ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Παραμετροποίηση συστήματος μη επανδρωμένου ηλεκτροκινητήριου ανεμόπτερου σε εφαρμογές τρισδιάστατης αποτύπωσης

Διπλωματική εργασία

Κοσμέτος Ευάγγελος

Εξεταστική Επιτροπή

Παναγιώτης Παρτσινέβελος, Επίκουρος Καθηγητής (επιβλέπων)

Στυλιανός Μερτίκας, Καθηγητής

Ευτύχιος Κουτρούλης, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ 2018

Περίληψη

Η τεχνολογία των μη επανδρωμένων συστημάτων (Unmanned Aerial Systems-UAS) παρουσιάζει ιδιαίτερη άνθηση τα τελευταία χρόνια καθώς αποτελεί μια προσιτή τεχνολογία η οποία έχει εφαρμογή σχεδόν σε κάθε κλάδο της βιομηχανίας. Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο την παραμετροποίηση ενός μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) σταθερής πτέρυγας χαμηλού κόστους, για την λήψη απεικονίσεων με σκοπό την δημιουργία τρισδιάστατων γεωμορφολογικών μοντέλων. Στα πλαίσια της εργασίας καθίσταται εφικτή η σύγκριση της αποτελεσματικότητας του εν λόγω UAV σε σχέση με συστήματα διαφορετικής αρχιτεκτονικής και μεγαλύτερου κόστους.

Πρώτο στάδιο της παρούσας μελέτης αποτελεί η παραμετροποίηση του μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος σταθερής πτέρυγας μορφής ανεμόπτερου. Η παραμετροποίηση αφορά τόσο την χωροθέτηση του απαιτούμενου ηλεκτρονικού και λοιπού υλικού στο περιορισμένο χώρο της ατράκτου, όσο και στην βελτιστοποίηση των συνδεσμολογιών στον πιλότο χαμηλού κόστους που χρησιμοποιήθηκε για την απρόσκοπτη πτητική συμπεριφορά του αεροσκάφους. Επιπρόσθετα, το παραμετροποιημένο μη επανδρωμένο όχημα περιλαμβάνει σύστημα αυτόματης πλοήγησης, που μπορεί να το καθοδηγήσει σε προκαθορισμένα σημεία αναφοράς μέσω του συστήματος δορυφορικού εντοπισμού (Global Navigation Satellite System: GNSS) και σύστημα απεικόνισης για λήψη φωτογραφιών. Η αυτονομία του παραμετροποιημένου μη επανδρωμένου οχήματος είναι 30 min, με μέγιστο βάρος απογείωσης τα 0,800kg.

Με τη βοήθεια της αυτόματης πλοήγησης αλλά και της τηλεκατεύθυνσης, πραγματοποιήθηκαν πτήσεις φωτογραμμετρικής καταγραφής στην περιοχή ενδιαφέροντος. Μετά τη δημιουργία και ερμηνεία των τρισδιάστατων μοντέλων της περιοχής μελέτης, αποδείχτηκε ότι η πλατφόρμα που παραμετροποιήθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις με μεγάλη αποτελεσματικότητα καθώς τα σφάλματα που προέκυψαν από την γεωαναφορά των μοντέλων σε τοπικό σύστημα συντεταγμένων δεν αποκλίνουν σημαντικά από τα σφάλματα των εναέριων μη

επανδρωμένων οχημάτων μορφής πολυ-κοπτέρου που χρησιμοποιούνται από το εργαστήριο ως μέσα φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων.

Abstract

Unmanned Aerial Systems (UAS) have shown considerable acceptance over the last few years as they constitute an affordable technology that is applicable in almost every industrial sector. The purpose of this thesis is to customize a fixed wing, low-cost, unmanned aerial vehicle (UAV) for image capturing in order to create three-dimensional geomorphological models. In the context of the present work, it is possible to compare the effectiveness of the specific UAV in relation to other systems of varying architecture and higher cost.

The first stage of the present study is the parameterization of the fixed wing UAV in the form of a glider. Parameterization includes both the placement of the required electronics and other material in the limited space of the shaft, and the optimization of the connections on the low cost pilot towards the smooth flight behavior of the aircraft. Additionally, the customized UAV includes an automatic navigation system that can route it to predefined reference points via the Global Navigation Satellite System (GNSS) and an imaging system for taking pictures. The autonomy of the customized UAV is 30 minutes, with a maximum take-off weight of 0.800kg.

With the assistance of both automatic and remotely controlled navigation, photogrammetric surveys took place in the area of interest. After the creation and interpretation of the three-dimensional models of the study area, it was shown that the parameterized platform can be used for high-efficiency photogrammetric surveys as the errors resulting from the georeference of the models in a local coordinate system do not deviate significantly from the errors of the polycopter UAVs used by the laboratory for photogrammetric surveys.

Ευχαριστίες

Για τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Παναγιώτη Παρτσινέβελο, καθώς χωρίς την καθοδήγηση και την παροχή χρηματικού κονδυλίου για την παραμετροποίηση του εναέριου μη επανδρωμένου οχήματος δεν θα ήταν δυνατή η πραγματοποίηση της.

Επίσης οφείλω να ευχαριστήσω τον Αχιλλέα Τριπολιτσιώτη για την πολύτιμη βοήθεια του κατά την συγγραφή του κειμένου, τον Ξενοφών Φρατζή καθώς δεν θα ήταν δυνατή η διεξαγωγή των μετρήσεων πεδίου χωρίς την συμβολή του και τον Άγγελο Αντωνόπουλο φοιτητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών για την συνεισφορά του κατά την διεξαγωγή των πτήσεων καταγραφής.

Επιπρόσθετα ευχαριστώ θερμά τον Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωδαισίας και Γεωπληροφορικής της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Καθηγητή Στέλιο Μερτίκα καθώς και τον Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών κ. Ευτύχιο Κουτρούλη για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου Στέλιο Μανουδάκη, Γεώργιο Βελώνια, Θεόδωρο Χειμώνα και Γεώργιο Μπελαδάκη για την συμπαράσταση και την βοήθεια που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Περίληψη ii

Abstract iv

Ευχαριστίες v

Κατάλογος Εικόνων ix

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή 1

1.1 Σκοπός 2

1.2 Γενικό Πλάνο 3

1.3 Σχέδιο Ανάπτυξης 4

Κεφάλαιο 2: Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) 5

2.1 Ιστορική αναδρομή 6

2.2 Κατηγορίες μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων 9

2.3 Μη επανδρωμένα οχήματα τύπου σταθερής πτέρυγας 15

2.4 Πολύ-κόπτερα 16

2.5 Εφαρμογές μη επανδρωμένων οχημάτων 18

2.5.1 Εναέρια χαρτογράφηση 18

2.5.2 Εναέρια Αποτύπωση (Surveying) 19

2.5.3 Μέτρηση όγκου 20

2.5.4 Επιθεώρηση πετρελαίου και φυσικού αερίου 21

2.6 Συμπεράσματα 23

Κεφάλαιο 3: Φωτογραμμετρία και βασικές έννοιες 24

3.1 Εναέρια Φωτογραμμετρία 24

3.2 Βαθμονόμηση συστήματος καταγραφής 25

3.3 Βασικές έννοιες φωτογραμμετρίας 26

3.3.1 Η έννοια της παράλλαξης 26

3.3.2 Προσανατολισμός απεικονίσεων 27

3.5 Συμπεράσματα 28

Κεφάλαιο 4: Παραμετροποίηση μη επανδρωμένου ηλεκτροκινητήριου ανεμόπτερου 30

4.1 Συναρμολόγηση της πλατφόρμας 30

4.1.1Υλικά κατασκευής 31

4.1.2 Παραμετροποίηση σώματος ανεμόπτερου 31

4.1.3 Σχεδίαση και εκτύπωση βάσης πιλότου 34

4.1.4 Συνδεσμολογία πιλότου με λοιπά εξαρτήματα – κατασκευή καλωδιώσεων 38

4.1.5 Παραμετροποίηση μονάδας πιλότου ανεμόπτερου 41

4.2 Περιγραφή συστήματος καταγραφής 42

4.3 Συμπεράσματα 44

Κεφάλαιο 5 : Διεξαγωγή πτήσεων καταγραφής.....45

5.1 Λήψη συντεταγμένων και τοποθέτηση σταθμού βάσης..... 45

5.2 Έλεγχος και διεξαγωγή πτήσης της πλατφόρμας 45

5.3 Πτήση καταγραφής..... 47

5.4 Σχέδιο πτήσης..... 47

5.5 Συμπεράσματα 49

Κεφάλαιο 6: Επεξεργασία αποτελεσμάτων απεικονίσεων 50

6.1 Επεξεργασία απεικονίσεων 50

6.2 Δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου της περιοχής..... 51

6.3 Σύγκριση πλατφορμών 55

6.3.1 Σύγκριση με βάση τα υλικά..... 58

6.3.2 Σύγκριση με βάση την πτητική τους συμπροφορά 59

6.3.3 Σύγκριση με βάση τα τρισδιάστατα μοντέλα της περιοχής μελέτης 61

6.4 Συμπεράσματα 64

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα – Προτάσεις 65

7.1 Πηγές Σφαλμάτων 66

7.2 Προτάσεις βελτίωσης 66

Βιβλιογραφία 68

Ελληνική βιβλιογραφία 68

Διεθνής βιβλιογραφία 69

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Montgolfier Ballon 6
Εικόνα 2.2: Aerial Steam Carriage 7
Εικόνα 2.3: Kattering Bug 7
Εικόνα 2.4: Fiesler FI 103 V1 8
Εικόνα 3.1: Αρχική φωτογραφία που λαμβάνεται από κινούμενο παρατηρητή. 26
Εικόνα 3.2: Μεταγενέστερη φωτογραφία, στην οποία φαίνεται η παράλλαξη του κοντινού αντικειμένου 26
Εικόνα 4.1: Βάση πιλότου τοποθετημένη εντός του πιλοτηρίου του ανεμόπτερου μαζί με το σύστημα καταγραφής. 32
Εικόνα 4.2: Η οπή που διατηρήθηκε στο σκελετό του ανεμόπτερου με σκοπό την τοποθέτηση της κάμερας. 33
Εικόνα 4.3: Τοποθέτηση της κάμερας στο πιλοτήριο του ανεμόπτερου. 34
Εικόνα 4.4: Πρόοψη 1 βάσης πιλότου 35
Εικόνα 4.5: Πλάγια όψη βάσης πιλότου 35
Εικόνα 4.6: Πρόοψη 2 βάσης πιλότου 36
Εικόνα 4.7: Προεπισκόπηση της διάταξης των στρώσεων πλαστικού πριν την τελική εκτύπωση 37
Εικόνα 4.8: Μια άλλη όψη της προεπισκόπησης της διάταξης των στρώσεων πλαστικού πριν την τελική εκτύπωση 37
Εικόνα 4.9: Συνδεσμολογία όλων των εξαρτημάτων του ανεμόπτερου 38
Εικόνα 4.10: Καλωδιώσεις ανεμόπτερου συνδεδεμένες με όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα 40
Εικόνα 4.11: Πιλότος ανεμόπτερου με όλες τις διαθέσιμες υποδοχές σύνδεσης. 42
Εικόνα 4.12: Φωτογραφική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή 44

Εικόνα 5.1: Το σχέδιο πτήσης (κίτρινες γραμμές) το οποίο σχεδιάστηκε στο λογισμικό του αυτομάτου πιλότου. 48
Εικόνα 5.2: Καταστροφή ρύγχους ανεμόπτερου λόγω ανώμαλης προσγείωσης 49
Εικόνα 6.1: Φωτογραφία εναέριας λήψης περιοχής μελέτης 51
Εικόνα 6.2: Ευθυγράμμιση σημείων από τις απεικονίσεις που λύθηκαν με το παραμετροποιημένο ανεμόπτερο. 53
Εικόνα 6.3: Δημιουργία νέφους σημείων από τις απεικονίσεις που λύθηκαν με το παραμετροποιημένο ανεμόπτερο. 53
Εικόνα 6.4: Κατασκευή πλέγματος από τις απεικονίσεις που λύθηκαν με το παραμετροποιημένο ανεμόπτερο. 54
Εικόνα 6.5: Κατασκευή υφής από τις απεικονίσεις που λύθηκαν με το παραμετροποιημένο ανεμόπτερο. 54
Εικόνα 6.6: Παραμετροποιημένο ανεμόπτερο. 55
Εικόνα 6.7: Εμπορικό τετρακόπτερο. 56
Εικόνα 6.8: Παραμετροποιημένο εξακόπτερο. 57
Εικόνα 6.9: Τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε από τις απεικονίσεις του εμπορικού τετρακόπτερου. 63
Εικόνα 6.10: Τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε από τις απεικονίσεις του παραμετροποιημένου εξακοπτέρου. 64

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η τεχνολογία των μη επανδρωμένων συστημάτων και των ρομποτικών συστημάτων παρουσιάζει ιδιαίτερη άνθηση τα τελευταία χρόνια καθώς αποτελεί μια προσιτή τεχνολογία η οποία έχει εφαρμογές σχεδόν σε κάθε κλάδο της βιομηχανίας. Νέες εφαρμογές για τα μη επανδρωμένα συστήματα ανακαλύπτονται καθημερινά, οι οποίες έχουν ως στόχο τη βελτίωση τόσο της αποτελεσματικότητας όσο και της ασφάλειας στην υλοποίηση εργασιών.

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα αποτελούν συστήματα εξέχουσας σημασίας καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εργασίες όπου η πρόσβαση του ανθρωπίνου παράγοντα είναι είτε αδύνατη είτε μεγάλης επικινδυνότητας. Επιπρόσθετα, η ευελιξία παραμετροποίησης τους, δίνει την δυνατότητα προσθήκης πολυάριθμων αισθητήρων σε αυτά, με αποτέλεσμα η χρήση τους να είναι καταλυτική σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές εναέριων αποτυπώσεων και χαρτογραφήσεων, ογκομετρήσεων, επιθεώρησης πετρελαίου και φυσικού αερίου, ατμοσφαιρικών μετρήσεων καθώς και σε άλλους κλάδους και εργασίες που σχετίζονται με το αντικείμενο του Μηχανικού και κατ' επέκταση του Μηχανικού Ορυκτών Πόρων.

Ο εξοπλισμός ο οποίος φέρουν αποτελείται κυρίως από μια μονάδα ελέγχου, μια μονάδα δορυφορικού εντοπισμού, ένα αλτίμετρο, ένα βαρόμετρο, ένα επιταχυνσιόμετρο, μια πυξίδα, ένα ή περισσότερους ελεγκτές ταχύτητας, ένα πομπό τηλεκατεύθυνσης και μια τηλεμετρία. Αναλόγως με την πλατφόρμα του μη επανδρωμένου οχήματος καθώς και την εφαρμογή την οποία καλείται να πραγματοποιήσει, ο εξοπλισμός τροποποιείται καταλλήλως. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής επιχειρείται η παραμετροποίηση ενός τέτοιου οχήματος σε εφαρμογές φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων.

1.1 Σκοπός

Το κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η διστακτικότητα που σχετίζεται με την χρήση των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων τόσο λόγω της υπάρχουσας νομοθεσίας που τα διέπει όσο και τις παραπληροφόρησης που υπάρχει πάνω στο αντικείμενο αυτό. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως πρωταρχικό σκοπό να αναδείξει την αποτελεσματικότητα των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων τύπου σταθερής πτέρυγας σε αντικείμενα Μηχανικού.

Για την επίτευξη του ανώτερου γενικού στόχου πραγματοποιήθηκε η παραμετροποίηση ενός μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος, το οποίο χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ✓ Χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης.
- ✓ Αυξημένη αυτονομία.
- ✓ Δυνατότητα καταγραφής μεγάλων περιοχών σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα.
- ✓ Ευκολία στην παραμετροποίηση του.
- ✓ Δυνατότητα πραγματοποίησης ασφαλούς προσγείωσης σε περίπτωση βλάβης.
- ✓ Ευελιξία στον τρόπο επισκευής του σε περίπτωση κάποιας πρόσκρουσης.

Ως πειραματική εφαρμογή επιλέχθηκε η τρισδιάστατη αποτύπωση περιοχής μέσω του πρότυπου αυτού UAV. Τέλος, μέσω της τρισδιάστατης αποτύπωσης γίνεται προσπάθεια σύγκρισης του πρωτότυπου UAV με άλλα δυο διαφορετικής πλατφόρμας και αρκετά μεγαλύτερου κόστους.

1.2 Κίνητρο εκπόνησης εργασίας

Η παρούσα εργασία στηρίζεται σε μια προσπάθεια προσέγγισης της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης με χρήση μη επανδρωμένου οχήματος τύπου ανεμόπτερου. Δεδομένου ότι οι περισσότερες φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις μικρής κλίμακας που πραγματοποιούνται τα τελευταία χρόνια έχουν βασιστεί σε μη επανδρωμένα οχήματα μορφής πολυ-κοπτέρου, κρίνεται σκόπιμη η διερεύνηση των ικανοτήτων των μη επανδρωμένων οχημάτων μορφής ανεμόπτερου πάνω σε αυτόν τον τομέα. Η παρούσα μελέτη είναι μια πρώτη προσπάθεια αποτίμησης της φωτογραμμετρικής μεθόδου αποτύπωσης περιοχής με χρήση μη επανδρωμένου οχήματος τύπου ανεμόπτερου από τη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων καθώς θεωρούμε ότι αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για κάθε μηχανικό που καλείται να αντιμετωπίσει σχετικά προβλήματα.

Για παράδειγμα, μπορούν να πραγματοποιηθούν φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις σε αγωγούς μεταφοράς πετρελαίου. Πιο συγκεκριμένα, μέσω των φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων μπορούν να εντοπιστούν πιθανές αλλαγές του χρώματος της βλάστησης που περικλείει το δίκτυο των υπέργειων ή και υπόγειων σωλήνων μεταφοράς πετρελαίου, γεγονός που μαρτυρά την ύπαρξη κάποιας διαρροής σε αυτό. Συνεπώς, με την επιτήρηση των αγωγών από ιπτάμενα εναέρια οχήματα μορφής ανεμόπτερου μπορούν να εντοπιστούν διαρροές οι οποίες είναι ικανές να επιφέρουν τεράστια περιβαλλοντική καταστροφή εάν δεν αντιμετωπιστούν εγκαίρως.

Άλλη συμβολή της παρούσας διπλωματικής αφορά στην περιβαλλοντική αποτίμηση αλλά και παρακολούθηση υποδομών. Για παράδειγμα, σε εξέδρες πετρελαίου μπορεί να πραγματοποιηθεί οπτικός έλεγχος τόσο των υπέργειων δομικών - κατασκευαστικών στοιχείων τους όσο και των σωληνώσεων μεταφοράς πετρελαίου με σκοπό την αποφυγή ατυχημάτων από διαρροές που θα έχουν όχι μόνο περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά θα θέσουν σε κίνδυνο και ανθρώπινες ζωές.

Άλλη μια εφαρμογή των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων είναι η χρήση τους σε λατομεία και ορυχεία. Με την βοήθεια των οχημάτων αυτών είναι δυνατή η

απομακρυσμένη παρακολούθηση των αλλαγών της μορφολογίας του εδάφους και κατ' επέκταση η αποτίμηση των διαθέσιμων κοιτασμάτων μέσω ογκομετρικών μετρήσεων. Επιπρόσθετα, είναι σε θέση να καταγράψουν τους ρύπους που διαχέονται στο περιβάλλον κατά την διαδικασία εξόρυξης. Συνεπώς, δίνουν πολύτιμα στοιχεία στους μηχανικούς και έναυσμα για την σχεδίαση μεθόδων εξόρυξης μειωμένης παραγωγής ρύπων.

1.3 Σχέδιο Ανάπτυξης

Στο επόμενο Κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται εισαγωγή στα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα. Στην συνέχεια, θα παρουσιαστούν οι κατηγορίες των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων δίνοντας έμφαση στα μη επανδρωμένα οχήματα σταθερής πτέρυγας και στα πολυ-κόπτερα. Τέλος, θα παρουσιαστούν και μερικές εφαρμογές των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων οι οποίες σχετίζονται με το αντικείμενο του Μηχανικού Ορυκτών Πόρων. Στο Κεφάλαιο 3 θα παρουσιαστεί η επιστήμη της φωτογραμμετρίας και οι βασικές έννοιες της λαμβάνοντας υπόψη το κομμάτι της το οποίο σχετίζεται με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Στο Κεφάλαιο 4 θα παρουσιαστούν οι τεχνικές λεπτομέρειες της παραμετροποίησης του μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος όπως επίσης και το σύστημα καταγραφής που χρησιμοποιήθηκε. Η διεξαγωγή των πτήσεων καταγραφής, το σχέδιο πτήσης το οποίο σχεδιάστηκε όπως επίσης και η λήψη συντεταγμένων θα παρουσιαστούν στο Κεφάλαιο 5. Στο Κεφάλαιο 6 περιλαμβάνεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων των απεικονίσεων και γίνεται η σύγκριση των τριών διαφορετικών πλατφορμών UAV. Τέλος, τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία καθώς και από την σύγκριση των τριών μη επανδρωμένων οχημάτων παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 7. Επίσης, σε αυτό το Κεφάλαιο αναφέρονται και κάποιες προτάσεις βελτίωσης της πλατφόρμας που χρησιμοποιήθηκε.

Κεφάλαιο 2: Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV)

Ως μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα UAV (Unmanned Aerial Vehicles) ή UAS (Unmanned Aerial Systems), ορίζονται τα κάθε είδους ιπτάμενα οχήματα που δεν έχουν χειριστή στην άτρακτό τους, αλλά πραγματοποιούν πτήσεις είτε αυτόνομα είτε μέσω τηλεκατεύθυνσης. Οι προαναφερθείσες ονομασίες αναφέρονται στους ορισμούς που κατά καιρούς έχουν δοθεί για την περιγραφή αυτών των οχημάτων. Ο όρος UAV περιγράφει μόνο το χωρίς χειριστή αεροσκάφος. Ο όρος UAS περιλαμβάνει όλες τις συσκευές, το προσωπικό και τις διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούνται προκειμένου το μη επανδρωμένο αεροσκάφος να θεωρείται ως ολοκληρωμένο σύστημα. Τέλος, ο όρος RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) καθιερώθηκε σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία και με την ανάγκη όλες οι πτήσεις μη επανδρωμένων αεροσκαφών να έχουν τουλάχιστον έναν επιβλέπων πιλότο στο έδαφος. Τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα συνήθως έχουν τη μορφή μικρού αεροπλάνου ή ελικοπτέρου με έναν ή περισσότερους κινητήρες και έλικες συντονισμένους για πλήρως ελεγχόμενη πτήση από ειδικό πρόγραμμα ή χειριστήριο εδάφους.

Στις παραγράφους που ακολουθούν θα γίνει μια σύντομη ιστορική αναδρομή στα οχήματα αυτά ενώ παράλληλα θα παρουσιαστεί ο τρόπος με των όποιο γίνεται η κατηγοριοποίηση τους δίνοντας έμφαση στα μη επανδρωμένα οχήματα σταθερών πτερύγιων καθώς και στα πολυ-κόπτερα. Τέλος, θα γίνει μια αναφορά στις κύριες εφαρμογές τους σε διάφορα πεδία.

2.1 Ιστορική αναδρομή

Μπαλόνια

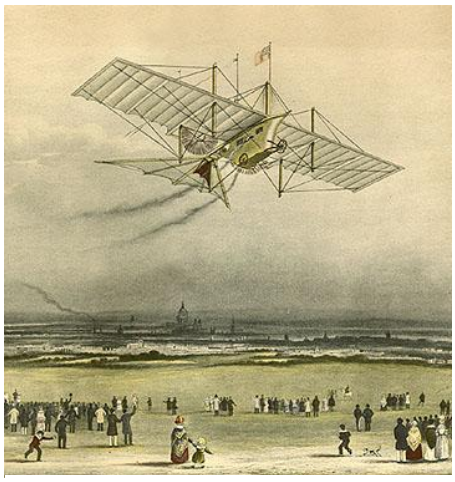
Εικόνα 2.1: Montgolfier Ballon

Οι αδελφοί Montgolfier στη Γαλλία, ήταν οι πρώτοι που πειραματίστηκαν με ιπτάμενα μπαλόνια το 1782. Κατά τη διάρκεια του αμερικανικού εμφύλιου πολέμου του 1861-1865, η Βόρεια Ένωση έθεσε εμπρηστικές συσκευές σε μη επανδρωμένα μπαλόνια παρατήρησης και τις απελευθέρωσε με σκοπό να ξεκινήσουν πυρκαγιές στην πλευρά της Νότιας Συνομοσπονδίας των γραμμών μάχης (Draganfly.com, Cam Tetrault, 2009).

Η Ιαπωνία κατασκεύασε μπαλόνια μεγάλου υψομέτρου το 1944 με εμπρηστικές βόμβες. Η αποστολή τους ήταν να ξεκινήσουν πυρκαγιές στα δάση της Βόρειας Αμερικής.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες τροποποίησαν τα αερόστατα μεγάλου ύψους στις αρχές της δεκαετίας του 1950 κάτω από τα μυστικά προγράμματα Gopher και Genetrix Strategic Reconnaissance. Τα μπαλόνια ήταν εξοπλισμένα με αυτόματα ενεργοποιημένες κάμερες οι οποίες είχαν ρυθμιστεί να καταγράφουν ευρυγώνιες απόψεις της Σοβιετικής Ένωσης. Τα αποτελέσματα αυτών των αποστολών λέγεται ότι ήταν εν μέρει επιτυχημένα.

Αεροπλάνα



Εικόνα 2.2: Aerial Steam Carriage

Ο John Stringfellow και ο William Henson από την Αγγλία το 1848 κατασκεύασαν ένα ατμοκίνητο έλικα που οδηγούσε μοντέλο αεροσκάφους με άνοιγμα φτερών 10 ποδιών που ονομάζεται Aerial Steam Carriage. Αυτό το μοντέλο πέταξε με επιτυχία για απόσταση περίπου 60 γιαρδών. Ένα άλλο μοντέλο του Stringfellow πλοηγήθηκε με καλωδιακό οδηγό μέσα στο Crystal Palace του Λονδίνου το 1868. Αυτόπτες μάρτυρες ανέφεραν ότι το ατμοκίνητο "τριπλάνο" μπορούσε να ανυψωθεί και χρησιμοποιούσε τον οδηγό σύρματος μόνο για να μην συγκρουστεί σε τοίχους. Ο αμερικανός εμπειρογνώμονας Samuel Langley το 1896 πέταξε επιτυχώς ένα μοντέλο με ατμό που ονόμασε "Aerodrome Number 5" κάτω από τον ποταμό Potomac για 3/4 του μιλίου (Draganfly.com, Cam Tetrault, 2009).

Εικόνα 2.3: Kattering Bug

Ο πρόδρομος των σημερινών UAV αναφέρεται ότι είναι μια βόμβα που κατασκευάστηκε από το αμερικανικό ναυτικό γνωστή και ως "ιπτάμενη βόμβα". Αυτός ο πύραυλος πέταξε αρχικά στις 6 Μαρτίου 1918. Η εναέρια τορπίλη Charles Kettering, γνωστή και ως Bug Kettering, ήταν μια παράλληλη προσπάθεια υποστηριζόμενη από τον αμερικανικό στρατό. Ο Orville Wright ενήργησε ως σύμβουλος για το έργο. Το "Bug" ήταν ένα βενζινοκίνητο διπλάνο που μπορούσε να διανύσει μια προεπιλεγμένη πορεία για περίπου 50 μίλια στα τέλη του 1918.

Τα συστήματα καθοδήγησης και για τα δύο αεροσκάφη σχεδιάστηκαν από τον Elmer Sperry και αποτελούνταν από ένα γυροσκόπιο, ένα βαρόμετρο και ένα αλτίμετρο.

Εικόνα 2.4: Fiesler FI 103 V1

Το Γερμανικό Fiesler FI 103 V1ή "Buzz Bomb" του 1944, ήταν ο πρώτος επιτυχημένος πύραυλος. Αυτό το όπλο τζετ ταξίδευε με ταχύτητες έως και 400 μίλια / ώρα και ήταν σε θέση να χτυπήσει το Λονδίνο με κέντρο εκτόξευσης την Γαλλία. Επίσης, η Γερμανία ανέπτυξε και χρησιμοποίησε τις βόμβες ολίσθησης Henschel Hs 293 και Fritz-X. Αυτά τα όπλα εκτοξεύονταν εναέρια από ένα μητρικό αεροσκάφος και κατευθύνονταν προς το στόχο με τις ραδιοφωνικές εντολές του χειριστή.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες ανέπτυξαν επίσης τηλεκατευθυνόμενες ιπτάμενες βόμβες κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Τον Απρίλιο του 1942, ένα διακρατικό αεροσκάφος τύπου BQ-4 / TDR (TDN) οδηγήθηκε επιτυχώς σε ένα πλοίο-στόχο χρησιμοποιώντας μια κάμερα τοποθετημένη στη μύτη για την πλοήγηση του. Οι επιχειρήσεις που έγιναν με το BQ-4 το 1944 ήταν πολύ αποτελεσματικές καθώς κατάφεραν να χτυπήσουν 18 ιαπωνικούς στόχους.

Κατά τις δεκαετίες του 1950 και του 1960 έγινε μεγάλη πρόοδος στις παραμέτρους αποστολής των UAV, των συστημάτων πρόωσης και καθοδήγησης. Το αμερικανικό ναυτικό και η πολεμική αεροπορία ξεκίνησαν προγράμματα για τη μετατροπή πλεοναζόντων αεροσκαφών σε drones στόχευσης. Αυτά τα προγράμματα συνεχίζονται μέχρι σήμερα. Τα drones στόχευσης, όπως η σειρά Ryan Firebee εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1950. Αυτά τα πρώιμα drones ονομάστηκαν ως UAV και τελικά μετατράπηκαν σε μία από τις πρώτες πλατφόρμες παρακολούθησης (Draganfly.com, Cam Tetrault, 2009).

Ένας από τους πρώτους πυρηνικούς πυραύλους UAV ήταν ο NorthrupSM-62 Snark ο οποίος μπήκε σε λειτουργιά το 1960. Τα περισσότερα UAV εκείνης της εποχής υπέφεραν από ζητήματα αξιοπιστίας ως αναφορά τα συστήματα πλοήγησης και καθοδήγησης τους.

Η ανάπτυξη των UAV συνεχίστηκε παρότι η χρησιμότητα τους αμφισβητήθηκε αρκετές φορές. Η στάση απέναντι στις UAV άλλαξε δραματικά με την εκπληκτική νίκη της Ισραηλινής Πολεμικής Αεροπορίας κατά της Συριακής Πολεμικής Αεροπορίας το 1982. Η συντονισμένη χρήση από το Ισραήλ επανδρωμένων και μη επανδρωμένων αεροσκαφών επέτρεψε να καταστραφούν 86 συριακά αεροσκάφη σε σύντομο χρονικό διάστημα με ελάχιστες απώλειες. Τα ισραηλινά αεροσκάφη χρησιμοποιήθηκαν ως ηλεκτρονικά αντιπερισπασμού, ηλεκτρονικοί παρεμβολείς και παρείχαν εποπτεία σε πραγματικό χρόνο. Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι αυτή η εκστρατεία οδήγησε στη σύγχρονη εποχή των UAV (Draganfly.com, Cam Tetrault, 2009).

2.2 Κατηγορίες μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων

Σε αυτό το υποκεφάλαιο ακολουθεί μια σύντομη αναφορά στην κατηγοριοποίηση των UAV. Κατά κύριο λόγω η κατηγοριοποίηση αυτή γίνεται αναλόγως με κάποια χαρακτηριστικά τους όπως το μέγεθος και ο αριθμός των κινητήρων που διαθέτουν.

- **UAV με βάση το μέγεθος**

Ο πρώτος βασικός τρόπος κατηγοριοποίησης των UAV είναι από το μέγεθός τους. Για να προσδιοριστεί το επίσημο μέγεθος αυτών, προσμετράτε το πλαίσιο και οι κινητήρες χωρίς να υπολογίζεται ο χώρος που καταλαμβάνουν τα πτερύγια και οι κινητήρες. Το μέγεθος συνήθως μετράτε σε χιλιοστά λόγω του μικρού τους μεγέθους και επιτρέπει στους σχεδιαστές να έχουν πιο ακριβείς μετρήσεις, αν και στα μεγαλύτερα UAV χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες μονάδες μέτρησης. Οι πιο συνηθισμένες τάξεις μεγέθους είναι (M. Hassanalian, A. Abdelkefi, 2017) :

Nano: Ο μικρότερος τύπος UAV που διατίθενται. Τα nano UAV είναι γενικά αρκετά μικρά ώστε να χωράνε στην παλάμη του χεριού. Συνήθως το μέγεθος τους κυμαίνεται από 5-100 χιλιοστά, ωστόσο έχουν σχεδιαστεί και μοντέλα που είναι κάτω από 2 χιλιοστά. Αυτά τα μικροσκοπικά drones χρησιμοποιούνται συνήθως

ως παιχνίδια για αρχάριους, καθώς το ελαφρύ βάρος τους και ο απλός χειρισμός τους καθιστούν την πτήση τους μη επικίνδυνη.

Mini: Το μέγεθος τους κυμαίνεται από 100 έως 350mm, ή από 4 έως 12 ίντσες. Σε αυτό το μέγεθος, μικρές κάμερες, ραντάρ και άλλες προσθήκες μπορούν να συμπεριληφθούν χωρίς να βαρύνουν το UAV ή να διαταράξουν ιδιαίτερα τις δυνατότητες πτήσης του. Τα μίνι drones μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν από αρχάριους λόγω του απλού τους χειρισμού και της μεγάλης αντοχής τους.

Μεσαίου μεγέθους 350-600mm: Τα UAV με μέγεθος 1-2 πόδια εμπίπτουν σε αυτήν την κατηγορία. Μεγαλύτερες κάμερες καθώς και βαρύτερος εξοπλισμός μπορεί να τοποθετηθεί στα drones αυτού του μεγέθους. Επίσης μπορούν να μετακινηθούν πιο μακριά από το κέντρο ελέγχου τους. Αυτά τα drones είναι επίσης τα πιο δημοφιλή για αγωνιστικούς σκοπούς, καθώς είναι αρκετά μεγάλα ώστε να μπορούν εύκολα να εντοπιστούν και απαιτούν αρκετή δεξιότητα από τον χειριστή για να πετάξουν.

Μεγάλου μεγέθους: Τα περισσότερα drones πάνω από δύο πόδια ανήκουν σε αυτή την κατηγορία και χρησιμοποιούνται για εργασίες μεγάλου φορτίου ανύψωσης. Οι ισχυροί κινητήρες και τα ανθεκτικά πλαίσια κατασκευάζονται για να μπορούν να μεταφέρουν μεγάλα βάρη για παρατεταμένες χρονικές περιόδους. Ορισμένα UAV μπορούν να ανυψώσουν έως και 30 κιλά κάθε φορά, ενώ άλλα μπορούν να μεταφέρουν μικρότερο φορτίο για μια ώρα ή και περισσότερο. Είναι χρήσιμα για τη μεταφορά βαρέων φορτίων τόσο σε μακρινές όσο και σε δυσπρόσιτες περιοχές.

- **UAV με βάση τους ρότορες**

Τα UAV με ρότορες αποτελούν τον δημοφιλέστερο τύπο drone. Χρησιμοποιούν περιστρεφόμενες έλικες για να επιτύχουν ανύψωση και ορμή. Τα περισσότερα είναι drones πολλαπλών κινητήρων και ταξινομούνται με βάση τον

αριθμό των περιστροφικών κινητήρων που διαθέτουν. Η πτήση τους ομοιάζει αρκετά με αυτή ενός ελικοπτέρου αλλά αντί να χρησιμοποιούν ρότορες μεταβλητού βήματος χρησιμοποιούν πτερύγια σταθερού βήματος. Η ταχύτητα, η ώθηση και η ροπή ελέγχονται ξεχωριστά για κάθε ρότορα, επιτρέποντας στον πιλότο να κάνει μικρές αλλαγές κατά την διάρκεια της πτήσης. Μπορούν επίσης να αιωρούνται σε ένα σημείο για παρατεταμένες χρονικές περιόδους. Αυτή η ευκολία ελέγχου τα καθιστά ιδιαίτερα δημοφιλή τόσο για αρχάριους χρήστες όσο και για εξειδικευμένους, που θέλουν χειριστική ακρίβεια.

Ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να κατηγοριοποιηθούν τα μη επανδρωμένα οχήματα αυτής της κατηγορίας είναι πολύ μεγάλος ωστόσο σε γενικές γραμμές οργανώνονται με βάση τον αριθμό των περιστροφικών κινητήρων που έχουν. Έτσι, προκύπτουν οι ακόλουθες κατηγορίες (M. Hassanalian, A. Abdelkefi,2017) :

Μονοκόπτερα: Με ένα μόνο ρότορα, αυτή η κατηγορία αποτελεί μια νέα προσθήκη στην οικογένεια των μη επανδρωμένων οχημάτων. Κυρίως αποτελούνται από ένα ενιαίο πτερύγιο με ένα μοτέρ στο τέλος. Ολόκληρο το αεροσκάφος περιστρέφεται γύρω από το κέντρο της μάζας του κατά την πτήση. Παράγουν ώση και αναπτύσσουν ταχύτητα με γρήγορη περιστροφή του πτερυγίου τους και η κατασκευή τους αποτελεί πρόκληση από άποψη μηχανικής. Ωστόσο, κατασκευάζονται μονοκόπτερα από αρκετούς κατασκευαστές λόγω του εξαιρετικά συμπαγούς τους μεγέθους και της φορητότητάς τους.

Τρικόπτερα: Οι τρεις ρότορες που διαθέτουν είναι τοποθετημένοι σε τριγωνική διάταξη και τα βοηθούν σε πτήση ισορροπίας δηλαδή, στην διατήρηση της θέσης τους. Η μια έλικα του συνήθως, είναι υπεύθυνη για την πλοήγηση του στον χώρο. Τα τρικόπτερα, εάν έχουν κατασκευαστεί με σωστό τρόπο, είναι πιο αποδοτικά όσον αφορά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας τους συγκριτικά με τα τετρακόπτερα. Επίσης, είναι σχετικά φθηνότερα, καθώς χρειάζονται λιγότερα υλικά και εξαρτήματα.

Τετρακόπτερα: Το τετρακόπτερο είναι το πιο συνηθισμένο είδος μη επανδρωμένου οχήματος με τέσσερις ρότορες, είναι ασφαλές και σταθερό και αποτελεί μια σχετικά οικονομική επιλογή. Παράγουν αρκετή δύναμη άντωσης και μπορούν να προσγειωθούν με ασφάλεια ακόμη και αν ένας από του ρότορες πάθει βλάβη κατά την διάρκεια της πτήσης.

Εξακόπτερα: Με έξι ρότορες, τα εξακόπτερα είναι πολύ πιο σταθερά από τα τετρακόπτερα. Μπορούν να δημιουργήσουν μεγαλύτερη δύναμη ώσης, να διανύσουν μεγαλύτερες αποστάσεις και να πλοηγηθούν στον χώρο με περισσότερη ακρίβεια. Ανάλογα με τη θέση των κινητήρων περιστροφής που έπαθαν βλάβη κατά την διάρκεια της πτήσης, μπορούν να χάσουν μέχρι και τους μισούς από αυτούς και παρόλα αυτά να πραγματοποιήσουν μια ασφαλή προσγείωση. Σε αυτήν την κατηγορία αξίζει να αναφέρουμε την ύπαρξη μιας υποκατηγορίας που ονομάζεται Y6. Η διαφοροποίηση της με τα κοινά ελικόπτερα έχει να κάνει με την διαφορετική διάταξη των κινητήρων της. Τρεις είναι τοποθετημένοι στην κορυφή του πλαισίου και τρεις κάτω από το πλαίσιο, δίνοντας έτσι μια πιο συμπαγή και ανθεκτική κατασκευή (Prophotouav.com, 2016).

Οκτακόπτερα: Τα οκτακόπτερα αποτελούν τη μεγαλύτερη (κοινή) κατηγορία πολυ-κόπτερων από άποψη μεγέθους καθώς αποτελούνται από οκτώ ρότορες. Αν και η διάρκεια ζωής της μπαταρίας τους είναι αρκετά μικρή λόγω των οκτώ απαιτητικών κινητήρων που διαθέτουν, μπορούν να αναπτύξουν την μεγαλύτερη δύναμη άντωσης άλλα και ταχύτητας σε σχέση με τα άλλα πολυ-κόπτερα. Μπορούν να συγκρατούν αρκετά μεγάλα φορτία, να ελέγχονται με μεγάλη ευελιξία και είναι εξαιρετικά ασφαλή και αξιόπιστα κατά την προσγείωση ακόμη κι όταν έχουν υποστεί κάποια βλάβη.

X8: Παρόμοια με τα Y6, τα πολυκόπερα X8 είναι ένα είδος τετρακοπτέρου που έχει οκτώ ρότορες. Οι τέσσερις είναι τοποθετημένοι στην κορυφή του πλαισίου τους και οι άλλοι τέσσερις στο κάτω μέρος του. Αυτό τους δίνει περίπου την ίδια ισχύ με ένα οκτακόπτερο, αλλά σε πολύ μικρότερο μέγεθος και

αποτύπωμα. Αυτό επιτρέπει τόσο την ευκολότερη μεταφορά τους όσο και τη μεγαλύτερη ευελιξία τους κατά την διάρκεια της πτήσης. Είναι επίσης πιο αξιόπιστα από ένα τετρακόπτερο σε περίπτωση βλάβης ενός κινητήρα. Επιπλέον, είναι πολύ πιο σταθερά στην πτήση τους σε συνθήκες ανέμου (Prophotouav.com, 2016).

Σε αντίθεση με τα πολυ-κόπτερα, τα μη επανδρωμένα οχήματα τύπου αεροπλάνου χρησιμοποιούν στατικά φτερά κατά την πτήση τους. Αυτά λειτουργούν μέσω των διαμορφωμένων πτερύγιων τους, τα οποία δημιουργούν ανύψωση και τα κρατούν στον αέρα για εκτεταμένες περιόδους. Αυτό τους δίνει την δυνατότητα να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια και μπορούν να διαρκέσουν περισσότερο από τα πολυ-κόπτερα. Ωστόσο, ο χειρισμός τους είναι αρκετά πιο δύσκολος σε σχέση με ένα πολυ-κόπτερο καθώς δεν μπορούν να αιωρηθούν πάνω από μια συγκεκριμένη θέση και συνήθως κοστίζουν περισσότερο. Τα μη επανδρωμένα οχήματα αυτά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τα είδη των πτερυγίων που διαθέτουν.

Αεροπλάνα: Πριν εμφανιστούν τα πολυ-κόπτερα, τα μη επανδρωμένα οχήματα μορφής αεροπλάνου ήταν τα πιο κοινά. Φαίνονται και λειτουργούν παρόμοια με τα πραγματικά αεροπλάνα ωστόσο διαθέτουν μακρύτερα πτερύγια, τα οποία χρησιμοποιούν την διαφορά πίεσης του αέρα στα πτερύγιά τους για να σηκωθούν από το έδαφος και να παραμείνουν στον αέρα. Αυτό τους επιτρέπει να χρησιμοποιούν πολύ λιγότερη ενέργεια σε σχέση με αυτά που διαθέτουν ρότορες, καθιστώντας τα ιδανικά για μακρύτερες πτήσεις(M. Hassanalian, A. Abdelkefi, 2017).

Σταθερής πτέρυγας: Παρόμοια με τα αεροπλάνα, τα οχήματα σταθερής πτέρυγας δεν είναι αναγκασμένα να συμμορφώνονται σε συγκεκριμένη εμφάνιση και πλατφόρμα. Εξαιτίας αυτού, έχουν ένα πολύ μεγαλύτερο εύρος προσαρμοστικότητας. Είναι δημοφιλείς μεταξύ των χρηστών που τα χρησιμοποιούν σε αγώνες, καθώς τα τροποποιούν ή τα κατασκευάζουν με τον δικό

τους μοναδικό τρόπο. Επειδή η πλατφόρμα αυτή δεν έχει σκελετό είναι πιο ευκίνητη και ικανή να εκτελέσει ακροβατικούς ελιγμούς στον αέρα.

VTOL (Κάθετη απογείωση και προσγείωση): Ένα υβριδικό όχημα μεταξύ πολυ-κοπτέρων και αεροπλάνων, το VTOL περιλαμβάνει τόσο σταθερά πτερύγια όσο και έλικες που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της πτήσης. Οι έλικες, τους επιτρέπουν να απογειώνονται κάθετα και να αιωρούνται, ενώ τα φτερά τους επιτρέπουν να διανύουν μεγάλες αποστάσεις χωρίς να χρησιμοποιούν επιπλέον ενέργεια. Πρόκειται για έναν καλό συμβιβασμό μεταξύ πολυ-κοπτέρων και αεροπλάνων (Prophotouav.com, 2016).

Ορνιθοκόπτερα: Τα ορνιθοκόπτερα είναι το αποτέλεσμα μηχανικής παλαιότητας ενός και πλέον αιώνα, αλλά είναι σχετικά καινούργια στη σκηνή των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων. Ως μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα, μιμούνται την εμφάνιση και τον πτητικό μηχανισμό των πτηνών. Η πηγή ισχύος τους είναι συνήθως ένας ηλεκτροκινητήρας που ελέγχεται από το έδαφος με τηλεχειρισμό. Διαμορφώνονται με βάση τα πραγματικά πτηνά τόσο σε εμφάνιση όσο και σε λειτουργία και χρησιμοποιούν σύνθετους αεροδυναμικούς υπολογισμούς για να τα μιμηθούν την λειτουργιά των πτηνών. Θεωρείται ότι τα κινούμενα φτερά μπορούν να εξοικονομήσουν ενέργεια και να κάνουν την απογείωση ευκολότερη σε σύγκριση με τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα σταθερής πτέρυγας. Για να δοκιμάσουν αυτή τη θεωρία, οι μηχανικοί των ορνιθοκόπτερων μελετούν συνεχώς τα πτηνά για να ρυθμίσουν τα μηχανικά μέρη των ορνιθοκοπτέρων ώστε η συμπεριφορά τους να ομοιάζει με αυτήν των πτηνών. Τα ορνιθοκόπτερα συχνά είναι διακοσμημένα με τέτοιο τρόπο ώστε να μιμούνται τα φυσικά πτηνά μιας περιοχής. Με αυτό το καμουφλάζ, οι ερευνητές μπορούν να διεισδύσουν σε πραγματικά σμήνη με σκοπό να μελετήσουν και να παρατηρήσουν τη συμπεριφορά τους. Τέλος, τα ορνιθοκόπτερα μερικές φορές χρησιμοποιούνται για να μιμούνται πραγματικά γεράκια ή αετούς ώστε να απομακρύνουν τα τρωκτικά από τις καλλιέργειες ή να τα οδηγήσουν σε παγίδες (M. Hassanalian, A. Abdelkefi, 2017).

Στην συνέχεια θα γίνει μια πιο ενδελεχής αναφορά τόσο των χαρακτηριστικών όσο και των μειονεκτημάτων – πλεονεκτημάτων των μη επανδρωμένων οχημάτων τύπου σταθερής πτέρυγας σε σχέση με τα πολυ-κόπτερα καθώς αποτελούν εάν από τα κύρια κομμάτια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2.3 Μη επανδρωμένα οχήματα τύπου σταθερής πτέρυγας

Τα μη επανδρωμένα οχήματα τύπου σταθερής πτέρυγας αποτελούνται από ένα άκαμπτο πτερύγιο το οποίο έχει μια προκαθορισμένη δομή με καμπύλες επιφάνειες που έχουν σχεδιαστεί για να δίνουν την πιο ευνοϊκή αναλογία ανύψωσης / αεροδυναμικής αντίστασης (lift / drag). Με την βοήθεια αυτής της διάταξης είναι ικανά να πετάξουν στον αέρα καθώς δημιουργείται άντωση κάνοντας χρήση της εμπρόσθιας ταχύτητας του αέρα. Αυτή η εμπρόσθια ταχύτητα του αέρα οφείλεται στην πρόσθιο ώση που παράγεται μέσω ενός έλικα που στρέφεται από μια μηχανή εσωτερικής καύσης ή από ένα ηλεκτρικό-κινητήρα. Ο έλεγχος του οχήματος κατά την διάρκεια της πτήσης προέρχεται από της επιφάνειες ελέγχου που είναι ενσωματωμένες στην διάταξη του πτερυγίου και συνήθως αποτελούνται από ένα πηδάλιο κλίσεως αέρα, από ένα εξυψωτήρα και από ένα πηδάλιο-τιμόνι. Αυτές οι επιφάνειες επιτρέπουν στο UAV να περιστρέφεται ελεύθερα γύρω από τρεις άξονες που είναι κάθετοι ο ένας στον άλλο και τέμνονται στο κέντρο βάρους του. Ο εξυψωτήρας ελέγχει την πρόνευση (πλευρικός άξονας) του οχήματος, το πηδάλιο κλίσεως αέρα ελέγχει τον διατοιχισμό του (διαμήκεις άξονας) και τέλος το πηδάλιο-τιμόνι ελέγχει την εκτροπή του (κατακόρυφος άξονας) (M.A. Boon, A. P. Drijfhout S. Tesfamichael, 2017).

Το κύριο πλεονέκτημα ενός μην επανδρωμένου οχήματος τύπου σταθερής πτέρυγας είναι ότι αποτελείται από μια πολύ απλούστερη δομή σε σύγκριση με ένα πολυ-κόπτερο. Η απλούστερη δομή παρέχει μια λιγότερο περίπλοκη διαδικασία συντήρησης και

επιδιόρθωσης, επιτρέποντας έτσι στον χρήστη περισσότερο χρόνο λειτουργίας του με χαμηλότερο κόστος. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι λόγω της απλής δομής του εξασφαλίζεται πιο αποτελεσματική αεροδυναμική και έτσι προκύπτουν πτήσεις μεγαλύτερης διάρκειας σε υψηλότερες ταχύτητες δίνοντας τη δυνατότητα έρευνας σε μεγαλύτερες περιοχές ανά δεδομένη πτήση. Ένα ακόμα πλεονέκτημα τους είναι ότι μπορούν να πετούν με μηδενική κατανάλωση ενέργειας λόγω της φυσικής ιδιότητας που έχουν να γλιστρούν στον αέρα.

Το πρώτο μειονέκτημα που παρουσιάζει η συγκεκριμένη πλατφόρμα είναι ότι για την απογείωση καθώς και την προσγείωσή της απαιτείται η χρήση ενός εκτοξευτή ή ενός διαδρόμου προσγείωσης-απογείωσης, ωστόσο οι πλατφόρμες VTOL (κατακόρυφης απογείωσης / προσγείωσης) και STOL (σύντομης απογείωση / προσγείωσης) χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο αποσκοπώντας στην εξάλειψη αυτού του ζητήματος. Επιπροσθέτως, τα μη επανδρωμένα οχήματα τύπου σταθερής πτέρυγας απαιτούν την ροή αέρα πάνω από τα πτερύγια τους καθώς και την συνεχή εμπρόσθια κίνησή τους για την παραγωγή άντωσης, γεγονός που τα αποτρέπει από το να μπορούν να μείνουν στατικά πάνω από μια περιοχή όπως τα πολυ-κόπτερα. Ως αποτέλεσμα γίνεται αντιληπτό πως τα οχήματα αυτού του τύπου δεν είναι κατάλληλα για στατικές εφαρμογές όπως π.χ. εργασίες παρακολούθησης υποδομών (M.A. Boon, A. P. Drijfhout S. Tesfamichael, 2017).

2.4 Πολυ-κόπτερα

Τα πολυ-κόπτερα αποτελούνται από 2 ή 3 πτερύγια ανά έλικα που περιστρέφονται γύρω από έναν σταθερό άξονα. Αυτή η διάταξη μαζί με τον κινητήρα είναι γνωστή και ως ρότορας. Τα οχήματα αυτής της κατηγορίας όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω συναντώνται σε ευρεία γκάμα διατάξεων. Συνήθως αποτελούνται από ένα ρότορα (μονοκόπτερο), τρεις ρότορες (τρικόπτερο), τέσσερις ρότορες (τετρακόπτερο), έξι ρότορες (εξακόπτερο), οκτώ ρότορες (οκτακόπτερο) ωστόσο εμφανίζονται και σε πιο ασυνήθιστες

διατάξεις όπως με δώδεκα και με δεκαέξι ρότορες. Γίνεται αντιληπτό ότι κάθε διάταξη έχει τα δικά της μοναδικά χαρακτηριστικά, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Τα πτερύγια του ρότορα λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο όπως ένα άκαμπτο φτερό, ωστόσο δεν απαιτείται η σταθερή κίνηση προς τα εμπρός προκειμένου να παραχθεί ροή αέρα πάνω από αυτά, αλλά για να παράγουν την απαιτούμενη ροή αέρα ώστε να υπάρξει άντωση του πολυ-κοπτέρου βρίσκονται σε διαρκή κίνηση. Ο έλεγχος των πολυ-κοπτέρων προέρχεται από τη μεταβολή της ώσης και της ροπής των ροτόρων. Για παράδειγμα, ένα τετρακόπτερο προκειμένου να πάρει μια καθοδική κλήση οι ρότορες που βρίσκονται στο πίσω μέρος του πρέπει να παράγουν περισσότερη άντωση από τους ρότορες βρίσκονται στο μπροστινό μέρος του, με αποτέλεσμα το πίσω μέρος του τετρακοπτέρου να ανέβει ψηλότερα από το εμπρόσθιο. Η κίνηση της εκτροπής χρησιμοποιεί τη δύναμη ροπής του ρότορα. Έτσι οι διαγώνιοι ρότορες είτε περιστρέφονται περισσότερο ή λιγότερο από τους αντιδιαγώνιους ρότορές τους δημιουργώντας έτσι μια ανισορροπία στον άξονα εκτροπής, προκαλώντας την περιστροφή του τετρακοπτέρου στον κάθετο άξονα. Μοναδική εξαίρεση στον τρόπο κίνησης των πολυ-κοπτέρων αποτελούν τα τρικόπτερα καθώς ο ρότορας στο πίσω μέρος τους χρειάζεται ένα σερβομηχανισμό προκειμένου να είναι σε θέση να κατευθύνει την ώση που παράγει και να υπάρξει κίνηση του στον κατάκορφο άξονα (M.A. Boon, A. P. Drijfhout S. Tesfamichael, 2017).

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των πολυ-κοπτέρων είναι η ικανότητα τους να απογειώνονται και να προσγειώνονται κάθετα. Αυτό επιτρέπει την χρήση τους ακόμη και σε περιοχές με περιορισμένο χώρο καθώς δεν απαιτείται περιοχή προσγείωσης / απογείωσης. Η ικανότητά τους να αιωρούνται και να εκτελούν ευέλικτους ελιγμούς, καθιστά τα UAV αυτής της κατηγορίας κατάλληλα για εφαρμογές όπως, παρακολούθηση περιοχής περιορισμένου εύρους, όπου απαιτούνται χειρισμοί ακριβείας καθώς και διατήρηση οπτικής επαφής με στόχους για παρατεταμένες χρονικές περιόδους. Από την άλλη μεριά, τα πολυ-κόπτερα έχουν αυξημένη μηχανική και ηλεκτρονική πολυπλοκότητα με αποτέλεσμα να απαιτούν πολυπλοκότερες διαδικασίες συντήρησης. Αυτό με τη σειρά του οδηγεί σε μείωση του χρόνου λειτουργίας τους, συνεπώς και σε αύξηση του λειτουργικού τους κόστους. Εν κατακλείδι, λόγω της μικρότερης ταχύτητάς τους και των

συντομότερων πτήσεων, απαιτούνται πολλές επιπλέον πτήσεις για την διερεύνηση μεγάλων περιοχών, γεγονός που στοιχίζει τόσο σε χρόνο όσο και σε λειτουργικά έξοδα.

2.5 Εφαρμογές μη επανδρωμένων οχημάτων

Από τα χαρακτηριστικά των μη επανδρωμένων οχημάτων που έχουν παρουσιαστεί στην προηγούμενη ενότητα γίνεται αντιληπτό ότι τα οχήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πλατφόρμες συλλογής δεδομένων σε εφαρμογές φωτογραμμετρίας αλλά και ευρύτερα στις γεωεπιστήμες. Έτσι, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν σε αυτή την ενότητα εφαρμογές που έχουν άμεσο αντίκτυπο στις παραπάνω επιστήμες καθώς και στο αντικείμενο του Μηχανικού Ορυκτών Πόρων.

2.5.1 Εναέρια χαρτογράφηση

Η εναέρια χαρτογράφηση είναι η διαδικασία δημιουργίας ενός χάρτη από αεροφωτογραφίες. Μια αεροφωτογραφία παραμορφώνεται εγγενώς από την παραμόρφωση του φακού της κάμερας, την οπτική γωνία και την τοπογραφία της περιοχής που απεικονίζεται και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χάρτης χωρίς να πραγματοποιηθεί κάποια διόρθωση. Ωστόσο, η παραμόρφωση ενός εναέριου χάρτη μπορεί να διορθωθεί μέσω μιας διαδικασίας που είναι γνωστή ως ορθοαναγωγή. Με την βοήθεια της διαδικασίας αυτής ο χάρτης μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση αποστάσεων και κλίμακας. Η εναέρια χαρτογράφηση είναι η βασική διαδικασία που είναι απαραίτητη για πολλές εφαρμογές των μη επανδρωμένων οχημάτων, όπως εναέρια τοπογραφία και η γεωργία ακριβείας. Αυτές οι εφαρμογές συχνά αρχίζουν με την δημιουργία ενός βασικού εναέριου χάρτη με την χρήση διαφορετικών αισθητήρων και στη συνέχεια γίνεται ανάλυση των δεδομένων του προκειμένου να ερμηνευτούν ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Η διαδικασία δημιουργίας ενός εναέριου χάρτη με μη επανδρωμένα αεροσκάφη ξεκινά με τη συλλογή αεροφωτογραφιών που καλύπτουν τη γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος. Η απλή συνένωση των διαδοχικών εικόνων μπορεί να δημιουργήσει ένα απλοϊκό δισδιάστατο μωσαϊκό της περιοχής, αλλά η παραμόρφωση από

την κάμερα και η οπτική γωνία των εικόνων αποτρέπει το μωσαϊκό αυτό από το να είναι ακριβές. Προκειμένου να δημιουργηθεί ένας ακριβής εναέριος χάρτης, μια φωτογραμμετρική διαδικασία χρησιμοποιείται για τη διόρθωση της παραμόρφωσης της κάθε εικόνας καθώς και στο να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο σχήμα του εδάφους. Η διαδικασία της φωτογραμμετρίας που χρησιμοποιείται συνήθως στην χαρτογράφηση με χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων βασίζεται στις αρχές του ¨structure from motion" (δόμησης από κίνηση) που χρησιμοποιούν πολλαπλές προοπτικές ενός αντικειμένου για τον προσδιορισμό του τρισδιάστατου σχήματός του. Όταν εφαρμόζεται στην εναέρια χαρτογράφηση, σημαίνει ότι οι εικόνες συνήθως συλλέγονται έτσι ώστε η κάθε μια να επικαλύπτει την άλλη με κατεύθυνση προς τα εμπρός και οι διαδοχικές λωρίδες εικόνων επικαλύπτουν τις άλλες λωρίδες, τυπικά τουλάχιστον κατά 2 / 3 (ή το 66%), έτσι ώστε να συλλέγονται πολλαπλές προοπτικές οποιουδήποτε σημείου. Μετά τη λήψη των αεροφωτογραφιών, κατάλληλο λογισμικό εκτελεί υπολογισμούς για να δημιουργήσει ένα τρισδιάστατο μοντέλο της απαιτούμενης περιοχής. Το μοντέλο που προκύπτει από αυτήν την διαδικασία εξάγεται συχνά σε λογισμικό για περαιτέρω επεξεργασία ή ανάλυση ανάλογα με τον τύπο της εφαρμογής (Douglas M.Marshall et al., 2016).

2.5.2 Εναέρια Αποτύπωση (Surveying)

Η εναέρια αποτύπωση συγχέεται συχνά με την εναέρια χαρτογράφηση και μερικές φορές οι όροι χρησιμοποιούνται αλληλένδετα. Ωστόσο, ο όρος αποτύπωση διαφοροποιείται από την χαρτογραφία μέσω της μέτρησης των φυσικών χαρακτηριστικών. Πολλές εναέριες αποτυπώσεις ξεκινούν με ένα εναέριο χάρτη της περιοχής ενδιαφέροντος, αλλά η διαδικασία της αποτύπωσης υποδηλώνει ότι τα χαρακτηριστικά μετρούνται πέρα από μια απλή απεικόνιση τους. Οι τοπογραφικοί χάρτες είναι ένα καλό παράδειγμα ενός εναέριου χάρτη που αποτελεί ένα τύπο αποτύπωσης. Η διαδικασία δημιουργίας ενός τοπογραφικού χάρτη από δεδομένα μη επανδρωμένων οχημάτων αρχίζει

με τη συλλογή εικόνων όπως περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 2.5.1, οι οποίες στη συνέχεια μετατρέπονται σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Το μοντέλο αυτό μπορεί στη συνέχεια να εξαχθεί σε Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα (GIS) για τη δημιουργία γραμμών περιγράμματος και ισοϋψείς καμπύλες. Οι γραμμές περιγράμματος μπορούν να επικαλύπτονται στο πάνω μέρος της εικόνας ή μπορούν να σχηματίσουν τον δικό τους χάρτη. Τέλος, ένας τοπογραφικός χάρτης επιτρέπει την ταχεία αναγνώριση του υψομέτρου οποιουδήποτε σημείου στο χάρτη (Douglas M.Marshall et al., 2016).

2.5.3 Μέτρηση όγκου

Η μέτρηση του όγκου των φυσικών αντικειμένων ή κενών χώρων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για πολυάριθμες εφαρμογές ιδιαίτερα αυτές που βασίζονται στη γνώση της ποσότητας των αποθηκευμένων υλικών ή της ποσότητας υλικού που έχει αφαιρεθεί από μια περιοχή. Το ίδιο τρισδιάστατο μοντέλο που περιγράφηκε στην παράγραφο 2.5.1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του όγκου που βρίσκεται κάτω ή από πάνω από τα αντικείμενα του μοντέλου. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τη βιομηχανία εξόρυξης, η οποία πρέπει να γνωρίζει επακριβώς πόσο υλικό αφαιρείται από ένα ορυχείο τόσο για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τους κανονισμούς όσο και για την μέτρηση της παραγωγικότητας. Ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας άνθρακα πρέπει να διατηρεί ορισμένο αριθμό ημερών καύσης του αποθεματοποιημένου άνθρακα με συνέπεια να πρέπει να γνωρίζει επακριβώς την ποσότητα του άνθρακα που υπάρχει σε μια περιοχή. Οι τοπογραφικές έρευνες χρησιμοποιούνταν παραδοσιακά για την επαλήθευση του όγκου του αποθηκευμένου άνθρακα, αλλά ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα μπορεί να πετάξει πάνω από τις περιοχές αποθεμάτων και από τα ορυχεία σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα και έτσι να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο της περιοχής μέσω του οποίου μπορεί να υπολογιστεί ο όγκος. Ωστόσο οι ογκομετρικές έρευνες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε σφάλματα του τρισδιάστατου μοντέλου. Ακόμα και μικρά σφάλματα μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα σημαντική διαφορά στον υπολογισμένο όγκο (Douglas M.Marshall et al., 2016).

2.5.4 Επιθεώρηση πετρελαίου και φυσικού αερίου

Η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι ένας από τους μεγαλύτερους κλάδους παγκοσμίως, με κατανάλωση περισσότερων από 30 δισεκατομμυρίων βαρελιών κάθε χρόνο. Η υποδομή που απαιτείται για την υποστήριξη του κλάδου αυτού είναι τεράστια και επειδή μια ανεξέλεγκτη διαρροή πετρελαίου μπορεί να προκαλέσει τεράστια περιβαλλοντική ζημιά, είναι πολύ σημαντικό αυτή η υποδομή να συντηρείται με σωστό τρόπο. Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλαπλές εφαρμογές στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, όπως οι ακόλουθες (Douglas M.Marshall et al., 2016):

- **Επιθεώρηση αγωγών**: Οι σωληνώσεις μπορούν να επιθεωρούνται από ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα για τον εντοπισμό διαρροών ή ζημιών στον αγωγό. Ο έλεγχος του αγωγού εξακολουθεί να διεξάγεται κυρίως με τη χρήση αεροσκάφους χαμηλής πτήσης, αλλά υπάρχει αυξανόμενη πίεση για την εκτέλεση αυτών των ελέγχων με μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος χαμηλής πτήσης μπορεί να εντοπίσει διαρροές ή ζημιές αναζητώντας σημάδια μιας διαρροής στην βλάστηση που υπάρχει γύρω από τον αγωγό. Το ορατό μαύρισμα της βλάστησης που βρίσκεται κοντά στον αγωγό είναι συχνά η πρώτη ένδειξη διαρροής ενός θαμμένου αγωγού φυσικού αερίου. Το πετρέλαιο που διαρρέει από έναν υπέργειο αγωγό έχει παρόμοιες επιπτώσεις στη βλάστηση.

- **Επιθεώρηση Υψικαμίνου**: Οι υψικάμινοι χρησιμοποιούνται για την καύση του περισσευούμενου αερίου που μπορεί να συσσωρευτεί ως αποτέλεσμα της παραγωγής πετρελαίου ή των διαδικασιών βελτίωσής του. Ιστορικά, η επιθεώρηση των υψικαμίνων για τυχόν φθορές ή ζημίες γινόταν με παύση της λειτουργίας τους όσο ο τεχνικός, πραγματοποιούσε οπτικό έλεγχο των επιμέρους τμημάτων τους. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να επιθεωρήσουν τις υψικαμίνους χωρίς να σταματήσουν την λειτουργία τους και χωρίς να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο έλεγχός τους.

Έτσι, η λειτουργία ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους ως πλατφόρμα αισθητήρα αυξάνει τόσο την απόδοση όσο και την ασφάλεια της όλης διαδικασίας.

- **Εξερεύνηση πετρελαίου και φυσικού αερίου:** Η θέση των κοιτασμάτων πετρελαίου σε ολόκληρο τον πλανήτη είναι μια συνεχιζόμενη προσπάθεια που απαιτεί πολλούς τύπους δεδομένων. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη δίνουν στους γεωλόγους και τους γεωφυσικούς ένα νέο εργαλείο προς χρήση στις προσπάθειες εξερεύνησης κοιτασμάτων. Υπάρχουν χαρακτηριστικά που υποδεικνύουν την παρουσία υπόγειων κοιτασμάτων πετρελαίου και αερίου που μπορούν να ανιχνευθούν από μια εναέρια πλατφόρμα. Τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα μπορούν να χρησιμοποιούν τεχνικές χαρτογράφησης και χωρομέτρησης για τον εντοπισμό αυτών των χαρακτηριστικών και να υποδείξουν περιοχές στα πληρώματα εδάφους που χρήζουν περαιτέρω ανάλυσης. Μπορούν επίσης να συλλέγουν δεδομένα από σεισμικούς αισθητήρες που βρίσκονται στο έδαφος από απόσταση όταν διεξάγονται σεισμικές δοκιμές για τη χαρτογράφηση του υπεδάφους μιας περιοχής.

Κάποιες άλλες εφαρμογές των μη επανδρωμένων αεροσκαφών θα αναφερθούν ονομαστικά στην συνέχεια καθώς δεν σχετίζονται με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και το αντικείμενο του Μηχανικού Ορυκτών Πόρων. Πιο συγκεκριμένα:

- Εφαρμογές γεωργίας ακριβείας
- Εφαρμογές που σχετίζονται με πολιτικές υποδομές
- Επιθεώρηση ανεμογεννητριών
- Επιθεώρηση πύργων-κεραιών
- Εναέρια βιντεοσκόπηση και φωτογράφιση
- Εφαρμογές πληροφοριών, αναγνώρισης και αντίδρασης έκτακτης ανάγκης
- Συλλογή ατμοσφαιρικών πληροφοριών
- Εφαρμογές που απαιτούν φυσική αλληλεπίδραση με ουσίες, υλικά ή αντικείμενα

2.6 Συμπεράσματα

Σε αυτό το Κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα. Αρχικά, γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή και ακολουθεί η παρουσίαση των κατηγοριών UAV που υπάρχουν σήμερα δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στα UAV τύπου σταθερής πτέρυγας και στα πολυ-κόπτερα, καθώς αυτά τα δύο αποτελούν τις πλατφόρμες που θα συγκριθούν ως προς την αποτελεσματικότητα τους στην αποτύπωση μιας περιοχής. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται στο Κεφάλαιο 6. Στο Κεφάλαιο που ακολουθεί θα παρουσιαστούν βασικές έννοιες της επιστήμης της φωτογραμμετρίας οι οποίες σχετίζονται με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Κεφάλαιο 3: Φωτογραμμετρία και βασικές έννοιες

Η Φωτογραμμετρία είναι η επιστήμη που ασχολείται με την απόκτηση αξιόπιστης πληροφορίας σχετικά με φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων αλλά και προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το κύριο αντικείμενο της Φωτογραμμετρίας είναι η μέτρηση των αντικειμένων και του περιβάλλοντος που απεικονίζονται σε εικόνες καθώς και η απεικόνιση του περιεχομένου της εικόνας στις δύο ή τρεις διαστάσεις. Αναλόγως με την τοποθεσία του σταθμού λήψης η επιστήμη της Φωτογραμμετρίας χωρίζεται σε δυο κατηγορίες: την εναέρια και την επίγεια. Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε χρήση της εναέριας φωτογραμμετρίας, η οποία παρουσιάζεται στο υποκεφάλαιο που ακολουθεί (Πέτσα, 2000).

3.1 Εναέρια Φωτογραμμετρία

Η εναέρια φωτογραμμετρία χρησιμοποιεί από αέρος εικόνες και συντεταγμένες εδάφους για να δημιουργήσει αποτελεσματικά τη γεωμετρία ενός τμήματος της γήινης επιφάνειας σε ένα εικονικό-ψηφιακό περιβάλλον. Σε αυτό το εικονικό περιβάλλον, είναι δυνατή η λήψη αξιόπιστων οριζόντιων και κάθετων μετρήσεων με σκοπό την άμεση καταγραφή τους σε ένα αρχείο γεωχωρικών δεδομένων. Ακριβείς μετρήσεις μπορούν να καταγραφούν από εναέριες φωτογραφίες, χρησιμοποιώντας παραδοσιακές μεθόδους, μόνο όταν πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις: α) τα στερεοσκοπικά ζεύγη εικόνων (δύο ή περισσότερες επικαλυπτόμενες φωτογραφίες) πρέπει να καλύπτουν το προς ανάλυση αντικείμενο, β) οι ακριβείς x, y, και z συντεταγμένες θα πρέπει να είναι γνωστές για τουλάχιστον τρία καθορισμένα σημεία του αντικειμένου στις επικαλυπτόμενες φωτογραφίες και τέλος γ) θα πρέπει η χαρτογραφική ή η μετρητική κάμερα που θα χρησιμοποιηθεί για την λήψη των απεικονίσεων να είναι βαθμονομημένη.

3.2 Βαθμονόμηση συστήματος καταγραφής

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, σημαντικό στοιχείο για την διεξαγωγή εναέριων φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων αποτελεί η ύπαρξη καταγραφικού συστήματος. Ωστόσο για να είναι αξιόπιστες οι απεικονίσεις του καταγραφικού συστήματος θα πρέπει να έχει προηγηθεί η βαθμονόμηση του.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βαθμονόμησης του καταγραφικού συστήματος, προσδιορίζεται ο εσωτερικός προσανατολισμός του. Τα δεδομένα εσωτερικού προσανατολισμού περιγράφουν τα μετρικά χαρακτηριστικά του καταγραφικού συστήματος που απαιτούνται στις φωτογραμμετρικές διαδικασίες. Τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού είναι τα ακόλουθα:

1. Η θέση του προοπτικού κέντρου σε σχέση με τα πρωτεύοντα σημεία.
2. Οι συντεταγμένες των πρωτευόντων σημείων ή των αποστάσεων μεταξύ τους έτσι ώστε να είναι δυνατός ο προσδιορισμός των συντεταγμένων.
3. Η βαθμονομημένη εστιακή απόσταση της κάμερας.
4. Η ακτινική παραμόρφωση της διάταξης του φακού, συμπεριλαμβανομένης της προέλευσης της ακτινικής παραμόρφωσης σε σχέση με το σύστημα βάσης.
5. Στοιχεία που καταδεικνύουν την ποιότητα της εικόνας όπως π.χ. η ανάλυσή της.

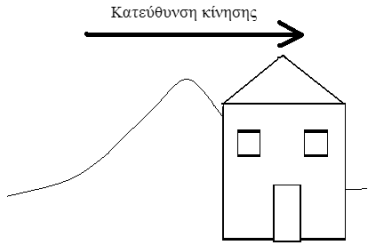
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι βαθμονόμησης του συστήματος καταγραφής. Μετά τη συναρμολόγηση του συστήματος καταγραφής, ο κατασκευαστής πραγματοποιεί τη βαθμονόμηση του κάτω υπό συνθήκες εργαστηρίου. Το σύστημα καταγραφής που χρησιμοποιείται για εναέριες καταγραφές θα πρέπει να βαθμονομείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, καθώς υφίσταται καταπονήσεις τόσο από τις εναλλαγές της θερμοκρασίας όσο και της πίεσης. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται ότι ο εσωτερικός προσανατολισμός του καταγραφικού συστήματος παραμένει ακέραιος. Επίσης, βαθμονομήσεις σε περιβάλλον εργαστηρίου μπορούν να πραγματοποιηθούν από εξειδικευμένες υπηρεσίες (T. Schenk, 2005).

3.3 Βασικές έννοιες φωτογραμμετρίας

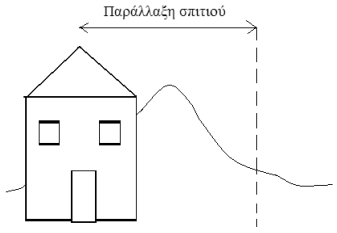
Η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου από το οποίο μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες του ανάγλυφου της περιοχής που αποτυπώνεται, στηρίζεται σε βασικές έννοιες της Φωτογραμμετρίας και κατ' επέκταση και της εναέριας Φωτογραμμετρίας. Έτσι, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια σύντομη αναφορά των εννοιών αυτών, για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας της μεθόδου που εφαρμόστηκε στη παρούσα εργασία.

3.3.1 Η έννοια της παράλλαξης

Η ανασύσταση της τρισδιάστατης πληροφορίας από δισδιάστατες απεικονίσεις στηρίζεται στην αρχή της παράλλαξης. Η έννοια της παράλλαξης γίνεται κατανοητή παρατηρώντας τα σχήματα 3.1 και 3.2. Στο σχήμα 3.1, το σπίτι είναι πιο κοντά στον παρατηρητή από τον ορεινό όγκο που είναι στο βάθος και εμφανίζεται στη δεξιά πλευρά της εικόνας. Με την απομάκρυνση του παρατηρητή από το κοντινότερο σε αυτόν αντικείμενο (σπίτι), το βλέπει πλέον μετατοπισμένο προς την αριστερή πλευρά της εικόνας, ενώ ο απόμακρος ορεινός όγκος έχει μετατοπιστεί πολύ λίγο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Η διαφορά μεταξύ αρχικής και τελικής θέσης του κοντινού αντικειμένου (το σπίτι στην προκειμένη περίπτωση) ονομάζεται παράλλαξη (parallax).



Εικόνα 3.1: Αρχική φωτογραφία που λαμβάνεται από κινούμενο παρατηρητή.



Εικόνα 3.2: Μεταγενέστερη φωτογραφία, στην οποία φαίνεται η παράλλαξη του κοντινού αντικειμένου.

3.3.2 Προσανατολισμός απεικονίσεων

Στην Φωτογραμμετρία αναφερόμαστε σε δύο τύπους προσανατολισμού: στον εσωτερικό και στον εξωτερικό προσανατολισμό. Ο εσωτερικός αναφέρεται στην εσωτερική γεωμετρία του καταγραφικού συστήματος κατά τη στιγμή της λήψης της κάθε απεικόνισης όπως έχει αναφερθεί και στο υποκεφάλαιο 3.2 ενώ ο εξωτερικός αναφέρεται στη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στο σύστημα συντεταγμένων της απεικόνισης και σε ένα αυθαίρετο ή μη επίγειο σύστημα αναφοράς. Τόσο ο εσωτερικός όσο και ο εξωτερικός προσανατολισμός μιας απεικόνισης είναι συνήθως άγνωστοι, ωστόσο πρέπει να προσδιοριστούν αν θέλουμε να εξάγουμε αξιόπιστη τρισδιάστατη πληροφορία από μετρήσεις σε απεικονίσεις.

3.3.2.1 Εσωτερικός προσανατολισμός

Σκοπός του εσωτερικού προσανατολισμού είναι να δημιουργηθεί μια σχέση μεταξύ του συστήματος συντεταγμένων των εικονοστοιχείων και του συστήματος συντεταγμένων της απεικόνισης. Η σχέση αυτή προσδιορίζεται κατά την διαδικασία βαθμονόμησης του συστήματος καταγραφής όπως έχει ήδη προαναφερθεί στο υποκεφάλαιο 3.2.

3.3.2.2 Εξωτερικός προσανατολισμός

Ο εξωτερικός προσανατολισμός αποτελεί τον μετασχηματισμό που συνδέει το σύστημα συντεταγμένων εδάφους με το σύστημα συντεταγμένων απεικόνισης. Ο εξωτερικός προσανατολισμός προσδιορίζει τη θέση και τον προσανατολισμό του συστήματος καταγραφής κατά τη λήψη της απεικόνισης. Με άλλα λόγια, είναι η σχέση ανάμεσα στο έδαφος και την απεικόνιση. Ο εξωτερικός προσανατολισμός επιτυγχάνεται με δύο φωτογραμμετρικές διαδικασίες: τον σχετικό και τον απόλυτο προσανατολισμό.

3.3.2.3 Σχετικός προσανατολισμός

Για τη δημιουργία του στερεοσκοπικού μοντέλου επιτυγχάνεται η στερεοσκοπική όραση και η ορθή τρισδιάστατη ανάπλαση του σχήματος του αντικειμένου χωρίς κλίμακα και προσανατολισμό. Η διαδικασία του σχετικού προσανατολισμού επιτυγχάνεται με την εύρεση και συσχέτιση συζυγών ή ομόλογων σημείων μεταξύ των απεικονίσεων, προσδιορίζοντας τη σχετική θέση τους κατά την στιγμή της λήψης.

3.3.2.4 Απόλυτος προσανατολισμός

Ο απόλυτος προσανατολισμός απαιτεί έναν επιτυχημένο εσωτερικό και σχετικό προσανατολισμό. Με τον απόλυτο προσανατολισμό αναφερόμαστε στη διαδικασία προσανατολισμού ενός στερεομοντέλου στο σύστημα συντεταγμένων, τοπικό ή γεωδαιτικό (Schenk T., 2005). Η συσχέτισή του με το γεωδαιτικό σύστημα περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της κατάλληλης κλίμακας – μεγέθους και τον προσδιορισμό της απόλυτης πλέον θέσης του αντικειμένου. Η διαδικασία βασίζεται στη συσχέτιση σημείων στη φωτογραφία με γνωστές συντεταγμένες επί του εδάφους, που αποτελούν τα επίγεια σημεία ελέγχου (Ground Control Points- GCPs).

3.5 Συμπεράσματα

Στο Κεφάλαιο αυτό έγινε μια σύντομη αναφορά στην επιστήμη της Φωτογραμμετρίας δίνοντας έμφαση στην εναέρια Φωτογραμμετρία μιας και η παρούσα διπλωματική εργασία σχετίζεται με αυτήν. Στην συνέχεια, έγινε αναφορά στην βαθμονόμηση του συστήματος καταγραφής και παρατέθηκαν κάποιες βασικές έννοιες καθώς με την βοήθεια τους γίνεται αντιληπτό το πως μπορεί να παραχθεί από δισδιάστατες εικόνες ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Οι τεχνικές λεπτομέρειες παραμετροποίησης του μη

επανδρωμένου εναέριου οχήματος και το σύστημα καταγραφής που τοποθετήθηκε πάνω σε αυτό παρουσιάζονται στο επόμενο Κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 4: Παραμετροποίηση μη επανδρωμένου ηλεκτροκινητήριου ανεμόπτερου

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά των τεχνικών λεπτομερειών της παραμετροποίησης του ανεμόπτερου. Πιο συγκεκριμένα θα γίνει αναφορά στον τρόπο με τον οποίο συναρμολογήθηκε το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα, στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, στις τροποποιήσεις που έγιναν στο σώμα του, στην συνδεσμολογία του πιλότου με τα λοιπά εξαρτήματα και τέλος στην παραμετροποίηση για την σωστή λειτουργία του. Επίσης, θα παρουσιαστούν τα κριτήρια με βάση τα οποία επιλέχθηκε το σύστημα καταγραφής καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

4.1 Συναρμολόγηση της πλατφόρμας

Η πλατφόρμα που επιλέχτηκε στην παρούσα διπλωματική είναι τύπου σταθερής πτέρυγας και συγκεκριμένα ανεμόπτερου. Σε σχέση με τα πολυ-κόπτερα, τα ανεμόπτερα καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια συνεπώς έχουν και μεγαλύτερη αυτονομία από αυτά. Αυτό συμβαίνει διότι σε αντίθεση με τα πολυ-κότερα έχουν μόνο ένα κινητήρα και μπορούν να γλιστρούν στον αέρα με την βοήθεια των μεγάλων φτερών που διαθέτουν χωρίς να είναι αναγκαία η λειτουργιά του κινητήρα τους (εξού και η αγγλική τους ονομασία gliders). Στη συνέχεια επιλέχτηκαν τα υλικά που ήταν απαραίτητα τόσο για την παραμετροποίηση όσο και την κατασκευή αυτής της πλατφόρμας τα οποία είτε αγοράστηκαν είτε χρησιμοποιήθηκαν από τα ήδη υπάρχοντα στο εργαστήριο. Τοποθετήθηκαν με τέτοιον τρόπο ώστε να μας δώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα για τον στόχο της παρούσας διπλωματικής. Το κόστος της συγκεκριμένης κατασκευής ήταν αρκετά χαμηλό καθώς δεν ξεπέρασε τα 300 ευρώ.

4.1.1Υλικά κατασκευής

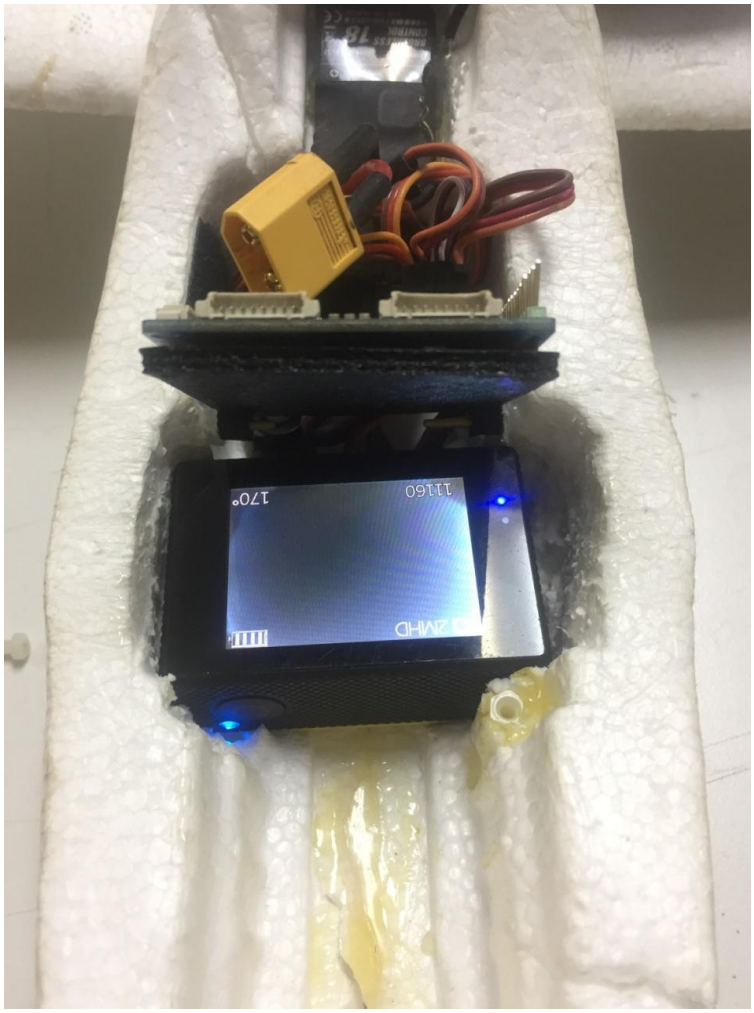
Στον πίνακα που ακολουθεί θα γίνει παρουσίαση των υλικών που επιλέχτηκαν για την κατασκευή και παραμετροποίηση του ανεμόπτερου καθώς και η κάμερα που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της περιοχής που αποτυπώθηκε.

Ποσότητα	Υλικά
1	Σκελετός ανεμόπτερου
1	Τριφασικός κινητήρας
1	Τριφασικός ελεγκτής ταχύτητας
4	Σερβομηχανισμοί ελέγχου πτερυγίων
1	Σύστημα αυτόματου πιλότου, μονάδα GPS , Bluetooth module , τηλεμετρία 433 Mhz
1	Βάση αυτόματου πιλότου (σχεδιάστηκε και τυπώθηκε σε 3D printer)
1	Έλικας κινητήρα
1	Μπαταρία Λιθίου πολυμερούς (Li-Po) χωρητικότητας 2200 mAh
1	Κάμερα 4K 30 fps με γυροσκόπιο

4.1.2 Παραμετροποίηση σώματος ανεμόπτερου

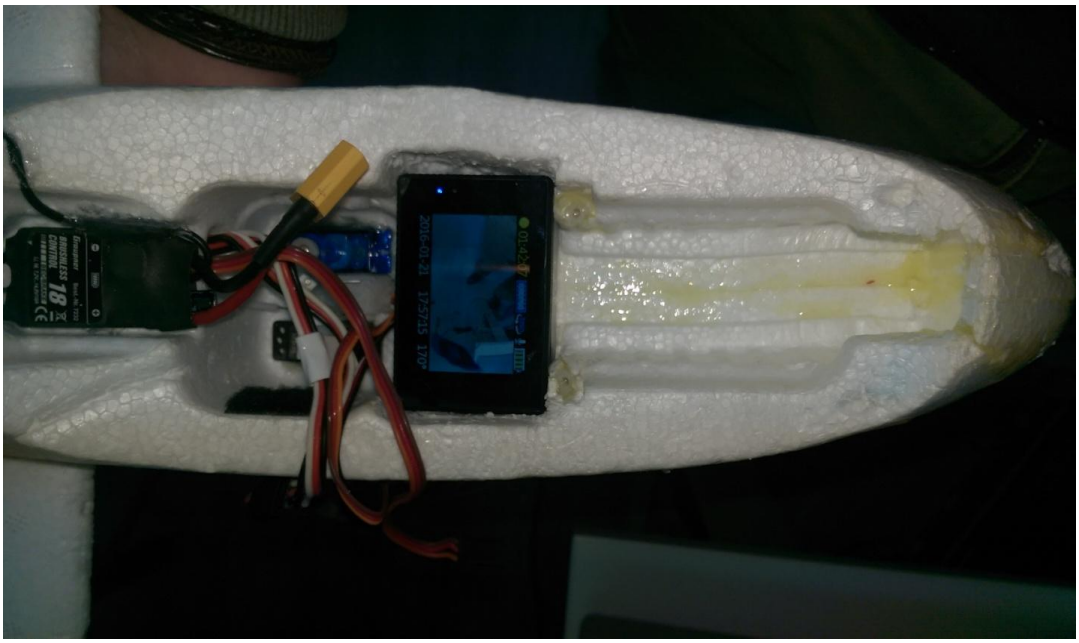
Το σώμα του ανεμόπτερου ήταν ήδη συναρμολογημένο ωστόσο χρειαζόταν κάποιες τροποποιήσεις ώστε να είναι σε θέση να φιλοξενήσει τον απαραίτητο εξοπλισμό. Αυτή η διαδικασία ήταν ιδιαίτερα δύσκολη καθώς ο χώρος μέσα στον οποίο έπρεπε να χωρέσει ο απαιτούμενος εξοπλισμός ήταν ιδιαίτερα περιορισμένος. Αρχικά διατρήθηκε μια οπή στο κάτω μέρος του ανεμόπτερου με διάμετρο τέτοια ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί ο φακός της κάμερας. Στη συνέχεια έγιναν κάποιες τομές στο εσωτερικό του σκελετού του ανεμόπτερου προκειμένου να μπορέσει να φιλοξενηθεί το σώμα της κάμερας. Ωστόσο με την προσθήκη της κάμερας στον σκελετό του ανεμόπτερου προέκυψε ένα νέο πρόβλημα καθώς δεν υπήρχε χώρος για να τοποθετηθεί ο αυτόματος πιλότος. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με την σχεδίαση και εκτύπωση σε 3D εκτυπωτή, μίας βάσης αυτόματου πιλότου. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται στο ακόλουθο υποκεφάλαιο 4.1.3. Η

τοποθέτηση της βάσης που κατασκευάστηκε έγινε πάνω από το σώμα της κάμερας με διάτρηση δύο επιπλέον αντιδιαμετρικών οπών στην δεξιά και αριστερή πλευρά του σκελετού το ανεμόπτερου. Μέσα στις οπές αυτές τοποθετήθηκαν ξύλινα στελέχη τα οποία έπαιξαν τον ρόλο μεντεσέδων μεταξύ σκελετού και βάσης πιλότου ώστε να είναι εύκολη η αφαίρεση της κάμερας ανά πάσα στιγμή Σχήμα 4.1. Επίσης τα στελέχη αυτά σε συνδυασμό με την βάση έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην σταθερότητα του πιλότου κατά την διάρκεια της πτήσης γεγονός πολύ σημαντικό καθώς η μη σταθερότητα αυτού μπορεί να οδηγήσει σε ασταθή πτήση του ανεμόπτερου.



Εικόνα 4.1: Βάση πιλότου τοποθετημένη εντός του πιλοτηρίου του ανεμόπτερου μαζί με το σύστημα καταγραφής.

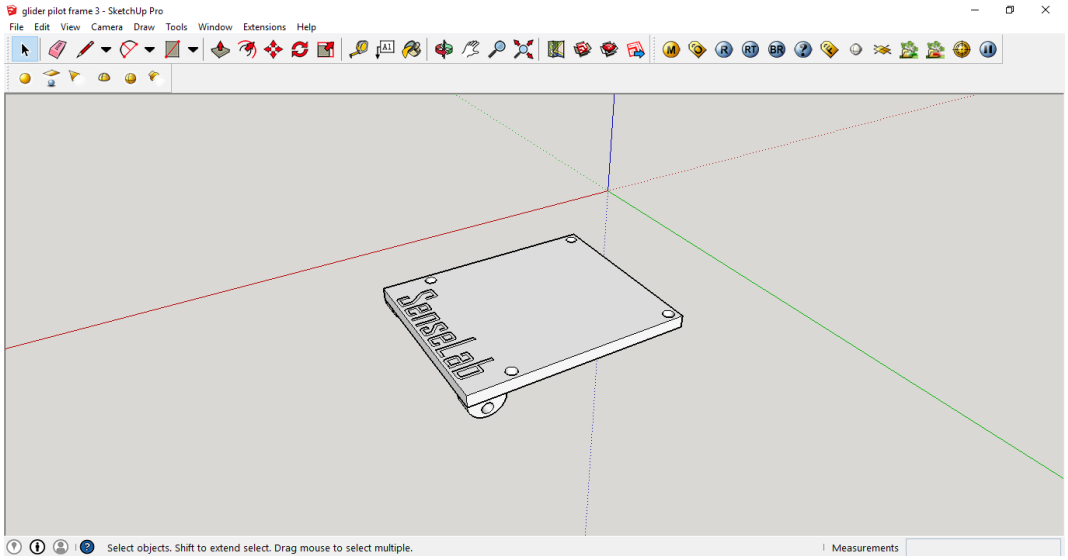
Εικόνα 4.2: Η οπή που διατηρήθηκε στο σκελετό του ανεμόπτερου με σκοπό την τοποθέτηση της κάμερας.



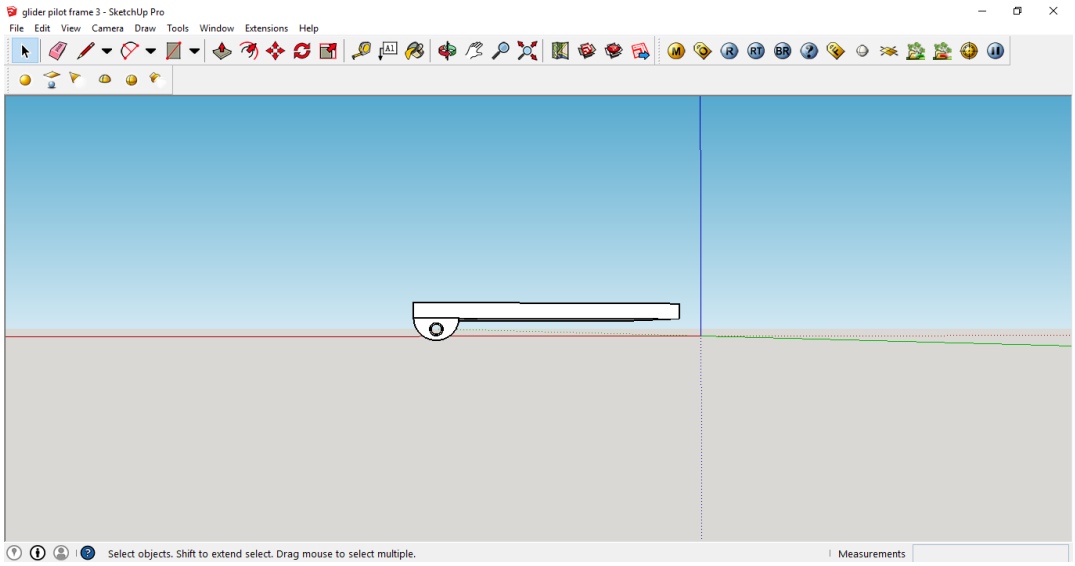
Εικόνα 4.3: Τοποθέτηση της κάμερας στο πιλοτήριο του ανεμόπτερου.

4.1.3 Σχεδίαση και εκτύπωση βάσης πιλότου

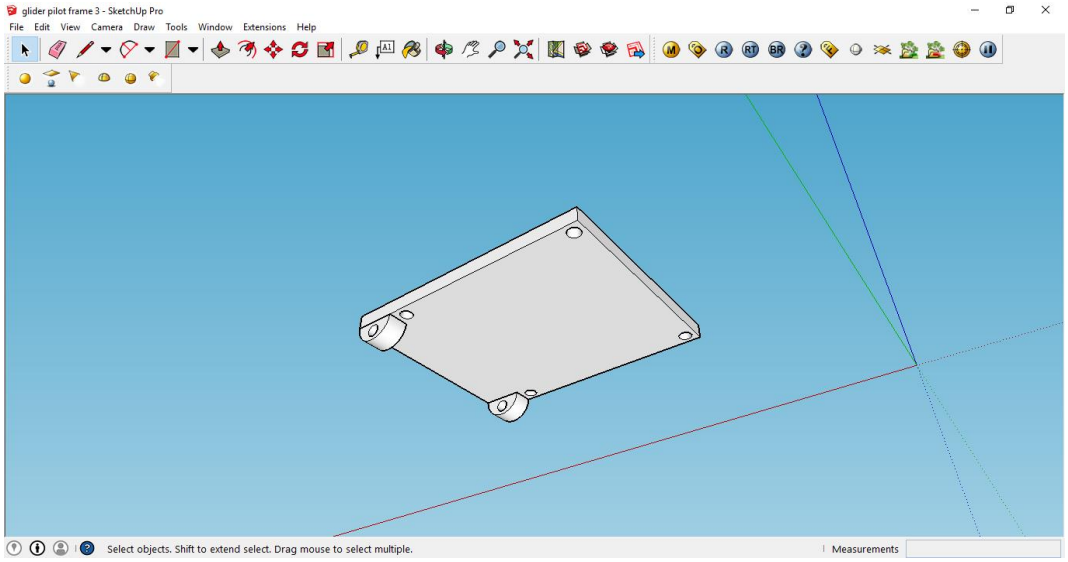
Αρχικά, λήφθηκαν μετρήσεις με την βοήθεια ενός παχυμέτρου ώστε να προσδιοριστούν οι απαραίτητες διαστάσεις που χρειαζόταν να έχει η βάση του πιλότου προκειμένου να είναι σε θέση να τοποθετηθεί στο πιλοτήριο του μη επανδρωμένου ανεμόπτερου. Αφού λήφθηκαν οι απαραίτητες διαστάσεις (μήκος, πλάτος, ύψος) σχεδιάστηκε σε σχεδιαστικό πρόγραμμα (Sketch Up) η βάση αυτή. Το τελικό σχέδιο της βάσης που προέκυψε παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 4.4: Πρόοψη 1 βάσης πιλότου

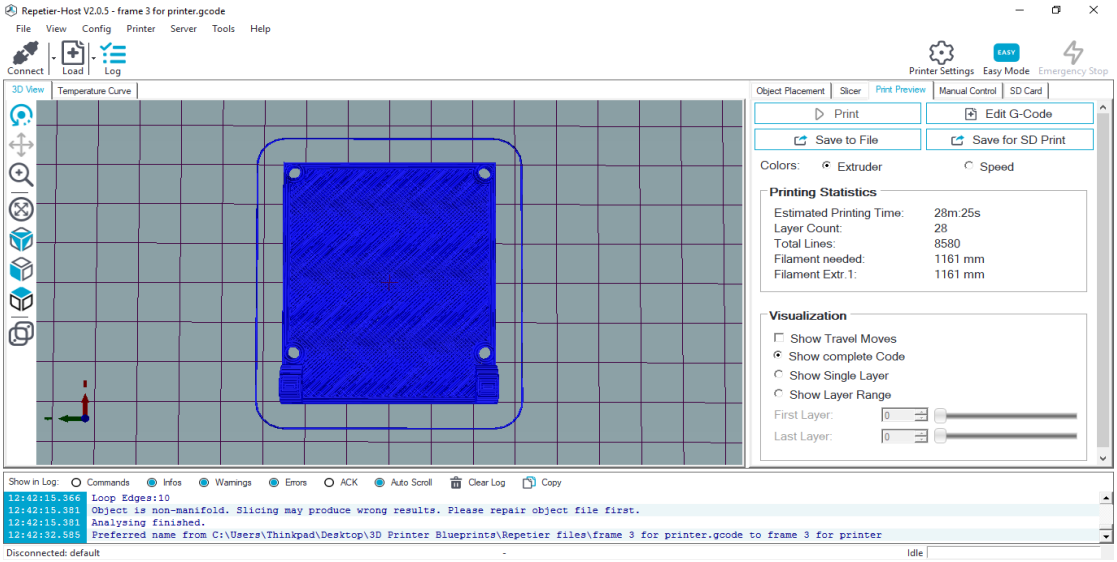


Εικόνα 4.5: Πλάγια όψη βάσης πιλότου

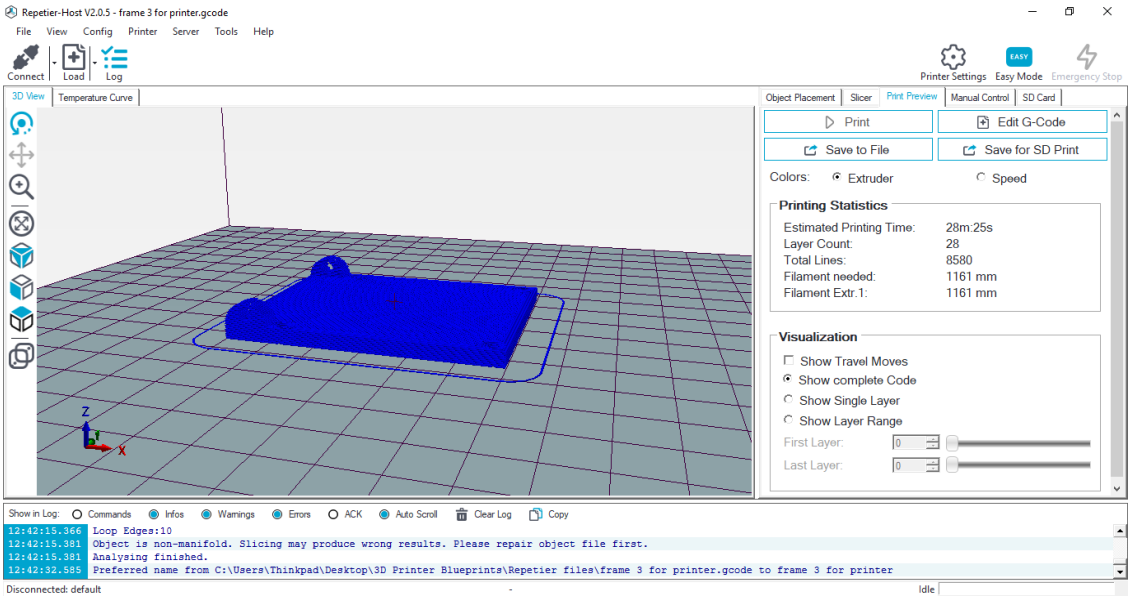


Εικόνα 4.6: Πρόοψη 2 βάσης πιλότου

Στην συνέχεια τοποθετήσαμε το τρισδιάστατο μοντέλο της βάσης που προέκυψε από την σχεδίαση σε ένα πρόγραμμα εκτύπωσης 3D (Repetier). Σε αυτό το πρόγραμμα έγινε επεξεργασία του μοντέλου προκειμένου να βρεθεί ο βέλτιστος τρόπος εκτύπωσης δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο θα τοποθετηθούν οι στρώσεις του λιωμένου πλαστικού από τον εκτυπωτή ώστε το τελικό προϊόν να έχει τις απαιτούμενες μηχανικές αντοχές με την μικρότερη δυνατή κατανάλωση πλαστικού. Το πλαστικό που χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση της βάσης του πιλότου είναι τύπου πολυγαλακτικού οξέος (PLA) και είναι βιοδιασπώμενο. Τόσο το μοντέλο που προέκυψε από αυτήν την επεξεργασία όσο και το τελικό εκτυπωμένο προϊόν παρουσιάζονται στις ακόλουθες εικόνες:



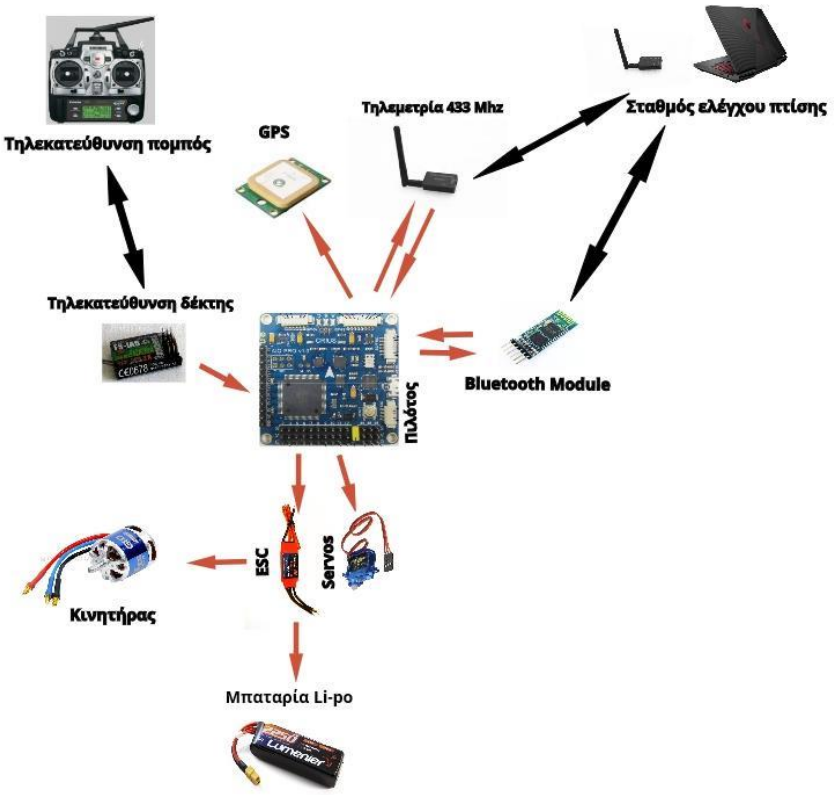
Εικόνα 4.7: Προεπισκόπηση της διάταξης των στρώσεων πλαστικού πριν την τελική εκτύπωση



Εικόνα 4.8: Μια άλλη όψη της προεπισκόπησης της διάταξης των στρώσεων πλαστικού πριν την τελική εκτύπωση

4.1.4 Συνδεσμολογία πιλότου με λοιπά εξαρτήματα – κατασκευή καλωδιώσεων

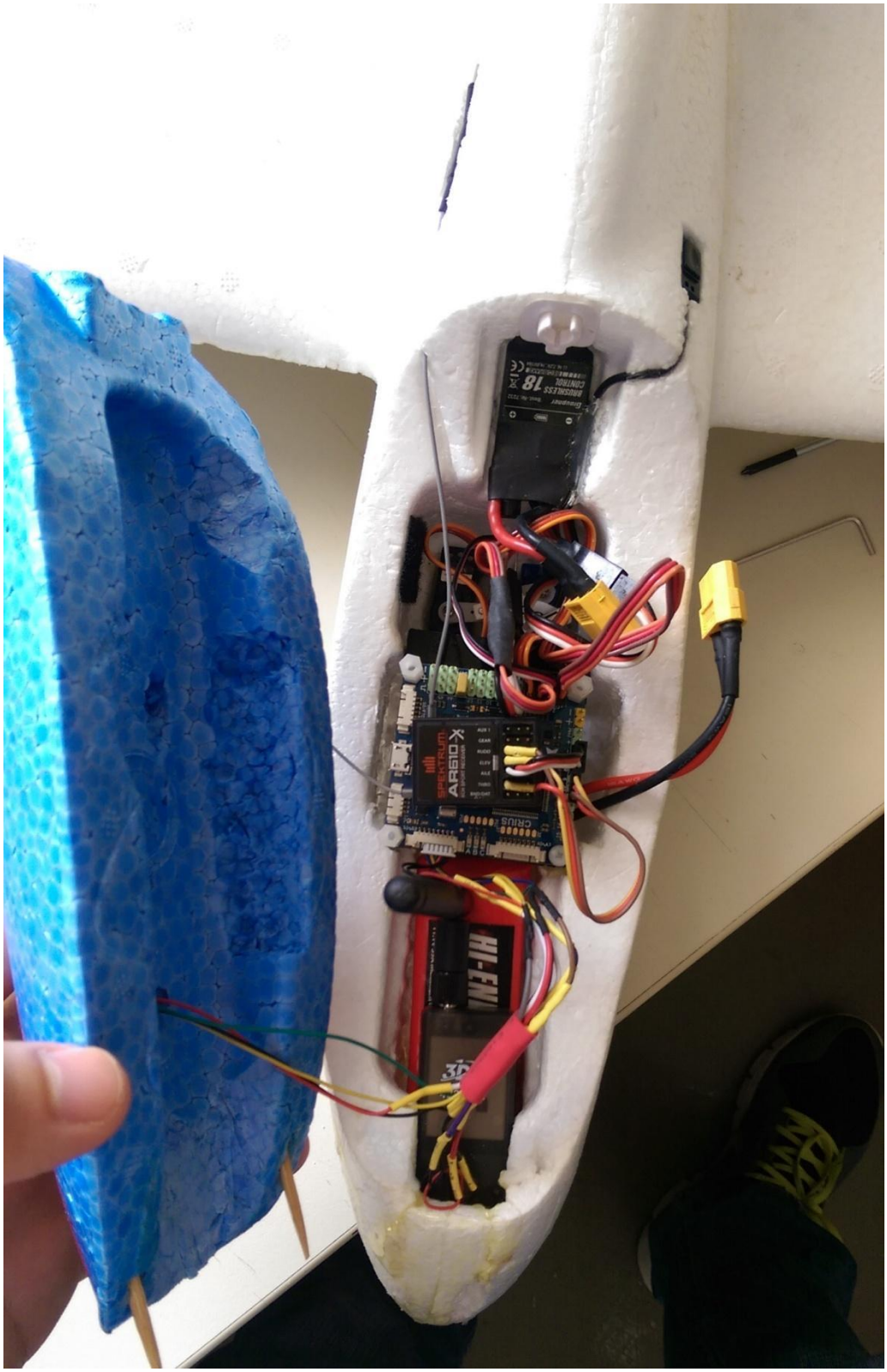
Σε αυτό το στάδιο τοποθετήθηκε ο πιλότος πάνω στην βάση που εκτυπώθηκε και κατασκευάστηκαν οι απαραίτητες καλωδιώσεις ώστε να μπορεί να συνδεθεί με τα υπόλοιπα εξαρτήματα τα οποία είναι αναγκαία για την πτήση του ανεμόπτερου. Επίσης, τοποθετήθηκε η μονάδα του GPS πάνω στο κουβούκλιο του cockpit του ανεμόπτερο αφού έγιναν οι απαραίτητες τροποποιήσεις σε αυτό. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι η μονάδα του GPS τοποθετήθηκε εκτός του πιλοτηρίου του ανεμόπτερου καθώς για την σωστή λειτουργιά του GPS δεν πρέπει να παρεμβάλλεται κάποιο εμπόδιο μεταξύ GPS και ορίζοντα. Η συνδεσμολογία του πιλότου με τα υπόλοιπα εξαρτήματα παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 4.9: Συνδεσμολογία όλων των εξαρτημάτων του ανεμόπτερου

Αρχικά, ο χειριστής χρησιμοποιώντας τον πομπό της τηλεκατεύθυνσης έχει τον απόλυτο έλεγχο του ανεμόπτερου όπως επίσης και την διαχείριση των επιλογών πτήσης (flight modes), που ακολουθεί το όχημα. Οι εντολές του χειριστή μεταφέρονται στον πομπό μέσω του δέκτη, ο οποίος είναι πάνω στο ανεμόπτερο και συνδεδεμένος με τον πιλότο. Έπειτα ο πιλότος λαμβάνοντας ως είσοδο τις εντολές του χειριστή και σε συνδυασμό με τους γυροσκοπικούς και τους άλλους αισθητήρες που υπάρχουν, στέλνει σήματα τόσο στον ελεγκτή ταχύτητας (ESC) για την αυξομείωση των στροφών στο τριφασικό μοτέρ όσο και στους σερβομηχανισμούς που είναι τοποθετημένοι στα πτερύγια του ανεμόπτερου, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται όλες οι ενέργειες που είναι απαραίτητες για την πτήση του. Στη συνέχεια, μέσω της τηλεμετρίας, πραγματοποιείται η επικοινωνία του πιλότου με τον υπολογιστή του σταθμού εδάφους, στέλνοντας και λαμβάνοντας συνεχώς δεδομένα για την πτήση. Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι χρησιμοποιήθηκε εκτός από την τηλεμετρία και ένα Bluetooth module για την επικοινωνία του πιλότου με τον υπολογιστή, αλλά μόνο κατά την διάρκεια των δοκιμών ελέγχου εδάφους του ανεμόπτερου καθώς η επικοινωνία με αυτό ήταν πολύ ταχύτερη σε σχέση με την τηλεμετρία. Ωστόσο κατά την διάρκεια της πτήσης προτιμήθηκε η τηλεμετρία για λόγους εμβέλειας. Η μονάδα του GPS αναλαμβάνει τον δορυφορικό εντοπισμό του ανεμόπτερου και μέσω αυτής είναι δυνατή η πλοήγησή του στην επιλογή του αυτόματου πιλότου. Τέλος η μπαταρία συνδέεται απευθείας στον ελεγκτή ταχύτητας μέσω ειδικών καλωδίων, τα οποία επιτρέπουν την ροή μεγάλων εντάσεων ρεύματος.

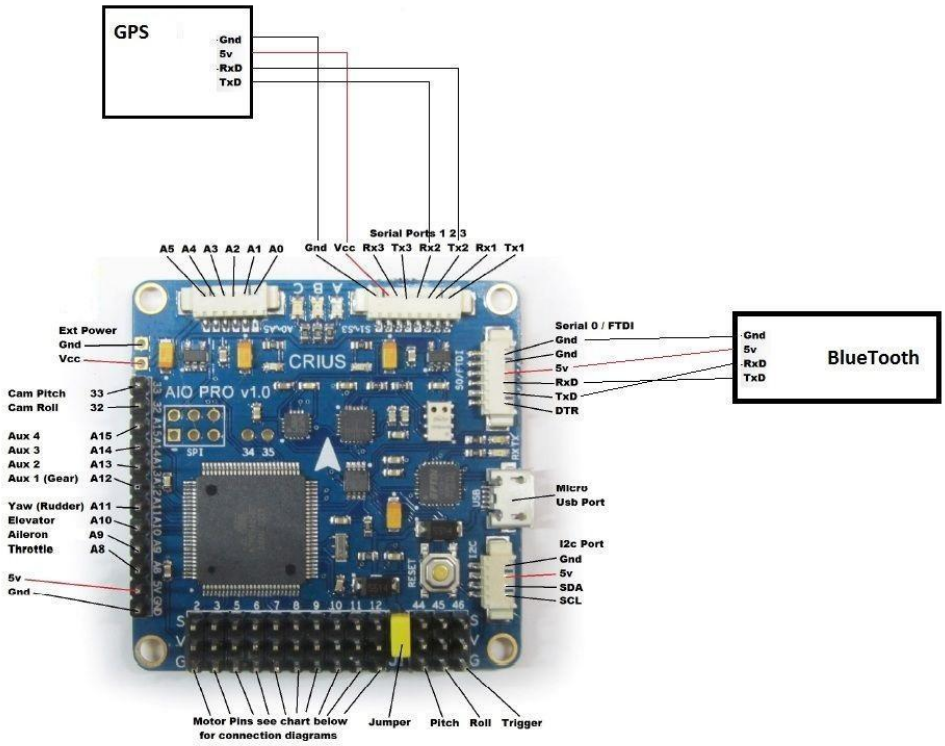
Τα καλώδια που κατασκευάστηκαν για την σύνδεση των εξαρτημάτων με την μονάδα του πιλότου απαιτούσαν την χρήση συγκεκριμένων ανταπτόρων ώστε να είναι συμβατή η σύνδεση τους με αυτή. Όλες οι κολλήσεις των καλωδίων έγιναν σε σταθμό κόλλησης που διαθέτει το εργαστήριο και στην συνέχεια έγινε επένδυση τους με θερμοσυστελλόμενα προκειμένου να αποφευχθεί πιθανό βραχυκύκλωμα. Στο Σχήμα 4.10 παρουσιάζονται οι καλωδιώσεις που κατασκευάστηκαν καθώς και ο πιλότος συνδεδεμένος με όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα.



Εικόνα 4.10: Καλωδιώσεις ανεμόπτερου συνδεδεμένες με όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα

4.1.5 Παραμετροποίηση μονάδας πιλότου ανεμόπτερου

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η παραμετροποίηση του πιλότου του ανεμόπτερου πράγμα αρκετά χρονοβόρο καθώς ο πιλότος που χρησιμοποιήθηκε είχε πάρα πολύ μικρό κόστος άρα και σχετικά μειωμένη αξιοπιστία. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να γίνουν πολυάριθμες δοκιμές ώστε να παραμετροποιηθούν σωστά όλοι οι επιμέρους αισθητήρες του όπως πυξίδα, επιταχυνσιόμετρο, βαρόμετρο κ.λπ. με στόχο η λειτουργία του να είναι βέλτιστη. Αυτό το σημείο της εργασίας ήταν από τα πιο σημαντικά καθώς μια λάθος ρύθμιση θα μπορούσε να οδηγήσει σε ασταθή πτήση του ανεμόπτερου ή ακόμα και πτώση του. Τέλος, ο πιλότος που χρησιμοποιήθηκε είναι βασισμένος σε arduino και για την παραμετροποίηση του βασιστήκαμε στο open project Mega Pirate NG. Η διαδικασία παραμετροποίησης του πιλότου περιλάμβανε την σύνδεση του μέσω καλωδίου micro USB με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή του εργαστηρίου. Μετέπειτα, αφού τροποποιήθηκε ο αρχικός κώδικας στις προδιαγραφές της πλατφόρμας που επιλέξαμε έγινε εγγραφή του στον πιλότο ώστε να είναι δυνατή η εύρυθμη λειτουργία και επικοινωνία του με τα συνδεδεμένα σε αυτόν εξαρτήματα. Τόσο ο πιλότος όσο και οι υποδοχές που διαθέτει παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 4.11: Πιλότος ανεμόπτερου με όλες τις διαθέσιμες υποδοχές σύνδεσης.

4.2 Περιγραφή συστήματος καταγραφής

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα κριτήρια με τα οποία έγινε η επιλογή του συστήματος καταγραφής που χρησιμοποιήθηκε και θα παρουσιαστούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

Προκειμένου να είναι εφικτή η προσαρμογή του συστήματος καταγραφής στην πλατφόρμα UAV που επιλέχτηκε ήταν αναγκαίο το μέγεθος του να είναι πολύ μικρό. Επιπρόσθετα, θα έπρεπε και το βάρος του να είναι πολύ μικρό ώστε το ανεμόπτερο να μπορεί να διατηρήσει τις πτητικές του ιδιότητες όταν είναι προσαρμοσμένο πάνω σε αυτό. Εκτός αυτών των δύο πολύ σημαντικών κριτηρίων το σύστημα καταγραφής θα έπρεπε να διαθέτει ενσωματωμένο γυροσκόπιο στον φακό του ώστε η λήψη των εικόνων να γίνεται παράλληλα με το έδαφος ανεξαρτήτως του προσανατολισμού του. Ακόμα, η ανάλυση των απεικονίσεων που θα μπορούσε να καταγράψει έπρεπε να είναι η μέγιστη δυνατή. Τέλος, ήταν απαραίτητο να έχει κάποιο μέσο αποθήκευσης καθώς και ένα τρόπο σύνδεσης με

ηλεκτρονικό υπολογιστή ώστε να είναι δυνατή η αποθήκευση και η εξαγωγή των απεικονίσεων. Όλα αυτά τα κριτήρια μετά από έρευνα αγοράς που διενεργήθηκε στο διαδίκτυο τα ικανοποιούσε το σύστημα καταγραφής τύπου action-cam SJCAM SJ5000X WiFi 4K Gyro Elite Edition για αυτό και επιλέχτηκε. Τα χαρακτηριστικά του αναλύονται πιο διεξοδικά στον παρακάτω πίνακα:

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΙΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	
Αισθητήρας	12 Mega Pixel Sony IMX078cqk
Φακός - Γωνία θέασης	Adjustable Wide-Angle View Lens – Adjust between 170° 140° 110° and 70°
Οθόνη LCD	2,0 ιντσών έγχρωμη
ISO	Auto, 100, 200, 400, 800, 1200
Video	4K @ 24fps (3840*2160), 2K (2560 x 1440)30fps / 1080P (1920 x 1080) 60fps / 720P (1280 x 720)120fps, WVGA@240fps (Slow Mo)
Photo	12 Mega Pixels (4032*3024)/10 Mega Pixels (3648*2736) 8 Mega Pixels ((3264*2448)/5 Mega Pixels (2592*1944) 3 MP(2048*1536)/ 2MHD(1920*1080)/ VGA(640*480)/ 1.3MP(1280*960)
Ήχος	Μικρόφωνο & ηχείο
Μέσο αποθήκευσης	SDHC Card max 32GB - Επιλεγμένες 64GB & 128GB
Wifi	Ναί μέσω εφαρμογής
Συνδεσιμότητα	HDMI: Support 1920 X 1080P 60 output Micro usb
Προηγμένες λειτουργίες	Multiple photo shooting modes: Single Shot Burst-Shot Mode: 3 photos per second Timer: 2s, 3s, 5s, 10s, 20s, 30s, 60s Continuous: 2 seconds, 5 seconds to 10 seconds
Αυτονομία	80 λεπτά εγγραφής
Μπαταρία	Li-ion 900mAh

Εικόνα 4.12: Φωτογραφική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή

4.3 Συμπεράσματα

Όπως γίνεται αντιληπτό η παραμετροποίηση του ανεμόπτερου δεν ήταν μια εύκολη διαδικασία καθώς ήταν ιδιαίτερα απαιτητική και χρονοβόρα. Παρότι εμφανίστηκαν αρκετά προβλήματα κατά την παραμετροποίηση της πλατφόρμας αντιμετωπίστηκαν επιτυχώς. Ωστόσο, το τελικό αποτέλεσμα ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητικό εάν αναλογιστεί κανείς το κόστος της πλατφόρμας αυτής σε σχέση με άλλες έτοιμες λύσεις του εμπορίου που μπορεί να υπερβαίνουν το κόστος αυτής της πλατφόρμας ακόμα και 10 φορές. Στο επόμενο Κεφάλαιο παρουσιάζεται ο προγραμματισμός και η διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας καταγραφών στην περιοχή του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Κεφάλαιο 5 : Διεξαγωγή πτήσεων καταγραφής

5.1 Λήψη συντεταγμένων και τοποθέτηση σταθμού βάσης

Προτού αρχίσει η διεξαγωγή των πτήσεων καταγραφής κρίθηκε αναγκαία η λήψη συντεταγμένων σημείων ελέγχου στην περιοχή ενδιαφέροντος. Αφού οριοθετήθηκε η περιοχή μελέτης και επιλέχτηκαν τα σημεία λήψης συντεταγμένων άρχισε η καταγραφή τους. Η καταγραφή αυτή έγινε με την βοήθεια μιας μονάδας GPS και δεν διήρκησε περισσότερο από μερικές ώρες. Αυτό το στάδιο είναι αρκετά σημαντικό καθώς με αυτόν τον τρόπο γίνεται η γεωαναφορά του τρισδιάστατου μοντέλου που προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων των πτήσεων καταγραφής όπως θα δούμε και στα κεφάλαια που ακολουθούν. Έτσι μπορεί να υπολογιστεί και το σφάλμα της αποτύπωσης.

Για την διεξαγωγή των πτήσεων ήταν αναγκαία η ύπαρξη ενός σταθμού βάσης ο οποίος στήθηκε στην περιοχή ενδιαφέροντος μετά την λήψη των συντεταγμένων. Πιο συγκεκριμένα ο σταθμός βάσης περιλαμβάνει ένα σταθερό ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο του ανεμόπτερου, δηλαδή τόσο για τη δημιουργία και την αποστολή του σχεδίου πτήσης όσο και την παρακολούθηση του κατά την λειτουργία του αυτόματου πιλότου.

5.2 Έλεγχος και διεξαγωγή πτήσης της πλατφόρμας

Πριν και κατά την διάρκεια κάθε πτήσης γίνονται κάποιοι απαραίτητοι έλεγχοι προκειμένου να εξασφαλιστεί η σωστή και ασφαλής λειτουργιά του ανεμόπτερου, οι οποίοι περιγράφονται στα βήματα που ακολουθούν.

Βήμα 1

Ελέγχουμε εάν ο πιλότος του ανεμόπτερου είναι στερεωμένος καλά πάνω στην βάση που κατασκευάστηκε καθώς και στο σώμα του ανεμόπτερου.

Βήμα 2

Ελέγχουμε όλες τις καλωδιώσεις του ανεμόπτερου (καλωδιώσεις servo-μηχανισμών, κινητήρα , τηλεμετρίας , GPS , Bluetooth, δέκτη τηλεκατεύθυνσης και μπαταρίας) ως προς την σωστή σύνδεση τους στην μονάδα ελέγχου καθώς και για ύπαρξη τυχόν φθορών.

Βήμα 3

Ενεργοποιούμε τον πομπό τηλεκατεύθυνσης και βεβαιωνόμαστε ότι εκπέμπει σωστά όλες τις εντολές που στέλνουμε στον πομπό του ανεμόπτερου (σωστή κίνηση πτερυγίων ανεμόπτερου, σωστή λειτουργιά κινητήρα ανεμόπτερου)

Βήμα 4

Συνδέουμε τον υπολογιστή του σταθμού ελέγχου με το ανεμόπτερο μέσω της τηλεμετρίας ή του Bluetooth module και ελέγχουμε πως όλες οι παράμετροι του ανεμόπτερου εμφανίζονται σωστά στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Στην συνέχεια, στέλνουμε το σχέδιο πτήσης που έχουμε δημιουργήσει μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή στον πιλότο του ανεμόπτερου.

Βήμα 5

Κρατάμε το σώμα του ανεμόπτερου με προσοχή και ελέγχουμε την έλικα του κινητήρα ώστε να μην έρχεται σε επαφή με το χέρι μας και να μπορεί να γυρίσει ελεύθερα. Μετέπειτα, περιμένουμε το σήμα του χειριστή του ανεμόπτερου ώστε να δώσουμε την απαραίτητη ώθηση στο ανεμόπτερο προκειμένου να απογειωθεί (η κίνηση που κάνουμε είναι αντίστοιχη με αυτήν όταν πετάμε μια σαΐτα). Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφέρουμε ότι για την απογείωση του ανεμόπτερου απαιτείται η ύπαρξη δύο ατόμων (ενός χειριστή και ενός που θα αναλάβει να δώσει την απαραίτητη ώθηση απογείωσης). Τέλος, αφού έχει γίνει επιτυχώς η απογείωση ενεργοποιούμε από τον πομπό της τηλεκατεύθυνσης τον

αυτόματο πιλότο της πλατφόρμας. Έτσι, ξεκινά η αυτόνομη πτήση της πλατφόρμας μας μέσα από τα σημεία τα οποία έχουμε ορίσει πριν από αυτήν με την βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Βήμα 6

Εφόσον η πλατφόρμα έχει κάνει την απαιτούμενη πτήση απενεργοποιούμε τον αυτόματο πιλότο από την τηλεκατεύθυνση και ετοιμαζόμαστε για το στάδιο της προσγείωσης. Σε αυτό το στάδιο μειώνουμε σταδιακά την ταχύτητα του ανεμόπτερου καθώς και το ύψος πτήσης του. Αφού προσγειωθούμε αποσυνδέουμε την μπαταρία του ανεμόπτερου και απενεργοποιούμε τον πομπό τηλεκατεύθυνσης.

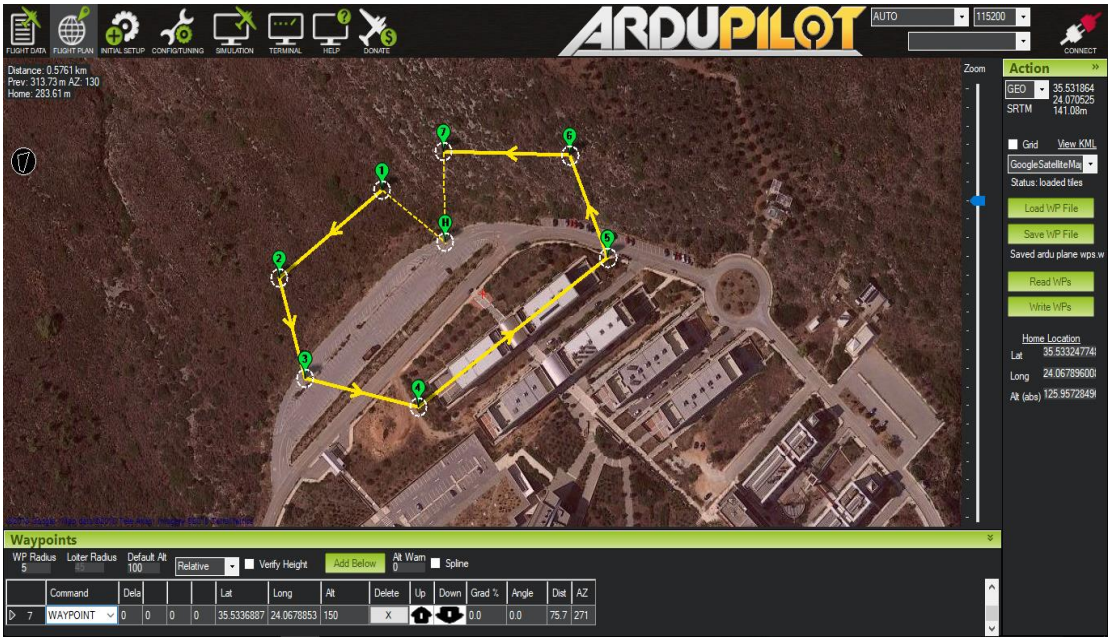
5.3 Πτήση καταγραφής

Αρχικά, έγινε η μετάβαση στον χώρο στάθμευσης του τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (ο χώρος σε αυτό το σημείο της Πολυτεχνειούπολης ευνοούσε την απογείωση-προσγείωση του ανεμόπτερου καθώς και την εναέρια προσέγγιση του στην περιοχή μελέτης) μαζί με όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για την ομαλή διεξαγωγή της πτήσης. Αφού τοποθετήθηκε ο σταθμός ελέγχου, πραγματοποιήθηκαν όλοι οι απαιτούμενοι έλεγχοι στο ανεμόπτερο οι οποίοι αναφέρθηκαν στο παραπάνω υποκεφάλαιο για την σωστή και ασφαλή λειτουργία του. Στην συνέχεια, ενεργοποιήθηκε ο ηλεκτρονικός υπολογιστής του σταθμού ελέγχου και τοποθετήθηκε η μπαταρία μέσα στο ανεμόπτερο ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση μεταξύ τους. Η πτήση καταγραφής έγινε με απόλυτη επιτυχία και έτσι καταγράφηκαν εικόνες και βίντεο της περιοχής μελέτης (κτήρια Μηχανικών Περιβάλλοντος).

5.4 Σχέδιο πτήσης

Το σχέδιο πτήσης σχεδιάστηκε με σκοπό να μπορεί να το ακολουθήσει ο αυτόματος πιλότος της πλατφόρμας. Επίσης, η πλατφόρμα του ανεμόπτερου που επιλέχτηκε δεν μπορεί να κάνει απότομους ελιγμούς όπως ένα μη επανδρωμένο πολυ-κόπτερο. Για αυτό

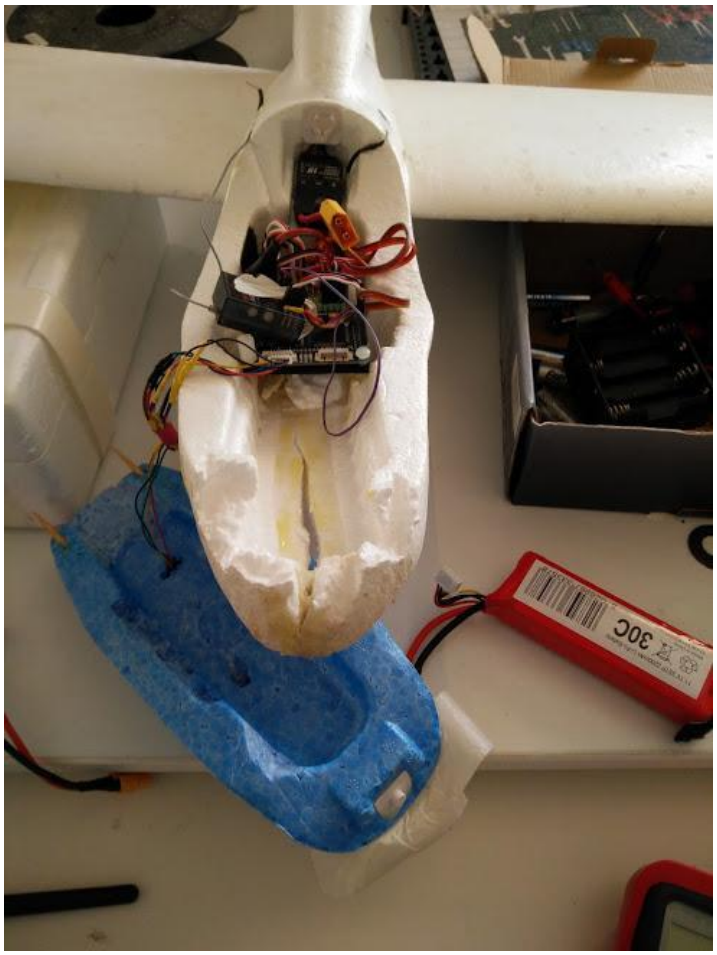
το λόγο το σχέδιο πτήσης που σχεδιάστηκε διαφέρει σημαντικά από ένα που έχει σχεδιαστεί για ένα πολυ-κόπτερο καθώς πρέπει να είναι σχεδιασμένο με τέτοιον τρόπο ώστε να μπορεί να το ακολουθήσει με επιτυχία η πλατφόρμα (να μην έχει απότομες στροφές και η μετάβαση του ανεμόπτερου από τα σημεία που έχουν οριστεί να γίνεται με ελλειπτική πορεία). Ειδικότερα, δημιουργήθηκε ένα ελλειψοειδές στην περιοχή μελέτης το οποίο απαρτιζόταν από 7 σημεία, 2 εκ των οποίων οριοθετούσαν την γραμμή μελέτης. Το ύψος πτήσης του ανεμόπτερου είχε οριστεί στα 120 μέτρα από το έδαφος και η επικάλυψη της γραμμής μελέτης από το ανεμόπτερο έγινε 3 φορές. Επιπρόσθετα, η φωτογραφική κάμερα κατέγραφε video με ανάλυση 1920 x1080 εικονοστοιχείων (1080p) με συχνότητα 50 Hz δηλαδή 50 frames ανά δευτερόλεπτο και με οπτικό πεδίο (FOV) 170 μοιρών. Τέλος, η μέση ταχύτητα η οποία αναπτύχθηκε από το ανεμόπτερο κατά την πτήση καταγραφής ήταν 24km/h.



Εικόνα 5.1: Το σχέδιο πτήσης (κίτρινες γραμμές) το οποίο σχεδιάστηκε στο λογισμικό του αυτομάτου πιλότου.

5.5 Συμπεράσματα

Η διεξαγωγή τόσο των πτήσεων καταγραφής όσο και των δοκιμαστικών πτήσεων του ανεμόπτερου ήταν μια αρκετά επίπονη διαδικασία με αρκετά απρόοπτα. Δεν ήταν λίγες οι φορές που το σώμα του ανεμόπτερου στο σημείο του ρύγχους του χρειάστηκε επισκευές λόγω ανώμαλης προσγείωσης του στο έδαφος ή κακού χειρισμού. Ωστόσο στο τέλος όλα τα προβλήματα επιλύθηκαν και η διαδικασία ολοκληρώθηκε επιτυχώς. Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή της διαδικασίας επεξεργασίας των απεικονίσεων που λήφθηκαν καθώς και σύγκριση του παραμετροποιημένου ανεμόπτερου με τα άλλα δύο μη επανδρωμένα οχήματα διαφορετικής πλατφόρμας.



Εικόνα 5.2: Καταστροφή ρύγχους ανεμόπτερου λόγω ανώμαλης προσγείωσης

Κεφάλαιο 6: Επεξεργασία αποτελεσμάτων απεικονίσεων

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει επεξεργασία των αποτελεσμάτων από την πτήση καταγραφής και δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου με την χρήση συγκεκριμένου λογισμικού καθώς και γεωαναφορά μέσω σημείων γνωστών συντεταγμένων στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Ακόμα, θα πραγματοποιηθεί σύγκριση του παραμετροποιημένου ανεμόπτερου με ένα εμπορικό τετρακόπτερο και ένα παραμετροποιημένο εξακόπτερο με βάση τα υλικά από τα οποία αποτελείται η κάθε πλατφόρμα συναρτήσει του κόστους τους, την συμπροφορά τους κατά την πτήση και τέλος τα τρισδιάστατα μοντέλα της περιοχής μελέτης που προέκυψαν από το καθένα.

6.1 Επεξεργασία απεικονίσεων

Προκειμένου να είναι εφικτή η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου ήταν αναγκαίο το βίντεο το οποίο καταγράφηκε κατά την διεξαγωγή της πτήσης καταγραφής να μετατραπεί σε φωτογραφίες σε κατάλληλη μορφή για να είναι δυνατή η εισαγωγή τους στο λογισμικό δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου. Μετά από την πρωτογενή επεξεργασία επιλογής των κατάλληλων σημείων του βίντεο, αυτό κατακερματίστηκε σε φωτογραφίες ανά ένα δευτερόλεπτο, και έτσι προέκυψαν 125 φωτογραφίες της περιοχής μελέτης. Τέλος, έγινε μια διαλογή των φωτογραφιών αυτών με αποτέλεσμα να αφαιρεθούν όσες ήταν θαμπές ή δεν είχαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την περιοχή μελέτης και θα

επηρέαζαν αρνητικά την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου.

Εικόνα 6.1: Φωτογραφία εναέριας λήψης περιοχής μελέτης

6.2 Δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου της περιοχής

Στη συνέχεια, γίνεται εισαγωγή των εικόνων στο λογισμικό δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου προκειμένου να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο της περιοχής μελέτης μέσω τις συρραφής των εικόνων αυτών. Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αναφορά στην διαδικασία που ακολουθήθηκε προκειμένου να δημιουργηθούν τα παραπάνω τρισδιάστατα μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα, η γενική διαδικασία που ακολουθεί το λογισμικό δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων είναι:

- Το πρώτο στάδιο αποτελεί την εύρεση κοινών εικονοστοιχείων. Σε αυτό το στάδιο το λογισμικό δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων αναζητά κοινά σημεία στις φωτογραφίες και τα ταιριάζει, ενώ προσδιορίζει τη θέση της κάμερας για κάθε φωτογραφία βελτιώνοντας της παραμέτρους βαθμονόμησής της. Ως αποτέλεσμα σχηματίζεται ένα αραιό νέφος σημείων και ένα σύνολο θέσεων κάμερας. Το αραιό

νέφος σημείων αντιπροσωπεύει τα αποτελέσματα του πρωτογενούς σχετικού προσανατολισμού φωτογραφιών και δεν θα χρησιμοποιηθεί άμεσα στην περαιτέρω διαδικασία κατασκευής του τρισδιάστατου μοντέλου. Ωστόσο, μπορεί να εξαχθεί για περαιτέρω χρήση σε εξωτερικά προγράμματα. Για παράδειγμα, το αραιό νέφος σημείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα λογισμικό επεξεργασίας τρισδιάστατων μοντέλων. Από την άλλη μεριά, το σύνολο των θέσεων κάμερας απαιτείται για περαιτέρω ανακατασκευή του 3D μοντέλου από το λογισμικό.

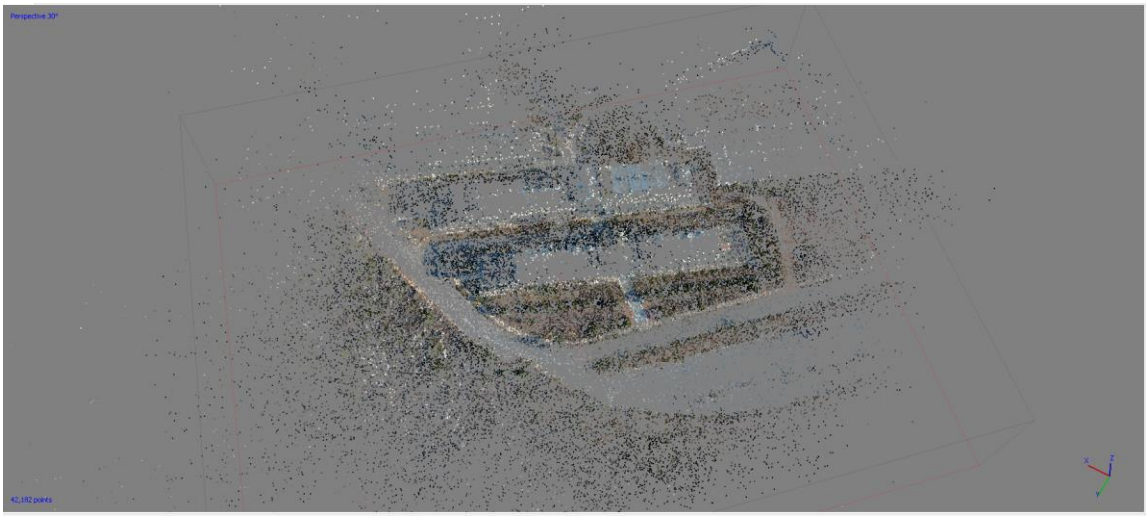
- Έπειτα από την δημιουργία του νέφους σημείων ακολουθεί ο μετασχηματισμός του στο γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων κάνοντας χρήση σημείων ελέγχου εδάφους.

- Το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων. Με βάση τις εκτιμώμενες θέσεις κάμερας και τις ίδιες τις εικόνες, δημιουργείται ένα πυκνό νέφος σημείων από το λογισμικό. Το νέφος πυκνών σημείων μπορεί να επεξεργαστεί και να ταξινομηθεί προτού γίνει η εξαγωγή του ή η παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου πλέγματος.

- Το τέταρτο στάδιο είναι η κατασκευή πλέγματος. Το λογισμικό αναπαράγει ένα τρισδιάστατο πολυγωνικό πλέγμα που αντιπροσωπεύει την επιφάνεια αποτύπωσης βάση του νέφους πυκνών ή αραιών σημείων ανάλογα με την επιλογή του χρήστη. Γενικά οι δύο Αλγοριθμικές μέθοδοι που εφαρμόζονται από το λογισμικό για την παραγωγή του τρισδιάστατου πλέγματος είναι η “Height Field” για επιφάνειες επίπεδου τύπου και η “Arbitrary” για οποιοδήποτε άλλο είδος αντικειμένου.

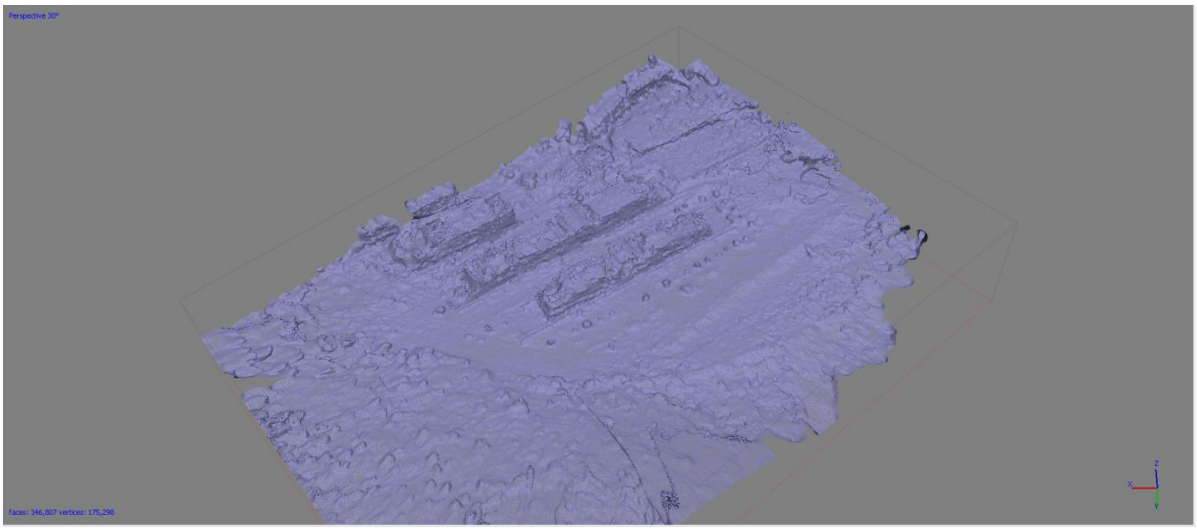
- Μετά την ανακατασκευή της γεωμετρίας (δηλ. του πλέγματος), μπορεί να προστεθεί υφή (texture) σε αυτή ή να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία ενός ορθομωσαϊκού.

Τα αποτελέσματα της διεργασίας αυτής που προέκυψαν από την χρήση του μη επανδρωμένου ανεμόπτερου παρατίθενται στα παρακάτω σχήματα:



Εικόνα 6.2: Ευθυγράμμιση σημείων από τις απεικονίσεις που λύθηκαν με το παραμετροποιημένο ανεμόπτερο.

Εικόνα 6.3: Δημιουργία νέφους σημείων από τις απεικονίσεις που λύθηκαν με το παραμετροποιημένο ανεμόπτερο.



Εικόνα 6.4: Κατασκευή πλέγματος από τις απεικονίσεις που λύθηκαν με το παραμετροποιημένο ανεμόπτερο.

Εικόνα 6.5: Κατασκευή υφής από τις απεικονίσεις που λύθηκαν με το παραμετροποιημένο ανεμόπτερο.

6.3 Σύγκριση πλατφορμών

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα γίνει η σύγκριση των τριών πλατφορμών. Ωστόσο, σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι δεν είναι εφικτό να τις συγκρίνουμε επακριβώς λόγω εγγενών διαφοροποιήσεων στην αρχιτεκτονική τους και την διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών πτήσης στην περίπτωση μελέτης, συνεπώς η σύγκριση παραμένει προσεγγιστική. Η σύγκριση αυτή θα γίνει με βάση τα υλικά από τα οποία αποτελείται η κάθε πλατφόρμα καθώς και στο κόστους, την συμπεριφορά τους κατά την πτήση και τέλος τα τρισδιάστατα μοντέλα της περιοχής μελέτης που προέκυψαν από το κάθε ένα. Οι επιλεγμένες πλατφόρμες προς σύγκριση αποτελούνται από: το ανεμόπτερο που παραμετροποιήθηκε, ένα εμπορικό τετρακόπτερο και ένα παραμετροποιημένο εξακόπτερο, αποτελούν εξοπλισμό του εργαστήριου και παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν.

Εικόνα 6.6: Παραμετροποιημένο ανεμόπτερο.

Εικόνα 6.7: Εμπορικό τετρακόπτερο.

Εικόνα 6.8: Παραμετροποιημένο εξακόπτερο.

6.3.1 Σύγκριση με βάση τα υλικά

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει αναφορά τόσο στα τα υλικά από τα οποία απαρτίζεται η κάθε πλατφόρμα όσο και στο κόστος. Στα υλικά που απαρτίζουν την κάθε πλατφόρμα συμπεριλαμβάνεται και ο εξοπλισμός καταγραφής. Πιο συγκεκριμένα:

- Παραμετροποιημένο ανεμόπτερο

  Το ανεμόπτερο που παραμετροποιήθηκε είναι δομημένο εξ ολοκλήρου από διογκωμένη πολυστερίνη (φελιζόλ). Αποτελείται από ένα ρότορα που είναι τοποθετημένος στο πίσω μέρος πάνω από το πιλοτήριο, ένα ESC το οποίο είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο του ηλεκτροκινητήρα, τέσσερις σερβομηχανισμούς που είναι υπεύθυνοι για την κίνηση των πτερυγίων που διαθέτει, μονάδα GPS, δέκτη τηλεχειρισμού, τηλεμετρία, Bluetooth module, τον πιλότο με όλες τις απαραίτητες καλωδιώσεις, καταγραφικό σύστημα τύπου action cam με δυνατότητα λήψης βίντεο με ανάλυση 4K και ενσωματωμένο γυροσκόπιο καθώς και μπαταρία τύπου LiPo χωρητικότητας 2.200 mAh στα 11.1 V. Επίσης, για την σταθερότητα του πιλότου έχει σχεδιαστεί, τυπωθεί και τοποθετηθεί μέσα στο πιλοτήριο βάση από τρισδιάστατο εκτυπωτή. Το μέγιστο βάρος που μπορεί να ανυψώσει συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού που φέρει είναι 800 gr. Τέλος, το κόστος του είναι της τάξεως των 300 ευρώ.

- Εμπορικό Τετρακόπτερο

  Το εμπορικό τετρακόπτερο που χρησιμοποιήθηκε για την σύγκριση είναι κατασκευασμένο στο μεγαλύτερο μέρος του από ανθρακονήματα. Αποτελείται από τέσσερις ρότορες που είναι τοποθετημένοι στις τέσσερεις άκρες των βραχιόνων που διαθέτει, τέσσερα ESC τα οποία είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο των ηλεκτροκινητήρων, μονάδα GPS, δέκτη τηλεχειρισμού, τηλεμετρία, μηχανισμό gimbal τριών αξόνων για τον έλεγχο του συστήματος καταγραφής, καταγραφικό

σύστημα με δυνατότητα λήψης βίντεο με ανάλυση 4K καθώς και μπαταρία τύπου LiPo χωρητικότητας 4.500 mAh στα 22.2 V. Το μέγιστο βάρος που μπορεί να ανυψώσει συμπεραλβανουμένου του εξοπλισμού που φέρει είναι 3.600 gr. Τέλος, το κόστος του είναι τις τάξεως των 5.000 ευρώ.

- Παραμετροποιημένο εξακόπτερο

Το παραμετροποιημένο εξακόπτερο που χρησιμοποιήθηκε για την σύγκριση είναι κατασκευασμένο στο μεγαλύτερο μέρος του από ανθρακονήματα. Αποτελείται από έξι ρότορες που είναι τοποθετημένοι στις έξι άκρες των βραχιόνων που διαθέτει, έξι ESC τα οποία είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο των ηλεκτροκινητήρων, μονάδα GPS, δέκτη τηλεχειρισμού, τηλεμετρία, ενσωματωμένο υπολογιστικό σύστημα το οποίο παραμετροποιήθηκε και τοποθετήθηκε από μέλη του εργαστηρίου, μηχανισμό gimbal δύο αξόνων για τον έλεγχο της κάμερας, κάμερα τύπου DSLR με δυνατότητα λήψης βίντεο με ανάλυση 1080p καθώς και δυο μπαταρίες τύπου LiPo χωρητικότητας 10.000 mAh στα 22.2 V. Επιπρόσθετα, έχουν τοποθετηθεί σε αυτό διάφορα εξαρτήματα που έχουν σχεδιαστεί και τυπωθεί στον τρισδιάστατο εκτυπωτή του εργαστηρίου ώστε να είναι δυνατή η προσθήκη περαιτέρω αισθητήρων πάνω σε αυτό. Το μέγιστο βάρος που μπορεί να ανυψώσει συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού που φέρει είναι 7.000 gr. Τέλος, το κόστος του είναι της τάξεως των 7.000 ευρώ.

6.3.2 Σύγκριση με βάση την πτητική τους συμπροφορά

Η πτητική συμπεριφορά των μη επανδρωμένων οχημάτων αλλάζει δραματικά από πλατφόρμα σε πλατφόρμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επηρεάζονται και τα αποτελέσματα των απεικονίσεων συνεπώς και η ποιότητα του τρισδιάστατου μοντέλου που προκύπτει από αυτές. Αναλυτικότερα:

- Παραμετροποιημένο ανεμόπτερο

Το ανεμόπτερο που παραμετροποιήθηκε δεν μπορεί να αιωρείται στατικά πάνω από μια περιοχή όπως μπορούν οι άλλες δυο πλατφόρμες. Ωστόσο, η μορφή που έχει του δίνει την δυνατότητα να «γλιστρά» στον αέρα με αποτέλεσμα η κατανάλωση του σε ενέργεια να είναι πολύ μικρή σε σχέση με τις άλλες δυο πλατφόρμες. Αυτή η ιδιότητα του προσθέτει το πλεονέκτημα ασφαλούς προσγείωσης του σε περίπτωση βλάβης του κινητήρα καθώς μπορεί να πετάξει και χωρίς αυτόν. Άλλο ένα πλεονέκτημα του σε σύγκριση με τις άλλες πλατφόρμες είναι ότι μπορεί να διανύσει μεγαλύτερες αποστάσεις, να αναπτύξει μεγαλύτερη ταχύτητα και να καλύψει μεγάλες περιοχές σε μικρότερο χρονικό διάστημα, συνεπώς η πτήση καταγραφής της περιοχής ενδιαφέροντος ήταν πολύ σύντομη. Από την άλλη μεριά, τόσο η προσγείωση όσο και η απογείωση του είναι αρκετά δύσκολες διαδικασίες καθώς ο χειρισμός του είναι αρκετά πιο απαιτητικός σε σχέση με τις άλλες δύο πλατφόρμες και απαιτεί εμπειρία και δεξιοτεχνία από την πλευρά του χειριστή.

- Εμπορικό Τετρακόπτερο

Το εμπορικό τετρακόπτερο μπορεί να αιωρείται στατικά πάνω από ένα σημείο και λόγω της μορφής του η πτήση του είναι πιο σταθερή σε σχέση με το ανεμόπτερο ακόμα και σε συνθήκες ανέμου. Ακόμα, ο χειρισμός του γίνεται με πολύ μεγαλύτερη ευκολία κατά την πτήση του γεγονός που επιτρέπει την πραγματοποίηση ελιγμών ακριβείας από τον χειριστή. Επίσης, τόσο η διαδικασία της απογείωσης όσο και της προσγείωσης είναι σχετικά εύκολες διεργασίες και δεν χρειάζονται μεγάλη δεξιοτεχνία από τον χρήστη. Ωστόσο, στην περίπτωση κάποιας βλάβης το εμπορικό τετρακόπτερο δεν είναι σε θέση να πραγματοποιήσει ασφαλή προσγείωση. Ένα άλλο μειονέκτημα που παρουσιάζει η συγκεκριμένη πλατφόρμα είναι ότι λόγω της ύπαρξης των τεσσάρων ηλεκτροκινητήρων και του τρόπου πτήσης, η κατανάλωση ενέργειας είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή του ανεμόπτερου και συνεπώς ο χρόνος πτήσης του είναι πολύ μικρότερος. Από

την άλλη μεριά η ύπαρξη τεσσάρων ηλεκτροκινητήρων το καθιστά ικανό να ανυψώσει αρκετά μεγαλύτερο ωφέλιμο φορτίο (αισθητήρες) σε σχέση με το παραμετροποιημένο ανεμόπτερο. Τέλος, ο ρυθμός με το οποίο κάλυπτε την περιοχή καταγραφής ήταν μικρότερος σε σχέση με το παραμετροποιημένο ανεμόπτερο.

- Παραμετροποιημένο εξακόπτερο

Το παραμετροποιημένο εξακόπτερο καθώς και το εμπορικό τετρακόπτερο αποτελούν μη επανδρωμένα οχήματα της ίδιας κατηγορίας συνεπώς κάποια από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του παραμετροποιημένου εξακοπτέρου έχουν αναφερθεί πιο πάνω. Έτσι, κρίνεται σκόπιμο να αναφέρουμε μόνο τα σημεία στα οποία διαφοροποιείται. Η βασική του διαφορά με το εμπορικό τετρακόπτερο είναι ότι είναι σε θέση να πραγματοποιήσει ασφαλή προσγείωση στην περίπτωση που πάθουν βλάβη οι αντιδιαμετρικοί ηλεκτροκινητήρες του. Επιπρόσθετα, μπορεί να παράξει με ακόμα μεγαλύτερη δύναμη ανύψωσης και συνεπώς είναι σε θέση να μεταφέρει ακόμα μεγαλύτερο ωφέλιμο φορτίο σε σχέση με το τετρακόπτερο. Τέλος, η πτήση του είναι ακόμα πιο σταθερή σε σχέση με το τετρακόπτερο του εμπορίου λόγω της ύπαρξης δύο επιπλέον ηλεκτροκινητήρων.

6.3.3 Σύγκριση με βάση τα τρισδιάστατα μοντέλα της περιοχής μελέτης

Η δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων που προέκυψαν από τις απεικονίσεις των τριών πλατφορμών επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά της κάμερας που χρησιμοποιήθηκε καθώς και από την ύπαρξη ή μη του gimbal. Εδώ πρέπει να αναφέρουμε ότι το gimbal είναι ο μηχανισμός που είναι υπεύθυνος στο να κρατάει τον φακό της κάμερας οριζοντιωμένο καθ’ όλη την διάρκεια της πτήσης. Τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν συνεπώς θα κριθούν τόσο οπτικά και βάση της εμπειρίας που έχει αποκτηθεί καθ’ όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας όσο και μέσω των σφαλμάτων αποτύπωσης που προέκυψαν μετά την γεωαναφορά τους σε τοπικό

σύστημα συντεταγμένων στο λογισμικό δημιουργίας τους. Τέλος, για τη δημιουργία των μοντέλων από το εμπορικό τετρακόπτερο και το παραμετροποιημένο εξακόπτερο εφαρμόστηκε η ίδια διαδικασία που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 6.2. Συνεπώς, προκύπτουν τα ακόλουθα για τις τρεις πλατφόρμες:

- Παραμετροποιημένο ανεμόπτερο

Το παραμετροποιημένο ανεμόπτερο λόγω του ότι είναι κατασκευασμένο από διογκωμένη πολυστερίνη, μπορεί να ανυψώσει πολύ μικρό βάρος με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η τοποθέτηση gimbal σε αυτό. Από την άλλη μεριά, η κάμερα που τοποθετήθηκε σε αυτό προκειμένου να αντισταθμίσει την έλλειψη του gimbal έχει ενσωματωμένο στο φακό της ένα γυροσκόπιο το οποίο έχει σκοπό να κρατάει τον φακό παράλληλο με τον ορίζοντα ανεξαρτήτως της θέσης της. Βέβαια, σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να συγκριθεί το γυροσκόπιο που είναι ενσωματωμένο στην κάμερα με ένα gimbal καθώς αυτό είναι ικανό να κρατήσει τον φακό της κάμερας παράλληλα με τον ορίζοντα ανεξάρτητα με τις κινήσεις που πραγματοποιεί η πλατφόρμα πάνω στην οποία είναι τοποθετημένο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα κάποιες απεικονίσεις του παραμετροποιημένου ανεμόπτερου να μην σχετίζονται με την περιοχή μελέτης. Η ποιότητα του τρισδιάστατου μοντέλου που προέκυψε από το λογισμικό δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων έχει να κάνει τόσο με την ανάλυση των απεικονίσεων που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι 1920 x 1080 pixels όσο και με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του απεικονιστικού μέσου. Το τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε από αυτή την πλατφόρμα οπτικά είναι αρκετά ικανοποιητικό εάν αναλογιστούμε τους περιορισμούς του συστήματος καταγραφής που διαθέτει. Επίσης, τα συνολικά σφάλματα που προέκυψαν από την γεωαναφορά του μοντέλου στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων είναι 0,090952 μέτρα και 0,945 pixel τα οποία είναι αρκετά μικρά και συνεπώς αποδεκτά για ευρεία γκάμα εφαρμογών αποτύπωσης.

- Εμπορικό Τετρακόπτερο

Το εμπορικό τετρακόπτερο λόγω της ύπαρξης πάνω σε αυτό gimbal τριών αξόνων καθώς και των ανώτερων τεχνικών χαρακτηριστικών του απεικονιστικού μέσου που διαθέτει σε σχέση με αυτό του ανεμόπτερου, κατέγραψε απεικονίσεις μεγαλύτερης ακρίβειας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η ποιότητα του τρισδιάστατου μοντέλου που προέκυψε οπτικά να είναι σημαντικά βελτιωμένη σε σχέση με αυτή του ανεμόπτερου. Επιπρόσθετα, σε αυτό έπαιξε ρόλο και η ανάλυση των απεικονίσεων η οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι 4096 x 2160 pixels. Το τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.9. Τέλος, τα συνολικά σφάλματα που προέκυψαν από την γεωαναφορά του μοντέλου στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων είναι 0,030429 μέτρα και 0,523 pixel τα οποία είναι αρκετά μικρά.

Εικόνα 6.9: Τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε από τις απεικονίσεις του εμπορικού τετρακόπτερου.

- Παραμετροποιημένο εξακόπτερο

Το παραμετροποιημένο εξακόπτερο διαθέτει και αυτό με την σειρά του gimbal δύο αξόνων καθώς και απεικονιστικό μέσο με καλύτερες τεχνικές προδιαγραφές από το εμπορικό τετρακόπτερο. Το τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε οπτικά είναι καλύτερο σε σχέση με το μοντέλο που προέκυψε από το

εμπορικό τετρακόπτερο καθώς και η ανάλυση των απεικονίσεων είναι μεγαλύτερη στα 5184 x 3456 pixels. Το τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.10. Μετά από την γεωαναφορά του μοντέλου τα συνολικά σφάλματα που προέκυψαν από αυτήν την πλατφόρμα είναι 0,108931 μέτρα και 1,003 pixel και θεωρούνται αποδεκτά. Οι μετρήσεις σφάλματος είναι ενδεικτικές και δεν μπορούν να συγκριθούν, καθώς, υπήρξαν διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά της πτήσης, π.χ. διαφορετικό ύψος πτήσης, ταχύτητα καταγραφής, κ.λπ.

Εικόνα 6.10: Τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε από τις απεικονίσεις του παραμετροποιημένου εξακοπτέρου.

6.4 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, σε αυτό το Κεφάλαιο έγινε περιγραφή της διεργασίας δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων περιοχής μέσω λογισμικού δημιουργίας μοντέλων. Συγκρίνοντας τα τρισδιάστατα μοντέλα και των τριών πλατφορμών προκύπτει ότι είναι δυνατή η φωτογραμμετρική αποτύπωση με το παραμετροποιημένο ανεμόπτερο. Τόσο τα συνολικά σφάλματα του μοντέλου που προέκυψε από το παραμετροποιημένο ανεμόπτερο όσο και η οπτική σύγκριση του με τα άλλα δυο μοντέλα τα οποία προέκυψαν από πλατφόρμες οι οποίες χρησιμοποιούνται για φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις δεν αποκλίνουν σημαντικά.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα – Προτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, παραμετροποιήθηκε μια πλατφόρμα μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος και συγκεκριμένα ανεμόπτερου. Λόγω του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού (GPS) και του αυτόματου πιλότου που διαθέτει είναι ικανή να πραγματοποιήσει αυτόνομες πτήσεις. Για τον λόγο αυτό προσαρμόστηκε απεικονιστικό μέσο πάνω σε αυτή ώστε να διαπιστωθεί η καταλληλότητα της πλατφόρμας στη διεξαγωγή φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων. Η περιοχή που επιλέχτηκε για την διεξαγωγή των φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων βρίσκεται εντός του Πολυτεχνείου Κρήτης, συγκεκριμένα πρόκειται για τα κτήρια «Κ» των Μηχανικών Περιβάλλοντος. Μέσω της προσεγγιστικής σύγκρισης αυτής της πλατφόρμας με άλλες δυο κατάλληλες για φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις, αποδείχτηκε ότι είναι ικανοποιητική, καθώς τα τρισδιάστατα μοντέλα που προκύπτουν από αυτήν δεν αποκλίνουν σημαντικά από τα μοντέλα των άλλων πλατφορμών τόσο οπτικά όσο και από πλευράς συνολικών σφαλμάτων. Συνεπώς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ευκολία σε εφαρμογές χαρτογράφησης διαφόρων ειδών όπως επίσης και σε άλλες εφαρμογές των Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

Επιπρόσθετα, η πλατφόρμα που παραμετροποιήθηκε κατάφερε να έχει χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης, αυξημένη αυτονομία, δυνατότητα καταγραφής μεγάλων περιοχών σε σύντομο χρονικό διάστημα, ευκολία στην παραμετροποίηση της, δυνατότητα πραγματοποίησης ασφαλούς προσγείωσης σε περίπτωση βλάβης και τέλος ευελιξία στον τρόπο επισκευής της σε περίπτωση κάποιας πρόσκρουσης. Συνεπώς, από όλα τα προαναφερθέντα γίνεται αντιληπτό ότι η πλατφόρμα του μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος είναι επιτυχημένη καθώς τόσο τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία όσο και τα τεχνικά χαρακτηριστικά που κατάφερε να συγκεντρώσει ικανοποιούν τις απαιτήσεις που τέθηκαν αρχικά.

7.1 Πηγές Σφαλμάτων

Τα σφάλματα που παρουσιάστηκαν στην πειραματική διαδικασία μπορεί να οφείλονται:

- Στο γεγονός ότι το σύστημα καταγραφής δεν ήταν τοποθετημένο σε gimbal
- Στα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος καταγραφής (fish eye camera)
- Στην εναλλαγή του ύψους πτήσης και τους απότομους ελιγμούς κατά την πτήση
- Στην ύπαρξη σφαλμάτων στην ακρίβεια των σταθερών σημείων που λήφθηκαν από την μονάδα GPS.

Σε αυτή την παράγραφο κρίνεται σκόπιμο να αναφέρουμε ότι κατά την δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων υπήρχε μια γενική αστάθεια κατά την γεωαναφορά των μοντέλων με αποτέλεσμα να προκύπτουν αρκετές φορές μη αποδεκτά σφάλματα και οπτικές ανωμαλίες σε αυτά και χρειάστηκαν αρκετές δοκιμές προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτή η αστάθεια μπορεί να οφείλεται είτε στην επιλογή των συγκεκριμένων σημείων σε συνδυασμό με τα σφάλματα που μπορεί να προέκυψαν κατά την μέτρηση τους από την μονάδα GPS είτε σε κάποιο σφάλμα του λογισμικού δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων το οποίο δεν διερευνήθηκε καθώς δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας .

7.2 Προτάσεις βελτίωσης

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια φωτογραμμετρικής αποτύπωσης με την χρήση μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος τύπου ανεμόπτερου για τη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Για τον λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμη η διεξαγωγή και άλλων πειραματικών διαδικασιών με την χρήση ίδιας πλατφόρμας η οποία ωστόσο να είναι τροποποιημένη με τέτοιον τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι πηγές των σφαλμάτων.

Συνεπώς, προτείνεται η χρήση πλατφόρμας ίδιου τύπου η οποία ωστόσο μπορεί να ανυψώσει μεγαλύτερο ωφέλιμο φορτίο ώστε να είναι δυνατή τόσο η τοποθέτηση gimbal

στο σώμα της όσο και η τοποθέτηση συστήματος καταγραφής με ανώτερα τεχνικά χαρακτηριστικά από αυτό που χρησιμοποιήθηκε.

Επιπρόσθετα, θα μπορούσε να διεξαχθεί έρευνα αναφορικά με την αστάθεια των τρισδιάστατων μοντέλων που προέκυψαν από το λογισμικό τρισδιάστατης αποτύπωσης.

Εν κατακλείδι, η παρούσα διπλωματική εργασία αποδεικνύει ότι με χρήση εξοπλισμού ελάχιστου κόστους είναι δυνατή η φωτογραμμετρική αποτύπωση περιοχής. Επομένως, προτείνεται η χρήση του συγκεκριμένου εξοπλισμού σε κάθε μηχανικό ο οποίος θέλει να πραγματοποιήσει αποτύπωση περιοχής με το μικρότερο δυνατό κόστος δεδομένων των προϋποθέσεων ασφαλείας.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Μαγκίρης Β., (1998). UAV και MAV: Τα ιπτάμενα ρομπότ, Περισκόπιο της Επιστήμης, τεύχος 219, σσ. 66-75.

2. Πέτσα Ε., (2000). Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρία, ΤΕΙ Αθήνας.

Διεθνής βιβλιογραφία

1. Caterina Balletti, Francesco Guerra, Vassilios Tsioukas, Paolo Vernier (2014). Calibration of Action Cameras for Photogrammetric Purposes.

2. Chih-cho Wang. (1990). Principles of Photogrammetry: With Remote Sensing.

3. Douglas, M. Marshall (Editor), Richard, K. Barnhart (Editor), Eric Shappee (Editor), Michael Thomas Most (Editor) (2016).Introduction to Unmanned Aircraft Systems, Second Edition 2nd Edition.

4. Draganfly, Inc. 2009. [online] A Short History of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), by Cam Tetrault, available from: http://www.draganfly.com/blog/a-short-history-of-unmanned-aerial-vehicles-uavs/ [accessed 22/01/2018].

5. Gabrlik, P. Cour-Harbo, A.L. Kalvodova, P. Zalud, L. Janata, P. (2018). Calibration and accuracy assessment in a direct georeferencing system for UAS photogrammetry.

6. Hackl, J. Adey, B.T. Wozniak, M. Schümperlin, O. (2018). Use of unmanned aerial vehicle photogrammetry to obtain topographical information to improve bridge risk assessment, Journal of Infrastructure Systems, 24 (1), art. no. 04017041.

7. Mahmoud Hassani and James Carswell (1992). Transition from analogue to Digital Photogrammetry, Advances in remote sensing Vol I. No. 3 VII.

8. M.A. Boon, A. P. Drijfhout S. Tesfamichael , (2017).Comparison of a fixed-wing and multi-rotor uav for environmental mapping applications: a case study.

9. M. Hassanalian, A. Abdelkefi (2017). Classifications, applications, and design challenges of drones: A review.

10. Matthews, N. A. (2008). Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology: Providing Resource Documentation, Interpretation, and Preservation.

11. Meul, F. Fehres, J. Effkemann, C. Blankenbach, J. (2018). UAS Photogrammetry for Surveying Tasks in the Course of Land Consolidation Procedures – A Pilot Study Within a Road Construction Project [Article@Einsatz der UAS-Photogrammetrie für Vermessungsaufgaben in Flurbereinigungsverfahren – Eine Pilotstudie im Rahmen eines Straßenbauprojekts] AVN Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 125 (1-2), pp. 23-30.

12. Questuav, Inc. 2017. [online] Fixed Wing Versus Rotary Wing For UAV Mapping Applications, available from: https://www.questuav.com/media/case-study/fixed-wing-versus-rotary-wing-for-uav-mapping-applications/ [accessed 25/01/2018].

13. Reinoso, J.F. Gonçalves, J.E. Pereira, C. Bleninger, T. (2018). Cartography for Civil Engineering Projects: Photogrammetry Supported by Unmanned Aerial Vehicles.

14. Schenk, T. (2005). Introduction to Photogrammetry, Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science - The Ohio State University.