό), τα οποία είναι ευκολότερα στη χρήση, δε χρειάζονται προγραμματισμό και πολλές φορές είναι μέρος ενός αυτοματοποιημένου φωτογραμμετρικού συστήματος.

Οι ψηφιακοί σταθμοί επεξεργασίας εκτελούν συνήθως αυτόματα τις κύριες φωτογραμμετρικές διαδικασίες, όπως αεροτριγωνισμό, τον εσωτερικό και εξωτερικό προσανατολισμό της εικόνας, την παραγωγή ορθοφωτογραφιών και ορθοφωτογραφικών μωσαϊκών).

Κύρια πλεονεκτήματα των νεότερων ψηφιακών σταθμών εργασίας είναι η ικανότητά τους να επεξεργάζονται αρχεία διαφόρων ειδών (format), η ευελιξία στην παραμετροποίησή τους (εύκολα αλλάζουν οι παράμετροι του συστήματος), η αποδοτικότητά τους, η ευελιξία στην φυσική παρουσία τους (ευκολία εγκατάστασης και μεταφοράς) και το κόστος τους, που

μειώνεται σημαντικά σε σχέση με σταθμούς εργασίας προηγούμενων περιόδων, κυρίως λόγω του εξαιρετικά μικρού αριθμού υλικού (hardware) που πλέον απαιτείται.



Ψηφιακός φωτογραμμετρικός σταθμός που χρησιμοποιεί το λογισμικό VrTwo σε συνδιασμό με στερεοσκοπικά γυαλιά και τρισδιάστατο ποντίκι [https://www.cardinalsystems1.net/vrtwo , 05/12/2013]



Ψηφιακός φωτογραμμετρικός σταθμός της εταιρίας Courtesy LH Systems, Inc., San Diego [T. Schenk, 2005]

Σχήμα 2.6 : Ψηφιακοί φωτογραμμετρικοί σταθμοί

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

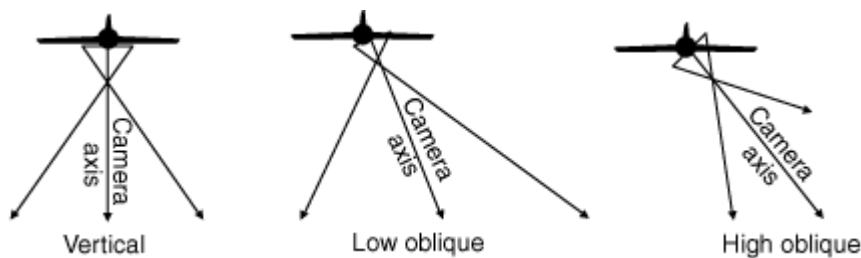
Ιδιότητες των Αεροφωτογραφιών

3.1 Κατηγοριοποίηση Αεροφωτογραφιών

Οι αεροφωτογραφίες συνήθως κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη γωνία λήψης, την εστιακή απόσταση (focal length) της φωτογραφικής μηχανής και τον τύπο του γαλακτώματος (emulsions type).¹

3.1.1 Κατηγοριοποίηση Αεροφωτογραφιών, ανάλογα με τη γωνία λήψης

Όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 1, η φωτογραμμετρία, ανάλογα με το κριτήριο που θέτουμε μπορεί να χωριστεί σε διαφορετικά μέρη. Τα μέρη αυτά όμως έχουν και διαφορετικές μεταξύ τους προσεγγίσεις. Στο κεφάλαιο αυτό θα παραθέσουμε μεταξύ άλλων και τη μαθηματική ανάλυση των εσωτερικών προσανατολισμών (προσανατολισμός της φωτογραφίας) που απαιτούνται για την απόκτηση των εσωτερικών συντεταγμένων (συντεταγμένες στο επίπεδο των εικόνων).



Σχήμα 3.1 : Κάθετη και μη κάθετες λήψεις²

¹ T. Schenk (2005). 'Introduction to Photogrammetry'

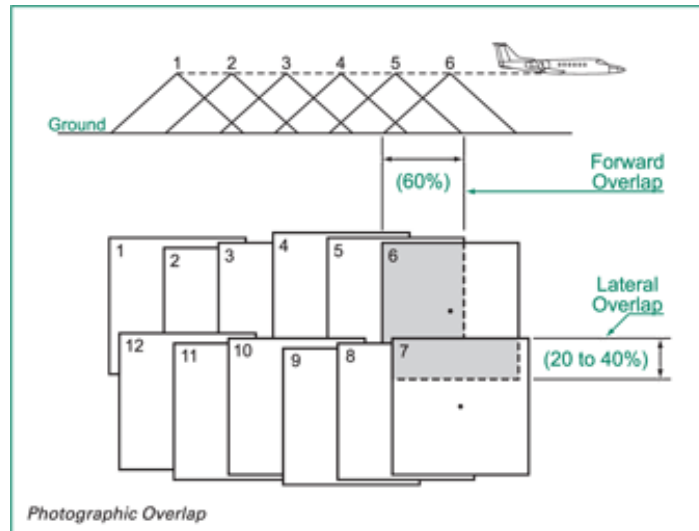
² Διαδικτυακή πηγή 20

https://www.google.gr/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fi.pinimg.com%2Foriginals%2F27%2Fd5%2Fbe%2F27d5be543894dc071f967c1a2ea96ab0.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.pinterest.com%2Fpin%2F621285711064218747%2F&docid=6wsmE4J1cOI-jM&tbnid=PujQCL-UkHLABM%3A&vet=1&w=400&h=267&bih=717&biw=1058&ved=0ahUKEwjnv6DcvNLbAhVEYVAKHU1uD_MQMwhEKAowCg&iact=c&ictx=1, 06/06/2018

Βασικές έννοιες της εναέριας φωτογραμμετρίας είναι η επικάλυψη φωτογραφιών και γραμμή πτήσης.

Ως επικάλυψη, στη στερεοσκοπική φωτογραμμετρία, ορίζεται η κάλυψη μιας περιοχής από δύο φωτογραφίες. Οι φωτογραφίες που περιέχουν την ίδια περιοχή ονομάζονται στερεοζεύγος.

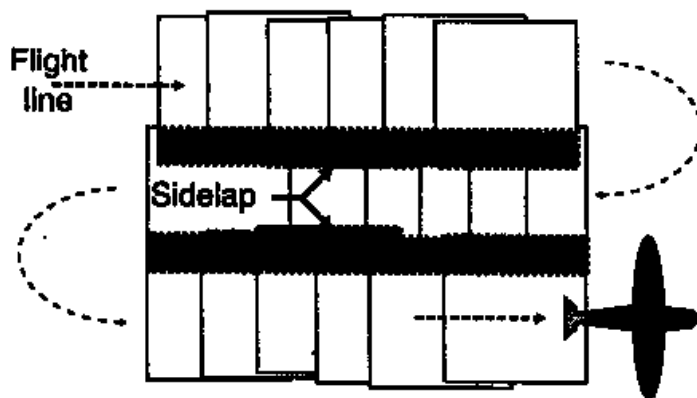
Κάθε φωτογραφία ανήκει σε δύο ή περισσότερα στερεοζεύγη. Επικρατέστερη μέθοδος απόκτησης φωτογραφιών είναι αυτή που χρησιμοποιεί πρόσθια επικάλυψη του στερεοζεύγους (overlapping) 60%, και πλευρική επικάλυψη 30%. Η επικάλυψη των φωτογραφιών είναι βασική προϋπόθεση στην εναέρια φωτογραμμετρία, γιατί επιτρέπει τη σύνθεση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Elevation Model).



Σχήμα 3.2 : Επεξήγηση τρόπου επικάλυψης φωτογραφιών ¹

Για να επιτευχθεί η επιθυμητή επικάλυψη, κατά το σχεδιασμό της φωτογραμμετρικής εργασίας, επιλέγεται η κατάλληλη γραμμή πτήσης. Ως γραμμή πτήσης ορίζεται η διαδρομ'ξ που ακολουθεί το αεροπλάνο κατά τη διάρκεια λήψης φωτογραφιών. Οι φωτογραφίες συνήθως τραβούνται με κατεύθυνση από το Βορά προς το Νότο ή από την Ανατολή προς τη Δύση και το αεροπλάνο ίπταται σε παράλληλες μεταξύ τους γραμμές.

¹ <https://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/air-photos/about-aerial-photography/9687>, 06/06/2018



Σχήμα 3.3 :Οι φωτογραφίες συνήθως τραβιούνται με κατεύθυνση από το Βορά προς το Νότο ή από την Ανατολή προς τη Δύση σε παράλληλες γραμμές πτήσης.¹

3.1.2 Κατηγοριοποίηση Αεροφωτογραφιών, ανάλογα με τη γωνιακή κάλυψη

Η γωνιακή κάλυψη είναι συνάρτηση της εστιακής απόστασης και του μεγέθους της φωτογραφίας. Η γωνιακή κάλυψη εξαρτάται μόνον από το την εστιακή απόσταση της μηχανής, αν λάβουμε υπ'όψην ότι το μέγεθος της φωτογραφίας είναι συνήθως σταθερό σε ένα πρότζεκτ. <<Το πλέον χρησιμοποιούμενο μέγεθος είναι 9" x 9">> (T. Schenk, 2005, <http://www.fao.org/docrep/003/t0390e/T0390E08.htm>). Πρότυπες εστιακές αποστάσεις με τις αντίστοιχες γωνιακές καλύψεις, βάσει των άνω παραδοχών, δίνονται στον πίνακα 3.1

Πίνακας 3.1: Πρότυπες εστιακές αποστάσεις με τις αντίστοιχες γωνιακές καλύψεις [T. Schenk, 2005]²

Τύπος φωτογραφίας	Πολύ αμβλείας γωνίας	Αμβλείας γωνίας	Μεσαίας γωνίας	Κανονικής γωνίας	Οξείας γωνίας
focal length(mm)	85	157	210	305	610
Γωνιακή κάλυψη (°)	119	82	64	46	24

¹ Διαδικτυακή πηγή 10. <http://hosting.soonet.ca/eliris/remotesensing/bl130lec4.html> , 07/06/2018

² T. Schenk (2005). 'Introduction to Photogrammetry'

3.1.3 Κατηγοριοποίηση Φωτογραμμετρίας, ανάλογα με τον τύπο γαλακτώματος

Οι φωτογραφίες σύμφωνα με τον T. Schenk, 2005 χωρίζονται, ανάλογα με την ευαισθησία του γαλακτώματος σε

πανοραμικές ασπρόμαυρες : ευρέως χρησιμοποιούμενες στη φωτογραμμετρία με σκοπό την παραγωγή χαρτών

έγχρωμες : αυξάνει συνεχώς η χρήση τους για εφαρμογές χαρτογράφησης

υπέρυθρες : χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές όπου οι καιρικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές για αποστολές χαρτογράφησης

ψευδοχρωματικές : ιδιαίτερα χρήσιμες για ερμηνεία, κυρίως σε νόσους καλλιεργειών και τη ρύπανση των υδάτων

3.2 Γεωμετρικές Ιδιότητες Αεροφωτογραφιών

Αρχικά θα παραθέσουμε μια διαφάνεια κεκλιμένης φωτογραφίας για να ορίσουμε όλα τα απαραίτητα μεγέθη, καθώς στις κάθετες διαφάνειες που θα χρησιμοποιηθούν για την επεξήγηση της κεντρικής προβολής δεν φαίνονται όλα τα μεγέθη.

Στη συνέχεια θα εξηγήσουμε τί είναι κεντρική προβολή, καθώς επίσης και κάποιες ιδιότητες αυτής που μας είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στη φωτογραμμετρία.

Οι παρατιθέμενες γεωμετρικές ιδιότητες ισχύουν για μία και μόνο φωτογραφία και με την υιοθέτηση του μοντέλου Κεντρικής Προβολής (Pinhole Camera).

3.2.1 Ορισμοί Μεγεθών

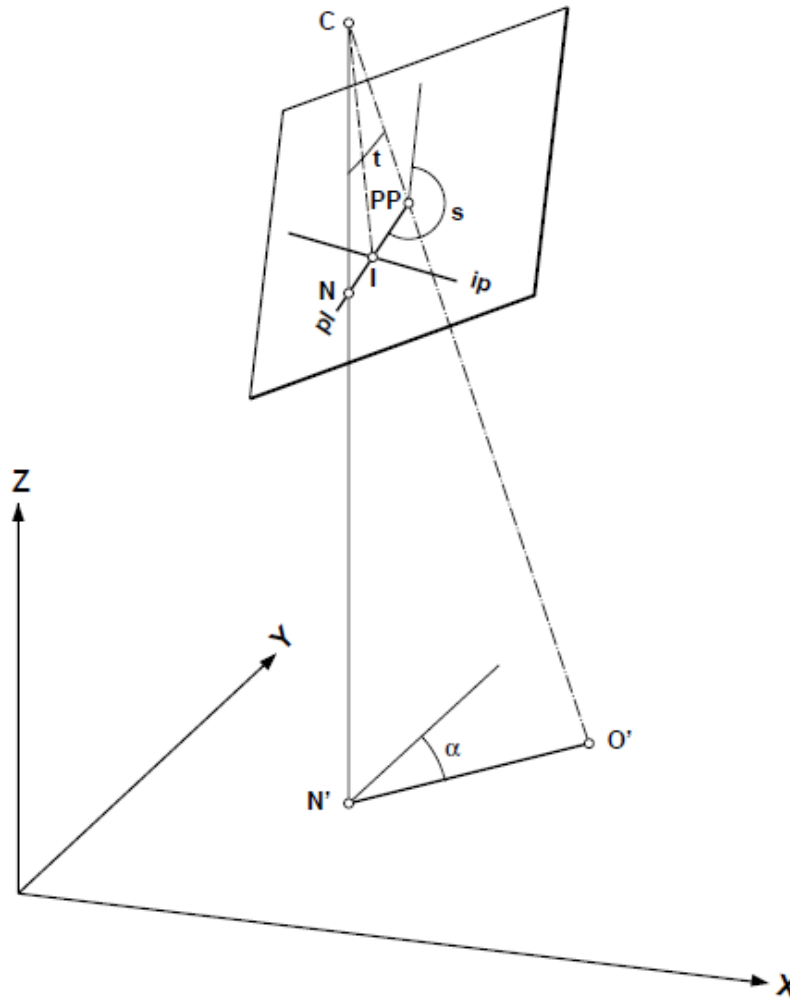
Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται η διαφάνεια μιας κεκλιμένης αεροφωτογραφίας.

Οι ορισμοί των μεγεθών δίνονται κατά [T. Schenk 2005].

C : βαθμονομημένο κέντρο προοπτικής

εστιακή απόσταση c : βαθμονομημένη εστιακή απόσταση.

κύριο σημείο PP : κύριο σημείο αυτοευθυγράμμισης



Σχήμα 3.4 : Διαφάνεια κεκλιμένης αεροφωτογραφίας σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων του εδάφους (XYZ).¹

άξονας κάμερας C-PP : άξονας που ορίζεται από το βαθμονομημένο κέντρο προοπτικής C και το κύριο σημείο PP. Ο άξονας της κάμερας αντιπροσωπεύει τον οπτικό άξονα. και είναι κάθετος στο επίπεδο της εικόνας

σημείο ναδίρ N : ονομάζεται επίσης και σημείο Ναδίρ της φωτογραφίας. Είναι η τομή της κάθετης γραμμής από το κέντρο προοπτικής με τη φωτογραφία

επίγειο σημείο ναδίρ N' : τομή της κάθετης γραμμής από το κέντρο προοπτικής με την επιφάνεια της γης

¹ T. Schenk (2005). 'Introduction to Photogrammetry'

γωνία κλίσης t : γωνία μεταξύ του κάθετου άξονα και του άξονα της μηχανής

κύρια γραμμή (principal line) pl : τομή του επιπέδου που ορίζεται από τον κατακόρυφο μέσω του κέντρου προοπτική και τον άξονα της κάμερας με την φωτογραφία. Τόσο το ναδίρ N και το κύριο σημείο PP είναι στην κύρια γραμμή

ισόκεντρο I : η τομή της διαχωρηστικής γραμμής της γωνίας t με τη φωτογραφία και είναι πάνω στην κύρια γραμμή

ισομετρική παράλληλος ip : είναι στο επίπεδο της φωτογραφίας και είναι κάθετος προς την κύρια γραμμή στο ισόκεντρο

πραγματική γραμμή του ορίζοντα : τομή του οριζόντιου επιπέδου με φωτογραφία ή την παράτασή της που διέρχεται από το κέντρο προοπτικής. Η γραμμή του ορίζοντα εμπίπτει στην έκταση της φωτογραφίας μόνο στις low oblique φωτογραφίες

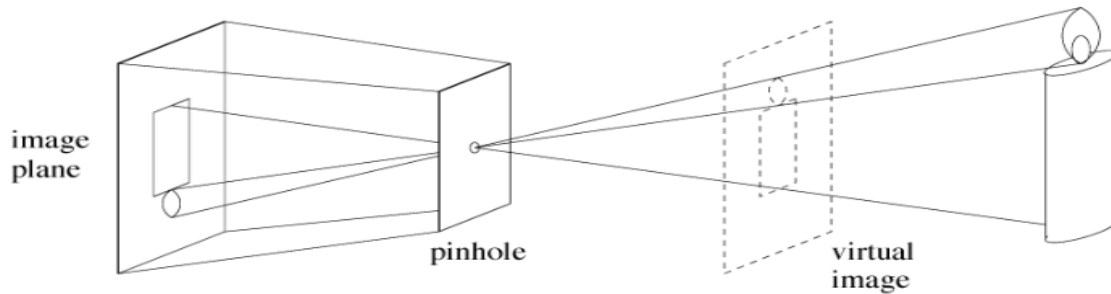
σημείο ορίζοντα : η τομή κύριας γραμμής (principal line) με τον ορίζοντα.

3.2.2 Κεντρική Προβολή

"Κεντρική προβολή είναι η προβολή του τρισδιάστατου χώρου σε άλλον τρισδιάστατο χώρο μέσω ευθειών που διέρχονται από το κέντρο προβολής." [Έλλη Πέτσα 2000]¹

Το μοντέλο της κεντρικής προβολής στηρίζεται στην θεωρία της pinhole camera. Pinhole camera θεωρούμε είτε έναν σκοτεινό θάλαμο που στη μία μεριά του έχει μία απειροελάχιστη οπή, είτε μία φωτογραφική μηχανή που το άνοιγμα κλείστρου είναι ίσο με το κεφάλι μίας καρφίτσας. Από το κενό (οπή στην μία περίπτωση και άνοιγμα κλείστρου στη δεύτερη) περνάνε οι ακτίνες φωτός και προσπίπτοντας στην εσωτερική επιφάνεια (φωτοευαίσθητη επιφάνεια στην περίπτωση της φωτογραφικής μηχανής) σχηματίζουν την κεντρική προβολή της υπό μελέτη σκηνής. Στην ουσία την υπό μελέτη σκηνή ανεστραμμένη και στην περίπτωση των φωτογραφικών μηχανών μικρότερη.

¹ Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας'



Σχήμα 3.5 : Κεντρική προβολή αντικειμένου στο μοντέλο της κάμερας στοιχειώδους οπής (Pinhole camera) ¹

Το μοντέλο της κεντρικής προβολής επιλέγεται στη φωτογραμμετρία, για διευκόλυνση, καθώς είναι εύκολο με αυτό να περιγραφούν οι ιδιότητες και οι μαθηματικές σχέσεις που διέπουν της φωτογραφίες.

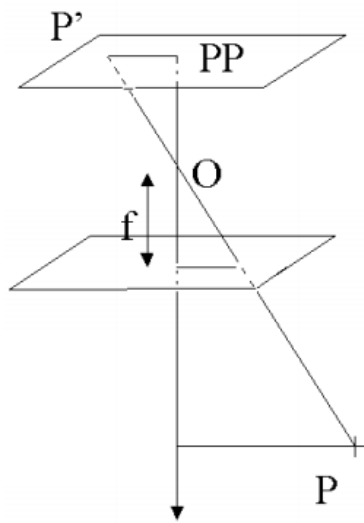
Στην πραγματικότητα όμως, καθώς η τρύπα στην Pinhole camera πρέπει να είναι πάρα πολύ μικρή, για να θεωρήσουμε πως είναι σημείο και για να παράγουμε sharp images, δεν περνάει από αυτήν αρκετό φως ώστε να αποτυπωθεί η σκηνή, να παραχθεί η φωτογραφία. Το πρόβλημα αυτό λύνεται με το μέγιστο του ανοίγματος του κλείστρου και την τοποθέτηση φακών, υπεισέρχονται όμως έτσι στη διαδικασία σφάλματα και παραμορφώσεις, για τα οποία θα μιλήσουμε στις επόμενες παραγράφους.

3.2.2.1 Βασικές έννοιες

Στο σχήμα 3.6 ορίζουμε γραφικά τα σημεία κέντρο προβολής, κέντρο φωτογραφίας, καθώς και την προβολή του σημείου P του πραγματικού χώρου στη φωτογραφία για μία και μόνον φωτογραφία.

¹ Διαδικτυακή πηγή 13

http://vision.psych.umn.edu/users/schrater/schrater_lab/courses/CompVis07/Papers/Lec02CamModels.pdf
06/06/0218



O : κέντρο προβολής (θέση κάμερας)

PP : το κεντρικό σημείο της φωτογραφίας με εσωτερικές συντεταγμένες $x=y=0$

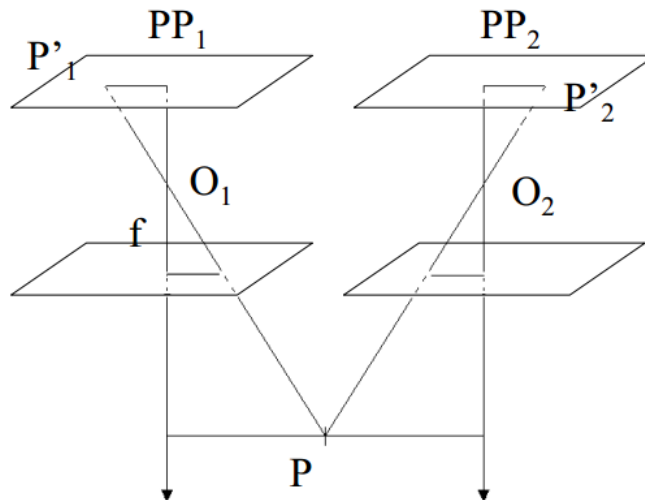
f : εστιακή απόσταση

P : σημείο στο χώρο

P' : το σημείο P στη φωτογραφία

Σχήμα 3.6 : Κεντρική προβολή σημείου του πραγματικού χώρου P (κάθετη λήψη)

Γνωρίζοντας την ακριβή θέση της φωτογραφικής μηχανής, τον προσανατολισμό της φωτογραφίας σε σχέση με κάποιο σύστημα συντεταγμένων και την απόσταση $PP - P'$, η το σημείο P είναι μοναδικό. Δεν έχουμε όμως τρόπο να προσδιορίσουμε το σημείο P ακριβώς, εκτός αν υπάρξει μια άλλη τέμνουσα στο σημείο P με την $PP - P'$ γραμμή.



Σχήμα 3.7 : κεντρικές προβολές σημείου σε στερεοσκοπικό ζεύγος φωτογραφιών. Οπτικοποίηση της αρχής της στερεοσκοπικής φωτογραμμετρίας

Η θέση του σημείου P ορίζεται μοναδικά από την τομή των γραμμών P'_1O_1 και P'_2O_2 .

Η γραμμή P'_2O_2 προέρχεται από μία δεύτερη φωτογραφία. Οι φωτογραφίες που περιέχουν προβολές του ίδιου σημείου αποτελούν ένα στερεοσκοπικό ζεύγος (ή στερεο-ζεύγος).

3.2.2.2 Βασικές ιδιότητες της κεντρικής προβολής

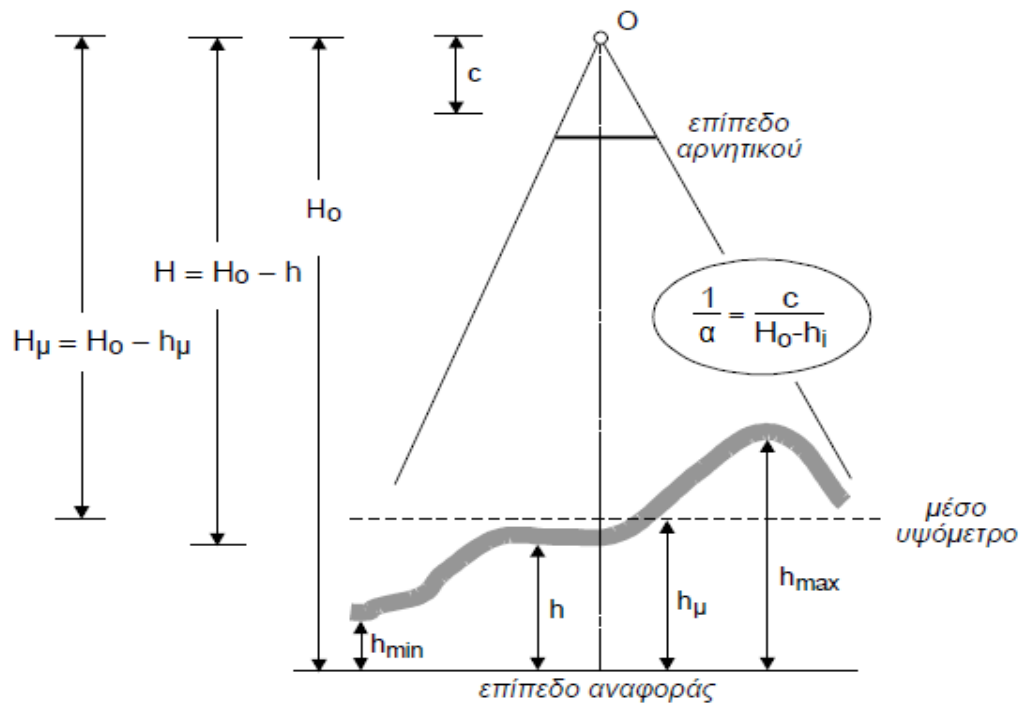
Η κεντρική προβολή έχει κάποιες ιδιότητες - χαρακτηριστικά που έχουν ιδιαίτερη σημασία στη φωτογραμμετρία. Σε αυτά τα χαρακτηριστικά στηρίζεται η μαθηματική θεωρία της φωτογραμμετρίας.

α. Μεταβλητή κλίμακα

Η σημαντικότερη ιδιότητα μιας φωτογραφίας, προϊόντος κεντρικής προβολής, είναι η μεταβλητή κλίμακα. Μεταβλητή, διότι η κλίμακα της εικόνας δεν είναι ακριβώς ίδια σε όλα τα σημεία της. Σε κάποιες περιπτώσεις οι διαφορές από σημείο σε σημείο είναι μεγάλες. Στην περίπτωση της εναέριας λήψης (αεροφωτογραφίες), συνήθως οι διακυμάνσεις αυτές είναι αμελητέες διότι είναι μικρές σε σχέση με το ύψος πτήσης. [Έλλη Πέτσα 2000, T. Schenk 2005, Περάκης- Φαρασλής- Μουσιάδης,2015] ¹

Στο Σχ. 3.8 παρουσιάζεται η βασική σχέση που εκφράζει την φωτογραφική κλίμακα.

¹ Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας', T. Schenk (2005). 'Introduction to Photogrammetry', Κωνσταντίνος Γ. Περάκης, Ιωάννης Ν. Φαρασλής, Αθανάσιος Κ. Μουσιάδης (2015). 'Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες'



Σχήμα 3.8 : Εκφράσεις της κλίμακας της εικόνας ¹

Η κλίμακα της εικόνας εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες: [Έλλη Πέτσα 2000] ¹

- την απόσταση H_0 του φακού O από το επίπεδο αναφοράς. Στην περίπτωση της εναέριας φωτογραμμετρίας ισοδυναμεί με το υψόμετρο πτήσης
- το ανάγλυφο της περιοχής
- η διαφορά των δύο προαναφερθεισών τιμών ονομάζεται απόσταση λήψης H και εκφράζει την απόσταση φακού-αντικειμένου. Στην περίπτωση της λήψης αεροφωτογραφιών και μόνον, λέγεται επίσης και ύψος πτήσης από το έδαφος ή απλώς ύψος πτήσης.
- το είδος του φακού, καθώς η κλίμακα της εικόνας ($1/\alpha$) επηρεάζεται από την σταθερά c της μηχανής
- από την κλίση του άξονα της μηχανής (κλίση της εικόνας) ως προς τον άξονα Z . Η απλή εξίσωση του Σχ. 3.8 ισχύει μόνο για κατακόρυφες λήψεις.

Καθώς η κλίμακα της εικόνας εξαρτάται από το υψόμετρο του εκάστοτε σημείου του εδάφους, το οποίο είναι διαφορετικό από σημείο σε σημείο, στη φωτογραμμετρία συνήθως χρησιμοποιούμε τη σημειακή κλίμακα.

¹ Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας'

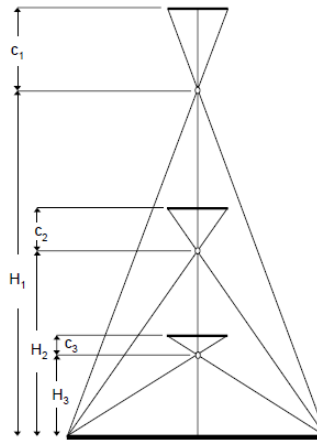
Στην περίπτωση όμως που η σημειακή κλίμακα έχει αμελητέες διακυμάνσεις χρησιμοποιούμε τη μέση κλίμακα.

Έτσι για κάθε σημείο i η κλίμακά του είναι $1:\alpha_i$ (σημειακή κλίμακα), όπου: [Έλλη Πέτσα 2000]

1

$$\frac{1}{\alpha_i} = \frac{c}{H_0 - h_i} = \frac{c}{H_i} \quad [3.1]$$

Τέλος, σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι ίδια μέση κλίμακα μπορεί να προκύψει με διαφορετικούς συνδυασμούς ύψους πτήσης και φακού, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.9 [Μουντράκης Γιώργος 1998, Έλλη Πέτσα 2000] ^{1, 2}



Σχήμα 3.9 Ίδια κλίμακα εικόνας από διαφορετικά ύψη πτήσης ²

¹ Μουντράκης Γιώργος (1998). 'Προσδιορισμός και διόρθωση της ακτινικής διαστρόφης υπερευρυγώνιων φακών από λήψεις ευθειογενών αντικειμένων'

² Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας'

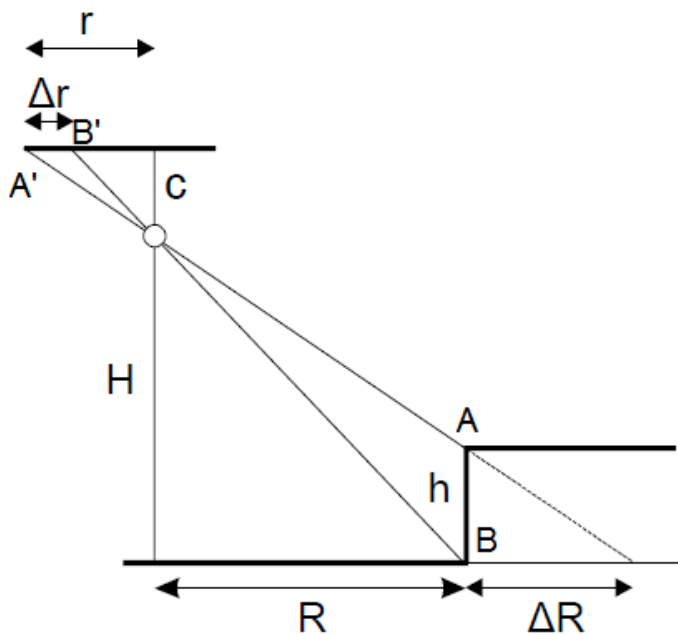
β. Εκτροπή λόγω ανάγλυφου (ακτινική διαστρόφη)

Εκτροπή λόγω ανάγλυφου ονομάζεται η καταγραφή στοιχείων και των τριών διαστάσεων του χώρου στην εικόνα και είναι άμεση συνέπεια της μεταβλητής κλίμακας^{1,2}.

Για καλύτερη κατανόηση, φανταστείτε ένα κτήριο και δύο σημεία A, B, το ένα στην κορυφή του κτηρίου και το άλλο στη βάση, που βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφο. Τα δύο αυτά σημεία έχουν τις ίδιες ακριβώς συντεταγμένες στο χάρτη, όχι όμως και στη φωτογραφία (σχήμα 3.10). Η απόσταση Δr μεταξύ των σημείων της φωτογραφίας (A' και B') είναι η εκτροπή λόγω ανάγλυφου.

Στο σχήμα 3.10 φαίνεται, όπως επισημαίνει η Έλλη Πέτσα το 2000 πως "οι ακτινικές εκτροπές λόγω ανάγλυφου (Δr) εξαρτώνται από

- το ύψος h του κατακόρυφου στοιχείου
- την απόσταση λήψης (ύψος πτήσης) H
- την ακτινική απόσταση r στην εικόνα, στην οποία εμφανίζεται το αντικείμενο."



Σχήμα 3.10 : Εκτροπή Δr λόγω ανάγλυφου h^2

¹ T. Schenk (2005). 'Introduction to Photogrammetry'

² Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας'

Παρατηρώντας το σχήμα 3.11 και από τα όμοια τρίγωνα ισχύουν οι ισότητες [Έλλη Πέτσα 2000]¹ :

$$\frac{R}{r} = \frac{H-h}{c} \quad [1] \quad \text{και} \quad \frac{R}{r-\Delta r} = \frac{H}{c} \quad [2] \quad [3.3]$$

Λύνοντας ως προς $R \cdot c$ έχουμε : $Rc = (H - h) r = H (r - \Delta r)$.

Λύνοντας τώρα ως προς Δr έχουμε και έπειτα ως προς h και έχουμε [Έλλη Πέτσα 2000]¹:

$$\Delta r = r \frac{h}{H} \quad \text{και} \quad h = H \frac{\Delta r}{r} \quad [3.4]$$

"Από αυτές τις σχέσεις παρατηρούμε ότι η εκτροπή (Δr) λόγω αναγλύφου αυξάνει αναλόγως με το ύψος του αντικειμένου h , είναι μεγαλύτερη προς τα άκρα της εικόνας και αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης λήψης"[Έλλη Πέτσα 2000]¹.

Να σημειώσουμε στο σημείο αυτό ότι αν και η εκτροπή λόγω ανάγλυφου είναι ανεξάρτητη της σταθεράς της μηχανής, όταν την ανάγουμε στο έδαφος, είναι ανεξάρτητη από το ύψος πτήσης H και εξαρτάται όμως από το φακό της μηχανής. Για ίσο ύψος αντικειμένου h και ίση ακτινική απόσταση r , εξαρτάται μόνο από τον φακό¹.

Το συμπέρασμα αυτό εξάγεται από τη σχέση

$$\Delta R = h \frac{r}{c} \quad [3.5]$$

η οποία προκύπτει από το σχήμα 3.10

Συγκεκριμένα, από όμοια τρίγωνα έχουμε :

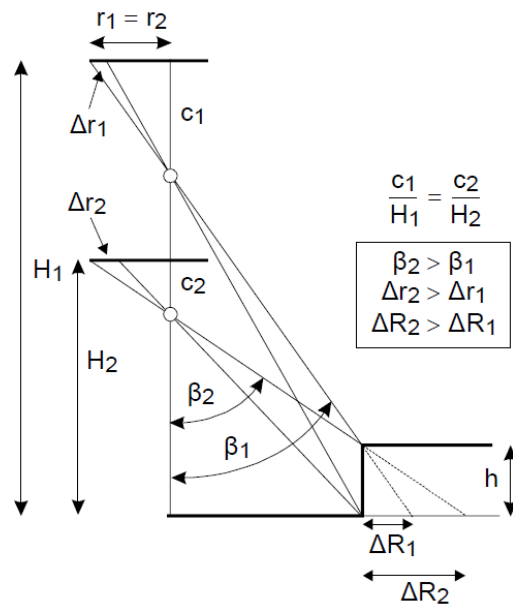
$$(\Delta R + R) / H = r / c \quad \text{και} \quad \Delta R / h = (\Delta R + R) / H$$

Άρα

$$\Delta R / h = r / c \Rightarrow \Delta R = h r / c$$

¹ Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας'

Συμπερασματικά, "η εκτροπή λόγω αναγλύφου είναι μικρότερη για φακούς μεγάλης εστιακής απόστασης (πχ. οξυγώνιους) και μεγαλύτερη για φακούς μικρής απόστασης (πχ. ευρυγώνιους)"¹. Στο σχήμα 3.11 παρουσιάζεται το συμπέρασμα αυτό σε σχέση με τη γωνία β που σχηματίζει η ακτίνα προβολής με τον άξονα της μηχανής. Φακοί μεγάλης εστιακής απόστασης δίνουν μικρότερη γωνία, ενώ φακοί μικρότερης εστιακής απόστασης δίνουν μεγαλύτερη γωνία.

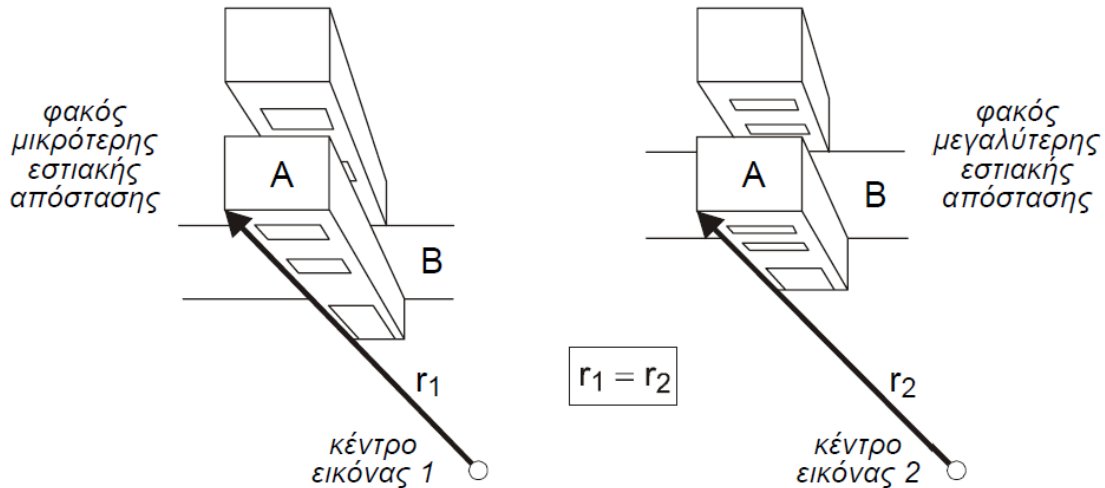


Σχήμα 3.11 : Εκτροπή λόγω αναγλύφου για διάφορους φακούς [Έλλη Πέτσα 2000]

γ. Μεταβολή κλίμακας και φακός της μηχανής

Στο σχήμα 3.13 που ακολουθεί, τα δύο σχέδια έχουν μεν ίδια κλίμακα στο επίπεδο Α, όχι όμως και στο επίπεδο Β. Συγκεκριμένα η εικόνα που ελήφθη με φακό μικρότερης εστιακής απόστασης εμφανίζει μεγαλύτερες διαφορές στην κλίμακα.

¹ Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας'



Σχήμα 3.12 : Αναπαραστάσεις φωτογραφίας ίδιου στόχου με διαφορετικούς φακούς¹

Αυτό εξηγείται από τις σχέσεις [3.1] και [3.2] (σελ.28, 29).

Αν λοιπόν στις αναπαραστάσεις του σχήματος 3.13 το ύψος πτήσης είναι H και το ύψος του αντικειμένου h , ο λόγος των κλιμάκων στο B και στο A επίπεδο περιγράφει τη μεταβολή της κλίμακας στην εικόνα και είναι¹:

$$\frac{\frac{c}{H}}{\frac{c}{H-h}} = \frac{H-h}{H} = 1 - \frac{h}{H} \quad [3.6]$$

Όπως τονίζει η Έλλη Πέτσα (2000) από την [3.6] εξάγουμε το συμπέρασμα ότι "η μεταβολή είναι εντονότερη για μεγαλύτερο ανάγλυφο ως ποσοστό της απόστασης λήψης. Δηλαδή, για σταθερό ανάγλυφο η μεταβολή είναι εντονότερη όσο μικρότερη είναι η απόσταση λήψης. Συνεπώς, για σταθερή κλίμακα $c:H$ μεγάλες μεταβολές κλίμακας εμφανίζονται σε φακούς μικρής εστιακής απόστασης (ευρυγώνιους)".

¹ Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας'

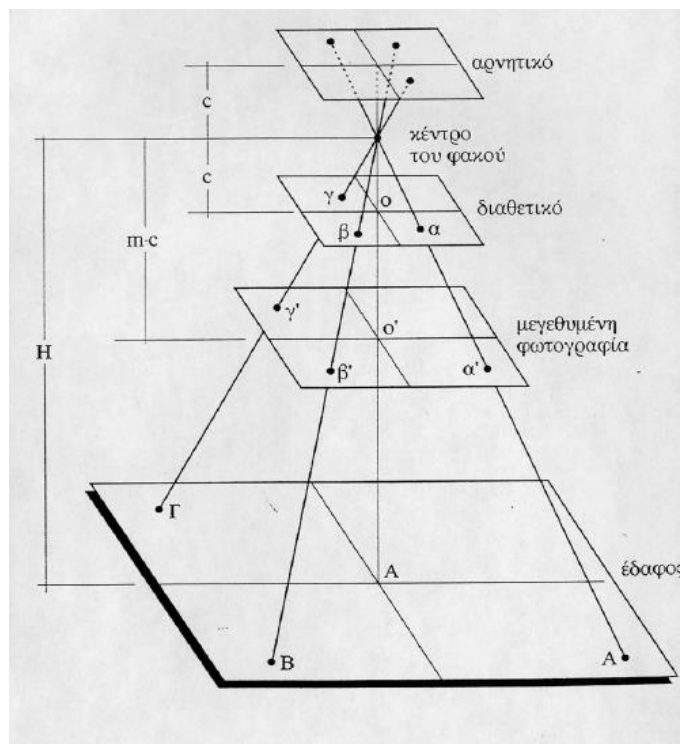
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Φωτογραμμετρικοί προσανατολισμοί

4.1 Εισαγωγή

Εσωτερικός προσανατολισμός: Στο στάδιο αυτό προσδιορίζουμε την εσωτερική γεωμετρία της εικόνας.

Εξωτερικός προσανατολισμός: Στο στάδιο αυτό προσδιορίζονται οι συντεταγμένες στον πραγματικό κόσμο. Στην περίπτωση της στερεοσκοπικής φωτογραμμετρίας ο εξωτερικός προσανατολισμός έχει δύο στάδια τον Σχετικό και τον Απόλυτο προσανατολισμό.



Σχήμα 4.1: Σχήμα για την κατανόηση των προσανατολισμών στην φωτογραμμετρία ¹

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν μέθοδοι που επιλύουν τους προσανατολισμούς των αεροφωτογραφιών.

¹ Διαδικτυακή πηγή 43.

http://ecourses.dbnet.ntua.gr/fsr/17735/Kentriki%20proboli_Aerofvtomhxanes.pdf, 09/11/2013

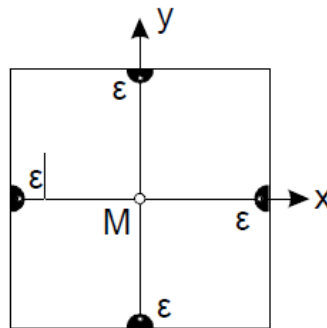
Η επιλογή των μεθόδων έγινε βάση των πλέον χρησιμοποιούμενων ψηφιακών φωτογραμμετρικών μεθόδων, βάσει της δοθείσης βιβλιογραφίας.

4.2 Συστήματα Συντεταγμένων

4.2.1 Σύστημα εικονοσυντεταγμένων

Πρόκειται για ένα δισδιάστατο δεξιόστροφο σύστημα μέτρησης στο επίπεδο της φωτοευαίσθητης επιφάνειας, με αρχή το κέντρο M της εικόνας. Οι μετρήσεις εκφράζονται σε mm ή σε εικονοψηφίδες (pixel). "Τα εικονοσήματα είναι σημεία τα οποία βρίσκονται εγχαραγμένα στο πλαίσιο της μετρικής μηχανής και καταγράφονται κατά την λήψη στο επίπεδο του αρνητικού σε θέσεις οι οποίες έχουν δοθεί με υψηλή ακρίβεια από τον κατασκευαστή στο πρωτόκολλο βαθμονόμησης" (περί μετρικών μηχανών βλ. εκτενέστερα Πατιάς, 1991).¹

"Στην περίπτωση των κοινών ερασιτεχνικών μηχανών, οι δύο άξονες ορίζονται από τα μέσα των απέναντι πλευρών, με μικρότερη οπωσδήποτε ακρίβεια." [Έλλη Πέτσα 2000]²



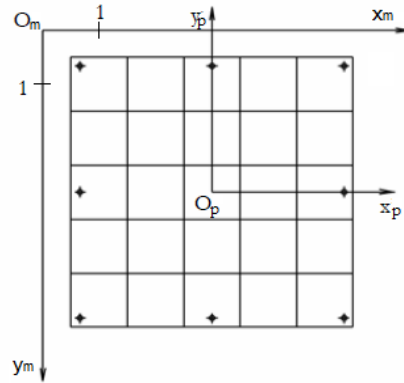
Σχήμα 4.2 : Σύστημα εικονοσυντεταγμένων ²

Στην περίπτωση της ψηφιακής φωτογραμμετρίας ορίζουμε ως σύστημα των εικονοσυντεταγμένων ένα ορθογώνιο και δεξιόστροφο καρτεσιανό σύστημα με κέντρο του την πάνω αριστερή γωνία της εικόνας. Οι μετρήσεις στο σύστημα αυτό εκφράζονται σε pixels. ³

¹ Πέτρος Πατιάς (1991). 'Εισαγωγή στη φωτογραμμετρία', Εκδόσεις Ζήτη

² Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας'

³ M. Potuckova (2004). 'Image matching and its application in photogrammetry' Ph.D. thesis, Czech Technical University in Prague



Σχήμα 4.3 : Απεικόνιση συστήματος εικόνας $[x_p, y_p]$ σε σχέση με το σύστημα των pixels $[x_m, y_m]$ ¹

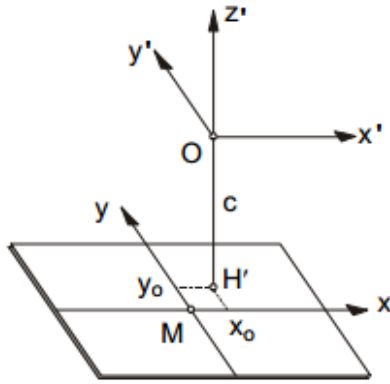
4.2.2 Σύστημα της εικόνας

Το σύστημα της εικόνας είναι ένα τρισσορθογώνιο δεξιόστροφο σύστημα xyz με αρχή το σημείο λήψης O (προβολικό κέντρο). Ο άξονας z είναι κάθετος στο επίπεδο της εικόνας και οι άξονες x, y παράλληλοι με τους άξονες του συστήματος των εικονοσυντεταγμένων που υλοποιούνται στο επίπεδο της εικόνας. Η συντεταγμένη z όλων των σημείων στο σύστημα αυτό είναι ίση με $-c$, όσο δηλαδή η μετάθεση των συστημάτων εικόνας και εικονοσυντεταγμένων κατά αυτή τη διεύθυνση. Ακόμα, τα συστήματα είναι μετατεθειμένα και κατά τις άλλες δύο διευθύνσεις κατά x_0 και y_0 , αντίστοιχα, όπου x_0, y_0 οι εικονοσυντεταγμένες του πρωτεύοντος σημείου H' της εικόνας, δηλαδή της προβολής του σημείου λήψης στο επίπεδο της εικόνας. Συνεπώς, οι σχέσεις που συνδέουν τα δύο συστήματα είναι [Έλλη Πέτσα 2000, T. Schenk 2005]:

$$\begin{aligned}
 x' &= x - x_0 \\
 y' &= y - y_0 & \text{ή} & \quad \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ c \end{bmatrix} & \quad [4.1] \\
 z' &= -c
 \end{aligned}$$

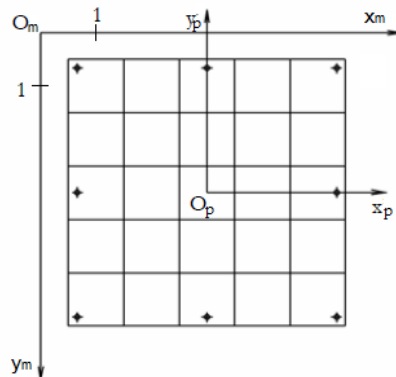
¹ M. Potuckova (2004). 'Image matching and its application in photogrammetry' Ph.D. thesis, Czech Technical University in Prague

² Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας', T. Schenk (2005). 'Introduction to PhSotogrammetry'



Σχήμα 4.3 : Σύστημα εικόνας και εικονοσυντεταγμένων ¹

Στην περίπτωση της ψηφιακής φωτογραμμετρίας, όπως προαναφέραμε στην παράγραφο 4.2.1, η σχέση του συστήματος των εικονοσυντεταγμένων με το σύστημα της εικόνας δίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.4 : Απεικόνιση συστήματος εικόνας $[x_p, y_p]$ σε σχέση με το σύστημα των pixels $[x_m, y_m]$

4.2.3 Σύστημα του πραγματικού χώρου (γεωδαιτικό)

Το γεωδαιτικό σύστημα ή, γενικότερα, σύστημα του χώρου είναι ένα δεξιόστροφο σύστημα XYZ, το οποίο μπορεί να σχετίζεται με το κρατικό σύστημα αναφοράς ή και να είναι αυθαίρετο. Στις τυπικές περιπτώσεις των αεροφωτογραφιών ο άξονας Z αντιπροσωπεύει πάντα τον κατακόρυφο άξονα.

¹ Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας'

4.3 Επίλυση Προσανατολισμών

Στο υπόλοιπο του κεφαλαίου 4 και για ευκολότερη κατανόηση η σημειολογία των συστημάτων θα έχει ως ακολούθως. Με τον δείκτη f σημειώνονται οι συντεταγμένες των εικονοσημάτων (fiducial), με το δείκτη m οι συντεταγμένες του μετρητικού συστήματος (measuring system), με p του συστήματος της εικόνας (photo-coordinate system), ενώ για το γεωδαιτικό σύστημα θα χρησιμοποιούμε κεφαλαία.

4.3.1 Εσωτερικός Προσανατολισμός

Οι φακοί των μηχανών δεν έχουν ένα μοναδικό σημείο από όπου περνούν όλες οι ακτίνες (pinhole camera model), αλλά μία σχετικά μεγάλη περιοχή από όπου περνούν περισσότερες ακτίνες φωτός κατά τη διάρκεια της έκθεσης. Επίσης λόγω του ότι οι φακοί δεν έχουν τέλεια επιφάνεια, η εικόνα είναι παραμορφωμένη σε σχέση με το αποτύπωμα (ακτινική διαστρόφη). Ως αποτύπωμα αναφέρεται ο πραγματικός χώρος που περιέχεται στη φωτογραφία. Ο εσωτερικός προσανατολισμός προσπαθεί να αναπαραστήσει τη δέσμη ακτινών που περνά από τον φακό στο επίπεδο της εικόνας. Αυτό περιλαμβάνει την παραμόρφωση των φακών, την εστιακή απόσταση (focal length) και την απόσταση μεταξύ του πρωτεύοντος σημείου στο επίπεδο της φωτογραφίας και του κέντρου της φωτογραφίας.

Στην περίπτωση των μετρητικών μηχανών όλες αυτές οι παράμετροι παρέχονται από τον κατασκευαστή. Στην περίπτωση των ψηφιακών μηχανών, η εσωτερική γεωμετρία μπορεί να προσδιοριστεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι να μετρηθούν φωτοσταθερά σημεία (πραγματικά αντικείμενα στο έδαφος) και να συσχετιστούν με το σύστημα των εικονοσυντεταγμένων και ο δεύτερος κατά τον εξωτερικό προσανατολισμό (αυτοβαθμονόμηση) μέσω της μεθόδου της δέσμης (bundle adjustment).

Το κέντρο της φωτογραφίας βρίσκεται στην τομή των γραμμών που ενώνουν τα απέναντι εικονοσήματα. Στην περίπτωση των ψηφιακών μηχανών, όπου το μέγεθος των εικονοστοιχείων είναι γνωστό και εάν δεν υπάρχουν εικονοσήματα, οι τέσσερις γωνίες της φωτογραφίας θεωρούνται εικονοσήματα. Οι συντεταγμένες των γωνιών μπορούν να υπολογιστούν από το μέγεθος των pixels.

Στο σχήμα 4.4 είδαμε τη σχέση μεταξύ των συντεταγμένων της εικόνας και του συστήματος των pixels.

Κατά τον εσωτερικό προσανατολισμό στην ψηφιακή φωτογραμμετρία βρίσκουμε τις συντεταγμένες του Πρωτεύοντος σημείου της φωτογραφίας εκφρασμένο στο μετρητικό σύστημα - σύστημα των εικονοσυντεταγμένων και αφαιρούμε τα σφάλματα που έχουν υπεισέλθει στη φωτογραφία κατά τη διαδικασία απόκτησής της (σφάλματα του φακού).

4.3.1.1 Μετασχηματισμός Ομοιότητας

Το απλούστερο μαθηματικό μοντέλο για την επίλυση του εσωτερικού προσανατολισμού είναι ο μετασχηματισμός ομοιότητας με 4 παραμέτρους ¹.

$$x_f = s(x_m \cos(\alpha) - y_m \sin(\alpha)) - x_t \quad [4.2]$$

$$y_f = s(x_m \sin(\alpha) + y_m \cos(\alpha)) - y_t \quad [4.3]$$

όπου

s, η κλίμακα

α , η γωνία περιστροφής

t, το διάνυσμα μετασχηματισμού

Οι σχέσεις [4.2] και [4.3] μπορούν να γραφούν και στην ακόλουθη μορφή

$$x_f = a_{11}x_m - a_{12}y_m - x_t \quad [4.4]$$

$$y_f = a_{12}x_m + a_{11}y_m - y_t \quad [4.5]$$

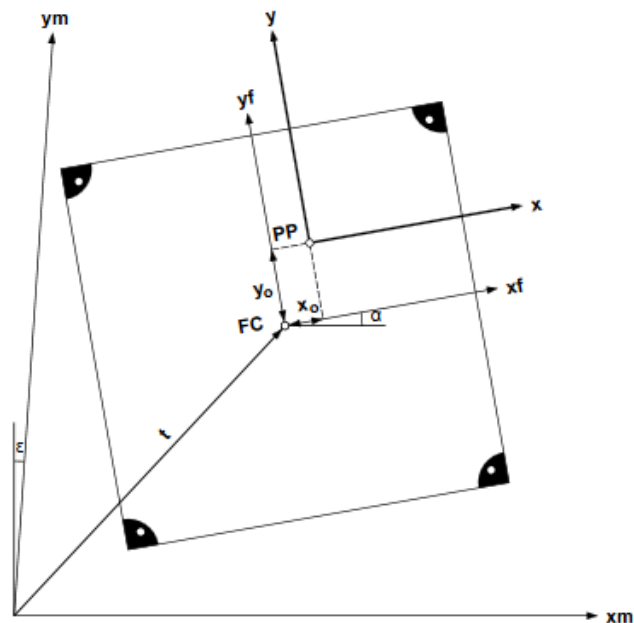
Θεωρώντας τα a_{11} , a_{12} , x_t , y_t παραμέτρους, τότε οι παραπάνω σχέσεις είναι γραμμικές. Έτσι μπορούν να επιλυθούν με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων ¹

¹ T. Schenk (2005). 'Introduction to Photogrammetry'

Οι εξισώσεις [4.4] και [4.5] περιγράφουν κάθε ένα σημείο της εικόνας σε σχέση με το κέντρο των εικονοσημάτων. Έτσι και οι παράμετροι καθορίζονται σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων των εικονοσημάτων. Γνωρίζοντας τη θέση των εικονοσημάτων, *fiducial marks*, (στην περίπτωση που υπάρχουν), σε σχέση με το κέντρο της φωτογραφίας, οι συντεταγμένες μπορούν να αναχθούν στο σύστημα της εικόνας με τις παρακάτω εξισώσεις.

$$X_p = X_f - X_0 \quad [4.6]$$

$$Y_p = Y_f - y_0 \quad [4.7]$$



Σχήμα 4.6 :Συσχέτιση συστήματος εικονοσημάτων και φωτογραφίας¹

4.3.1.2 Αφινικός Μετασχηματισμός

Ο αφινικός μετασχηματισμός επιλύει και αυτός μετασχηματισμούς από ένα σύστημα συντεταγμένων σε άλλο. "Οι παράμετροι είναι δύο παράγοντες κλίμακας - ένας για τον άξονα x και ένας για τον άξονα y , καθώς οι κλίμακα δεν είναι ακριβώς ίδια και στους δύο άξονες - s_x και s_y , η γωνία περιστροφής α , η κλίση ϵ και ένας παράγοντας μετασχηματισμού $t = [x_t, y_t]^T$.

Τα συστήματα μέτρησης δεν είναι τέλεια. Για παράδειγμα, οι δύο άξονες συντεταγμένων δεν είναι ακριβώς κάθετοι, όπως υποδεικνύεται από το σχήμα 4.3. Αυτό δηλώνει η κλίση ϵ " T. Schenk (2005). 'Introduction to Photogrammetry'].

Έτσι έχουμε,

$$\mathbf{x}_f = \mathbf{a}_{11}\mathbf{x}_m + \mathbf{a}_{12}\mathbf{y}_m - \mathbf{x}_t \quad [4.8]$$

$$\mathbf{y}_f = \mathbf{a}_{21}\mathbf{x}_m + \mathbf{a}_{22}\mathbf{y}_m - \mathbf{y}_t \quad [4.9]$$

όπου

$$\mathbf{a}_{11}, \mathbf{s}_x(\cos(\alpha - \varepsilon \sin(\alpha)))$$

$$\mathbf{a}_{12}, \mathbf{s}_y(\sin(\alpha))$$

$$\mathbf{a}_{21}, \mathbf{s}_x(\sin(\alpha + \varepsilon \cos(\alpha)))$$

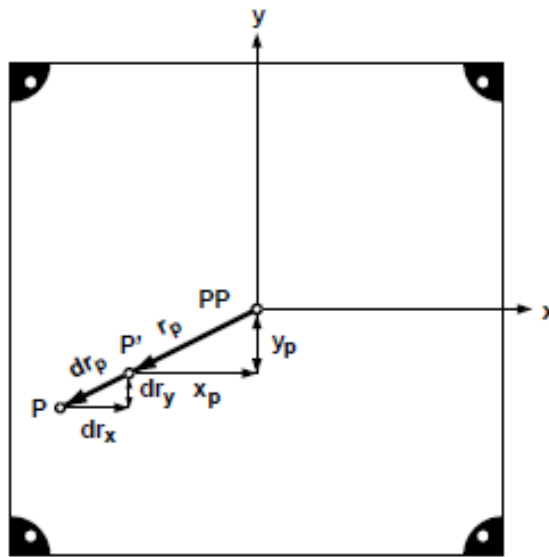
‘Οι σχέσεις [4.8] και [4.9] είναι και αυτές γραμμικές’¹.

4.3.1.3 Διόρθωση Ακτινικής Διαστροφής

Η ακτινική διαστροφή του φακού είναι προκαλεί παραμόρφωση της γωνίας των προβολικών ακτινών - οι προβολικές ακτίνες δεν εξέρχονται υπό τη γωνία με την οποία προσπίπτουν. Έτσι οι ευθείες του χώρου απεικονίζονται ως καμπύλες. Οι τιμές της ακτινικής διαστροφής καθορίζονται κατά τη βαθμονόμηση της μηχανής.

Λόγω τη παραμόρφωσης που προκαλεί η ακτινική διαστροφή δεν ισχύει πια η αυστηρή κεντρική προβολή, δηλαδή δεν μπορεί να υπάρχει μια σταθερά μηχανής που να ικανοποιεί σε όλα τα εικονοσημεία τη συνάρτηση της εικόνας. Έτσι η συνάρτηση της εικόνας πρέπει να διορθωθεί, ώστε να αντισταθμίζεται η ακτινική διαστροφή d_r .

¹ T. Schenk (2005). 'Introduction to Photogrammetry'



Σχήμα 4.7 : Ακτινική διαστρόφη στον άξονα της εικόνας ¹

Στο σχήμα 4.7 το σημείο P' είναι η απεικόνιση του σημείου P, λόγω της ακτινικής διαστρόφης. Οι διορθώσεις στους άξονες x και y δίνονται αντίστοιχα από τις ακόλουθες σχέσεις [T. Schenk 2005] ¹

$$dr_x = \frac{x_p}{r_p} dr_p \quad [4.10]$$

$$dr_y = \frac{y_p}{r_p} dr_p \quad [4.11]$$

Έτσι, οι συντεταγμένες του σημείου στον άξονα της εικόνας πρέπει να διορθωθούν όπως δείχνουν οι ακόλουθες εξισώσεις ¹.

$$x_p = x_p - dr_x = x_p \left(1 - \frac{dr_p}{r_p}\right) \quad [4.12]$$

$$y_p = y_p - dr_y = y_p \left(1 - \frac{dr_p}{r_p}\right) \quad [4.13]$$

¹ T. Schenk (2005). 'Introduction to Photogrammetry'

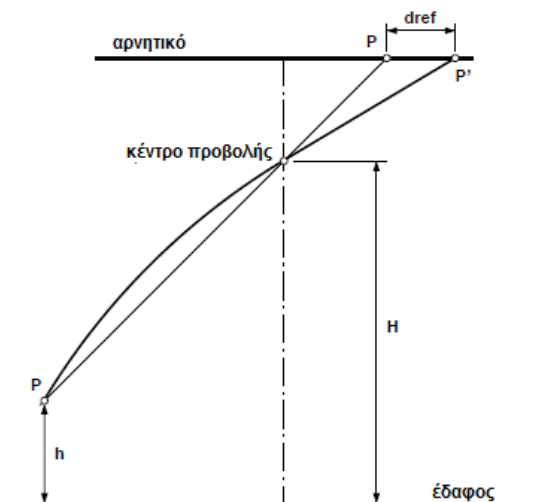
Η ακτινική διαστρόφη μπορεί να περιγραφεί με πολυώνυμο των περιττών δυνάμεων της ακτινικής απόστασης ^{1,2}:

$$dr = p_0 r + p_1 r^3 + p_2 r^5 + \dots \quad [4.14]$$

Οι συντελεστές p_i βρίσκονται από το ταίριασμα της πολυωνυμικής καμπύλης με τις τιμές της παραμόρφωσης². "Η εξίσωση 4.14 είναι μια γραμμική εξίσωση παρατήρησης. Για κάθε τιμή παραμόρφωσης λαμβάνεται μια εξίσωση παρατήρησης"[T. Schenk 2005]².

4.3.1.4 Διόρθωση Διάθλασης

Στο σχήμα 4.8 φαίνεται πως μία ακτίνα φωτός υπό γωνία διαθλάται από την ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με το νόμο του Snell, μια ακτίνα φωτός διαθλάται στη διεπαφή δύο οπτικών μέσων. Ότι δηλαδή, η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας φωτός στη διαχωριστική επιφάνεια είναι διαφορετική από τη γωνία που η ακτίνα έχει στην έξοδό της από τη διαχωριστική αυτή επιφάνεια (γωνία διάθλασης). Καθώς τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας έχουν διαφορετικές πυκνότητες, έχουν και διαφορετικούς δείκτες διάθλασης. Η διαφορά αυτή οδηγεί σε διάθλαση του φωτός. "Η διάθλαση οδηγεί στο να εμφανίζεται η εικόνα τραβηγμένη προς τα έξω." ²



Σχήμα 4.8: Ακτινική μετατόπιση λόγω διάθλασης ²

¹ Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας'

² T. Schenk (2005). 'Introduction to Photogrammetry'

"Η ακτινική μετατόπιση που προκαλείται από τη διάθλαση υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους. Οι τύποι αυτοί βασίζονται στο ατμοσφαιρικό μοντέλο της US Air Force και τα ύψη (H , ύψος πτήσης και h , ανύψωση εδάφους) πρέπει να είναι σε χιλιόμετρα." [T. Schenk 2005] ¹

$$d_{ref} = K \left(r + \frac{r^3}{c^2} \right) \quad [4.15]$$

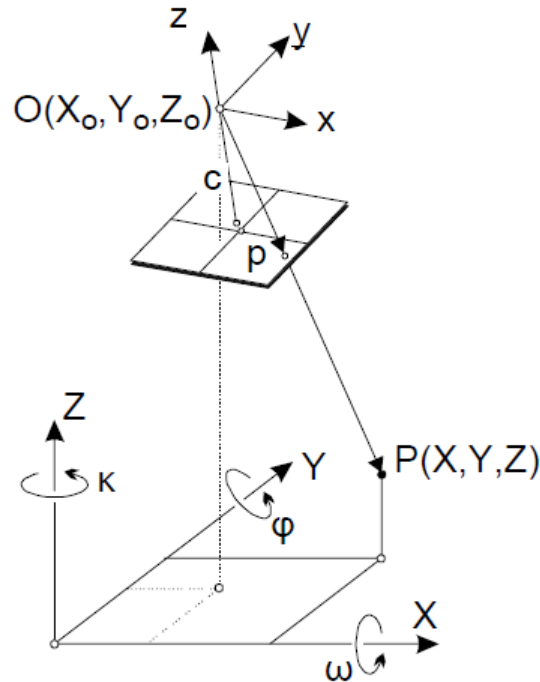
$$K = \left(\frac{2410 H}{H^2 - 6 H + 250} - \frac{2410 h^2}{(h^2 - 6 h + 250)H} \right) 10^{-6} \quad [4.16]$$

4.3.2 Εξωτερικός Προσανατολισμός

Όπως προείπαμε, ο εξωτερικός προσανατολισμός σκοπεύει στη συσχέτιση των συντεταγμένων της εικόνας και του γεωδαιτικού συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται προσδιορίζοντας τη θέση της μηχανής στο σύστημα γεωδαιτικό σύστημα, δηλαδή τις συντεταγμένες του κέντρου προοπτικής και τις στροφές των αξόνων του εικονοσυντεταγμένων.

Οι έξι παράμετροι του προσανατολισμού της μηχανής βρίσκονται χρησιμοποιώντας τη συνθήκη συγγραμμικότητας. Προϋπόθεση για τη χρήση της συνθήκης αυτής είναι ότι το κέντρο προοπτικής C , το σημείο p της εικόνας και το σημείο αντικειμένου P_0 , πρέπει να βρίσκονται σε ευθεία. Εδώ να σημειώσουμε πως οι γωνίες στροφής αναφέρονται στις στροφές που πρέπει να υποστεί το γεωδαιτικό σύστημα για να είναι παράλληλο με την εικόνα.

¹ T. Schenk (2005). 'Introduction to Photogrammetry'



Σχήμα 4.8 : Εξωτερικός Προσανατολισμός εικόνας με στροφές¹

Η συνθήκη συγγραμμικότητας που εκφράζει το γεγονός ότι ένα τυχαίο σημείο P του χώρου, το αντίστοιχο εικονοσημείο p και το σημείο λήψης O είναι συνευθειακά (συγγραμμικά) είναι η ακόλουθη σχέση^{1,2}

$$\begin{bmatrix} x_p - x_o \\ y_p - y_o \\ -c \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} \mathbf{R} \begin{bmatrix} X - X_o \\ Y - Y_o \\ Z - Z_o \end{bmatrix} \quad [4.17]$$

όπου $1/\lambda$, η κλίμακα και R ο πίνακας στροφών, με

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \kappa & -\cos \phi \sin \kappa & \sin \phi \\ \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \phi \cos \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \phi \sin \kappa & -\sin \omega \cos \phi \\ \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \phi \cos \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \phi \sin \kappa & \cos \omega \cos \phi \end{bmatrix} \quad [4.18]$$

¹ Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας'

² T. Schenk (2005). 'Introduction to Photogrammetry'

Αναπτύσσοντας την 4.17 παίρνουμε τις εξής σχέσεις

$$x_p - x_o = \frac{1}{\lambda} [r_{11}(X - X_o) + r_{12}(Y - Y_o) + r_{13}(Z - Z_o)] \quad [4.19]$$

$$y_p - y_o = \frac{1}{\lambda} [r_{21}(X - X_o) + r_{22}(Y - Y_o) + r_{23}(Z - Z_o)] \quad [4.20]$$

$$-c = \frac{1}{\lambda} [r_{31}(X - X_o) + r_{32}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)] \quad [4.21]$$

Επιλύοντας την 4.21 ως προς $1/\lambda$ έχουμε τον τύπο της σημειακής κλίμακας

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{-c}{r_{31}(X - X_o) + r_{32}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)} \quad [4.22]$$

Διαιρώντας την 4.19 με την 4.21 και την 4.20 με την 4.21, ο παράγοντας της κλίμακας ($1/\lambda$) εξαλείφεται και οδηγούμαστε στις παρακάτω εξισώσεις συγγραμμικότητας

$$x_p - x_o = -c \frac{r_{11}(X - X_o) + r_{12}(Y - Y_o) + r_{13}(Z - Z_o)}{r_{31}(X - X_o) + r_{32}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)} \quad [4.23]$$

$$y_p - y_o = -c \frac{r_{21}(X - X_o) + r_{22}(Y - Y_o) + r_{23}(Z - Z_o)}{r_{31}(X - X_o) + r_{32}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)} \quad [4.24]$$

Λύνοντας την 4.17 ως προς τις γεωδαιτικές συντεταγμένες και αναπτύσσοντας τη σχέση που προκύπτει και διαιρώντας τις δύο πρώτες σχέσεις που προκύπτουν με την τρίτη, όπως προηγουμένως, προκύπτουν οι ακόλουθες σχέσεις

$$X - X_o = (Z - Z_o) \frac{r_{11}(x_p - x_o) + r_{21}(y_p - y_o) - r_{31}c}{r_{13}(x_p - x_o) + r_{23}(y_p - y_o) - r_{33}c} \quad [4.25]$$

$$Y - Y_o = (Z - Z_o) \frac{r_{12}(x_p - x_o) + r_{22}(y_p - y_o) - r_{32}c}{r_{13}(x_p - x_o) + r_{23}(y_p - y_o) - r_{33}c} \quad [4.26]$$

Οι παράμετροι X_o , Y_o , Z_o , ω , ϕ , κ είναι οι άγνωστες παράμετροι για τον εξωτερικό προσανατολισμό. Οι συντεταγμένες της εικόνας x_p , y_p είναι συνήθως γνωστές και το βαθμονομημένο κέντρο προοπτικής c είναι σταθερά. Κάθε σημείο της εικόνας που έχει

μετρηθεί μας δίνει δύο εξισώσεις και εισάγει τρεις αγνώστους, τις συντεταγμένες X, Y, Z του σημείου στον πραγματικό χώρο. Μόνο αν έχουν μετρηθεί σημεία ελέγχου, οι συντεταγμένες X, Y, Z είναι γνωστές και τότε ο προσανατολισμός επιλύεται με μία μόνον εικόνα.

Οι εξισώσεις της συνθήκης συγγραμμικότητας μπορούν να συμπεριλάβουν και παραμέτρους του εσωτερικού προσανατολισμού. Με αυτήν την προσέγγιση καθορίζονται ταυτόχρονα οι παράμετροι και του εσωτερικού και του εξωτερικού προσανατολισμού της μηχανής.

Στην πράξη, στην ψηφιακή φωτογραμμετρία, ο προσανατολισμός μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, τον έμμεσο και τον άμεσο προσανατολισμό.

Ο έμμεσος προσανατολισμός μπορεί, ανάλογα με το πλήθος των εικόνων που κάθε φορά χρησιμοποιούνται να γίνει με τους εξής τρόπους :

- Σχετικός και Απόλυτος προσανατολισμός στερεοζεύγους, για 2 εικόνες
- Αεροτριγωνισμός, για n εικόνες
- Χωρική εκτομή (Spatial resection), για μία εικόνα

Ο άμεσος προσανατολισμός κάνει χρήση του GPS και μιας εσωτερικής μονάδας μετρήσεων (IMU) , δε χρειάζεται να μετρηθούν σημεία ελέγχου εκτός και αν πρόκειται για εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη ακρίβεια. Ο έμμεσος προσανατολισμός χρησιμοποιείται κυρίως από ολοκληρωμένα φωτογραμμετρικά συστήματα.

Η περίπτωση χρήσης μίας μόνο φωτογραφίας στη φωτογραμμετρία είναι εξαιρετικά σπάνια, καθώς δεν μπορούμε να επιτύχουμε ανοικοδόμηση του πραγματικού χώρου.

Ο σχετικός και ο απόλυτος προσανατολισμός είναι ευρέως χρησιμοποιούμενοι στην αναλογική φωτογραμμετρία και παλαιότερα και στην ψηφιακή. Καθώς όμως οι μέθοδοι του αυτόματου αεροτριγωνισμού εξελίχθηκαν, ο αεροτριγωνισμός είναι η μέθοδος που σήμερα χρησιμοποιείται κατά κόρον στην ψηφιακή φωτογραμμετρία. Κύριο πλεονέκτημά του είναι ο χρόνος που χρειάζεται.

4.4 Αεροτριγωνισμός

Αεροτριγωνισμός είναι η διαδικασία κατά την οποία επιλύονται ταυτόχρονα ο σχετικός και ο απόλυτος προσανατολισμός σε περισσότερα από ένα στερεοσκοπικά μοντέλα. Συχνά καλείται και συνόρθωση κατά δέσμες, καθώς η επικρατέστερη μέθοδος αεροτριγωνισμού χρησιμοποιεί το μαθηματικό μοντέλο της συνόρθωσης δέσμης. Χρησιμοποιείται σε συνδιασμό με τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού και των σφαλμάτων. Για μεγαλύτερη ακρίβεια της μεθόδου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και γνώσεις για φωτοσταθερά σημεία από GPS ή από ψηφιακούς ορθοχάρτες (ορθοδιόρθωση).

Στη συνέχεια συσχετίζονται οι συναρτήσεις του εξωτερικού προσανατολισμού της εικόνας με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, ώστε να οριστούν όλοι οι παράμετροι της ορθοαναγωγής.

4.4.1 Συνόρθωση Δέσμης (Bundle Adjustment)

"Η συνόρθωση δέσμης ορίζεται η διαδικασία που χρησιμοποιείται για την ανοικοδόμηση ενός τρισδιάστατου μοντέλου από πλήθος φωτογραφιών, με ταυτόχρονη ταύτιση των συντεταγμένων που περιγράφουν τη γεωμετρία της σκηνής (εξωτερικός προσανατολισμός) καθώς και τις παραμέτρους της σχετικής κίνησης και τα οπτικά χαρακτηριστικά των φωτογραφικών μηχανών που χρησιμοποιήθηκαν για την απόκτηση των φωτογραφιών." [https://en.wiktionary.org/wiki/bundle_adjustment, 06/06/2018]

Κατά τη συνόρθωση δέσμης, ανοικοδομούνται οι ακτίνες φωτός μεταξύ της θέσης την κάμερας ή των καμερών και των σημείων του πραγματικού χώρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ψηφιακή επεξεργασία φωτογραφιών

Ανάλογα με την εργασία που καλούμαστε να επιτελέσουμε στην εικόνα, χρησιμοποιούμε διαφορετική προσέγγιση/ τεχνική εξαγωγής των τιμών αυτής.

Υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα.

- **Σημείου (Point operator)**. Κάθε πίξελ της νέας εικόνας (μετά την επεξεργασία) αντιστοιχεί σε ένα πίξελ και μόνο της παλιάς. Λαμβάνει υπόψιν την ένταση μόνο ενός πίξελ από την αρχική εικόνα, εκείνου που χαρτογραφεί/ σχεδιάζει στην νέα εικόνα (mapping). Χρησιμοποιείται για brightness / contrast adjustments. Με την προσέγγιση αυτή δεν μπορούμε να επεξεργαστούμε σωστά το θόρυβο (απαλοιφή θορύβου)
- **Καθολική (Global operator)**. Λαμβάνει υπόψιν τις τιμές έντασης όλων των πίξελ μιας φωτογραφίας πριν συντεθεί η νέα εικόνα. Βρίσκει εφαρμογή στην histogram equalization, noise variance equalization.
- **Τοπική (Local operator)**. Για να αποδώσει ένα πίξελ στη νέα, διορθωμένη εικόνα, λαμβάνει υπόψιν την ένταση όλων των πίξελς που βρίσκονται στη γειτονιά του υπό χαρτογράφηση πίξελ. Ως γειτονιά ορίζονται τα πίξελς που εφάπτονται στο υπό μελέτη πίξελ και είτε είναι και τα 8 εφάπτομενα, οπότε μιλάμε για γειτονιά των 8 ή 3x3, είτε είναι τα 4 που εφάπτονται με το υπό μελέτη πίξελ στον άξονα x ή στον άξονα y , οπότε μιλάμε για γειτονιά των 4. Χρησιμοποιείται για εύρεση άκρων (edge detection), μείωση ή απαλοιφή θορύβου (noise reduction).

5.1 Απαλοιφή θολώματος εικόνας (Deblurring)

Το θόλωμα τις εικόνας αποτελεί ένα από τα κυριότερα σφάλματα που υπεισέρχονται στην εικόνα, κατά τη διαδικασία λήψης. Κύρια αιτία είναι η κίνηση της συσκευής απόκτησης δεδομένων, είτε η κίνηση του υπό φωτογράφιση αντικειμένου.¹

5.1.1 Απαλοιφή θολώματος με τη χρήση του αλγόριθμου αποσυνέλιξης

Ο αλγόριθμος "τυφλής" απο-συνέλιξης χρησιμοποιείται όταν δεν έχουμε πληροφορίες για την

¹ <https://www.mathworks.com/help/images/image-deblurring.html>, 10/06/2018

παραμόρφωση της εικόνας. Αποκαθιστά την εικόνα κάνοντας χρήση της συνάρτησης σημείου διασποράς PSF (Point Spread Function). Σε κάθε επανάληψη χρησιμοποιείται ο φθίνων αλγόριθμος Richardson-Lucy. Είναι επίσης δυνατό να χρησιμοποιήσουμε ως παραμέτρους επιπλέον χαρακτηριστικά του συστήματος (φωτογραφικής μηχανής), για την καλύτερη αποκατάσταση της εικόνας.¹

5.1.2 Απαλοιφή θολώματος με χρήση κανονικοποιημένου φίλτρου

Και το κανονικοποιημένο φίλτρο είναι αποτελεσματικό στην περίπτωση που ισχύουν περιορισμοί στη ανακτημένη εικόνα και δε γνωρίζουμε αρκετά για τον θόρυβο σε αυτήν.

Η συνάρτηση που χρησιμοποιεί κανονικοποιημένο φίλτρο είναι η `deconvreg`. Η απλούστερη μορφή της είναι $J = \text{deconvreg}(I, \text{psf})$, με την υπόθεση ότι η εικόνα I είναι δημιουργημένη με την συνέλιξη μίας εικόνας με την PSF².

`[J LAGRA] = deconvreg(I,PSF,NOISEPOWER);`

όπου :

PSF (Point Spread Function), η συνάρτηση που περιγράφει την απόκριση ενός συστήματος απεικόνισης, στην συγκεκριμένη περίπτωση της εικόνας, σε μία σημειακή πηγή. Για παράδειγμα: `PSF= fspecial('gaussian',7,10);`

I , η εικόνα εισόδου

`NOISEPOWER = V*prod(size(I))`, αριθμητική κλίμακα της ισχύς του θορύβου.

5.1.3 Απαλοιφή θολώματος με χρήση φίλτρου Wiener

Το φίλτρο αυτό είναι πολύ αποτελεσματικό όταν η συνάρτηση σημείου διασποράς (point-spread function) και το επίπεδο θορύβου είναι είτε γνωστό είτε μπορεί να εκτιμηθεί³.

`wnrI = deconvwnr(blurred, PSF, NSF)`, όπου:

`blurred` η θολή εικόνα,

PSF η συνάρτηση του σημείου διασποράς (point-spread function),

NSF ο λόγος της δύναμης του θορύβου προς τη δύναμη του σήματος - 0 αν η εικόνα δεν έχει θόρυβο.

¹ <https://www.mathworks.com/help/images/ref/deconvblind.html>, 10/06/2018

² <https://www.mathworks.com/help/images/ref/deconvreg.html>, 10/06/2018

³ <https://www.mathworks.com/help/images/ref/deconvwnr.html>, 10/06/2018

5.2 Ενίσχυση της πρότυπης φωτογραφίας

Σκοπός της ενίσχυσης των εικόνων είναι να αλλάξουν οι φωτομετρικές ιδιότητές τους, ώστε να διαφοροποιηθούν τα χαρακτηριστικά που δε μας ενδιαφέρουν και να τονιστούν τα χαρακτηριστικά που μας ενδιαφέρουν. Έτσι η συλλογή των δεδομένων γίνεται με μεγαλύτερη ευκολία και ακρίβεια.

5.2.1 Αφαίρεση θορύβου

Οι ψηφιακές εικόνες είναι επιρρεπείς σε θορύβους διαφόρων τύπων. Με τον όρο θόρυβο, δηλώνουμε τις τιμές των εικονοστοιχείων (pixels) που δεν αντικατοπτρίζουν τις πραγματικές εντάσεις της φωτογραφισθείσας σκηνής. Ο θόρυβος είναι αποτέλεσμα λαθών κατά τη διάρκεια λήψης της εικόνας. Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί ο θόρυβος να υπεισέλθει σε μία εικόνα ποικίλουν και εξαρτώνται από τον τρόπο λήψης της εικόνας.

Εάν, για παράδειγμα, η εικόνα είναι προϊόν σάρωσης μιας αναλογικής φωτογραφίας, πιθανές πηγές θορύβου είναι οι κόκκοι του φιλμ, πιθανή βλάβη του φιλμ ή ακόμα και κάποιο λάθος του σαρωτή. Εάν η εικόνα είναι ψηφιακή φωτογραφία, πιθανές πηγές θορύβου είναι ο μηχανισμός συλλογής δεδομένων και η ηλεκτρονική διαβίβαση των δεδομένων της εικόνας.

Η αφαίρεση του θορύβου είναι δυνατή με τη χρήση των κατάλληλων φίλτρων.¹

5.2.1.1 Φίλτρο Μέσου Όρου (Averaging filter)

Είναι κατάλληλο για την αφαίρεση θορύβου τύπου Grain. Εάν εφαρμοστεί στην εικόνα φίλτρο μέσου όρου, κάθε εικονοστοιχείο εξόδου παίρνει τιμή, τη μέση τιμή των γειτονικών εικονοστοιχείων του αντίστοιχου εικονοστοιχείου της εικόνας εισόδου.¹

Εντολή Matlab , για γειτονιά 3x3 :

```
outputImage = filter2(fspecial('average',3), inputImage)/255;
```

¹ <https://www.mathworks.com/help/images/noise-removal.html>, 10/06/2018



5.1: Αντιπαράθεση εικόνας εισόδου με θόρυβο και επεξεργασμένης εικόνας με φίλτρο μέσου όρου¹

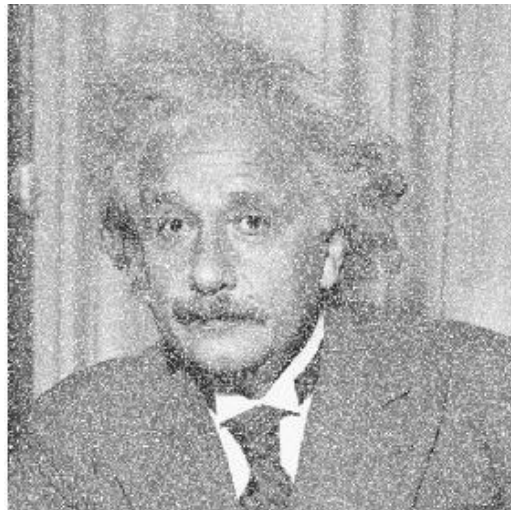
5.2.1.2 Φίλτρο Διαμέσου (Median filter)

Είναι κατάλληλο για αφαίρεση θορύβου τύπου κόκκου (ή αλατοπόπερου, salt and pepper noise).

Εντολή Matlab , χρησιμοποιώντας γειτονιά 3x3 ²:

```
L = medfilt2(J);
```

```
L_5 = medfilt2(J, [5 5]); % παράδειγμα για γειτονιά 5x5
```



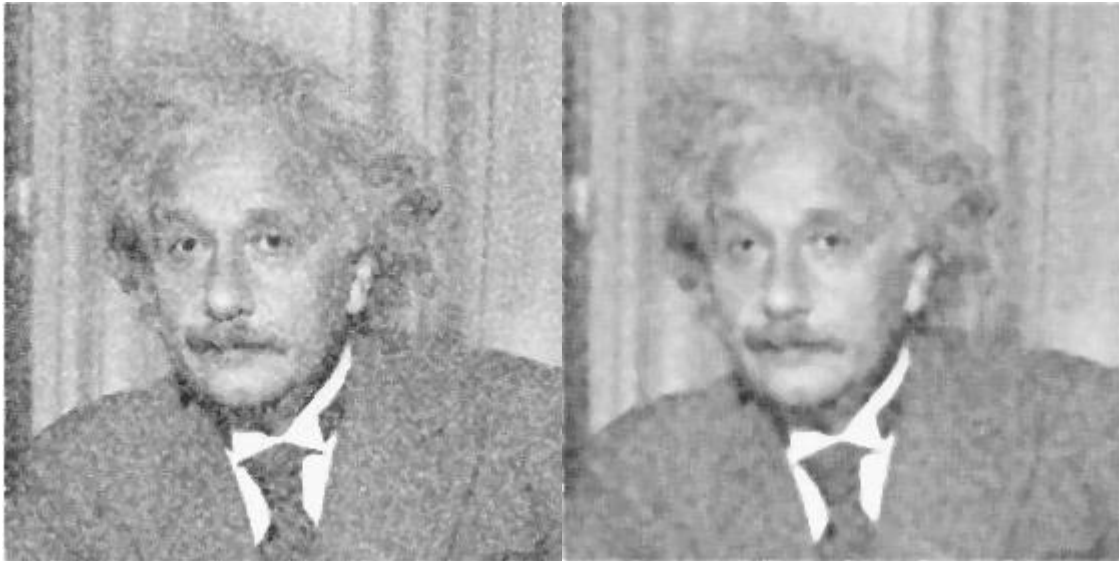
Σχ 5.2: Εικόνα με θόρυβο τύπου αλατοπίπερο ³

¹ <https://ipvm.com/reports/gain-agc-surveillance-video> , 10/06/2018

² <https://www.mathworks.com/help/images/noise-removal.html>, 10/06/2018

³

<https://www.google.cz/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=2ahUKEwiOpbG9uefbAhVIY1AKHVZeDPQQjRx6BAgBEAU&url=http%3A%2F%2Fagamenon.tsc.uah.es%2FInvestigacion%2Fgram%2Fprojects%2Fstimulo%2Findex.html&psig=AOvVaw0TvztCrK2bSaagpqHZ3Myt&ust=1529762820012219> , 10/06/2018



Σχ 5.3: Επεξεργασμένες εικόνες με φίλτρα διαμέσου γειτονιάς 3x3 και 5x5 αντίστοιχα

5.2.2 Ενίσχυση Αντίθεσης

Εικόνες με χαμηλή αντίθεση, συνήθως οδηγούν σε φτωχή αναγνώριση των χαρακτηριστικών του εδάφους και επομένως σε χαμηλή ακρίβεια. Σκοπός της ενίσχυσης της αντίθεσης είναι η τροποποίηση του αρχικού ιστογράμματος.

5.2.2.1 Ασπρόμαυρες εικόνες ¹

Τρεις είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενες εντολές στο matlab για ενίσχυση μια ασπρόμαυρης εικόνας.

1. `imadjust`. Το 1% (προκαθορισμένο ποσοστό, που όμως μπορεί να αλλάξει) των δεδομένων της παραχθείσας εικόνας έχουν τις χαμηλές και υψηλές εντάσεις των δεδομένων εισόδου. (mathworks, [/contrast-enhancement-techniques.html](https://www.mathworks.com/help/images/examples/contrast-enhancement-techniques.html))

```
new_img1 = imadjust('input_image');
```

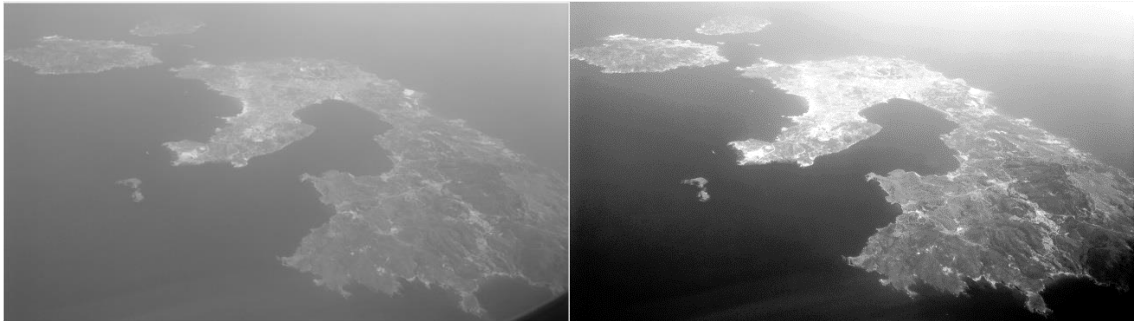
¹ <https://www.mathworks.com/help/images/examples/contrast-enhancement-techniques.html>, 10/06/2018



Σχ 5.4: Ασπρόμαυρες εικόνες. Εικόνα εισόδου (input_image) και ενισχυμένη εικόνα με χρήση imadjust

2. `histeq`. Εκτελεί εξισορρόπηση ιστογράμματος. Η αντίθεση της παραχθείσας εικόνας αυξάνεται, καθώς το ιστογράμμά της ταιριάζεται κατά προσέγγιση με προεπιλεγμένο ιστογράμμο ομοιόμορφης κατανομής. (mathworks, [/contrast-enhancement-techniques.html](https://www.mathworks.com/help/contrast-enhancement-techniques.html))

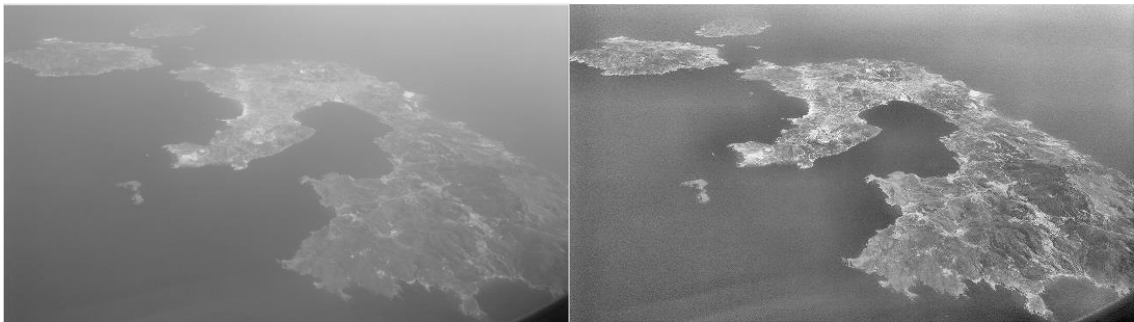
```
new_img2= histeq('inpout_image_name');
```



Σχ 5.5: Ασπρόμαυρες εικόνες. Εικόνα εισόδου (input_image) και ενισχυμένη εικόνα με χρήση histeq

3. `adapthisteq`. Εκτελεί μια προσαρμοστική, περιορισμένης αντίθεσης εξισορρόπηση ιστογράμματος. (mathworks, [/contrast-enhancement-techniques.html](https://www.mathworks.com/help/contrast-enhancement-techniques.html))

```
new_img3= adapthisteq('inpout_image_name');
```



Σχ 5.6: Ασπρόμαυρες εικόνες. Εικόνα εισόδου (input_image) και ενισχυμένη εικόνα με χρήση adapthisteq

5.2.2.2 Έγχρωμες εικόνες ¹

Η εικόνα μετατρέπεται σε χρωματικό χώρο, στον οποίο υπάρχει η ένταση της εικόνας ως χαρακτηριστικό του. Τέτοιος χρωματικός χώρος είναι ο $L^*a^*b^*$. Χρησιμοποιούμε συναρτήσεις αλλαγής χρώματος για να μετατρέψουμε μία εικόνα από RGB στον $L^*a^*b^*$ χώρο και εν συνεχεία εργαζόμαστε πάνω στο στρώμα φωτεινότητας (L^*) της νέας εικόνας. Δουλεύοντας και αλλάζοντας τη φωτεινότητα, επηρεάζουμε την ένταση των πίξελς, χωρίς να επηρεάζουμε τα χρώματα. (mathworks).

Η συνάρτηση *makecform(type)* επιτρέπει την μετατροπή των εικόνων σε διάφορους χρωματικούς χώρους, όπως παραδείγματος χάριν οι lab, RGB, CMYK.

```
srgb2lab = makecform('srgb2lab');  
lab2srgb = makecform('lab2srgb');
```

Για να εφαρμόσουμε τη μετατροπή από ένα χρωματικό χώρο σε άλλον σε μια εικόνα Photo1, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τη συνάρτηση *applycform* και να ορίσουμε τον επιθυμητό χώρο ως παράμετρο αυτής(mathworks).

```
imageInLab = applycform(Photo1, srgb2lab); % Μετατροπή της Photo1 στο χώρο Lab
```

Πριν εφαρμόσουμε τις τεχνικές ενίσχυσης στη μετασχηματισμένη φωτογραφία, αποθηκεύουμε τις τιμές της φωτεινότητας σε κατάλληλο για το matlab τύπο. Καθώς η φωτεινότητα έχει εύρος [0,100] % , έχουμε (mathworks).

```
maxLuminosity = 100;
```

```
L = imageInLab(:,:,1)/maxLuminosity;
```

Έπειτα αντικαθιστούμε το επίπεδο της φωτεινότητας με τα νέα δεδομένα. Εδώ θα το κάνουμε και για τις 3 μεθόδους (*imadjust*, *histeq*, *adaptgisteq*).

```
imageInLab_imadjust = imageInLab;
```

```
imageInLab_imadjust(:,:,1) = imadjust(L)*maxLuminosity;
```

```
imageInLab_histeq = imageInLab;
```

```
imageInLab_histeq(:,:,1) = histeq(L)*maxLuminosity;
```

```
imageInLab_adapthisteq = imageInLab;
```

```
imageInLab_adapthisteq(:,:,1) = adapthisteq(L)*maxLuminosity;
```

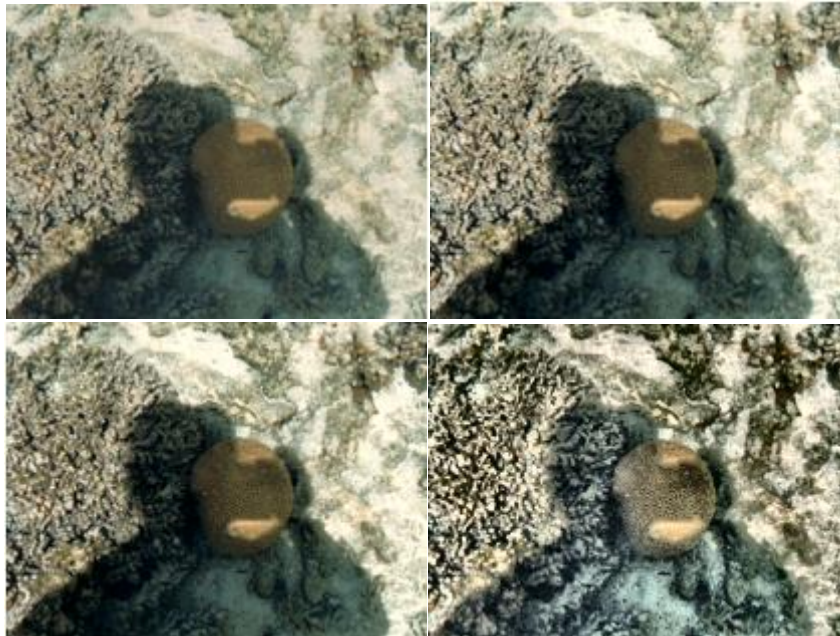
¹ <https://www.mathworks.com/help/images/examples/contrast-enhancement-techniques.html>, 10/06/2018

Τέλος μετατρέπουμε την εικόνα πάλι στο αρχικό φορματ.

```
imageInLab_imadjust = applycform(imageInLab_imadjust, lab2srgb);
```

```
imageInLab_histeq = applycform(imageInLab_histeq , lab2srgb);
```

```
imageInLab_adapthisteq = applycform(imageInLab_adapthisteq, lab2srgb);
```



Σχ 5.7: Έγχρωμες εικόνες. Κατα σειρά : Εικόνα εισόδου (Photo1) και ενισχυμένες εικόνες με χρήση imadjust, histeq και adapthisteq ¹

5.2.3 Βελτίωση Ευκρίνειας (όξυνση άκρων)

Η όξυνση των άκρων επιτρέπει την καλύτερη αναγνώριση των εικονοστοιχείων που βρίσκονται πάνω σε μια γραμμή. Αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι οι ακριβέστερες μετρήσεις. Στην ουσία πρόκειται για μεγιστοποίηση της αντίθεσης στις τομές διαφορετικών χρωμάτων.

5.2.3.1 Βελτίωση ευκρίνειας με χρήση μάσκας

```
 $B = imsharpen(inputImage);$ 
```

¹ <https://www.mathworks.com/help/images/examples/contrast-enhancement-techniques.html>, 10/06/2018

Η παραπάνω συνάρτηση επιστρέφει την εικόνα B, μία βελτιωμένη έκδοσή της εικόνας εισόδου (*inputImage*), που τα χαρακτηριστικά της εικόνας έχουν οξυνθεί. Η *imsharpen* συνάρτηση αφαιρεί μία θολή έκδοση της ίδιας της εικόνας.¹



Σχ 5.8: Βελτίωση ευκρίνειας σε ασπρόμαυρες φωτογραφίες. Πάνω η μη επεξεργασμένη και κάτω η βελτιωμένη

¹ <https://www.mathworks.com/help/images/ref/imsharpen.html> , 10/06/2018



Σχ 5.9: Βελτίωση ευκρίνειας σε έγχρωμες φωτογραφίες. Πάνω η μη επεξεργασμένη (CheetahraTheGreekCat) και κάτω η βελτιωμένη

5.2.4 Thresholding

Στόχος του thresholding είναι να συγκαλυφθούν μικρές αποκλίσεις στις τιμές του γκρι. Εφαρμόζεται μετά τη βελτίωση της ευκρίνειας, με σκοπό την περαιτέρω ενίσχυση της εικόνας. Είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος διαχωρισμού μιας εικόνας σε προσκήνιο και παρασκήνιο. Αυτή η τεχνική απομονώνει τα αντικείμενα, μετατρέποντας τις ασπρόμαυρες εικόνες σε δυαδικές. Είναι δε πολύ αποτελεσματική σε εικόνες με μεγάλη αντίθεση.

Για μία ασπρόμαυρη εικόνα χρειαζόμαστε μία μόνο τιμή threshold, την οποία την υπολογίζουμε με τη συνάρτηση `multithresh`. Για έγχρωμες εικόνες, χρειαζόμαστε περισσότερα επίπεδα επεξεργασίας και περισσότερες τιμές threshold. Παράδειγμα ασπρόμαυρης εικόνας: ¹

```
level = multithresh(I); % με μία τιμή threshold  
level2 = multithresh(I, 3) % με 3 τιμές threshold
```

Κατόπιν, χωρίζουμε την εικόνα σε δύο περιοχές, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `imquantize` και ορίζοντας παράμετρο αυτής την τιμή του threshold.

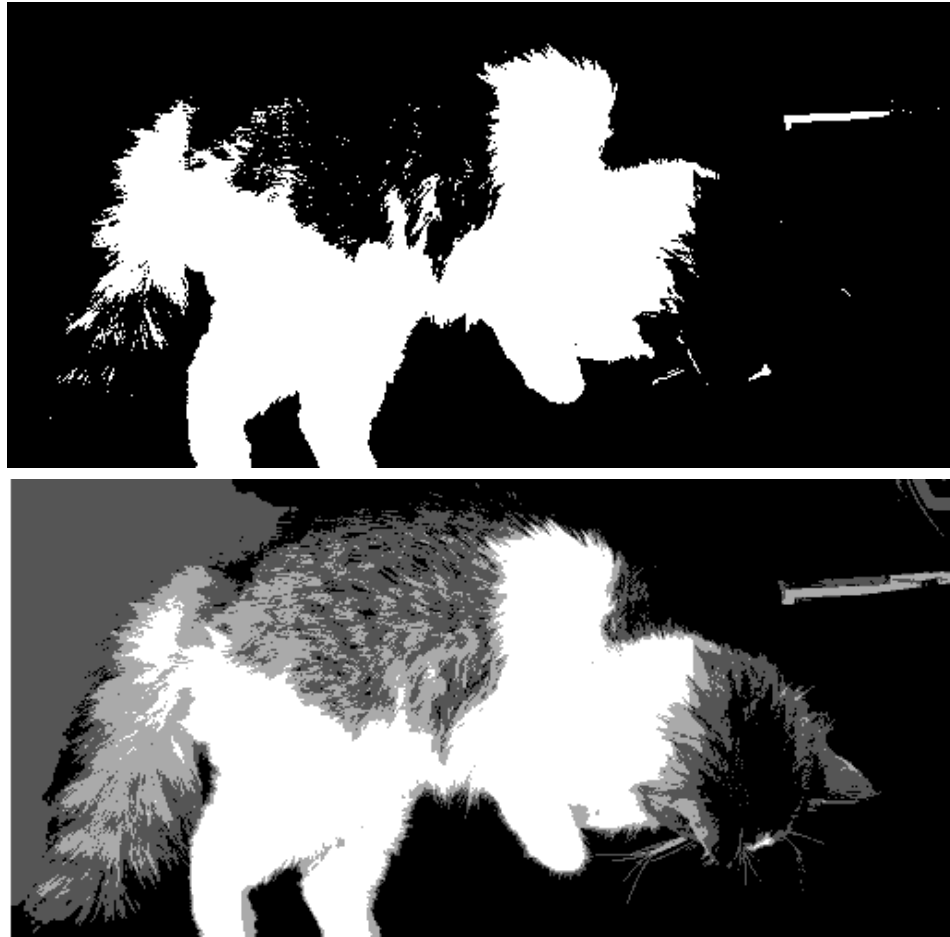
```
seg_I = imquantize(I,level);  
seg_I2 = imquantize(I,level2);
```

Τα αποτελέσματα, σε σχέση με την αρχική εικόνα φαίνονται παρακάτω.

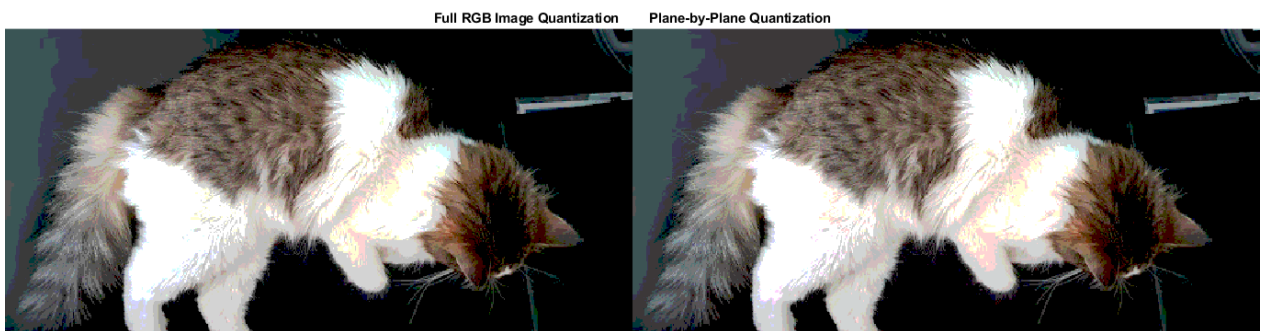


Σχ . 5.10: Μη επεξεργασμένη εικόνα (I). (SnarfTheGreekCat)

¹ <https://www.mathworks.com/help/images/ref/multithresh.html> , 10/06/2018



Σχ 5.11: Ενισχυμένες ασπρόμαυρες εικόνες. Πάνω με μια τιμή thresholding και κάτω με τρεις



Σχ 5.12: Ενισχυμένες έγχρωμες εικόνες

5.3 Αναγωγή Εικόνας (Image Registration)

Αναγωγή εικόνας ονομάζουμε τη διαδικασία, κατά την οποία μία εικόνα μετασχηματίζεται στο σύστημα συντεταγμένων μίας άλλης εικόνας

5.3.1 Αναγωγή Εναέριας φωτογραφίας σε υπάρχουσα ορθοφωτογραφία

Πρόκειται για μία πολύ διαδεδομένη μέθοδο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνον αν οι δύο φωτογραφίες περιέχουν την ίδια ακριβώς σκηνή.

Η διαδικασία περιέχει τα παρακάτω στάδια¹:

1. Εισαγωγή εικόνας και ορθοφωτογραφίας στο σύστημα, μέσω της εντολής *imread*
2. Φόρτωση και προσθήκη των σημείων ελέγχου. Τουλάχιστον 3 σημεία ελέγχου είναι απαραίτητα, ενώ 4 προτείνονται. Τα σημεία ελέγχου μπορεί να είναι προεπιλεγμένα και αποθηκευμένα, καθώς επίσης και να προστεθούν χρησιμοποιώντας το 'Control Point Selection Tool' (cpselect).
3. Προσέγγιση γεωμετρικού μετασχηματισμού. Η εντολή *fitgeotrans* βρίσκει τις παραμέτρους της προβολικής παραμόρφωσης που ταιριάζει βέλτιστα με τα τυχαία κινούμενα σημεία και τα επιλεγμένα σταθερά.
4. Μετασχηματισμός μη εγγεγραμμένης (μη καταχωρημένης) εικόνας.
 $R_{fixed} = imref2d(size(ortho));$
`registered = imwarp(unregistered,t_concord,'OutputView',Rfixed);`
5. Προβολή καταχωρημένης εικόνας στο πλαίσιο της ορθοφωτογραφίας με την εντολή *imshowpair(orthophoto,registered, 'blend');*

5.4 Ψηφιακό Μωσαϊκό (digital Mosaicking)

Μωσαϊκό καλείται το αποτέλεσμα 'συρραφής' όλων των ορθοφωτογραφιών. Οι μέθοδοι που συναντώνται στην πλειονότητα της βιβλιογραφίας είναι 2, η άμεση (direct based method) και η ταιριάσματος χαρακτηριστικών (feature based method).

Η μέθοδος που συναντάται κατα κόρον για την παραγωγή ενός ψηφιακού μωσαϊκού στις πλέον σύγχρονες εφαρμογές είναι η εκείνη που χρησιμοποιεί χαρακτηριστικά γνωρίσματα των εικόνων (feature based). Συνήθως τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που βασιζόμαστε για την παραγωγή ενός ψηφιακού μωσαϊκού είναι τα άκρα ή οι γωνίες που συναντώνται στις εικόνες.

¹ <https://www.mathworks.com/examples/image/mw/images-ex61574564-registering-an-aerial-photo-to-an-orthophoto>, 06/06/2018

Κάθε μέθοδος για την δόμηση ενός ψηφιακού μωσαϊκού, αποτελείται από 4 στάδια

1. Επιλογή και αποθήκευση εικόνων στο σύστημα
2. Αναγωγή επιλεγμένων εικόνων. Όσον αφορά το ψηφιακό μωσαϊκό η αναγωγή των επικαλυπτόμενων φωτογραφιών πρέπει να γίνει στο ίδιο σύστημα
3. Συρραφή και ευθυγράμμιση εικόνων
4. Αμάμειξη εικόνων. Εξομάλυνση, δηλαδή, των διαφορών φωτεινότητας κατά μήκος των ραφών.

Κατά τη mathworks, στο ψηφιακό μωσαϊκό, οι πιθανές ασυνέχειες φωτεινότητας κατά μήκος των ραφών του μωσαϊκού, μπορούν εύκολα να ξεπεραστούν είτε εξισώνοντας το ιστογράμματα των γειτονικών διορθωμένων (ανορθωμένων) εικόνων, είτε κάνοντας χρήση φίλτρων Wallis.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

MatLab

Σκοπός του πρακτικού μέρους της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των βασικών εντολών του MatLAB για την ψηφιακή επεξεργασία φωτογραφιών. Οι εντολές για την απαλοιφή των σφαλμάτων και την ενίσχυση των εικόνων παραλείπονται, καθώς έχουν ήδη παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 5 της παρούσας εργασίας.

Οι εντολές που θα παρουσιαστούν θα καλύπτουν τις βασικές φωτογραμμετρικές διαδικασίες, όπως αυτές παρουσιάστηκαν στο θεωρητικό μέρος.

6.1 Βασικές έννοιες MatLAB

Πρόκειται για λογισμικό ειδικού σκοπού, που χρησιμοποιείται σε αμέτρητες μηχανικές εφαρμογές (κατασκευή "εικονικών" φίλτρων, Simulink συστημάτων, επεξεργασία εικόνων κ.α.).

Κύριο χαρακτηριστικό του MatLAB είναι το περιβάλλον εργασίας του, που αποτελείται από παράθυρα, κυριότερα από τα οποία είναι το παράθυρο εντολών, το παράθυρο χώρου εργασίας και το παράθυρο ιστορικού εντολών.

Κύρια παράθυρα, τα οποία όμως ανοίγουν μόνο όταν δοθεί η κατάλληλη εντολή στο πρόγραμμα είναι και το παράθυρο γραφημάτων και το παράθυρο του editor.

Για την εφαρμογή κάποιων διαδικασιών, αλλά και για καλύτερη κατανόηση απαραίτητο είναι και το Matlab photogrammetric Toolbox. Η "εργαλειοθήκη" αυτή παρέχει έτοιμες συναρτήσεις για την επίλυση των φωτογραμμετρικών προβλημάτων. Στην τελευταία έκδοση του λογισμικού εμπεριέχεται στο .exe αρχείο και μπορεί να επιλεγθεί κατά τη διαδικασία της εγκατάστασης. Για παλαιότερες εκδόσεις, μπορεί να μεταφορτωθεί από την ακόλουθη διεύθυνση :

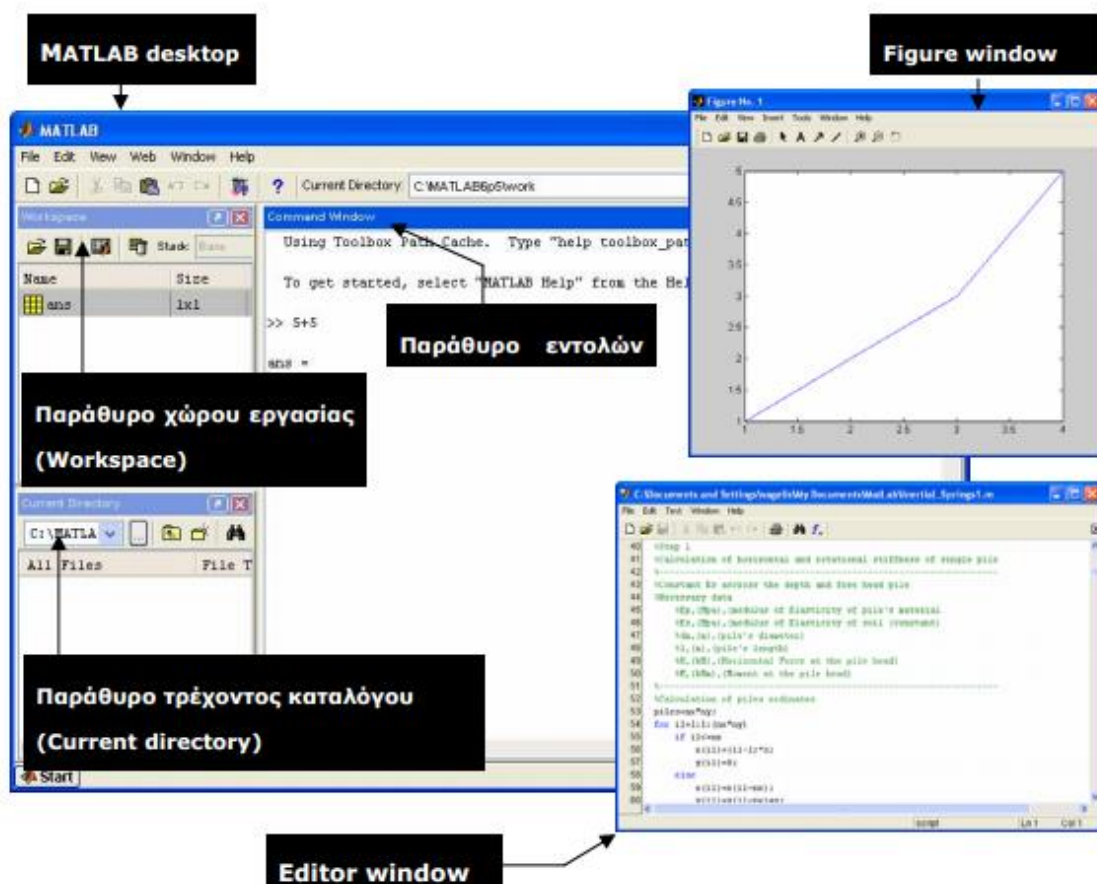
http://photogram.tg.teiath.gr/wp-content/uploads/MPT_v1.zip

Για την ευκολότερη και γρηγορότερη επίλυση των διαδικασιών της όρασης υπολογιστών απαραίτητο είναι το Computer Vision System Toolbox

Παράθυρο εντολών (Command Window): Αυτό είναι το βασικό παράθυρο.

Χαρακτηρίζεται από το σύμβολο προτροπής (>>, MATLAB command prompt).

Στο Παράθυρο εντολών πληκτρολογείται το σύνολο των εντολών. Επίσης, στο τμήμα αυτό της επιφάνειας εργασίας του MATLAB, πραγματοποιείται η εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων για μια εφαρμογή, καθώς χρησιμεύει και για την εξαγωγή των επιζητούμενων αποτελεσμάτων.



Σχήμα 6.1 : Περιβάλλον εργασίας MatLAB

Παράθυρο χώρου εργασίας (Workspace): Στο παράθυρο αυτό, απεικονίζονται όλες οι μεταβλητές, οι οποίες εισάγονται και χρησιμοποιούνται στο Παράθυρο εντολών. Στο παρόν παράθυρο παρέχονται πληροφορίες για τον τύπο και το μέγεθος κάθε μεταβλητής.

Παράθυρο ιστορικού εντολών (Command History): Οι εντολές, οι οποίες πληκτρολογούνται στο Παράθυρο εντολών, καταγράφονται στο παράθυρο ιστορικού εντολών. Στο παράθυρο αυτό υπάρχουν καταχωρημένες εντολές, οι οποίες έχουν ήδη εκτελεστεί. Εκτός της χρησιμότητάς του στην ευκολία παρακολούθησης των ήδη εκτελεσμένων εντολών, μας δίνεται η δυνατότητα να επιλέξουμε από αυτό το παράθυρο κάποια επιθυμητή εντολή και να την εκτελέσουμε στο παράθυρο εντολών, κάνοντας διπλό κλικ με το ποντίκι πάνω στην εντολή αυτή.

Παράθυρο γραφημάτων (Figure Window): Το αποτέλεσμα από όλες τις σχετικές με τα γραφήματα εντολές, οι οποίες έχουν εκτελεστεί στο Παράθυρο εντολών, παρέχονται στο παράθυρο γραφημάτων, το οποίο είναι ξεχωριστό από τα υπόλοιπα, παράθυρο (pop-up window). Από το Παράθυρο των γραφημάτων, είναι δυνατή η επεξεργασία και ο χειρισμός των γραφημάτων.

M-files: Είναι τυπικά ASCII text files, συνοδευόμενα από την προέκταση .m στο όνομα του αρχείου. Τα περισσότερα προγράμματα, τα οποία συντάσσονται μέσω του MATLAB αποθηκεύονται ως M-files. Το σύνολο των υπαρχουσών συναρτήσεων είναι επίσης τύπου M-files.

Πίνακες : Το MatLAB είναι μια συντομογραφία για το "matrix laboratory", έχει σχεδιαστεί για να χειρίζεται μήτρες και πίνακες. Μήτρα ονομάζεται ένας δισδιάστατος πίνακας που χρησιμοποιείται συχνά στη γραμμική άλγεβρα.

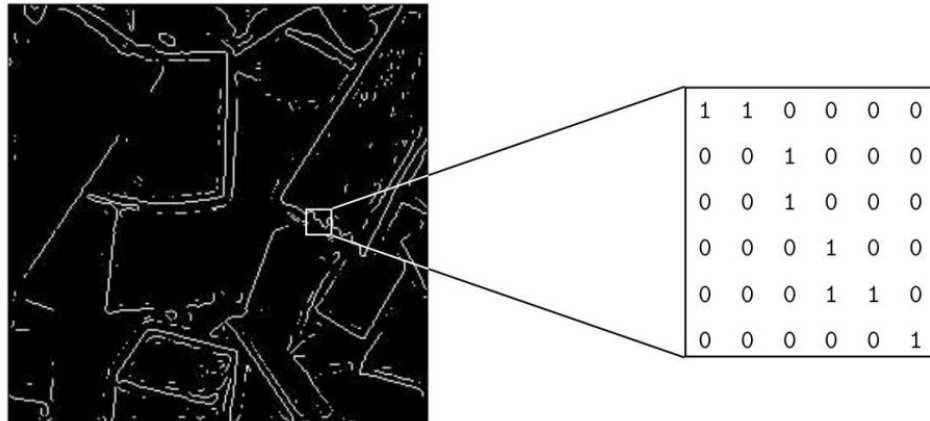
Όλες οι μεταβλητές του MatLAB είναι πολυδιάστατοι πίνακες, ανεξαρτήτως από το είδος των δεδομένων. Έτσι και τα φωτογραφικά δεδομένα, αποθηκεύονται σε μορφή πινάκων στο MatLAB.

Όπως προαναφέραμε, τα δεδομένα εισόδου στο MatLAB είναι οι ψηφιακές εικόνες (αποτέλεσμα της επεξεργασίας των φωτογραφιών).

Οι ψηφιακές αυτές "εικόνες" μπορεί να είναι τριών ειδών:

α. Δυαδική εικόνα (binary image)

Σε μία δυαδική εικόνα, κάθε pixel μπορεί να είναι μαύρο ή άσπρο. Αφού κάθε pixel μπορεί να πάρει μόνον μία από τις 2 τιμές (0,1 ή 0, 225), χρειαζόμαστε μόνο ένα bit ανά pixel. Οι εικόνες αυτού του είδους χρησιμοποιούνται κυρίως για το διαχωρισμό προσκηνίου και παρασκηίου μίας σκηνής - εικόνας.



Σχήμα 6.2 : Binary image και τρόπος αποθήκευσης του στο MatLAB ¹

β. Ασπρόμαυρη εικόνα (grayscale image)

Κάθε pixel είναι μια απόχρωση του γκρι. Από 0 (μαύρο) έως 255 (λευκό). Κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να αποτελείται από οκτώ bits, ή ακριβώς ένα byte. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κλίμακες με διαφορετικό εύρος, αλλά η συνηθέστερη είναι η προαναφερθείσα.

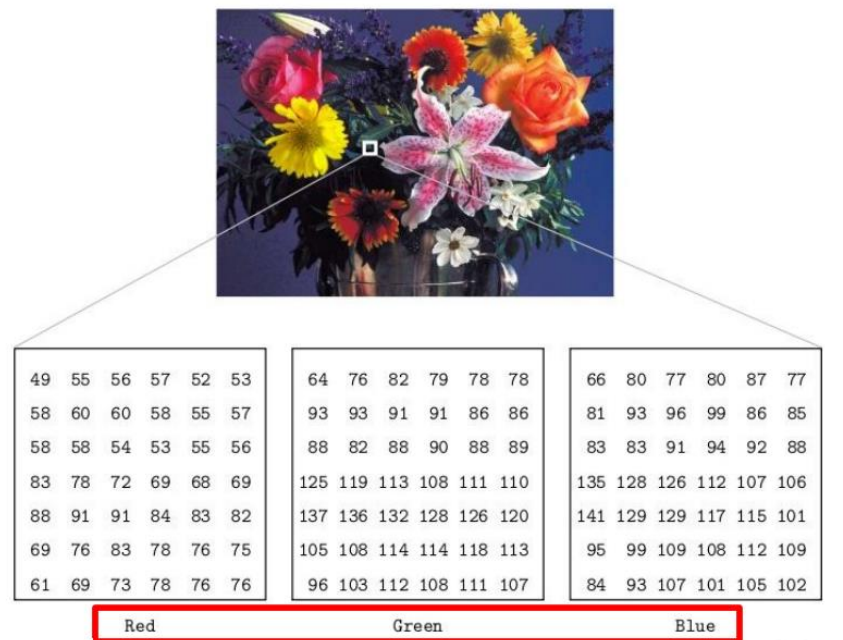


Σχήμα 6.3 : Ασπρόμαυρη εικόνα και τρόπος αποθήκευσης του στο MatLAB ¹

¹ Alasdair McAndrew ‘An Introduction to Digital Image Processing with Matlab. Notes for SCM5211 Image Processing 1’, School of Computer Science and Mathematics Victoria University of Technology

γ. Έγχρωμη εικόνα (color image)

Στην έγχρωμη εικόνα (ή RGB) κάθε pixel έχει ένα συγκεκριμένο χρώμα, που περιγράφεται από την ποσότητα του κόκκινου, πράσινου και μπλε. Εάν κάθε χρώμα έχει εύρος 0 - 255 έχουμε 256³ διαφορετικά πιθανά χρώματα. Μια έγχρωμη εικόνα αναπαρίσταται από τρεις πίνακες, που αντιπροσωπεύουν την τιμή του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε για κάθε εικονοστοιχείο. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε pixel αντιστοιχούν 3 τιμές.



Σχήμα 6.4 : Έγχρωμη εικόνα και τρόπος αποθήκευσης του στο MatLAB ¹

¹ Alasdair McAndrew 'An Introduction to Digital Image Processing with Matlab. Notes for SCM5211 Image Processing 1', School of Computer Science and Mathematics Victoria University of Technology

6.2 Βασικές εντολές MatLAB

Οι βασικότερες εντολές του MatLab για την επεξεργασία εικόνων γενικότερα παρατίθενται στον πίνακα 6.1, συνοδευόμενες από μία σύντομη επεξήγηση. Για περαιτέρω μελέτη στην επεξεργασία εικόνων στο Matlab, μπορείτε να επισκεφθείτε την online βοήθεια (<http://www.mathworks.com/help/matlab/>), από όπου και βρέθηκαν τις ακόλουθες πληροφορίες, εντολές και επεξηγήσεις.

Πίνακας 6.1 : Βασικές εντολές του Matlab για την επεξεργασία εικόνων

Εντολή	Βασική Σύνταξη	Χρήση
imread	A = imread(όνομα αρχείου, τύπος)	Διαβάζει ασπρόμαυρες ή έγχρωμες εικόνες
imwrite	imwrite(A,filename)	Αποθηκεύει τα δεδομένα της εικόνας A στο αρχείο filename, συμπεραίνοντας τον τύπο του αρχείου από την επέκταση του ονόματος
imshow	imshow(I)	Εμφανίζει την εικόνα I
figure	figure(h)	Δημιουργεί γράφημα της εικόνας h
imfinfo	info = imfinfo(filename)	Επιστρέφει πληροφορίες για την εικόνα της οποίας εισάγουμε ως παράμετρο το όνομα
imresize	B = imresize(A, scale)	Επιστρέφει την εικόνα B, που είναι η εικόνα A με κλίμακα scale
imhist	imhist(I)	Υπολογίζει το ιστόγραμμα της εικόνας I και εμφανίζει μια καμπύλη του ιστογράμματος
Axis	axis auto	Υπολογίζει τα όρια των τρεχόντων αξόνων από την ελάχιστη και μέγιστη τιμή των συντεταγμένων x, y, z των δεδομένων

impxelinfo	impxelinfo	Δημιουργεί εργαλείο πληροφοριών εικονοστοιχείων στην εικόνα. Το εργαλείο αυτό εμφανίζει πληροφορίες του εικονοστοιχείου για την εικόνα που ο δείκτης είναι τοποθετημένος πάνω της
imdistline	h = imdistline	Δημιουργεί εργαλείο αποστάσεων στους τρέχουσες άξονες
grid	grid on	Προσθέτει γραμμές πλέγματος στους τρέχοντες άξονες
im2bw	BW = im2bw(I, level)	Μετατρέπει την ασπρόμαυρη εικόνα I σε δυαδική
ind2gray	I = ind2gray(X,map)	Μετατρέπει την εικόνα X, με χρωματικό χάρτη 'map' σε ασπρόμαυρη εικόνα I. Η εντολή αυτή διατηρεί τη φωτεινότητα της εικόνας
gray2ind	[X, map] = gray2ind(I,n)	Μετατρέπει την ασπρόμαυρη εικόνα I σε μία indexed εικόνα X. Το n προσδιορίζει το μέγεθος του χρωματικού χάρτη και πρέπει να είναι ακέραιο μεταξύ του 1 και του 65536
rgb2gray	I = rgb2gray(RGB)	Μετατρέπει μια έγχρωμη (RGB) εικόνα σε ασπρόμαυρη (grayscale) I, διατηρώντας τη φωτεινότητα της εικόνας και εξαλείφοντας τα hue και saturation (απόχρωση και κορεσμό)
rgb2ind	[X,map] = rgb2ind(RGB,n)	Μετατρέπει την έγχρωμη εικόνα σε μία indexed εικόνα X

ind2rgb	RGB = ind2rgb(X,map)	Μετατρέπει τον πίνακα X και τον αντίστοιχο χρωματικό χάρτη 'map' σε μορφή RGB
---------	----------------------	---

Στον πίνακα 6.1 δίδεται η βασική, πιο απλή σύνταξη της εκάστοτε εντολής. Οι περισσότερες εντολές έχουν παραπάνω από μία σύνταξη. Κάθε σύνταξη εξυπηρετεί διαφορετικό σκοπό, όπως πχ η σύνταξη $A = \text{imread}(\text{filename}, \text{fmt})$ διαβάζει ασπρόμαυρες ή έγχρωμες εικόνες από το φάκελο του τρέχοντος project του Matlab, ενώ η σύνταξη $[...] = \text{imread}(\text{URL}, \dots)$ διαβάζει την εικόνα από μια διεύθυνση στο διαδίκτυο .

Περισσότερα για τη σύνταξη των εντολών μπορούν να βρεθούν στην ιστοσελίδα της Mathworks.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα

Η μέθοδοι και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν κατά την επεξεργασία μίας ή περισσοτέρων εικόνων, εξαρτάται άμεσα από τη φύση της φωτογραφίας και το σκοπό της επεξεργασίας. Έτσι, για παράδειγμα και όπως ήδη είδαμε, αλλιώς αναπαρίσταται ψηφιακά μία δυαδική, μία ασπρόμαυρη και μια έγχρωμη εικόνα.

Ακολουθώς, υπόκεινται διαφορετική επεξεργασία, ακόμη και αν ο σκοπός αυτής είναι ο ίδιος. Ως παράδειγμα θα αναφέρουμε την όξυνση μίας ασπρόμαυρης και μίας έγχρωμής εικόνας.

Εκτός όμως από τη φύση τη φωτογραφίας, κρίσιμο στοιχείο για την επιλογή των μεθόδων και των εργαλείων της εκάστοτε επεξεργασίας είναι η φύση της εργασίας και ο σκοπός αυτής. Έτσι, ακόμα και αν χρησιμοποιούμε της ίδιες φωτογραφίες ή εικόνες σε δύο εργασίες που έχουν διαφορετικό σκοπό, η επεξεργασία τους διαφέρει. Για την απλούστευση τους συμπεράσματος αυτού, θα αναφέρω πως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις ίδιες εικόνες για την παρουσίαση ενός μνημείου, αλλά η επεξεργασία τους διαφέρει αν ο σκοπός είναι η δυσδιάστατη απεικόνιση του μνημείου σε σχέση με την περίπτωση που ο σκοπός είναι η τρισδιάστατη απεικόνισή του.

Τέλος θα ήθελα να αναφερθώ στην επεξεργασία εικόνων αποκλειστικά για φωτογραμμετρικούς σκοπούς, που τείνει να αυτοματοποιείται και να απλουστεύεται για τους χρήστες, αν και το υπόβαθρο και οι αλγόριθμοι πίσω από αυτήν είναι πολύπλοκοι των παλαιότερων. Αν και πάντα οι μέθοδοι της αναλυτικής φωτογραμμετρίας και η απλούστερη περίπτωση της ψηφιακής επεξεργασίας μίας εικόνας θα είναι απαραίτητες για την κατανόηση της φωτογραμμετρικής διαδικασίας, τα πλέον σύγχρονα συστήματα είναι εφοδιασμένα με εργαλεία και αλγόριθμους που εκτελούν τις εργασίες αυτές ταυτόχρονα και σχετικά γρήγορα για όλες τις αποκτηθείσες φωτογραφίες .

Βιβλιογραφία

1. M. Potuckova (2004). 'Image matching and its application in photogrammetry' Ph.D. thesis, Czech Technical University in Prague.
2. Έλλη Πέτσα (2000). 'Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας'.
3. ΣΤΑΥΡΟΣ ΒΑΒΙΑΣ (2011). 'ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ' ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, σελίδες 24-51.
4. Wilfried Linder (2009). 'Digital Photogrammetry, A Practical Course', third Edition, εκδόσεις Springer, σελίδες 1-3 και 6-8.
5. ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Δ. ΞΥΝΟΓΑΛΑΣ (Οκτώβριος 2010). 'Βαθμονόμηση Αναλογικών Μηχανών Αεροφωτογράφισης με τη Χρήση Πεδίου Ελέγχου' ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, σελίδες 4-6.
6. Γιώργος Καρράς (Δεκέμβριος 1998). 'Γραμμικοί Μετασχηματισμοί Συντεταγμένων στη Φωτογραμμετρία'.
7. T. Schenk (2005). 'Introduction to Photogrammetry'.
8. Morten Odegaard Nielsen (2004). 'True orthophoto generation'.
9. Πέτρος Πατιάς (1991). 'Εισαγωγή στη φωτογραμμετρία', Εκδόσεις Ζήτη.
10. Κωνσταντίνος Γ. Περάκης, Ιωάννης Ν. Φαρασλής, Αθανάσιος Κ. Μουσιάδης (2015). 'Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες'.
11. Μουντράκης Γιώργος (1998). 'Προσδιορισμός και διόρθωση της ακτινικής διαστρόφης υπερευρυγώνιων φακών από λήψεις ευθειογενών αντικειμένων', σελίδες 9-11.
12. Στέλιος Π. Μερτίκας (1999). 'Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή ανάλυση εικόνας', Εκδόσεις Ίων
13. Alasdair McAndrew 'An Introduction to Digital Image Processing with Matlab. Notes for SCM5211 Image Processing 1', School of Computer Science and Mathematics Victoria University of Technology – σήμερα μπορεί να βρεθεί και διαδικτυακά εδώ: <https://www.scribd.com/document/158035897/An-Introduction-to-Digital-Image-Processing-with-Matlab-Notes-for-SCM2511-Image-Processing-pdf>

Διαδικτυακές Πηγές

1. <https://www.mathworks.com/help/images/noise-removal.html>, 10/06/2018
2. <https://www.mathworks.com/help/images/examples/contrast-enhancement-techniques.html>, 10/06/2018
3. <https://www.mathworks.com/help/images/examples/registering-an-aerial-photo-to-an-orthophoto.html>, 10/06/2018
4. <https://www.mathworks.com/help/images/image-deblurring.html>, 10/06/2018
5. <https://www.mathworks.com/help/images/ref/deconvreg.html>, 10/06/2018
6. <https://www.mathworks.com/help/images/ref/deconvblind.html>, 10/06/2018
7. <https://www.mathworks.com/help/images/ref/deconvwnr.html>, 10/06/2018
8. <https://ipvm.com/reports/gain-agc-surveillance-video>, 07/06/2018
9. <https://www.google.cz/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=2ahUKEwiOpbG9uefbAhVIY1AKHVZeDPOQjRx6BAgBEAU&url=http%3A%2F%2Fagamenon.tsc.uah.es%2FInvestigacion%2Fgram%2Fprojects%2Fstimulo%2Findex.html&psig=AQVaw0TvztCrK2bSaagpqHZ3Myt&ust=1529762820012219> 07/06/2018
10. <http://hosting.soonet.ca/eliris/remotesensing/bl130lec4.html> , 07/06/2018
11. <http://files.drokos.webnode.gr/200000259-5a55a5b4ee/F-TKef.1-1.7NEW.pdf> , 07/06/2018
12. <https://www.mathworks.com/help/images/ref/imsharpen.html> , 07/06/2018
13. http://vision.psych.umn.edu/users/schrater/schrater_lab/courses/CompVis07/Papers/Lec02_CamModels.pdf, 06/06/2018
14. <https://www.mathworks.com/help/images/ref/multithresh.html>, 06/06/2018
15. <https://www.slideshare.net/virajain/lecture-1-aerial-photogrammetry>, 06/06/2018
16. <http://www.fao.org/docrep/003/t0390e/T0390E08.htm>, 06/06/2018
17. <https://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/air-photos/about-aerial-photography/9687>, 06/06/2018
18. <https://www.mathworks.com/examples/image/mw/images-ex61574564-registering-an-aerial-photo-to-an-orthophoto>, 06/06/2018
19. <https://www.google.gr/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fi.pinimg.com%2Foriginals%2F27%2Fd5%2Fbe%2F27d5be543894dc071f967c1a2ea96ab0.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.pinterest.com%2Fpin%2F621285711064218747%2F&docid=6wsmE4J1cOI->

- [jM&tbnid=PujQCL-UkHLABM%3A&vet=1&w=400&h=267&bih=717&biw=1058&ved=0ahUKEwjnv6DcvNLbAhVEYVAKHU1uD_MQMwhEKAowCg&iact=c&ictx=1](#) , 16/01/2015
20. http://www.isprs.org/proceedings/XXIX/congress/part2/364_XXIX-part2.pdf, 15/01/2015
 21. http://www.isprs.org/proceedings/XXXI/congress/part3/735_XXXI-part3.pdf, 12/02/2014
 22. http://www.isprs.org/proceedings/XXXI/congress/part3/490_XXXI-part3.pdf, 12/02/2014
 23. <http://folk.uio.no/treiken/GEO4530/schenk.pdf>, 2/02/2014
 24. <http://www.mathworks.com/help/matlab/ref/triangulationclass.html>, 11/02/2014
 25. http://www.asprs.org/a/publications/pers/96journal/june/1996_jun_703-710.pdf, 11/02/2014
 26. <http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/photo/education/courses/photogram2/resection.pdf>, 10/02/2014
 27. <http://www.mathworks.com/help/images>, 03/02/2014
 28. http://folk.uio.no/treiken/GEO4530/auto_io_rel_mm.pdf, 25/01/2014
 29. http://www.igp.ethz.ch/photogrammetry/education/lehrveranstaltungen/photogrammetry/matlab_imageprocessing.pdf, 10/01/2014
 30. http://www.math.vcu.edu/NSF_Grad_Teaching_Fellows/FinalPapers/VLewisFINAL.pdf, 02/01/2014
 31. <https://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεπισκόπηση>, 02/01/2014
 32. http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/htmls/ref.html, 15/12/2013
 33. <http://download.analysis3.com/CS-534-Computer-Vision-Stereo-Imaging---Computer-Science-at-Rutgers-download-w10194.html>, 10/12/2013
 34. <http://download.analysis3.com/S-I--1-Topic-10-Stereo-Imaging---The-University-of-Edinburgh-download-w10193.html>, 10/12/2013
 35. <http://download.analysis3.com/Digital-Stereoscopic-Imaging---Welcome-to-the-Department-of-download-w10214.html>, 10/12/2013
 36. <http://photographytraining.tpub.com/14208/index.htm>, 06/12/2013
 37. http://gis-lab.info/docs/books/aerial-mapping/cr1557_06.pdf, 06/12/2013
 38. <http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=1770>, 05/12/2013
 39. http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/lectures/geometry_of_aerial_photographs_notes.html, 05/12/2013

40. http://geo.skku.ac.kr/board/system/db/geo_lecture1/upload/185/1239707355/photo.pdf,
09/11/2013
41. <http://www.docstoc.com/docs/2192732/HISTORY-OF-PHOTOGRAMMETRY>,
09/11/2013
42. <http://www.blm.gov/nstc/library/pdf/TN428.pdf> 09/11/2013
43. <http://ecourses.dbnet.ntua.gr>, Διαφάνειες Διαλέξεων 09/11/2013 και 15/06/2018