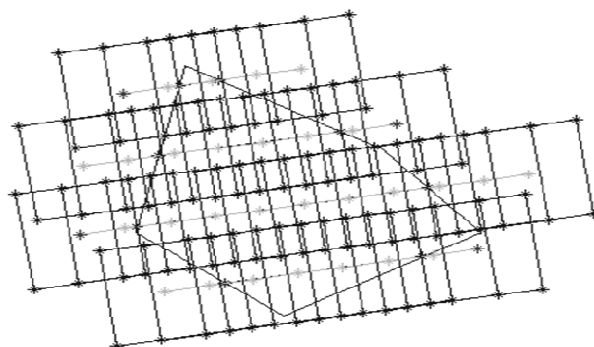




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## Ανάπτυξη Λογισμικού για το Σχεδιασμό Αεροφωτογραφίσεων



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΜΑΡΟΥ

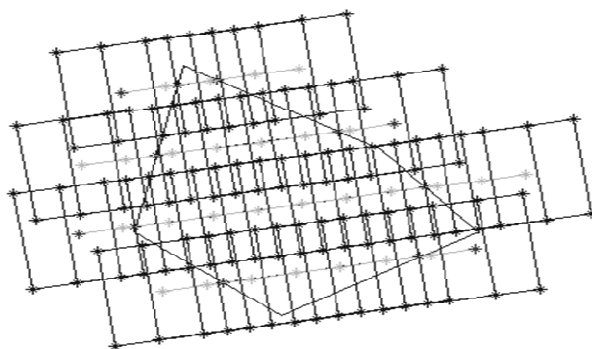
**Επιβλέπων:** Ανδρέας Γεωργόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**ΑΘΗΝΑ 2009**



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## Ανάπτυξη Λογισμικού για το Σχεδιασμό Αεροφωτογραφίσεων



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΜΑΡΟΥ

**Επιβλέπων:** Ανδρέας Γεωργόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**ΑΘΗΝΑ 2009**



## ***Πρόλογος***

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεωργόπουλο Ανδρέα για την εμπιστοσύνη και το ενδιαφέρον που έδειξε κατά την διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους M.Daboor και Θεοδωρή για την πολύτιμη βοήθειά τους.

## ***Περίληψη***

Η φάση του σχεδιασμού των αεροφωτογραφίσεων είναι από τους πλέον καθοριστικούς παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος και τη ποιότητα του τελικού αποτελέσματος. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την εργασία είναι γνωστοί, αλλά υπάρχουν μόνο απλοί εμπειρικοί κανόνες και γενικές κατευθυντήριες οδηγίες για την εκτέλεσή της. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η επιτυχία της εργασίας να επαφίεται σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρία του μελετητή.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία περιγράφεται το λογισμικό flightplan, το οποίο αναπτύχθηκε για τον προγραμματισμό καθώς και τη σύνταξη σχεδίων πτήσης. Το πρόγραμμα αποτελείται από δύο επιμέρους λειτουργικές μονάδες, το flightplan1 και το flightplan2. Στην πρώτη, ο χρήστης εισάγει τις επιθυμητές παραμέτρους για τον προγραμματισμό, ενώ στη δεύτερη, το λογισμικό προσδιορίζει και παρουσιάζει το βέλτιστο τρόπο σχεδιασμού της διαδικασίας.

## ***Abstract***

The phase of planning aerial photographic missions is one of the most decisive factors that influence the cost and the quality of the final result. The factors that influence the project are known, but there are only simple empiric rules and general directives for the project implementation. Consequently, the success of the project depends mostly on the experience of the engineer.

The objective of this thesis was the development of flight planning software. The Flightplan application is constituted of two individual modules, flightplan1 and flightplan2. In the first, user enters the desirable parameters for the planning, while in the second one, the optimal way of planning is determined.

# Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	III
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	IV
ABSTRACT	IV
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	1
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ (FLIGHT MANAGEMENT SYSTEMS)	4
2.1. SURVEY CONTROL TOOL (ASCOT)	4
2.2. MISSION PLANNING SOFTWARE	6
2.3. ALTV-NAV	8
3 ΣΧΕΔΙΟ ΠΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΛΗΨΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	9
3.1. ΓΕΝΙΚΑ	9
3.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΟΙ ΟΠΟΙΕΣ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟ ΣΧΕΔΙΟ ΠΤΗΣΗΣ	9
3.2.1 Η βέλτιστη επιλογή του φακού για την αεροφωτογράφιση	9
3.2.2 Η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στο σχέδιο πτήσης	10
3.2.3 Η επίδραση της θέσης του ήλιου	11
3.2.4 Εκτέλεση της φωτογράφισης	11
3.2.5 Η επίδραση του ανάγλυφου (DTM)	12
4 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΠΤΗΣΗΣ	13
4.1. Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	13
4.1.1 Γενικά	13
4.1.2 Αρχεία εισόδου και εξόδου του προγράμματος	13
4.1.3 Γεωμετρική ερμηνεία της δημιουργίας των γραμμών του σχεδίου πτήσης	14
4.1.4 Καθορισμός της διεύθυνσης των γραμμών πτήσης	15
4.1.5 Στοιχεία του φακού της φωτομηχανής και του μεγέθους των εικόνων	16
4.2. Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΣΤΟ MATLAB	20
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	29
6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	30
6.1. ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	30
6.2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΣΤΟΧΟ	32
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	33
ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	33



# 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη σύνταξη προγράμματος Η/Υ για τον προγραμματισμό της πτήσης και την εκτέλεση αεροφωτογράφισης. Στους στόχους του προγράμματος αυτού περιλαμβάνονται η δυνατότητα χρήσης του σε επιφανειακούς στόχους, και η απεικόνιση του σχεδίου πτήσης σε μορφή κατάλληλη για αξιοποίηση από το πλήρωμα της αποστολής φωτογράφισης.

Με δεδομένη τη σημασία της φάσης του σχεδιασμού για την τελική επιτυχία της αεροφωτογράφισης και τη διατήρηση του κόστους της σε χαμηλά επίπεδα, η χρησιμότητα ενός παρόμοιου προγράμματος είναι προφανής. Παρόμοια προγράμματα δεν διατίθενται στην αγορά αυτόνομα, αλλά όσα υπάρχουν αποτελούν τμήματα (modules) ευρύτερων εφαρμογών και μεγάλων πακέτων, οπότε το κόστος απόκτησής τους, αν το υπόλοιπο πακέτο δεν είναι επιθυμητό, είναι απαγορευτικό.

Οι εφαρμογές που καλύπτει το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε καλύπτουν τις περιπτώσεις αεροφωτογράφισης συγκεκριμένων στόχων για χαρτογραφικούς σκοπούς, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ειδικές φωτογραφήσεις με ελικόπτερο, ή ακόμα και για τις ανάγκες κάποιων εφαρμογών της επίγειας φωτογραμμετρίας. Ας σημειωθεί ότι εκτός από τις γραμμές πτήσης υπολογίζεται και το σημείο λήψης κάθε φωτογραφίας. Καταβλήθηκε προσπάθεια, ώστε ο τρόπος χρήσης του να είναι όσο το δυνατό πιο απλός. Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε τρία μέρη στα οποία περιγράφονται αναλυτικά:

Στο *Κεφάλαιο «Συστήματα Διαχείρισης Φωτογραφικών Αποστολών»* γίνεται παρουσίαση των προγραμμάτων της αγοράς τα οποία καθορίζουν το σχέδιο πτήσης. Το ίχνος της πορείας και των σημείων των λήψεων στην εγκάρσια Μερκατορική προβολή επαρκεί για την απαραίτητη αεροναυτιλία που ακολουθεί η πλειονότητα των πτητικών μέσων. Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται επίσης και οι απαραίτητες παραδοχές και οι παράμετροι κάθε ενός εμπορικού προγράμματος καθώς και ο τρόπος που απεικονίζει τα γραμμικά αποτελέσματά του και τα υπόλοιπα δεδομένα εξόδου τα οποία είναι απαραίτητα για τον χρήστη.

Στο *Κεφάλαιο «Ανάπτυξη λογισμικού για προγραμματισμό πτήσης»* οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για το σχεδιασμό και την εκτέλεση της αεροφωτογράφισης. Η σχετική θεωρία αναλύεται κυρίως μέσα από την περιγραφή του προγράμματος flightplan. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε παράμετρο που πρέπει να εισαχθεί στο πρόγραμμα (λ.χ. η κλίμακα) περιγράφεται πώς η παράμετρος αυτή επηρεάζει τη διαδικασία της αεροφωτογράφισης.

Τέλος, στο *Παράρτημα* παρατίθενται οι οδηγίες χρήσης του προγράμματος flightplan, καθώς και ένα πλήρες παράδειγμα εφαρμογής του.



# 2

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ (FLIGHT MANAGEMENT SYSTEMS)

Τα συστήματα διαχείρισης φωτογραφικών αποστολών αποτελούνται από το σύνολο των πακέτων λογισμικού καθώς και των αυτόματων συσκευών που είναι απαραίτητα για το σχεδιασμό της πτήσης, τη συλλογή των φωτογραφικών δεδομένων και την επεξεργασία των δεδομένων αυτών. Σκοπός της διαχείρισης αυτής, είναι η βελτιστοποίηση της διαδικασίας της παραγωγής ενός block εικόνων. Η έννοια της βελτιστοποίησης στο επίπεδο αυτό πραγματεύεται την τροχιά την οποία ακολουθεί το πτητικό μέσο για τη συλλογή των εικόνων. Το είδος και το μήκος της τροχιάς είναι καθοριστικό για τον σχεδιασμό της οικονομικότερης πτήσης, η οποία παράλληλα οφείλει να ικανοποιήσει τις προδιαγραφές ακρίβειας και ποιότητας του τελικού προϊόντος.

Όπως προαναφέρθηκε, ένα μέρος των συστημάτων διαχείρισης φωτογραφικών δεδομένων κάθε προγράμματος είναι η παραγωγή του σχεδίου πτήσης (flight planning). Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν τη φωτομηχανή, τη βάση στήριξης της η οποία στρέφει γύρω από τους τρεις άξονες της φωτομηχανής, μια αδρανειακή μονάδα IMU (inertial measurement unit), η οποία καταγράφει με τη βοήθεια τριών επιταχυνσιομέτρων τις αλλαγές ταχύτητας και κλίσεων του συστήματος. Ο εντοπισμός της ακριβούς θέσης της φωτογράφισης ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) πραγματοποιείται με χρήση συνδυασμού του GPS και INS (Inertial Navigation System) και τα δεδομένα από τη μονάδα IMU που αφορούν στις στροφές ( $\omega, \phi, \kappa$ ) κατά τους τρεις άξονες (X,Y,Z). Έτσι με τη γνώση των τιμών των έξι αυτών παραμέτρων, αποκαθίσταται ο εξωτερικός προσανατολισμός της κάθε λήψης ( $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$ ). Μέσα σε ένα FLIGHT MANAGEMENT SYSTEM περιλαμβάνονται ακόμη και οθόνες για την απεικόνιση των γραμμών πτήσης οι οποίες χρησιμοποιούνται από τον χειριστή των συστημάτων λήψης καθώς και από τον πιλότο. Οι εταιρίες που κατασκευάζουν τα συστήματα αυτά παρέχουν στο χρήστη και το λογισμικό το οποίο είναι απαραίτητο για τη χάραξη των γραμμών πτήσης σε κάποια προβολή στο επίπεδο ή ακόμη και σε επιφάνειες αναφοράς όπως διάφορα ελλειψοειδή ή/και τη σφαίρα.

Στα επόμενα γίνεται η παράθεση χαρακτηριστικών προγραμμάτων της αγοράς με περιγραφή της λειτουργίας τους.

### 2.1. Survey Control Tool (ASCOT)

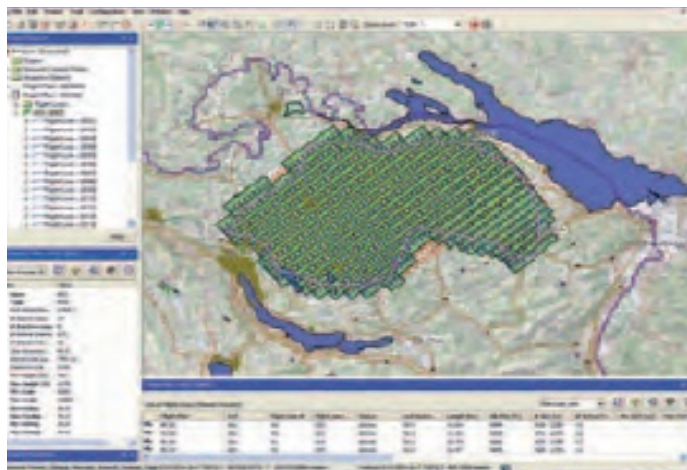
Το Aerial Survey Control Tool (ASCOT) της Leica είναι ένα από τα συστήματα διαχείρισης εναέριων αποστολών για φωτογράφιση και περιλαμβάνει και πρόγραμμα

για τον σχεδιασμό πτήσεων, ο αλγόριθμός του και τα χαρακτηριστικά του παρατίθενται παρακάτω:

- Δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει μεταξύ διαφορετικών τρόπων κάλυψης της επιφάνειας, ανάλογα με την κρίση του. Ο χρήστης του αλγόριθμου, δηλαδή, έχει την ευχέρεια να επιλέξει την κλίση των γραμμών πτήσης. Το πρόγραμμα ελέγχει και συγκρίνει τους διαφορετικούς τρόπους κάλυψης και παραθέτει τα αποτελέσματα στο χρήστη.
- Έχει τη δυνατότητα να κάνει την χάραξη του σχεδίου πτήσης σε γεωγραφικές συντεταγμένες ελλειψοειδούς ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ) αλλά και σε επίπεδες, ορθογώνιες συντεταγμένες οποιουδήποτε συστήματος αναφοράς.
- Ο αλγόριθμος δίνει τη δυνατότητα απεικόνισης των γραμμών πτήσης, των σημείων των λήψεων, των γραμμών πτήσης καθώς και του ίχνους κάθε εικόνας στο έδαφος.
- Τα δεδομένα εξόδου του προγράμματος είναι σε μορφή συμβατή με τα συστήματα πλοήγησης του αεροσκάφους. Τα συστήματα που προαναφέρθηκαν είναι διασυνδεδεμένα και υπάρχει η δυνατότητα να εισαχθούν και συντεταγμένες ή ακόμη και γραμμικά στοιχεία του σχεδίου πτήσης που χρησιμοποιούνται για την αυτόματη πλοήγηση του πτητικού μέσου.
- Επίσης δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα να εισάγει γραπτή πληροφορία σε κάθε γραμμή πτήσης και σε κάθε σημείο λήψης και τα δεδομένα διασυνδέονται με σχεδιαστικά πακέτα λογισμικού χάρη της δυνατότητας του προγράμματος να εξάγει αρχεία σε μορφή dxf.

Ένα άλλο module της εταιρίας Leica για σχεδιασμό πτήσης δίνει τη δυνατότητα χρήσης για σχεδιασμό φωτογραμμετρικών αποστολών, αλλά και εναέριων αποστολών με χρήση LiDAR. Ο αλγόριθμος του προγράμματος έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Δυνατότητα για εισαγωγή δεδομένων για τον οριζόντιο έλεγχο σε μορφή γεωγραφικών συντεταγμένων ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ) αλλά και επίπεδων συντεταγμένων στα περισσότερα γνωστά προβολικά συστήματα.
- Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη και το DTM του επιφανειακού στόχου για να υπολογίσει τον βέλτιστο τρόπο κάλυψής του.
- Δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να αποφασίσει σύμφωνα με τη κρίση του ποιος είναι ο βέλτιστος τρόπος κάλυψης της περιοχής μελέτης.
- Τα δεδομένα εξόδου είναι συμβατά με τις συσκευές της εταιρίας αλλά δίνονται και σε μορφή ASCII για την ευκολότερη διασύνδεση με άλλα συστήματα, όπως αυτό της πλοήγησης του πτητικού μέσου.
- Απεικόνιση των γραμμικών στοιχείων «αποτελεσμάτων του προγράμματος» σε διαγράμματα vector ή raster. Παράθεση όλων των χρήσιμων στοιχείων όπως οι συντεταγμένες των σημείων λήψης και τα σημεία τοποθέτησης των φωτοσταθερών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Παράθυρο από το λογισμικό της εταιρίας Leica

## 2.2. Mission Planning Software

Το λογισμικό της IGIplan **Mission Planning Software** είναι διασυνδεδεμένο με το διαδικτυακό πρόγραμμα Google Earth. Η χρήση του συνίσταται στην επιλογή των κορυφών του επιθυμητού στόχου από το Google Earth και η εισαγωγή του αρχείου (kml.) του διαδικτυακού προγράμματος στο IGIplan. Ακολούθως εισάγονται στο πρόγραμμα του σχεδιασμού πτήσης τα δεδομένα της φωτογράφισης και μετά την επεξεργασία τους από το λογισμικό, τα δεδομένα εξόδου προβάλλονται στο Google Earth, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου αλγόριθμου επεξεργασίας είναι:

- Υποστηρίζονται μόνο επίπεδες απεικονίσεις με ορθογώνιες συντεταγμένες περίπου εξακοσίων διαφορετικών τοπικών συστημάτων αναφοράς.
- Είναι συμβατό με ψηφιδωτό (raster) και διανυσματικό (vector) format διαγραμμάτων καθώς και με raster DTM format.
- Δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να σχεδιάσει τις γραμμές πτήσης και να εισάγει τις μεταβλητές του σχεδίου. Το πρόγραμμα επεξεργάζεται τα δεδομένα και υποδεικνύει το ύψος πτήσης κάθε γραμμής πτήσης χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του DTM.
- Υπάρχει δυνατότητα απεικόνισης της κάθε γραμμής πτήσης, του ίχνους των λωρίδων στο επίπεδο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3 καθώς και των ίχνων των εικόνων ως διαδοχικά τετράπλευρα.

Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης των γραμμικών αυτών στοιχείων.

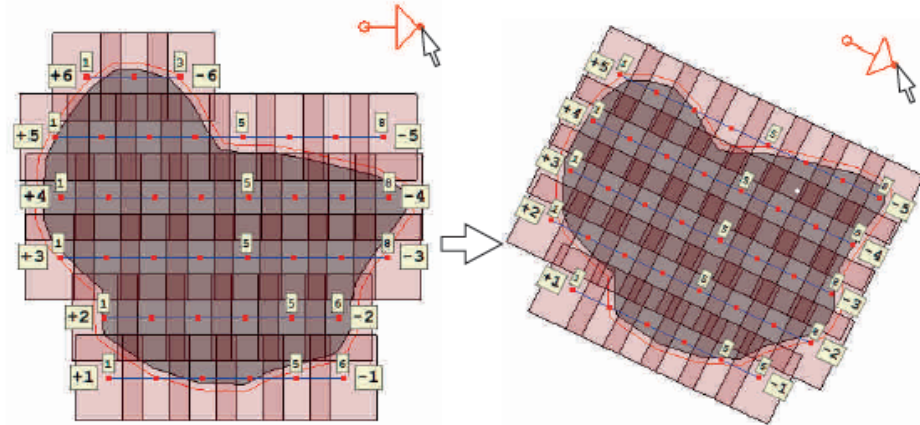
Τέλος, είναι εύκολη η αλλαγή του αζιμούθιου από το χρήστη με το ποντίκι όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.2: Οι κορυφές του ορίου στην προβολή του ορθοφωτοχάρτη του λογισμικού της IGiplan



Σχήμα 2.3: Το ίχνος των λωρίδων στο έδαφος όπως φαίνεται στο λογισμικό της IGiplan



Σχήμα 2.4: Επίδραση του διαφορετικού αζιμούθιου πτήσης στον αριθμό γραμμών πτήσης και των λήψεων.

### 2.3. ALTV-NAV

Το module του συστήματος διαχείρισης πτήσης **ALTV-NAV** έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

- Ο χρήστης εισάγει στο λογισμικό τις πληροφορίες που αφορούν στις προδιαγραφές του επιθυμητού αποτελέσματος και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας τους τα εξάγει χωρίς δυνατότητα περαιτέρω επέμβασης από τον χρήστη.
- Αναπτύσσει ένα τοπογραφικό διάγραμμα το οποίο απεικονίζει γραμμικά την συνολική τροχιά του πτητικού μέσου για ολόκληρη την διαδικασία της αποστολής (απογείωση –μετάβαση-αεροφωτογράφιση - προσγείωση). Έτσι γίνεται εφικτό να υπολογιστεί από τον αλγόριθμο το κόστος και ο συνολικός χρόνος που απαιτεί η ολοκλήρωση της κάθε αποστολής.
- Στα δεδομένα εισόδου του αλγορίθμου είναι και γεωδαιτικά ανηγμένοι ορθοφωτοχάρτες με υψομετρική πληροφορία, οι οποίοι προσδίδουν χρήσιμες πληροφορίες για τις ιδιαιτερότητες του αναγλύφου του στόχου, όπως εμφανώς ψηλά κτίρια. Η χρησιμότητα της χρήσης φωτογραφικής πληροφορίας είναι σημαντική και δύσκολα αναπληρώνεται από άλλους τοπογραφικούς τρόπους συλλογής δεδομένων του DTM.
- Στις δυνατότητες του προγράμματος περιλαμβάνεται και η δυνατότητα για κάλυψη πιθανών κενών στην φωτογραφική κάλυψη του στόχου και η ειδοποίηση του χρήστη από το σύστημα.
- Τα συστήματα αναφοράς που υποστηρίζει είναι το WGS84 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ) και το UTM. Επίσης είναι δυνατή και η μετατροπή από ελλειψοειδείς σε ορθογώνιες συντεταγμένες.

# 3

## ΣΧΕΔΙΟ ΠΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΛΗΨΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 3.1. Γενικά

Ο σχεδιασμός της αεροφωτογράφισης αποτελεί, κατά κανόνα, τμήμα του σχεδιασμού μιας ολοκληρωμένης φωτογραμμετρικής εργασίας. Η φάση του σχεδιασμού του συνόλου της εργασίας και κυρίως της αεροφωτογράφισης, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στάδια, καθώς η επιτυχία του καθορίζει τόσο την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος, όσο και το κόστος του.

Στο τμήμα του σχεδιασμού ενός φωτογραμμετρικού προγράμματος που αναφέρεται στο σχεδιασμό της αεροφωτογράφισης, διακρίνονται δυο κυρίως τομείς που έχουν σχέση:

- Με τον ακριβή καθορισμό των στοιχείων της πτήσεως όπως το αεροσκάφος που θα χρησιμοποιηθεί, το φωτογραφικό εξοπλισμό, τις γραμμές πτήσης, τον απαιτούμενο χρόνο πτήσης, την οροφή των επιχειρησιακών δυνατοτήτων του πτητικού μέσου κ.λπ.
- Με την συλλογή και μελέτη πληροφοριών που έχουν σχέση με τις ατμοσφαιρικές και άλλες τοπικές συνθήκες που είναι δυνατόν να επιδράσουν στην αεροφωτογράφιση.

Για ένα συγκεκριμένο φωτογραμμετρικό πρόγραμμα είναι συνήθως γνωστά ο σκοπός της χαρτογραφήσεως, η κλίμακα του διαγράμματος ή του ορθοφωτοχάρτη που θα συνταχθεί και ο διαθέσιμος εξοπλισμός. Η κλίμακα της αεροφωτογράφισης μπορεί να προκύψει άμεσα από την κλίμακα του προς σύνταξη διαγράμματος πολλαπλασιάζοντας τη ρίζα της με ένα συντελεστή (μεταξύ 200 και 300), δηλαδή:  $m_b = (200 - 300)\sqrt{m_k}$  (Kraus 2003). Με την κλίμακα της αεροφωτογράφισης πλέον γνωστή, μπορεί να προγραμματιστεί όλη η πτήση, και να εκτιμηθεί η διάρκεια και το κόστος της.

Ο προγραμματισμός αυτός, είναι κατά μεγάλο ποσοστό εμπειρικός, δεδομένου ότι ισχύουν απλοί κανόνες και γενικές οδηγίες, και στην ουσία επαφίεται στη εμπειρία του μελετητή.

### 3.2. Παράμετροι οι οποίες καθορίζουν το σχέδιο πτήσης

#### 3.2.1 Η βέλτιστη επιλογή του φακού για την αεροφωτογράφιση

Ένας καθοριστικός παράγοντας για τη διαδικασία της αεροφωτογράφισης είναι το είδος του φακού που χρησιμοποιείται. Οι φακοί των αποστολών αεροφωτογράφισης είναι συνήθως σταθερής εστιακής απόστασης. Επιπλέον, είναι αδύνατη η εναλλαγή

τους κατά την διάρκεια της πτήσης. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η επιλογή του φακού εκ των προτέρων, ανάλογα με την επιθυμητή γεωμετρία της δέσμης των ακτινών.

Η απόφαση για το είδος του φακού που χρησιμοποιείται εξαρτάται κύρια από τις προδιαγραφές ακριβείας οι οποίες πρέπει να πληρούνται. Η γωνία της αλληλοτομίας των ομόλογων ακτινών σε ένα ζεύγος εικόνων εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των διαδοχικών λήψεων και τη μέση απόσταση λήψης. Έτσι είναι απαραίτητη η βέλτιστη επιλογή του λόγου βάσης λήψης προς ύψους πτήσης (B/Z), σε κάθε κλίμακα φωτογράφισης. Συνήθως η οξεία γωνία που σχηματίζουν δύο ομόλογες ακτίνες επιφέρει μεγάλη αβεβαιότητα στον προσδιορισμό των υψομέτρων. Αυτό συμβαίνει όταν ο λόγος B/Z είναι μικρός, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1.

$m_b$	B/Z = 1:1		B/Z = 1:3		B/Z = 1:10		B/Z = 1:20	
	$\sigma_{xy}$	$\sigma_z$	$\sigma_{xy}$	$\sigma_z$	$\sigma_{xy}$	$\sigma_z$	$\sigma_{xy}$	$\sigma_z$
50000	0.36	0.25	0.43	0.75	0.90	2.50	1.70	5.00 m
10000	0.72	0.50	0.86	1.50	1.81	5.00	3.41	10.00 dm
1000	0.72	0.50	0.86	1.50	1.81	5.00	3.41	10.00 cm
100	0.72	0.50	0.86	1.50	1.81	5.00	3.41	10.00 mm
25	0.18	0.13	0.22	0.38	0.45	1.25	0.85	2.50 mm

**Εικόνα 3.1.: Η επίδραση του λόγου B/Z στην ακρίβεια σε διαφορετικές κλίμακες φωτογράφισης**

Από την άλλη, η γεωμετρία της δέσμης των λήψεων πρέπει να είναι κατάλληλη για το ανάγλυφο του στόχου. Οι ευρυγώνιες λήψεις εξασφαλίζουν καλή αλληλοτομία λόγω καλού λόγου B/Z και μεγάλης επιφάνια κάλυψης σε κάθε λήψη. Παρόλα τα οφέλη σε ακρίβεια και οικονομία, αφού λόγω της μεγάλης εδαφοκάλυψης μειώνεται ο αριθμός των λήψεων, οι ευρυγώνιες λήψεις δεν είναι πάντα οι κατάλληλες για την φωτογραφική κάλυψη μιας περιοχής. Σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο είναι επιβεβλημένη η χρήση οξυγώνιου φακού. Η χρήση του επιβάλλει μεγάλα υψόμετρα πτήσης και μικρή εδαφοκάλυψη της κάθε εικόνας. Όμως, οι λήψεις με οξυγώνιο φακό δεν αφήνουν ακάλυπτες επιφάνειες σε αστικές περιοχές και σε στόχους με έντονο ανάγλυφο.

### 3.2.2 Η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στο σχέδιο πτήσης

Ως γενικός κανόνας ισχύει ότι κατά την αεροφωτογράφιση πρέπει ο ουρανός να είναι αίθριος, να μην υπάρχει καπνός ή ομίχλη και η ταχύτητα και ο στροβιλισμός του ανέμου στο ύψος της πτήσης να είναι ελάχιστος. Με το όρο «αίθριος» εννοείται ότι ο ουρανός καλύπτεται με σύννεφα κατά το 1/10 ή λιγότερο. Από μετεωρολογικές παρατηρήσεις έχουν συνταχθεί διαγράμματα που παρουσιάζουν για κάθε περιοχή και χρονική περίοδο, τον αριθμό των αναμενόμενων αίθριων ημερών. Δεδομένου ότι, κατά κανόνα, ο αριθμός αυτός είναι μικρός για κάθε περιοχή, είναι σκόπιμο το αεροσκάφος να εγκαθίσταται στο κοντινότερο προς το στόχο αεροδρόμιο.

Σε ορισμένες περιπτώσεις η ύπαρξη υψηλής νέφωσης βελτιώνει την ποιότητα των αεροφωτογραφιών, διότι διαχέεται το φως και μειώνεται η ένταση των σκιών. Επίσης, με τη χρήση φιλμ μεγάλης ευαισθησίας είναι δυνατή η αεροφωτογράφιση ακόμα και με ουρανό με έντονη κάλυψη από νέφη, αρκεί φυσικά το επίπεδο της νέφωσης να είναι ψηλότερο από το επίπεδο της πτήσης.

Η ύπαρξη καπνού πάνω από τις αστικές και βιομηχανικές περιοχές δυσχεραίνει την αεροφωτογράφισή τους. Το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με την πτήση να γίνεται είτε αμέσως μετά από βροχή, είτε μετά από ημέρα ισχυρού ανέμου. Η ομίχλη επίσης συχνά εμποδίζει την αεροφωτογράφιση ακόμη και τις ημέρες αιθρίας. Η επίδρασή της μπορεί γενικά να αντιμετωπιστεί με τη χρήση ειδικών φίλτρων, ενώ ως γενικός εμπειρικός κανόνας ισχύει ότι οι συνθήκες είναι κατάλληλες για αεροφωτογράφιση αν στο έδαφος υπάρχει ορατότητα στα 25 χιλιόμετρα.

Ο άνεμος στο επίπεδο της πτήσης προκαλεί είτε εκτροπή της γραμμής πτήσης από την υπολογισμένη, είτε κραδασμούς και δονήσεις κατά το χρόνο εκθέσεως, που μειώνει την ποιότητα της εικόνας. Η επίδραση των παραγόντων αυτών είναι μεγαλύτερη αν το ύψος πτήσης είναι μεγάλο (μικρή κλίμακα). Στην περίπτωση αυτή, επιλέγονται ημέρες νηνεμίας για την εκτέλεση της αεροφωτογράφισης. Το μέτρο της εκτροπής του πτητικού μέσου ως προς τους τρεις άξονες (διαμήκη, εγκάρσιο και κατακόρυφο) μπορούν να υπολογιστούν με κάποιες επίγειες παρατηρήσεις της έντασης και της κατεύθυνσης του ανέμου. Από αυτές τις παρατηρήσεις και συναρτήσει του ύψους πτήσης και της διεύθυνσης των γραμμών πτήσης, υπολογίζεται το μέτρο της εκτροπής από την ιδανική, αυστηρά κατακόρυφη λήψη.

### **3.2.3 Η επίδραση της θέσης του ήλιου**

Ο φωτισμός μιας οριζόντιας επιφάνειας ελαττώνεται όσο ελαττώνεται το ύψος της φωτεινής πηγής. Η εκτέλεση των αεροφωτογραφίσεων όταν το ύψος του ήλιου είναι μεγαλύτερο από 30 μοίρες, εξασφαλίζει όσο το δυνατόν καλύτερες συνθήκες φωτισμού του στόχου και αποφυγή των μεγάλων σκιών που καλύπτουν τις λεπτομέρειες του εδάφους.

Το παραπάνω όριο των 30 μοιρών ύψους ήλιου, δεν μπορεί να τηρηθεί, όταν ανάγκες επιβάλλουν η εκτέλεση της αεροφωτογράφισης να γίνει στις αρχές της άνοιξης. Στις αρκτικές επίσης περιοχές, ο ήλιος δεν ανεβαίνει ποτέ σε μεγάλα ύψη, οπότε πάλι δεν μπορεί να τηρηθεί το όριο των 30 μοιρών. Στις παραπάνω περιπτώσεις οι αεροφωτογραφίσεις εκτελούνται με ύψος ήλιου μικρότερο και από 20 μοίρες.

Στην πράξη χρησιμοποιούνται κατάλληλα διαγράμματα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1 με τα οποία ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου του στόχου, μπορεί να προσδιοριστεί η διάρκεια της φωτογραμμετρικής ημέρας, καθώς και οι θέσεις των θερμών σημείων και των ανακλάσεων του ήλιου.

### **3.2.4 Εκτέλεση της φωτογράφισης**

Κατά την αεροφωτογράφιση ο χειρισμός του αεροσκάφους είναι φυσικά ευθύνη του πιλότου, ο οποίος πρέπει να τεθεί επί της γραμμής πτήσης που έχει αποφασιστεί στο σχέδιο, και να την ακολουθήσει με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Συγχρόνως με την είσοδο στη γραμμή πτήσης πρέπει να έχει αποκτήσει και το επιθυμητό ύψος το οποίο πρέπει και αυτό να διατηρηθεί με εξίσου μεγάλη ακρίβεια, και μάλιστα αποφεύγοντας οι κλίσεις του αεροσκάφους να πάρουν μεγάλες τιμές. Η διατήρηση του ύψους πτήσης μπορεί να επιτευχθεί από ένα έμπειρο πιλότο, με μία ακρίβεια των  $\pm 20\text{m}$ .





# 4

## ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΠΤΗΣΗΣ

### 4.1. Ο αλγόριθμος του προγράμματος

#### 4.1.1 Γενικά

Ο αλγόριθμος έχει ως δεδομένο εισόδου τη κατεύθυνση azimuth της πρώτης γραμμής πτήσης η οποία καθορίζει και τις κατευθύνσεις των υπολοίπων γραμμών καθώς και ένα σημείο το οποίο βρίσκεται εκτός του πολυγώνου. Το σημείο και η διεύθυνση ορίζουν μια ευθεία αναφοράς στο επίπεδο. Η κατεύθυνση της γραμμής αναφοράς είναι ουσιαστικά, η κατεύθυνση της πρώτης γραμμής πτήσης.

Ο αλγόριθμος έχει τη δυνατότητα να διαμορφώνει το σχέδιο πτήσης ανάλογα με την πλάγια και την κατά μήκος επικάλυψη που εισάγει ο χρήστης και τη διεύθυνση που αυτός επιλέγει. Επίσης, στην περίπτωση που δε δίνεται το αζιμούθιο το πρόγραμμα υπολογίζει το βέλτιστο αζιμούθιο χρησιμοποιώντας κριτήρια όπως η γεωμετρία του πολυγώνου των ορίων και το ανάγλυφο του στόχου φωτογράφισης. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής της κατά μήκος επικάλυψης στις γραμμές πτήσης, λαμβάνοντας υπόψη το ανάγλυφο της περιοχής.

#### 4.1.2 Αρχεία εισόδου και εξόδου του προγράμματος

Τα δεδομένα εισόδου του προγράμματος είναι αρχεία txt τα οποία αφορούν στον οριζοντιογραφικό και τον κατακόρυφο προσδιορισμό των ορίων του στόχου και κάποιων εσωτερικών σημείων τα οποία καθορίζουν και το DTM που δημιουργείται με βάση αυτά. Απαιτείται ακόμα ο χρήστης αν εισάγει και τις μεταβλητές του προβλήματος της αεροφωτογράφισης. Οι μεταβλητές αυτές είναι:

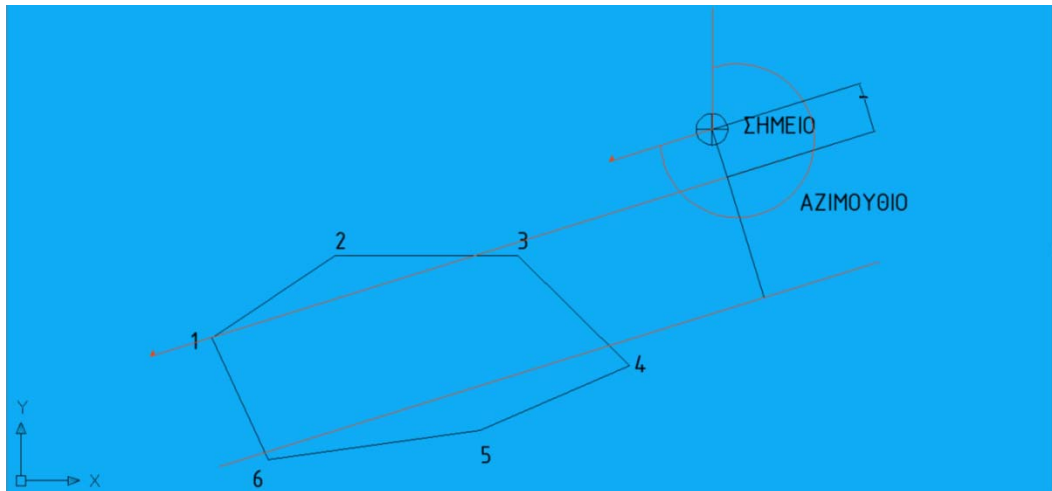
- m b: ο συντελεστής κλίμακας της φωτογράφισης
- c: η εστιακή απόσταση του επιθυμητού φακού
- s: το μήκος της ακμής της εικόνας
- q: η κατά πλάτος επικάλυψη των εικόνων
- i: η κατά μήκος επικάλυψη των εικόνων
- a: το αζιμούθιο της κάθε γραμμής πτήσης
- (x,y): οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες ενός σημείου εκτός των ορίων του στόχου από το οποίο ξεκινά το πτητικό μέσο.

Μέσω του προγραμματισμού που βασίζεται στην θεωρία του σχεδιασμού της πτήσης για φωτογραμμετρική χρήση το προϊόν που προκύπτει είναι οι γραμμές πτήσης, τα ίχνη των πεδίων που φωτογραφίζονται με κάθε λήψη στο επίπεδο της απεικόνισης

και οι κατευθύνσεις πτήσης σε κάθε γραμμή. Τα δεδομένα εξόδου τα οποία λαμβάνονται σε αρχείο txt είναι οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων λήψης.

#### 4.1.3 Γεωμετρική ερμηνεία της δημιουργίας των γραμμών του σχεδίου πτήσης

Με την εισαγωγή των παραπάνω μεταβλητών το πρόγραμμα υπολογίζει το ύψος πτήσης του πτητικού μέσου από το αντικείμενο. Υπολογίζει δηλαδή την απόσταση  $H$  από το μέσο υψόμετρο της περιοχής όπου  $H = c \times mb$ . Ομοίως υπολογίζεται και το μήκος της ακμής του πεδίου κάθε εικόνας στο έδαφος  $S = s \times mb$ .



Σχήμα 4.1: Η ευθεία προσανατολισμού ορισμένη από το εξωτερικό σημείο και τη γωνία του αζιμούθιου

Σε κάθε γραμμή πτήσης το πρόγραμμα υπολογίζει και το ύψος πτήσης από την εκάστοτε επιφάνεια αναφοράς  $H_{ptisis} = H + zmean$  και το αναγράφει σε αυτή.

Βάσει των μεταβλητών που δίνονται υπολογίζεται η απόσταση της κάθε γραμμής από τη γειτονική της, από τη σχέση:

$$A = (s \times m_b) \times (1 - q/100)$$

Ομοίως, υπολογίζεται και η απόσταση μεταξύ των κέντρων λήψεων η οποία εξαρτάται από το ανάγλυφο και υπολογίζεται ως εξής :

$$B = Mb \times S \times (1 - l/100)$$

Το αζιμούθιο που εισάγεται από τον χρήστη υποδεικνύει στο πρόγραμμα την κατεύθυνση της πρώτης γραμμής πτήσης και κατά συνέπεια τις κατευθύνσεις των υπόλοιπων που ακολουθούν. Κάθε γραμμή πτήσης έχει αντίθετες κατευθύνσεις, από τις γειτονικές της. Η πλευρά του πολυγώνου των ορίων από την οποία είναι επιθυμητό να αρχίσει η αεροφωτογράφιση υποδεικνύεται στο πρόγραμμα από το σημείο του οποίου τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες δίνονται από το χρήστη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Η απόσταση της πρώτης γραμμής από την πλησιέστερη κορυφή στην ευθεία που περνάει από το σημείο είναι  $D = S \times 0.2$  προς το εσωτερικό του πολυγώνου των ορίων, έτσι ώστε να υπάρχει ένα ποσοστό 30% της εικόνας έξω από την περιοχή μελέτης. Αντίστοιχα και η τελευταία γραμμή πτήσης δεν

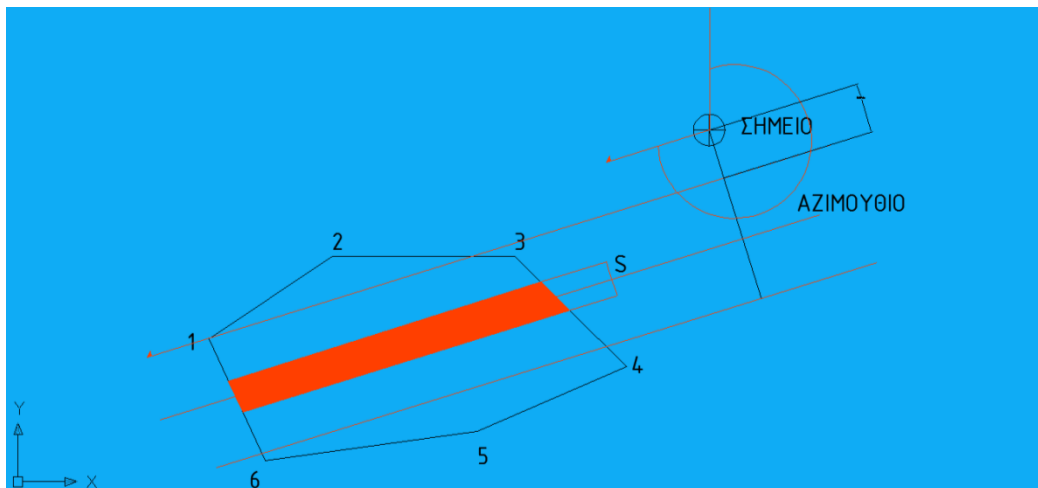
πρέπει να απέχει απόσταση μεγαλύτερη από  $S \times 0.2$  από το πιο μακρινό άκρο του πολυγώνου από το σημείο (x,y) που δίνεται.

Όταν το αζιμούθιο δεν εισάγεται από το χρήστη, το πρόγραμμα το υπολογίζει βάσει της γεωμετρίας του πολυγώνου και της φύσης του ανάγλυφου της περιοχής. Το πρώτο κριτήριο για τη διεύθυνση των γραμμών είναι η γεωμετρία του πολύγωνου.

Όσον αφορά την τιμή της κατά μήκος επικάλυψης κάθε διαδοχικού ζεύγους εικόνων, εισάγεται μεν από το χρήστη αλλά υπάρχει η δυνατότητα να αλλάξει ανάλογα με το ανάγλυφο που βρίσκεται εντός των ορίων της προβολής κάθε εικόνας στο επίπεδο αναφοράς. Ανάλογα με το μέγιστο υψόμετρο που βρίσκεται εντός των προαναφερθέντων ορίων διαμορφώνονται οι παρακάτω επικαλύψεις οι οποίες επηρεάζουν και τη βάση λήψης του κάθε ζεύγους :

- Για  $z = 10\% \times H$  έως  $z = 20\% \times H$ , η κατά μήκος επικάλυψη  $I$  γίνεται 70%
- Για  $z = 20\% \times H$  έως  $z = 30\% \times H$ , η κατά μήκος επικάλυψη  $I$  γίνεται 80%

Για  $z > 30\% \times H$ , το πρόγραμμα υπολογίζει τη διεύθυνση της μέγιστης κλίσης και θέτει νέο αζιμούθιο.

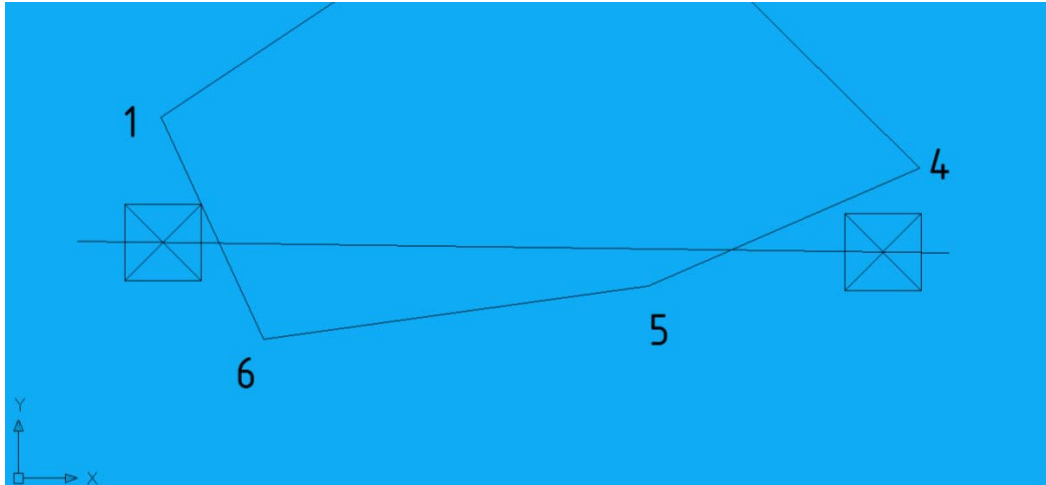


Σχήμα 4.2: Η λωρίδα ελέγχου, χρήσιμη για τον υπολογισμό του μέσου υψόμετρου για κάθε γραμμή πτήσης

Το πρώτο κέντρο λήψης κάθε γραμμής πτήσης απέχει απόσταση  $S/2$  από τη γραμμή του πολυγώνου έτσι ώστε να λαμβάνεται μια φωτογραφία έξω από τα όρια του στόχου. Η φωτογραφική λήψη συνεχίζεται μέχρι κάποια εικόνα να είναι εκτός του πολυγώνου των ορίων όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3.

#### 4.1.4 Καθορισμός της διεύθυνσης των γραμμών πτήσης

Σε ένα πρόγραμμα πτήσης πριν ξεκινήσει κανείς τους υπολογισμούς, με μια ματιά στο χάρτη και αρκετή εμπειρία στον προγραμματισμό πτήσης, από τη μορφή του ανάγλυφου μπορεί να καταλάβει ποια είναι η βολικότερη διεύθυνση για να πραγματοποιηθεί η πτήση.



Σχήμα 4.3: Η πρώτη και η τελευταία εικόνα κάθε γραμμής

Δηλαδή θα αποφύγει πτήσεις κάθετες προς κοντινούς μεγάλους ορεινούς όγκους κ.λπ. Επίσης, ακόμα και αν δεν συμβαίνει να υπάρχουν κοντά στη περιοχή του προγραμματισμού ιδιαίτερα ψηλοί ορεινοί σχηματισμοί, που να απειλούν την ασφάλεια πτήσης, έντονο ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατεύθυνση πτήσης για την οποία θα προέκυπταν οι λιγότερες φωτογραφίες.

Είναι φανερό πως αυτή η κατεύθυνση δεν είναι άλλη από την κατεύθυνση με τις λιγότερο έντονες υψομετρικές διαφορές. Γιατί τότε θα υπάρχουν οι ελάχιστες υπερβάσεις των ορίων ανοχής της αεροφωτογράφισης. Μια κατεύθυνση που θα έδινε το αναμενόμενο αποτέλεσμα είναι η ευθεία κάθετη στην κατεύθυνση τάσης, της επιφάνειας τάσης που ορίζουν τα υψόμετρα του εδάφους όπως προκύπτουν από το D.T.M.

#### 4.1.5 Στοιχεία του φακού της φωτομηχανής και του μεγέθους των εικόνων

Τα στοιχεία που έχουν σχέση με τις αεροφωτογραφίες και επηρεάζουν το σχέδιο πτήσης είναι:

Η κλίμακα  $\kappa$  για κάθε σημείο της αεροφωτογραφίας, η οποία είναι συνάρτηση του υψομέτρου του σημείου στο έδαφος.

Για αυστηρά κατακόρυφες φωτογραφίες πάνω από οριζόντιο έδαφος η κλίμακα είναι σταθερή και δίνεται από τη σχέση:

$$\kappa = \frac{c}{H_{ptisis} - z_{mean}}$$

Όπου  $H$  το ύψος πτήσης,  $c$  η σταθερά της μηχανής και  $h$  το ύψος του οριζόντιου επιπέδου πάνω από την επιφάνεια αναφοράς. Ενώ στο πραγματικό έδαφος που δεν είναι οριζόντιο, κάθε σημείο  $A$  έχει το δικό του υψόμετρο  $h_A$  άρα και διαφορετική κλίμακα στην ίδια φωτογραφία  $\kappa_A$ .

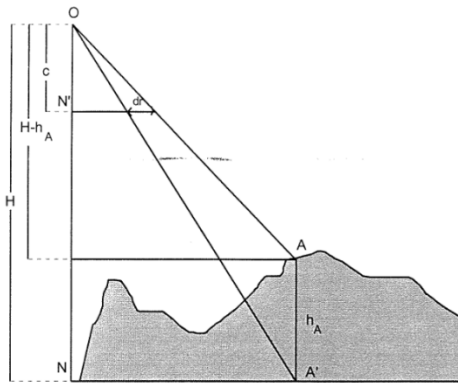
Κατά συνέπεια είναι αδύνατο να υπάρχει σταθερή κλίμακα μέσα σε κάθε φωτογραφία άρα και από φωτογραφία σε φωτογραφία. Για το λόγο αυτό, εξασφαλίζεται κατά το σχεδιασμό της πτήσης οι μεταβολές της κλίμακας να γίνονται γύρω από μια μέση κλίμακα κοντά στην επιθυμητή. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται με

την αλλαγή του ύψους πτήσης (από τη μέση στάθμη της θάλασσας) σε κάθε γραμμή πτήσης.

Η επιθυμητή κλίμακα στις αεροφωτογραφίες διαφέρει ανάλογα της εργασίας για την οποία προορίζονται. Ενδεικτικά, αν ο σκοπός της αεροφωτογραφίας είναι η χαρτογράφηση, τότε η σχέση κλίμακας αεροφωτογραφίας και χάρτη είναι συνήθως  $M_b = 5M_k$  όπου  $M_k$  η κλίμακα του χάρτη που θα παραχθεί. Επίσης, χρησιμοποιείται και ο τύπος  $m_b = (200 - 400)\sqrt{m_k}$  καθώς και ο πίνακας που παρατίθεται στην Εικόνα 4.1 (Kraus 2003).

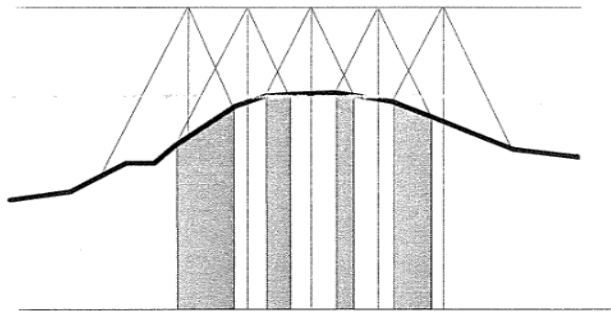
$1:m_k$	$m_b$
1:1000	6300 - 9500
1:5000	14000 - 21000
1:10000	20000 - 30000
1:25000	32000 - 47000
1:50000	45000 - 67000

Εικόνα 4.1:



Σχήμα 4.4: Αλλαγή της κλίμακας απεικόνισης του σημείου A λόγω έντονου αναγλύφου.

Κάθε σημείο του εδάφους της περιοχής που θα απεικονισθεί, πρέπει να απεικονίζεται τουλάχιστον σε δυο αεροφωτογραφίες. Αυτό σημαίνει ότι κάθε φωτογραφία πρέπει να έχει πλήρη επικάλυψη με τις γειτονικές της, ώστε να μην υπάρχουν κενά στα στερεομοντέλα. Η πλήρης επικάλυψη εξασφαλίζεται με  $60\% \pm 10\%$  κατά μήκος επικάλυψη και  $25\% \pm 5\%$  πλάγια επικάλυψη. Η επικάλυψη των φωτογραφιών κατά μήκος, αλλά και η πλάγια είναι απαραίτητες για την φωτογραμμετρική απόδοση και αποτελεί βασική μέριμνα του σχεδιασμού πτήσης. Ο καθορισμός του ποσοστού της κατά μήκος επικάλυψης επηρεάζει τον χρόνο μεταξύ των διαδοχικών λήψεων ενώ η πλάγια επικάλυψη την απόσταση μεταξύ διαδοχικών γραμμών πτήσης. Οι επικαλύψεις επηρεάζονται από διάφορα σφάλματα που οφείλονται στις στροφές του αεροπλάνου τη στιγμή της λήψης, αλλά και στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της πτήσης κάθε σημείο στο έδαφος έχει διαφορετικό υψόμετρο.



**Σχήμα 4.5: Αλλαγή της κατά μήκος επικάλυψης ανάλογα με το υψόμετρο.**

Η κατά μήκος επικάλυψη παίρνει τιμές από 60% έως 80%, και η επιθυμητή τιμή της είναι απαραίτητη γιατί σε συνδυασμό με την κλίμακα καθορίζει τις διαστάσεις της παραγόμενης εικόνας καθώς επίσης και τις διαστάσεις του μοντέλου στο έδαφος. Αυτά είναι τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό της βάσης λήψης, δηλαδή της απόστασης των διαδοχικών λήψεων και κατά συνέπεια καθορίζει τον αριθμό των αεροφωτογραφιών που καλύπτουν την προς μελέτη περιοχή. Η βάση λήψης δίνεται από τον τύπο:

$$B = \frac{H * S}{c} (1 - p\%)$$

Όπου ο λόγος  $\frac{H}{c}$  είναι ο συντελεστής της κλίμακας  $m_b$  και το  $p$  είναι το ποσοστό της κατά μήκος επικάλυψης.

Η πλάγια επικάλυψη κυμαίνεται συνήθως σε ποσοστά 15% έως 30% και είναι σημαντικό στοιχείο στην αεροφωτογράφιση γιατί εξασφαλίζει τη σύνδεση μεταξύ μοντέλων διαφορετικών λωρίδων πτήσης. επίσης είναι καθοριστική για την αποφυγή δημιουργίας νεκρών περιοχών μεταξύ των λωρίδων.

Στο σχεδιασμό πτήσης μπορεί να αποφευχθεί η αύξηση της πλάγιας επικάλυψης ανάλογα με το βαθμό που αυτή επηρεάζεται από το ανάγλυφο του εδάφους. Απαραίτητη προϋπόθεση για κάτι τέτοιο είναι η καλή γνώση του εδάφους δηλαδή η ύπαρξη ενός αντιπροσωπευτικού DTM η οποία δίνει μια καλή εικόνα του εδάφους για τον προσδιορισμό του μέσου υψομέτρου της περιοχής σε κάθε γραμμή πτήσης αλλά και των υψομέτρων που αποκλίνουν από αυτό το μέσο υψόμετρο κατά ποσοστά 20% έως 30% του ύψους πτήσης. Σε περιπτώσεις όπου το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο από 30% η γραμμή διακόπτεται και δίνεται νέο αζιμούθιο κάθετο προς το διάνυσμα της κλίσης.

Η διόρθωση μπορεί να δοθεί με δύο τρόπους: Είτε με μείωση της απόστασης μεταξύ των γραμμών πτήσης, είτε αλλάζοντας την διεύθυνση των γραμμών πτήσης. Η πρώτη λύση σε έδαφος με έντονες εναλλαγές υψομέτρου εγκυμονεί κινδύνους για την ασφάλεια της πτήσης αφού το ύψος πτήσης σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο προσεγγίζει το υψόμετρο των ορεινών όγκων. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται η τεχνική της αλλαγής του αζιμούθιου πτήσης σε περιοχές με έντονες αυξομειώσεις του ανάγλυφου της τάξης του  $0.3 H_{ptisis}$ .

Η σχέση μέσω της οποίας υπολογίζεται το ποσοστό της πλάγιας επικάλυψης είναι:

$$q = \left(1 - \frac{c W}{H S}\right)$$

Όπου  $H$  το ύψος πτήσης,  $c$  η σταθερά μηχανής,  $S$  η πλάγια διάσταση της φωτογραφικής πλάκας, και  $W$  η απόσταση στο έδαφος μεταξύ διαδοχικών γραμμών λήψης.

Στην πρώτη λύση με σταθερή την απόσταση  $W$ , μια μεταβολή του ύψους πάνω από το έδαφος δίνει μεταβολή στο ποσοστό της επικάλυψης, έτσι ώστε έπειτα, με σταθερό το ύψος πτήσης (ύψος πάνω από το μέσο υψόμετρο εδάφους) υπολογίζεται η διόρθωση που πρέπει να γίνει στην απόσταση  $W$ , για να διατηρηθεί η πλάγια επικάλυψη στο επιθυμητό ποσοστό. Το ποσοστό επικάλυψης σύμφωνα με τον αλγόριθμο του προγράμματος SXEDIO PTISIS εξαρτάται από το υψόμετρο κάθε σημείου σε κάθε εικόνα και το υψόμετρο του σε σχέση με το μέσο υψόμετρο των υπολογισμών καθορίζει το ποσοστό επικάλυψης που θα έχει η κάθε εικόνα με την προηγούμενή της.

Τα στοιχεία που έχουν σχέση με τη φωτομηχανή και το φιλμ και επηρεάζουν το σχέδιο πτήσης είναι:

$H$  σταθερά  $c$  της μηχανής, η οποία είναι απαραίτητη στο σχεδιασμό της πτήσης γιατί σε συνδυασμό με το ύψος πτήσης πάνω από το μέσο υψόμετρο εδάφους, προσδιορίζει τη μέση κλίμακα των αεροφωτογραφιών. Η σταθερά αυτή στις σύγχρονες μηχανές κυμαίνεται από 85 mm έως 600 mm με συχνότερη τιμή τα 152 mm και 210 mm. Ο τύπος της κλίμακας:

$$κ = \frac{c}{H_{ptisis} - z_{mean}}$$

Οι διαστάσεις της φωτογραφικής πλάκας είναι ακόμα ένα βασικό χαρακτηριστικό κάθε μηχανής που επίσης συμμετέχει έντονα στους υπολογισμούς του σχεδιασμού πτήσης. Η κατά μήκος διάσταση ( $\chi$ ) επηρεάζει τη βάση λήψης κατά τον προαναφερθέντα τύπο:

$$B = \frac{H * S}{c} (1 - p\%)$$

Ενώ η κατά πλάτος διάσταση στην απόσταση των διαδοχικών γραμμών πτήσης κατά τον επίσης προαναφερθέντα τύπο:

$$q = \left(1 - \frac{c W}{H S}\right)$$

Επίσης, καθορίζει το ωφέλιμο εμβαδό κάθε φωτογραφίας αν πολλαπλασιαστεί με την κλίμακα. Οι συνηθισμένες τιμές για διάφορες φωτομηχανές είναι 18× 18, 23× 23 cm.

Η δυνατότητα της φωτομηχανής για Αντιστάθμιση της Πρόσθιας Κίνησης (forward motion compensation, FMC) στη φωτομηχανή, δηλαδή αν έχει μηχανισμό που να επιτρέπει την κίνηση του φιλμ παράλληλα με τη κίνηση του αεροσκάφους την ώρα της έκθεσης. Αυτή η δυνατότητα έγινε απαραίτητη λόγω των μεγάλων ταχυτήτων που αναπτύσσουν τα σύγχρονα αεροσκάφη και της μεγαλύτερης ευαισθησίας των σύγχρονων φιλμ.



Όταν δεν υπάρχει FMC εξετάζεται η διακριτική ικανότητα του φιλμ ως παράγοντας προσδιορισμού του μέγιστου χρόνου έκθεσης. Αυτός είναι ο χρόνος πάνω από τον οποίο, όταν μείνει ανοικτό το κλείστρο της φωτομηχανής, λόγω της κίνησης του αεροσκάφους, παράγεται ασαφής εικόνα.

Αυτό αποφεύγεται όταν η μηχανή διαθέτει FMC οπότε κινεί το φιλμ κατά τη φορά της πτήσης, ώστε το έδαφος για το φιλμ να παραμένει ακίνητο την ώρα της έκθεσης. Ο μέγιστος χρόνος έκθεσης  $dt$  δίνεται από τον τύπο:

$$dt = \frac{\varepsilon}{κV}$$

Όπου  $\varepsilon$  η διακριτική ικανότητα του φιλμ,  $\kappa$  η κλίμακα και  $V$  η ταχύτητα πτήσης.

Ο χρόνος  $dt$  χρησιμοποιείται από το χειριστή της μηχανής ως ανώτατο όριο του χρόνου έκθεσης, όταν αλλάζει τη ταχύτητα του κλείστρου, ώστε να προσαρμοστεί ο χρόνος έκθεσης στη φωτεινότητα του εδάφους.

## 4.2. Η ανάπτυξη του αλγορίθμου στο Matlab

Στο περιβάλλον του Matlab αναπτύχθηκε το λογισμικό για τη δημιουργία του σχεδίου πτήσης για φωτογράφιση επιφανειακού στόχου. Σκοπός του προγράμματος είναι ο προγραμματισμός πτήσης για την φωτογραφική κάλυψη μίας περιοχής από μεγάλη απόσταση ή ενός αντικειμένου από κοντινή απόσταση (επίγεια φωτογράφιση).

Για να επιτευχθεί αυτό, δημιουργήθηκαν έξι αρχεία m.files, τέσσερα αρχεία για την δήλωση των συναρτήσεων του προγράμματος (clclines.m, flightline.m, line\_in\_polyg.m και lipsis.m) και δυο κυρίως αρχεία (flight\_plan.m). Ένα από τα δυο κυρίως αρχεία καλεί τις συναρτήσεις από τα άλλα τέσσερα αρχεία υπολογίζοντας τα απαραίτητα στοιχεία του σχεδίου πτήσης. Τα στοιχεία αυτά είναι κυρίως οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες σημείων τομής και τα απαραίτητα στοιχεία για τον ορισμό ευθειών. Τα στοιχεία εισόδου του προγράμματος, τα οποία αποτελούν τις μεταβλητές των συναρτήσεων φαίνονται στο Σχήμα 4.6.

```

12 - c = 0.15;           %Εστιακή απόσταση (m)
13 - s = 0.23;         %Ακμή της εικόνας (m)
14 - a = 50.01;        %Αζιμούθιο (grad)
15 - mb = 50000;       %Κλίμακα φωτογράφισης
16 - S = s * mb;       %Ακμή της εικόνας στην προβολή (m)
17 - q = 25;           %Κατα μήκος επικάλυψη (%)
18 - l = S * (1 - q / 100); %Απόσταση μεταξύ γραμμών πτήσης (m)
19 - d1 = 0.2 * S;     %Απόσταση ευθείας από την κοντινότερη κορυφή (m)
20 - i = 60;           %Κατα μήκος επικάλυψη (%)
21 - b = S * (1 - i / 100); %Βάση λήψης (m)
22 - xd = 10000;       %Τετμημένη του σημείου προσανατολισμού
23 - yd = 90000;       %Τεταγμένη του σημείου προσανατολισμού
24
25 - ad = a * 180 / 200; %Μετατροπή grad σε degrees (degrees)
26
27 %Εισαγωγή των κορυφών του ορίου
28 - arbor = load('boarders.txt');
29
30 %Εισαγωγή του DEM
31 - ardem = load('dem.txt');
```

Σχήμα 4.6: Τα δεδομένα εισόδου

Στη συνέχεια γίνεται διερεύνηση στα τέσσερα τεταρτημόρια για τον καθορισμό της τιμής της κλίσης  $\alpha_1$  και του  $\beta_1$ , στοιχείων απαραίτητων για τον ορισμό της ευθείας

προσανατολισμού, ( $y=ax+b$ ). Επίσης είναι χρήσιμο για τον μαθηματικό τύπο της απόστασης σημείου από ευθεία, ο οποίος θα χρειαστεί σε επόμενο στάδιο, να χρησιμοποιηθούν δυο σημεία, τα οποία να ανήκουν στην ευθεία. Το δεύτερο σημείο που προαναφέρθηκε ορίζεται επί της ευθείας σε τυχαία απόσταση από αυτή και είναι το  $(xd1,yd1)$ , όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.7, στις σειρές 53 και 54 του κώδικα.

```

33 %Διερύνιση για την τιμή της κλίσης της ευθείας προσανατολισμού
34 - if ad == 90 || ad == 270
35 -     y = yd;
36 - elseif 0 < ad < 90
37 -     a1 = tand(90 - ad);
38 -     b1 = yd - a1 * xd;
39 - elseif 180 < ad < 270
40 -     a1 = tand(270 - ad);
41 -     b1 = yd - a1 * xd;
42 - elseif 90 < ad < 180
43 -     a1 = - tand(ad - 90);
44 -     b1 = yd - a1 * xd;
45 - elseif 270 < ad < 360
46 -     a1 = - tand(ad - 270);
47 -     b1 = yd - a1 * xd;
48 - elseif ad == 0 || ad == 180 || ad == 360
49 -     x = xd;
50 - end
51
52 %Δεύτερο σημείο για ορισμό της ευθείας
53 - xd1 = xd + 1000;
54 - yd1 = a1 * xd1 + b1;

```

**Σχήμα 4.7: Ορισμός της ευθείας προσανατολισμού**

Με την ευθεία προσανατολισμού ορισμένη είναι πλέον δυνατός ο προσδιορισμός της κορυφής του πολυγώνου με τη μέγιστη και την ελάχιστη απόσταση από αυτή. Ο κώδικας υπολογίζει τις αποστάσεις όλων των κορυφών από την ευθεία και επιλέγει αυτές με την μικρότερη και την μέγιστη απόσταση με τη βοήθεια των συναρτήσεων του Matlab, `min` και `max` όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8 στις γραμμές του κώδικα 64 και 66 αντίστοιχα.

Στη συνέχεια υπολογίζονται τα στοιχεία  $a_i$  και  $b_i$  των εξισώσεων των ευθειών του πολυγώνου. Ο υπολογισμός των στοιχείων αυτών επιτυγχάνεται μέσω της συνάρτησης `clclines` η οποία έχει ως δεδομένα εισόδου τον δίστηλο πίνακα `arbor` με τα ζεύγη που ο χρήστης έχει εισαγάγει μέσω του `arbor.txt`.

Η συνθήκη `<<while (valmax-valmin+0.2*S) > ss>>` καθορίζει την απόσταση της τελευταίας γραμμής από το άκρο με την μέγιστη απόσταση από το την ευθεία προσανατολισμού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.9. Έπειτα το  $b$  της εξίσωσης  $y=ax+b$  κάθε ευθείας καθορίζεται από τη συνάρτηση `flightline`. Η συνάρτηση αυτή δέχεται ως δεδομένα εισόδου τις συντεταγμένες του κοντινότερου σημείου στην ευθεία προσανατολισμού  $(xb,yb)$ , την κλίση των ευθειών  $a1$ , την απόσταση της εγγύτερης κορυφής στην ευθεία προσανατολισμού  $ss$  και τις συντεταγμένες των σημείων που ορίζουν την ευθεία προσανατολισμού  $(xd,yd)$  και  $(xd1,yd1)$ .

Η συνάρτηση `line_in_polyg` που καλείται στην 88<sup>η</sup> σειρά του κώδικα έχει ως δεδομένα εισόδου τους τελεστές των ευθειών του πολυγώνου και των ευθειών πτήσης  $(a_i,b_i)$  και  $(a,b)$  αντίστοιχα και το αρχείο `area` της περιοχής μελέτης. Τα δεδομένα εξόδου της συνάρτησης είναι οι συντεταγμένες των σημείων τομής της κάθε γραμμής πτήσης με το πολύγωνο.

```

54 %Εύρεση του κοντινότερου σημείου απο την ευθεία προσανατολισμον
55 - [n, m] = size(arbor);
56 - dis = zeros(n, 1);
57 - q1 = [xd, yd];
58 - q2 = [xd1, yd1];
59
60 for i = 1 : n
61 -     dis(i) = abs((xd1 - xd) * |yd - arbor(i, 2)) - (xd - arbor(i, 1)) * (yd1 - yd) / sqrt((xd1 - xd) ^ 2 + (yd1
62 - end
63
64 [valmin indmin] = min(dis);%Συνάρτηση που υπολογίζει την απόσταση με την
65 %ελάχιστη τιμή και δείχνει ποια είναι αυτή
66 [valmax indmax] = max(dis);%Συνάρτηση που υπολογίζει την απόσταση με τη
67 %μέγιστη τιμή και δείχνει ποια είναι αυτή
68
69 %Υπολογισμός των παραμέτρων ai και bi που ορίζουν τις εξισώσεις των ευθειών
70 %του πολυγώνου των ορίων
71 [ai bi] = c1clines(arbor);
72
73 %Προσδιορισμός κέντρων λήψης
74 ss = 0.2 * S;
75 ln = 1;
76 %Συντεταγμένες κορυφής με την μικρότερη απόσταση απο την ευθεία
77 %προσανατολισμού.
78 xb = arbor(indmin, 1);
79 yb = arbor(indmin, 2);
80
81 plot([arbor(:, 1) ;arbor(1,1)], [arbor(:, 2) ;arbor(1,2)])
82 - kk = 1;

```

Σχήμα 4.8: Ορισμός του πολυγώνου των ορίων

```

83
84 - while (valmax - valmin + 0.2 * S) > ss%Συνθήκη για τερματισμό της προσθήκης
85     % παράλληλων ευθειών
86     b = flightline(xb, yb, al, ss, xd, yd, xd1, yd1);%Συνάρτηση καθορισμού
87     %του β κάθε γραμμής
88     [pnt] = line_in_polyg(ai, bi, al, b, arbor);%Υπολογισμός των σημείων
89     %τομής της κάθε γραμμής πτήσης με τις ευθείες του πολυγώνου
90     hold on; plot(pnt(:,1),pnt(:,2),'*-');%εκτύπωση των σημείων τομής
91     theta = 90 - atand(abs(al));
92     lb = 0.5 * S / sind(theta);
93     b1 = b + lb;%Το β της ευθείας πάνω απο τη γραμμή πτήσης
94     b2 = b - lb;%Το β της ευθείας κάτω απο τη γραμμή πτήσης
95     pnt_b1 = line_in_polyg(ai, bi, al, b1, arbor);% Συνάρτηση για την τομή
96     %της επάνω γραμμής
97     %με τις γραμμές του πολυγώνου(η προϋγούμενη συνάρτηση με
98     %διαφορετικά δεδομένα εισόδου)
99     %Πλευρές του πολυγώνου (ai,bi)
100    %plot(pnt_b1(:,1),pnt_b1(:,2),'or--');% Εκτύπωση της πάνω γραμμής
101 - pnt_b2 = line_in_polyg(ai, bi, al, b2, arbor);
102    %plot(pnt_b2(:,1),pnt_b2(:,2),'or--');% Εκτύπωση της κάτω γραμμής

```

Σχήμα 4.9: Καθορισμός του b κάθε ευθείας

Η κλήση της συνάρτησης `line_in_polyg` είναι απαραίτητη και για την εύρεση των σημείων τομής των ευθειών που βρίσκονται εκατέρωθεν της κάθε ευθείας πτήσης σε απόσταση  $S/2$  από αυτή. Τα δεδομένα εξόδου της, στη περίπτωση αυτή αποθηκεύονται από το matlab στις μεταβλητές `pnt_b1` και `pnt_b2`, για τις δύο ευθείες της λωρίδας. Με τον τρόπο αυτό ορίζεται ένα πολύγωνο, το οποίο περιβάλλει κάποιες

από τις κορυφές του καννάβου των υψομέτρων. Οι τιμές των υψομέτρων των κορυφών αυτών προς το πλήθος τους είναι η μέση τιμή τους. Η καλύτερη τιμή των υψομέτρων για την κάθε λωρίδα καθορίζει και το υψόμετρο πτήσης σε κάθε ευθεία πτήσης.

```

103 - [m_b1 n_b1] = size(pnt_b1); % (m_b1 n_b1) Οι διαστάσεις του πίνακα (m,n)
104 - % με τα δεδομένα εξόδου της συνάρτησης line_in_poly που είναι ζεύγη (χ,ψ)
105 - % των τομών της πάνω γραμμής με τα όρια της περιοχής
106 - [m_b2 n_b2] = size(pnt_b2); % Όμοια με την παραπάνω συνάρτηση αλλά για την
107 - % κάτω παράλληλη ευθεία
108 - if m_b1 ~= 0 && m_b2 ~= 0 % Αν έχει διαστάσεις ο πίνακας
109 - % (δηλαδή έχουν σημεία τομής και οι δύο ευθείες)
110 - pnt_strip(1:2, 1) = pnt_b1(1:2, 1); % Τεταγμένες που προέκυψαν από την τομή
111 - pnt_strip(1:2, 2) = pnt_b1(1:2, 2); % Τεταγμένες που προέκυψαν από την τομή
112 - pnt_strip(3:4, 1) = pnt_b2(1:2, 1); % Τεταγμένες που προέκυψαν από την τομή
113 - pnt_strip(3:4, 2) = pnt_b2(1:2, 2); % Τεταγμένες που προέκυψαν από την τομή
114 - elseif m_b1 == 0 % Αν η επάνω γραμμή δεν έχει σημεία τομής με το πολύγωνο
115 - pnt_strip(1, 1) = arbor(indmin, 1); % Τεταγμένη της πιο κοντινής κορυφής
116 - pnt_strip(1, 2) = arbor(indmin, 2); % Τεταγμένη της πιο κοντινής κορυφής
117 - pnt_strip(2:3, 1) = pnt_b2(1:2, 1); % Τεταγμένη που προέκυψαν από την τομή
118 - pnt_strip(2:3, 2) = pnt_b2(1:2, 2); % Τεταγμένες που προέκυψαν από την τομή
119 - else % Αν η κάτω γραμμή δεν έχει σημεία τομής με το πολύγωνο
120 - pnt_strip(1:2, 1) = pnt_b1(1:2, 1); % Τεταγμένες που προέκυψαν από την τομή
121 - pnt_strip(1:2, 2) = pnt_b1(1:2, 2); % Τεταγμένες που προέκυψαν από την τομή
122 - pnt_strip(3, 1) = arbor(indmax, 1); % Τεταγμένη της πιο απομακρυσμένης κορυφής
123 - pnt_strip(3, 2) = arbor(indmax, 2); % Τεταγμένη της πιο απομακρυσμένης κορυφής
124 - end

```

Σχήμα 4.10: Διερεύνηση για τα σημεία τομής κάθε ευθείας με το πολύγωνο

Οι λωρίδες που προαναφέρθηκαν λειτουργούν ως ένα πεδίο ελέγχου για το ανάγλυφο της περιοχής. Το γεγονός αυτό τις καθιστά απαραίτητες για κάθε γραμμή πτήσης. Οι γραμμές πτήσης όμως που βρίσκονται κοντά στις ακραίες κορυφές του επιφανειακού στόχου έχουν απόσταση από τις ακραίες κορυφές 0.2S περίπου. Με αυτόν τον τρόπο, κάποια από τις παράλληλες ευθείες που βρίσκονται εκατέρωθεν της ευθείας πτήσης σε απόσταση 0.5S θα βρίσκεται έξω από τα όρια της περιοχής με αποτέλεσμα να μη τέμνει τα όρια του στόχου. Έτσι για να «κλείσει» το πολύγωνο της λωρίδας στις ακραίες θέσεις ως όριο χρησιμοποιείται το όριο του πολυγώνου. Η διερεύνηση για τις διαφορετικές περιπτώσεις δειγματοληψίας των υψομέτρων, φαίνεται στο Σχήμα 4.10.

Καθοριστικός παράγοντας για τις γραμμές πτήσης είναι η κατεύθυνση τους. Με τη βοήθεια της γωνίας του αζιμούθιου διαμορφώνεται ο κώδικας στο Σχήμα 4.11. Οι συνθήκες που λαμβάνονται είναι μια διερεύνηση για τις συντεταγμένες της τομής ευθείας πτήσης με το πολύγωνο. Αποτέλεσμα της διερεύνησης είναι οι συντεταγμένες (x,y) της τομής στις θέσεις εισόδου του πτητικού μέσου στο πολύγωνο του στόχου.

Η τελευταία συνάρτηση, η οποία καλείται από τα αρχεία flight\_plan.m είναι η lipsis η οποία δίνει τις συντεταγμένες των σημείων λήψης και των κορυφών κάθε εικόνας. Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων αυτών πρέπει να εισαχθούν στη συνάρτηση δεδομένα που έχουν προκύψει από άλλες συναρτήσεις αλλά και τιμές τις οποίες ο χρήστης αποδίδει σε μεταβλητές του λογισμικού. Οι τιμές των μεταβλητών εισόδου mb, S, al και του αρχείου ardem αποδίδονται άμεσα από τον χρήστη. Για τα υπόλοιπα δεδομένα εισόδου της συνάρτησης χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα άλλων συναρτήσεων. Αυτά είναι οι συντεταγμένες x και y των τομών του πολυγώνου με τις γραμμές πτήσης στις θέσεις όπου αρχίζει η φωτογράφιση. Τέλος, απαραίτητα για τη συνάρτηση είναι τα σημεία τομής των παράλληλων ευθειών των λωρίδων ελέγχου pnt\_strip και των γραμμών πτήσης με το πολύγωνο.

```

125
126 - if a >= 0 && a <= 200 && mod(kk, 2) == 1 %>Αν η κατεύθυνση της ευθείας
127 %προσανατολισμού είναι στα δύο πρώτα τεταρτημόρια και το υπόλοιπο της
128 %διαίρεσης του 2 με το kk είναι 1 (περιττός αριθμός) τότε
129 [v ind] = min(pnt(:, 1)); %η τετμημένη με την μικρότερη τιμή που
130 %εξάγεται από τη συνάρτηση (υπολογισμός σημείων τομής=pnt(...))
131 %είναι αυτή
132 x = pnt(ind, 1); %που καθορίζει ποιά τετμημένη τομή
133 y = pnt(ind, 2); %και ποιά τεταγμένη τομή
134 %είναι η πρώτη
135 %Καθορίζεται δηλαδή το πρώτο σημείο τομής της ευθείας πτήσης με το
136 %πολύγωνο των ορίων
137 con = 1;
138 - elseif a >= 0 && a <= 200 && mod(kk, 2) == 0 %>Αν η κατεύθυνση της ευθείας
139 %προσανατολισμού είναι στα δύο πρώτα τεταρτημόρια και το υπόλοιπο της
140 %διαίρεσης του 2 με το kk είναι 0 (άρτιος αριθμός) τότε
141 [v ind] = max(pnt(:, 1)); %η τετμημένη με την μέγιστη τιμή που
142 %εξάγεται από τη συνάρτηση (υπολογισμός σημείων τομής=pnt(...))
143 %είναι αυτή
144 x = pnt(ind, 1);
145 y = pnt(ind, 2);
146 %καθορίζει το πρώτο σημείο τομής της ευθείας πτήσης με το
147 %πολύγωνο των ορίων
148 con = 1;
149 - end
150 - if a > 200 && a <= 400 && mod(kk, 2) == 1
151 [v ind] = max(pnt(:, 1));
152 x = pnt(ind, 1);
153 y = pnt(ind, 2);
154 con = 2;
155 - elseif a > 200 && a <= 400 && mod(kk, 2) == 0
156 [v ind] = min(pnt(:, 1));
157 x = pnt(ind, 1);
158 y = pnt(ind, 2);
159 con = 2;
160 - end

```

Σχήμα 4.11: Διερεύνηση για την εύρεση των αρχικών σημείων τομής των γραμμών πτήσης με τα όρια

```

161
162 - [cn im] = lipsis(x, y, pnt, pnt_strip, a1, S, c, mb, ardem, kk, con);
163 - ss = ss + A;
164 - kk = kk + 1;
165 - end
166

```

Σχήμα 4.12: Χρήση συνάρτησης για τον προσδιορισμό των κέντρων λήψης και των ορίων κάλυψης των εικόνων

```

1 function [b] = flightline(x, y, a0, l, xd, yd, xd1, yd1)
2 b0 = y + (1/a0) * x; % To b της κάθετης ευθείας στις γραμμές πτήσης
3 A = 1 + (-1/a0) ^ 2;
4 B = -2 * x + 2 * (-1/a0) * b0 - 2 * (-1/a0) * y;
5 C = x ^ 2 + b0 ^ 2 - 2 * b0 * y + y ^ 2 - 1 ^ 2;
6 X1 = (-B + sqrt(B ^ 2 - 4 * A * C)) / (2 * A); %1η λύση του τριωνύμου
7 X2 = (-B - sqrt(B ^ 2 - 4 * A * C)) / (2 * A); %2η λύση του τριωνύμου
8 Y1 = (-1/a0) * X1 + b0;
9 Y2 = (-1/a0) * X2 + b0;
10 dis1 = abs((xd1 - xd) * (yd - Y1) - (xd - X1) * (yd1 - yd)) / sqrt((xd1 - xd) ^ 2 + (yd1 - yd) ^ 2);
11 %Απόσταση του 1ου σημείου από την ευθεία προσανατολισμού
12 dis2 = abs((xd1 - xd) * (yd - Y2) - (xd - X2) * (yd1 - yd)) / sqrt((xd1 - xd) ^ 2 + (yd1 - yd) ^ 2);
13 %Απόσταση του 2ου σημείου από την ευθεία προσανατολισμού
14 if dis1 >= dis2
15 X = X1;
16 Y = Y1;
17 else
18 X = X2;
19 Y = Y2;
20 end
21 %Εύρεση του σημείου το οποίο ανήκει στην ευθεία με τη μικρότερη απόσταση από
22 %την ευθεία προσανατολισμού
23 b = Y - a0 * X; %0 τελεστής b της ευθείας στην οποία ανήκει το (X,Y)
24

```

Σχήμα 4.13: Συνάρτηση για τον πλήρη ορισμό της ευθείας με την μικρότερη απόσταση από την ευθεία προσανατολισμού

Η συνάρτηση flightline καθορίζει τον δεύτερο τελεστή της ευθείας πτήσης, δηλαδή το b. Η κλίση a της κάθε ευθείας είναι καθορισμένη από τον χρήστη, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένα. Η ευθεία πτήσης είναι κάθετη στην γραμμή που συνδέει την ευθεία προσανατολισμού με την κοντινότερη της, κορυφή του πολυγώνου. Η πρώτη γραμμή πτήσης απέχει 0,2xS από την κοντινότερη, στην ευθεία προσανατολισμού, κορυφή. Από τον τύπο της απόστασης ευθείας από σημείο  $D = \frac{|Ax_0 + By_0 + \Gamma|}{\sqrt{A^2 + B^2}}$ , προκύπτει

το τριώνυμο, του οποίου οι ρίζες είναι οι X1 και X2, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.13. Η ρίζα η οποία επιλέγεται είναι αυτή που αντιστοιχεί στο σημείο με τη μεγαλύτερη απόσταση από την ευθεία προσανατολισμού. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η θέση του σημείου να είναι στο εσωτερικό των ορίων του πολυγώνου.

```

1 function [ai, bi] = clclines(area)
2
3 for i = 1 : length(area)
4     if i ~= length(area)
5         ai(i) = (area(i, 2) - area(i + 1, 2)) / (area(i, 1) - area(i + 1, 1));
6         bi(i) = area(i, 2) - ai(i) * area(i, 1);
7         %Υπολογισμός των παραμέτρων a και b των πλευρών του πολυγώνου.
8     else
9         j = 1;
10        ai(i) = (area(i, 2) - area(j, 2)) / (area(i, 1) - area(j, 1));
11        bi(i) = area(i, 2) - ai(i) * area(i, 1);
12
13        %Και για το πρώτο σημείο...
14    end
15 end
16

```

Σχήμα 4.14: Χρήση συνάρτησης για τον ορισμό των ευθειών του πολυγώνου των ορίων

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων ai και bi των ευθειών του πολυγώνου χρησιμοποιούνται οι κορυφές του. Τα σημεία αυτά, ανά δύο διαδοχικά, ορίζουν μια ευθεία στο επίπεδο. Απαραίτητα δεδομένα εισόδου για την συνάρτηση είναι το αρχείο με τα ζεύγη των συντεταγμένων (area), όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.14.

Για τον προσδιορισμό των σημείων τομής των γραμμών πτήσης με τα όρια του στόχου χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση line\_in\_polygon. Ο αλγόριθμος υπολογίζει τις συντεταγμένες των σημείων τομής των ευθειών πτήσης με κάθε ευθεία του πολυγώνου των ορίων. Όλες οι ευθείες του πολυγώνου των ορίων τέμνουν την κάθε ευθεία πτήσης. Δηλαδή αν το όριο της περιοχής αποτελείται από n ευθείες, τότε κάθε ευθεία πτήσης θα τέμνει το πολύγωνο σε n σημεία. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται και μια δεύτερη συνάρτηση, η inpolygon, η οποία καθορίζει τα σημεία τα οποία βρίσκονται εντός του πολύγωνα του στόχου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.15.

Μέσω της συνάρτησης lipsis υπολογίζονται οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων λήψεων και των κορυφών της περιοχής που καλύπτεται από κάθε εικόνα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.16. Στον κώδικα του σχήματος γίνεται η διερεύνηση για τις συντεταγμένες των πρώτων κέντρων λήψεων κάθε γραμμής πτήσης. Οι παράμετροι της κλίσης της γραμμής πτήσης (al), της φοράς της διέλευσης του πτητικού μέσου και του πρώτου σημείου τομής, αποτελούν στοιχεία εισόδου για την συνάρτηση. Ανάλογα με τις συνθήκες, τις οποίες κάθε γραμμή ικανοποιεί, διαμορφώνονται και διαφορετικές συναρτήσεις για τον καθορισμό του πρώτου σημείου λήψης κάθε γραμμής πτήσης. Το σημείο αυτό απέχει 0,5xS από το πρώτο σημείο τομής της γραμμής με το πολύγωνο κατά μήκος της γραμμής πτήσης και είναι εξωτερικό σημείο του πολυγώνου.

```

1 function [pnt] = line_in_polyg(ai, bi, a1, b1, arbor)
2 -
3 - i = 1 : length(ai);
4 - x = (bi(i) - b1) ./ (a1 - ai(i));
5 - y = a1.* x(i) + b1;
6 - %hold on; plot(x,y,'vr')% Εκτύπωση όλων των τομών των ευθειών με τις
7 - %πλευρές του πολυγώνου των ορίων.
8 -
9 - [in on] = inpolygon(x, y, arbor(:, 1), arbor(:, 2));
10 -
11 - for j = 1 : length(x) % the points to be checked
12 -     for k = 1: length(arbor) % the lines
13 -         if k ~= length(arbor)
14 -             DL = sqrt((arbor(k+1,1) - arbor(k,1))^2 + (arbor(k+1,2) - arbor(k,2))^2);
15 -             %Απόσταση μεταξύ διαδοχικών κορυφών του πολυγώνου
16 -             DS1 = sqrt((arbor(k+1,1) - x(j))^2 + (arbor(k+1,2) - y(j))^2);
17 -             %Απόσταση του πιθανού σημείου τομής από τη κορυφή k+1
18 -             DS2 = sqrt((x(j) - arbor(k,1))^2 + (y(j) - arbor(k,2))^2);
19 -             %Απόσταση του πιθανού σημείου τομής από την κορυφή k
20 -             L = DL - (DS1 + DS2);
21 -         else
22 -             DL = sqrt((arbor(1,1)-arbor(k,1))^2+(arbor(1,2)-arbor(k,2))^2);
23 -             DS1 = sqrt((arbor(1,1)-x(j))^2+(arbor(1,2)-y(j))^2);
24 -             DS2 = sqrt((x(j)-arbor(k,1))^2+(y(j)-arbor(k,2))^2);
25 -             L = DL - (DS1 + DS2);%Και για την πρώτη κορυφή
26 -         end
27 -         if DL> DS1 && DL>DS2 && abs(L)<0.0005
28 -             on(j) = 1;
29 -         end
30 -     end
31 - end
32 - pnt = [x(on==1)' y(on==1)'];

```

**Σχήμα 4.15:** Χρήση συνάρτησης για την εύρεση τομών των γραμμών πτήσης μόνο με τις πλευρές του πολυγώνου οι οποίες ενδιαφέρουν

Οι συντεταγμένες των κορυφών της περιοχής που περικλείει κάθε εικόνα στο έδαφος βρίσκονται από τις σχέσεις του σχήματος 4.17. Ανάλογα με την κλίση της γραμμής πτήσης στην οποία επιβαίνουν οι εικόνες, αλλάζουν οι συναρτήσεις οι οποίες καθορίζουν τις συντεταγμένες των κορυφών τους ( $im(i,j)$ ).

Ο υπολογισμός του συνολικού μήκους της κάθε γραμμής πτήσης υπολογίζεται από την σχέση L. Η εξίσωση υπολογίζει την απόσταση μεταξύ των τομών της γραμμής πτήσης με τα όρια της περιοχής, προσθέτοντας την απόσταση που διανύει το πτητικό μέσο εκτός των ορίων του πολυγώνου. Η απόσταση αυτή είναι το άθροισμα του μήκους των ευθύγραμμων τμημάτων εισόδου και εξόδου από τον στόχο. Απαραίτητος είναι και ο υπολογισμός του μήκους από το πρώτο σημείο λήψης ως και το τελευταίο. Ο υπολογισμός αυτού του μήκους (L) φαίνεται στη σειρά 223 του κώδικα στο Σχήμα 4.17. Όσο η διαφορά L-l είναι μεγαλύτερη από  $0.5xS$ , συνεχίζουν και προστίθενται κέντρα λήψης στις γραμμές πτήσης.

Ο καθορισμός της κατά μήκος επικάλυψης των εικόνων κάθε ζεύγους καθορίζεται από τη διαφορά που παρουσιάζει κάθε τυχαίο υψόμετρο της περιοχής κάλυψης της εικόνας, με το μέσο υψόμετρο της λωρίδας σάρωσης στην οποία ανήκει. Το μέτρο αυτής της διαφοράς επηρεάζει σε διαφορετικό βαθμό την κατά μήκος επικάλυψη, όπως φαίνεται στη σειρά 160 του κώδικα (Σχήμα 4.18).

```

1 function [cn im] = lipsis(x, y, pnt, pnt_strip, al, S, c, mb, ardem, kk, con)
2 theta = atand(abs(al));
3 j = 1;
4 %Διερεύνηση ανάλογα με την κλίση των γραμμών πήσης και την φορά τους
5 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
6
7 if al > 0 && mod(kk, 2) == 1 && con == 1 %Αν η κλίση της γραμμής πήσης είναι
8 %θετική και είναι περιττό το υπόλοιπο της διαίρεσης mod(kk, 2) == 1
9 cn(j,1) = x - cosd(theta) * 0.5 * S; %Οι τεταγμένες
10 cn(j,2) = y - sind(theta) * 0.5 * S; %και οι τεταγμένες
11 %των κέντρων λήψης (cn) είναι οι cn(j,1) και cn(j,2)
12 elseif al > 0 && mod(kk, 2) == 0 && con == 1
13 cn(j,1) = x + cosd(theta) * 0.5 * S;
14 cn(j,2) = y + sind(theta) * 0.5 * S;
15 end
16
17 if al < 0 && mod(kk, 2) == 1 && con == 1
18 cn(j,1) = x - cosd(theta) * 0.5 * S;
19 cn(j,2) = y + sind(theta) * 0.5 * S;
20 elseif al < 0 && mod(kk, 2) == 0 && con == 1
21 cn(j,1) = x + cosd(theta) * 0.5 * S;
22 cn(j,2) = y - sind(theta) * 0.5 * S;
23 end
24
25 if al > 0 && mod(kk, 2) == 1 && con == 2
26 cn(j,1) = x + cosd(theta) * 0.5 * S;
27 cn(j,2) = y + sind(theta) * 0.5 * S;
28 elseif al > 0 && mod(kk, 2) == 0 && con == 2
29 cn(j,1) = x - cosd(theta) * 0.5 * S;
30 cn(j,2) = y - sind(theta) * 0.5 * S;
31 end
32
33 if al < 0 && mod(kk, 2) == 1 && con == 2
34 cn(j,1) = x + cosd(theta) * 0.5 * S;
35 cn(j,2) = y - sind(theta) * 0.5 * S;
36 elseif al < 0 && mod(kk, 2) == 0 && con == 2
37 cn(j,1) = x - cosd(theta) * 0.5 * S;
38 cn(j,2) = y + sind(theta) * 0.5 * S;

```

Σχήμα 4.16: Ορισμός της φοράς που ακολουθείται για την λήψη φωτογραφιών

```

41 if al > 0
42 im(j, 1) = cn(j, 1) + (S/sqrt(2)) * sind(45 - atand(abs(al)));
43 im(j, 2) = cn(j, 2) + (S/sqrt(2)) * cosd(45 - atand(abs(al)));
44 im(j, 3) = cn(j, 1) + (S/sqrt(2)) * cosd(45 - atand(abs(al)));
45 im(j, 4) = cn(j, 2) - (S/sqrt(2)) * sind(45 - atand(abs(al)));
46 im(j, 5) = cn(j, 1) - (S/sqrt(2)) * sind(45 - atand(abs(al)));
47 im(j, 6) = cn(j, 2) - (S/sqrt(2)) * cosd(45 - atand(abs(al)));
48 im(j, 7) = cn(j, 1) - (S/sqrt(2)) * cosd(45 - atand(abs(al)));
49 im(j, 8) = cn(j, 2) + (S/sqrt(2)) * sind(45 - atand(abs(al)));
50 end
51
52 if al <= 0
53 if 0 <= theta <= 45
54 sg = -1; %Το πρόσημο να είναι αρνητικό
55 else
56 sg = 1; %Το πρόσημο να είναι θετικό
57 end
58 im(j, 1) = cn(j, 1) + (S/sqrt(2)) * sind(theta - 45);
59 im(j, 2) = cn(j, 2) + (S/sqrt(2)) * cosd(theta - 45);
60 im(j, 3) = cn(j, 1) + (S/sqrt(2)) * cosd(theta - 45);
61 im(j, 4) = cn(j, 2) + sg * (S/sqrt(2)) * sind(theta - 45);
62 im(j, 5) = cn(j, 1) + sg * (S/sqrt(2)) * sind(theta - 45);
63 im(j, 6) = cn(j, 2) + sg * (S/sqrt(2)) * cosd(theta - 45);
64 im(j, 7) = cn(j, 1) + sg * (S/sqrt(2)) * cosd(theta - 45);
65 im(j, 8) = cn(j, 2) + (S/sqrt(2)) * sind(theta - 45);
66 end
67
68 j = j + 1;
69 L = sqrt((pnt(1, 1) - pnt(2, 1)) ^ 2 + (pnt(1, 2) - pnt(2, 2)) ^ 2) + 1.5 * S;
70 %Το μήκος μεταξύ των τομών της ευθείας με το πολύγωνο
71 l = 1;
72 in = inpolygon(ardem(:, 1), ardem(:, 2), pnt_strip(:, 1), pnt_strip(:, 2));
73 %Τα εσωτερικά σημεία του πολυγώνου της "λωρίδας ελέγχου των υψομέτρων"
74 hm = mean(ardem(in == 1, 3));
75 H = hm + c * mb;
76 while L - l > 0.5 * S
77 i = 60;
78 b = S * (1 - i / 100);
79
223 l = sqrt((cn(1,1) - cn(j, 1)) ^ 2 + (cn(1,2) - cn(j, 2)) ^ 2);
224 j = j + 1;
225 end

```

Σχήμα 4.17: Διερεύνηση για την τριγωνομετρία των εξισώσεων οι οποίες καθορίζουν τις συντεταγμένες των εικόνων



```

139
140 -   sqr(:, 1) = [im(j, 1) im(j, 3) im(j, 5) im(j, 7)];
141 -   sqr(:, 2) = [im(j, 2) im(j, 4) im(j, 6) im(j, 8)];
142 -   in_sqr = inpolygon(ardem(:, 1), ardem(:, 2), sqr(:, 1), sqr(:, 2));
143 -   h_sqr = ardem(in_sqr == 1, 3);
144 -   h = max(h_sqr);
145 -   %Εύρεση των υψομέτρων τα οποία καθορίζουν την επικάλυψη
146 -   ck1 = find(abs(h - hm) > 0.1 * H & abs(h - hm) < 0.2 * H);
147 -   ck2 = find(abs(h - hm) > 0.2 * H & abs(h - hm) < 0.3 * H);
148 -   ck3 = find(abs(h - hm) >= 0.3 * H);
149 -   %
150 -   if sum(ck1) > 0 || sum(ck2) > 0 || sum(ck3) > 0
151 -       if sum(ck1) > 0
152 -           i = 70;
153 -       end
154 -       if sum(ck2) > 0
155 -           i = 80;
156 -       end
157 -       if sum(ck3) > 0
158 -           break
159 -       end
160 -       b = S * (1 - i / 100); %Η επίδραση της επικάλυψης στο μήκος της βάσης
161 -       %λήψης
162

```

**Σχήμα 4.18:** Οι συντεταγμένες κάθε εικόνας και η υψομετρική πληροφορία της περιοχής που περικλείουν

# 5

## Συμπεράσματα

Η αεροφωτογράφιση αποτελεί ένα από τα στάδια της παραγωγής διαγραμμάτων και ορθοφωτοχαρτών με φωτογραμμετρικές μεθόδους. Η συλλογή φωτογραφικών δεδομένων από αέρος είναι το περισσότερο δαπανηρό στάδιο της διαδικασίας, μιας και απαιτείται η χρήση πτητικού μέσου και κατάλληλου εξοπλισμού για την ολοκλήρωσή της. Ο σχεδιασμός της πτήσης και ο καθορισμός των σημείων λήψης των εικόνων με ακρίβεια, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την εξοικονόμηση του ιδιαίτερα δαπανηρού πτητικού χρόνου.

Είναι λοιπόν απαραίτητη η βελτιστοποίηση της διαδικασίας για κάθε επιφανειακό στόχο. Πιο συγκεκριμένα, βελτιστοποίηση της διαδικασίας αεροφωτογράφισης σημαίνει κάλυψη των προδιαγραφών της κάθε εργασίας με την, όσο το δυνατό περιορισμένη χρήση του πτητικού μέσου και του εναέριου φωτογραφικού εξοπλισμού. Ο σχεδιασμός της αεροφωτογράφισης για συγκεκριμένη περιοχή εξαρτάται από δυο παράγοντες:

- Από τη γεωμετρία του πολυγώνου των ορίων της περιοχής. Για τα πολύγωνα τα οποία είναι επιμήκη προς συγκεκριμένη διεύθυνση, οι γραμμές πτήσης πρέπει να ακολουθούν την διεύθυνση αυτή.
- Από τη φύση του αναγλύφου της περιοχής. Το ανάγλυφο επηρεάζει το ποσοστό της κατά μήκος επικάλυψης των εικόνων. Αυτό έχει άμεση επίδραση στο μήκος των βάσεων λήψης. Συμπερασματικά, για περιοχή με έντονο ανάγλυφο απαιτούνται περισσότερες λήψεις.

Το βέλτιστο σχέδιο πτήσης είναι αυτό με το μικρότερο συνολικό μήκος των γραμμών πτήσης και τις λιγότερες λήψεις. Για τον σκοπό αυτό μέσω του λογισμικού Flightplan2 εξετάζεται για ποιες τιμές του αζιμούθιου πτήσης επιτυγχάνεται το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Το πρόγραμμα Flightplan αποτελεί ένα εύχρηστο και γρήγορο εργαλείο με το οποίο γίνεται δυνατός ο προσδιορισμός των γεωδαιτικών συντεταγμένων των σημείων λήψεων. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα επιλογής από τον χρήστη της βέλτιστης λύσης για το σχεδιασμό της αεροφωτογράφισης.

# 6

## Παράρτημα

### 6.1. Οδηγίες χρήσης του προγράμματος

Το πρόγραμμα Flightplan χρησιμεύει στον προσδιορισμό των ευθειών πτήσης του αεροσκάφους προκειμένου να εκτελεστεί συγκεκριμένη αεροφωτογράφιση. Έρχεται με την μορφή δυο αρχείων του MatLab (m-files). Τα αρχεία αυτά είναι όμοια στο χειρισμό μεταξύ τους με τη διαφορά ότι στο Flightplan 1 εισάγεται το αζιμούθιο με άμεση πληκτρολόγηση από τον χρήστη, ενώ το Flightplan 2 εκτελεί το πρόγραμμα για ένα ορισμένο φάσμα αζιμούθιων. Οτιδήποτε ισχύει για το ένα, ισχύει και για το άλλο και παρακάτω αναφέρονται και τα δυο μαζί σαν Flightplan.

Για τον προσδιορισμό των ευθειών πτήσης λαμβάνεται υπόψη το περίγραμμα της περιοχής που θα φωτογραφηθεί, η μορφολογία του εδάφους στην περιοχή, τα δεδομένα της φωτομηχανής, της ακμής της εικόνας και τέλος τα επιθυμητά ποσοστά επικαλύψεων. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει η πτήση να γίνει κατά ένα συγκεκριμένο αζιμούθιο (Flightplan 1), είτε να αφήσει το πρόγραμμα να υποδείξει την κατεύθυνση των γραμμών πτήσης. Σε αυτή τη περίπτωση επιλέγεται η καλύτερη κατεύθυνση με βάση τις λιγότερες λήψεις ή της μικρότερης απόστασης που έχει διανυθεί.

Απαιτείται να έχει δημιουργηθεί από πριν ένα αρχείο αναγλύφου της περιοχής (DTM). Αυτό το αρχείο μπορεί ή να εισαχθεί άμεσα από τον χρήστη με πληκτρολόγηση, είτε να είναι οι κορυφές ενός καννάβου υψομέτρων.

Η έξοδος των αποτελεσμάτων γίνεται συνήθως σε ASCII αρχείο κειμένου όπου αναφέρονται οι συντεταγμένες των σημείων λήψης, το πλήθος των λήψεων για κάθε αζιμούθιο, το συνολικό μήκος των ευθειών λήψης και το αζιμούθιο των γραμμών πτήσης. Επίσης, το σχέδιο πτήσης μπορεί να εξαχθεί και σε dxf format.

```

11 - c = 0.15;
12 - s = 0.23;
13 - mb = 100000;
14 - S = s * mb;
15 - q = 10;
16 - A = S * (1 - q / 100);
17 - d1 = 0.2 * S;
18 - i = 60;
19 - b = S * (1 - i / 100);
20 - xd = 19990;
21 - yd = 200000;
22
23
24 - arbor = load('boarders.txt');
25
26
27 - ardem = load('dem.txt');
28 - hh = 1;
29 - %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
30
31 - for a = 0.001 : 10: 70%
32 -     % Αρχικό αζιμούθιο:βήμα:τελική τιμή
33
34 - %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
35

```

Σχήμα 5.1: Διαφορετικά αζιμούθια πτήσης

```

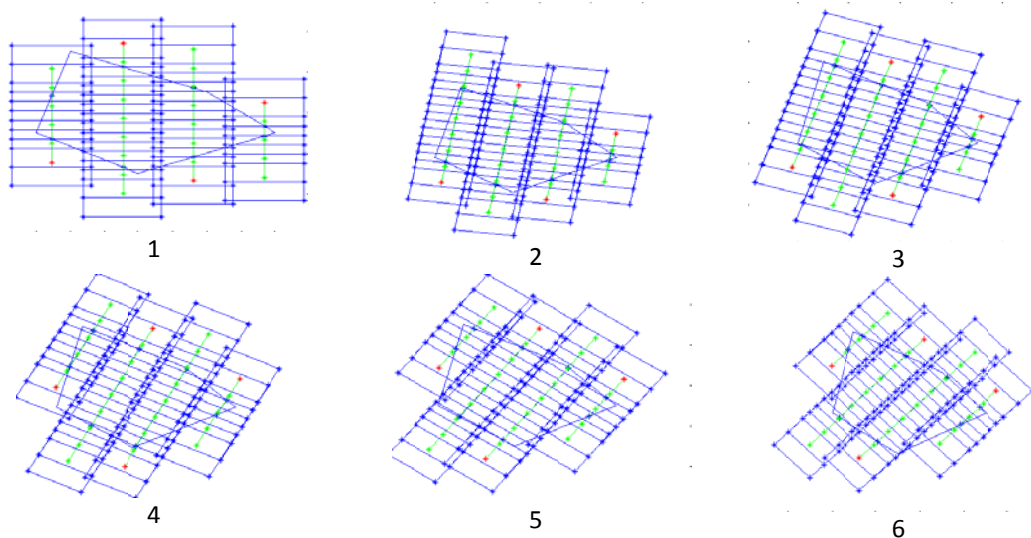
10 - %ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ:
11
12 - c = 0.15; %Εστιακή απόσταση (m)
13 - s = 0.23; %Ακμή της εικόνας (m)
14 - a = 90; %Αζιμούθιο (grad)
15 - mb = 100000; %Κλίμακα φωτογράφισης
16 - S = s * mb; %Ακμή της εικόνας στην προβολή (m)
17 - q = 30; %Κατά πλάτος επικάλυψη (%)
18 - A = S * (1 - q / 100); %Απόσταση μεταξύ γραμμών πτήσης (m)
19 - d1 = 0.2 * S; %Απόσταση ευθείας απο την κοντινότερη κορυφή (m)
20 - i = 60; %Κατα μήκος επικάλυψη (%)
21 - b = S * (1 - i / 100); %Βάση λήψης (m)
22 - xd = 10000; %Τετμημένη του σημείου προσανατολισμού
23 - yd = 90000; %Τεταγμένη του σημείου προσανατολισμού
24
25 - ad = a * 180 / 200; %Μετατροπή grad σε degrees (degrees)
26
27 - %Εισαγωγή των κορυφών του ορίου
28 - arbor = load('boarders.txt');
29
30 - %Εισαγωγή του DEM
31 - ardem = load('dem.txt');
32 - %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
33
34 - %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
35
36

```

Σχήμα 5.2: Εισαγωγή των παραμέτρων της αεροφωτογράφισης

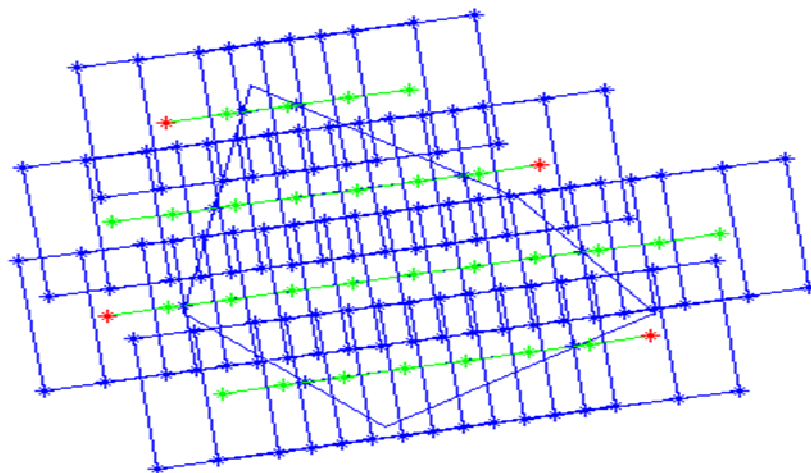
## 6.2. Παράδειγμα εφαρμογής του προγράμματος σε επιφανειακό στόχο

Στο παράδειγμα που ακολουθεί έχει εφαρμοστεί το flightplan2 σε επιφανειακό στόχο. Το αζιμούθιο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1 του κώδικα αρχίζει περίπου από τον βορρά και με βήμα 10 grad καταλήγει σε αζιμούθιο 70 grad. Παράλληλα το πρόγραμμα παρέχει στο χρήστη, μέσω των αρχείων ASCII, την πληροφορία για το πλήθος των λήψεων καθώς και για το συνολικό μήκος των ευθειών σε κάθε αζιμούθιο πτήσης. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να αποφασιστεί το βέλτιστο αζιμούθιο πλοήγησης του πτητικού μέσου. Στο Σχήμα 5.3 φαίνονται οι διαφορετικές εκτυπώσεις για την κλίμακα των αζιμούθιων, με 10% κατά πλάτος επικάλυψη.



Σχήμα 5.3 Διαφορετική κάλυψη της ίδιας περιοχής για διαφορετικές τιμές αζιμούθιου

Η εφαρμογή του flightplan1 στον ίδιο επιφανειακό στόχο και για επικάλυψη (30%) φαίνεται παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.4). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει εφαρμοστεί το flightplan1 με δεδομένα εισόδου τα οποία φαίνονται στο Σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.4 Κάλυψη μιας περιοχής με είσοδο των παραμέτρων από το χρήστη

## ***Βιβλιογραφικές Αναφορές***

- [1] Graham, R., Read, R. (2002), Manual of Aerial Survey, Whittles Publishing
- [2] Hanselman, D., Littlefield, B. (2005), Mastering Matlab 7, Peachpit Press (Μαυρόπουλος, Γ., Μάθετε το Matlab 7, Εκδόσεις Κλειδάριθμος)
- [3] Kraus, K. (2001), Photogrammetrie, Band 1: Grundlagen und Standardverfahren, Ferd. Duemmler Verlag (Βοζίκης, Ε., Γεωργόπουλος, Α., Φωτογραμμετρία. Τόμος 1: Βασικές Έννοιες και Μέθοδοι, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα)
- [4] Παντελίδης, Γ., Κραββαρίτη, Δ. (1992), Γραμμική Άλγεβρα, Εκδόσεις Συμεών

## ***Πηγές από το Διαδίκτυο***

URL's:

- [URL 1] <http://www.igi-systems.com>
- [URL 2] [http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs\\_57634.htm](http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs_57634.htm)
- [URL 3] <http://www.trackair.com/>
- [URL 4] <http://www.intergraph.com/learnmore/sgi/photogrammetry/flight-planning-software.aspx>
- [URL 5] <http://www.applanix.com/products/airborne/postrack.html>
- [URL 6] <http://www.optech.ca/altmhow.htm>

