



Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Πολυτεχνική Σχολή Ξάνθης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

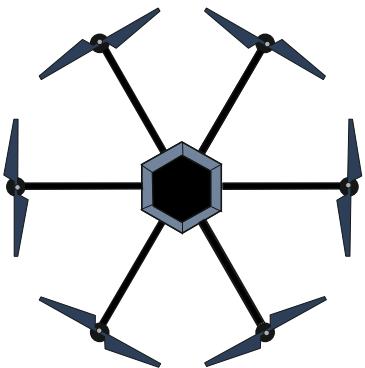
UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) ΓΙΑ 3Δ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ

Βελτίωση της ποιότητας δεδομένων από εναέρια δειγματοληψία
σε μεθόδους τριδιάστατης ψηφιοποίησης: Μελέτη και υλοποίηση

Διπλωματική Εργασία

του

ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΓΛΙΟΥΜΠΑ



Επιβλέπων: Χριστόδουλος Χαμζάς
Καθηγητής

Ξάνθη, Μάρτιος 2018

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια χαμηλού κόστους λύση στην αυτοματοποιημένη συλλογή αεροφωτογραφιών με σκοπό τη δημιουργία -με φωτογραμμετρικές μεθόδους- τριδιάστατων αναπαραστάσεων κτιρίων (3D μοντέλων) μέσω της προσαρμογής της διαδρομής πτήσης ενός εξακόπτερου μη επανδρωμένου πτητικού μέσου στο εκάστοτε σχήμα του προς αναπαράσταση κτιρίου. Αρχικά δημιουργούνται κυκλικές πτήσεις σε διαφορετικά ύψη γύρω από ένα κτίριο καθώς και μαιανδρικές πτήσεις πάνω από το κτίριο. Σκοπός αυτών των διαδρομών πτήσης είναι η συλλογή αεροφωτογραφιών με βάση τις οποίες θα δημιουργηθεί μια αδρή τριδιάστατη αναπαράσταση. Από την αναπαράσταση αυτή εξάγεται η καμπύλη της περιμέτρου του κτιρίου. Χρησιμοποιώντας αυτήν την καμπύλη σχεδιάζονται νέες διαδρομές πτήσης προσαρμοσμένες στο σχήμα της περιμέτρου του κτιρίου. Το κέρδος από το δεύτερο σύνολο διαδρομών πτήσης είναι η σταθερή απόσταση μεταξύ μη επανδρωμένου πτητικού μέσου και κτιρίου γεγονός που οδηγεί σε καταλληλότερες αεροφωτογραφίες για τη δημιουργία τριδιάστατων αναπαραστάσεων. Οι πτήσεις γίνονται αυτόματα ακολουθώντας GPS συντεταγμένες χωρίς δηλαδή καθοδήγηση από άνθρωπο χειριστή.

Λέξεις Κλειδιά

Μη επανδρωμένα πτητικά μέσα, Τριδιάστατες αναπαραστάσεις, πλοήγηση GPS, Φωτογραμμετρία

Abstract

In this thesis project a low cost solution concerning the automation of aerial photography is presented. The collection of aerial photographs of buildings in this project are destined for the creation of three-dimensional models of buildings using photogrammetric methods. Firstly circular flights around the building on different altitudes as well as meandric flights above the building are designed and realised. The purpose of these flights is the collection of aerial photographs to create a first crude three-dimensional model. From this model the curve of the building's perimeter is extracted. Using this curve, new flight paths adapted on the shape of the perimeter of the building are created. The unmanned aerial vehicle then ,following the second set of flight paths, performs flights which are adapted to the shape of the building maintaining the same distance from the building during the flights. As a result the photographs shot during the second set of flights are more appropriate for the creation of three-dimensional models using photogrammetric methods. The flights are automated with the use of GPS coordinates meaning that there is no need for human piloting.

Keywords

Unmanned Aerial Vehicles, 3D Models, GPS navigation, Photogrammetry

στην οικογένεια και τους φίλους μου

Ευχαριστίες

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Χριστόδουλο Χαμζά για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας και για την ευκαιρία που μου έδωσε να την εκπονήσω στο εργαστήριο Ανάλυσης Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων. Επίσης ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Δρ. Γεώργιο-Αλέξη Ιωαννάκη για την καθοδήγησή του και την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε καθώς και τον Δρ. Ανέστη Κουτσούδη για το πολύτιμο βιβλιογραφικό υλικό που μου παραχώρησε. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την καθοδήγηση και την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Ξάνθη, Μάρτιος 2018

Αντώνιος Γλιούμπας

Περιεχόμενα

| | |
|--|-----------|
| Περίληψη | 1 |
| Abstract | 3 |
| Ευχαριστίες | 7 |
| Πρόλογος | 17 |
| 1 Εισαγωγή | 19 |
| 1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής | 19 |
| 1.2 Οργάνωση της διπλωματικής εργασίας | 20 |
| I Θεωρητικό Μέρος | 21 |
| 2 Περιγραφή Θέματος | 23 |
| 3 Θεωρητικό υπόβαθρο | 27 |
| 3.1 Τριδιάστατη Ψηφιοποίηση | 27 |
| 3.1.1 Ψηφιοποίηση αντικειμένων μεγάλου μεγέθους | 27 |
| 3.1.2 Τριδιάστατες Επιφάνειες | 28 |
| 3.1.3 Τι είναι η φωτογραμμετρία | 29 |
| 3.1.4 Απόκτηση δεδομένων | 30 |
| 3.1.5 Φωτογραμμετρικά Παράγωγα | 32 |
| 3.2 Μη-επανδρωμένα πτητικά μέσα | 33 |
| 3.2.1 Πλατφόρμες περιστρεφόμενων ελίκων & σταθερών πτερυγίων | 34 |
| 3.3 Αρχεία σημείων πτήσης & GPS πλοήγηση | 36 |
| II Υλοποίηση | 39 |
| 4 Υλοποίηση | 41 |
| 4.1 Στάδιο 1: Το πρώτο σύνολο πτήσεων | 42 |
| 4.2 Στάδιο 2: Η Δημιουργία της πρώτης τριδιάστατης αναπαράστασης | 43 |
| 4.3 Στάδιο 3: Το δεύτερο σύνολο πτήσεων | 43 |

| | |
|---|-----------|
| 5 Επεξήγηση του κώδικα | 49 |
| 5.1 Η συνάρτηση δημιουργίας των αρχείων διαδρομής πτήσης | 49 |
| 5.2 Απλή Κυκλική Διαδρομή Πτήσης | 50 |
| 5.3 Μαιανδρική Διαδρομή Πτήσης | 50 |
| 5.4 Προσαρμοσμένη Διαδρομή Πτήσης | 50 |
| 6 Εξοπλισμός και Λογισμικά | 53 |
| 6.1 Εξακόπτερο UAV | 54 |
| 6.2 Προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν | 56 |
| 6.3 Επιλογή Μπαταρίας | 57 |
| 6.3.1 Ρυθμός εκφόρτισης & Χωρητικότητα | 58 |
| 6.4 Εξοπλισμός Φωτογράφισης | 60 |
| 6.5 Βοηθητικός εξοπλισμός | 60 |
| 6.6 Photoscan | 62 |
| 6.7 MeshLab | 63 |
| III Επίλογος | 65 |
| 7 Επίλογος | 67 |
| 7.1 Συμπεράσματα | 67 |
| 7.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις | 67 |
| Παραρτήματα | 69 |
| A' | 71 |
| A'.1 Ο αλγόριθμος Douglas-Peuker | 71 |
| B' Κώδικες | 73 |
| B'.1 Raspberry_Pi_Camera.py (Python Script) | 73 |
| B'.2 Adapted_trajectory.m (Matlab Script) | 75 |
| B'.3 Circular_trajectory.m (Matlab Script) | 79 |
| B'.4 Meander_trajectory.m (Matlab Script) | 80 |
| B'.5 Waypoint File Creation (wp_file_create.m) (Matlab Function) | 82 |
| B'.6 Waypoint File Creation No Point of Interest (wp_file_create_no_ptofint.m) (Matlab Function) | 83 |
| B'.7 Waypoint File Creation Circular (wp_file_create_circular.m) (Matlab Function) | 85 |
| Βιβλιογραφία | 91 |
| Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια | 93 |
| Απόδοση ξενόγλωσσων όρων | 95 |

Κατάλογος σχημάτων

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Παράδειγμα εσοχής κτιρίου με την μη-ορατή περιοχή | 24 |
| 2.2 | Κόκκινη διακεκομένη γραμμή: προσαρμοσμένη στο σχήμα του κτιρίου διαδρομή πτήσης. Μπλε διακεκομένη γραμμή: κυκλική διαδρομή πτήσης με κέντρο το βαρύκεντρο του κτιρίου | 25 |
| 3.1 | Μέθοδοι απεικόνισης τριδιάστατων διακριτών επιφανειών | 30 |
| 3.2 | Επίπεδα φωτογράφησης από αέρος | 33 |
| 3.3 | Διάγραμμα ροής UAV στην εναέρια φωτογραφμετρία χαμηλού υψομέτρου Πηγή: [1] | 35 |
| 3.4 | Παράδειγμα ενός αρχείου σημείων πτήσης (waypoint file) | 37 |
| 4.1 | Το τριδιάστατο πολυγωνικό πλέγμα της 3Δ αναπαράστασης του κτιρίου (MeshLab) | 43 |
| 4.2 | Οι κορυφές του τριδιάστατου πολυγωνικού πλέγματος (Matlab) | 44 |
| 4.3 | Τομές στο μέσο του κτιρίου (Matlab) | 45 |
| 4.4 | Τα κάθετα διανύσματα στην επιφάνεια του κτιρίου και τα ισαπέχοντα σημεία της νέας περιμέτρου | 46 |
| 6.1 | Σχεδιάγραμμα των υποσυστημάτων ενός τετρακόπτερου. πηγή: [2] | 56 |
| A'.1 | Αλγόριθμος απαλοιφής λεπτομερειών Douglas-Peuker | 71 |

Κατάλογος εικόνων

| | | |
|-----|--|----|
| 6.1 | Raspberry Pi 3 Model b Board με προσαρτημένη μια Raspberry Pi Camera Module V2 | 54 |
| 6.2 | Το εξακόπτερο UAV που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία | 54 |
| 6.3 | Φωτογραφία του εσωτερικού μέρους του εξακόπτερου | 57 |
| 6.4 | Σταθεροποιητής Λήψεων (Gimbal) | 61 |

Κατάλογος πινάκων

| | | |
|-----|---|----|
| 3.1 | Η φωτογραμμετρία από τη σκοπιά των συστημάτων | 31 |
| 4.1 | Απόκλιση απόστασης μεταξύ σημείων με διαφορά μιας μονάδας στο ν-οστό δεκαδικό ψηφίο | 47 |
| 6.1 | Χαρακτηριστικά Εξακόπτερου | 55 |
| 6.2 | Χαρακτηριστικά της μπαταρίας που επιλέχθηκε πηγή: [3] | 60 |
| 6.3 | Χαρακτηριστικά της φωτογραφικής κάμερας που χρησιμοποιήθηκε | 61 |
| 6.4 | Χαρακτηριστικά του RaspberryPi 3 Model B Board | 62 |

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των σπουδών στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης.

Υλοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του καθηγητή Χαμζά Χριστόδουλου και με τη βοήθεια του υλικοτεχνικού εξοπλισμού του Εργαστηρίου Ανάλυσης Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων του τ.Η.Μ.Μ.Υ. του Δ.Π.Θ. και του Ερευνητικού Κέντρου "Αθηνά"- Παράρτημα Ξάνθης.

Δημοσιεύσεις που προέκυψαν από τη διπλωματική εργασία:

Μέχρι σήμερα, η εργασία έχει παρουσιαστεί και δημοσιευτεί στα πρακτικά:

- του 10ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Φοιτητών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών (**Σ.Φ.Η.Μ.Μ.Υ. 10**) και
- του 2ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Ψηφιοποίησης Πολιτιστικής Κληρονομιάς (**Euromed 2017**)

Εισαγωγή

Στις ημέρες μας η ανάγκη για αυτοματοποίηση κρίνεται πιο αναγκαία από ποτέ. Μια σειρά από εργασίες που έως τώρα μπορούσαν να εκτελεστούν μόνο από «ανθρώπινο χέρι» πλέον είναι δυνατόν να αναληφθούν από τις μηχανές. Εργασίες σαν κι αυτές είναι οι πτήσεις των Μη Επανδρωμένων Πτητικών Μέσων (ΜΕΠΜ, αγγλ.: UAV) οι οποίες τα τελευταία χρόνια έγινε δυνατό να πραγματοποιούνται αυτόνομα, είτε σύμφωνα με κάποιο προδιαγεγραμμένο σύνολο εντολών είτε σε πραγματικό χρόνο υπό την καθοδήγηση υπολογιστή.

Ένα βασικό ζήτημα που αφορά στα παραπάνω συστήματα είναι η ικανότητα τους να λειτουργούν χωρίς την παρουσία χειριστή ή την εποπτεία από τον άνθρωπο. Όσο πληθαίνει η χρήση των μηχανών για την εκτέλεση επαναλαμβανόμενων ή επικίνδυνων αποστολών, ή σε διαδικασίες όπου απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτή που παρέχει η καθοδήγηση από τον άνθρωπο τόσο αυξάνεται η ανάγκη αυτοματοποίησης και ανάθεσης αυτών των εργασίων στις μηχανές. Κομμάτι αυτού του προβλήματος είναι και η αυτοματοποίηση της συλλογής δεδομένων. Ειδικότερα, όταν καλούμαστε να συλλέξουμε δεδομένα από αέρος η αυτοματοποίηση έγκυται στην ικανότητα των UAVs να μπορούν να πλοηγούνται αυτόνομα και να εκτελούν προγραμματισμένες ενέργειες, ακόμα και να λαμβάνουν αποφάσεις αν έχουν ενσωματωμένο κάποιο σύστημα τεχνητής νοημοσύνης.

Ένα επιστημονικό πεδίο που χρειάζεται τη βοήθεια της συλλογής δεδομένων από αέρος είναι η τριδιάστατη ψηφιοποίηση αντικειμένων κάθε κλίμακας. Σε αυτή την εργασία οι μέθοδοι που αναπτύσσονται αφορούν κυρίως στην τριδιάστατη αναπαράσταση κτιρίων.

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Η παρούσα επιστημονική εργασία εστιάζει στην αυτοματοποιημένη δημιουργία διαδρομών πτήσης τις οποίες θα ακολουθεί ένα UAV (εξακόπτερο) ώστε οι αεροφωτογραφίες που θα λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της πτήσης να είναι κατάλληλες για τη δημιουργία 3D αναπαραστάσεων με φωτογραμμετρικές μεθόδους. Παρόμοια ερευνητική εργασία έχει πραγματοποιηθεί για σάρωση αντικειμένων σε ελεγχόμενο κλειστό χώρο.

[4] Αντίθετα, εδώ, αναπτύσσεται ένας αλγόριθμος, μια σειρά βημάτων που φέρνει την συλλογή δεδομένων από αέρος (εξωτερικοί χώροι) ένα βήμα πιο κοντά στην απόλυτη αυτοματοποίηση. Το σύστημα είναι προσαρμοσμένο στην ανάγκη αεροφωτογράφησης κτιρίων. Επειδή τα δεδομένα που λαμβάνονται, οι αεροφωτογραφίες, προορίζονται για φωτογραμμετρικές μεθόδους πρέπει να πληρούνται ορισμένα κριτήρια. Όλες οι τεχνικές υλοποίησης για τα παραπάνω έχουν αναπτυχθεί στα επιτρεπτά πλαίσια ακρίβειας που παρέχονται από τον διαθέσιμο εξοπλισμό. Αρκετά μέρη της εργασίας είναι επηρεασμένα από τους περιορισμούς του εξοπλισμού. Βασικός στόχος όσον αφορά στο πρακτικό μέρος αυτής της εργασίας ήταν και η υλοποιήση με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

1.2 Οργάνωση της διπλωματικής εργασίας

Η εργασία αυτή είναι οργανωμένη σε επτά κεφάλαια:

- Στο Κεφάλαιο 2 δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο των βασικών τεχνολογιών που σχετίζονται με την εργασία.
- Στο Κεφάλαιο 3 αναφέρονται τα βασικά ζητήματα, τα προβλήματα και ο στόχος αυτής της εργασίας.
- Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται η περιγραφή της υλοποίησης του συστήματος, με ανάλυση των βασικών σταδίων της συνολικής διαδικασίας αυτοματοποιημένης συλλογής δεδομένων από αέρος.
- Στο Κεφάλαιο 5 παρατίθενται σχόλια σχετικά με τις λεπτομέρειες των αρχείων πηγαίου κώδικα που χρησιμοποιήθηκαν.
- Στο Κεφάλαιο 6 παρατίθενται λεπτομέρειες σχετικά με τον εξοπλισμό και για τις πλατφόρμες και τα προγραμματιστικά εργαλεία.
- Στο Κεφάλαιο 7 παρατίθενται τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγει αυτή η εργασία καθώς και οι μελλοντικές επεκτάσεις αυτού του θέματος.

Μέρος I

Θεωρητικό Μέρος

Κεφάλαιο 2

Περιγραφή Θέματος

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα ζητούμενα που καλείται να καλύψει αυτή η εργασία, τα προβλημάτα που καλείται να λύσει και οι απαιτήσεις του συνολικού συστήματος.

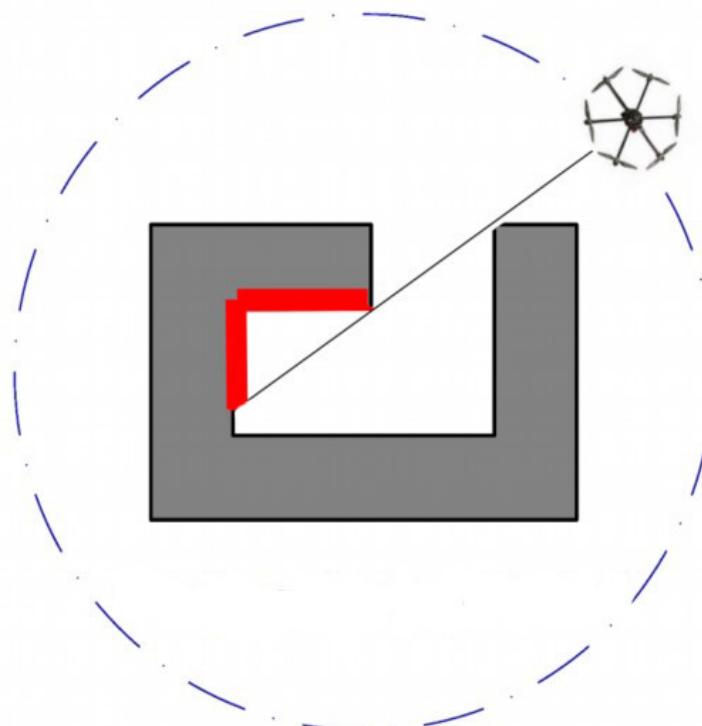
Ενα από τα βασικά ζητούμενα είναι η διατήρηση της απόστασης του UAV από το εκάστοτε κτίριο σταθερής καθόλη τη διάρκεια της πτήσης γύρω του. Αυτό προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιου υποσυστήματος που θα είναι υπεύθυνο για την "αίσθηση τη απόστασης". Η αίσθηση της απόστασης μπορεί να γίνει άμεσα με τη χρήση αισθητήρων ή με έμμεσες μεθόδους.

Από την εμπειρία μας γνωρίζουμε πως η αρχιτεκτονική ενός κτιρίου μπορεί να είναι αρκετά περίπλοκη. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι η ύπαρξη εσοχών και προεξοχών διάφορων μερών του κτιρίου ως προς όλους τους άξονες. Για παράδειγμα, ένα κτίριο μέρος του οποίου αποτελούν πρόβολοι, μεγάλα σκέπαστρα ή μπαλκόνια παρουσιάζει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα από κτίρια με επίπεδες όψεις. Όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα της αρχιτεκτονική ενός κτιρίου, τόσο δυσκολότερος γίνεται και ο σχεδιασμός διαδρομών πτήσης γύρω από αυτά. Στην παρούσα εργασία τα παραπάνω καλύπτονται με τη χρήση τριδιάστατων αναπαραστάσεων οι οποίες με κατάλληλο χειρισμό είναι εφικτό να γεωτοποιηθούν. Ο όρος γεωτοποιηθέτηση περιλαμβάνει τεχνικές που αφορούν τη μονοσήμαντη τοποθέτηση γεωγραφικών αντικειμένων. Ως γεωγραφικά αντικείμενα θεωρούνται όλα τα αντικείμενα και κατασκευάσματα τα οποία μπορούν να συσχετιστούν με μια γεωγραφική περιοχή. [5]. Από τις αναπαραστάσεις αυτές εξάγονται τα απαιτούμενα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου. Ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι το σχήμα της περιμέτρου του κτιρίου, δηλαδή το σχήμα των εξωτερικών τοιχωμάτων του. Έχοντας εξάγει αυτή την πληροφορία σχεδιάζεται μια διαδρομή πτήσης προσαρμοσμένη στο σχήμα του κτιρίου. Με αυτόν τον τρόπο διατηρείται σταθερή η απόσταση του UAV καθ'όλη τη διάρκεια της πτήσης. Λεπτομερέστερη περιγραφή των διαδικασιών και των ορολογιών αυτών ακολουθεί στα επόμενα κεφάλαια.

Ο λόγος για τον οποίο υπάρχει η απαίτηση της σταθερής απόστασης από το προς φωτογράφηση αντικείμενο είναι το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια των πτήσεων λαμβάνονται αεροφωτογραφίες οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία τριδιάστατων αναπαραστάσεων με φωτογραμμετρικές μεθόδους.

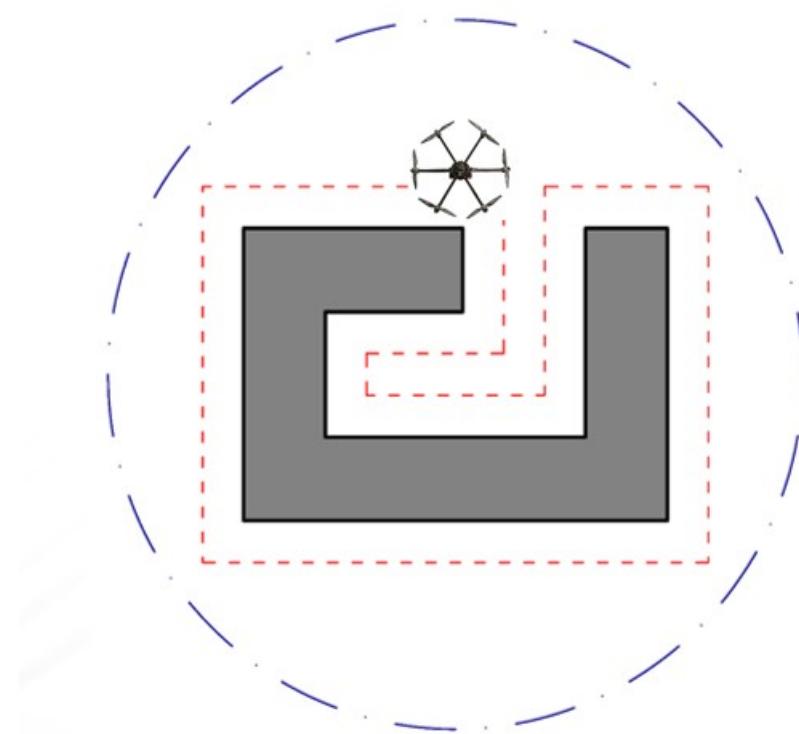
Όταν σχεδιάζεται μια αποστολή απόκτησης εικόνων με τη χρήση UAV, ο πιο σημαντικός παράγοντας της ποιότητας των εικόνων που πρέπει να λάβει κανείς υπόψην είναι η χωρική ανάλυση των προς απόκτηση εικόνων. Αυτός ο παράγοντας υποδεικνύει το υψόμετρο πτήσης και τις παραμέτρους έκθεσης του αισθητήρα της κάμερας. [6]. Μέτρο της χωρικής ανάλυσης των εικόνων είναι η απόσταση δειγματοληψίας εδάφους (GSD: Ground Sampling Distance). Προσπαθώντας να εξασφαλίσουμε σταθερό αυτό το μέγεθος, πλησιάζουμε σε μια καλύτερη τελική τριδιάστατη αναπαράσταση.

Οι τριδιάστατες αναπαραστάσεις κατασκευάζονται με τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών (η λειτουργία των οποίων εξηγείται σε επόμενα κεφάλαια) και για να δημιουργηθούν χρειάζεται ένα σύνολο φωτογραφιών του προς αναπαράσταση κτιρίου. Επειδή οι αεροφωτογραφίες από τις οποίες θα προκύψει η τριδιάστατη αναπαράσταση πρέπει να καλύπτουν όλη την εξωτερική επιφάνεια κτιρίου, το UAV καλείται να πραγματοποιήσει διαδρομές πτήσης σε διαφορετικά ύψη, περιμετρικά και πάνω από το κτίριο. Ο σχεδιασμός των διαδρομών πτήσης γίνεται με τρόπο τέτοιο ώστε να καλύπτονται όλες οι περιπτώσεις ιδιομορφιών στα χαρακτηριστικά της εξωτερικής επιφάνειας ενός κτιρίου. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην περίπτωση εσοχών σαν αυτή που απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.1: Παράδειγμα εσοχής κτιρίου με την μη-ορατή περιοχή

Στο σχήμα 2.1 με κόκκινο χρώμα τονίζεται η περιοχή της εσοχής η οποία δεν είναι ορατή από τον προσαρμοσμένο στο εξακόπτερο φωτογραφικό εξοπλισμό καθώς το UAV κινείται ακολουθώντας μια κυκλική διαδρομή γύρω από το κτίριο. Τελικό ζητούμενο είναι ο αυτόματος σχεδιασμός διαδρομών πτήσης προσαρμοσμένων στο εκάστοτε σχήμα του προς αναπαράσταση κτιρίου με βάση τις οποίες θα πετάξει το UAV.



Σχήμα 2.2: Κόκκινη διακεκομμένη γραμμή: προσαρμοσμένη στο σχήμα του κτιρίου διαδρομή πτήσης. Μπλε διακεκομμένη γραμμή: κυκλική διαδρομή πτήσης με κέντρο το βαρύκεντρο του κτιρίου

Κεφάλαιο 3

Θεωρητικό υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται συνοπτικά οι τρεις βασικές τεχνολογίες που έχουν σχέση με την εργασία αυτή, δηλαδή η τριδιάστατη ψηφιοποίηση, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAVs) και το Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης, ή Θεσιθεσίας GPS.

3.1 Τριδιάστατη Ψηφιοποίηση

Η ψηφιοποίηση μπορεί να οριστεί ως το μέσο για τη διατήρηση της πληροφορίας που αφορά στην ιστορία, στην παράδοση, στη γλώσσα, στην τέχνη, στη θρησκεία, εν γένει στον πολιτισμό, συμπεριλαμβάνοντας ακόμα και τις επιστήμες και την τεχνολογία. Η δημιουργία ενός ψηφιακού υποκατάστατου έχει στόχο να συμπληρώσει τα κενά που ενδεχομένως δημιουργούνται μετά την καταστροφή των φυσικών οντοτήτων, αλλά και να προσφέρει καινοτόμες προσεγγίσεις στον τρόπο μελέτης, χρήσης και προβολής των 3D υποκατάστατων. Θα μπορούσε να πει κανείς πως η ψηφιοποίηση είναι ένα μέσο για την επιβίωση αλλά και την ενίσχυση του πολιτισμού καθώς και όλης της ιστορίας. [7]

3.1.1 Ψηφιοποίηση αντικειμένων μεγάλου μεγέθους

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν αντικείμενα μεγαλύτερα από 2 μέτρα (μπορεί να φτάνουν τα 100 μέτρα). Ενώ υπάρχουν πολλές τεχνικές για τη μέτρηση μεσαίων αντικειμένων, υπάρχει γενικά μια έλλειψη μεθόδων στην κατηγορία αυτή. Υπάρχουν δύο βασικές οικογένειες μεθόδων.

Στην πρώτη οικογένεια, οι μέθοδοι βασίζονται στην ιδέα του **"οπτικού radar"**. Στην απλούστερη περίπτωση μια πηγή εκπέμπει ακτίνες λέιζερ οι οποίες είναι διαμορφωμένες είτε κατά πλάτος είτε κατά συχνότητα. Η ακτίνα ανακλάται από το στόχο και ανιχνεύεται από το σύστημα μέτρησης. Με εξέταση της κατάστασης διαμόρφωσης της ακτίνας που ανιχνεύεται είναι δυνατός ο υπολογισμός τον χρόνου που χρειάστηκε για να διανυθεί η αντίστοιχη απόσταση της ακτίνας από τον πομπό στο αντικείμενο και πίσω στο δέκτη. Γνωρίζοντας την ταχύτητα των φωτός στον αέρα είναι δυνατός ο υπολογισμός της απόστασης, που διανύθηκε. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά ως συστήματα **Μέτρησης χρόνου πτήσης (Time of flight - TOF)**. Στην κατηγορία αυτή υπάρ-

χουν εμπορικά διαθέσιμες συσκευές με δυνατότητα μέτρησης πολλαπλών σημείων και ακολουθιακής σύνθεσης μιας ολοκληρωμένης 3Δ σκηνής. Παρέχουν ακρίβεια περί τα 5 χιλιοστά για αποστάσεις λειτουργίας περί τα 3 μέτρα και άνω, με την ακρίβεια να μεταβάλλεται με την απόσταση. Το προφανές μειονέκτημα είναι ότι πρόκειται για σύστημα πού βασίζεται σε σημεία, δηλαδή αποτελούν μια μεγέθυνση των συστημάτων τριγωνισμού και συνεπώς απαιτείται σημαντικός χρόνος για τη συλλογή του συνόλου των απαιτούμενων δεδομένων, καθώς σαρώνουν πολύ μεγάλες επιφάνειες.

Στη δεύτερη οικογένεια μέτρησης μεγάλων αντικειμένων ανήκουν **τεχνικές φωτογραμμετρίας**. Η βασικότερη των τεχνικών αυτών είναι η γνωστή Καθοδηγούμενη Στερεοφωτογραμμετρία. Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται σημεία αναφοράς, τα οποία ορίζονται στην επιφάνεια των προς μέτρηση αντικειμένων και λαμβάνεται τουλάχιστον ένα ζεύγος φωτογραφιών από διαφορετικές γωνίες. Μέσω της ταύτισης των σημείων αναφοράς, αυτόματα ή όχι, καθίσταται δυνατή η ανάκτηση πληροφορίας 3Δ γεωμετρίας με τη μέτρηση απόστασης από το επίπεδο λήψης των φωτογραφιών. Η μέθοδος δίνει, προφανώς, καλύτερα αποτελέσματα όταν στα αντικείμενα ή, γενικά, στη σκηνή υπάρχουν επίπεδες επιφάνειες με λίγα σημεία αναφοράς. [7]

3.1.2 Τριδιάστατες Επιφάνειες

Η αναπαράσταση 3Δ διακριτών επιφανειών πραγματοποιείται από πληθώρα μεθόδων. Στόχος της εκάστοτε μεθόδου είναι η εκπλήρωση διαφορετικών αναγκών απεικόνισης. Απαραίτητη για την πληρότητα της εργασίας είναι η απόδοση κάποιων βασικών ορισμών που αφορούν σε οντότητες και τεχνικές αναπαράστασης 3Δ διακριτών επιφανειών. Ως εκ τούτου, ορίζονται ως:

- **Ευθύγραμμο Τμήμα (Line):** Η ευθεία που συνδέει δύο σημεία στον χώρο \mathbb{R}^3 . Χαρακτηρίζεται από το απειροελάχιστο πλάτος της, τη σταθερή πυκνότητα καθώς και από το ζεύγος κορυφών του οποίου οι συντεταγμένες οριοθετούν την αρχή και το τέλος της ευθείας μέσα στον \mathbb{R}^3 .
- **Κορυφές (Vertices):** σημεία με καθορισμένες τιμές σε ορισμένο σύστημα συντεταγμένων.
- **Έδρα (Facet):** Ορίζεται ως η τυχαίου σχήματος επιφάνεια που προκύπτει από τη σύνδεση-οργάνωση τουλάχιστον τριών κορυφών σε ευθύγραμμα τμήματα.
- **Κανονικό Διάνυσμα επιφάνειας (surface normal):** Ορίζεται ως το μοναδιαίο διάνυσμα που προσδιορίζει τον προσανατολισμό της κάθε επιφάνειας μέσα στον \mathbb{R}^3 χώρο.
- **Νέφος σημείων (Point cloud):** Ορίζεται ως ένα σύνολο κορυφών που μοιράζονται το ίδιο τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Κάθε κορυφή ορίζεται από τρεις συντεταγμένες κινητής υποδιαστολής, μία για κάθε άξονα P (x,y,z). Οι περισσότερες βιβλιοθήκες επιτάχυνσης 3Δ γραφικών ακολουθούν σύστημα κανονικοποιημένων ομογενών συντεταγμένων (1 ο Παράρτημα) με αποτέλεσμα το

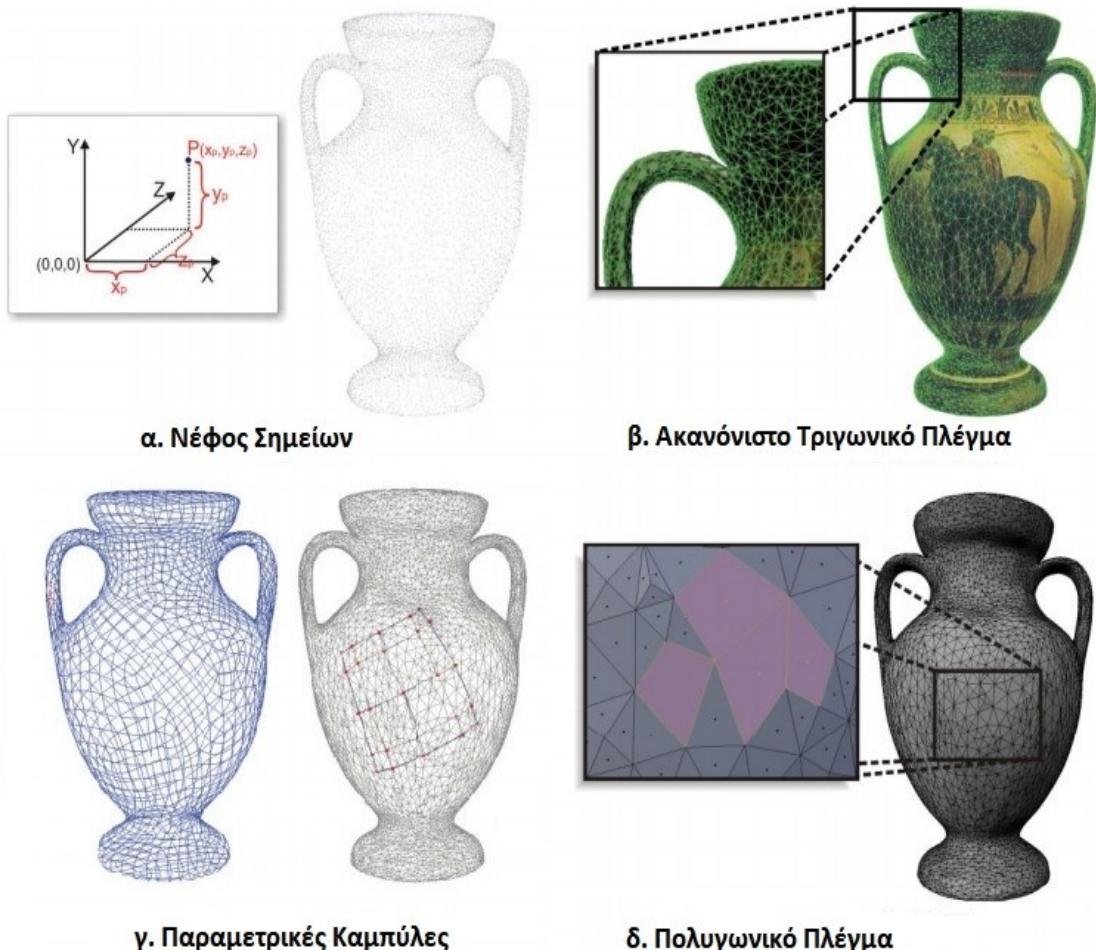
κάθε σημείο να αναπαριστάται από τέσσερις συντεταγμένες $P(x,y,z,w)$. Η μέθοδος αυτή ορίζει ένα σημείο στο τρισδιάστατο χώρο με συντεταγμένες $(x/w, y/w, z/w)$ και $w=1$. Για τις περισσότερες εφαρμογές απεικόνισης τρισδιάστατων αντικειμένων, η οπτική πληροφορία που προσφέρει το νέφος σημείων συνήθως δεν επαρκεί, όσο πυκνό και αν είναι. Πολλές φορές εκτός από τις συντεταγμένες θέσης η εκάστοτε κορυφή συνοδεύεται από τρεις χρωματικές συνιστώσες (π.χ. R, G, B). Τότε, το συγκεκριμένο αποκαλείται έγχρωμο νέφος σημείων. Για τη διευκόλυνση του χρήστη στην κατανόηση της οπτικής πληροφορίας που παρέχει ένα νέφος σημείων χρησιμοποιείται η τεχνική κλιμάκωσης της φωτεινότητας ή του μεγέθους των κορυφών, ανάλογα με την απόστασή του σημείου από το επίπεδο προβολής της θέσης παρατήρησης.

- **Ακανόνιστο τριγωνικό πλέγμα (Triangular Mesh):** Αποτελεί μία από τις πλέον δημοφιλείς τεχνικές απόδοσης 3Δ αντικειμένων εξαιτίας του χαρακτηριστικού των τριγώνων να ορίζουν πάντα ένα επίπεδο (συνεπίπεδες κορυφές). Το χαρακτηριστικό αυτό παίζει σημαντικό ρόλο για τους αλγορίθμους φωτοσκίασης (rendering), ανίχνευσης συγκρούσεων (collision detection) και γεωμετρικής αποκοπής (clipping). Είναι γεγονός πως οποιοδήποτε ανάγλυφο της επιφάνειας ενός αντικειμένου μπορεί να προσεγγισθεί από ένα πλήθος τριγώνων. Το ακανόνιστο τριγωνικό πλέγμα αποτελεί συνήθως ένα από τα βασικότερα παράγωγα του πρωτογενούς υλικού ενός συστήματος 3Δ σάρωσης. Η δομή δεδομένων (data structure) ενός τριγωνικού πλέγματος περιλαμβάνει την επιπρόσθετη πληροφορία της οργάνωσης των κορυφών σε τριάδες. Η πληροφορία αυτή μπορεί να αποθηκευτεί είτε ως συμπληρωματική της πληροφορίας των συντεταγμένων των κορυφών ορίζοντας την τριάδα κορυφών που σχηματίζουν ένα τρίγωνο, είτε εκφράζοντας ανεξάρτητα τις συντεταγμένες των κορυφών του κάθε τριγώνου αγνοώντας την ύπαρξη κοινών κορυφών. Η δεύτερη προσέγγιση είναι γνωστή ως ακατέργαστη (raw) και είναι πλέον ξεπερασμένη αφού χαρακτηρίζεται ως ασύμφορη.
- **Πολυγωνικό πλέγμα (Polygonal mesh):** Για τη δημιουργία ακανόνιστων πλεγμάτων χρησιμοποιούνται και άλλα πολύγωνα όπως τα τετράπλευρα (quadrilaterals). Πολλές από τις σύγχρονες εφαρμογές απεικόνισης 3Δ γραφικών υποστηρίζουν ταυτόχρονα τρίγωνα και τετράπλευρα με απώτερο σκοπό την εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων των δύο τεχνικών αναπαράστασης. (Σχήμα 3.1)

Πηγή ορισμών και σχήματος 3.1 : [8]

3.1.3 Τι είναι η φωτογραμμετρία

Η φωτογραμμετρία είναι η Τέχνη, η Επιστήμη και η Τεχνική που σκοπό έχει την εξαγωγή αξιόπιστης μετρικής πληροφορίας φυσικών αντικειμένων και του περιβάλλοντος μέσω των διαδικασιών της καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και άλλων πρότυπων Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και φαινομένων. [9], [10], [11], [12]



Σχήμα 3.1: Μέθοδοι απεικόνισης τριδιάστατων διακριτών επιφανειών

Ο Albrecht Meydenbauer, γερμανός αρχιτέκτων, στα 1858 έδωσε το όνομα στην επιστήμη που ονομάστηκε φωτογραμμετρία και προέρχεται από τρεις ελληνικές λέξεις: «Φως – γραμμή – μέτρηση» που περιγράφουν πολύ λιτά την ιδιότητα που έχει το φως να πορεύεται πάντα σε ευθεία γραμμή και να μπορεί να δίνει μετρήσεις κάνοντας χρήση αυτής της ιδιότητας. [13]

Προκειμένου να απλοποιήσουμε την κατανόηση του αφαιρετικού ορισμού και για να έχουμε μια γρήγορη εικόνα του σύνθετου πεδίου της φωτογραμμετρίας, ας τη δούμε από από τη σκοπιά των συστημάτων. Στον πίνακα 3.1 απεικονίζεται αυτή την ιδέα. Αρχικά θεωρούμε τη φωτογραμμετρία σαν "μαύρο κουτί". Χαρακτηριστικό της εισόδου αποτελεί η απόκτηση αξιόπιστων πληροφοριών μέσω της διαδικασίας λήψης μοτίβων της ακτινοβολούμενης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας κυρίως υπό τη μορφή φωτογραφικών εικόνων. Η έξοδος από την άλλη μεριά περιέχει φωτογραμμετρικά παράγωγα τα οποία δημιουργούνται μέσα στο "μαύρο κουτί".

3.1.4 Απόκτηση δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων στη φωτογραμμετρία είναι συνδεδεμένη με τη λήψη αξιόπιστων πληροφοριών σχετικές με τις ιδιότητες των αντικειμένων και των επιφανειών.

| Απόκτηση δεδομένων | Φωτογραμμετρικές Διεργασίες ("μαύρο κουτί") | Φωτογραμμετρικά παράγωγα |
|---------------------|--|---|
| Camera | επανορθωτής | φωτογραφικά παράγωγα, μεγεθύνσεις, υποβαθμίσεις, ανορθώσεις |
| Φωτογραφίες | ορθοφωτογραφικός προβολέας | ορθοφωτογραφίες |
| Σαρωτής | συγκριτής | Σημεία |
| Αισθητήρας | στεραιοσχεδιαστής | DEM, profiles, επιφάνειες |
| Ψηφιακή Εικονοληψία | αναλυτικός σχεδιαστής φωτογραμμετρικός σταθμός | χάρτες π.χ. τοπογραφικοί, ειδικοί |

Πίνακας 3.1: Η φωτογραμμετρία από τη σκοπιά των συστημάτων

Αυτό επιτυγχάνεται χωρίς φυσική επαφή με τα αντικείμενα το οποίο είναι η ουσιώδης διαφορά με την χωρομέτρηση. Οι εξ' αποστάσεως αποκτημένες πληροφορίες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

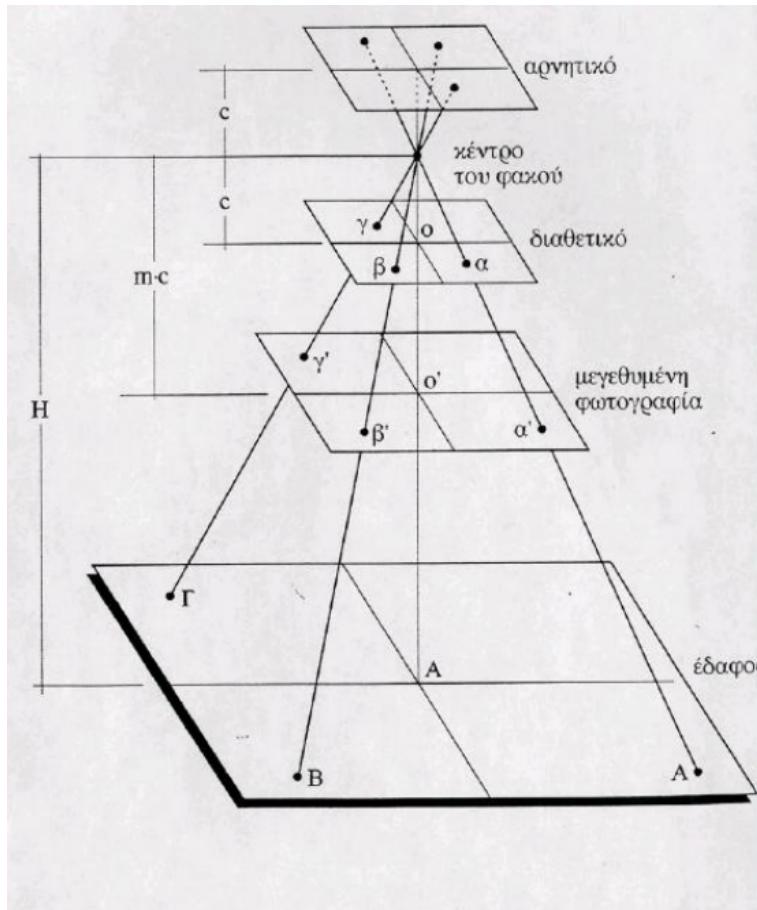
- **Γεωμετρικές Πληροφορίες:** Εμπεριέχουν τη χωρική θέση και τα σχήματα των αντικειμένων. Είναι η πιο σημαντική πηγή πληροφοριών στη φωτογραμμετρία.
- **Φυσικές Πληροφορίες:** Αναφέρονται στις ιδιότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για παράδειγμα, την ακτινοβολούμενη ενέργεια, το μήκος κύματος, την πόλωση.
- **Σημασιολογικές Πληροφορίες:** Αναφέρονται στο νόημα της εικόνας, συνήθως αποκτώνται ερμηνεύοντας καταγεγραμμένα δεδομένα.
- **Χρονικές Πληροφορίες:** Αναφέρονται στην αλλαγή ενός αντικειμένου στο χρόνο, συνήθως αποκτώνται συγκρίνοντας αρκετές εικόνες οι οποίες καταγράφονται σε διαφορετικούς χρόνους

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.1, τα εξ' αποστάσεως μετρούμενα αντικείμενα μπορούν να ποικίλουν από πλανήτες έως τμήματα της επιφάνειας της Γης, βιομηχανικά εξαρτήματα, ιστορικά κτίρια ή ανθρώπινα σώματα. Το γενικότερο όνομα για της συσκευές συλλογής πληροφοριών είναι "αισθητήρες", αποτελούμενοι από ένα σύστημα οπτικό κι ένα σύστημα ανίχνευσης.

3.1.5 Φωτογραμμετρικά Παράγωγα

Τα φωτογραμμετρικά προϊόντα εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες:

- Φωτογραφικά Παράγωγα:** Τα φωτογραφικά παράγωγα είναι προϊόντα μεμονωμένων φωτογραφιών ή αλληλεπικαλυπτόμενων φωτογραφιών. Το σχήμα 3.2 απεικονίζει την τυπική περίπτωση φωτογραφιών που λαμβάνονται από εναέρια φωτογραφική μηχανή. Κατά τη διάρκεια της έκθεσης, μια λανθάνουσα εικόνα σχηματίζεται η οποία αναπτύσσεται σε ένα αρνητικό είδωλο. Την ίδια στιγμή, παράγονται διαθετικά. Οι επαυξήσεις μπορούν να φανούν πολύ χρήσιμες για προκαταρκτικά σχέδια ή μελέτες σχεδιασμού. Μια καλύτερη προσέγγιση σε έναν χάρτη είναι οι διορθώσεις. Μια διόρθωση επιπέδου εμπεριέχει κλίση του διαθετικού ώστε να γίνει παράλληλο στο επίπεδο του εδάφους. Αν το έδαφος είναι ανάγλυφο τότε η διορθωμένη φωτογραφία συνεχίζει να περιέχει σφάλματα. Μόνο μια διαφορικά διορθωμένη φωτογραφία είναι γεωμετρικά πανομοιότυπη με έναν χάρτη. Μια τέτοια φωτογραφία είναι γνωστή ως ορθοφωτογραφία (orthophoto). Τα σύνθετα χρησιμοποιούνται συχνά σαν μια πρώτη βάση για γενικότερες μελέτες σχεδιασμού. Τα φωτομωσαϊκά είναι περισσότερο γνωστά όμως τα σύνθετα με τις ορθοφωτογραφίες που ονομάζονται ορθοφωτογραφικοί χάρτες (orthophoto maps) χρησιμοποιούνται επίσης, ειδικά σήμερα με την δυνατότητα να παραχθούν με αυτούς μέθοδοι ψηφιακής φωτογραμμετρίας.
- Υπολογιστικά Αποτελέσματα:** Ο εναέριος τριγωνισμός είναι μια πολύ επιτυχημένη εφαρμογή της φωτογραμμετρίας. Παρέχει τη θέση σημείων στον τριδιάστατο χώρο, μετρημένων πάνω σε φωτογραφίες ως προς ένα επίγειο σύστημα συντεταγμένων για παράδειγμα το σύστημα συντεταγμένων κρατικού επιπέδου (SPC: State Plane Coordinate System). Τα προφίλ και οι τομές είναι μερικά από τα τυπικά σχέδια για την κατασκευή ενός αυτοκινητόδρομου όπου υπολογίζονται γεωμορφολογικές ποσότητες. Οι υπολογισμοί αποθέματος σε στοίβες άνθρακα ή σε αποθέματα ορυκτών είναι μερικά ακόμα παραδείγματα τα οποία μπορεί να απαιτούν δεδομένα για το προφίλ και τις τομές. Η πιο δημοφιλής μορφή αναπαράστασης κομματιών της επιφάνειας της Γης είναι το Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρου (DEM: Digital Elevation Model). Σε αυτό το μοντέλο το υψόμετρο μετράται μέσω των σημείων ενός πλέγματος όπου οι κορυφές είναι τοποθετημένες σε ίσα διαστήματα στο επίπεδο.
- Χάρτες:** Οι χάρτες είναι το πιο επιφανές προϊόν της φωτογραμμετρίας. Δημιουργούνται σε διάφορες κλίμακες και βαθμούς ακρίβειας. Οι Επιπεδομετρικοί χάρτες περιέχουν μόνο την οριζόντια θέση των χαρακτηριστικών του εδάφους ενώ οι τοπογραφικοί χάρτες περιέχουν υψομετρικά δεδομένα συχνά υπό τη μορφή ισοϋψών (ή ισοδυναμικών) καμπυλών, υψόμετρα περιοχών και σημείων. Οι θεματικοί χάρτες επικεντρώνονται σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό όπως για παράδειγμα το δίκτυο συγκοινωνιών.



Σχήμα 3.2: Επίπεδα φωτογράφησης από αέρος

3.2 Μη-επανδρωμένα πτητικά μέσα

Μη Επανδρωμένο Πτητικό Μέσο ή UAV (Unmanned Aerial Vehicle) ονομάζεται ένα ιπτάμενο όχημα το οποίο οδηγείται είτε από κάποιο σύστημα τηλεκατεύθυνσης είτε από επί του σκάφους υπολογιστή. Ένα UAV είναι μέρος ενός UAS (Unmanned Aircraft System) στο οποίο εμπεριέχεται μια βάση ελέγχου εδάφους κι ένα σύστημα επικοινωνίας μεταξύ του ελεγκτή και του οχήματος. Η πτήση ενός UAV μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διάφορους βαθμούς αυτονομίας: είτε υπό τον έλεγχο ενός ανθρώπου-χειριστή είτε από υπολογιστή ενσωματωμένο στο σώμα του UAV. Χειροκίνητος Έλεγχος (manual control) σημαίνει έλεγχος της θέσης του UAV μέσω της ρύθμισης του προσανατολισμού και της κατεύθυνσης, του υψομέτρου, της ταχύτητας μέσω διακοπτών, joysticks ή κάποιου είδους συσκευής που βρίσκεται στον σταθμό ελέγχου εδάφους αλλά επιτρέποντας τον αυτόματο πιλότο να σταθεροποιεί το όχημα και να αναλάβει τον έλεγχο όταν η επιθυμητή θέση έχει επιτευχθεί. Τα συστήματα πλοήγησης διάφορων τύπων (GPS, Radio, inertial) επιτρέπουν προγραμματισμένες αποστολές οι οποίες μπορούν να διακοπούν ή όχι από τον άνθρωπο. Στην ελάχιστη μορφή του ένα σύστημα UAV αποτελείται από ιπτάμενα οχήματα, έναν οι περισσότερους σταθμούς ελέγχου εδάφους (GCS) και/ή σχεδιασμό αποστολής και σταθμούς ελέγχου.

Τα τελευταία χρόνια, τα μη-επανδρωμένα πτητικά μέσα έχουν εξελιχθεί ραγδαία ως

προς την ευκολία πτήσης και την ικανότητα λήψης ποιοτικών αεροφωτογραφιών και λήψης βίντεο. Έχουν γίνει πλέον ανερχόμενα καταναλωτικά προϊόντα και υπόσχονται πολλά στην αεροφωτογράφηση χαμηλού υψομέτρου ενώ υποστηρίζουν ερευνητικές και εμπορικές εφαρμογές. Οι περισσότερες εφαρμογές κινούνται γύρω από το χώρο της φωτογράφησης στο ορατό φως. Αναμένεται πως οι μελλοντικές εφαρμογές τηλεανίχνευσης (remote sensing applications) θα περιλαμβάνουν έγχρωμη και σχεδόν υπέρυθρη απεικόνιση. [16]

Η εναέρια φωτογράφηση με χρήση UAV είναι μια ευρέως αποδεκτή μέθοδος για το σχετικά χαμηλό της κόστος, την ευχρηστία και τον όγκο δεδομένων που συλλέγει. Παρέχει, μέσω λογισμικών φωτογραμμετρίας όπως το MicMac, ικανοποιητικά αποτέλεσματα με υψηλή ανάλυση. Παρόλα αυτά παραμένει εξαρτώμενη από την ακρίβεια της βαθμονόμησης προκειμένου να αποκτηθεί ικανοποιητική ανάλυση (Remondino, 2011). [17]

3.2.1 Πλατφόρμες περιστρεφόμενων ελίκων & σταθερών πτερυγίων

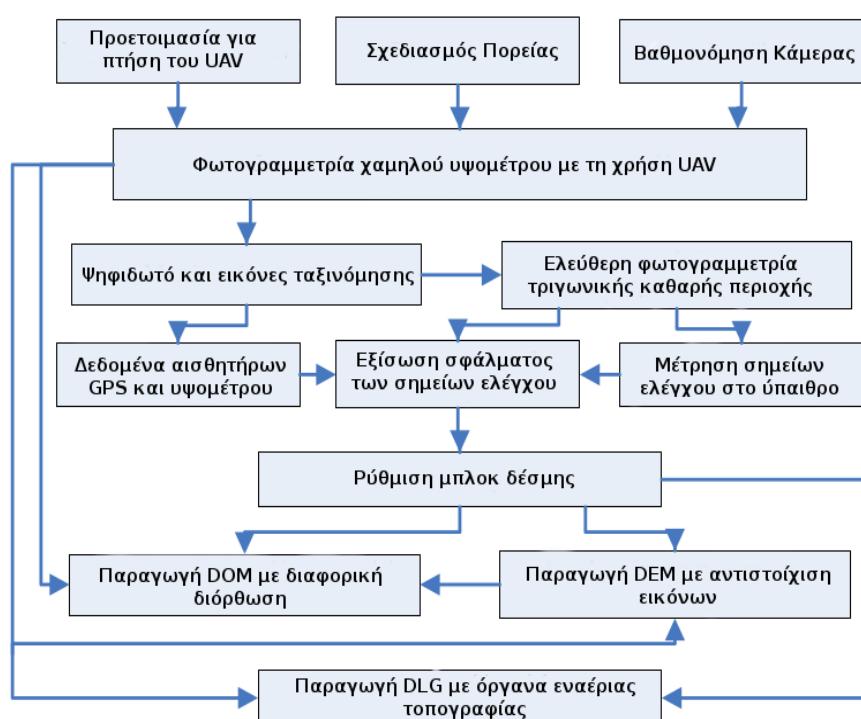
Οι πλατφόρμες περιστρεφόμενων ελίκων (Rotor-wing platforms) συνθέτουν ένα σύνολο σχεδίων από τετρακόπτερα, εξακόπτερα (με έξι περιστρεφόμενους έλικες) και οκτακόπτερα (με οκτώ περιστρεφόμενους έλικες) τα οποία γίνονται ο καθιερωμένος τρόπος για εναέρια φωτογράφηση όπου απαιτείται η ανύψωση βαρέως φορτίου. Το επίγειο ίχνος τους είναι συνήθως μικρότερο από τις πλατφόρμες σταθερών πτερυγίων (0.8 m). Η κάθετη απογείωση και προσγείωση σημαίνουν ότι δε χρειάζονται εκτενείς ανεμπόδιστοι αεροδιάδρομοι και μπορούν να λειτουργήσουν σε σχετικά δυσπρόσιτες περιοχές. Το γεγονός αυτό ευνοεί επιτάχυνση των διαδικασιών και κάνει δυνατή την πρόσβαση σε περιοχές όπου με τις παραδοσιακές τεχνικές τοπογραφίας και με τις πλατφόρμες σταθερών πτερυγίων ήταν αδύνατη.

Λόγω του μικρότερου μεγέθους τους, τα UAVs με περιστρεφόμενους έλικες έχουν περιορισμένο χρόνο πτήσης (συνήθως λιγότερο από 20 λεπτά) και σε σύγκριση με τις πλατφόρμες σταθερών πτερυγίων, χρειάζονται αρκετά επαναφορτιζόμενα στοιχεία (κυψέλες μπαταριών) για να πετύχουν την ίδια εναέρια κάλυψη με τα UAVs σταθερών πτερυγίων. Αυτό αυξάνει την πιθανότητα της του επηρεασμού της πτήσης από τις καιρικές συνθήκες. Όμως, επειδή τα UAVs περιστρεφόμενων ελίκων συνήθως πετούν σε χαμηλότερες ταχύτητες και συχνά φέρουν καλύτερα gimbals, είναι σταθερότερα σε συνθήκες ισχυρών ανέμων από τα UAV σταθερού πτερυγίου. Αυτό επιτρέπει σε έναν εκπαιδευμένο χειριστή να έχει καλύτερο έλεγχο του UAV και διευκολύνει τη συλλογή δεδομένων σε μεγαλύτερο εύρος εναέριων συνθηκών. Επομένως, είναι πιθανό τα φωτογραφικά σύνολα δεδομένων (datasets) τα οποία προέρχονται από από συστήματα περιστρεφόμενων ελίκων να έχουν καλύτερη ποιότητα από τα ομότιμα σύνολα δεδομένων από συστήματα σταθερών πτερυγίων λόγω της ευελιξίας τους στις εναέριες διαδρομές, γεγονός που επιτρέπει τη συλλογή πιο ομοιογενών συνόλων φωτογραφιών. (James και Robson, 2014).

Επιπρόσθετα, σε αντίθεση με τις πλατφόρμες σταθερών πτερυγίων, οι πλατφόρμες περιστρεφόμενων ελίκων έχουν τη δυνατότητα να αιωρούνται (hover) πάνω από αν-

τικείμενα και τοποθεσίες. Έτσι οδηγούμαστε σε μεγαλύτερη ακρίβεια στη φωτογραμμετρία όσον αφορά στα στοιχεία ενδιαφέροντος και πλήρη τριδιάστατη επιθεώρηση ακίνητων αντικειμένων.

Ταυτόχρονα, υπάρχει η δυνατότητα μετρήσεων και φωτογραφήσεων από ακολουθίες σημείων και από διαφορετικά υψόμετρα γεγονός που βοηθά στην καλύτερη διαχείριση ορισμένων χαρακτηριστικών των αεροφωτογραφιών όπως η ανάλυση σε pixel (pixel resolution) και η ποιότητα της φωτογραφίας ως συνάρτηση του υψομέτρου. [18]



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ροής UAV στην εναέρια φωτογραμμετρία χαμηλού υψομέτρου
Πηγή: [1]

Στην περίπτωση των κτιρίων όπου καλούμαστε να προσδιορίσουμε την απόσταση του UAV ως προς ένα ακλόνητο αντικείμενο -το ίδιο το κτίριο- του οποίου τη θέση μπορούμε να γνωρίζουμε και με άλλους τρόπους, η διατήρηση της σταθερής απόστασης μπορεί να γίνει έμμεσα με τη χρήση γεωγραφικών συντεταγμένων και συστημάτων GPS (Global Positioning System). Μέσω του Παγκόσμιου Συστήματος Στιγματοθέτησης, ή Θεσιθεσίας μπορούμε να ορίσουμε τις γεωγραφικές θέσεις οι οποίες θα αποτελούν την διαδρομή πτήσης του UAV συναρτήσει των γεωγραφικών θέσεων των σημείων της εξωτερικής περιμέτρου του κτιρίου, με βάση μια επιλογή γεωγραφικών συντεταγμένων των εξωτερικών τοιχωμάτων και άλλων στοιχείων τα οποία αποτελούν τα "όρια/συνοριακές επιφάνειες" του κτιρίου. Αυτό φυσικά προϋποθέτει την ακριβή γνώση της τριδιάστατης γεωμετρίας του κτιρίου καθώς και τον ακριβή προσδιορισμό των γεωγραφικών συντεταγμένων των σημείων του που έχουν επιλεγεί για να αντιπροσωπεύουν τις "συνοριακές επιφάνειες", δηλαδή τα εξωτερικά του στοιχεία (τοιχώματα, μεταλλικές ή κεραμικές επενδύσεις κ.α.).

Το περιεχόμενο ενός αρχείου διαδρομής πτήσης (waypoint file) σαν κι αυτά που

χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αναλύεται στη συνέχεια.

3.3 Αρχεία σημείων πτήσης & GPS πλοήγηση

Τα αρχεία σημείων πτήσης αναγνωρίζονται από την επέκταση **.waypoint**. Το σώμα του περιεχομένου αποτελείται από γραμμές κάθε μια από τις οποίες περιέχει αριθμητικά δεδομένα που περιγράφουν τη θέση ενός σημείου από το οποίο πρέπει να διέλθει το UAV κατά την πτήση του καθώς και για τον τρόπο με τον οποίο θα διέλθει από το σημείο.

Ακολουθεί το πρότυπο (Format) με βάση το οποίο είναι γραμμένο ένα waypoint file:

```
QGC WPL <VERSION>
<INDEX><CURRENT WP><COORD FRAME><COMMAND><PARAM1><PARAM2><PARAM3>
<PARAM4><PARAM5/X/LONGITUDE><PARAM6/Y/LATITUDE><PARAM7/Z/ALTITUDE>
<AUTOCONTINUE>
```

Ανάλυση της μορφής του αρχείου:

1η γραμμή : **QGC WPL <VERSION>** (έκδοση του πρωτοκόλλου δημιουργίας αρχείων πτήσης από την QGroundControl) Οι παρακάτω κεφαλίδες αποτελούν τα περιεχόμενα μιας γραμμής:

- **INDEX** : ο δείκτης αρίθμησης των σημείων
- **CURRENT WP** : αν η τιμή είναι 0 τότε θεωρείται πως το UAV βρίσκεται είτε στη θέση εκκίνησης (home position) είτε στο σημείο τροχιάς της προηγούμενης γραμμής αν έχει βρεθεί προηγουμένως σε κάποιο σημείο στον αέρα.
- **COORD FRAME**: ο τύπος του συστήματος συντεταγμένων
- **COMMAND** : κάποια πιθανή λειτουργία που πρέπει να εκτελέσει το UAV αφού φτάσει στο τρέχον σημείο.
- **PARAM1**: χρόνος παύσης σε δευτερόλεπτα, πόσο χρόνο να μείνει στο τρέχον σημείο
- **PARAM2** : Αποδεκτή ακτίνα από το σημείο. Αν το UAV διέλθει από κάποιο σημείο που ανήκει στη σφαίρα που ορίζεται με κέντρο το τρέχον σημείο τροχιάς και ακτίνα όσο η παράμετρος, τότε θεωρεί πως πέρασε από το σημείο.
- **PARAM3**: 0 για να περάσει διαμέσω του σημείου , αν > 0 ακτίνα σε μέτρα για να περάσει από το σημείο τροχιάς. Θετική τιμή για ωρολογιακής φοράς τροχιά, αρνητική για αντιωρολογιακή. Επιτρέπει τον έλεγχο της πορείας.

- **PARAM4:** Επιθυμητή γωνία γύρω από τον κατακόρυφο άξονα κατά τη διάρκεια της πτήσης.
- **PARAM5/X/LONGITUDE :** γεωγραφικό μήκος
- **PARAM6/Y/LATITUDE :** γεωγραφικό πλάτος
- **PARAM7/Z/ALTITUDE :** υψόμετρο σε μέτρα
- **AUTOCONTINUE :** αν έχει τιμή 1 τότε το UAV συνεχίζει την αποστολή εκτελώντας την επόμενη εντολή. Αν είναι 0 τότε περιμένει σήμα από το σταθμό ελέγχου εδάφους ή από τον χειριστή. [19], [20]

```
QGC WPL 110
0->1->0->16->0->0->0->41.075527->25.058155->8.575822->1
1->0->0->22->0.000000->0.000000->0.000000->0.000000->0.000000->10.000000->1
2->0->0->201->0.000000->0.000000->0.000000->0.000000->41.075585->25.058309->10.000000->1
3->0->0->16->0.000000->0.000000->0.000000->0.000000->41.075541->25.058192->10.000000->1
4->0->0->16->0.000000->0.000000->0.000000->0.000000->41.075528->25.058199->10.000000->1
5->0->0->16->0.000000->0.000000->0.000000->0.000000->41.075512->25.058215->10.000000->1
6->0->0->21->0.000000->0.000000->0.000000->0.000000->0.000000->0.000000->0.000000->1
```

Σχήμα 3.4: Παράδειγμα ενός αρχείου σημείων πτήσης (waypoint file)

Στο υπόλοιπο της εργασίας τα αρχεία σημείων πτήσης θα αναφέρονται με τον αγγλικό όρο waypoint files.

Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται:

- η εντολή απογείωσης από το τρέχον σημείο που βρίσκεται το UAV στο έδαφος,
- η εντολή με την οποία ορίζεται το σημείο ενδιαφέροντος,
- τα ενδιάμεσα σημεία από τα οποία αποτελείται η διαδρομή πτήσης,
- η εντολή προσγείωσης ως τελευταίο σημείο όπου κλείνει η διαδρομή πτήσης

Μέρος **II**

Υλοποίηση

Κεφάλαιο 4

Υλοποίηση

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η υλοποίηση του συστήματος, με βάση όλα όσα παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, οι λεπτομέρειες των διαδικασιών που ακολουθούνται καθώς και η σειρά με την οποία χρησιμοποιούνται οι βασικοί αλγόριθμοι του συστήματος. Τα αρχεία πηγαίου κώδικα που υλοποιούν τους αλγορίθμους που ακολουθούν βρίσκονται στο Παράρτημα B'.

Στην παρούσα εργασία, η χρήση ενός UAV αποσκοπεί στην αυτοματοποίηση της λήψης αεροφωτογραφιών με στόχο να απαλλαγεί ο χειριστής-άνθρωπος από επαναλαμβανόμενες διαδικασίες και προκειμένου να αυξηθεί η ακρίβεια των λήψεων σύμφωνα με τις απαιτήσεις στα χαρακτηριστικά του συνόλου των εικόνων ώστε να προκύψουν βελτιωμένες τριδιάστατες αναπαραστάσεις από αυτές τις αεροφωτογραφίες. Για τη λήψη των παραπάνω αεροφωτογραφιών το UAV πραγματοποιεί τις πτήσεις χωρίς καθοδήγηση από τηλεχειριστήριο ή από κάποιο σταθμό εδάφους. Το UAV που χρησιμοποιήθηκε είναι της κατηγορίας των εξακόπτερων (hexacopter) και διαθέτει τον ελεγκτή πτήσης Pixhawk PX4.

Στο σώμα του UAV έχει προσαρμοσθεί μια Raspberry Pi Camera που ελέγχεται από ένα Raspberry Pi Board προσδεδεμένο στο σώμα του εξακόπτερου. Στο Raspberry Pi τρέχει συνεχώς ένα python script το οποίο περιμένει το πάτημα ενός διακόπτη για να ξεκινήσει ή να σταματήσει τις λήψεις φωτογραφιών. Η σταθεροποίηση των λήψεων γίνεται με τη βοήθεια ενός gimbal.

Η αυτόνομη πλοιόγηση γίνεται με βάση ένα αρχείο διαδρομής πτήσης. Το αρχείο αυτό φορτώνεται με τη βοήθεια ενός υπολογιστή μέσω του προγράμματος Mission Planner στον ελεγκτή πτήσης (flight controller) Pixhawk. Αφού το UAV τοποθετηθεί κοντά στο προς αεροφωτογράφηση κτίριο κι αφού δεχθεί την αρχική εντολή από τον τηλεχειρισμό ξεκινά την αυτόνομη πτήση και ξεκινά η λήψη των αεροφωτογραφιών. Οι αεροφωτογραφίες αποθηκεύονται υπό την μορφή JPEG σε ένα εξωτερικό μέσο αποθήκευσης (USB Flash drive) που είναι συνδεδεμένο στο Raspberry Pi board.

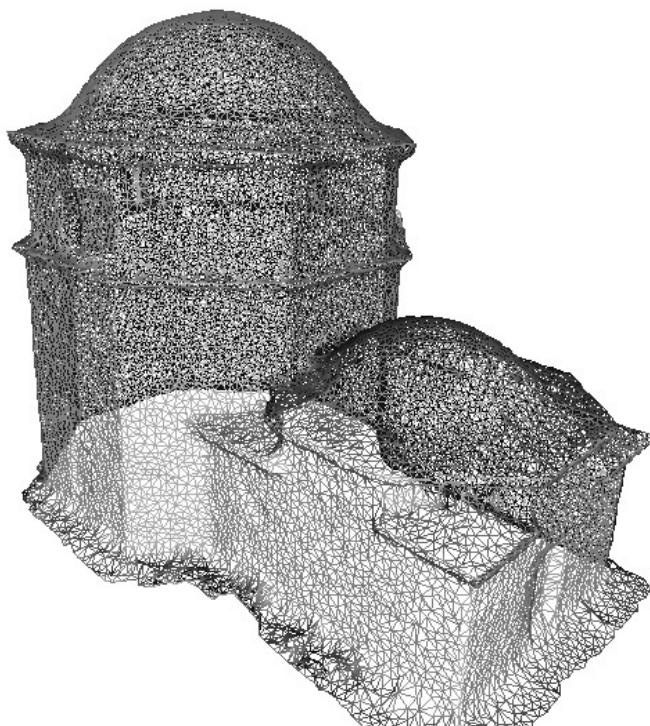
4.1 Στάδιο 1: Το πρώτο σύνολο πτήσεων

Αφού πραγματοποιηθεί η επιλογή του κτιρίου προς αεροφωτογράφηση, σειρά έχει η δημιουργία των πρώτων αρχείων σημείων πτήσης (waypoint files). Ο σκοπός σε αυτό το στάδιο της διαδικασίας είναι να ληφθούν αεροφωτογραφίες περιμετρικά από το κτίριο και πάνω από αυτό. Η πρώτη πτήση, της οποίας οι διαδρομές θα καθορίζονται από το περιεχόμενο των αρχείων σημείων πτήσης, αποτελείται από μια κυκλική διαδρομή με κέντρο το βαρύκεντρο του κτιρίου και από μια τροχιά σε σχήμα μαιάνδρου πάνω από αυτό. Για τη δημιουργία της πρώτης κυκλικής τροχιάς γίνεται χρήση ενός αρχείου πηγαίου κώδικα (**circular_trajectory.m**). Σε αυτό το στάδιο εισάγονται οι GPS γεωγραφικές συντεταγμένες του νοητού κέντρου του κτιρίου καθώς κι ένα σημείο της τροχιάς. Ως νοητό κέντρο του κτιρίου ορίζεται το σημείο που θα συνέπιπτε με το κέντρο του κύκλου στον οποίο θα ήταν περιγεγραμμένη η κάτοψη του κτιρίου. Για παράδειγμα, για ένα κτίριο του οποίου η κάτοψη θα είχε σχήμα τέλειου τετραγώνου, το νοητό κέντρο (ή βαρύκεντρο) θα συνέπιπτε με το σημείο τομής των διαγωνίων το τετραγώνου όπου από τη γεωμετρία γνωρίζουμε πως βρίσκεται το κέντρο του περιγεγραμμένου κύκλου. το νοητό κέντρο του κτιρίου παίζει το ρόλο του κέντρου της κυκλικής τροχιάς. Επιπλέον, είναι απαραίτητο η πλευρά του UAV στην οποία είναι προσαρμοσμένη η φωτογραφική κάμερα να είναι συνεχώς στραμμένη προς αυτό το σημείο, το οποίο ουσιαστικά λειτουργεί και ως περιοχή ενδιαφέροντος (region of interest, συντομογραφία: ROI). Η απόσταση μεταξύ ενός σημείου της τροχιάς και του κέντρου του αντικειμένου είναι η ακτίνα με βάση την οποία δημιουργούνται τα υπόλοιπα σημεία της κυκλικής τροχιάς.

Μέσα στο αρχείο πηγαίου κώδικα (**circular_trajectory.m**) καλείται μια συνάρτηση (**wp_file_create.m** : waypoint file creation) η οποία δημιουργεί το αρχείο της πρώτης πτήσης. Η συνάρτηση λαμβάνει ως ορίσματα εισόδου τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη των σημείων της τροχιάς, το υψόμετρο κάθε σημείου καθώς και τις συντεταγμένες της περιοχής ενδιαφέροντος, δηλαδή του σημείου στο οποίο πρέπει να είναι στραμμένη η πλευρά του εξακόπτερου στην οποία είναι προσαρτημένη η κάμερα. Σειρά έχει η δημιουργία αρχείου πτήσης με βάση το οποίο η διαδρομή του UAV θα είναι ένας μαίανδρος πάνω από το κτίριο. Σκοπός είναι να ληφθούν αεροφωτογραφίες κάτοψης. Χρησιμοποιείται ένα αρχείο πηγαίου κώδικα με όνομα (**meander_trajectory.m**) στο οποίο καλείται μια συνάρτηση (**wp_file_create_no_ptofint.m** : waypoint file creation no point of interest) που όπως και στο προηγούμενο στάδιο, αναλαμβάνει να δημιουργήσει το αρχείο σημείων πτήσης. Η μόνη διαφορά με τη συνάρτηση “**wp_file_create.m**” είναι ότι εδώ δεν προστίθεται η γραμμή που ορίζεται κάποιο σημείο ενδιαφέροντος. Επομένως κατά τη διάρκεια αυτής της πτήσης, η μπροστινή πλευρά του UAV δηλαδή αυτή στην οποία είναι προσαρτημένη η κάμερα, θα είναι στραμμένη στην κατεύθυνση της ευθείας της πορείας. Έχοντας δημιουργήσει το αρχείο της πρώτης πτήσης, το UAV είναι πλέον έτοιμο για την πρώτη πτήση.

4.2 Στάδιο 2: Η Δημιουργία της πρώτης τριδιάστατης αναπαράστασης

Αφού ολοκληρωθεί η λήψη αεροφωτογραφιών κατά τη διάρκειά των πρώτων πτήσεων, οι εικόνες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία της πρώτης τριδιάστατης αναπαράστασης. Η δημιουργία της τριδιάστατης αναπαράστασης γίνεται στο πρόγραμμα Photoscan. Η αναπαράσταση στη συνέχεια εξάγεται υπό τη μορφή αρχείου **".ply"**. Το τριγωνικό πλέγμα που προκύπτει από το πρόγραμμα Photoscan είναι υπερβολικά πυκνό επομένως χρειάζεται κάποιου είδους δειγματοληψία ώστε να απομείνουν λιγότερες κορυφές και ακμές. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια του προγράμματος MeshLab όπου σύμφωνα με μια κατανομή Poisson γίνεται επιλογή των σημείων από τα οποία θα αποτελείται το πλέγμα. Στο πρόγραμμα MeshLab γίνεται ακόμα μια σημαντική διαδικασία, η γεωτοποιητήση του μοντέλου ώστε κάθε κορυφή της τριδιάστατης αναπαράστασης να αποκτήσει συντεταγμένες που αντιστοιχούν στο GPS (Global Positioning System). Μετά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας το πλέγμα εξάγεται υπό τη μορφή αρχείου **.off**.

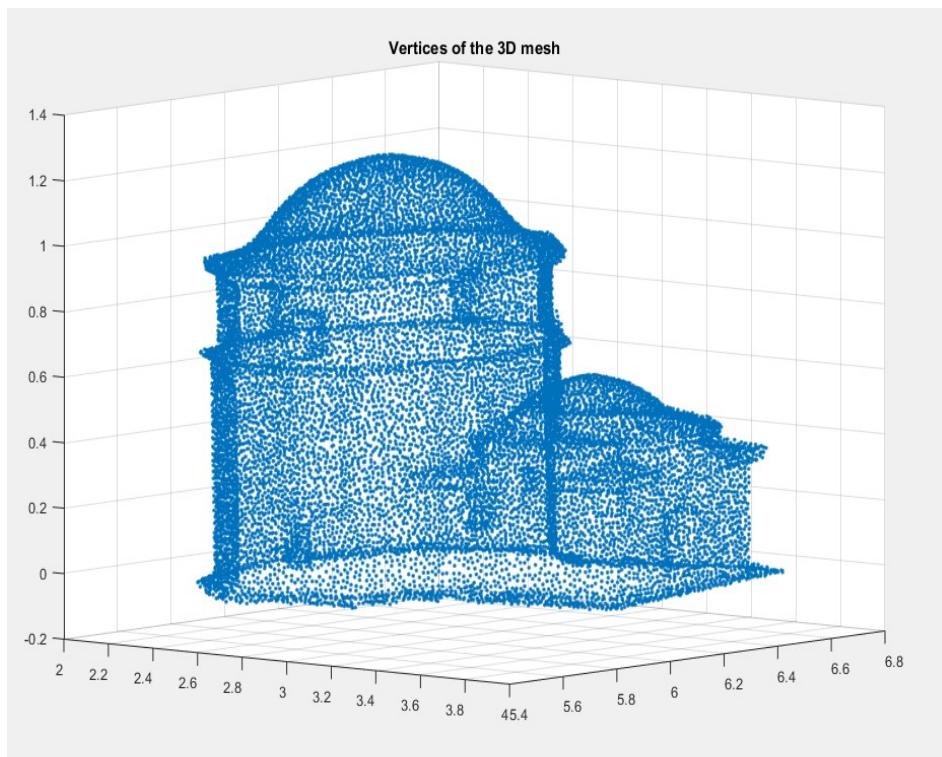


Σχήμα 4.1: Το τριδιάστατο πολυγωνικό πλέγμα της 3Δ αναπαράστασης του κτιρίου (MeshLab)

4.3 Στάδιο 3: Το δεύτερο σύνολο πτήσεων

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια ενός αρχείου πηγαίου κώδικα (**Adapted_Trajectory.m**) δημιουργείται το δεύτερο αρχείο πτήσης. Στο αρχείο **Adapted_Trajectory.m** καλείται η

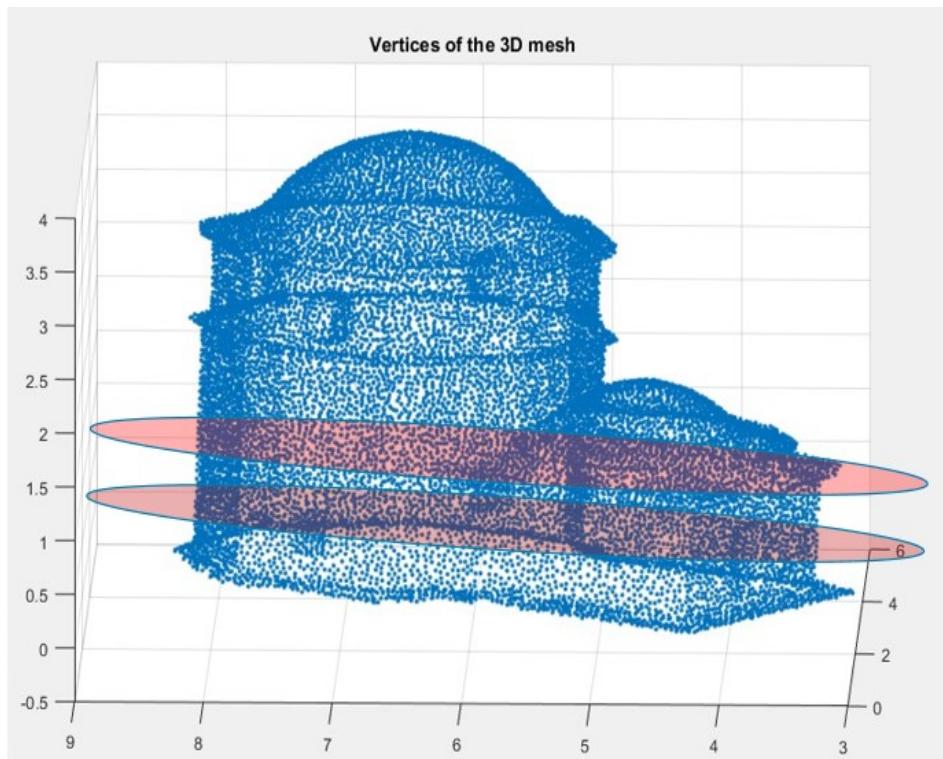
συνάρτηση “**read_off.m**” η οποία διαβάζει το αρχείο ”.off” της 3Δ αναπαράστασης και αποθηκεύει τις χυτ συντεταγμένες των κορυφών.



Σχήμα 4.2: Οι κορυφές του τριδιάστατου πολυγωνικού πλέγματος (Matlab)

Κατόπιν, έχοντας διαβάσει και κρατήσει τα σημεία της 3Δ αναπαράστασης από το αρχείο μορφής ”.off”, επιλέγονται τα σημεία του νέφους που βρίσκονται στο μέσο του ύψους του κτιρίου. Ακριβέστερα, αξιοποιούνται τα σημεία που ανήκουν ανάμεσα σε δύο τομές που βρίσκονται περίπου στο μέσο του ύψους του κτιρίου. Αλλάζοντας τις παραμέτρους που αντιστοιχούν στο ύψος των τομών, είναι δυνατόν να ελαττώσουμε ή να διευρύνουμε την απόσταση μεταξύ τους ή ακόμα να μετατοπίσουμε την περιοχή που ορίζεται ανάμεσά τους ανάλογα με το σχήμα της περιμέτρου σε ένα συγκεκριμένο ύψος του κτιρίου που επιθυμούμε να εξάγουμε. Έχοντας σαν παράδειγμα το κτίριο που απεικονίζεται στα σχήματα αυτής της ενότητας, παρατηρούμε πως στην περίπτωση όπου οι τομές οριστούν σε διαφορετικό ύψος είναι δυνατόν να περιλαμβάνουν μόνο να σημεία του νέφους που ανήκουν στο ψηλότερο μέρος του κτιρίου. Οι τομές στο νέφος σημείων απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα:

Έχοντας απομονώσει τα σημεία που ανήκουν ανάμεσα στις δύο τομές, προκειμένου να τοποθετηθούν όλα σε ένα επίπεδο, απαλείφονται οι τιμές z από τις συντεταγμένες των σημείων. Προφανώς η τιμές z αντιστοιχούν στην πληροφορία που αφορά στο ύψος του κάθε σημείου. Με βάση αυτά τα σημεία δημιουργείται ένα σύνολο σημείων. Από αυτό το σύνολο σημείων σκοπός είναι να εξαχθεί το σχήμα της περιμέτρου του κτιρίου σε ένα συγκεκριμένο ύψος. Εφόσον προηγουμένως γεωτοποθετήσαμε το μνηέλο στο πρόγραμμα MeshLab, αυτό σημαίνει ότι οι συντεταγμένες όλων των σημείων που διαχειρίζομαστε έχουν για τιμή x το γεωγραφικό πλάτος, για τιμή y το γεωγραφικό



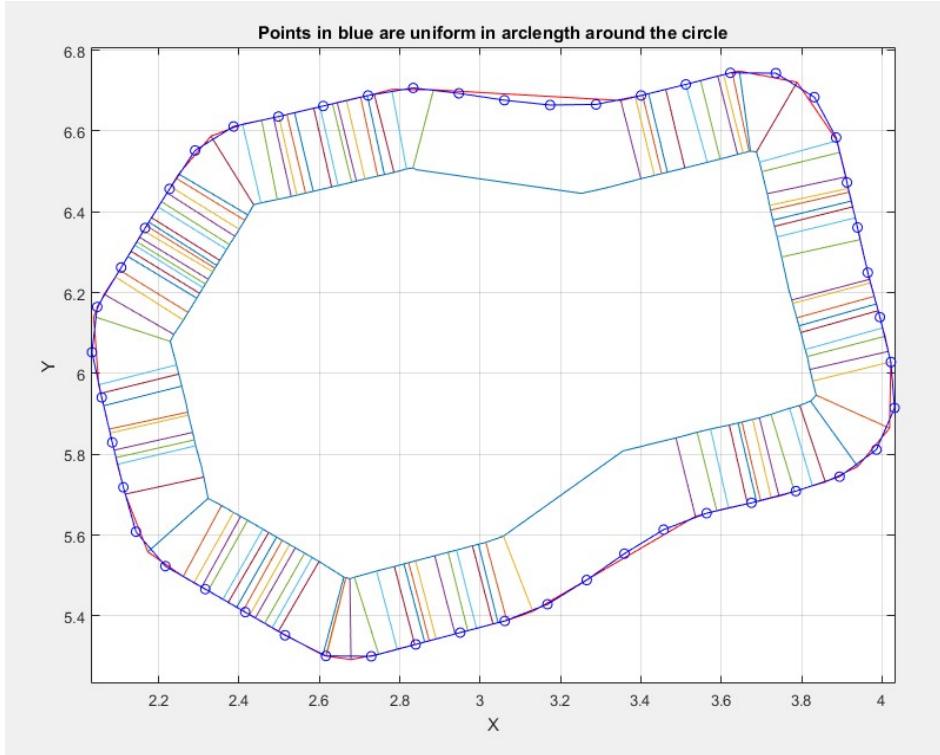
Σχήμα 4.3: Τομές στο μέσο του κτιρίου (Matlab)

μήκος και για τιμή ζ το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους. Το σφάλμα που εισάγει η καμπυλότητα της επιφάνειας της Γης είναι αμελητέο αφού σε μια απόσταση μερικών μέτρων μπορεί η επιφάνεια που ορίζεται από ένα σύνολο σημείων να θεωρηθεί επίπεδη. Το σφάλμα που υπεισέρχεται στον υπολογισμό του ύψους εξαρτάται από την ποιότητα και την ακρίβεια των οργάνων μέτρησης του UAV. Στην παρούσα εργασία το εξακόπτερο διαθέτει βαρόμετρο για τον υπολογισμό του υψόμετρου μετρώντας διαφορές στην ατμοσφαιρική πίεση. Η μέτρηση του ύψους του UAV από το έδαφος μπορεί να γίνει ακριβέστερη με τη χρήση σόναρ.

Για τον υπολογισμό της βελτιωμένης τροχιάς καλείται η συνάρτηση “**LineNormals2D.m**”, η οποία υπολογίζει τα κάθετα διανύσματα στην καμπύλη που αποτελεί το εξωτερικό σύνορο μιας τομής του κτιρίου το επίπεδο της οποία είναι παράλληλο με το έδαφος. [21]

Ορίζοντας το μέτρο αυτών των κάθετων διανυσμάτων καθορίζεται και η απόσταση των σημείων της νέας διαδρομής πτήσης από το κτίριο. Στη συνέχεια καλείται η συνάρτηση “**interparc.m**” η οποία έχοντας σαν είσοδο τα σημεία που προκύπτουν από τα τέλη των κάθετων διανυσμάτων, δημιουργεί μια νέα σειρά σημείων τα οποία είναι ισαπέχοντα. [22]

Με τον τρόπο αυτόν παράγεται η νέα σειρά σημείων που προκύπτει έπειτα από ολόκληρη τη διαδικασία, δηλαδή η νέα βελτιωμένη πτήση εξασφαλίζει τη διατήρηση σε μια σταθερή τιμή της Απόστασης Δείγματος Εδάφους (διεθνής ορολογία αγγλ.: GSD: Ground Sampling Distance), δηλαδή της απόστασης μεταξύ δύο διαδοχικών κέντρων δύο εικονοστοιχείων που απεικονίζουν δύο σημεία στο έδαφος. Όσο μεγαλύτερη εί-



Σχήμα 4.4: Τα κάθετα διανύσματα στην επιφάνεια του κτιρίου και τα ισαπέχοντα σημεία της νέας περιμέτρου

ναι η τιμή του GSD μιας φωτογραφίας, τόσο μικρότερη είναι η χωρική ανάλυση της εικόνας και οι λεπτομέρειες είναι λιγότερο ορατές. Το GSD σχετίζεται με το ύψος της πτήσης και την απόσταση από το κτίριο. Όσο πιο ψηλά και όσο πιο μακριά από το κτίριο, τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του GSD. Για παράδειγμα, ένα GSD των 5cm σημαίνει ότι ένα εικονοστοιχείο στη φωτογραφία αναπαριστά γραμμικά 5cm στο έδαφος (πραγματική επιφάνεια που αναπαριστά ένα εικονοστοιχείο: $5*5 = 25$ τετραγωνικά εκατοστόμετρα). Το GSD διατηρείται σταθερή αφού διατηρείται σταθερή η απόσταση από το κτίριο καθ'όλη τη διάρκεια της εναέριας διαδρομής. [23]

Απόκτηση γεωγραφικών συντεταγμένων ενός κτιρίου

Σειρά βημάτων με τα οποία καθορίζονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες ενός κτιρίου:

- ΕΓΣΑ 87 (X,Y / cartesian): Από την ιστοσελίδα του Εθνικού Κτηματολογίου & Χαρτογράφησης Α.Ε. εντοπίζονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες των γωνιών του κτιρίου στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987. [24]
- WGS84 (λ, ϕ / longitude,latitude): Έχοντας τα σημεία στο ΕΓΣΑ 87 γίνεται χρήση του προγράμματος COORD GR για τη μετατροπή των συντεταγμένων των σημείων στη συμμιγή μορφή π.χ. $23^{\circ}27'24.12''$ [25]
- Χρησιμοποιείται στη συνέχεια η συνάρτηση **symmighs2decimal.m** για να μετατραπεί σε δεκαδική μορφή η συντεταγμένη αυτή. Η μετατροπή από τη μια μορφή

στην άλλη (συμμιγής σε δεκαδικό) εξηγείται μέσω του παρακάτω παραδείγματος:

Έστω ότι μια από τις συντεταγμένες σε συμμιγή μορφή είναι: $23^{\circ}27'24.12''$ Το ακέραιο μέρος των μοιρών του αριθμού παραμένει ως έχει. Η μετατροπή των λεπτών και δευτερολέπτων δίνει το δεκαδικό μέρος.

$$a_1 = 27/60 = 0.45$$

$$a_2 = 24.12/3600 = 0.0067$$

$$a_3 = a_1 + a_2 = 0.4567 \text{ (δεκαδικό μέρος)}$$

Ακέραιο μέρος: 23

Δεκαδικό μέρος: 0.4567

Άρα προκύπτει ο αριθμός 23,4567

[26]

Σημείωση: Εισάγοντας τις συντεταγμένες που προκύπτουν στο Google Maps παρατηρείται μια απόκλιση από το σημείο στο οποίο αντιστοιχεί η εκάστοτε τιμή συντεταγμένων περίπου 2 μέτρων. Στη συνέχεια, η απόκλιση αυτή διορθώνεται εισάγοντας αυτή την απόκλιση ως αντιστάθμισμα (αγγλ.: offset).

Καθώς μετακινούμαστε μακριά από τον ισημερινό προς έναν από τους πόλους, κάθε μία μοίρα γεωγραφικού μήκους αντιπροσωπεύει μια φθίνουσα απόσταση μέτρων, προσεγγίζοντας το μηδέν στον πόλο. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές meters/degree για διάφορα γεωγραφικά πλάτη (Latitude). [27]

| Latitude | Lat meters/deg | Long meters/degree |
|--------------------|----------------|--------------------|
| 41.13000° (Xanthi) | 111056.39 | 83969.73 |
| 0.00000° | 110574.28 | 111319.34 |
| 15.00000° | 110648.69 | 107550.43 |
| 30.00000° | 110852.42 | 96486.36 |
| 45.00000° | 111131.75 | 78846.89 |
| 60.00000° | 111412.24 | 55799.92 |
| 70.00000° | 111561.97 | 38186.41 |
| 80.00000° | 111659.88 | 19393.39 |
| 89.00000° | 111693.57 | 1949.32 |

Πίνακας 4.1: Απόκλιση απόστασης μεταξύ σημείων με διαφορά μιας μονάδας στο ν-οστό δεκαδικό ψηφίο

Τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα αντιστοιχούν σε σταθερό γεωγραφικό πλάτος και οι αποστάσεις σε σημεία με διαφορετικά γεωγραφικά μήκη. Για την περιοχή της Ξάνθης το 1m αντιτοιχεί περίπου στο 5-ο δεκαδικό ψηφίο μιάς μοίρας ή στα 3/100 ενός δευτέρου. [28]

Γεωτοποιθέτηση των σημείων της 3Δ αναπαράστασης

Μέχρι στιγμής το κάθε σημείο της 3Δ αναπαράστασης έχει τρεις τιμές που καθορίζουν τη θέση του στο καρτεσιανό σύστημα αξόνων. Οι τιμές αυτές έχουν δοθεί στο πρόγραμμα Photoscan και είναι απόλυτες αριθμητικές τιμές που απλώς αναπαριστούν αποστάσεις υπό κλίμακα που δεν έχουν κάποια αντιστοιχία στον φυσικό κόσμο. Προκειμένου τα σημεία των διαδρομών πτήσης να έχουν τιμές που αντιστοιχούν σε πραγματικές τιμές γεωγραφικού μήκους και πλάτους, θα πρέπει και τα σημεία της 3Δ αναπαράστασης να αποκτήσουν τέτοιες τιμές. Η τιμή x του καρτεσιανού συστήματος αντικαθίσταται με το γεωγραφικό μήκος (γωνία λ., αγγλ.: longitude), η τιμή y με το γεωγραφικό πλάτος (γωνία φ., αγγλ.: latitude) και η τιμή z με την απόσταση από το έδαφος (υψόμετρο, αγγλ.: altitude). Επειδή η καμπυλότητα της επιφάνειας της Γης θεωρείται αμελητέα σε αποστάσεις όσο το μήκος ενός κτιρίου, η οριζόντια επιφάνεια πάνω στην οποία είναι χτισμένο το κτίριο μπορεί να θεωρηθεί επίπεδη. Επομένως οι τιμές του γεωγραφικού μήκους και πλάτους μας δίνουν με ακρίβεια τις συντεταγμένες του κτιρίου στο επίπεδο.

Τα σημεία της 3Δ αναπαράστασης αποκτούν συντεταγμένες με την παρακάτω σειρά διεργασιών. Αφού έχει δημιουργηθεί η πρώτη 3Δ αναπαράσταση κι έχει εξαχθεί από το πρόγραμμα Photoscan σε μορφή αρχείου ".ply", εισάγεται στο πρόγραμμα MeshLab. Με τη βοήθεια του Reference Scene Tool δίνονται τιμές γεωγραφικών συντεταγμένων στις γωνίες του κτιρίου. Οι τιμές αυτές έχουν αποκτηθεί όπως εξηγήθηκε στην προηγούμενη ενότητα. [29].

Κεφάλαιο 5

Επεξήγηση του κώδικα

5.1 Η συνάρτηση δημιουργίας των αρχείων διαδρομής πτήσης

Η συνάρτηση αυτή με όνομα `wp_file_create.m` έχει ως ορίσματα εισόδου:

- τα διανύσματα που περιέχουν τις τιμές x και y των σημείων της εκάστοτε τροχιάς που θέλουμε να εκτελέσει το UAV (Οι τιμές x αντιστοιχούν στα γεωγραφικά μήκη των σημείων ενώ οι τιμές y στα γεωγραφικά πλάτη),
- την προκαθορισμένη απόσταση από το έδαφος στην οποία θα πετάει το UAV κατά τη διάρκεια ολόκληρης της πτήσης.
- τις GPS συντεταγμένες του σημείου ενδιαφέροντος (point of interest, συντ.: pofint), δηλαδή του σημείου στο οποίο πρέπει να είναι στραμμένη η πλευρά του εξακόπτερου στην οποία είναι προσαρτημένη η φωτογραφική μηχανή (στην παρούσα εργασία η RaspberryPi Camera).

Η συνάρτηση `wp_file_create.m` δεν έχει ορίσματα εξόδου. Η κλήση της οδηγεί στη δημιουργία ενός .txt αρχείου κατά το πρότυπο που εξηγήθηκε στο μέρος της εργασίας όπου αναλύεται το format ενός αρχείου διαδρομής πτήσης (waypoint file, επεκταση:.waypoint). Μέσα από αυτή τη συνάρτηση μπορούμε να δώσουμε το όνομα που επιθυμούμε στο .waypoint αρχείο που θα δημιουργηθεί μέσα από την εντολή:

```
1 fileID = fopen( 'NameOfFile.waypoints' , 'w' );
```

Στο σώμα αυτού του script υπάρχουν τμήματα κώδικα με τα οποία δημιουργούνται οι γραμμές του αρχείου διαδρομής πτήσης που περιέχουν την πληροφορία:

- Για την αρχική θέση (Home Position) του UAV
- Για το σημείο απογείωσης (ταυτίζεται με την αρχική θέση)
- Για τα σημεία της εναέριας διαδρομής
- Για την περιοχή/σημείο ενδιαφέροντος

- Για το σημείο προσγείωσης

5.2 Απλή Κυκλική Διαδρομή Πτήσης

To script με το οποίο δημιουργούνται τα διανύσματα που περιέχουν τις x και y τιμές που αντιστοιχούν στο γεωγραφικό μήκος και πλάτος των σημείων της κυκλικής διαδρομής πτήσης έχει ονομασία **circular_trajectory.m**. Εδώ ο χρήστης καλείται να εισάγει τις GPS συντεταγμένες του σημείου/περιοχής ενδιαφέροντος καθώς και ένα οποιοδήποτε σημείο της κυκλικής διαδρομής πτήσης. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων που ανήκουν πάνω στον κύκλο. Αλλάζοντας την τιμή της μεταβλητής numPoints ορίζουμε από πόσα ισαπέχοντα σημεία θα αποτελείται η κυκλική διαδρομή.

Έπειτα καλείται η συνάρτηση **wp_file_create.m** μέσω της οποία δημιουργείται το αρχείο διαδρομής πτήσης (waypoint file) με βάση το οποίο το UAV θα πραγματοποιήσει μια κυκλική πτήση γύρω από το εκάστοτε κτίριο.

5.3 Μαιανδρική Διαδρομή Πτήσης

Χρησιμοποιώντας τις φωτογραφίες που συλλέγονται κατά τη διάρκεια των κυκλικών διαδρομών πτήσης γύρω από το κτίριο μπορούμε να ανακατασευάσουμε μόνο τις περιμετρικές όψεις του. Επομένως, καλούμαστε να λάβουμε φωτογραφίες κάτωψης από μεγαλύτερο υψόμετρο. Ακριβώς αυτός είναι ο σκοπός του Matlab script **meander_trajectory.m** μέσω του οποίου δημιουργείται το αρχείο διαδρομής πτήσης με βάση το οποίο το UAV θα πραγματοποιήσει την μαιανδρική πτήση γύρω από το εκάστοτε κτίριο.

Αυξάνοντας την παράμετρο η αυξάνουμε το πλήθος των κάθετων διαδρομών στον άξονα x (άξονας κατά μήκος του οποίου αυξάνεται το γεωγραφικό μήκος) του μεάνδρου. Πυκνώνουμε δηλαδή τις διαδρομές. Αντίστοιχα, αυξάνοντας την παράμετρο θ αυξάνουμε το πλήθος των κάθετων διαδρομών στον άξονα y (άξονας κατά μήκος του οποίου αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος).

Κατά τη διάρκεια τη μαιανδρικής τροχιάς πάνω από το εκάστοτε κτίριο δεν χρησιμοποιείται κάποιο σημείο ως σημείο ενδιαφέροντος, το UAV έχει στραμένη την μπροστινή του πλευρά πάντα εκεί όπου κατευθύνεται. Γι' αυτό το λόγο, αφού υπολογιστούν οι συντεταγμένες των σημείων της διαδρομής, καλείται η συνάρτηση **wp_file_create_no_ptofint.m** η οποία διαφέρει από την **wp_file_create.m** μόνο στο ότι δεν περιέχει κάποιο τμήμα στο οποίο ορίζεται κάποιο σημείο/περιοχή ενδιαφέροντος.

5.4 Προσαρμοσμένη Διαδρομή Πτήσης

Έχοντας ολόκληρώσει τα προαπαιτούμενα βήματα όπως αυτά έχουν περιγραφεί στις προηγούμενες ενότητες αυτής της εργασίας χρησιμοποιείται το script με όνομα **Adapted_Trajectory.m**.

Εδώ γίνεται η ανάγνωση του αρχείου **.off** που περιέχει τις συντεταγμένες όλων των κορυφών της τριδιάστατης αναπαράστασης του κτιρίου. Για καλύτερη εποπτεία των κορυφών γίνεται μια απεικόνιση των κορυφών σε τρισορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων. Έπειτα υπολογίζεται η τιμή σπί του άξονα z που αντιστοιχεί στη μέση του ύψους του κτιρίου. Στη συνέχεια καθορίζεται από το χρήστη το εύρος πάνω και κάτω από αυτό το ύψος με βάση το οποίο θα επιλεχθούν τα σημεία-δεύγματα από τα οποία μετέπειτα θα προκύψει η καμπύλη της περιμέτρου. Έχοντας επιλέξει τα σημεία αυτά, απαλείφεται η z τιμή τους από τις συντεταγμένες τους και ως αποτέλεσμα προκύπτει το ίχνος όλων αυτών των σημείων σε ένα επίπεδο. Επειδή οι κυκλικές διαδρομές που θα προκύψουν θα γίνονται σε ένα επίπεδο, μας ενδιαφέρει η καμπύλη που θα προκύψει να είναι το αποτέλεσμα μιας κάθετης τομής.

Μέχρι εδώ έχει γίνει η περιγραφή της απομόνωσης ενός συνόλου αημείων από τα οποία πρέπει να γίνει ο σχεδιασμός μια καμπύλης. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια της συνάρτησης **boundary.m** η οποία χρησιμοποιεί ως όρισμα εισόδου ένα σύνολο σημείων και ως έξοδο δίνει ένα δεύτερο σύνολο που περιέχει εξωτερικά μόνο σημεία με βάση τα οποία θα χαραχθεί η καμπύλη της περιμέτρου.

Έχοντας καθορίσει ένα σύνολο σημείων που αντιστοιχεί στις συντεταγμένες των σημείων της περιμέτρου του κτιρίου κι έχοντας χαράξει την καμπύλη, ακολουθεί η εύρεση των κάθετων διανυσμάτων στην επιφάνεια αυτής της καμπύλης. Σε αυτό το σημείο ο χρήστης μπορεί να καθορίσει την επιθυμητή απόσταση από το κτίριο ορίζοντας το μέτρο των κάθετων διανυσμάτων. Τα τέλη των κάθετων διανυσμάτων αποτελούν τα σημεία της προσαρμοσμένης τροχιάς. Ο χρήστης έχει επίσης τη δυνατότητα να ορίσει το πλήθος των συντεταγμένων των σημείων από τα οποία θα αποτελείται η προσαρμοσμένη τροχιά.

Κεφάλαιο **6**

Εξοπλισμός και Λογισμικά

Καθ'όλη τη διάρκεια της επιλογής του εξοπλισμού, ένας από τους κύριους άξονες ήταν η διατήρηση του συνολικού κόστους σε χαμηλά επίπεδα. Επίσης, παρόλο που η εμπειρία έχει δείξει πως η κατασκευή από τα επιμέρους εξαρτήματα ενός UAV είναι μια πιο φθηνή επιλογή, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ένα εμπορικά διαθέσιμο UAV προκειμένου περισσότερος χρόνος να διατεθεί για την ανάπτυξη των αλγορίθμων που θα καλύπτουν τα ζητούμενα της εργασίας όπως αυτά περιγράφηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια. Η εμπειρία έχει επίσης δείξει πως η μελέτη και κατασκευή ενός UAV από την αρχή μπορεί να οδηγήσει σε απρόσμενες βλάβες και λάθος υπολογισμούς αν ο σχεδιαστής δεν κατέχει την κατάλληλη εμπειρία. Για να αποφευχθούν λοιπόν τα παραπάνω προβλήματα, επιλέχθηκε η αγορά ενός εμπορικού drone για να καλύψει το μέρος της εναέριας φωτογράφισης.

Όσον αφορά στο μέρος της φωτογράφισης, φυσικά θα μπορούσε να επιλεγεί μια DSLR φωτογραφική μηχανή η οποία (σε συνδυασμό με τον κατάλληλο φακό) θα μπορούσε να λαμβάνει αεροφωτογραφίες με πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά. Κάτι τέτοιο όμως θα ανέβαζε κατά πολύ το συνολικό κόστος κι επομένως, αποφεύχθηκε. Άλλο ένα μειονέκτημα του ακριβότερου φωτογραφικού εξοπλισμού (φωτογραφική μηχανή προσαρμοσμένη πάνω στο UAV) είναι το γεγονός ότι σε αυτήν την περίπτωση το UAV καλείται να μεταφέρει μεγαλύτερο φορτίο. Κάτι τέτοιο ισοδυναμεί με τη μείωση του χρόνου πτήσης καθώς το UAV προφανώς δαπανά περισσότερη ενέργεια στη μονάδα του χρόνου για να μείνει στον αέρα και να εκτελέσει τις προδιαγεγραμμένες διαδρομές πτήσης. Για όλους τους παραπάνω λόγους η λήψη φωτογραφιών επιλέχθηκε να γίνεται με μια RaspberryPi Camera με τη βοήθεια ενός RaspberryPi Board.

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για αυτή την εργασία είναι τόσο ανοιχτού κώδικα (open source) όσο και λογισμικά με κατοχυρωμένα πνευματικά δικαιώματα στα οποία είναι δυνατή η πρόσβαση από φοιτητές μέσα από τα εκπαιδευτικά πακέτα των αντίστοιχων εταιριών και μέσω αποθετηρίων στα οποία είναι δυνατή η πρόσβαση με χρήση της φοιτητικής ιδιότητας.



Εικόνα 6.1: *Raspberry Pi 3 Model b Board με προσαρτημένη μια Raspberry Pi Camera Module V2*

6.1 Εξακόπτερο UAV

Το μη επανδρωμένο πτητικό μέσο επιλέχθηκε με κριτήριο την σταθερότητα κατά τη διάρκεια της πτήσης, το οποίο σημαίνει: μικρή επιφροή από ριπές ανέμου οι οποίες μπορούν να το οδηγήσουν σε παρεκλίσεις από την επιθυμητή θέση και προσανατολισμό το οποίο με τη σειρά του μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα των λαμβανόμενων αεροφωτογραφιών και αποτελεσματική απόσβεση των υψίσυχων κραδασμών που δεν είναι πάντα ορατοί με γυμνό μάτι λόγω της χαμηλής τους έντασης. Οι κραδασμοί αυτοί είναι σχεδόν αδύνατο να εξαλειφθούν μέσω των συστημάτων ανάδρασης και αυτόματου ελέγχου από τον ελεγκτή πτήσης και δημιουργούν σημαντικά προβλήματα θορύβου στις αεροφωτογραφίες που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της πτήσης. Για αυτό το σκοπό αναζητήθηκε κι επιλέχθηκε ένα εμπορικό UAV κατάλληλο για αεροφωτογράφηση, για τα δεδομένα των εμπορικά διαθέσιμων UAV.



Εικόνα 6.2: *Το εξακόπτερο UAV που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία*

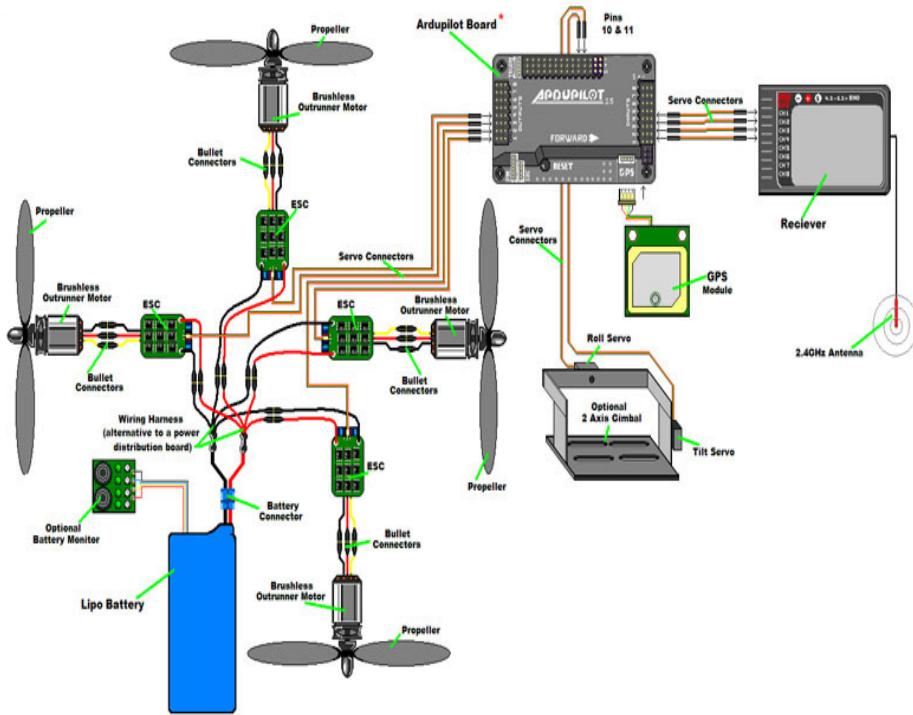
Επίσης, επιλέχθηκε εξακόπτερο αντί για τετρακόπτερο λόγω της μεγαλύτερης σταθερότητας που προφέρει και για την εξασφάλιση μιας περισσότερο ελεγχόμενης έκτασης προσγείωσης σε περίπτωση που κάποιος κινητήρας υποστεί βλάβη ή παρουσιά-

σει σφάλμα ενώ το UAV βρίσκεται στον αέρα. Μια βλάβη σε κινητήρα σε ένα τετρακόπτετρο μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφική συντριβή ενώ ενώ σε ένα εξακόπτερο ή οκτακόπτερο σε μια κάθισμα με χαμηλότερη ταχύτητα και με περισσότερες δυνατότητες ελιγμών με τους οποίους ένας έμπειρος χειριστής μπορεί να αποφύγει μια επιβλαβή πρόσκρουση με το έδαφος. Προφανώς στην περίπτωση ενός τέτοιου σφάλματος ο χειριστής ανακτά τον έλεγχο του UAV και δεν το αφήνει να πετά αυτόνομα σύμφωνα με το αρχείο διαδρομής πτήσης (waypoint file).

| | |
|---------------------------|---|
| Όνομα μοντέλου | Aperture Hexacopter Aerial Photography Drone (RTF) (Mode 2) |
| Μέγιστη Διάμετρος | 800mm |
| Ελεγκτής πτήσης | PX4, PIXHAWK 1 Autopilot |
| Λογισμικό Πτήσης | Ardupilot Flight Code |
| x6 Κινητήρες | 4114-400 kV motors |
| Υλικό κατασκευής πλαισίου | ABS |
| Μέγιστο φορτίο | 1.5 kg |
| Τηλεχειρισμός | Quanum i8 2.4GHz AFDS |
| Υλικό Κατασκευής Πλαισίου | ABS |
| ESCs | 40A High Speed |
| Έλικες | μήκος:38.1 cm, carbon fiber |
| Μπαταρία | 16000mAh 6S LiPoly |
| Βάρος πλαισίου | 1180g (χωρίς εξοπλισμό προσγείωσης) |
| GPS Module | uBLOXNEO-M8N |
| Κόστος | 369.01€ |

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά Εξακόπτερου

Στο παρακάτω γενικό σχεδιάγραμμα φαίνονται τα επιμέρους τμήματα ενός multicopter και πιο συγκεκριμένα, ενός τετρακόπτερου. Αντίστοιχο σχεδιασμό έχει το εξακόπτερο αυτής της εργασίας. Οι διαφορές με το παρακάτω σχήμα είναι ότι υπάρχουν έξι αντί για τέσσερα συστήματα κινητήρων (Σήμα-ESC-Κινητήρας) και ο ελεγκτής πτήσης είναι ο Pixhawk PX4.



Σχήμα 6.1: Σχεδιάγραμμα των υποσυστημάτων ενός τετρακόπτερου.

πηγή: [2]

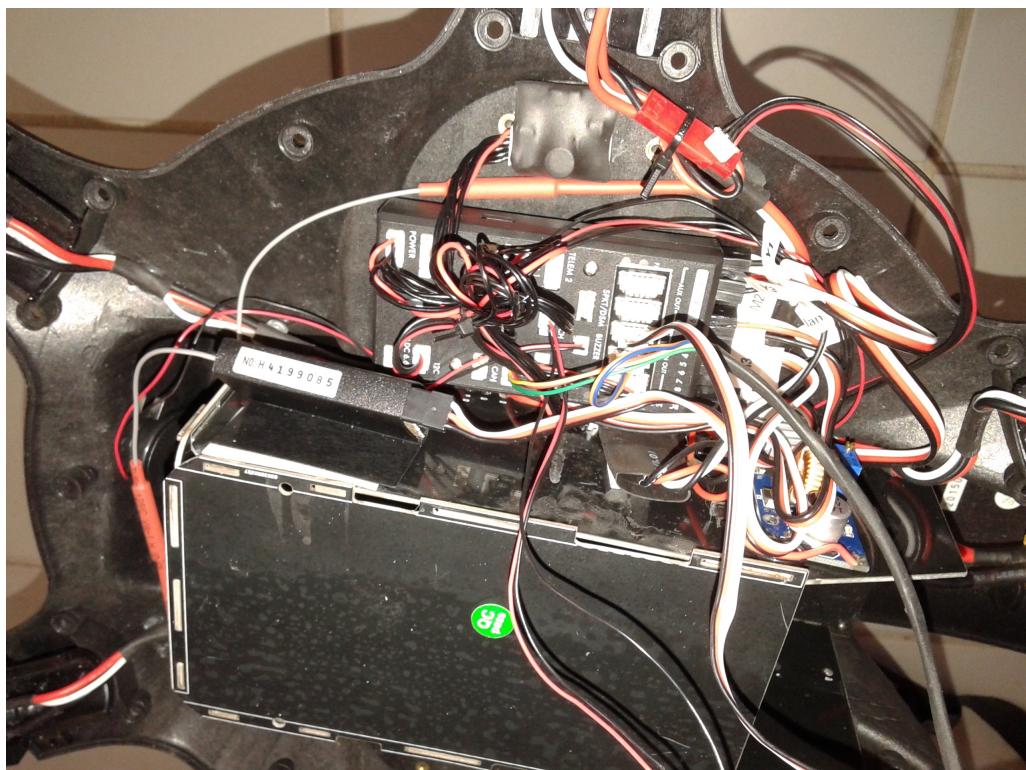
6.2 Προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν

Έπειτα από έναν μικρό αριθμό πτήσεων, άρχισαν να παρουσιάζονται προβλήματα στο εξακόπτερο για τα οποία τελικά διαπιστώθηκε το κοινό αίτιο. Το αρχικό σύμπτωμα ήταν ότι κατά τη διάρκεια των πρώτων πτήσεων ακούγονταν υψίσυχοι τριγμοί χαμηλής έντασης. Σε μια πτήση το εξακόπτερο πετούσε κλυδωνιζόμενο και αφού προσγειώθηκε, παρατηρήθηκε πως ένας από τους κινητήρες βρισκόταν σε ανεπίτρεπτα υψηλή θερμοκρασία. Έπειτα από διεξοδικό έλεγχο των log files της τελευταίας πτήσης του προγράμματος Mission Planner προέκυψε το συμπέρασμα ότι ένας από τους κινητήρες είχε υποστεί ανεπανόρθωτη βλάβη [30]. Στη συνέχεια, το μοντέλο στάλθηκε πίσω στον κατασκευαστή και έγινε παραλαβή καινούριου μοντέλου.

Στις πρώτες πτήσεις με το δεύτερο μοντέλο δεν παρουσιάστηκαν προβλήματα. Στη συνέχεια, σε ορισμένες προσπάθειες απογείωσης, ο ελεγκτής πτήσης δεν επέτρεπε τη λειτουργία των κινητήρων (πιο συγκεκριμένα την όπλιση, αγγλ.: arm) διότι δεν ολοκληρώνονταν με επιτυχία οι αυτόματοι έλεγχοι που αφορούσαν τη βαθμονόμηση (calibration) των ESCs. Αρχικά έγινε η υπόθεση πως επρόκειτο για κάποιο ελαττωματικό ESC το οποίο εμπόδιζε την ομαλή ολοκλήρωση των αυτόματων ελέγχων (pre-arm checks).

Σε αυτό το σημείο, προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η φύση του προβλήματος πρέπει να γίνει μια αναφορά στο σχεδιασμό των εσωτερικών καλωδιώσεων του εξακόπτερου που αποσκοπεί στην καλύτερη διαχείριση των καλωδιώσεων (cable management). Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, στο εσωτερικό του εξακόπτερου βρίσκεται ένας κλειστός χώρος (κουτί) στον οποίο τοποθετείται η μπαταρία. Στην επιφάνεια

αυτού του κουτιού υπάρχουν επιφανειακοί αγώγιμοι μονωμένοι σε όλη τη διαδρομή εκτός από τα σημεία σύνδεσης. Υπάρχουν έξι τέτοιοι αγώγιμοι δρόμοι ένας για κάθε ESC. Σε κάθε ESC φτάνει με αυτόν τον τρόπο ένα PWM σήμα από τον ελεγκτή, το οποίο φέρει την πληροφορία της ταχύτητας του κινητήρα με τον οποίο είναι συνδεδεμένο το ESC.



Εικόνα 6.3: Φωτογραφία του εσωτερικού μέρους του εξακόπτερου

Τελικά, έπειτα από ενδελεχή εξέταση όλων των συνδέσεων στο εσωτερικό το σκάφους διαπιστώθηκε πως μια από τις καλωδιώσεις στην επιφάνεια του κουτιού-κελύφους στο οποίο τοποθετείται η μπαταρία παρουσίαζε ασυνέχειες. Σκοπός αυτής της καλωδίωσης ήταν η μεταφορά του σήματος ελέγχου από τον ελεγκτή πτήσης σε ένα από τα ESCs. Εν τέλει, το πρόβλημα λύθηκε μέσω της σύνδεσης της εξόδου του ελεγκτή πτήσης απευθείας με την είσοδο σήματος (PWM) του ESC με ένα απλό καλώδιο (2.54 mm).

6.3 Επιλογή Μπαταρίας

Προκειμένου να πετύχει κανείς τον βέλτιστο χρόνο πτήσης και την καλύτερη συνολική απόδοση του συστήματος όσον αφορά στο κόστος πρέπει να γίνει επιλογή της κατάλληλης μπαταρίας. Ο επικρατέστερος τύπος μπαταρίας για UAVs και ιδιαίτερα για τα εμπορικά διαθέσιμα multicopters είναι οι μπαταρίες πολυμερών λιθίου (LiPo batteries: Lithium Polymer). Εδώ, τα χαρακτηριστικά της μπαταρίας εξαρτώνται από τα υπόλοιπα μέρη του εξακόπτερου. Την επιλογή της καθορίζουν: το μέγεθος του εξακόπτερου, ο τύπος και το πλήθος των κινητήρων του, ο απαιτούμενος επιθυμητός χρόνος

πτήσης και κάποιος πιθανός επιπλέον εξοπλισμός που τροφοδοτείται από τη μπαταρία με την οποία τροφοδοτείται και το εξακόπτερο. Στην παρούσα εργασία, το επιπλέον φορτίο που τροφοδοτείται από την ίδια μπαταρία με το εξακόπτερο είναι το Raspberry Pi Board με την RaspberryPi Camera. Για να επιτευχθούν οι μέγιστοι δυνατοί χρόνοι πτήσης, έπρεπε να χρησιμοποιηθεί μπαταρία με τη μέγιστη δυνατή χωρητικότητα (Capacity με μονάδα μέτρησης τα mAh: milliAmperes/hour). Ακόμα, έπρεπε να ελεγχθούν και οι διαστάσεις της μπαταρίας ώστε να χωράει στο σκάφος του εξακόπτερο και το βάρος να της να μην είναι δυσανάλογο του βάρους του εξακόπτερο. Το ενδεδειγμένο βάρος μιας μπαταρίας για ένα δεδομένο multicopter συνήθως προτείνεται από τον κατασκευαστή του multicopter.

6.3.1 Ρυθμός εκφόρτισης & Χωρητικότητα

Πιθανότατα ο πιο σημαντικός παράγοντας για την επιλογή της μπαταρίας είναι ο ρυθμός εκφόρτισης (discharge rate) που αντέχει. Συμβολίζεται με το αγγλικό γράμμα "C". Στην περιγραφή των χαρακτηριστικών μιας μπαταρίας, το ρεύμα εκφόρτισης συχνά συναντάται ως C-rate προκειμένου να γίνεται κανονικοποίηση ως προς τη χωρητικότητα η οποία διαφέρει κατά πολύ από μπαταρία σε μπαταρία. Το C-rate είναι ένα μέτρο του ρυθμού με το οποίο η μπαταρία εκφορτίζεται συναρτήσει της μέγιστης χωρητικότητάς της. Ένα 1 C-rate σημαίνει ότι το ρεύμα εκφόρτισης θα εξαντλήσει ολόκληρη τη μπαταρία μέσα σε μια ώρα. Για μια μπαταρία χωρητικότητας 10000 mAh, αυτό το ρεύμα είναι ίσο με 10 A. Ένα 10 C-rate για αυτή τη μπαταρία θα αντιστοιχούσε σε δυνατότητα συνεχόμενης παροχής ρεύματος εκφόρτισης των 100 Amps, για 6 λεπτά, ενώ ένα 20 C θα αντιστοιχούσε σε ρεύμα εκφόρτισης 200 A για 3 λεπτά. [31]

Για τον καθορισμό του ρυθμού εκφόρτισης μιας μπαταρίας πρέπει να βρεθεί μια "χρυσή τομή". Αν ο ρυθμός εκφόρτισης της μπαταρίας (C-rating) είναι πολύ χαμηλός, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε γρήγορη φθορά της μπαταρίας και υπολειτουργία του UAV αφού η μπαταρία δε θα μπορεί να δώσει όλο το απαιτούμενο ρεύμα στη μονάδα του χρόνου. Από τη στιγμή όμως που οι μπαταρίες μεγαλύτερου ρυθμού εκφόρτισης είναι βαρύτερες, αν ο ρυθμός εκφόρτισης είναι πολύ μεγάλος, το UAV απλώς θα κουβαλά επιπλέον αχρείαστο βάρος με αποτέλεσμα να μειώνεται ο χρόνος πτήσης.

Υπολογισμός του μέγιστου ρεύματος κανονικής λειτουργίας:

Ο τύπος με τον οποίο υπολογίζεται το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να απορροφήσει ένα φορτίο από μια μπαταρία συνεχόμενα είναι: Ρεύμα (A) = Χωρητικότητα Μπαταρίας (Ah) x C-rate (C) Για παράδειγμα, έστω πως έχουμε μια μπαταρία χωρητικότητας 16.000 mAh με 15C-rate . Πρώτα μετατρέπουμε τα mAh σε Ah, δηλαδή πρόκειται για μια μπαταρία των 16 Ah. Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζουμε με 15 κι έτσι βρίσκουμε πως το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να τραβήξει ένα φορτίο από τη μπαταρία αυτή είναι 240 A.

Εύρεση του βέλτιστου ρυθμού εκφόρτισης

Η επιλογή της μπαταρίας είναι συνήθως το τελευταίο βήμα στην κατασκευή ενός multicopter Επομένως, σε αυτό το στάδιο είναι ήδη γνωστά τα χαρακτηριστικά των

κινητήρων και των ESCs (Electronic Speed Controllers). Τα ESCs είναι διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος που ρυθμίζουν τη ροή ισχύος προς τους κινητήρες με βάση ένα PWM σήμα. Σκοπός τους είναι η ρύθμιση των στροφών (rpm) των κινητήρων (η συνδεσμολογία τους φαίνεται στο σχήμα 6.1). Γνωρίζοντας πως οι κινητήρες απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος από τις μπαταρίες, οι υπολογισμοί των χαρακτηριστικών της μπαταρίας βασίζονται σε αυτό το γεγονός. Στο εξακόπτερο αυτής της εργασίας γνωρίζουμε ότι κάθε ESC μπορεί να χειριστεί με ασφάλεια 40 A στην κανονική λειτουργία. Επειδή το ρεύμα αυτό είναι τουλάχιστον 20% μεγαλύτερο του ρεύματος ενός κινητήρα, οι υπολογισμοί γίνονται λοιπόν με βάση τα χαρακτηριστικά των ESCs. Εφόσον, λοιπόν, χρησιμοποιούνται 6 κινητήρες, το συνολικό ρεύμα που απορροφάται είναι, σε μια οριακή περίπτωση (π.χ. ισχυρές ριπές ανέμου), $6 \times 30A = 180A$. Το RaspberryPi Board με την RaspberryPi Camera απορροφούν λίγο περισσότερα από 0.58 A [32] (ανάλογα με τις συνθήκες), χονδρικά 1 A. Αντίστοιχης κλίμακας είναι και η απαίτηση σε ρεύμα του ελεγκτή πτήσης με τα προσαρτημένα εξαρτήματα όπως η πυξίδα και τα φωτάκια LED καθώς και των σερβομηχανισμών που ανεβοκατεβάζουν τα στηρίγματα (πόδια) προσγείωσης-απογείωσης.

Γνωρίζοντας την απαίτηση του συστήματος σε ρεύμα από τη μπαταρία, μπορούν να προσδιοριστούν η χωρητικότητα και ο ρυθμός εκφόρτισης. Γενικά, το καλύτερο είναι να επιλεγεί μια μπαταρία με όσο μεγαλύτερη χωρητικότητα είναι διαθέσιμη. Στο παραπάνω πρέπει να τηρηθεί η συνθήκη ότι το συνολικό βάρος του multicopter συμπεριλαμβανομένης και της μπαταρίας και του υπόλοιπου εξοπλισμού βρίσκεται στο 50-70% του συνολικής ικανότητας ώθησης των κινητήρων (thrust) [33]. Στην παρούσα εργασία τηρήθηκαν οι συνιστώμενες τιμές από τον κατασκευαστή του multicopter όσον αφορά στο βάρος της μπαταρίας.

Υπολογισμός χρόνου πτήσης

Ένα σημαντικό μέγεθος που οφείλουμε να ελέγξουμε και το οποίο καθορίζει αν υπάρχει ανάγκη για μπαταρία μεγαλύτερης χωρητικότητας είναι ο χρόνος πτήσης που μπορεί να επιτευχθεί με μια συγκεκριμένη μπαταρία.

Παράδειγμα υπολογισμού του μέγιστου χρόνου πτήσης

Μια συνεχόμενη παροχή 100A από μια μπαταρία LiPo των 16.000 mAh θα δώσει: $(16.000\text{mAh} / 1000) / 100A = 0.16h = 19.2$ λεπτά χρόνου πτήσης Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι η απαίτηση του συστήματος σε ρεύμα εξαρτάται από το τρόπο με τον οποίο πετά το multicopter και από εξωτερικούς παράγοντες όπως διαφόρων ειδών αντιστάσεις, το επιπλέον βάρος και ο άνεμος. [34]

Στο εξακόπτερο της εργασίας ο κατασκευαστής αναφέρει πως μια μπαταρία των 16.000 mAh προσφέρει χρόνο πτήσης 30 λεπτών.

Τελικά, τα χαρακτηριστικά της μπαταρίας που επιλέχθηκε φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

| | |
|--------------------------------------|--|
| Όνομα μοντέλου | Tattu 16000mAh 22.2V 15/30C 6S1P Lipo Battery Pack |
| Διαστάσεις | 180 x 74 x 65 mm |
| Βάρος | 1932g |
| Χωρητικότητα | 16000 mAh |
| Τύπος | Πολυμερή Λιθίου (LiPoly) |
| Τάση | 22.2 Volt |
| Μέγιστο Ρεύμα Συνεχόμενης Εκφόρτισης | 15C (240A) |
| Μέγιστο Ρεύμα Υπερφόρτισης | 30C (480A) |
| Βύσμα | JST-XH |
| Αριθμός Κελιών | 6 |
| Κόστος | 269.99 € |

Πίνακας 6.2: Χαρακτηριστικά της μπαταρίας που επιλέχθηκε
πηγή: [3]

6.4 Εξοπλισμός Φωτογράφισης

Για την επιλογή του μέσου με το οποίο θα λαμβάνονταν οι αεροφωτογραφίες υπήρχαν από την αρχή της εργασίας σημαντικοί περιορισμοί. Συνοπτικά λήφθηκαν υπόψη οι παρακάτω:

- Χαμηλό κόστος
- Μικρό βάρος
- Δυνατότητα επικοινωνίας του ελεγκτή πτήσης με το φωτογραφικό μέσο
- Δυνατότητα προγραμματισμού του φωτογραφικού μέσου και τροποποίησης της λειτουργίας του μέσα από λογισμικό ανοιχτού κώδικα

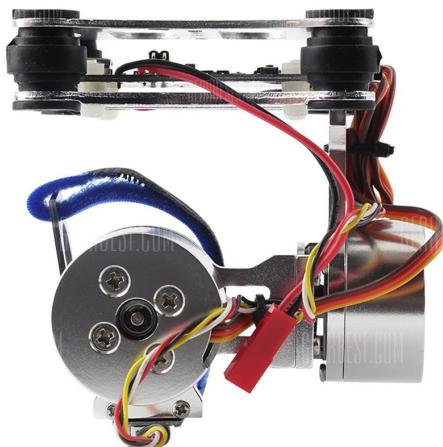
Ολα τα παραπάνω κριτήρια είναι φανερό πως μπορούσαν να καλυφθούν με τη χρήση ενός RaspberryPi Board σε συνδυασμό με μια RaspberryPi κάμερα. Παρόλο που στην παρούσα εργασία δεν αξιοποιείται η δυνατότητα επικοινωνίας του ελεγκτή πτήσης με το RaspberryPi μέσω του πρωτοκόλλου Mavlink, μια μελλοντική προέκταση της εργασίας θα μπορούσε να είναι η χρήση βιβλιοθηκών ανοιχτού κώδικα προκειμένου να υλοποιούνται αλγόριθμοι αναγνώρισης προτύπων ώστε να γίνεται, για παράδειγμα, αυτόματη αποφυγή εμποδίων.

6.5 Βοηθητικός εξοπλισμός

Για τη σταθεροποίηση των λήψεων φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε ο σταθεροποιητής εικόνας (Gimbal) δύο αξόνων που φαίνεται στην εικόνα. 6.4

| | |
|-------------------------|------------------------------|
| Όνομα μοντέλου | RaspberryPi Camera Module v2 |
| Διαστάσεις | 25 × 24 × 9 mm |
| Βάρος | 3g |
| Ανάλυση φωτογραφίας | Ardupilot Flight Code |
| Αισθητήρας | Sony IMX219 |
| Ανάλυση Αισθητήρα | 3280 × 2464 pixels |
| Μέγεθος pixel | 1.12 µm x 1.12 µm |
| Οπτικό μέγεθος | 1/4" |
| Σταθερή εστίαση | 1m-άπειρο |
| Εστιακό Βάθος | 3.04mm |
| Λόγος Εστίασης (F-Stop) | 2.0 |
| Κόστος | 20.14€ |

Πίνακας 6.3: Χαρακτηριστικά της φωτογραφικής κάμερας που χρησιμοποιήθηκε



Εικόνα 6.4: Σταθεροποιητής Λήψεων (Gimbal)

Όπως αναφέρθηκε στα πρώτα κεφάλαια, το ρόλο της φωτογραφικής μηχανής σε αυτή την εργασία αναλαμβάνει ένα RaspberryPi 3b Board μαζί με μια RaspberryPi camera. Επειδή οι δυνατότητες του RaspberryPi Board εκτείνονται πολύ μακρύτερα από τη χρήση του ως απλή φωτογραφική μηχανή, είναι σκόπιμο να θεωρηθεί ως βοηθητικός εξοπλισμός και όχι να συμπεριληφθεί στον εξοπλισμό φωτογράφισης παρόλο που σε αυτήν την εργασία δεν αναλαμβάνει κάποιον επιπλέον ρόλο πέρα από τον έλεγχο της RaspberryPi Camera και της αποθήκευσης των αεροφωτογραφιών και βίντεο σε έναν εξωτερικό χώρο αποθήκευσης.

Πηγή: https://elinux.org/RPi_Hardware

| | |
|-------------------------------|---|
| Όνομα μοντέλου | Raspberry Pi 3 Model B Board |
| System-on-chip (SoC) | Broadcom BCM2837 |
| CPU | 1.2GHz 64-bit quad-core ARMv8 Cortex-A53 |
| GPU | Broadcom VideoCore IV, OpenGL ES 2.0, OpenVG 1080p60 H.264 high-profile encode/decode, 400 MHz |
| Μνήμη (SDRAM) iB | 1024 MiB |
| USB ports | 4 USB 2.0 (via integrated USB hub in LAN9514) |
| Έξοδοι Video | HDMI Composite video requires 4 Pole Adapter |
| Έξοδοι Ήχου | TRS connector 3.5 mm jack, HDMI |
| Αποθηκευτικός Χώρος | Micro Secure Digital / MicroSD slot |
| Δικτύωση | 10/100 wired Ethernet RJ45, integrated 802.11n Wi-Fi & Bluetooth 4.1 |
| Περιφερειακά χαμηλού επιπέδου | 40 General Purpose Input/Output (GPIO) pins, Serial Peripheral Interface Bus (SPI), I ² C, I ² S,[5] I2C IDC Pins, Universal asynchronous receiver/transmitter (UART) |
| Απαιτήσεις ρεύματος/Ισχύος | 800mA (4.0 W), up to 2.5A |
| Τροφοδότηση | 5V (DC) via Micro USB type B or GPIO header |
| Διαστάσεις | 85.6 x 56.5 mm x 17mm |
| Βάρος | 45g |
| Κόστος | 30.62€ |

Πίνακας 6.4: Χαρακτηριστικά του RaspberryPi 3 Model B Board

6.6 Photoscan

Στην παρούσα εργασία το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή 3Δ μοντέλων είναι το πρόγραμμα **Agisoft Photoscan**. Το πρόγραμμα αυτό επιλέχθηκε διότι είναι στοχευμένο στη δημιουργία επαγγελματικής ποιότητας 3Δ υλικού από ακίνητες εικόνες. Οι φωτογραφίες μπορούν να ληφθούν από οποιαδήποτε θέση δεδομένου ότι το υπό κατασκευή αντικείμενο είναι ορατό από τουλάχιστον δύο φωτογραφίες. Τόσο ευθυγράμμιση των εικόνων (image alignment) όσο και η ανακατασκευή του 3Δ μοντέλου είναι απολύτως αυτοματοποιημένες.

Γενικά, το τελικός στόχος της επεξεργασίας φωτογραφιών με το Photoscan είναι η δημιουργία ενός 3Δ μοντέλου με υφές, Η διαδικασία της επεξεργασίας των φωτογραφιών και της δημιουργίας ενός 3Δ μοντέλου αποτελείται από τέσσερα βασικά μέρη:

- Το πρώτο στάδιο είναι η **ευθυγράμμιση των λήψεων (alignment)**. Σε αυτό το

στάδιο το Photoscan ψάχνει για κοινά σημεία μεταξύ των φωτογραφιών και τα ταιριάζει αναμεταξύ τους ενώ βρίσκει τη θέση της κάμερας για κάθε φωτογραφία ξεχωριστά (δηλαδή από ποιά θέση τραβήχτηκε η κάθε φωτογραφία και βελτιώνει τις παραμέτρους βαθμονόμησης (calibration) της κάμερας. Σαν αποτέλεσμα ένα sparse point cloud και ένα σύνολο από θέσεις της κάμερας σχηματίζονται. Το sparse point cloud αναπαριστά τα αποτελέσματα της ευθυγράμμισης (alignment) και δεν χρησιμοποιείται για άμεση κατασκευή 3D μοντέλου (εντός κι αν πρόκειται για ανακατασκευή βασισμένη στο sparse point cloud). Παρόλα αυτά μπορεί να εξαχθεί για περαιτέρω χρήση σε εξωτερικά προγράμματα. Για παράδειγμα, το sparse point cloud μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε έναν 3D editor ως αναφορά. Αντιθέτως το σύνολο των θέσεων της κάμερας είναι απαιτούμενο για την μετέπειτα ανακατασκευή του 3D μοντέλου.

- Το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία του **πυκνού νέφους σημείων (dense point cloud)** βασισμένο πάνω στις εκτιμήσεις της θέσης της κάμερας και των ίδιων των φωτογραφιών. Το dense point cloud μπορεί να τροποποιηθεί και να ταξινομηθεί πριν από την εξαγωγή ή την συνέχεια προς κατασκευή του 3D mesh του 3D μοντέλου.
- Το τρίτο στάδιο είναι η κατασκευή του **τριδιάστατου πολυγωνικού πλέγματος (mesh)**. Το Photoscan ανακατασκευάζει ένα 3D πολυγωνικό πλέγμα το οποίο αναπαριστά την επιφάνεια του αντικειμένου. Η ανακατασκευή βασίζεται στο dense ή στο sparse point cloud ανάλογα με την επιλογή του χρήστη. Γενικά υπάρχουν δύο αλγορίθμικές μέθοδοι διαθέσιμες στο Photoscan οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν για τη δημιουργία ενός 3D πλέγματος: "Υψους πεδίου" (height field) για επίπεδου τύπου επιφάνειες και "Αυθαίρετη" (arbitrary) για οποιοδήποτε είδος αντικειμένου. Αφού κατασκευαστεί το πλέγμα μπορεί να χρειαστεί τροποποίηση. Κάποιες διορθώσεις όπως ο αποδεκατισμός του πλέγματος ή η αφαίρεση αποκομένων μερών, η επούλωση οπών στο πλέγμα, η λείανση κτλ. μπορούν να πραγματοποιηθούν σε αυτό το στάδιο. Για πιο σύνθετη τροποποίηση απαιτείται η χρήση κάποιου εξωτερικού προγράμματος. Το Photoscan επιτρέπει την εξαγωγή του πλέγματος, την τροποποίηση από άλλο πρόγραμμα και την επανεισαγωγή του για συνέχιση των διαδικασιών.
- Εφόσον ανακατασκευαστεί η γεωμετρία (π.χ. το πλέγμα), μπορεί να τροποποιηθεί η υφή του και/ή να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ορθομωσαϊκού.

[35]

6.7 MeshLab

Επειδή στο Reference Scene Tool τα πεδία στα οποία εισάγονται οι συντεταγμένες μπορούν να συγκρατήσουν συγκεκριμένο αριθμό ψηφίων (έως δύο δεκαδικά ψηφία κι έως τέσσερα δεκαδικά), χρησιμοποιείται ένα τέχνασμα. Ξεκινά με την παρατήρηση

πως οι αριθμητικές τιμές των γεωγραφικών μηκών και πλατών έχουν όλες ένα σταθερό μέρος. Για παράδειγμα τα γεωγραφικά μήκη μπορεί να έχουν τιμές: **24.88759835**, **24.88757212**, **24.88759861** κτλ. Αντίστοιχα τα γεωγραφικά πλάτη μπορεί να έχουν τιμές: **41.14338398**, **41.14337943**, **41.14335659** κτλ. Η διαφοροποίηση από σημείο σε σημείο συναντάται στα διαφορετικά ψηφία επομένως αυτή η πληροφορία πρέπει αρχικά να μεταφερθεί στην 3Δ αναπαράσταση.

Γ' αυτόν τον σκοπό οι τιμές που δίνονται ως γεωγραφικές συντεταγμένες στο Reference Scene Tool είναι (σύμφωνα με το παραπάνω παράδειγμα) της μορφής 9.835, 7.212, 9.861 για τα γεωγραφικά μήκη και της μορφής 8.398, 7.943, 5.659 για τα γεωγραφικά πλάτη.

Αφού ολοκληρωθεί η αναφορά της 3Δ αναπαράστασης, εξάγουμε το πλέγμα (mesh) σε μορφή αρχείου ".off". Το script **Adapted_Trajectory.m** αναλαμβάνει στη συνέχεια την ανάγνωση του πλέγματος από το αρχείο ".off" κι αφού υπολογίσει τις συντεταγμένες της δεύτερης διαδρομής πτήσης επαναφέρει τις γεωγραφικές συντεταγμένες στις πραγματικές τιμές με τη βοήθεια της συνάρτησης **repdig.m** η οποία προσθέτει το σταθερό μέρος της αριθμητικής τιμής των γεωγραφικών συντεταγμένων κι επαναφέρει στη σωστή θέση την υποδιαστολή.

Μέρος III

Επίλογος

Επίλογος

7.1 Συμπεράσματα

Η συνεισφορά της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει δύο σκέλη. Το πρώτο αφορά στην αυτοματοποιημένη λήψη αεροφωτογραφιών με σκοπό τη δημιουργία τριδιάστατων αναπαραστάσεων. Χρησιμοποιώντας μεθόδους σαν αυτή μπορούν να απλοποιηθούν και να επιταχυνθούν οι διαδικασίες ψηφιοποίησης μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς και μπορούν να χρησιμοποιηθούν επικουρικά σε διαφόρων ειδών κτιριακές μελέτες. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται με μεγαλύτερη ταχύτητα ο αυτόματος σχεδιασμός διαδρομών πτήσης γύρω από κτίρια που παρουσιάζουν εσοχές μέσα στις οποίες είναι δυνατό να πετάξει ένα UAV και να συλλέξει δεδομένα (εδώ, αεροφωτογραφίες). Προφανώς, για να είναι δυνατό το παραπάνω θα πρέπει να εξετάζεται η ακρίβεια του GPS και η διαδρομή πτήσης να σχεδιάζεται έτσι ώστε το UAV να βρίσκεται συνεχώς σε απόσταση ασφάλειας από το κτίριο.

Το δεύτερο σκέλος αφορά στο γεγονός ότι το συγκεκριμένο σύστημα προσφέρει μια χαμηλού κόστους λύση στο πρόβλημα της αυτοματοποιημένης εναέριας φωτογράφησης με ευκολία στην προσαρμογή επαγγελματικού εξοπλισμού όπως ακριβότερες DSLR κάμερες προκειμένου να ληφθούν φωτογραφίες με χαρακτηριστικά υψηλότερης ποιότητας.

7.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Το σύστημα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας θα μπορούσε να βελτιωθεί και να επεκταθεί περαιτέρω, τουλάχιστον ως προς τρεις κατευθύνσεις. Συγκεκριμένα, αναφέρονται τα ακόλουθα:

Μέχρι αυτό το σημείο έχει ελεγχθεί πως με την παραπάνω μέθοδο το εξακόπτερο εκτελεί με ακρίβεια τις διαδρομές πτήσης με την κατάλληλη ταχύτητα. Ταυτόχρονα, είναι δυνατόν να λαμβάνονται αεροφωτογραφίες ανά ρυθμιζόμενα χρονικά διαστήματα. Σειρά έχει η εφαρμογή ολόκληρης της μεθόδου σε ένα κτίριο. Η πρακτική δοκιμή θα περιλαμβάνει 3 πτήσεις σε αποστάσεις από το έδαφος ίσες με το 1/3, 2/3 στο ύψος του κτιρίου και μια πτήση της οποίας η διαδρομή θα έχει σχήμα μαίανδρου.

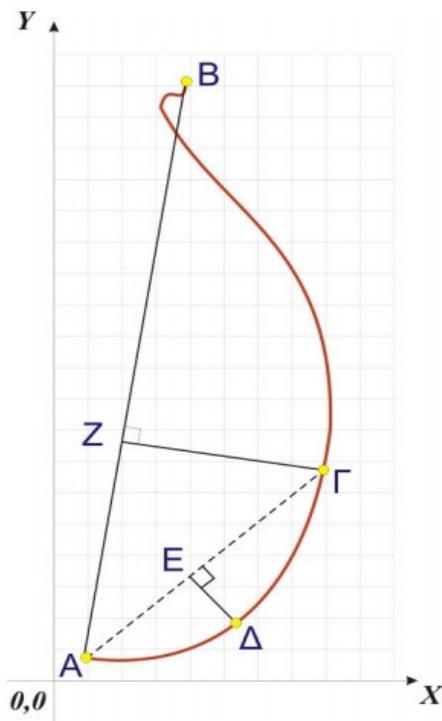
Ορισμένες βελτιώσεις στην απόδοση του συστήματος καθώς και στην ευκολία χρήσης του θα μπορούσαν να είναι οι εξής:

- Η βελτίωση της ακρίβειας του GPS
- Η αξιοποίηση της δυνατότητας επικοινωνίας του RaspberryPi Board με τον ελεγκτή πτήσης Pixhawk PX4.
- Δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος μέσα από το οποίο θα δίνονται όλες οι βασικές παράμετροι για τη δημιουργία των τροχιών πτήσης.

Παραρτήματα

A'.1 Ο αλγόριθμος Douglas-Peuker

Με αυτόν τον αλγόριθμο γίνεται εφικτός ο σχεδιασμός μιας καμπύλης από ένα σύνολο σημείων. Έστω ότι η καμπύλη που εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα αποτελεί τη γραφική παράσταση των σημείων μιας ακολουθίας P . Το πρώτο σημείο (A) χαρακτηρίζεται ως το σημείο αγκίστρωσης ενώ το σημείο (B) ορίζεται ως κινούμενο σημείο. Ο αλγόριθμος διατρέχει όλη την ακολουθία και υπολογίζει την απόσταση ανάμεσα στο κάθε σημείο και στο ευθύγραμμο τμήμα βάσης \overline{AB} . Στόχος του αλγορίθμου είναι να αναγνωρίσει το σημείο με τη μέγιστη απόσταση από το ευθύγραμμο τμήμα . Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα αυτό ισχύει για το σημείο Γ .



Σχήμα A'.1: Αλγόριθμος απαλοιφής λεπτομερειών Douglas-Peuker

Για τον υπολογισμό της ευκλείδιας απόστασης ανάμεσα στην ευθεία \overline{AB} και Γ απαι-

τούνται οι συντεταγμένες του σημείου Z οι οποίες και προκύπτουν από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$x_Z = x_A + u(x_B - x_A)$$

$$y_Z = y_A + u(y_B - y_A)$$

$$u = \frac{(x_\Gamma - x_A)(x_B - x_A) + (y_\Gamma - y_A)(y_B - y_A)}{\left\| (A - B) \right\|^2} \quad (\text{A'.1})$$

Στην περίπτωση όπου το ευθύγραμμο τμήμα $\overline{Z\Gamma}$ έχει μήκος μεγαλύτερο από αυτό που ορίζει το κατώφλι, τότε το σημείο Γ χαρακτηρίζεται ως *απαραίτητο*. Ο αλγόριθμος ορίζει το Γ ως το νέο κινούμενο σημείο και συνεχίζει αναζητώντας το νέο σημείο που θα έχει τη μέγιστη απόσταση από το νέο ευθύγραμμο τμήμα βάσης $\overline{A\Gamma}$. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, αυτό συμβαίνει για το σημείο Δ . Το ευθύγραμμο τμήμα $\overline{E\Delta}$ είναι αυτό που έχει τη μέγιστη απόσταση από το νέο τμήμα βάσης $\overline{A\Gamma}$. Εάν η συγκεκριμένη απόσταση είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι τότε και το σημείο Δ χαρακτηρίζεται ως απαραίτητο και ορίζεται ως το νέο κινούμενο σημείο. Ο αλγόριθμος καταλήγει όταν όλα τα σημεία της ακολουθίας P έχουν προσπελαστεί. Να σημειωθεί πως όλα τα σημεία που δεν έχουν χαρακτηριστεί ως απαραίτητα εξαλείφονται. Το μέγεθος του κατωφλίου είναι η παράμετρος που καθορίζει την πυκνότητα των σημείων που περιγράφουν τις επιφάνειες του αντικειμένου. [8]

Κώδικες

Ακολουθούν οι κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση όλων όσων περιγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια του τόμου.

B'.1 Raspberry_Pi_Camera.py (Python Script)

```
1 #The real code which will be loaded on the RaPi when it will fly on our ...
2 #first
3 #mission. The objective here is to continuously take pictures until an
4 #interruption from the user is detected.
5 #The quality of the images should be the higher possible.
6 #A 2-positions button might be more suitable
7 #At the reboot, When the button is pressed again it overwrites
8 #the photos with the same name, this is unacceptable.
9
10 #from picamera import PiCamera
11 from time import sleep
12 import subprocess
13 import RPi.GPIO as GPIO
14 import os
15 import time
16 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
17 GPIO.setup(5,GPIO.IN,pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
18 GPIO.setup(11,GPIO.OUT)
19 GPIO.setup(16,GPIO.OUT)
20
21 ledpin=11
22 buzpin=16
23 #camera = PiCamera()
24
25 def blink(ledpin):
26     GPIO.output(ledpin,GPIO.HIGH)
27     time.sleep(0.05)
28     GPIO.output(ledpin,GPIO.LOW)
29     time.sleep(0.05)
```

```
30     return
31
32 def buzzer(buzpin):
33     GPIO.output(buzpin,GPIO.HIGH)
34     time.sleep(0.01)
35     GPIO.output(buzpin,GPIO.LOW)
36     time.sleep(0.01)
37     return
38
39 #Lock implementation
40 tp_prev=0
41 tp_aft=0
42
43 #camera.rotation = 180
44 #camera.resolution=(2592,1944)
45 #camera.framerate =15
46
47 # Photo dimensions and rotation
48 photo_width = 3280
49 photo_height = 2464
50 photo_rotate = 180
51
52 photo_interval = 0.01 # Interval between photos (seconds)
53 photo_counter = 0      # Photo counter
54
55 total_photos = 1000
56
57 # Delete all previous image files
58 try:
59     os.remove("photo_*.jpg")
60 except OSError:
61     pass
62
63 #k=0
64 try:
65     while True:
66         input_state=GPIO.input(5)
67         while input_state==0:
68             photo_counter = photo_counter + 1
69             filename = 'photo_' + str(photo_counter) + '.jpg'
70             cmd = 'raspistill -o /media/pi/TONYDRIVE/Photoscan/' + filename + ' ...'
71             pid = subprocess.call(cmd, shell=True)
72             print(' [' + str(photo_counter) + ' of ' + str(total_photos) + '] ' ...
73                 + filename)
74             time.sleep(photo_interval)
75             blink(11)
76             buzzer(16)
77             #k=k+1
78             input_state=GPIO.input(5)
79             if input_state!=0:
```

```

79         break
80
81
82
83 except KeyboardInterrupt:
84     GPIO.cleanup()
85     # User quit
86     print("\nGoodbye!")

```

B'.2 Adapted_trajectory.m (Matlab Script)

```

1
2 clear;clc;close all;
3
4 %Read the .off file and store the xyz values of the vertices of the mesh at
5 %the xyz matrix and the sequential number of each vertex that compose a ...
6 %face
7 %at the faces matrix
8 [xyz,faces] = read_off('QTCLU_Model_last.off');
9 xyz=xyz';
10
11 % 3D plot all the vertexes of the mesh
12 x=xyz(:,1);
13 y=xyz(:,2);
14 z=xyz(:,3);
15 scatter3(x(:,),y(:,),z(:, ),'.');
16 title('Vertices of the 3D mesh')
17 %zlim([0 4]);
18 figure
19
20 %Calculate: the number of rows of the xyz matrix / the number of vertices
21 xyz_size = size(xyz);
22 rows = xyz_size(1);
23
24 %Calculate: the middle z value / the middle of the model's height
25 [v i] = min(xyz(:,3));
26 z_low = v;
27 [v i] = max(xyz(:,3));
28 z_high = v;
29 meso_z = z_low+(z_high-z_low)/2-0.4;
30 %meso_z=0.1;
31
32 %Define the thickness of the slice of the model
33 %where I will pick my perimeter points
34 slice_high = meso_z+meso_z/18;
35 slice_low = meso_z-meso_z/18;
36
37 %Find the rows of the xyz matrix / the vertices of the mesh whose z value
38 %is between the upper and lower z values of the slice

```

```

38 right_rows =[];
39 for j=1:1:rows
40     if (xyz(j,3)≥slice_low)&&(xyz(j,3)≤slice_high)
41         right_rows(end+1)=j ;
42     end
43 end
44
45 %Pick the mesh points/vertices that belong on the slice defined above
46 points = zeros(length(right_rows),3);
47 for k=1:1:length(right_rows)
48     curr = right_rows(k);
49     points(k,1:3)=xyz(curr,1:3);
50 end
51
52 %3D plot the vertices of the slice
53 X=points(:,1);
54 Y=points(:,2);
55 Z=points(:,3);
56
57 scatter3(X(:,),Y(:,),Z(:,),'.' )
58 title('3d plot of the vertices of the slice');
59 figure
60
61 %3D Plot the vertices of the slice on a plane
62 %(eliminate the z values of the points)
63 planar_cut = points;
64 planar_cut(:,3)=meso_z;
65 X=planar_cut(:,1);
66 Y=planar_cut(:,2);
67 Z=planar_cut(:,3);
68
69 scatter3(X(:,),Y(:,),Z(:,),'.' )
70 title('3D Plot the vertices of the slice on a plane (z values ...
    eliminated)');
71 figure
72
73 %2D Plot boundary line of the perimeter points
74 plot(X,Y,'.' );
75 shr_par = 0.96; %shrinking parameter
76 k = boundary(X,Y,shr_par);
77
78 %returns a single conforming boundary around the points
79 %(X,Y). X and Y are column vectors of equal size that specify the ...
    coordinates.
80 %K is a vector of point indices that represents a compact boundary around
81 %the points. The boundary can shrink towards the
82 %interior of the hull to envelop the points
83
84 plot(X(k),Y(k));
85 axis equal
86
87 %—Normals Method to create the new perimeter

```

```

88 V=[X(k) Y(k)];
89 %The vector that holds the X and Y coordinates of
90 %the points that compose the FIRST perimeter
91 %It is actually a selection of the outermost points that belong to the
92 %slice , hence the index k that shows which ones of them are.
93
94 N=LineNormals2D(V);
95 scale_factor =0.6;
96 hold on;
97 %This function calculates the normals, of the line points
98 %using the neighbouring points of each contour point , and
99 %forward an backward differences on the end points
100 %matrix N holds the vertical unit vectors to the curve shaped by the
101 %building's perimeter. The beginning of the vectors are on (0,0)
102
103 xy_new = [V(:,1)+scale_factor*N(:,1),V(:,2)+scale_factor*N(:,2)];
104 %The vector that holds the X and Y coordinates of
105 %the points that compose the SECOND perimeter
106 k1=boundary(xy_new(:,1),xy_new(:,2),0.97);
107
108 plot(xy_new(k1,1),xy_new(k1,2), 'r');
109 %Plot the SECOND perimeter curve
110 plot([V(k1,1) xy_new(k1,1)], [V(k1,2) xy_new(k1,2)]);
111 %Plot the vectors
112 %scatter(xy_new(:,1),xy_new(:,2));
113 %Plot the SECOND perimeter's points
114
115
116 % ----- SPLINES PLOT ...
117 %METHOD-----
117 x_splines = xy_new(k1,1)';
118 y_splines = xy_new(k1,2)';
119 xy_splines = [x_splines;y_splines];
120
121 %Auxiliary piece of code to extract the number of points we use to perform
122 %the interpolation
123 %[nxy npts] = size(xy_splines);
124
125 %By changing the first input of the function we modify the density of the
126 %splines curve points
127 pt = interparc(50,x_splines,y_splines,'spline');
128
129 % Plot the result
130 % plot(x_splines,y_splines,'r*',pt(:,1),pt(:,2),'b-o')
131 plot(pt(:,1),pt(:,2), 'b-o')
132 %axis([-10 10 -10 10])
133 axis equal
134 grid on
135 xlabel X
136 ylabel Y
137 title 'Points in blue are uniform in arclength around the circle'
138 figure

```

```
139 %
140
141 x_for_mavlink = pt(:,1);
142 %Prohgoumeno = x_for_mavlink(1)
143 y_for_mavlink = pt(:,2);
144
145 %We have to insert the part of the number that was cut off here
146 %Th
147 for i=1:1:length(x_for_mavlink)
148     x_for_mavlink(i) = repdig(25.058,x_for_mavlink(i));
149     y_for_mavlink(i) = repdig(41.075,y_for_mavlink(i));
150 end
151
152 %Add an offset value to center the trajectory onto the buildings shape
153 for i=1:1:length(x_for_mavlink)
154     x_for_mavlink(i) = x_for_mavlink(i)+0.00002;
155     y_for_mavlink(i) = y_for_mavlink(i)+ 0.00007 ;
156 end
157
158
159 %Add an offset value to center the trajectory onto the buildings shape
160 for i=1:1:length(x_for_mavlink)
161     x_for_mavlink(i) = x_for_mavlink(i);
162     y_for_mavlink(i) = y_for_mavlink(i)- 0.0001 ;
163 end
164
165 ptoint_x = mean(x_for_mavlink);
166 ptoint_y = mean(y_for_mavlink);
167 plot(x_for_mavlink,y_for_mavlink, 'b-o');
168 hold
169 plot(ptoint_x,ptoint_y, 'd');
170 title('Path coordinates & Point of interest')
171
172 ptoint = [ptoint_x ptoint_y];
173
174 %Waypoint file creation using the georeferenced x,y,z points created above
175 %The WP
176 wp_file_create(x_for_mavlink,y_for_mavlink,10,ptoint)
```

B'.3 Circular_trajectory.m (Matlab Script)

```

1 %Given point in GPS (fi ,lamda) coordinates a circular trajectory is ...
2 %designed
3 clc;clear;close all;
4
5 %% These are the Athena Research Center's coordinates
6 % ptoint = [24.919836 41.135715];
7 % ptotraj = [24.919962 41.135791 ];
8
9 %Q2CLU Coordinates
10 ptoint = [25.058309 41.075585];
11 ptotraj = [25.058242 41.075894];
12
13
14 auxiliary = [ptoint(1) ptoint(2); ptotraj(1) ptotraj(2)];
15 radius = pdist(auxiliary, 'euclidean'); %desired radius
16
17 numPoints = 10; %Number of points in your ...
18 %circle
19 angles = linspace(0,2*pi,numPoints)'; %Angles evenly spread ...
20 %around the circle, from 0 to 2*pi radians
21 xyCircle = radius*[cos(angles) sin(angles)]; %This is the matrix of the ...
22 %xy points of the circle
23
24 for i=1:length(xyCircle) %We transfer the centre of ...
25 %the circle in order to put
26 x_mav(i) = ptoint(1)+xyCircle(i,1) %it on the center of interest ...
27 %we picked above
28 y_mav(i) = ptoint(2) +xyCircle(i,2)
29 end
30
31 googleEarth = [y_mav' x_mav']; %Matrix with the lamda,phi ...
32 %coordinates to put in google earth
33 %Google earth wants Y,X or lamda,phi ...
34 %format
35 %to show to correct area
36
37 mavMatrix = [x_mav' y_mav'];
38
39 plot(x_mav,y_mav, '.'); %Quick plot to check the result
40 hold
41 plot(ptoint(1),ptoint(2), 'd')
42 axis equal;
43
44
45
46 wp_file_create_circular(x_mav,y_mav,10,ptoint) %Waypoints file creation ...
47 %with the z parameter
48 %3rd parameter: meters above the ground

```

B'.4 Meander_trajectory.m (Matlab Script)

```
1 %Given point in GPS ( fi ,lamda) coordinates a circular trajectory is ...
2 %designed
3 %and a file is created
4 clc;clear;close all;
5
6 %%These are the corner coordinates of a rectangular area enclosing QTCLU
7 UpLeft = [25.058059 41.075762];
8 DownLeft = [25.058063 41.075427];
9 DownRight = [25.058623 41.075483];
10 UpRight = [25.058586 41.075837];
11
12 % SquareX = [41.135857 41.135621 41.135627 41.135782];
13 % SquareY = [24.919716 24.919710 24.919915 24.919904];
14
15 %Calculate the length and the width of the rectangular area
16 L = sqrt((UpRight(2)-UpLeft(2))^2+(UpRight(1)-UpLeft(1))^2);
17 W = sqrt((UpLeft(2)-DownLeft(2))^2+(UpLeft(1)-DownLeft(1))^2);
18
19 n=10; %Increase/Decrease for a Denser/Sparser number of paths along the ...
20 %x/longitudinal axis
21 m=10; %Increase/Decrease for a Denser/Sparser number of paths along the ...
22 %y/latitudinal axis
23
24 L_div = L/n; %Length divisions
25 W_div = W/m; %Width Divisions
26
27
28 Len = zeros(n,1);
29 Wid = zeros(m,1);
30
31 Len(1)=UpLeft(1);
32 for i=2:1:n
33 Len(i)= Len(i-1)+ L_div;
34 end
35
36 Wid(1)=UpLeft(2);
37 for k=2:1:m
38 Wid(k)= Wid(k-1)- W_div;
39 end
40 %Wid vector holds the discrete latitudinal values
41 %Len vector holds the discrete longitudinal values
42
43
44 %Row vector holds the latitudinal values of the turning points of the path
```

```

45 %Column vector holds the longitudinal values of the turning points of the
46 %path
47 s=1;
48 for j=1:2:2*n
49     Row(j)=s ;
50     Row(j+1)= s;
51     s=s+1;
52 end
53
54 a=1;
55 Column(a)=1;
56 a=a+1;
57 Column(a)=m;
58 a=a+1;
59 while a≠2*m+1
60     if (Column(a-2)==1 && Column(a-1)==1)
61         Column(a)=m;
62         a=a+1;
63     elseif (Column(a-2)==m && Column(a-1)==m)
64         Column(a)=1;
65         a=a+1;
66     elseif (Column(a-2)==m && Column(a-1)==1)
67         Column(a)=1;
68         a=a+1;
69     elseif (Column(a-2)==1 && Column(a-1)==m)
70         Column(a)=m;
71         a=a+1;
72     end
73 end
74
75 %plot (Row, Column)
76
77 for q=1:1:length(Column)
78     MeanderX(q) = Len(Column(q));
79 end
80
81 for w=1:1:length(Row)
82     MeanderY(w) = Wid(Row(w));
83 end
84
85 plot(MeanderX,MeanderY, '.'); %Quick plot to check the key points of the ...
86 path
87 % googleEarth = [MeanderY' MeanderX']; %Matrix with the lamda,phi ...
88 % coordinates to put in google earth
89 %Google earth requires Y,X or lamda,phi format
90 %to show to correct area
91 % mavMatrix = [MeanderX' MeanderY'];
92 wp_file_create_no_ptofint(MeanderX,MeanderY,10) %Waypoints file creation ...
93 %with the z parameter
94 %fixed at 10 meters above the ground

```

B'.5 Waypoint File Creation (wp_file_create.m) (Matlab Function)

```

1
2 function wp_file_create(x,y,z,ptofint)
3
4 fileID = fopen('QTCLU.waypoints','w');
5
6 fprintf(fileID, '%3s %3s %3s\n', 'QGC', 'WPL', '110');
7
8 %QGC WPL <VERSION>
9 %<INDEX> <CURRENT WP> <COORD FRAME> <COMMAND> <PARAM1> <PARAM2>
10 %<PARAM3> <PARAM4> <PARAM5/X/LONGITUDE> <PARAM6/Y/LATITUDE> ...
11 %<PARAM7/Z/ALTITUDE> <AUTOCONTINUE>
12
13 index = [];
14 current_wp = [];
15 coord_frame = [];
16 command = [];
17 param1 = [];
18 param2 = [];
19 param3 = [];
20 param4 = [];
21 autocontinue = [];
22 % param5_x_longitude = y;
23 % param6_y_latitude = x;
24 % param7_z_latitude = z;
25
26 param5_x_longitude = [[0 0] y'];
27 param6_y_latitude = [[0 0] x'];
28 param7_z_latitude = z;
29
30 ROI = ptofint;
31
32 for k=1:1:(length(x)+2)
33     index = [index k];
34     current_wp = [current_wp 0];
35     coord_frame = [coord_frame 0];
36     command = [command 0];
37     param1 = [param1 0];
38     param2 = [param2 0];
39     param3 = [param3 0];
40     param4 = [param4 0];
41     autocontinue = [autocontinue 0];
42 end
43 %autocontinue = ones(150,1);
44
45 %-----CODE FOR HOME-----%
46 i=1;

```

```

47 to_print = [0 1 coord_frame(i) 16 param1(i) param2(i) param3(i) param4(i) ...
    param5_x_longitude(i+2) param6_y_latitude(i+2) param7_z_latitude ...
    autocontinue(i)];
48 fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%2.6f\t%2.6f\t%d\t%d\n' , ...
49 to_print(i,:));
50
51 %—————CODE FOR TAKEOFF—————%
52 to_print = [to_print; [index(1) 0 1 22 param1(1) param2(1) param3(1) ...
    param4(1) 0 0 param7_z_latitude autocontinue(2)]];
53 fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%2.6f\t%2.6f\t%d\t%d\n' , ...
54 to_print(2,:));
55
56
57 %—————CODE FOR REGION OF INTEREST—————%
58 to_print = [to_print; [index(2) 0 1 201 param1(2) param2(2) param3(2) ...
    param4(2) ROI(2) ROI(1) param7_z_latitude autocontinue(2)]];
59 fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%2.6f\t%2.6f\t%d\t%d\n' , ...
60 to_print(3,:));
61
62
63 for i=3:1:length(index)
64     to_print = [to_print; [index(i) current_wp(i) 1 16 param1(i) ...
        param2(i) param3(i) param4(i) param5_x_longitude(i) ...
        param6_y_latitude(i) param7_z_latitude autocontinue(i)]];
65     fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%2.6f\t%2.6f...
        \t%d\t%d\n' , to_print(i+1,:));
66 end
67
68
69 %—————CODE FOR LANDING—————%
70 to_print = [to_print; [index(i)+1 0 1 21 0 0 0 0 0 0 0 1]];
71 fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%2.6f\t%2.6f...
        \t%d\t%d\n' , to_print(i+2,:));
72
73 fclose(fileID);
74
75
76
77 %We want our file to be at a UTF-8 encoding
78 %For an already-open document: Edit -> EOL Conversion to chnge the end of
79 %line characters

```

B'.6 Waypoint File Creation No Point of Interest (wp_file_create_no_ptofint.m) (Matlab Function)

```

1
2 function wp_file_create_no_ptofint(x,y,z)
3
4 fileID = fopen('QTCLU_Meander.waypoints','w');
5

```

```

6   fprintf(fileID , '%3s %3s %3s\n' , 'QGC' , 'WPL' , '110');
7
8 %QGC WPL <VERSION>
9 <<INDEX> <CURRENT WP> <COORD FRAME> <COMMAND> <PARAM1> <PARAM2>
10 <PARAM3> <PARAM4> <PARAM5/X/LONGITUDE> <PARAM6/Y/LATITUDE> ...
    <PARAM7/Z/ALTITUDE> <AUTOCONTINUE>
11
12 index = [];
13 current_wp = [];
14 coord_frame = [];
15 command = [];
16 param1 = [];
17 param2 = [];
18 param3 = [];
19 param4 = [];
20 % param5_x_longitude = y;
21 % param6_y_latitude = x;
22 % param7_z_latitude = z;
23
24 param5_x_longitude = [0 y];
25 param6_y_latitude = [0 x];
26 param7_z_latitude = z;
27
28
29 for k=1:1:(length(x)+1)
30     index = [index k];
31     current_wp = [current_wp 0];
32     coord_frame = [coord_frame 0];
33     command = [command 0];
34     param1 = [param1 0];
35     param2 = [param2 0];
36     param3 = [param3 0];
37     param4 = [param4 0];
38 end
39
40 autocontinue = ones(150,1);
41
42 %-----CODE FOR HOME-----
43 i=1;
44 to_print = [0 1 coord_frame(i) 16 param1(i) param2(i) param3(i) param4(i) ...
    param5_x_longitude(i+1) param6_y_latitude(i+1) param7_z_latitude 1];
45 fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%...
46 \t%2.6f\t%2.6f\t%d\t%d\n' ,to_print(i,:));
47
48 %-----CODE FOR TAKEOFF-----
49 to_print = [to_print; [index(1) 0 3 22 param1(1) param2(1) param3(1) ...
    param4(1) 0 0 param7_z_latitude 1]];
50 fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%...
51 to_print(2,:));
52
53 for i=2:1:length(index)

```

```

54     to_print = [ to_print; [index(i) current_wp(i) 3 16 param1(i) ...
55         param2(i) param3(i) param4(i) param5_x_longitude(i) ...
56         param6_y_latitude(i) param7_z_latitude 1]];
57     fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%2.6f\t%2.6f\t%d...
58         \t%d\n' ,to_print(i+1,:));
59 end
59 %—————CODE FOR LANDING—————%
60 to_print = [ to_print; [index(i)+2 0 3 21 0 0 0 0 0 0 0 0 1]];
61 fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%2.6f...
62 \t%2.6f\t%d\t%d\n' ,to_print(i+2,:));
63
64 fclose(fileID);
65
66 %We want our file to be at a UTF-8 encoding
67 %For an already-open document: Edit -> EOL Conversion to chnge the end of
68 %line characters

```

B'.7 Waypoint File Creation Circular (wp_file_create_circular.m) (Matlab Function)

```

1
2 function wp_file_create_circular(x,y,z,ptofint)
3
4 fileID = fopen('QTCLU_circular.waypoints','w');
5
6 fprintf(fileID , '%3s %3s %3s\n' , 'QGC' , 'WPL' , '110');
7
8 %QGC WPL <VERSION>
9 %<INDEX> <CURRENT WP> <COORD FRAME> <COMMAND> <PARAM1> <PARAM2>
10 %<PARAM3> <PARAM4> <PARAM5/X/LONGITUDE> <PARAM6/Y/LATITUDE> ...
11     <PARAM7/Z/ALTITUDE> <AUTOCONTINUE>
12 index = [];
13 current_wp = [];
14 coord_frame = [];
15 command = [];
16 param1 = [];
17 param2 = [];
18 param3 = [];
19 param4 = [];
20 autocontinue = [];
21 % param5_x_longitude = y;
22 % param6_y_latitude = x;
23 % param7_z_latitude = z;
24
25 %Ta transpose edw einai swsta ki elegmena
26 param5_x_longitude = [[0 0] y];

```

```

27 param6_y_latitude = [[0 0] x];
28 param7_z_latitude = z;
29
30 ROI = ptoint;
31
32 for k=1:1:(length(x)+2)
33     index = [index k];
34     current_wp = [current_wp 0];
35     coord_frame = [coord_frame 0];
36     command = [command 0];
37     param1 = [param1 0];
38     param2 = [param2 0];
39     param3 = [param3 0];
40     param4 = [param4 0];
41     autocontinue = [autocontinue 0];
42 end
43
44 %autocontinue = ones(150,1);
45
46 %-----CODE FOR HOME-----
47 i=1;
48 to_print = [0 1 coord_frame(i) 16 param1(i) param2(i) param3(i) param4(i) ...
    param5_x_longitude(i+2) param6_y_latitude(i+2) param7_z_latitude ...
    autocontinue(i)];
49 fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%2.6f\t%2.6f\t%d\t%d\n' , ...
50 to_print(i,:));
51
52 %-----CODE FOR TAKEOFF-----
53 to_print = [to_print; [index(1) 0 1 22 param1(1) param2(1) param3(1) ...
    param4(1) 0 0 param7_z_latitude autocontinue(2)]];
54 fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%2.6f\t%2.6f\t%d\t%d\n' , ...
55 to_print(2,:));
56
57
58 %-----CODE FOR REGION OF INTEREST-----
59 to_print = [to_print; [index(2) 0 1 201 param1(2) param2(2) param3(2) ...
    param4(2) ROI(2) ROI(1) param7_z_latitude autocontinue(2)]];
60 fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%2.6f\t%2.6f\t%d\t%d\n' , ...
61 to_print(3,:));
62
63
64 for i=3:1:length(index)
65     to_print = [to_print; [index(i) current_wp(i) 1 16 param1(i) ...
        param2(i) param3(i) param4(i) param5_x_longitude(i) ...
        param6_y_latitude(i) param7_z_latitude autocontinue(i)]];
66     fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%2.6f\t%2.6f\t%d\t%2.6f\t%d\t%d\n' , ...
67     \t%d\n' , to_print(i+1,:));
68 end
69
70 %-----CODE FOR LANDING-----
71 to_print = [to_print; [index(i)+1 0 1 21 0 0 0 0 0 0 0 1]];
72 fprintf(fileID , '%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%d\t%2.6f\t%2.6f\t%d\t%d\t%d\t%d\n' , ...

```

```
73 to_print(i+2,:));  
74  
75 fclose(fileID);  
76  
77  
78 %The file must to be at a UTF-8 encoding  
79 %For an already-open document: Edit -> EOL Conversion to chnge the end of  
80 %line characters
```

Βιβλιογραφία

- [1] Lin Zongjian, Su Guozhong και Xie Feifei. *UAV Borne Low Altitude Photogrammetry System*. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B1, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia.
- [2] Gary McCray. *Typical Quadcopter Layout*. <http://dronesarefun.com/ControlAndNavigation.html>, 23/05/2018.
- [3] Spain Drone Team Store. https://www.sdtstore.com/epages/82435372.sf/en_US/?ObjectPath=/Shops/82435372/Products/629, March 2018.
- [4] Théo Louiset, Anthony Pamart, Eloi Gattet, Thibaut Raharijaona, Livio De Luca και Franck Ruffier. *A shape-adjusted tridimensional reconstruction of cultural heritage artefacts using a miniature quadrotor*. submitted to Remote Sens, 2016.
- [5] Andreas Hakeloeer, Klas Klasing, Jukka M. Krisp και Liqiu Meng. *Georeferencing: a review of methods and applications, Annals of GIS Vol.20 No.1 61-69*. σελίδες 1–2, 2014.
- [6] Agata Orych. *Review Of Methods For Determining The Spatial Resolution Of UAV*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W4, 2015 International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, 30 Aug–02 Sep 2015, Toronto, Canada.
- [7] Ανέστης Κουτσούδης και Γεώργιος Παυλίδης. *Τριδιάστατη Ψηφιοποίηση*. σελίδες 53–54. Εκδόσεις Τσότρας, 2016.
- [8] Ανέστης Κουτσούδης. *Ανάκτηση Τρισδιάστατων Δεδομένων βάσει Περιεχομένου και MPEG-7 Μεταδεδομένων*. σελίδες 210–211. Διδακτορική Διατριβή, Τ.Η.Μ.Μ.Υ. Δ.Π.Θ., 2010.
- [9] Benjamin J. Britton. *The Boundaries of Scientific Culture in Virtual Heritage*. Proceedings of the 7th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM'01).
- [10] M .Garland και P.S. Heckbert. *Surface simplification using quadric error metrics*. σελίδες 209–216. Addison Wesley, 1997. In SIGGRAPH '97 Conference Proceedings, Annual Conference Series.

- [11] Jeff Somers. *A simplification algorithm based on shortest edge first.* <http://users.rcn.com/liusomers>, 2002.
- [12] Guy Godin, Marc Rioux, J. Angelo Beraldin, Marc Levoy, Luc Cournoyer και Francois Blais. *An assessment of laser range measurement on marble surfaces.* 2001. 5th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Vienna, Austria.
- [13] Meydenbauer Albrecht. *Das Denkmäler-Archiv und seine Herstellung durch das Messbild-Verfahren,* Denkschrift 1896. Nachdruck mit Kommentar von Rudolf Meyer, Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Berlin 1993, 16 S.
- [14] T.Schenk. *Lecture: Introduction to Photogrammetry.* σελίδες 8–15, 2005.
- [15] Paul Gerin Fahlstrom και Thomas James Gleason. *Introduction to UAV Systems: Fourth Edition.* σελίδες 28–29, 2012.
- [16] Scott Hamilton και Jason Stephenson. *UAV (drone) aerial photography and photogrammetry and its utility for archaeological site documentation.* σελίδα 4, 2017.
- [17] Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaioni M. και Sarazzi D. *UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling : current status and future perspectives.* σελίδα 7, 2011.
- [18] Christopher Hackney και Alexander I Clayton. *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and their application in geomorphic mapping.* σελίδες 4–5, 2015.
- [19] QGroundControl. *Waypoint Protocol.* http://qgroundcontrol.org/mavlink/waypoint_protocol#waypoint_file_format.html, 2017.
- [20] Ardupilot. *GCS Mavlink, url:* https://github.com/ArduPilot/ardupilot/tree/master/libraries/GCS_MAVLink, 2017.
- [21] Dirk Jan Kroon. *2D Line Curvature and Normals,MathWorks,File Exchange:* <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/32696-2d-line-curvature-and-normals?focused=5199906&tab=function>, 2011.
- [22] John D'Errico. *Distance based interpolation along a general curve in space "interpacc.m"* v1.3, , release: 1.0, release date: 15/3/2010 url: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/34874-interpacc>, 2010.
- [23] Aerial-Survey-Base. *What is GSD.* <https://www.aerial-survey-base.com/gsd-calculator/what-is-gsd/>, 2017.
- [24] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. *Ιστοσελίδα Εθνικού Κτηματολογίου και Χαρτογράφησης Α.Ε.* <http://gis.ktimanet.gr/wms/apr1/>, 2017.
- [25] Γιάννης Συγγρός. *COORDS-GR Πρόγραμμα μετατροπής συντεταγμένων.* <http://www.jgc.gr/index.php/el/downloads>, 2017.

-
- [26] Τοπογραφικά Θέματα. *Μετατροπή μοιρών από συμμιγή σε δεκαδική και αντίστροφα.* <https://simigis.blogspot.gr/2012/12/blog-post.html>, 2017.
 - [27] Knowledge Center. *Calculating accurate length in meters for lat , long coordinate systems.* <https://knowledge.safe.com/articles/725/calculating-accurate-length-in-meters-for-lat-long.html>, March 2018.
 - [28] Movable Type Scripts. *Calculate distance, bearing and more between Latitude/Latitude points.* <https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>, March 2018.
 - [29] Alessandro Bezzi. *Georeference a mesh using the Reference Scene Tool of Meshlab 1.3.3.* <http://arc-team-open-research.blogspot.gr/2014/09/georeference-mesh-using-reference-scene.html>, 2014.
 - [30] Ardupilot.org. *Analyzing Data Logs in Mission Planner.* <http://ardupilot.org/copter/docs/common-downloading-and-analyzing-data-logs-in-mission-planner.html>, 20/05/2017.
 - [31] MIT Electric Vehicle Team. *A Guide to Understanding Battery Specifications.* http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf, December 2008.
 - [32] The MagPi Magazine. *Raspberry Pi 3 Benchmarks.* <https://www.raspberrypi.org/magpi/raspberry-pi-3-specs-benchmarks/>, March 2017.
 - [33] DroneTrest. *LiPo Batteries - How to choose the best battery for your drone.* <https://www.dronetrest.com/t/lipo-batteries-how-to-choose-the-best-battery-for-your-drone/1277>, March 2018.
 - [34] *LiPo Battery calculator.* http://multicopter.forestblue.nl/lipo_need_calculator.html, March 2018.
 - [35] Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.3. σελίδες 5–6, 2017.

Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια

| | |
|-------|---------------------------------|
| βλπ | βλέπε |
| κ.λπ. | και λοιπά |
| κ.ο.κ | και ούτω καθεξής |
| ΑΕΙ | Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα |
| ΔΠΘ | Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης |
| UAV | Unmanned Aerial Vehicle |
| GSD | Ground Sampling Distance |
| DOM | Digital Orthophoto Map |
| DEM | Digital Elevation Model |
| DLG | Digital Line Graph |
| GPS | Global Positioning System |
| 3D | Three Dimensional |
| 3Δ | Τριδιάστατος/η/ο |
| PWM | Pulse Width Modulation |
| ESC | Electronic Speed Controller |
| SFM | Structure From Motion |
| MVS | Multiview Stereo Photogrammetry |
| DSLR | Digital Single-Lens Reflex |

Απόδοση ξενόγλωσσων όρων

Απόδοση

ανάκτηση πληροφορίας
αυθαίρετος/η/ο
αντιστάθμισμα
αρχείο σημείων τροχιάς
βάση δεδομένων
διαπροσωπεία
διαφορά
εγκυρότητα
εικονοστοιχείο
ευθυγράμμιση
πλέγμα
νέφος
σημείο
δειγματοληψία
έδαφος
γεωγραφικό πλάτος - φ
γεωγραφικό μήκος - λ
υψόμετρο
συντεταγμένες
συντάκτης
μεσημβρινός

Ξενόγλωσσος όρος

information retrieval
arbitrary
offset
waypoint file
database
interface
difference
validity
pixel
alignment
mesh
cloud
point
sampling
ground
latitude
longitude
altitude
coordinates
editor
meridian