

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Ηλεκτρονικών Μηχανικών



UNIVERSITY of WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
Department of Electrical & Electronics Engineering

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Διαδικτυωμένα Ηλεκτρονικά Συστήματα

Master of Science in
Internetworked Electronic Systems

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάπτυξη διάταξης πλοήγησης αυτόνομων οχημάτων και Drone
βασισμένη σε κάμερα τεχνολογίας τριών διαστάσεων και
σε διάταξη τεχνητής νοημοσύνης για την επεξεργασία εικόνας



Μεταπτυχιακός Φοιτητής: Χρήστος Μουστάκας, ΑΜ: IES-0019
Επιβλέπων: Παναγιώτης Παπαγιώργας, Καθηγητής

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2023

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Διαδίκτυωμένα Ηλεκτρονικά Συστήματα

Master of Science in
Internetworked Electronic Systems

MSc Thesis

Development of a navigation system for autonomous vehicles and drones,
based on 3D camera and an AI IC for image processing



Student: Moustakas, Christos, Reg. Nr.: IES-0019

MSc Thesis Supervisor: Papageorgas, Panagiotis, Professor

ATHENS-EGALEO, JANUARY 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα drones και τα αυτόνομα οχήματα μπαίνουν δυναμικά σε διάφορες οικονομικές δραστηριότητες από την παράδοση δεμάτων έως την υλοποίηση συστημάτων επιτήρησης και ασφάλειας, συστημάτων ρομποτικής και σε πλήθος εφαρμογών για υπηρεσίες θέσης. Οι τεχνολογίες που επιτρέπουν την αυτονομία των μη επανδρωμένων οχημάτων περιλαμβάνουν τον εντοπισμό θέσης με ακρίβεια καθώς και την αναγνώριση εμποδίων σε πραγματικό χρόνο με την χρήση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης.

Στην παρούσα εργασία, μελετώνται σε θεωρητικό επίπεδο διάφορες παράμετροι όπως η εμβέλεια, η κατανάλωση ενέργειας, η ακρίβεια της τοποθεσίας, το κόστος, το βάρος του drone, καθώς και το βάρος ανύψωσης. Έπειτα, θα πραγματοποιηθεί βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με τις υπάρχουσες τεχνολογίες αιχμής και τις ενδεχόμενες αδυναμίες τους καθώς και έρευνα αγοράς για την επιλογή των κατάλληλων τεχνολογιών αποφυγής εμποδίων ενός drone. Εξετάζονται, επίσης, τόσο τα απαιτούμενα βέλτιστα υλικά, όπως μικροελεγκτές και πλακέτες ανάπτυξης, όσο και οι απαιτούμενες βέλτιστες τεχνολογίες προγραμματισμού για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος.

Στη συνέχεια, περιγράφεται η υλοποίηση ενός συστήματος βάσει των προδιαγραφών που τέθηκαν στο θεωρητικό μέρος. Γίνεται περιγραφή μιας διάταξης πειραματισμού για την αποφυγή εμποδίων ενός drone με υλικό νέας γενιάς βασισμένο σε κάμερα 3D και σε αισθητήρα Lidar, με σκοπό την υλοποίηση μιας διάταξης επεξεργασίας εικόνας σε πραγματικό χρόνο. Το παραπάνω σύστημα θα είναι σε θέση να αποφασίζει μια ασφαλή πλοήγηση, η οποία θα αποφεύγει τα εμπόδια.

ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ: Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος, UAV, Αυτόματος Πιλότος, Open Source Hardware, Open Source Software

ABSTRACT

Drones and autonomous vehicles are dynamically engaged in various economic activities from the delivery of parcels to the implementation of surveillance and security systems, robotic systems and a number of applications for positioning services. Technologies that allow unmanned vehicles to be autonomous include accurate positioning as well as real-time obstacle recognition using artificial intelligence algorithms.

In the present work, various parameters such as range, energy consumption, location accuracy, cost, drone weight, and lift weight are studied at a theoretical level. Then, a bibliographic research will be conducted on the existing state-of-the-art technologies and their possible weaknesses as well as a market research to select the appropriate technologies to avoid a drone. The required optimal materials, such as microcontrollers and development boards, as well as the required optimal programming technologies for the implementation of such a system are also examined.

Next, the implementation of a system based on the specifications set in the theoretical part is described. An experimental device has been implemented to avoid obstacles of a drone with new generation material based on 3D camera and Lidar sensor, in order to implement a real-time image processing device. The above system will be able to decide a safe navigation, which will avoid obstacles.

KEYWORDS: Unmanned Aerial Vehicle, RC Controlled Helicopter, UAV, Drone, DTN, Autopilot, Open Source Hardware, Open Source Software

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ-ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ-ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

AI: Artificial Intelligence – Τεχνητή Νοημοσύνη

ESC: Electronic Speed Controller – Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας

UAV: Unmanned Aerial Vehicle

LIPO: Μπαταρία πολυμερών λιθίου

API: Application programming interface

GPIO: General Purpose Input / Output

IMU: Inertial Measurement Unit

SLAM: Simultaneous Localization and Mapping

IR: Infrared

LIDAR: Light Detection and Ranging

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Αντικείμενο, ερευνητικά ερωτήματα και διάρθρωση της εργασίας	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Θεωρητικό πλαίσιο του θέματος – Ανασκόπηση του πεδίου	8
1.1 Θεωρητικό πλαίσιο εργασίας	8
1.2 Τεχνικές και τεχνολογίες αποφυγής εμποδίων	18
1.2 Μοντελοποίηση ενός ενσωματωμένου συστήματος	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Μεθοδολογία της έρευνας	25
3D camera	25
Επεξεργαστής	27
Ελεγκτής Πτήσης	28
Επιλογή Frame	29
Επιλογή Μπαταριών	30
PCB διανομής ισχύος	30
Λογισμικό	31
RC έλεγχος	31
Επιλογή Μοτερ και Ελεγκτών Ταχύτητας (ESC)	32
FPV πομποδεκτης αναλογικού βίντεο	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η προτεινόμενη μέθοδος – Θεμελίωση, Σχεδίαση, Ανάπτυξη.....	35
Γενική σχεδίαση και ανάπτυξη του Drone	39
Διαδικασία βαθμονόμησης	52
Εγκατάσταση Dronekit.....	61
Εγκατάσταση 3D camera	62
Εγκατάσταση Lidar	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Εφαρμογή και Αποτελέσματα	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ανάλυση Αποτελεσμάτων – Συζήτηση	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ.....	70

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Αντικείμενο, ερευνητικά ερωτήματα και διάρθρωση της εργασίας

Τα drones – UAV (Unmanned aerial Vehicle) έχουν πλέον σημαντική παρουσία στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Η ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας και η μετάβαση της από στρατιωτικό σε πιο εμπορικό προϊόν, ξεκίνησε στις αρχές του 21ου αιώνα. Η εξέλιξη της τεχνολογίας τους έχει φτάσει σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται για πρακτικές εφαρμογές σε μια πληθώρα εφαρμογών στη βιομηχανία αλλά και την ιδιωτική χρήση. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι η εναέρια επιτήρηση μεγάλων χώρων, όπως εργοστασίων, η επιθεώρηση δυσπρόσιτων από τον άνθρωπο εγκαταστάσεων και η κινηματογραφική λήψη τοπίων. Επίσης, μπορεί να συνεισφέρει στον εντοπισμό θυμάτων σε πυρκαγιές, στην παροχή πρώτων βοηθειών σε επείγοντες καταστάσεις, καθώς και την παροχή φαρμάκων σε εμπόλεμες ζώνες. Επιπλέον, έχουν συμβάλει στην πιο εύκολη 3D χαρτογράφηση και τοπογράφηση εκτάσεων, καθώς και στον έλεγχο δυσπρόσιτων περιοχών.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία ενός Drone ανοιχτού κώδικα, το οποίο θα συνδυάζει δύο διαφορετικές τεχνολογίες αποφυγής εμποδίων με κεντρικό onboard υπολογιστή. Συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιεί lidar και κάμερα 3D απεικόνισης. Επιπλέον, μια κάμερα χαμηλού φωτισμού είναι εγκατεστημένη, έτσι ώστε να επιτηρεί την κάτω πλευρά του Drone. Επίσης, θα μπορεί να γίνει αναμετάδοση αναλογικού βίντεο της επιφάνειας εργασίας του κεντρικού υπολογιστή. Αυτό μας επιτρέπει να εμποτεύουμε τις 3 αυτές εισόδους πληροφορίας του Drone (lidar, 3d camera, NoIR camera).

Στο κεφάλαιο 1 θα παρουσιάσουμε το θεωρητικό πλαίσιο της λειτουργίας ενός Drone και θα κάνουμε μια βιβλιογραφική ανασκόπηση του πεδίου, παρουσιάζοντας άλλες υλοποιήσεις του συγκεκριμένου τομέα. Στο κεφάλαιο 2 θα παρουσιάσουμε τη γενικότερη μεθοδολογία που ακολουθήσαμε και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήσαμε, συγκρίνοντας τις επιλογές που είχαμε. Επίσης, γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού αυτού. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η προτεινόμενη μέθοδος, καθώς και η συνολική διαδικασία που ακολουθήθηκε. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η υλοποίηση κατασκευής του Drone και τα αποτελέσματα αυτής της υλοποίησης. Στο κεφάλαιο 5 γίνεται ένας σχολιασμός των αποτελεσμάτων, έχοντας κριτική στάση για τους περιορισμούς και τα προβλήματα που δεν αντιμετωπίστηκαν στην παρούσα υλοποίηση. Τέλος, στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και προτείνονται μελλοντικές κατευθύνσεις της έρευνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

Θεωρητικό πλαίσιο του θέματος – Ανασκόπηση του πεδίου

1.1 Θεωρητικό πλαίσιο εργασίας

Τα drone είναι πιο επίσημα γνωστά ως μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV). Ουσιαστικά, ένα drone είναι ένα ιπτάμενο ρομπότ. Το αεροσκάφος μπορεί να ελέγχετε από απόσταση ή να πετά αυτόνομα μέσω προγράμματος πτήσης ελεγχόμενο από λογισμικό στο ενσωματωμένο σύστημά τους σε συνδυασμό με GPS. Τα drones έχουν μπει στην καθημερινή ζωή μας, καθώς χρησιμοποιούνται σε διάφορες εμπορικές εφαρμογές, όπως η δημοσιογραφία, η δημιουργία ταινιών, η έρευνα, οι μεταφορές, η επιστημονική έρευνα και η γεωργία. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε παραγωγή ταινιών και στην αποστολή δεμάτων.

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες στις οποίες μπορούν να χωριστούν τα drones, οι οποίες βασίζονται στην κατασκευή τους και την διαφορετική τεχνική πτήσης και ανύψωσης:

1. Σταθερής Πτέρυγας (Fixed-Wing)

Το συγκεκριμένο είδος drone έχει το σχήμα του αεροπλάνου με τις πτέρυγες του να είναι σταθερές στον κορμό του. Λόγω της δομής του, το συγκεκριμένο drone υπακούει στους φυσικούς νόμους της αεροπλοΐας, Οι πτέρυγες του δημιουργούν την απαραίτητη άνωση για να απογειωθεί το drone και συμβάλλουν στη διατήρηση του ύψους πτήσης του. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να κουβαλάνε πιο βαρύ εξοπλισμό και για μεγαλύτερες αποστάσεις, το οποίο τα καθιστά ιδανικά για τη διανομή πακέτων. Το κύριο μειονέκτημα τους, όμως, είναι η αδυναμία σταθερής πτήσης πάνω από ένα σημείο, με αποτέλεσμα την έλλειψη ακρίβειας θέσης.



Εικόνα 1: Drone Σταθερής Πτέρυγας

2.Περιστροφικής Πτέρυγας (Rotary-Wing)

Ένα άλλο είδος drone είναι τα drone της περιστροφικής πτέρυγας, τα οποία έχουν τη δομή του συμβατικού ελικοπτερου. Αυτό το είδος έχει έναν κύριο περιστρεφόμενο έλικα, με τη δυνατότητα της κάθετης απογείωσης και προσγείωσης, η οποία παρέχει στον χρήστη πιο εύκολο χειρισμό ακόμα και σε μικρούς χώρους. Ένα βασικό χαρακτηριστικό αυτού του είδους είναι η ικανότητα σταθερής πτήσης πάνω από ένα σημείο, το οποίο είναι ιδανικό για εφαρμογές όπως κινηματογραφική φωτογράφιση και βιντεοσκόπηση τοπίων.

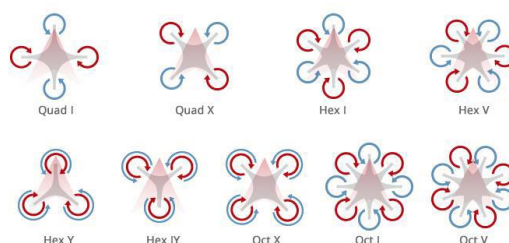


Εικόνα 2: Drone Περιστροφικής Πτέρυγας

3. Πολλαπλών Ελίκων (Multi-Rotor)

Το παραπάνω είδος αφορά, κυρίως, μικρά drones, τα οποία υπάρχουν ευρέως στο εμπόριο. Η δομή τους αποτελείται από πολλούς έλικες τοποθετημένους περιμετρικά από το κύριο σώμα και χωρίζονται σε διάφορα είδη αναλόγως με τον αριθμό των ελίκων τους.

- Drones με 3 έλικες (τρικόπτερο – tricopter)
- Drones με 4 έλικες (τετρακόπτερο – quadcopter)
- Drones με 6 έλικες (εξακόπτερο – hexacopter)
- Drones με 8 έλικες (οκτακόπτερο – octocopter)



Εικόνα 3: Πολλαπλών ελίκων

Τα συγκεκριμένα drones μοιάζουν με τα UAV περιστρεφόμενης έλικας, με τη διαφορά ότι έχουν σημαντικά μεγαλύτερη σταθερότητα στον αέρα κατά την διάρκεια

της πτήσης τους και είναι αρκετά πιο εύκολα στον έλεγχο από απόσταση μέσω χειριστή. Είναι ιδανικά για εφαρμογές που απαιτούν ακρίβειας θέσης και ομαλή κίνηση, όπως επαγγελματική βιντεοσκόπηση, επίβλεψη και επιθεώρηση χώρων, εναέρια χαρτογράφηση και παρακολούθηση υποδομών. Το κύριο μειονέκτημα τους είναι αυτονομία τους, καθώς η μπαταρία τους διαρκεί περίπου 20 λεπτά στα εμπορικά και μέχρι 40 λεπτά σε στρατιωτικού επιπέδου UAV.

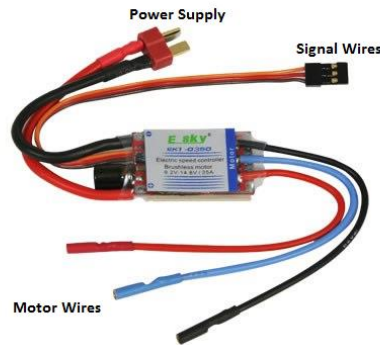
Οι μέθοδοι ελέγχου ενός drone ποικίλουν, με πιο γνωστό τον έλεγχο από απόσταση με τηλεχειρισμό. Η αυτόνομη πλοήγηση ενός drone βασίζεται στο σύστημα ελέγχου του drone σε συνδυασμό με το σύστημα αισθητήρων του. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα ελέγχου επικοινωνεί με μεγάλη συχνότητα με τους αισθητήρες του drone, και μέσω αλγορίθμων ελέγχου και πλοήγησης, το drone μπορεί να διαμορφώνει ένα χάρτη πτήσης ή, πιο απλά, να αποφεύγει πιθανά εμπόδια που θα βρεθούν γύρω του. Το αποτέλεσμα ενός πλήρους συστήματος ελέγχου και πλοήγησης εφαρμοσμένο σε ένα drone, είναι μία ομαλή αυτόνομη πλοήγηση με δυνατότητα πρόβλεψης κινήσεων, αποφυγή εμποδίων και αναταράξεων.

Τα κύρια μέρη ενός drone είναι το χειριστήριο του, ο ελεγκτής πτήσης του, η διεπαφή επικοινωνίας μεταξύ του χειριστηρίου και του ελεγκτή πτήσης, το σύστημα IMU, τα μοτέρ, οι ελεγκτές ταχύτητας (ESC), τα μοτέρ, οι προπέλες, οι μπαταρίες και οι αισθητήρες του. Παρακάτω, γίνεται μια σύντομη περιγραφή των παραπάνω τμημάτων ενός drone.

- Speed controller

Ο ελεγκτής ταχύτητας (ESC) είναι το εξάρτημα που μετατρέπει την τάση από συνεχή σε τριφασική για να δουλέψει ο ηλεκτροκινητήρας του drone. Ο έλεγχος των στροφών γίνεται με PWM από έναν μικροελεγκτή, ανάλογα με την εντολή του ελεγκτή πτήσης (flight controller). Ο ελεγκτής ταχύτητας αναπτύσσει υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να πρέπει να ψύχεται ανά διαστήματα.

Ο ελεγκτής ταχύτητας ESC παρέχει ισχύ από την μπαταρία στον κινητήρα, η οποία αλλάζει ανάλογα με το σήμα εισόδου. Γενικά, όλο το ESC έχει 3 ομάδες καλωδίων. Η πρώτη ομάδα είναι η τροφοδοσία (2 καλώδια), η δεύτερη ομάδα είναι τα καλώδια παροχής προς τον κινητήρα (3 καλώδια), και η τρίτη ομάδα είναι τα καλώδια σήματος (3 καλώδια).



Εικόνα 4: Απεικόνιση ESC

- Pid ελεγκτής

Οι PID ελεγκτές χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιομηχανικά συστήματα ελέγχου, καθώς και σε drones. Ο PID ελεγκτής υπολογίζει ένα σφάλμα μεταξύ της επιθυμητής εισόδου και της πραγματικής εξόδου του συστήματος αυτόματου ελέγχου. Αυτού του είδους ο ελεγκτής αποτελείται από το άθροισμα τριών όρων: του P (Proportional), που εξαρτάται από το μέγεθος του παρόντος σφάλματος (ανάλογο του σφάλματος), του I (Integral) που εξαρτάται από την συσσώρευση των προηγούμενων σφαλμάτων (ανάλογο του ολοκληρώματος του σφάλματος) και του D (Derivative) που είναι μια πρόβλεψη μελλοντικών σφαλμάτων (ανάλογο της παραγώγου του σφάλματος). Σκοπός του ελεγκτή είναι να ελαχιστοποιήσει ή να μηδενίσει το σφάλμα, έτσι ώστε η πραγματική τιμή της εξόδου να ισούται με την επιθυμητή τιμή.

Η εξίσωση του P δίνεται από τον τύπο: $P = K_p * E(s)$

Η εξίσωση του I δίνεται από τον τύπο: $I = K_i/s * E(s)$

Η εξίσωση του D δίνεται από τον τύπο: $D = K_d * s * E(s)$

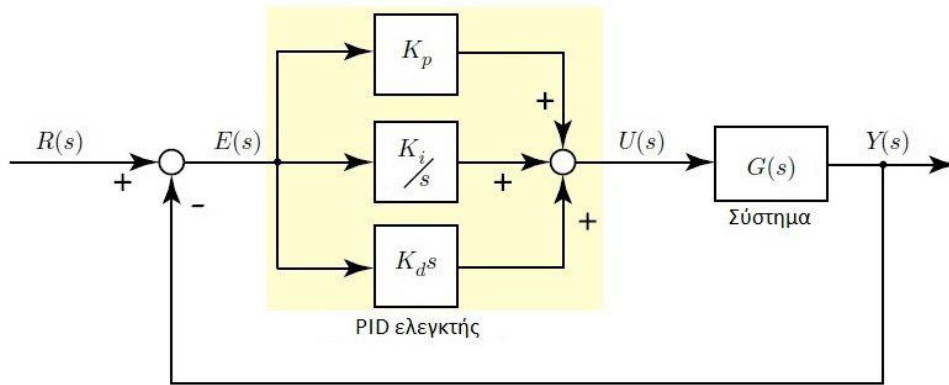
Άρα η συνάρτηση μεταφοράς του PID ελεγκτή, στο πεδίο συχνότητας, δίνεται από τον τύπο:

$$U(s) = (K_p + K_i/s + K_d*s)*E(s)$$

Στο πεδίο του χρόνου, θα είναι:

$$U(t) = K_p*e(t) + K_i * \int e(\tau)dt + K_d* de(t)/dt$$

Με την σωστή ρύθμιση των παραμέτρων του ελεγκτή K_p , K_i , K_d μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη μείωση, έως και μηδενισμός του μόνιμου σφάλματος.



Εικόνα 5: Pid Ελεγκτής

- IMU - Inertial Measurement Unit

Το σύστημα IMU είναι το κυριότερο ηλεκτρονικό εξάρτημα σε ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος. Αποτελείται από αισθητήρες όπως γυροσκοπία (Gyroscope) και επιταχυνσιόμετρα (Accelerometer), τα οποία παρέχουν δεδομένα πραγματικού χρόνου με σκοπό την εκτίμηση της θέσης του drone στον τρισδιάστατο χώρο. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος αυτή δέχεται ως δεδομένα την επιτάχυνση, την ταχύτητα, την πορεία του αεροσκάφους και την απόσταση που έχει διανύσει, και υπολογίζει την πιο πιθανή θέση του drone. Ο ρόλος του είναι ιδιαίτερα σημαντικός στα συστήματα αυτόνομης πλοήγησης, καθώς μπορεί να αντικαταστήσει το σύστημα GPS σε σημεία που δεν έχει επαρκές σήμα. Ένας πιθανός συνδυασμός με τη συσκευή GPS μπορεί να δώσει τη δυνατότητα υψηλής ακρίβειας όσον αφορά την παρούσα θέση του οχήματος. Οι πληροφορίες που μας παρέχει σχετικά με την πορεία του drone είναι οι εξής παρακάτω:

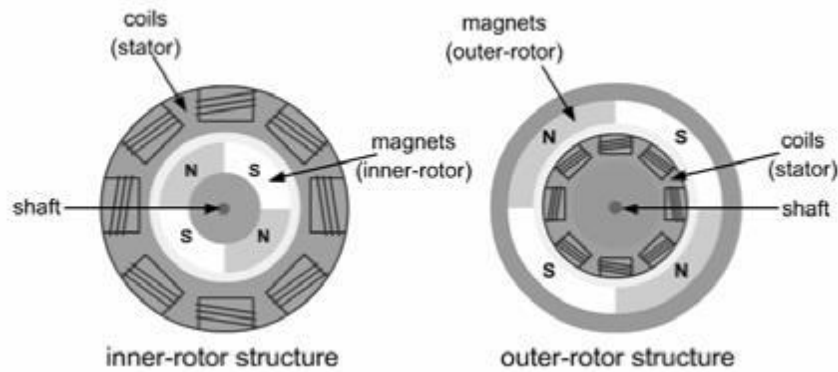
- Περιστροφή κατά μήκος του άξονα (Roll (x))
- Περιστροφή γύρω από τον πλάγιο άξονα (Pitch (y))
- Περιστροφή γύρω από τον κάθετο άξονα (Yaw (yaw))
- Ύψος (Altitude (z))

Το σύστημα IMU είναι ένα αναπόσπαστο εξάρτημα σε ένα σύστημα πλοήγησης, και ιδίως όταν αυτή είναι αυτόνομη. Το μειονέκτημα του είναι ότι μπορεί να επιφέρει σημαντικά προβλήματα, αν δεν υπάρχει βέλτιστος έλεγχος στο σύστημα πλοήγησης.

- DC Μοτέρ χωρίς ψήκτες (Brushless motors)

Τα συγκεκριμένα μοτέρ είναι ευρέως διαδεδομένα στα drones. Η αρχή λειτουργίας είναι ότι οι μαγνήτες περιστρέφονται και τα πηνία μεταφοράς ρεύματος είναι σταθερά και ενεργοποιούνται διαδοχικά, ώστε να προκαλέσουν την περιστροφή του δρομέα. Αυτό εισάγει την ανάγκη ενός ηλεκτρονικού ελεγκτή κίνησης για τη δημιουργία ροπής. Ο ελεγκτής μπορεί να χρησιμοποιήσει πληροφορίες θέσης του δρομέα, συν την επιθυμητή κατεύθυνση για τον κινητήρα, για να καθορίσει το επόμενο πηνίο στο οποίο

πρέπει να εφαρμόζεται ένα ρεύμα. Ένας αισθητήρας που χρησιμοποιείται ευρέως για την ανίχνευση της θέσης του δρομέα είναι ο αισθητήρας Hall Effect. Υπάρχουν βασικά δύο πιθανές διαμορφώσεις για κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες σύμφωνα με τη δομή τους: Κινητήρες εσωτερικού περιστροφέα και κινητήρες εξωτερικού ρότορα.



Εικόνα 6: Κινητήρας χωρίς Ψύκτρες (Brushless motor)

- Μπαταρίες

Το πιο διαδεδομένο είδος μπαταρίας που χρησιμοποιείται στα drones είναι οι μπαταρίες LiPo. Οι μπαταρίες πολυμερούς λιθίου (LiPo) είναι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, οι οποίες χρησιμοποιούν τεχνολογία ιόντων λιθίου και έναν ημιστερεό ηλεκτρολύτη (gel) πολυμερούς αντί ηλεκτρολύτη σε υγρή μορφή. Η τάση ενός κυττάρου (cell) LiPo εξαρτάται από τη χημεία του και κυμαίνεται από περίπου 2.7-3.0 V (αποφορτισμένη) έως περίπου 4.20-4.35 V (πλήρως φορτισμένη). Το κύριο πλεονέκτημα τους είναι η ύπαρξη ελαφρού βάρους αναλογικά με την ενέργεια που παρέχουν, το οποίο είναι απαραίτητο όταν η εφαρμογή απαιτεί ελάχιστο βάρος, όπως στην περίπτωση τηλεκατευθυνόμενων οχημάτων. Επίσης, έχουν χαμηλή εκφόρτιση, η οποία είναι περίπου 1% και αυξημένη χωρητικότητα, γεγονός που τις καθιστούν πιο ακριβές σε σχέση με άλλες μπαταρίες[15].

Μια μπαταρία LiPo αποτελείται συνήθως από πολλά κελιά συνδεδεμένα σε σειρά, τα οποία αποδίδουν περίπου 3,7V. Αυτό σημαίνει ότι μια μπαταρία 2 κελιών σε σειρά θα έχει ονομαστική τάση 7.4V. Η ονομαστική τάση της μπαταρίας V_{bat} ισούται με:

$$V_{bat\ nominal} = LiPoCellVoltage \cdot N_{series}$$

$V_{bat\ nominal}$: Ονομαστική ισχύ μπαταρίας

LiPo Cell Voltage: Τάση ενός κελιού

N_{series} : Αριθμός κελιών σε σειρά

Μια μπαταρία LiPo τροφοδοτεί όλα τα ηλεκτρονικά και τους κινητήρες του drone σας. Η διαφορά με τις μπαταρίες LiPo και αυτές που θα χρησιμοποιούσατε στο τηλεχειριστήριο της τηλεόρασης είναι οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στην μπαταρία. Οι μπαταρίες LiPo βασίζονται στη χημεία Lithium Polymer (εξ ου και το όνομα LiPo) που επιτρέπουν σε αυτές τις μπαταρίες να έχουν πολύ υψηλή ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών. Υπάρχουν και άλλοι τύποι μπαταριών όπως το νικέλιο κάδμιο (NiCad) ή το νικέλιο-μέταλλο υδρίδιο (NiMH), ωστόσο αυτές θεωρούνται ως παλαιότερη τεχνολογία μπαταριών και δεν χρησιμοποιούνται πλέον γιατί είναι πολύ βαρύ και δεν συγκρατούν πολύ ενέργεια σε σύγκριση με το LiPos[15].

Μια μπαταρία Lipo κατασκευάζεται από ορθογώνια κελιά που συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν την μπαταρία. Ένα κελί που μπορεί να θεωρηθεί από μόνο του μπαταρία, έχει ονομαστική τάση 3,6V. Συνδέοντας περισσότερα από αυτά σε σειρά, η τάση μπορεί να αυξηθεί στα 7,2V για μια μπαταρία 2 κυττάρων, 11,1V για μια μπαταρία 3 κυττάρων και ούτω καθεξής. Συνδέοντας παράλληλα περισσότερες μπαταρίες, η χωρητικότητα μπορεί να αυξηθεί. Συχνά θα δείτε αριθμούς όπως το 3S2P, που σημαίνει ότι η μπαταρία είναι 3 κελιά (3S) συνδεδεμένα σε σειρά, και υπάρχουν 2 σετ κυψελών συνδεδεμένα παράλληλα (2P), δίνοντας συνολικό αριθμό 6 μεμονωμένων πωλήσεων στην μπαταρία[15].

Έτσι, ο αριθμός των κυψελών είναι αυτός που καθορίζει την τάση της μπαταρίας. Η υψηλότερη τάση σημαίνει ότι η μπαταρία μπορεί να παρέχει περισσότερη ισχύ για την οδήγηση μεγαλύτερων κινητήρων, ωστόσο περισσότερη ισχύς δεν σημαίνει απαραίτητα ότι η μπαταρία θα παρέχει ενέργεια για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, αυτό καθορίζεται από την χωρητικότητα της μπαταρίας. Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας είναι μια αναπαράσταση του πόσο καιρό μπορεί να παρέχει ενέργεια, που αναφέρεται συχνά σε milli Amp ώρες, (mAh). Όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο αριθμός, τόσο μεγαλύτερη χωρητικότητα έχει η μπαταρία, ώστε να μπορεί να λειτουργεί τους κινητήρες για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, όσο υψηλότερη είναι η χωρητικότητα μιας μπαταρίας, τόσο βαρύτερη είναι [15].

Το ποσοστό εκφόρτισης είναι μια πολύ σημαντική προδιαγραφή για έλεγχο κατά την αγορά μιας μπαταρίας. Αυτός ο αριθμός, επίσης γνωστός ως η βαθμολογία C της μπαταρίας (ή συνεχής βαθμολογία C) καθορίζει πόσο γρήγορα μπορούμε να εξάγουμε την ενέργεια από την μπαταρία. Εάν οι κινητήρες αντλούν περισσότερη ενέργεια από ό, τι μπορεί να παρέχει η μπαταρία, ενδέχεται να καταστραφεί η μπαταρία μας, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε πτώση του drone. Για να υπολογίσουμε το πραγματικό ρεύμα σε Amps, πολλαπλασιάζουμε απλώς την χωρητικότητα με την τιμή C. Έτσι, μια μπαταρία

2200mAh με βαθμολογία C 25C θα έχει συνεχή έξοδο ρεύματος $25 \times 2.2 = 55A$. Ορισμένες μπαταρίες καθορίζουν επίσης ένα ποσοστό εκφόρτισης ριπής (ριπή C), η τιμή αντιπροσωπεύει την επιπλέον εκφόρτιση που μπορεί να παρέχει η μπαταρία για μικρές χρονικές περιόδους συνήθως 15-30 δευτερόλεπτα [15].

Η παρακάτω λίστα απεικονίζει διαφορετικούς τύπους διαμορφώσεων μπαταρίας που παρέχουν διάφορες τάσεις.

- 3.7 volt battery = 1 cell x 3.7 volts (1S)
- 7.4 volt battery = 2 cells x 3.7 volts (2S)
- 11.1 volt battery = 3 cells x 3.7 volts (3S)
- 14.8 volt battery = 4 cells x 3.7 volts (4S)
- 18.5 volt battery = 5 cells x 3.7 volts (5S)
- 22.2 volt battery = 6 cells x 3.7 volts (6S)
- 29.6 volt battery = 8 cells x 3.7 volts (8S)
- 37.0 volt battery = 10 cells x 3.7 volts (10S)
- 44.4 volt battery = 12 cells x 3.7 volts (12S)

Μια μπαταρία 4S έχει μεγαλύτερη τάση από την μπαταρία 3S και ούτω καθεξής. Βάσει του τύπου ισχύος $P = V_{dc} \times I$ όπου: Το P είναι η ισχύ σε watt, V_{dc} είναι η τάση. Αυξάνοντας την τιμή του V_{dc} , θα αυξηθεί και η ισχύς του κινητήρα. Εάν ο κινητήρας μας αντλεί μέγιστο 15 A ρεύμα, τότε με μπαταρία 3S το μοτέρ θα αντλεί $11,1VDC \times 15A = 166,5 \text{ Watt}$ ενώ με μπαταρία 4S, τότε το μοτέρ θα αντλεί $14,8VDC \times 15A = 222 \text{ Watt}$.

- Προπέλες

Οι έλικες ταξινομούνται βάσει του μήκους τους και το pitch. Για παράδειγμα, οι έλικες $9 \times 4,7$ έχουν μήκος 9 ίντσες και έχουν pitch 4,7. Γενικά, το αυξημένο pitch και το αυξημένο μήκος της έλικας θα αντλήσουν περισσότερο ρεύμα. Μια καλή ισορροπία μεταξύ μήκους και pitch χρειάζεται να βρεθεί, ώστε να υπάρχει μια ομαλή πτήση. Γενικά, μια προπέλα με χαμηλό pitch, μπορεί να παρέχει περισσότερη ροπή και παρέχει μεγαλύτερη σταθερότητα. Μια έλικα με υψηλό pitch, μετακινεί μεγαλύτερη ποσότητα αέρα, οπότε είναι πιο πιθανό να ταλαντεύεται περισσότερο το drone. Σχετικά με το μήκος της προπέλας, μια μικρότερη έλικα είναι πιο εύκολο να σταματήσει ή να επιταχυνθεί. Επιπλέον, αντλούν λιγότερο ρεύμα. Drones με μεγαλύτερο ωφέλιμο φορτίο, έχουν προπέλες μεγαλύτερου μήκους και κινητήρες χαμηλών kV για μεγαλύτερη σταθερότητα.

- Connectors και διατομή καλωδίου

Στην εφαρμογή ηλεκτρικών κινητήρων και μπαταριών, οι connectors διαδραματίζουν μεγάλο ρόλο στη μεταφορά ισχύος της μπαταρίας στον κινητήρα μέσω του ESC. Οι connectors θα πρέπει να μεταφέρουν την απαραίτητη ισχύ, αλλά θα πρέπει επίσης να μπορούν να αποσυνδέονται γρήγορα για αντικατάσταση μπαταρίας ή κινητήρα. [16].

Υπάρχουν πολλοί σύνδεσμοι για να διαλέξετε και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο καθένας εξυπηρετεί έναν εντελώς διαφορετικό σκοπό. Το ποσό του ρεύματος που απαιτείται για τη διέλευση μέσω ενός connector είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την επιλογή του. Στη συνέχεια, έρχεται το μέγεθος, το βάρος, η ευκολία χρήσης κ.λπ. Σε γενικές γραμμές, ένας connector θα πρέπει να αντέχει το μέγιστο ποσό του μέσου ρεύματος που θα τον διαπερνά [16].

Πίνακας1: Απεικόνιση του μέγιστου ρεύματος ανά Connector

Servo/Battery Lead	< 800mA
JST	1-5 A
Mini T Plug	5-18 A
3.5mm Bullet Connector	10-35 A
4mm Bullet / Banana Connector	15-50 A / 0-10 A
Deans T Connector	20-60 A
5.5mm Bullet Connector	55-110 A
6.5mm Bullet Connector	65-150 A

- Ελεγκτής πτήσης

Ο ελεγκτής πτήσης ενός drone αποτελεί τον εγκέφαλο του drone με κύριο ρόλο να δίνει τις εντολές λειτουργίας ηλεκτρονικών ελεγκτών ταχύτητας των μοτέρ, παίρνοντας υπόψιν του το σήμα από τον ραδιοδέκτη, ο οποίος δέχεται σήματα από τον ραδιοπομπό, αλλά και από τους αισθητήρες. Οι αισθητήρες παίζουν σημαντικό ρόλο

στην πορεία του drone σε συνθήκες αυτόνομης πλοήγησης. Ο ελεγκτής πτήσης μπορεί να υλοποιηθεί είτε σε πλατφόρμες έτοιμες του εμπορίου, είτε σε πλατφόρμες ανοιχτού κώδικα. Επίσης, μπορεί να επικοινωνεί με άλλες πλατφόρμες, με σκοπό την ρύθμιση της πτήσης βάσει πιθανών εμποδίων ή άλλων προκαθορισμένων παραγόντων.

- Σύστημα τηλεμετρίας

Το σύστημα τηλεμετρίας επιτρέπει τη λήψη πληροφορίας από το drone και έχει καθοριστικό ρόλο στην απόσταση που μπορεί να πετά το drone από το ραδιοπομπό. Το σύστημα τηλεμετρίας αποτελείται από τρία υποσυστήματα. Το πρώτο είναι το σύστημα μετάδοσης του σήματος, συνήθως υπό την μορφή ενέργειας ραδιοκυμάτων RF. Επίσης, ένας μεταδότης σήματος μπορεί, πιο σπάνια, να μεταδίδει σήματα στη μικροκυματική ή οπτική ζώνη συχνοτήτων. Το δεύτερο υποσύστημα είναι το σύστημα λήψης δεδομένων, το οποίο συλλέγει, αποθηκεύει και αποκωδικοποιεί τα δεδομένα. Το τρίτο υποσύστημα τηλεμετρίας είναι το σύστημα ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων, που συνήθως αναφέρεται ως Ground Control Station(GCS), και είναι ένας σταθμός ελέγχου (υπολογιστής ή ηλεκτρονική συσκευή).

Ο τηλεχειρισμός ενός drone μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, σε πολλαπλές ζώνες συχνοτήτων. Οι πιο γνωστές αναφέρονται παρακάτω:

- VHF/UHF σύστημα τηλεμετρίας: Δεν είναι ιδιαίτερα ακριβός και αποτελεί καλή επιλογή για αποστάσεις μέχρι 15 χιλιόμετρα. Τα κύρια μειονεκτήματα του είναι ότι η εγκατάσταση του έχει μεγάλο βάρος και ότι χρειάζεται η απόκτηση άδειας.
- Κυτταρική τηλεμετρία (4G): Χρησιμοποιεί το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και χρησιμοποιείται σε τοποθεσίες με ισχυρή και αξιόπιστη κάλυψη. Δεν είναι ιδιαίτερα δαπανηρή λύση και η εγκατάσταση του είναι εύκολη. Τα κύρια μειονεκτήματα του είναι το υψηλό βάρος ενός κινητού τηλεφώνου και τα μηνιαία τέλη σε κάποιο πάροχο κινητής τηλεφωνίας.
- Ραδιοεπικοινωνία με τεχνολογία αναπήδησης συχνότητας: Χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz, η οποία είναι ελεύθερη, και έχει μέγιστη εμβέλεια 10 χιλιομέτρων. Το μειονέκτημα του είναι ότι υπάρχουν αλλοιώσεις σήματος και παρεμβολές σε αυτή τη ζώνη συχνοτήτων, διότι σε αυτή τη ζώνη λειτουργούν πολλές ασύρματες ηλεκτρονικές συσκευές. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ζώνη συχνοτήτων 5-5.8 GHz, η οποία έχει λιγότερες παρεμβολές, αλλά μικρότερη εμβέλεια, λόγω μικρότερου μήκους κύματος.
- Wifi σύστημα τηλεμετρίας: Είναι περιορισμένης εμβέλειας και χρησιμοποιεί τα πρωτόκολλα δικτύωσης TCP και UDP. Είναι κατάλληλη επιλογή για μεταφορά μεγάλου όγκου πληροφοριών και χαμηλό Bit Error Rate

- Δορυφορικό σύστημα τηλεμετρίας: Ιδανικό σύστημα για απομακρυσμένα σημεία παρακολούθησης, χωρίς line of sight, με μεγάλη εμβέλεια. Η κάλυψη είναι παγκόσμια, εκτός αν πρόκειται για υπόγειες ή εσωτερικές περιοχές
- Low power wide area (LPWA): Η Low-Power Wide-Area (LPWA) είναι μία τεχνολογία που έχει σχεδιαστεί για τις ανάγκες του IoT. Με χαμηλό κόστος hardware , χαμηλή κατανάλωση και επικοινωνίες σε εξαιρετικά μεγάλες αποστάσεις (αρκετά χιλιόμετρα) από τον σταθμό βάσης, η τεχνολογία LPWA αποτελεί ιδανική λύση για διάφορες εφαρμογές. Οι LPWA τεχνολογίες όπως Sigfox, LoRa, Ingenu, Weightless έχουν πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά από το GSM σύστημα τηλεμετρίας και έχουν αρχίσει να κάνουν πραγματικότητα το Internet of Things. Η τεχνολογία LoRa, πιο συγκεκριμένα, είναι ένας ψηφιακός τρόπος διαμόρφωσης και εξάπλωσης φάσματος, CCS(Chirp Spread Spectrum), που επιτρέπει τη μετάδοση πληροφορίας χαμηλού ρυθμού (250 bps μέχρι 50 kbps) σε μεγάλες αποστάσεις.

1.2 Τεχνικές και τεχνολογίες αποφυγής εμποδίων

Μια συντριβή ενός drone λόγω έλλειψης συγκέντρωσης, είναι κάτι το οποίο εύκολα μπορεί να συμβεί, λόγω πρόσκρουσης με ένα αντικείμενο. Οι αισθητήρες απόστασης παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποφυγή εμποδίων. Επιπλέον, τα περισσότερα drones πετούν σήμερα χρησιμοποιώντας τα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης GPS και GLONASS, ώστε να γνωρίζουν ακριβώς πού είναι και να πετούν σταθερά. Μία πτήση σε εξωτερικούς χώρους σε ανοιχτό χώρο είναι εύκολη, όμως μία πτήση σε εσωτερικούς χώρους παρουσιάζει διάφορες δυσκολίες. Στην παρούσα εργασία θα επικεντρωθούμε περισσότερο στην αυτόνομη πλοήγηση ενός drone, η οποία βασίζεται στην αποφυγή εμποδίων μέσω κατάλληλων αισθητήρων. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανίχνευση και αποφυγή εμποδίων είναι οι εξής παρακάτω:

- 1.Υπερυθρες (Infrared)
- 2.Ultrasonic Αισθητήρες(Sonar)
3. 3D Κάμερα
- 4.Lidar
- 5.Στερεοσκοπική Όραση(Stereo Vision)
6. Monocular Vision
- 7.Time of flight

Τα drones, που χρησιμοποιούν τους παραπάνω αισθητήρες αποφυγής εμποδίων, τους χρησιμοποιούν είτε μόνους τους είτε συνδυασμένους. Με τον τρόπο αυτό, υπάρχει λιγότερος φόβος για πιθανή συντριβή σε κάποιο αντικείμενο ή, ακόμα

χειρότερα, σε κάποιον άνθρωπο. Η ανίχνευση αντικειμένων και στη συνέχεια η λήψη αποφάσεων για να αποφευχθεί το εμπόδιο περιλαμβάνει πολλές τεχνολογίες που συνεργάζονται για να δημιουργήσουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Ο συνδυασμός πολλών αισθητήρων είναι μια διαδικασία με την οποία τα δεδομένα από διαφορετικούς αισθητήρες συνδυάζονται για να υπολογίσουν κάτι περισσότερο από αυτό που θα μπορούσε να προσδιοριστεί από οποιονδήποτε αισθητήρα μόνο. Αυτό συνεπάγεται διαφορετικούς αισθητήρες, προγραμματισμό λογισμικού με μαθηματική μοντελοποίηση, αλγόριθμους, μηχανική μάθηση και τεχνολογία SLAM.

SLAM τεχνολογία

Η τεχνολογία SLAM είναι μια διαδικασία κατά την οποία ένα ρομπότ ή μια συσκευή μπορεί να δημιουργήσει έναν χάρτη του περιβάλλοντος και να προσανατολιστεί σωστά μέσα σε αυτό το χάρτη σε πραγματικό χρόνο. Αυτό δεν είναι εύκολο έργο και η τεχνολογία αυτή βρίσκεται ακόμα σε φάση έρευνας και σχεδιασμού. Η τεχνολογία SLAM λειτουργεί αρχικά δημιουργώντας έναν χάρτη του γύρω περιβάλλοντος. Κύριος στόχος αυτής της τεχνολογίας είναι η μεγαλύτερη ακρίβεια. Αυτό προϋποθέτει συνεχόμενες μετρήσεις κατά τη διάρκεια της μετακίνησης στο χώρο λαμβάνοντας υπόψη τον θόρυβο που εισάγεται τόσο από την κίνηση της συσκευής όσο και από την ανακρίβεια της μεθόδου μέτρησης.

Stereo vision

Η στερεοφωνική όραση λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με την 3D ανίχνευση της ανθρώπινης όρασης. Η στερεοσκοπική όραση είναι ο υπολογισμός των πληροφοριών βάθους συνδυάζοντας τις δισδιάστατες εικόνες από δύο κάμερες σε ελαφρώς διαφορετικές θέσεις. Αρχικά, αναγνωρίζει τα pixels της εικόνας που αντιστοιχούν στο ίδιο σημείο σε μια φυσική σκηνή που παρατηρείται από πολλές κάμερες. Η τρισδιάστατη θέση ενός σημείου μπορεί στη συνέχεια να καθοριστεί με τριγωνισμό χρησιμοποιώντας μια ακτίνα από κάθε κάμερα. Όσο περισσότερα αναγνωρισμένα pixels προσδιορίζονται, τόσο περισσότερα τρισδιάστατα σημεία μπορούν να προσδιοριστούν με ένα ενιαίο σύνολο εικόνων.

Ultrasonic

Ένας ultrasonic αισθητήρας στέλνει έναν παλμό ήχου υψηλής συχνότητας και έπειτα μετρά το χρόνο που χρειάζεται για να αντανakλαστεί πίσω η ηχώ του ήχου. Ο αισθητήρας υπερήχων διαθέτει 2 ανοίγματα. Ένα από αυτά τα ανοίγματα μεταδίδει τα υπερηχητικά κύματα (όπως ένα μικρό ηχείο) και το άλλο άνοιγμα λαμβάνει τα υπερηχητικά κύματα (όπως ένα μικρό μικρόφωνο). Η ταχύτητα του ήχου είναι περίπου

341 μέτρα ανά δευτερόλεπτο στον αέρα. Ο αισθητήρας υπερήχων χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες μαζί με τη χρονική διαφορά μεταξύ της αποστολής και λήψης του παλμού ήχου για τον προσδιορισμό της απόστασης σε ένα αντικείμενο. Τα περισσότερα drones χρησιμοποιούν τους αισθητήρες υπερήχων στο κάτω μέρος τους για την ανίχνευση εδάφους, καθώς και για χρήση στη λειτουργία παρακολούθησης του εδάφους. Ο υπέρηχος, σαν μέθοδος, χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς. Οι συσκευές υπερήχων, γενικά, χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση αντικειμένων και τη μέτρηση των αποστάσεων.

Time of Flight

Μια κάμερα Time-of-Flight αποτελείται από ένα φακό, μια ενσωματωμένη πηγή φωτός, έναν αισθητήρα και μια διεπαφή. Είναι σε θέση να συλλαμβάνει πληροφορίες βάθους και έντασης ταυτόχρονα για κάθε pixel της εικόνας, καθιστώντας την εξαιρετικά γρήγορη με υψηλά ποσοστά καρέ. Ο τρόπος λειτουργίας της είναι ο παρακάτω: Η κάμερα ToF φωτίζει ολόκληρη τη σκηνή χρησιμοποιώντας έναν παλμό ή συνεχή πηγή φωτός κύματος και, στη συνέχεια, παρατηρεί το ανακλώμενο φως. Επίσης, μετράει το χρόνο επιστροφής του παλμού από τον πομπό προς το αντικείμενο και στη συνέχεια πίσω μετά από την ανάκλαση του αντικειμένου. Επειδή η ταχύτητα του φωτός είναι γνωστή, η απόσταση από όλα τα σημεία του εμποδίου μπορεί εύκολα να υπολογιστεί. Από αυτούς τους υπολογισμούς το αποτέλεσμα είναι ένας χάρτης βάθους 3D, ο οποίος δημιουργείται ως ένα στιγμιότυπο μιας περιοχής ή μιας σκηνής. Αυτή αποτελεί την πιο γρήγορη τεχνολογία για την καταγραφή πληροφοριών 3D.

Infrared

Ένας αισθητήρας αποφυγής εμποδίων IR αποτελείται κυρίως από έναν υπέρυθρο πομπό, έναν υπέρυθρο δέκτη και ένα ποτενσιόμετρο. Σύμφωνα με τον αντανακλαστικό χαρακτήρα ενός αντικείμενου, εάν δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο, η εκπεμπόμενη υπέρυθρη ακτίνα θα εξασθενίσει και τελικά θα εξαφανιστεί. Σε περίπτωση που υπάρχει κάποιο εμπόδιο, τότε η υπεριώδης ακτινοβολία θα το συναντήσει και η ακτίνα θα ανακλαστεί πίσω στον υπέρυθρο δέκτη. Στη συνέχεια, ο υπέρυθρος δέκτης ανιχνεύει αυτό το σήμα και επιβεβαιώνει ένα εμπόδιο μπροστά. Για να αποφευχθεί η σύγχυση του αισθητήρα IR με το ορατό φως, οι υπέρυθροι ανιχνευτές λειτουργούν με μια συγκεκριμένη συχνότητα υπέρυθρης ακτινοβολίας που παράγεται από τον πομπό, αντανακλάται από ένα αντικείμενο και στη συνέχεια συλλαμβάνεται από τον δέκτη. Όταν δεν υπάρχει κανένα αντικείμενο, ο δέκτης υπέρυθρων δεν λαμβάνει σήματα, ενώ όταν υπάρχει ένα αντικείμενο μπροστά, το οποίο εμποδίζει το φως IR, αυτό ανακλά το υπέρυθρο φως πίσω στον δέκτη.

Lidar

Ένας αισθητήρας lidar υπολογίζει τις αποστάσεις και ανιχνεύει αντικείμενα μετρώντας το χρόνο που χρειάζεται για ένα σύντομο παλμό λέιζερ να ταξιδέψει από τον αισθητήρα σε ένα αντικείμενο και πίσω, υπολογίζοντας την απόσταση από τη ταχύτητα του φωτός. Οι κορυφαίοι αισθητήρες της σειράς, όπως ο αισθητήρας Velodyne Lidar που χρησιμοποιείται στα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό της Google, συνδυάζουν πολλά ζεύγη λέιζερ- ανιχνευτών (μέχρι 64) σε έναν αισθητήρα και κάθε παλμός μπορεί να φτάσει στα 20 kHz. Αυτό επιτρέπει μετρήσεις έως 1,3 εκατομμυρίων σημείων ανά δευτερόλεπτο. Χρησιμοποιείται όταν είναι απαραίτητη η αφθονία των δεδομένων για την πιο αξιόπιστη ανίχνευση αντικειμένων, καθιστώντας τους αισθητήρες lidar ένα ιδανικό εργαλείο για την ανίχνευση εμποδίων.

Monocular Camera

Οι μονοφθαλμικοί αισθητήρες συλλαμβάνουν εικόνες μέσω μιας κάμερας ενός φακού. Πρόκειται για 3D ανακατασκευή βάθους από μια ενιαία ακίνητη εικόνα. Ένα παράδειγμα είναι όταν βλέπουμε 2 αντικείμενα τα οποία είναι τα ίδια. Το αντικείμενο που βρίσκεται πιο μακριά θα εμφανιστεί μικρότερο, παρόλο που τα αντικείμενα έχουν το ίδιο μέγεθος. Οι μονόφθαλμες κάμερες είναι αρκετά δημοφιλείς και φθηνές. Επίσης, οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την ερμηνεία των δεδομένων εικόνας είναι αυτό που καθιστά τις κάμερες ικανές να δημιουργήσουν 3D εικόνες, ώστε να προσδιορίσουν τις αποστάσεις μεταξύ αντικειμένων και να εντοπίσουν τα εμπόδια. Σε μια πολύ απλοϊκή εξήγηση, ο αλγόριθμος συγκρίνει την εικόνα που συλλαμβάνεται από τον αισθητήρα κάμερας μονοφθαλμικής όρασης με τα pixels του βάθους.

1.2 Μοντελοποίηση ενός ενσωματωμένου συστήματος

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος είναι πλέον απαραίτητη, καθώς επιτρέπει στον σχεδιαστή να πετύχει το στόχο του με την πρώτη προσπάθεια. Σε περίπτωση παράλειψης της, λόγω περιορισμένου διαθέσιμου χρόνου, μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες σε χρόνο ένταξης στην αγορά, καθώς και κόστος. Το αποτέλεσμα, σε αυτή την περίπτωση, πολύ πιθανό να μην ανταποκρίνεται αποτελεσματικά σε οποιαδήποτε συνθήκες. Όσο πιο πολύπλοκο είναι ένα σύστημα, τόσο πιο απαραίτητη είναι, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να μην βασίζεται στην τύχη. Η μέθοδος της μοντελοποίησης μας επιτρέπει να απεικονίσουμε το σύστημα όπως είναι ή όπως το σκεφτόμαστε, να προσδιορίσουμε τη δομή και τη συμπεριφορά του, μας καθοδηγεί σχετικά με τα βήματα που χρειάζονται για την ολοκλήρωση του και να επιβεβαιώσουμε όποιες λειτουργικές προδιαγραφές έχουμε θέσει[17].

1.3 Βιβλιογραφική έρευνα

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιάσουμε, εν συντομία, κάποιο μέρος της βιβλιογραφίας, έπειτα από τη βιβλιογραφική έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί σχετικά με την σχεδίαση drones και Uavs. Θα εστιάσουμε στον σκοπό της κάθε εφαρμογής και κατά πόσο πέτυχε το σκοπό της. Στο τέλος, θα προσπαθήσουμε να εντάξουμε στο γενικότερο αυτό πλαίσιο την παρούσα εργασία.

Η πρώτη κατηγορία υλοποιήσεων αφορούν σχεδιασμούς UAV που αφορούν διάφορες εφαρμογές. Στο πρώτο άρθρο <<ALW Drone: A new design and efficient approach>> ο σκοπός της έρευνας είναι να υλοποιηθεί ένα drone, το οποίο είναι ικανό να κινείται αυτόνομα μέσα από οποιοδήποτε περιβάλλον μέσω αλληλεπίδρασης με τον server. Η κύρια μοναδικότητα του είναι ότι μπορεί μετακινηθεί στον αέρα, τη γη και το νερό, μπορεί να συλλέξει δεδομένα για το περιβάλλον και ελέγχεται μέσω δορυφόρου[18]. Στο δεύτερο άρθρο <<A model based design framework for safety verification of a semi-autonomous inspection drone>> παρουσιάζεται η ανάπτυξη ενός ημιαυτόνομου drone επιθεώρησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το drone διατηρεί μια καθορισμένη απόσταση από τον επιθεωρούμενο στόχο και μια σταθερή στάση, επιτρέποντας στον χειριστή να κάνει ελιγμούς το drone γύρω από τον στόχο με ευκολία[19]. Ένα ακόμα άρθρο που αναφέρεται σε αυτόνομο drone ονομάζεται <<Conceptual Design of Human-Drone Communication in Collaborative Environments>> αναφέρεται σε αυτόνομο drone, το οποίο προσεγγίζει σε πρωταρχικό στάδιο την επικοινωνία με τον άνθρωπο μέσω επεξεργασίας εικόνας. Ένα άλλο άρθρο που αφορά την σχεδιαστική προσέγγιση ενός mini-drone είναι το άρθρο <<Deployment of Model-based Design Approach for a Mini-quadcopter>>. Αυτό το άρθρο ασχολείται με το simulation ενός μοντέλου mini-quadcopter σχετικά με την απόκριση του συστήματος ως προς τις παραμέτρους της μάζας και της αεροδυναμικής του. Ένα ακόμα άρθρο που αφορά αυτόνομο drone είναι το παρακάτω <<Development of an Aircraft Type Portable Autonomous Drone for Agricultural Applications>>. Σε αυτό το άρθρο, παρουσιάζετε ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός φορητού αυτόνομου αεροσκάφους για γεωργικές εφαρμογές. Έχει ενσωματωθεί μία κάμερα υψηλής ανάλυσης στο drone για τη μετάδοση βίντεο σε πραγματικό χρόνο και έχει εγκατασταθεί ένα δυνατό ηχείο για να τρομάζει τα πουλιά και να ανακοινώσει κάποια έκτακτη ανάγκη στους αγρότες. Επίσης μπορεί να παραδώσει πακέτο με σπόρους βάρους 1.4 Kg. Παρατηρούμε ότι οι παραπάνω εφαρμογές έχουν αρκετούς περιορισμούς και δεν αφορούν συστήματα πλήρως αυτόνομα ή περιορίζονται μόνο στη μοντελοποίηση και το σχεδιασμό ενός drone.

Η δεύτερη κατηγορία άρθρων αφορούν άρθρα που έχουν ως κύριο σκοπό την υλοποίηση ενός αυτόνομου drone. Στο πρώτο άρθρο αυτής της κατηγορίας <<Autonomous drone control system for object tracking>>, η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος βασίζεται σε πραγματικό μοντέλο, το οποίο σχεδιασμένο για παρακολούθηση και προσγείωση σε κινούμενο στόχο μέσω εφαρμογής αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνας. Η ανίχνευση της περιοχής προσγείωσης γίνεται μέσω κάμερας. Στο επόμενο άρθρο <<Autonomous drone control system for object tracking>> έχει αναπτυχθεί ένα drone σχεδιασμένο για παρακολούθηση και προσγείωση σε κινούμενο στόχο. Η ανίχνευση της περιοχής προσγείωσης επιτυγχάνεται μέσω συστήματος όρασης. Ένα άλλο άρθρο που αφορά τη συγκεκριμένη κατηγορία Drone είναι το <<Autonomous Drone for Defence Machinery Maintenance and Surveillance>>. Το συγκεκριμένο τετρακόπτερο μπορεί να πλοηγηθεί αυτόνομα χωρίς οποιαδήποτε είσοδο σε πραγματικό χρόνο από το χρήστη και επίσης προγραμματισμένη ακολουθήστε μια συγκεκριμένη διαδρομή αυτόνομα. Ο αλγόριθμος επιτρέπει ένα τεχνική ελέγχου με την οποία το quadcopter μπορεί να πετά αυτόνομα ακολουθώντας ένα πλάνο πτήσης, το οποίο περιλαμβάνει καθορισμένα σημεία. Επίσης, μπορεί να πάρει φωτογραφίες και να γίνει ανίχνευση αντικειμένων σε δεύτερο χρόνο. Το άρθρο <<Design and Developmentg of an Autonomous Agricultural Drone for Sowing Seeds>> ασχολείται με την υλοποίηση ενός Drone γεωργικής χρήσης με σκοπό να μπορεί να σπείρει σπόρους. Το drone αυτό είτε ελέγχεται μέσω χειριστηρίου είτε ακολουθεί ήδη προγραμματισμένο πλάνο πτήσης. Στην ίδια κατηγορία ανήκει το άρθρο <<Development of Autonomous Drones for Adaptive Obstacle Avoidance in Real World Environments>>, το οποίο αφορά την ανάπτυξη ενός drone αποφυγής εμποδίων με τη χρήση δύο lidar, τα οποία επικοινωνούν μέσω του I2C πρωτοκόλλου με το ελεγκτή πτήσης.

Η τρίτη κατηγορία άρθρων αφορά Drones γενικότερου σκοπού, τα οποία δεν έχουν αναπτυχθεί σε τέτοιο επίπεδο, ώστε να χαρακτηριστούν αυτόνομα. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται το άρθρο <<Drone Design for First Aid Kit Delivery in Emergency Situation>>, όπου αναφέρεται σε drone που παραδίδει φάρμακα πρώτης ανάγκης μέχρι να έρθει το ασθενοφόρο. Θα πρέπει το άτομο που χρειάζεται βοήθεια να χρησιμοποιήσει web application και χειροκίνητα να φορτωθεί το πλάνο πτήσης στον ελεγκτή πτήσης του drone. Ένα άλλο άρθρο της ίδιας κατηγορίας είναι το άρθρο <<On 3D Autonomous Delivery Systems: Design and Development>>. Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα λαμβάνει ένα αίτημα για παράδοση ενός πακέτου μέσω ενός σχεδιασμένου Application από έναν πελάτη και, αργότερα, παραδίδει αυτό το αντικείμενο σε μια επιθυμητή τοποθεσία στο τρισδιάστατο περιβάλλον. Το UAV έχει τη δυνατότητα να πλοηγηθεί στο εξωτερικό περιβάλλον και να μετακινηθεί από την τοποθεσία βάσης στον προμηθευτή, σε πρώτο στάδιο, και, αργότερα, να βρει τη βέλτιστη διαδρομή προς τον πελάτη για παράδοση. Στην πράξη ο έλεγχος του drone έγινε από χειριστή που ακολούθησε την βέλτιστη πορεία παράδοσης του πακέτου. Επίσης, στην ίδια κατηγορία μπορούμε να εντάξουμε το άρθρο <<Semi-autonomous flight control of forestry – use

drone>>. Αυτό το άρθρο αφορά τη βελτίωση ενός μοντέλου multicopter με προπέλες μεταβλητού pitch και έλεγχο υψομέτρου χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα λέιζερ.

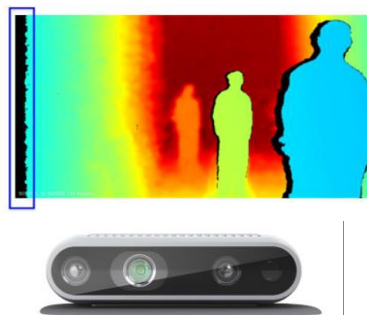
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Μεθοδολογία της έρευνας

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, θα αναλύσουμε τη μεθοδολογία της έρευνας, καθώς και την προτεινόμενη πειραματική διάταξη, έπειτα από την έρευνα αγοράς που πραγματοποιήθηκε. Θα αναφερθούμε στις επιλογές που είχαμε, καθώς και στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, έχοντας πάντα υπόψιν μας τον παράγοντα του κόστους. Οφείλουμε, επίσης, να αναλύσουμε τα μέρη της προτεινόμενης πειραματικής διάταξης και τον ρόλο τους στη διάταξη μας. Η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται κυρίως στην σχεδίαση και υλοποίηση μιας ενιαίας πλατφορμας που υποστηρίζει την αποφυγή εμποδίων μέσω lidar και 3d κάμερας, μπορεί να επιτηρεί το έδαφος, με σκοπό την επεξεργασία εικόνας, και ο κύριο ελεγκτής του θα έχει χαρακτηριστικά και δυνατότητες υπολογιστή. Επίσης, θα γίνεται αναμετάδοση βίντεο της επιφάνειας εργασίας της κεντρικής μονάδας, έτσι ώστε να μπορεί ο χειριστής να καταλάβει την απόκριση του συστήματος σε σχέση με τις 3 αυτές πηγές πληροφορίας.

Για την πραγματοποίηση της προτεινόμενης πειραματικής διάταξης, έγινε μια έρευνα αγοράς υλικών, καθώς και καθορισμός του στόχου που θα είχε αυτή η προτεινόμενη πειραματική διάταξη. Μετά από συζήτηση με τον καθηγητή μου, προσδιορίσαμε ότι ο στόχος θα ήταν το drone να μπορεί να αποφύγει τα εμπόδια μέσω 3D κάμερας και αισθητήρα λέιζερ Lidar. Οπότε, το κύριο ζήτημα ήταν να αποφασίσουμε τα μέρη του drone. Τα κύρια μέρη του περιγράφονται παρακάτω.

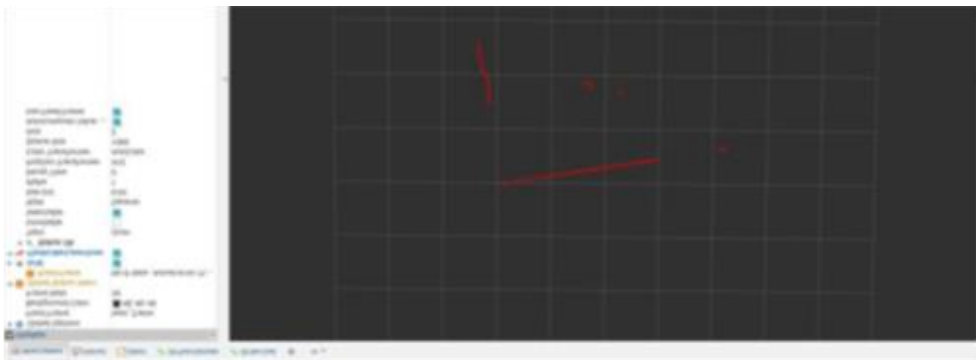
3D camera

Μετά από έρευνα αγοράς, καταλήξαμε στην 3D κάμερα της Intel. Η τεχνολογία μέτρησης βάθους είναι η Active IR Stereo και η ελάχιστη απόσταση μέτρησης είναι 0.2 μέτρα και σύνδεση μέσω usb3. Αποτελείται από ένα αριστερό και ένα δεξί αισθητήρα εικόνας, ένα infrared projector και ένα αισθητήρα χρώματος.



Εικόνα 6: 3D camera και απεικόνιση της

Επιπλέον, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί ένας αισθητήρας λέιζερ τύπου Lidar, ο οποίος μπορεί επίσης να βοηθήσει στην αποφυγή εμποδίων. Ο αισθητήρας που αγοράστηκε για το σκοπό αυτό είναι ο YDLIDAR X4, ο οποίος είναι ένας δισδιάστατος μετρητής εύρους 360 μοιρών. Με βάση την αρχή της τριγωνισμού, συνδυάζει ξεχωριστές τεχνολογίες με σκοπό την επίτευξη απόστασης υψηλής συχνότητας και υψηλής ακρίβειας μέτρηση. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι η μέτρηση της απόστασης κατά μήκος της σάρωσης 360 μοιρών, το σφάλμα μικρής απόστασης, σταθερή απόδοση και υψηλή ακρίβεια. Επιπλέον, μπορεί να μετρήσει μέχρι 10 μέτρα και έχει ισχυρή αντίσταση στις παρεμβολές φωτός περιβάλλοντος. Να προσθέσουμε ακόμα ως πλεονέκτημα του τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθώς και το μικρό μέγεθος σε συνδιασμό με τη ρυθμιζόμενη συχνότητα στροφών κινητήρα από 6Hz έως 12Hz.



Εικόνα 7 : Απεικόνιση εμποδίων μέσω Lidar

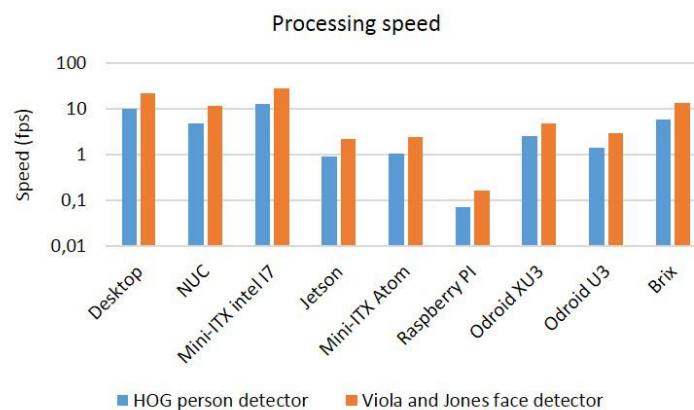
Για την επεξεργασία εικόνας, επιλέχθηκε η πλατφόρμα Raspberry Pi, η οποία παρουσιάζει διάφορα πλεονεκτήματα έναντι άλλων πλατφόρμων. Πρόκειται για ένα μικρό υπολογιστή σε χαμηλή τιμή. Με σκοπό τη σύνδεση με την κάμερα 3D, επιλέξαμε το Raspberry Pi4, το οποίο υποστηρίζει τη σύνδεση μέσω usb3. Πολύ σημαντικό μέρος της απόφασης μας αποτελεί το γεγονός ότι επιθυμούσαμε έναν επεξεργαστή MPU γρήγορο, ώστε να γίνεται γρήγορα η επεξεργασία εικόνας. Μια MPU είναι πολύ πιο γρήγορη και πιο περίπλοκη στο πρόγραμμα και στο σχεδιασμό. Οι δυνατότητές τους για υψηλότερες επιδόσεις χρειάζονται επίσης πολύ περισσότερη ισχύ. Χρησιμοποιούν επίσης ένα πλήρες λειτουργικό σύστημα όπως το Linux ή το Android. Οι μικροελεγκτές, αντίθετα, χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο διαδικασιών και τη διαχείριση σημάτων εισόδου / εξόδου από εξωτερικά συνδεδεμένα στοιχεία, όπως αισθητήρες, ασύρματα ραδιόφωνα (όπως Bluetooth), ενεργοποιητές (actuators), κινητήρες, ηλεκτρονικές οθόνες κλπ. Ως παραδείγματα, τα Arduinos είναι κιτ μικροελεγκτών και το Raspberry Pi είναι ένα κιτ μικροεπεξεργαστών.



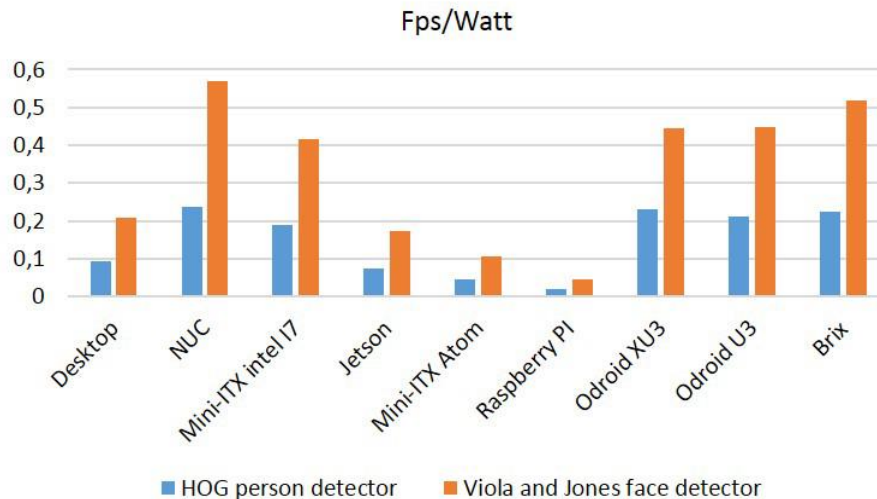
Εικόνα 8: Raspberry Pi 4

Επεξεργαστής

Στη συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε το Raspberry Pi 4, ως η πλατφόρμα επεξεργασίας εικόνας, ο οποίος επικοινωνεί με τον ελεγκτή πτήσης. Το Raspberry Pi παρέχει υπολογιστική ισχύ ισάξια προσωπικού υπολογιστή σε προσιτή τιμή και όγκο αντιστρόφως ανάλογο των δυνατοτήτων του. Με το Raspberry Pi μπορούν να εκτελεστούν όλες οι βασικές λειτουργίες ενός σύγχρονου υπολογιστή, επιτρέποντας σε έναν άπειρο χρήστη να περιηγηθεί στο διαδίκτυο, να μεταδίδει το περιεχόμενό του και να πειραματιστεί ακόμα και στον προγραμματισμό. Πρόκειται για ένα υπολογιστή χαμηλού κόστους και μικρού μεγέθους, ο οποίος είναι δομημένος σε ανοιχτού τύπου λογισμικό και βασίζεται στο Linux. Αποτελεί έναν υπολογιστή 4^{ης} γενιάς και περιλαμβάνει 4 GB μνήμη RAM, ενσωματωμένο τσιπ WLAN και 2 USB3 θύρες επικοινωνίας. Αυτός ο υπολογιστής είναι ιδανικός για επεξεργασία εικόνας, καθώς είναι μικρός, ελαφρύς και συνδέεται εύκολα με την camera Raspberry Pi. Από τα παρακάτω γραφήματα, γίνεται αντιληπτό ότι η πλατφόρμα Raspberry Pi είναι αποδοτική για το μέγεθος της, δεδομένου ότι συναγωνίζεται μητρικές πλακέτες μεγαλύτερου μεγέθους.



Πίνακας 2: Υπολογιστική ισχύς (Watt)/ Ταχύτητα (fps) για κάθε πλατφόρμα.

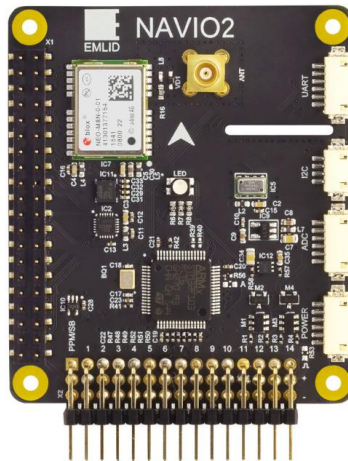


Πίνακας 3: Υπολογιστική ισχύς (watt) / Ταχύτητα (fps) για κάθε πλατφόρμα σε εμφάνιση κλάσματος.

Η βιβλιοθήκη OpenCV, η οποία είναι διαθέσιμη σε Linux, Mac OS και Windows, αναμένεται να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία, με σκοπό την επεξεργασία εικόνας πραγματικού χρόνου, η οποία πρόκειται να υλοποιηθεί στην πλατφόρμα του Raspberry Pi.

Ελεγκτής Πτήσης

Το UAV είναι εξοπλισμένο με τον αυτόματο πιλότο Navio2 εγκατεστημένο πάνω στο Raspberry Pi (Εικόνα 8). Αυτό το μικρό καπέλο (Hat) χρησιμεύει ως gateway εισόδου / εξόδου, αξιοποιώντας το δύνναμη του Raspberry Pi και χρησιμοποιώντας το ως χειριστήριο drone. Ο πίνακας διαθέτει διπλό IMU: επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια και μαγνητόμετρα για προσανατολισμό και ανίχνευση κίνησης και βαρόμετρο υψηλής ανάλυσης που ανιχνεύει υψόμετρο με ανάλυση εκατοστού. Η μονάδα διαθέτει επίσης έναν επεξεργαστή RC για τις εισόδους – εξόδους I / O, ικανό να αποδεχτεί PPM / SBUS και παροχή 14 καναλιών εξόδου PWM για κινητήρες και σερβο. Οι πρόσθετες θύρες επέκτασης περιλαμβάνουν διεπαφές όπως ARC, I2C και UART. Επίσης. Το firmware Raspbian OS image το οποίο προτείνεται από την εταιρεία έρχεται με προεγκατεστημένο το ArduPilot και το DroneKit για αυτό το έργο.



Εικόνα 9 : Navio2

Επιλογή Frame

Το drone που επιλέχθηκε είναι ένα εξακόπτερο, ώστε να υπάρχει καλύτερη ευστάθεια, αλλά και να μπορεί να πετάξει σε περίπτωση απώλειας κάποιου μοτερ. Το hexacopter προσφέρει όλα όσα κάνει το quadcopter, καθώς και περισσότερα. Αυτή η διαμόρφωση προσφέρει περισσότερη ισχύ, αποδοτικότητα, σταθερότητα και χωρητικότητα για τη μεταφορά βαρύτερων ωφέλιμων φορτίων από ένα quadcopter.

Είναι επίσης πιο ακριβό από το quadcopter. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε το drone Tarot 680 pro με ελεγκτή πτήσης το Navio2. Η επιλογή αυτή είναι ιδανική για το μεγάλο συνολικό βάρος των modules που θα τοποθετηθούν στο drone (Lidar, raspberry pi, 3D camera).



Εικόνα 10: Tarot 680 Pro

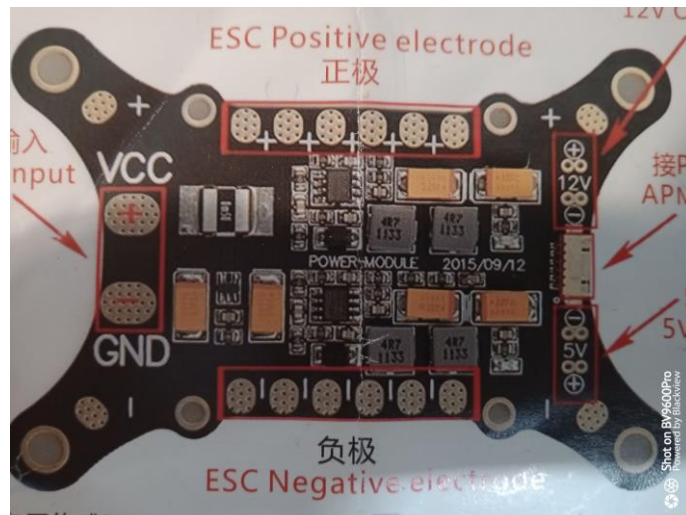
Επιλογή Μπαταριών

Η τάση της μπαταρίας ή ο αριθμός των κυψελών είναι μια άλλη σημαντική απόφαση για την υλοποίηση μας. Οι μπαταρίες υψηλότερης τάσης επιτρέπουν στους κινητήρες να παράγουν περισσότερη ισχύ, ωστόσο οι μπαταρίες υψηλότερης τάσης είναι βαρύτερες καθώς περιέχουν περισσότερες κυψέλες. Οι κινητήρες είναι πιο αποδοτικοί και ισχυροί κατά τη χρήση περισσότερων κελιών (υψηλότερη τάση), αλλά μερικά από τα μπόνους αποδοτικότητας αναιρούνται από την αύξηση του βάρους και του κόστους της μπαταρίας. Για την υλοποίηση μας αποφασίσαμε να προχωρήσουμε την υλοποίηση μας με μπαταρίες 4S (14.8 V) Λιθίου Πολυμερούς.

Οι μπαταρίες λιθίου είναι οι πιο κοινές μπαταρίες που χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία σε drones, λόγω της υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας και των δυνατοτήτων εκφόρτισης. Οι μπαταρίες λιθίου που χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία των drones είναι δύο τύπων: Πολυμερές λιθίου (LiPO) και πολυμερές λιθίου υψηλής τάσης (LiHV).

PCB διανομής ισχύος

Επίσης, για τις ανάγκες της υλοποίησης χρησιμοποιήθηκε power module για μπαταρίες 3S-6S, το οποίο μπορεί να τροφοδοτήσει 6 ξεχωριστά μοτέρ και έχει εξόδους 12 V και 5V. Η έξοδος 5 V χρησιμοποιείται για την παροχή τροφοδοσίας σε Lidar, Raspberry Pi, 3D camera και Navio2. Οι έξοδοι 12 V και 5V διαθέτουν LC φίλτρο, ώστε να μειωθεί η διακύμανση στην έξοδο της. Μπορεί να τροφοδοτήσει με 90 A μέγιστο τα μοτέρ και 3 A στις εξόδους 12 V και 5V.



Εικόνα 11: PCB διανομής ισχύος

Λογισμικό

Σχετικά με τα λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί, έγινε μία έρευνα, αρχικά, σχετικά με τα διαθέσιμα λειτουργικά συστήματα του raspberry pi. Καταλήξαμε στο λειτουργικό σύστημα Raspbian Buster, το οποίο είναι συμβατό με τον ελεγκτή πτήσης Navio2. Επίσης, αποφασίσαμε ότι θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό Mission Planner για την παραμετροποίηση του ελεγκτή πτήσης αλλά και για την παρουσίαση των δεδομένων από τους αισθητήρες του drone. Επιπλέον, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε το λογισμικό OpenCV για την ανάπτυξη του κώδικα επεξεργασίας εικόνας.

RC έλεγχος

Ο έλεγχος θα γίνεται από RC transmitter AT10 και R10D receiver στα 2.4 GHz.



Εικόνα 12: Χειριστήριο AT10II

Μια ενημερωμένη έκδοση του AT10, του AT10II, 2,4GHz τηλεμετρίας με δυνατότητα πομπού με 12 κανάλια επιλέχθηκε για την παρούσα εφαρμογή. Αποτελεί ένα χειριστήριο με δυνατότητα επέκτασης, το οποίο καλύπτει την απαίτηση για έναν πομπό με δυνατότητα πλήρους κάλυψης και αρκετά κανάλια, ώστε να αντιμετωπιστεί η πολυλειτουργικότητα που απαιτούν τόσο πολύπλοκα μοντέλα αεροσκαφών. Είναι εξοπλισμένο με πρωτόκολλο FHSS & DSSS με γρήγορο ρυθμό μετάδοσης, βελτιωμένη απόρριψη παρεμβολών και εγγυάται την αξιοπιστία μιας σταθερής RC σύνδεσης. Παρακάτω μπορούμε να δούμε αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του.

- Συχνότητα: 2.4GHz ISM band (2400MHz έως 2483.5MHz)
- Λειτουργία διαμόρφωσης: QPSK
- Εύρος ζώνης καναλιού: 5,0MHz
- Εύρος φάσματος: DSSS & FHSS
- Δίπλα απόρριψη καναλιού: 38dbm
- Ισχύς πομπού: <100mW (20dbm)
- Ρεύμα λειτουργίας: 105mA @ 12v
- Τάση λειτουργίας: 7.4v - 15.0v
- Απόσταση ελέγχου: έως 4km, η πραγματική απόσταση ελέγχου εξαρτάται από το περιβάλλον πτήσης
- Κανάλια: 12 κανάλια, 5-12 κανάλια προσαρμοσμένα
- Συμβατά μοντέλα: περιλαμβάνουν ελικόπτερο 120 μοιρών και 90 μοιρών, όλα σταθερά φτερά, ανεμόπτερα και πολλαπλούς ρότορες
- Λειτουργία προσομοιωτή: Ο πομπός μεταβαίνει σε λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας
- Οθόνη: έγχρωμη οθόνη 3,5 ιντσών 16 bit, 320 - 480PX
- Υποστηρίζει δέκτες: R9DS, R12DS, R12DSM, R6DS, R6DSM
- Τάση λειτουργίας δέκτη R12DS: 4,8v - 10v
- Ρεύμα λειτουργίας δέκτη R12DS: <38 - 45mA
- Μέγεθος δέκτη R12DS: 50 x 31,5 x 14,5 mm

Επιλογή Μοτερ και Ελεγκτών Ταχύτητας (ESC)

Για την υλοποίηση της υπάρχουσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκαν 2 είδη μοτέρ, ανάλογα με το βάρος που θα σηκώνει το drone. Για την επιλογή των ελεγκτών ταχύτητας και των μοτέρ, πήραμε υπόψιν μας, ότι θα πρέπει η επιλογή αυτή να βασιστεί

στον σκοπό της κάθε πτήσης. Μία πτήση που έχει ως σκοπό τη μεταφορά αντικειμένων θα έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις ως προς την απόδοση των μοτέρ και την καταναλισκόμενη ισχύ. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, γίνεται ανάλυση της σχεδίασης και της ανάπτυξης. Βάσει της σχεδίασης, έγινε η επιλογή των μοτέρ και των ελεγκτών ταχύτητας.



Εικόνα 13: Ελεγκτής Ταχύτητας ESC

FPV πομποδεκτης αναλογικού βίντεο



Εικόνα 14: FPV πομποδέκτης

Band and Channel selection

CH GROUP	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
A	5865 MHz	5845 MHz	5825 MHz	5805 MHz	5785 MHz	5765 MHz	5745 MHz	5725 MHz
B	5733 MHz	5752 MHz	5771 MHz	5790 MHz	5809 MHz	5828 MHz	5847 MHz	5866 MHz
C	5705 MHz	5685 MHz	5665 MHz	5645 MHz	5885 MHz	5905 MHz	5925 MHz	5945 MHz
D	5740 MHz	5760 MHz	5780 MHz	5800 MHz	5820 MHz	5840 MHz	5860 MHz	5880 MHz
R	5658 MHz	5695 MHz	5732 MHz	5769 MHz	5806 MHz	5843 MHz	5880 MHz	5917 MHz

Πίνακας 4: Επιλογή Band σε σχέση με Channel

Για την παρακολούθηση της επιφάνειας εργασίας του Raspberry Pi, χρησιμοποιήθηκε πομπός αναλογικού βίντεο στα 5.8 GHz με ισχύ 600mw και παροχή 12V από την πλακέτα παροχής ισχύος. Το κέρδος της κεραίας είναι 2dB και έχει κατανάλωση 220mA. Επειδή η μορφή του αναλογικού βίντεο θα πρέπει να είναι NTSC ή PAL, χρησιμοποιήσαμε module μετατροπής της ψηφιακής εξόδου HDMI του Raspberry Pi σε NTSC. Ο δέκτης έχει 2 κεραίες 32 καναλιών και περιλαμβάνει μπαταρία 3.7V 4000mAh με αυτόματη αναζήτηση καναλιών.



Εικόνα 15: Μετατροπέας ψηφιακού σηματος σε αναλογικό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η προτεινόμενη μέθοδος – Θεμελίωση, Σχεδίαση, Ανάπτυξη

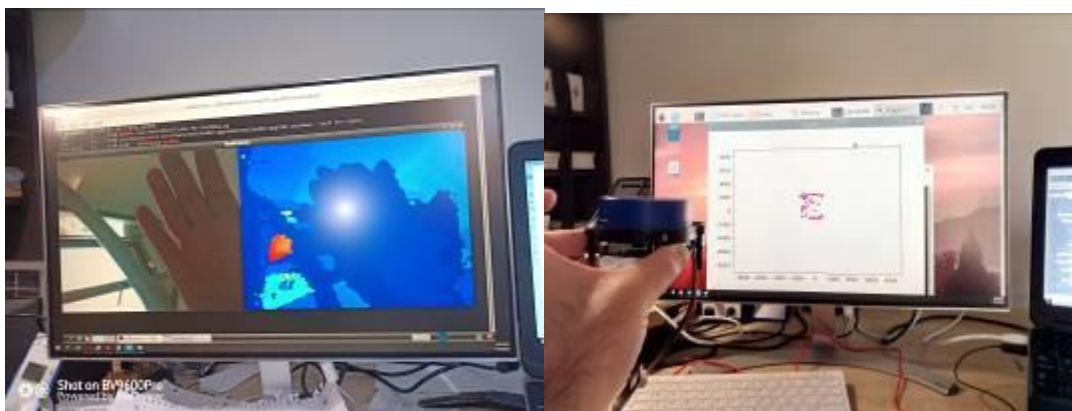
Η αρχική μορφή του drone ήταν η εξής παρακάτω (Εικόνα). Στο παρόν στάδιο έχει γίνει συγκόλληση των καλωδίων παροχής τροφοδοσίας από και προς τον speed controller, καθώς και του καλωδίου που δίνει τις εντολές προς τα μοτέρ. Η υλοποίηση έχει γίνει, αρχικά, με το στήσιμο του frame από τα μέρη ενός frame Tarot. Ταυτόχρονα έγινε και η καλωδίωση των speed controllers. Τα καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν είναι καλώδια σιλικόνης 200C, τα οποία δίνουν μεγαλύτερη ανοχή σε Amperes.



Εικόνα 16: Γενική άποψη του drone (αρχική version)

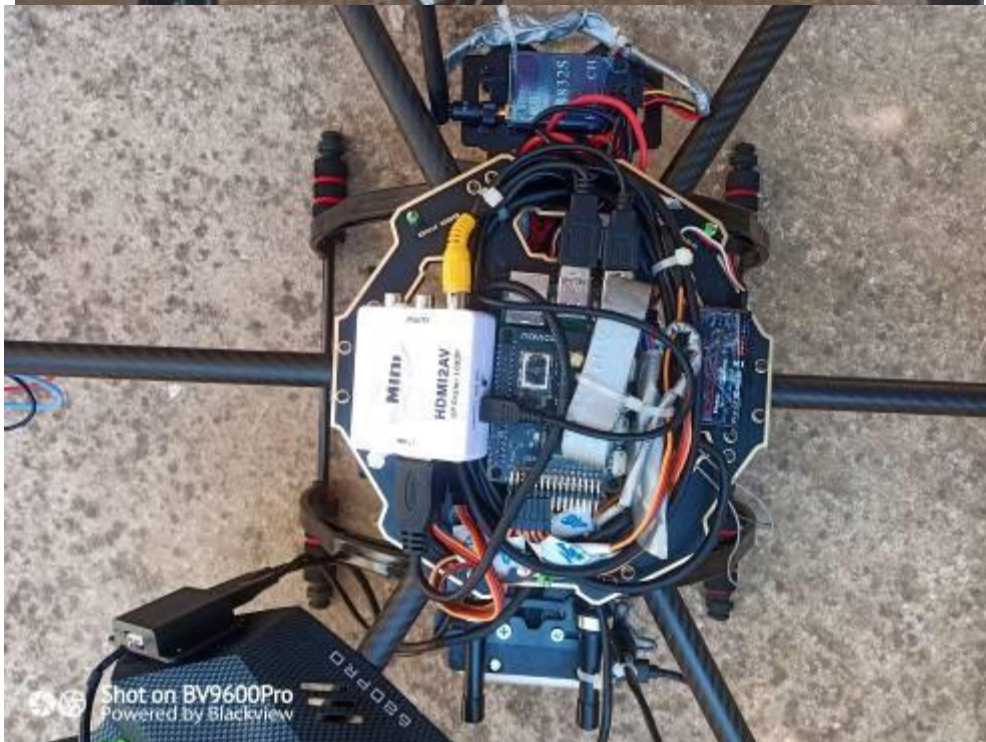
Στη συνέχεια προχώρησα στη δημιουργία image για το Raspberry Pi 4. Μετά από 2 αποτυχημένες προσπάθειες, λόγω ασυμβατότητας του εκάστοτε Operating system, τελικά έγινε πραγματικότητα η δημιουργία ενός image, το οποίο διαβάζει δεδομένα από lidar, 3d camera και επικοινωνεί με το flight controller. Έγινε calibration του RC joystick controller, calibration των μοτέρ, καθώς και οι απαραίτητες διορθώσεις για την φορά περιστροφής. Επίσης, έχουν προγραμματιστεί κάποιοι διακόπτες του controller να αλλάζουν mode της πτήσης. Έχει γίνει εγκατάσταση του flight controller navio2, το οποίο εφαρμόζεται στην πάνω πλευρά του raspberry pi. Επίσης, έγινε εγκατάσταση του GPS. Ο flight controller navio 2 περιέχει αισθητήρες pitch, roll και acceleration. Επίπλέον, έχει γίνει η εγκατάσταση και καλωδίωση του RC receiver, το οποίο επικοινωνεί με το flight controller.

Οι μπαταρίες που έχουν αγοραστεί είναι δύο μπαταρίες LIPO 10000 mAh. Το drone έχει την υποδομή να συνδεθεί και με τις 2. Οι μπαταρίες δίνουν τάση σε μια πλακέτα, η οποία δίνει παροχή στα thrusters και βγάζει έξοδο 12V και 5V, μέσα από κατάλληλες προστατευτικές διατάξεις. Πριν την τελική μορφή, έγιναν οι κατάλληλοι έλεγχοι για την απόκτηση δεδομένων από το lidar και την 3d camera.



Εικόνα 17: Λήψη δεδομένων από Lidar και 3D camera

Επίσης, έγινε μια προσπάθεια βελτίωσης του κέντρου βάρους και της λειτουργίας του drone, τοποθετώντας ένα lidar μικρότερου μέγεθους, αδιαβροχο χωρίς εξωτερικά μηχανικά μέρη και τοποθέτηση της 3D κάμερας προς την κάτω πλευρά του drone με σκοπό τη χρήση της για την αποφυγή εμποδίων του εδάφους.



Εικόνα 18: Εσωτερική μορφή drone



Εικόνα 19: Εξωτερική μορφή drone

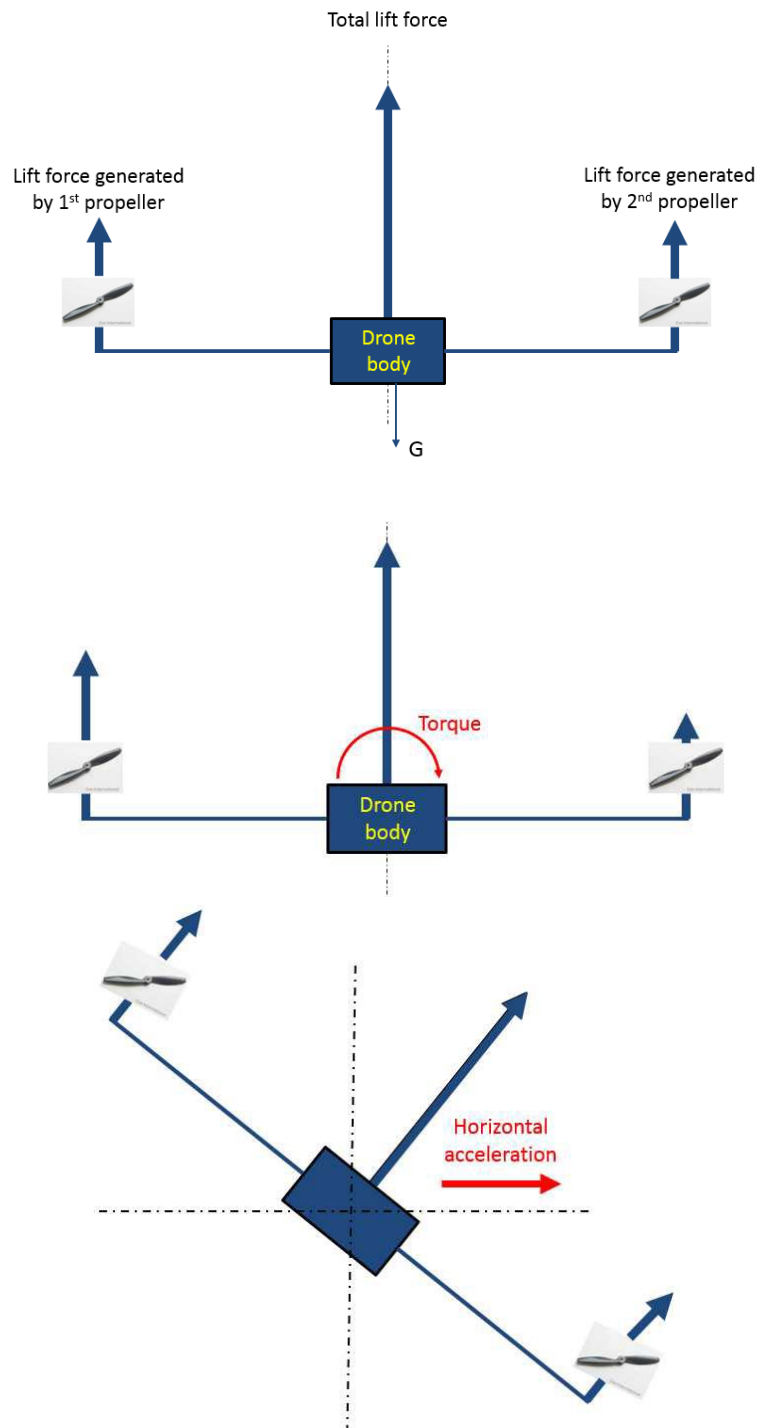


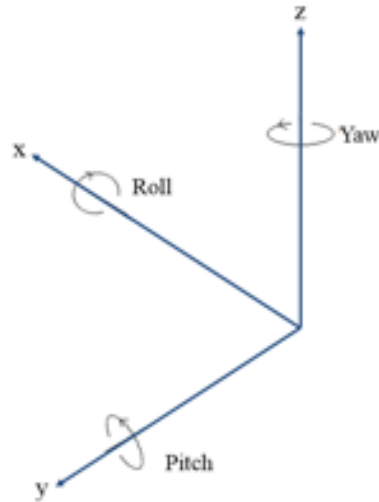
Εικόνα 20: Εξωτερική μορφή drone

Γενική σχεδίαση και ανάπτυξη του Drone

Η επιλεγμένη προτεινόμενη διάταξη είναι ένα εξακόπτερο με διάταξη X, δεδομένου ότι αυτή η λύση παρουσιάζει πολύ υψηλότερη σταθερότητα λόγω της δύναμης ανύψωσης που δημιουργείται από την περιστροφή των έξι μοτέρ. Το drone αποτελεί ένα ασταθές δυναμικό σύστημα 6 βαθμών ελευθερίας, το οποίο αποτελείται

από τριών διαστάσεων κινήσεις (περιστροφική και μεταφορική). Στην περίπτωση μας, η μεταφορική κίνηση υπάρχει κατά την αλλαγή της κατεύθυνσης και του μεγέθους του κατακόρυφου δύναμη έλξης. Για σταθερές προπέλες (όπως αυτές που είναι τοποθετημένες στα drones), η περιστροφική κίνηση επιτυγχάνεται με μεμονωμένες αλλαγές ταχύτητας των μοτέρ [31].





Η κατεύθυνση του drone (attitude) καθορίζεται ως ο προσανατολισμός του συστήματος συντεταγμένων του drone ως προς το Σύστημα συντεταγμένων της Γης. Αναπαριστά την περιστροφή του drone και αποτελείται από τρεις κινήσεις: Roll, Pitch, Yaw. Η κίνηση Roll αντιπροσωπεύει την κίνηση περιστροφής γύρω από τον άξονα x, που λαμβάνεται αυξάνοντας / μειώνοντας τις ταχύτητες των μοτέρ 1, 2 και 3, και ταυτόχρονα αυξάνοντας / μειώνοντας την ταχύτητα περιστροφής των μοτέρ 4, 5 και 6. Η κίνηση Pitch είναι η περιστροφική κίνηση γύρω από τον άξονα ψ και επιτυγχάνεται με την αύξηση / μείωση της ταχύτητας των μοτέρ 1 και 6 και ταυτόχρονα αυξάνοντας / μειώνοντας την περιστροφή των μοτέρ 3 και 4. Η κίνηση Yaw αντιπροσωπεύει την κίνηση περιστροφής γύρω από τον άξονα z. Στην περίπτωση αυτής της κίνησης, κάθε έλικα δημιουργεί μια ροπή γύρω από τον άξονα z κατά την περιστροφή. Έτσι, αυτή η ροπή στρέφεται προς την αντίθετη κατεύθυνση ως προς την κατεύθυνση περιστροφής του μοτέρ. Εάν η έλικα περιστρέφεται δεξιόστροφα, θα δημιουργήσει τριγωνομετρική περιστροφή γύρω από τον άξονα z [31].

Για να διατηρηθεί ένα εξάκοπτρο σταθερό, είναι απαραίτητο να περιστρέψουμε τα μοτέρ σε διαφορετικές κατευθύνσεις έτσι ώστε τα τρία μοτέρ να περιστρέφονται δεξιόστροφα και οι άλλοι τρεις στο τριγωνομετρική έννοια. Η κίνηση περιστροφής επιτυγχάνεται μειώνοντας / αυξάνοντας την ταχύτητα των μοτέρ 1, 3 και 5 με ταυτόχρονη αύξηση / μείωση της γωνιακής ταχύτητας των μοτέρ 2, 4 και 6.

Στη συνέχεια, θα περιγράψουμε τα διανύσματα περιστροφής που αφορούν το συγκεκριμένο drone.

Το διάνυσμα περιστροφής Yaw θα είναι:

$$R_C^P(\psi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Το διάνυσμα περιστροφής Pitch θα είναι:

$$R_C^P(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}.$$

Το διάνυσμα περιστροφής Roll θα είναι:

$$R_C^P(\phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix}.$$

Το διάνυσμα περιστροφής του drone σε σχέση με το έδαφος θα είναι το παρακάτω:

$$R_C^P = R_C^P(\psi)R_C^P(\theta)R_C^P(\phi) = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \theta & \cos \psi \sin \theta \sin \phi - \sin \psi \cos \phi & \cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \phi \\ \sin \psi \cos \theta & \sin \psi \sin \theta \sin \phi + \cos \psi \cos \phi & \sin \psi \sin \theta \cos \phi - \cos \psi \sin \phi \\ -\sin \theta & \cos \theta \sin \phi & \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix}$$

Οι δυνάμεις που ασκούνται στο drone είναι η δύναμη της βαρύτητας, η δύναμη της έλξης και η οπισθέλκουσα δύναμη, η οποία έχει τάση να αντισταθεί στην κίνηση του drone.

Η δύναμη της βαρύτητας εκφράζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$F_{gravity}^C = R_P^C \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} mg \sin \theta \\ -mg \cos \theta \sin \phi \\ -mg \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix}$$

Η έλξη αντιπροσωπεύει την οριζόντια ανυψωτική δύναμη που επιτρέπει στο ελικόπτερο να πετά οριζόντια και να αιωρείται σε σταθερό υψόμετρο στον αέρα. Αυτή η δύναμη εξαρτάται από το άθροισμα των περιστροφών των έξι μοτέρ. Για τον έλεγχο της

συνολικής δύναμης έλξης, χρειάζεται να έχουμε διαφορετική ταχύτητα περιστροφής σε κάποια μοτέρ στις περιπτώσεις που το drone περιστρέφει ή σε χειρισμούς όπου έχουμε pitch ή roll. Δεδομένου ότι τα μοτέρ είναι σταθερά, η συνολική δύναμη έλξης, που παράγεται από τα έξι μοτέρ, θα έχει την κατεύθυνση του άξονα z (με το drone ως αναφορά) και προς τα πάνω κατεύθυνση. Η δύναμη έλξης μπορεί να προσεγγιστεί με την εξίσωση:

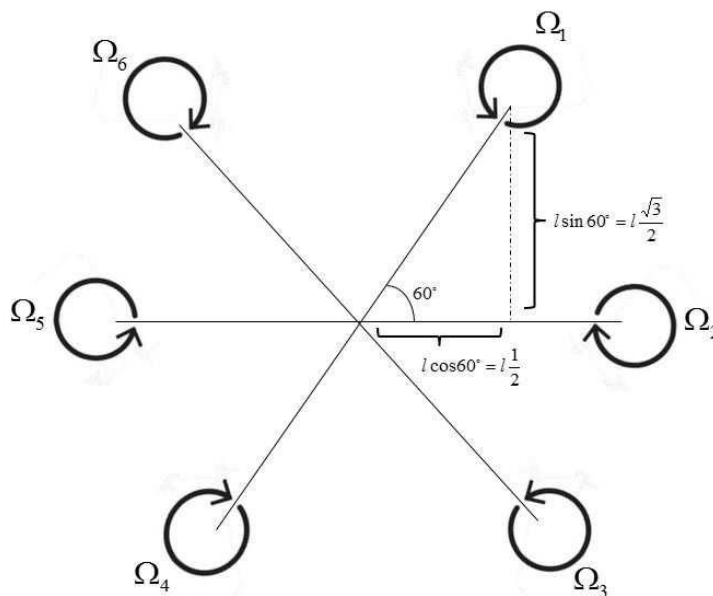
$$F_{traction}^C = b \sum_{i=1}^6 \Omega_i^2$$

Όπου b είναι η σταθερά της δύναμης έλξης σε Ns^2

Η δύναμη που είναι αντίθετη στην κίνηση του drone στους άξονες x και y, μπορεί να εκφραστεί με την παρακάτω εξίσωση:

$$F_{opposite\ force}^C = \begin{bmatrix} -\mu u \\ -\mu v \\ 0 \end{bmatrix}$$

Όπου μ είναι σταθερά σε kg/s και u είναι η γραμμική ταχύτητα κατά μήκος του άξονα x και v είναι η γραμμική ταχύτητα κατά μήκος του άξονα y.



Η οπισθέλκουσα δύναμη είναι η δύναμη που δημιουργείται από την αντίσταση του αέρα κόντρα στην άτρακτο του drone και είναι ανάλογη του τετράγωνου της

ταχύτητας, του σχήματος και του μεγέθους του αντικειμένου. Η εξίσωση που ακολουθείται είναι η παρακάτω:

$$F_{drag}^C = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} C_{A_x} \rho u |u| \\ -\frac{1}{2} C_{A_y} \rho v |v| \\ -\frac{1}{2} C_{A_z} \rho w |w| \end{bmatrix}$$

Όπου C είναι η σταθερά τριβής, A_i είναι το εμβαδό σε m^2 , ρ είναι η πυκνότητα του αέρα σε kg/mm^3 , w είναι η γραμμική ταχύτητα κατά μήκος του άξονα Z.

Για την επιλογή μοτέρ του εξακόπτερου, θα χρειαστεί να υπολογίσουμε κάποιες παραμέτρους:

Παράμετρος rpm μοτέρ, σε τάση 1V	700KV
Μέγιστη τάση εισόδου του μοτέρ [V]	$U_{max} = 14.8V$
Maximum current intensity, input to the motor [A]	$I_{max} = 17.5A$
Actual current voltage input to the motor [V]	$U_i = 14.8V$
Actual current intensity, input to the motor [A]	$I_i = 14A$
Internal resistance of the spindle [Ohm]	$R_s = 0.126 W$
Flight time of the hexarotor [s]	$t = 480s$
% of the engines running	$X=60/100$
Propeller pitch [m]	$H_{pas} = 13 \text{ in} = 0.3302 \text{ m}$
Number of propeller blades	$n = 2$
Air density [kg/m3] at sea level and 15°C	$\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$
Air density at 100 m altitude	
Propeller diameter [m]	$D = 13 \text{ in}$
Blade radius [m]	
Lift calculation radius (without the hub)	
Reference radius	
Profile string	
Area of one propeller [m2]	
Area of the entire rotor	
Global fill coefficient	
Approximate mass of the hexarotor (with the payload installed)	$G = \text{mass} \times g = 26.4780N$
Mass one motor can lift with a 13in propeller installed on it	$\text{expmass} = 1.58 \text{ kg}$

Πίνακας 5: Υπολογισμός παραμέτρων πτήσης

Οι παραπάνω υπολογισμοί συνδιάστηκαν με τα δεδομένα που αποκτήθηκαν μέσω της πλατφόρμας www.eCalc.ch , όπου μπορεί κάποιος να επιβεβαιώσει ότι η σχεδίαση του drone είναι σωστή, βάσει των δεδομένων εισόδου που έχει δηλώσει.

- Μοτέρ 6 x 3508 700KV 198W Disc Motor

Η επιλογή μπαταρίας έγινε βάσει των ενεργειακών αναγκών του drone, καθώς και της απόδοσης των μοτέρ για την επιλεγμένη τάση τροφοδοσίας. Το μοτέρ που επιλέχθηκε είναι το JMT Model F15276. Για τον έλεγχο της ταχύτητας και κατεύθυνσης περιστροφής, ESCs (Ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας) τοποθετήθηκαν στην κάτω πλευρά των κινητήρων. Ο τύπος του ESC που επιλέξατε είναι JMT 30A-OPTO. Για την παραγωγή της δύναμης ανύψωσης, 12" προπέλες από ανθρακονήματα με pitch 5.5 μίρες τύπου 1255 επιλέχθηκαν.

Λεπτομέρειες σχετικά με το μοτέρ:

Motor KV: 700KV

Shaft: 4.0mm

No-load Current (A): 0.4A

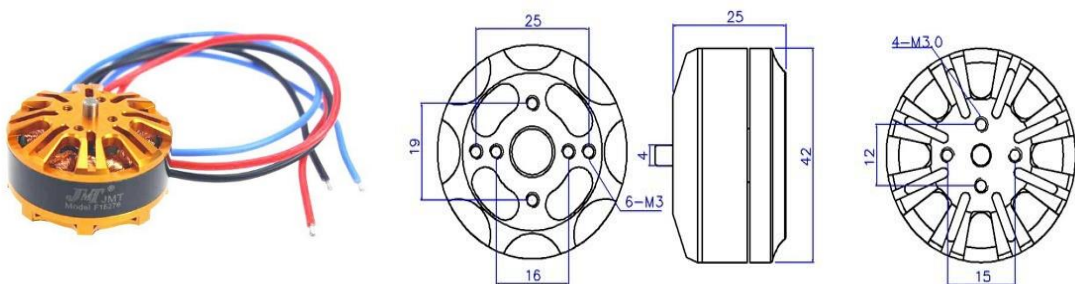
Maximum Current (A): 18.0A

Power: 198W

Weight: about 90g

Input Voltage: 2-4S LiPo

Suitable Propeller: 12"-15" Props



Εικόνα 21: Μοτέρ JMT Model F15276

Lipo Voltage Chart						
Αριθμός κελιών	1S	2S	3S	4S	5S	6S
Τάση	3.7V	7.4V	11.1V	14.8V	18.5V	22.2V
Ταση με 100% φορτισμένη μπαταρία	4.2V	8.4V	12.6V	16.8V	21V	25.2V

Πίνακας 6: Ταση σε σχέση με τα cells της μπαταρίας

Μία μπαταρία πλήρως φορτισμένη έχει τάση 4.2V ανά κελί και κάθε κελί της μπαταρίας δεν θα πρέπει ποτέ να αποφορτιστεί κάτω από 3 V. Η τάση αποθήκευσης της μπαταρίας είναι 3.8 V, ενώ κάθε κελί έχει ονομαστική τάση 3.7 V.

Σχέση χωρητικότητας με τάση

Χωρητικότητα %	1S	2S	3S	4S	5S	6S
100	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2
95	4.15	8.3	12.45	16.6	20.75	24.9
90	4.11	8.22	12.33	16.45	20.56	24.67
85	4.08	8.16	12.25	16.33	20.41	24.49
80	4.02	8.05	12.07	16.09	20.11	24.14
75	3.98	7.97	11.95	15.93	19.92	23.9
70	3.95	7.91	11.86	15.81	19.77	23.72
65	3.91	7.83	11.74	15.66	19.57	23.48
60	3.87	7.75	11.62	15.5	19.37	23.25
55	3.85	7.71	11.56	15.42	19.27	23.13
50	3.84	7.67	11.51	15.34	19.18	23.01
45	3.82	7.63	11.45	15.26	19.08	22.89
40	3.8	7.59	11.39	15.18	18.98	22.77
35	3.79	7.57	11.36	15.14	18.93	22.72
30	3.77	7.53	11.3	15.06	18.83	22.6
25	3.75	7.49	11.24	14.99	18.73	22.48
20	3.73	7.45	11.18	14.91	18.63	22.36
15	3.71	7.41	11.12	14.83	18.54	22.24
10	3.69	7.37	11.06	14.75	18.44	22.12
5	3.61	7.22	10.83	14.43	18.04	21.65
0	3.27	6.55	9.82	13.09	16.37	19.64

Πίνακας 7: Χωρητικότητα σε σχέση με την τάση της μπαταρίας

Για την ανάγκη της υλοποίησης επιλέχθηκε μπαταρία Lipo 10000 mAh 4S. Επιπλέον της παρούσας διάταξης, υπάρχει δυνατότητα να τοποθετηθεί και δεύτερη μπαταρία Lipo.

- Μοτέρ 6 x Dys D4215

1.D4215 4215 650KV Brushless Motor For Mini Multicopter RC Model

Specifications:

Item name: D4215

KV:650KV

Pull: 2290g

Motor size: Φ 42.2×28.5

Battery: 3-6s Lipo

D4215 650KV Short Shaft Brushless Motor For Mini Multicopter RC Plane Helicopter

Specifications:

KV.....650

Configuration.....NP

Shaft Diameter.....4.0mm

Motor Dimensions (Dia.*Len) Φ 42×28.5mm

Weight (g)..... 83g

No.of Cells(Lipo)..... 3-6S

Max Continuous current(A)..... 39A

Max Continuous Power(W)..... 865W

Internal resistance..... 0.011ohm

General Model Weight: 4000 g (incl. Drive) 141.1 oz # of Rotors: 6 Frame Size: 680 mm (26.77 inch) FCU Tilt Limit: no limit Field Elevation: 500 m ASL (1640 ft ASL) Air Temperature: 25 °C (77 °F) Pressure (QNH): 1013 hPa (29.91 inHg)

Battery Cell Type (Cont. / max. C) - charge state: LiPo 16000mAh - 20/30C - full Configuration: 6 S 1 P Cell Capacity: 16000 mAh max. discharge: 75% Resistance: 0.0014 Ohm Voltage: 3.7 V C-Rate: 20 C cont. 30 C max Weight: 378 g (13.3 oz)

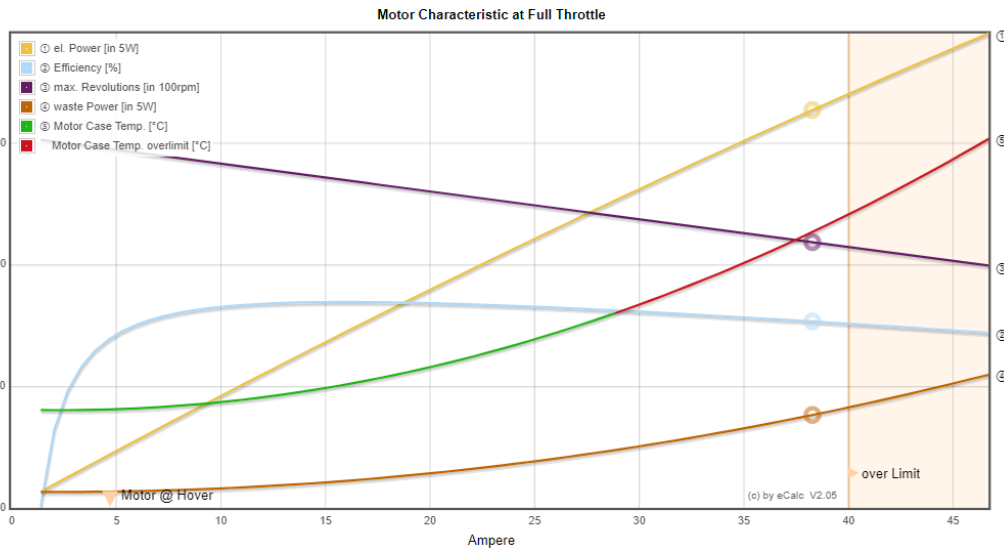
Controller Type: max 40A Current: 40 A cont. 40 A max Resistance: 0.006 Ohm Weight: 50 g (1.8 oz) Accessories: 0 A Current drain: 0 g (0 oz)

Motor Manufacturer - Type (Kv) - Cooling: DYS - D4215-21 (650) KV (w/o torque): 650 rpm/V no-load Current: 0.7 A @ 11.1 V Limit (up to 15s): 865 W Resistance: 0.11 Ohm Case Length: 16 mm # mag. Poles: 14 Weight: 83 g (2.9 oz)

Propeller Type - yoke twist: Carbon-Fold-Prop - 0° Diameter: 12 inch (304.8 mm) Pitch: 5.5 inch (139.7 mm) # Blades: 2 PConst / TConst: 1.18 / 1.0 Gear Ratio: 1 : 1 calculate

Battery Load: 14.58 C Voltage: 21.57 V Rated Voltage: 22.20 V Energy: 365.2 Wh Total Capacity: 16000 mAh Used Capacity: 12000 mAh min. Flight Time: 3.1 min Mixed Flight Time: 16.9 min Hover Flight Time: 25.4 min Weight: 2268 g (80 oz)	Motor @ Optimum Efficiency Current: 15.54 A Voltage: 22.66 V Revolutions*: 13519 rpm electric Power: 352.1 W mech. Power: 298.0 W Efficiency: 84.6 %	Motor @ Maximum Current: 38.89 A Voltage: 21.34 V Revolutions*: 10850 rpm electric Power: 829.8 W mech. Power: 633.3 W Power-Weight: 1244.8 W/kg 564.6 W/lb Efficiency: 76.3 % est. Temperature: 116 °C (241 °F)	Motor @ Hover Current: 4.73 A Voltage: 23.26 V Revolutions*: 5020 rpm Throttle (log): 24 % Throttle (linear): 39 % electric Power: 110.0 W mech. Power: 88.1 W Power-Weight: 166.9 W/kg 75.7 W/lb Efficiency: 80.0 % est. Temperature: 35 °C (95 °F) specific Thrust: 6.06 g/W	Total Drive Drive Weight: 3373 g (119 oz) Thrust-Weight: 3.8 : 1 Current @ Hover: 28.37 A P(in) @ Hover: 667.7 W P(out) @ Hover: 528.4 W Efficiency @ Hover: 79.1 % Current @ max: 233.33 A P(in) @ max: 5490.8 W P(out) @ max: 3799.6 W Efficiency @ max: 69.2 %	Multicopter All-up Weight: 4000 g (141.1 oz) add. Payload: 9177 g (323.7 oz) max Tilt: 72 ° max. Speed: 102 km/h (63.4 mph) est. Range: - m (- mi) est. rate of climb: 15.3 m/s (3012 ft/min) Total Disc Area: 43.78 dm ² (678.59 in ²) with Rotor fail:
---	---	--	---	--	--

share add to >> Download .csv (0) << clear



Drone F550 with propellers 10" 4.5" pitch

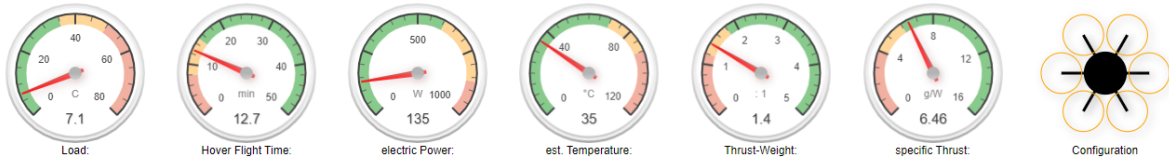
General Model Weight: 3000 g (incl. Drive) 105.8 oz # of Rotors: 6 Frame Size: 550 mm (21.65 inch) FCU Tilt Limit: no limit Field Elevation: 500 m ASL (1640 ft ASL) Air Temperature: 25 °C (77 °F) Pressure (QNH): 1013 hPa (29.91 inHg)

Battery Cell Type (Cont. / max. C) - charge state: LiPo 4000mAh - 35/50C - normal Configuration: 4 S 2 P Cell Capacity: 4000 mAh (8000 mAh total) max. discharge: 85% Resistance: 0.004 Ohm Voltage: 3.7 V C-Rate: 35 C cont. (50 C max) Weight: 103 g (3.6 oz)

Controller Type: max 30A Current: 30 A cont. (30 A max) Resistance: 0.008 Ohm Weight: 40 g (1.4 oz) Accessories: Current drain: 0 A Weight: 0 g

Motor Manufacturer - Type (Kv) - Cooling: DYS - D4215-21 (650) - excellent search... KV (w/o torque): 650 rpm/V no-load Current: 0.7 A @ 11.1 V Limit (up to 15s): 865 W Resistance: 0.11 Ohm Case Length: 16 mm (0.63 inch) # mag. Poles: 14 Weight: 83 g (2.9 oz)

Propeller Type - yoke twist: APC SlowFly SF Diameter: 10 inch (254 mm) Pitch: 4.5 inch (114.3 mm) # Blades: 2 PConst / TConst: 1.11 / 1.0 Gear Ratio: 1 : 1 calculate

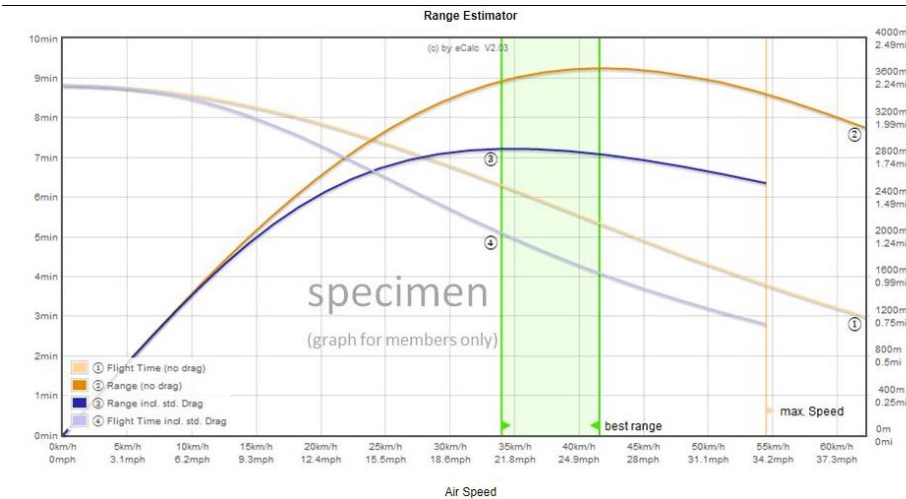


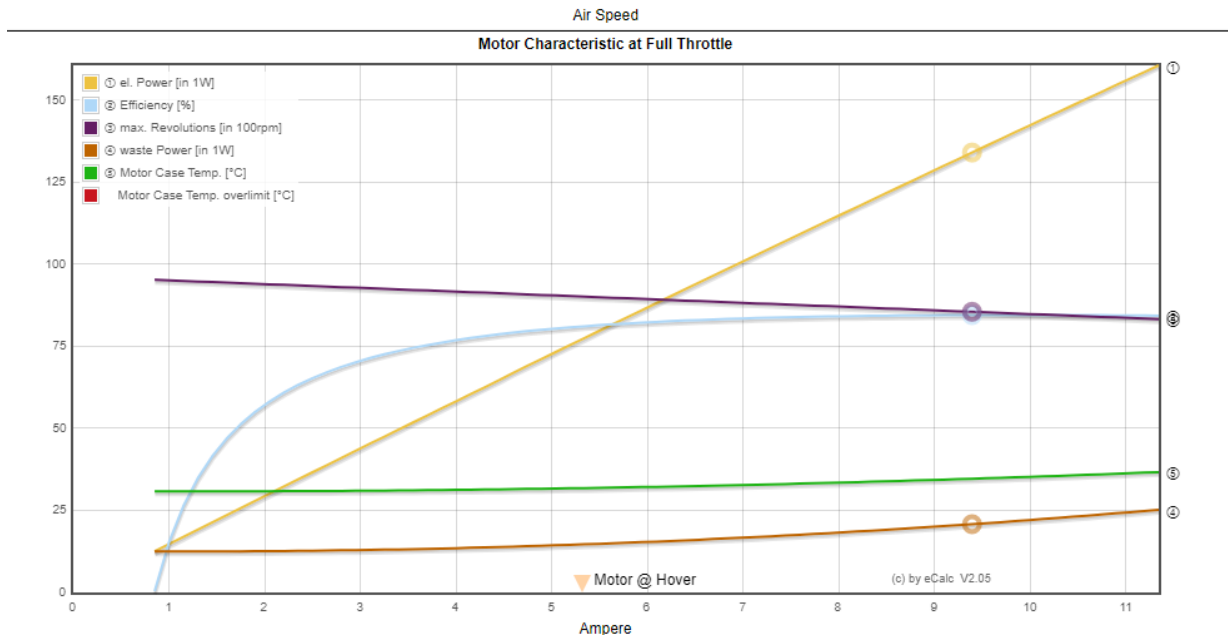
Remarks:

Battery	Motor @ Optimum Efficiency	Motor @ Maximum	Motor @ Hover	Total Drive	Multicopter
Load: 7.08 C	Current: 9.66 A	Current: 9.45 A	Current: 5.33 A	Drive Weight: 1718 g	All-up Weight: 3000 g
Voltage: 14.35 V	Voltage: 14.26 V	Voltage: 14.27 V	Voltage: 14.50 V	60.6 oz	105.8 oz
Rated Voltage: 14.80 V	Revolutions*: 8518 rpm	Revolutions*: 8543 rpm	Revolutions*: 6298 rpm	Thrust-Weight: 1.4 : 1	add. Payload: 696 g
Energy: 118.4 Wh	electric Power: 137.8 W	electric Power: 134.8 W	Throttle (log): 65 %	Current @ Hover: 32.01 A	24.6 oz
Total Capacity: 8000 mAh	mech. Power: 116.4 W	mech. Power: 113.9 W	Throttle (linear): 73 %	P(in) @ Hover: 473.7 W	max Tilt: 36 °
Used Capacity: 6800 mAh	Efficiency: 84.5 %	Power-Weight: 122.3 W/lb	electric Power: 77.4 W	P(out) @ Hover: 387.4 W	max. Speed: 40 km/h
min. Flight Time: 7.2 min		Efficiency: 84.5 %	mech. Power: 64.6 W	Efficiency @ Hover: 81.8 %	24.8 mph
Mixed Flight Time: 11.0 min		est. Temperature: 35 °C	Power-Weight: 157.9 W/kg	Current @ max: 56.68 A	est. Range: - m
Hover Flight Time: 12.7 min		est. Temperature: 95 °F	71.6 W/lb	P(in) @ max: 838.8 W	- mi
Weight: 824 g		Wattmeter readings	Efficiency: 83.5 %	P(out) @ max: 683.4 W	est. rate of climb: 3.1 m/s
29.1 oz		Current: 56.7 A	est. Temperature: 31 °C	Efficiency @ max: 81.5 %	610 ft/min
		Voltage: 14.35 V	88 °F		Total Disc Area: 30.40 dm²
		Power: 813.6 W	specific Thrust: 6.46 g/W		471.2 in²
			0.23 oz/W		with Rotor fail: ❌

share

add to >> Download.csv (0) << clear

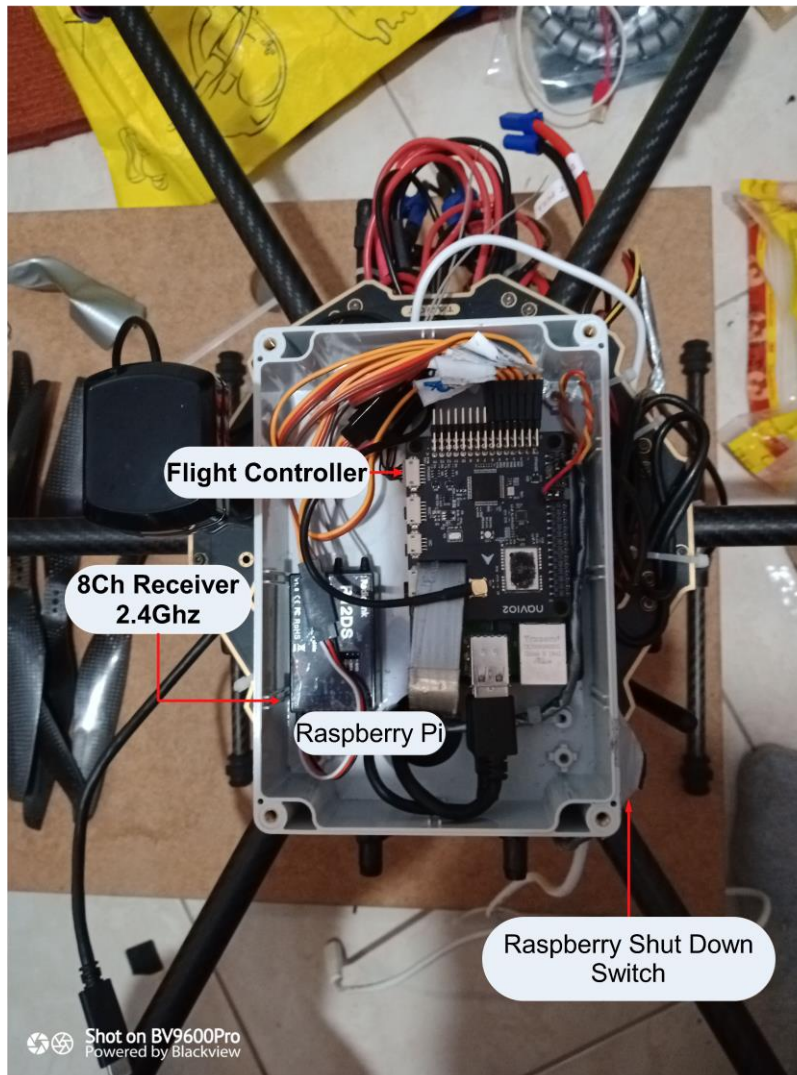




- Υλοποίηση της κατασκευής
`sudo apt-get update && sudo apt-get dist-upgrade`



Εικόνα 22: Γενική περιγραφή των συστημάτων του drone



Εικόνα 23: Εσωτερικός controller

Από το διάγραμμα καλωδίωσης παρατηρούμε ότι ο κεντρικός επεξεργαστής είναι το Raspberry Pi σε συνδιασμό μεν ελεγκτή πτήσης Navio2. Στη συνέχεια προχώρησα στη δημιουργία image για το Raspberry Pi 4. Μετά από 2 αποτυχημένες προσπάθειες, λόγω ασυμβατότητας του εκάστοτε Operating system, τελικά έγινε πραγματικότητα η δημιουργία ενός image, το οποίο διαβάζει δεδομένα από lidar, 3d camera και επικοινωνεί με το flight controller. Έγινε calibration του RC joystick controller, calibration των μοτέρ, καθώς και οι απαραίτητες διορθώσεις για την φορά περιστροφής. Επίσης, έχουν προγραμματιστεί κάποιοι διακόπτες του controller να αλλάζουν mode της πτήσης. Έχει γίνει εγκατάσταση του flight controller navio2, το οποίο εφαρμόζεται στην πάνω πλευρά του raspberry pi. Επίσης, έγινε εγκατασταση του GPS. Ο flight controller navio 2 περιέχει αισθητήρες pitch, roll και acceleration. Επίπλέον, έχει γίνει η εγκατάσταση και καλωδίωση του RC receiver, το οποίο

επικοινωνεί με το flight controller. Οι μπαταρίες που έχουν αγοραστεί είναι δύο μπαταρίες LIPO 10000 mAh. Το drone έχει την υποδομή να συνδεθεί και με τις 2. Οι μπαταρίες δίνουν τάση σε μια πλακέτα παροχής ισχύος, η οποία δίνει παροχή στα μοτέρ και βγάζει έξοδο 12V και 5V, μέσα από κατάλληλες προστατευτικές διατάξεις. Πριν την τελική μορφή, έγιναν οι κατάλληλοι έλεγχοι για την απόκτηση δεδομένων από το lidar και την 3d camera. Επιπρόσθετα, η ψηφιακή έξοδος HDMI της επιφάνειας εργασίας του Raspberry Pi συνδέθηκε με μετατροπέα HDMI σε αναλογικό βίντεο και στάλθηκε μέσω Πομπού αναλογικού βίντεο 5.8Ghz. Στο κάτω μέρος του drone χρησιμοποιήθηκε κάμερα Raspberry Pi χωρίς φίλτράρισμα Infrared (Raspberry Pi NoIR Camera V2), η οποία συνδέθηκε στη θύρα κάμερας του Raspberry Pi με σκοπό την αναγνώριση προτύπων. Τέλος, έχει εγκατασταθεί διακόπτης, ο οποίος συνδέεται με τα Pin 11 και 6 μέσω του connector Uart του Navio2. Αυτός ο διακόπτης, όταν πατηθεί επιτρέπει να κάνει shut down το raspberry pi αυτόματα, χωρίς να χρειάζεται να γίνει έλεγχος remote ή λειτουργία μέσω usb mouse.

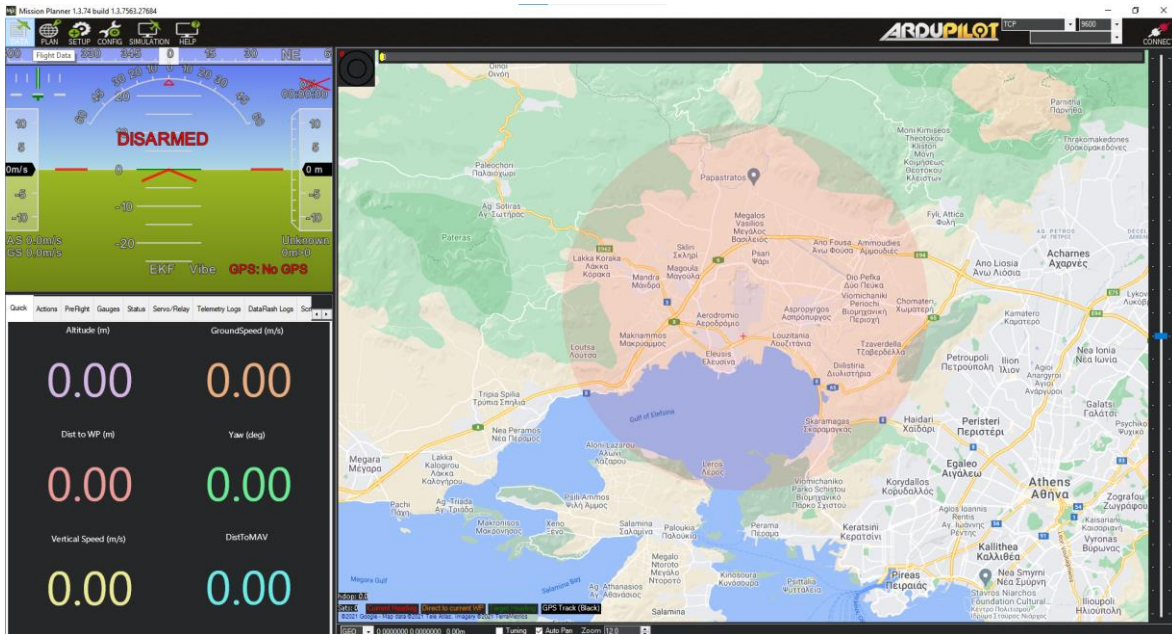
Διαδικασία βαθμονόμησης

Για την βαθμονόμηση των αισθητήρων του drone χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Mission Planner. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό του ελεγκτή πτήσης μέσω της παραμετροποίησης του. Για τη σύνδεση μας με τον ελεγκτή πτήσης, δημιουργήσαμε ένα ασύρματο δίκτυο hotspot μέσω tablet. Το raspberry pi συνδέεται αυτόματα στο συγκεκριμένο δίκτυο, καθώς και ο υπολογιστής όπου είναι εγκατεστημένο το πρόγραμμα Mission Planner. Με αυτό τον τρόπο, χρησιμοποιήσαμε το συγκεκριμένο πρόγραμμα σε περιβάλλον Windows10 για την παραμετροποίηση του ελεγκτή πτήσης και το ίδιο πρόγραμμα σε περιβάλλον Android για τη λήψη και οπτικοποίηση δεδομένων στο tablet.

- Το πρώτο βήμα που κάναμε ήταν να δούμε το λειτουργικό σύστημα με το οποίο είναι συμβατή η υλοποίηση μας. Μετά από έρευνα, καταλήξαμε στην έκδοση Raspbian, η οποία γράφτηκε σε κάρτα SD 32 GB.
- Το επόμενο βήμα είναι να καθορίσουμε το ασύρματο δίκτυο μέσω του οποίου θα διατηρούμε επικοινωνία με το Raspberry Pi. Αυτό έγινε εφικτό μέσω της εντολής `sudo nano /boot/wpa_supplicant.conf`. Σε περίπτωση που δεν έχει συνδεθεί πληκτρολόγιο, ποντίκι ή οθόνη, αυτό μπορεί να γίνει και στο αρχείο text <<wpa_supplicant.conf>> στην κάρτα SD.
- Για την απομακρυσμένη λειτουργία με το Raspberry Pi, εγκαταστάθηκε το λειτουργικό VNC Viewer.

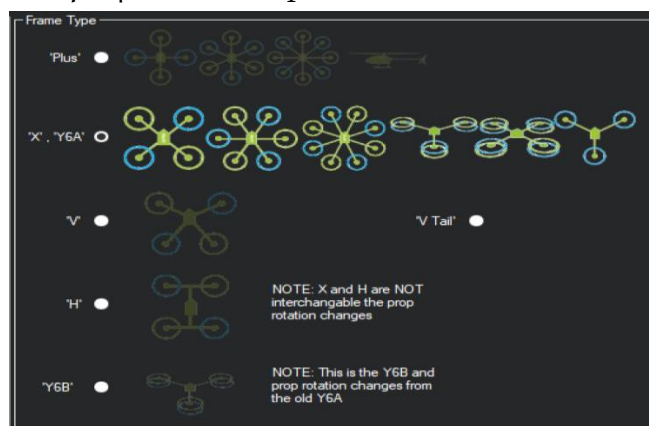
και port:14550. Η συγκεκριμένη ip μας δίνει τη δυνατότητα να συνδεθεί ο ελεγκτής πτήσης με οποιονδήποτε σταθμό βάσης, ανεξάρτητα από την ip του.

- Ο σταθμός βάσης GCS που χρησιμοποιήθηκε είναι το GUI Mission Planner. Για τη σύνδεση με το Raspberry Pi, συνδεθήκαμε με το hotspot ενός tablet. Το Raspberry pi, επίσης συνδέεται με το συγκεκριμένο tablet



- Για την βαθμονόμηση του ελεγκτή πτήσης μέσω του GCS, συνδεόμαστε με τον ελεγκτή πτήσης μέσω του mission planner. Ακολουθούμε την παρακάτω σειρά Initial Setup tab > Mandatory Hardware > Frame type

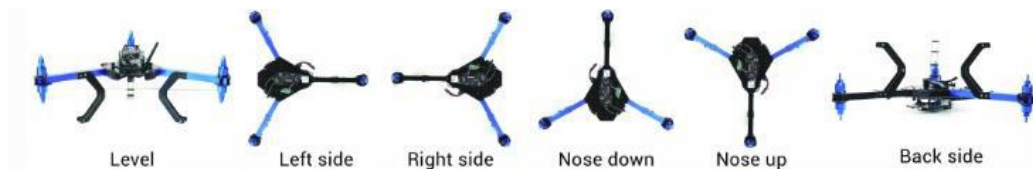
Στη συνέχεια επιλέγουμε <<Hexacopter – X frame>>



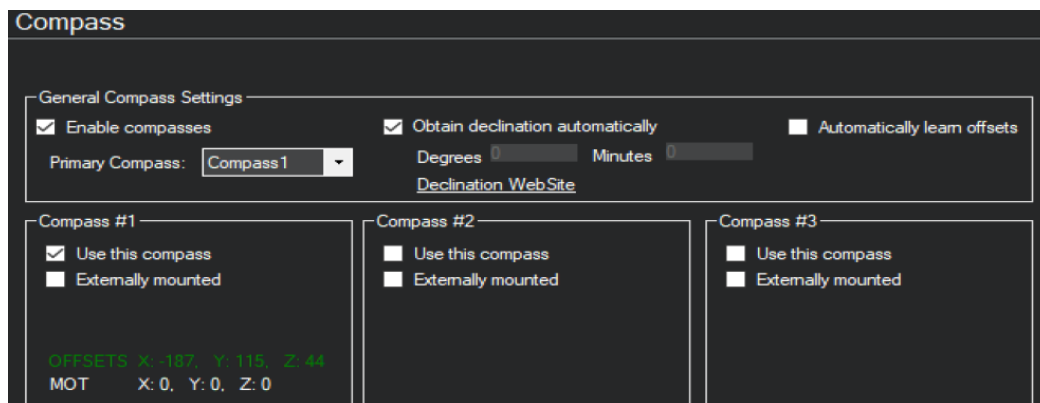
- Πραγματοποιούμε βαθμονόμηση του accelerometer. Τοποθετούμε το drone σε επίπεδο μέρος και, έπειτα, τοποθετείται ακίνητο σε διαφορετικούς προσανατολισμούς κλίσης, σύμφωνα με τις οδηγίες. Αρχικά τοποθετείται στο επίπεδο, στη δεξιά πλευρά, στην αριστερή πλευρά, με τη μύτη προς τα πάνω, με τη μύτη προς τα κάτω και ανάποδα.

Level your Autopilot to set default accelerometer Min/Max (3 axis).
This will ask you to place your autopilot on each edge.

Calibrate Accel



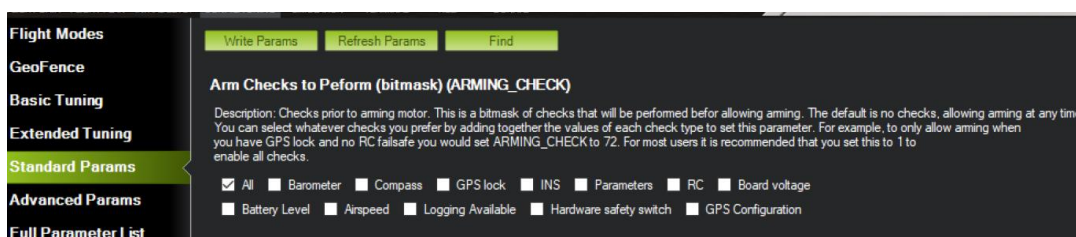
- Στη συνέχεια πραγματοποιούμε βαθμονόμηση της πυξίδας. Για την πραγματοποίησή της, θα χρειαστεί να γυρίσουμε κυκλικά το drone γύρω από το κέντρο του από όλες τις πλευρές του. Στο πανιο2 υπάρχουν 2 πυξίδες, οι οποίες χρειάζονται βαθμονόμηση. Σε περίπτωση που κάποια πυξίδα δεν βαθμονομηθεί με επιτυχία, θα χρειαστεί να την αφαιρέσουμε από την επιλογή πυξίδας. Μετά τη βαθμονόμηση, πατάμε Ctrl+F για να ανοίξει το παράθυρο 'temps' και μετά πατάμε reboot rixhawk. Τα αποθηκευμένα offsets θα πρέπει να είναι κάτω από 150, ώστε να έχει επιτύχει η βαθμονόμηση





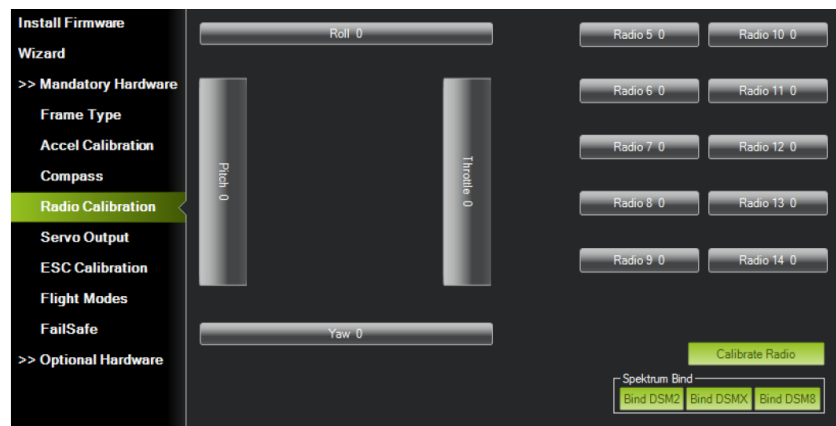
Εικόνα 24: Βαθμονόμηση Drone

- Πηγαίνουμε στην κατηγορία Config/Tuning και επιλέγουμε την κατηγορία Standard Params. Εκεί μπορούμε να επιλέξουμε ποιους ελέγχους χρειάζεται να κάνει το drone για να είναι έτοιμο για πτήση.

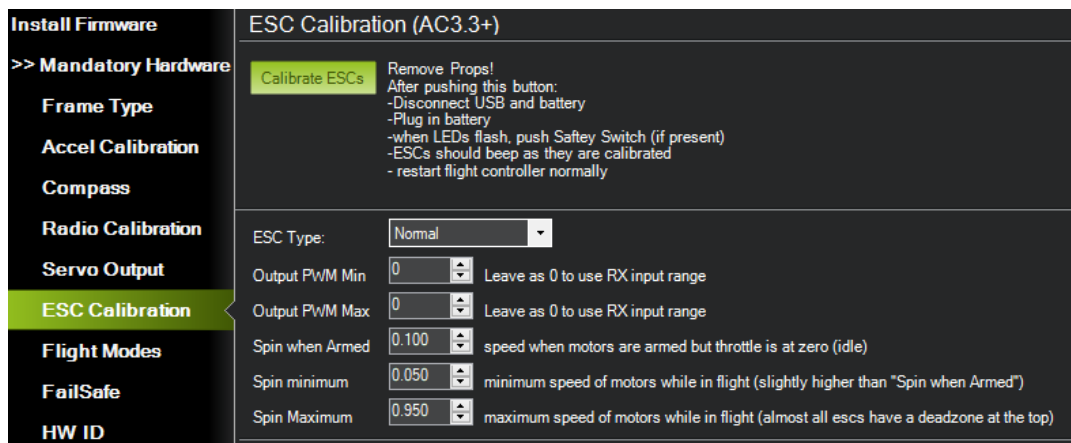


- Η βαθμονόμηση του χειριστηρίου είναι εξίσου σημαντική, ώστε ο ελεγκτής πτήσης να γνωρίζει το εύρος κάθε καναλιού PWM, που στέλνεται από τον πομπό προς τον δέκτη. Με τη βαθμονόμηση των καναλιών, ο ελεγκτής πτήσης θα μπορεί να μεταφράσει αυτές τις τιμές σε κινήσεις της πτήσης. Για το ξεκίνημα, κάνουμε έλεγχο των κινήσεων από τα joysticks του χειριστηρίου. Το αριστερό joystick ρυθμίζει τις παραμέτρους yaw και throttle, ενώ το δεξιό χειριστήριο ρυθμίζει τις

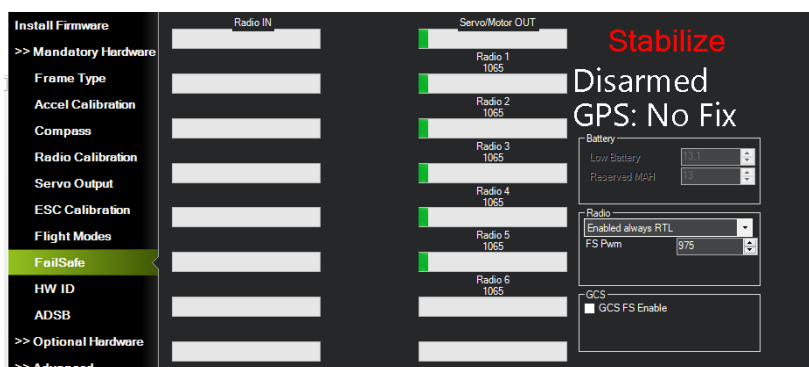
παραμέτρους roll και pitch. Πατάμε calibrate radio και αλλάζουμε τιμές στα αναλογικά κανάλια, ώστε να γίνει αντιληπτό όλο το εύρος του κάθε αναλογικού καναλιού.



- Για να πραγματοποιήσουμε βαθμονόμηση των ESC, πιέζουμε το κουμπί ESC calibrate. Με το μοχλό του γκαζιού του πομπού (αριστερά) προς τα πάνω, ξεκινάμε τον ελεγκτή πτήσης. Στη συνέχεια, μετά από λίγο, τραβάμε το γκάζι προς τα κάτω. Η βαθμονόμηση ESC θα ολοκληρωθεί αφού σταματήσει ο μακρύς ήχος. Κάποιου είδους βαθμονόμηση ESC πραγματοποιείται κάθε φορά που συνδέονται στην παροχή και επισημαίνεται από ήχους με μακρύ ήχο με το LED να αναβοσβήνει σε χρώμα κόκκινο και μπλε. Ο ήχος αυτός σταματά να ηχεί, όταν έχει τελειώσει η βαθμονόμηση.



- Λειτουργία Failsafe



Επιπλέον, έχει εγκατασταθεί ένας συναγερμός BB, ο οποίος είναι συνδεδεμένος στη LiPo μπαταρία για ενεργοποίηση συναγερμού όταν η τάση της μπαταρίας πέσει κάτω από ένα καθορισμένο όριο. Αυτό το όριο είναι ασφαλές να το ρυθίσουμε σε 3.2-3.4V οποιουδήποτε κελιού της μπαταρίας. Επίσης, για να προστατέψουμε το drone για την περίπτωση που η ραδιοεπικοινωνία χαθεί, ρυθμίσαμε την λειτουργία failsafe σύμφωνα με την οποία το drone θα επιστρέψει στο σημείο εκκίνησης (RTL mode) στην περίπτωση αυτή.

Το drone μπορεί να μπει σε κατάσταση <<armed>> μόνο μετά την ολοκλήρωση όλων των παραπάνω ελέγχων, οι οποίοι περιλαμβάνουν όλα τα παραπάνω βήματα βαθμονόμησης πτήσης.

Το επόμενο βήμα είναι να ρυθμίσουμε το χειριστήριο του drone. Τα πρώτα 4 κανάλια (κανάλι 1 έως 4) είναι σταθερά για τον επιλεγμένο τύπο οχήματος. Τα

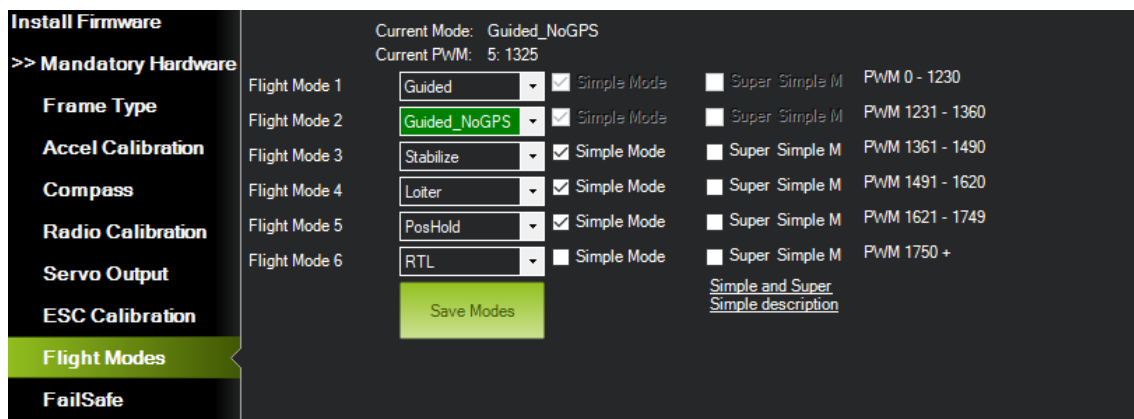
υπόλοιπα κανάλια μπορούν να αλλάξουν ανάλογα με τις ανάγκες μας. Για να μεταβούμε στη ρύθμιση λειτουργίας πτήσης στο Mission Planner, πηγαίνουμε στην καρτέλα <Configuring> Flight Modes. Για την αλλαγή πτήσης, έχουμε χρησιμοποιήσει 4 διαφορετικούς διακόπτες, 1 διακόπτη 3 θέσεων και 3 διακόπτες 2 θέσεων. Για την επιλογή των Modes <<Auto>> και <<Land>> πηγαίνουμε στην καρτέλα <Configuring> Extended Tuning. Οι δύο τελευταίες λειτουργίες βρίσκονται σε διακόπτες με προτεραιότητα σε σχέση με τους υπόλοιπους.

Flight Mode 1 :	Guided
Flight Mode 2 :	Guided – No GPS
Flight Mode 3 :	Stabilize
Flight Mode 4 :	Loiter
Flight Mode 5 :	Position Hold
Flight Mode 6 :	Request to Land
Flight Mode 7 :	Auto
Flight Mode 8 :	Land

The screenshot shows the 'Extended Tuning' configuration screen in Mission Planner. It is organized into several sections:

- Stabilize Roll (Error to Rate):** P: 4.500, ACCEL MA: 110000.000
- Stabilize Pitch (Error to Rate):** P: 4.500, ACCEL MA: 110000.000
- Stabilize Yaw (Error to Rate):** P: 4.500, ACCEL MA: 27000.000
- Position XY (Dist to Speed):** P: 1.000, INPUT TC: 0.150
- Lock Pitch and Roll Values
- Rate Roll:** P: 0.135, I: 0.135, D: 0.0036, IMAX: 0.5, FILT: 0.000
- Rate Pitch:** P: 0.135, I: 0.135, D: 0.0036, IMAX: 0.5, FILT: 0.000
- Rate Yaw:** P: 0.180, I: 0.018, D: 0.000, IMAX: 0.5, FILT: 2.500
- Velocity XY (Vel to Accel):** P: 2.000, I: 1.000, D: 0.500, IMAX: 100
- Throttle Accel (Accel to motor):** P: 0.500, I: 1.000, D: 0.000, IMAX: 80
- Throttle Rate (VSpd to accel):** P: 5.000, Tune: None, Min: 0.000, 0.000
- Altitude Hold (Alt to climbrate):** P: 1.000
- WPNav (cm's):** Speed: 500.000, Radius: 200.000, Speed Up: 250.000, Speed Dn: 150.000, Loiter Speed: 1250.000
- RC7 Opt:** Do Nothing
- RC8 Opt:** Do Nothing
- RC9 Opt:** Auto
- RC10 Opt:** Land

Buttons at the bottom: Write Params, Refresh Screen



Σχετικά με τα Modes που χρησιμοποιήθηκαν, παρακάτω παραθέτουμε μια σύντομη εξήγηση:

Guided Mode: Η καθοδηγούμενη λειτουργία επιτρέπει την καθοδήγηση του copter μέσω ενός GCS ασύρματα χρησιμοποιώντας μια τηλεμετρία. Το copter θα αιωρηθεί μετά την άφιξη στο εντολή θέση προορισμού, αναμένοντας τις επόμενες εντολές. Για να χρησιμοποιήσετε αυτήν τη λειτουργία, το copter απογειώνεται σε κατάσταση σταθεροποίησης και μεταβαίνει σε λειτουργία Loiter σε λογικό υψόμετρο.

Stabilise: Επιτρέψτε τον χειροκίνητο έλεγχο του οχήματος με αυτοεπιπεδούμενο κύλινδρο και άξονα βήματος. Απαιτούνται σταθερές ρυθμίσεις του γκαζιού για να διατηρηθεί το υψόμετρο.

Loiter: Η λειτουργία Loiter διατηρεί την τοποθεσία, την κατεύθυνση και το υψόμετρο. Ο έλεγχος ραβδιών μπορεί να διακόψει τη λειτουργία, αλλά το copter θα σταματήσει και θα κρατήσει αμέσως μόλις απελευθερωθούν τα ραβδιά. Ο έλεγχος υψομέτρου είναι ίδιος με αυτόν στη λειτουργία Alt Hold. Η λειτουργία Loiter απαιτεί ελάχιστες δονήσεις, καλή λειτουργία πυξίδας και κλειδώματος GPS.

Return to Launch (RTL): Όταν είναι ενεργοποιημένη η λειτουργία RTL, το copter θα επιστρέψει και αιωρείται πάνω από την αρχική θέση. Το copter θα ανέβει αρχικά σε RTL_ALT, ένα υψόμετρο που έχει οριστεί στα 15m ή θα διατηρηθεί σε οποιοδήποτε υψόμετρο μεγαλύτερο από 15m, πριν επιστρέψει στην εκκίνηση. Η οπλισμένη θέση είναι η αρχική θέση του copter.

Position Hold: Το κράτημα θέσης είναι παρόμοιο με το Loiter όπου κρατά τη θέση, την κατεύθυνση και το υψόμετρο, εκτός από το ότι τα πιλοτικά ραβδιά μπορούν να ελέγξουν άμεσα την άπαχη γωνία του copter δίνοντας μια πιο φυσική αίσθηση.

Auto: Η αυτόματη λειτουργία κάνει το copter να ακολουθεί ένα προγραμματισμένο σενάριο αποστολής που είναι αποθηκευμένο στον αυτόματο πιλότο. Το σενάριο αποτελείται από εντολές πλοήγησης που ονομάζονται σημεία. Οι αποστολές θα πρέπει να τελειώνουν με RTL ή LAND, διαφορετικά ο χειροκίνητος έλεγχος πρέπει να αναλάβει. Η ταχύτητα (WPNAV_SPEED) μπορεί να ρυθμιστεί.

Land: Η λειτουργία εδάφους μειώνει το copter στα 150 cm / s πάνω από 10 m και 50 cm / s κάτω από τα 10 m. Εάν το γκάτζι είναι ελάχιστο, το copter θα αφοπλιστεί όταν φτάσει στο έδαφος. Η ταχύτητα γης μπορεί να ρυθμιστεί στην καρτέλα διαμόρφωσης, στην πλήρη λίστα παραμέτρων Το roll and pitch ελέγχεται με κλείδωμα GPS κατά την προσγείωση.

Εγκατάσταση Dronekit

Η πλατφόρμα dronekit θα μας επιτρέψει να κατευθύνουμε το drone όταν είναι σε mode πτήσης <<Guided>>. Το DroneKit-Python επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν εφαρμογές που εκτελούνται σε έναν ενσωματωμένο συνοδευτικό υπολογιστή και να επικοινωνούν με τον ελεγκτή πτήσης ArduPilot χρησιμοποιώντας έναν σύνδεσμο χαμηλού λανθάνοντος χρόνου. Οι ενσωματωμένες εφαρμογές μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τον αυτόματο πιλότο, προσθέτοντας μεγαλύτερη ευφυΐα στη συμπεριφορά του οχήματος και εκτελώντας εργασίες που είναι υπολογιστικά εντατικές ή ευαίσθητες στο χρόνο (για παράδειγμα, όραση υπολογιστή, σχεδιασμός διαδρομών ή μοντελοποίηση 3D). Το DroneKit-Python μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές επίγειου σταθμού, επικοινωνώντας με οχήματα μέσω συνδέσμου RF υψηλότερης καθυστέρησης.

Το API επικοινωνεί με οχήματα μέσω MAVLink. Παρέχει πρόσβαση μέσω προγραμματισμού σε τηλεμετρία, κατάσταση και πληροφορίες παραμέτρων ενός συνδεδεμένου οχήματος και επιτρέπει τόσο τη διαχείριση αποστολών όσο και τον άμεσο έλεγχο της κίνησης και των λειτουργιών του οχήματος. Το API παρέχει για να συνδεθούμε σε ένα όχημα (ή πολλά οχήματα) από ένα script, να λάβουμε και να ορίσουμε πληροφορίες κατάστασης του drone, καθώς και να καθοδηγήσουμε ένα UAV σε καθορισμένη θέση (λειτουργία Guided). Επιπλέον μας επιτρέπει να δεχτούμε πληροφορίες αλλαγής κατάστασης και να καθορίσουμε σημεία μετάβασης (λειτουργία Auto).

Για την εγκατάσταση του, αρχικά, κάνουμε εγκατάσταση τις βιβλιοθήκες pip και python-dev και έπειτα τα πακέτα dronekit και dronekit-sitl μέσω των εντολών pip install.

```
Connecting to vehicle on: tcp:192.168.43.141:14550
Get all vehicle attribute values:
Autopilot Firmware version: APM:UnknownVehicleType13-4.0.3
  Major version number: 4
  Minor version number: 0
  Patch version number: 3
  Release type: rc
  Release version: 0
  Stable release?: True
Autopilot capabilities
  Supports MISSION_FLOAT message type: True
  Supports PARAM_FLOAT message type: True
  Supports MISSION_INT message type: True
  Supports COMMAND_INT message type: True
  Supports PARAM_UNION message type: False
  Supports ftp for file transfers: True
  Supports commanding attitude offboard: True
  Supports commanding position and velocity targets in local NED frame:
  Supports set position + velocity targets in global scaled integers: T
  Supports terrain protocol / data handling: True
  Supports the flight termination command: True
```

Εγκατάσταση 3D camera

Για την επικοινωνία με την 3D camera, έπρεπε να γίνει εγκατάσταση μιας σειράς από βιβλιοθήκες, ώστε να μπορεί να εκτελεστεί η επικοινωνία με την 3D camera. Για την πραγματοποίηση της εγκατάστασης αυτής, ακολουθήθηκαν μια σειρά από συγκεκριμένα βήματα, τα οποία δεν ήταν δεδομένο ότι είχαν επιτυχία κατά την εκτέλεση τους. Στην περίπτωση που υπήρχαν προβλήματα, έπρεπε να εντοπιστεί το πρόβλημα και να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις στον πηγαίο κώδικα και, έπειτα, να επαναληφθούν οι εντολές στο Terminal.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα παρακάτω

- Ξεκινήστε με την ενημέρωση, την αναβάθμιση και την εγκατάσταση εξαρτήσεων και εργαλείων:

```
sudo apt-get update && sudo apt-get dist-upgrade
```

```
sudo apt-get install automake libtool vim cmake libusb-1.0-0-dev libx11-dev xorg-dev libglu1-mesa-dev
```

- Expand the filesystem by selecting the Advanced Options menu entry, and select yes to rebooting:

```
sudo raspi-config
```

- Increase swap to 2GB by changing the file below to CONF_SWAPSIZE=2048:

```
sudo vi /etc/dphys-swapfile
```

- Apply the change:

```
sudo /etc/init.d/dphys-swapfile restart swapon -s
```

- Create a new udev rule

```
cd ~
```

```
git clone https://github.com/IntelRealSense/librealsense.git
```

```
cd librealsense
```

```
sudo cp config/99-realsense-libusb.rules /etc/udev/rules.d/
```

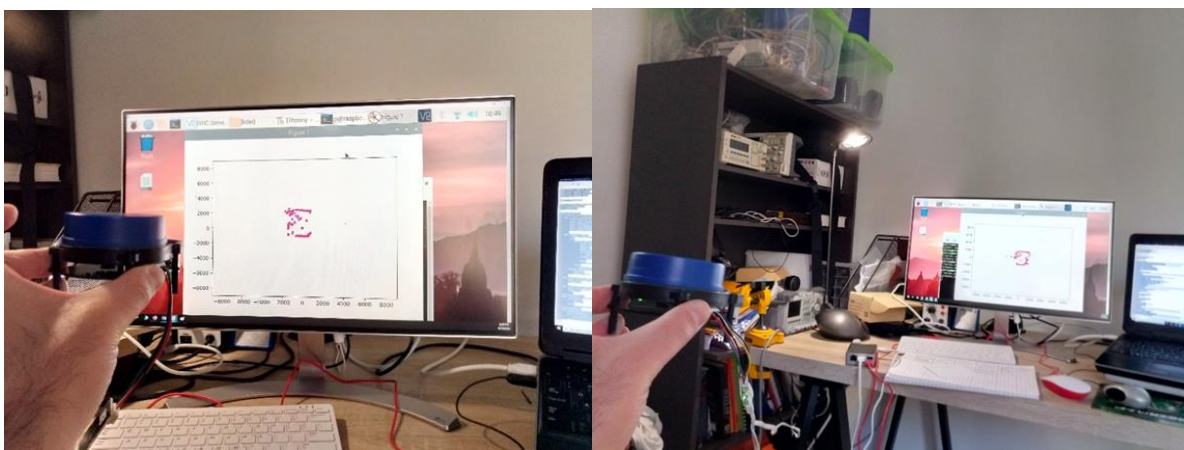
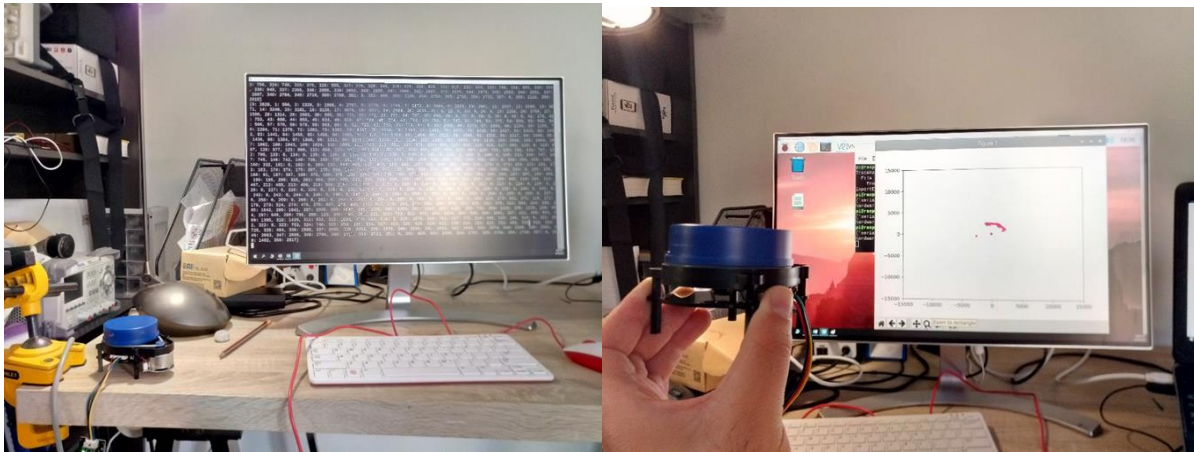
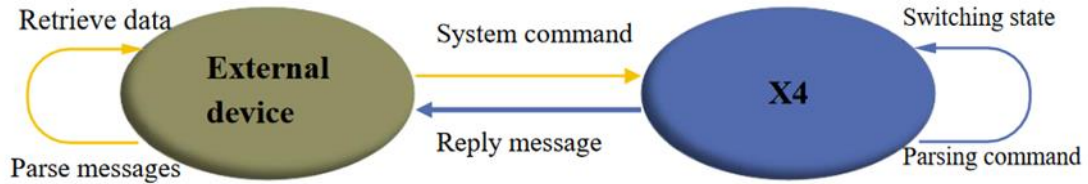
Εγκατάσταση Lidar

YDLIDAR DATASET

LIDAR	Model	Baudrate	SampleRate(K)	Range(m)	Frequency(HZ)	Intenstiy(bit)	SingleChannel	voltage(V)
F4	1	115200	4	0.12~12	5~12	false	false	4.8~5.2
S4	4	115200	4	0.10~8.0	5~12 (PWM)	false	false	4.8~5.2
S4B	4/11	153600	4	0.10~8.0	5~12(PWM)	true(8)	false	4.8~5.2
S2	4/12	115200	3	0.10~8.0	4~8(PWM)	false	true	4.8~5.2
G4	5	230400	9/8/4	0.28/0.26/0.1~16	5~12	false	false	4.8~5.2
X4	6	128000	5	0.12~10	5~12(PWM)	false	false	4.8~5.2
X2/X2L	6	115200	3	0.10~8.0	4~8(PWM)	false	true	4.8~5.2
G4PRO	7	230400	9/8/4	0.28/0.26/0.1~16	5~12	false	false	4.8~5.2
F4PRO	8	230400	4/6	0.12~12	5~12	false	false	4.8~5.2
R2	9	230400	5	0.12~16	5~12	false	false	4.8~5.2
G6	13	512000	18/16/8	0.28/0.26/0.1~25	5~12	false	false	4.8~5.2
G2A	14	230400	5	0.12~12	5~12	false	false	4.8~5.2
G2	15	230400	5	0.28~16	5~12	true(8)	false	4.8~5.2
G2C	16	115200	4	0.1~12	5~12	false	false	4.8~5.2
G4B	17	512000	10	0.12~16	5~12	true(10)	false	4.8~5.2
G4C	18	115200	4	0.1~12	5~12	false	false	4.8~5.2
G1	19	230400	9	0.28~16	5~12	false	false	4.8~5.2
G5	20	230400	9/8/4	0.28/0.26/0.1~16	5~12	false	false	4.8~5.2
G7	21	512000	18/16/8	0.28/0.26/0.1~25	5~12	false	false	4.8~5.2
TX8	100	115200	4	0.1~8	4~8(PWM)	false	true	4.8~5.2
TX20	100	115200	4	0.1~20	4~8(PWM)	false	true	4.8~5.2
TG15	100	512000	20/18/10	0.05~30	3~16	false	false	4.8~5.2
TG30	101	512000	20/18/10	0.05~30	3~16	false	false	4.8~5.2
TG50	102	512000	20/18/10	0.05~50	3~16	false	false	4.8~5.2
T15	200	8000	20	0.05~15	5~35	true	false	4.8~5.2
T30	200	8000	20	0.05~30	5~35	true	false	4.8~5.2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Εφαρμογή και Αποτελέσματα

- Λήψη δεδομένων 360 μοιρών από Lidar



Εικόνα 25: Λήψη δεδομένων από Lidar

- Λήψη δεδομένων από 3D κάμερα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ανάλυση Αποτελεσμάτων – Συζήτηση

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μια προσπάθεια μελέτης ενός drone με open source πλατφορμες, το οποίο θα μπορεί να αποφεύγει εμπόδια και να μπορεί να κινηθεί με σχετική ευκολία στο χώρο με τη βοήθεια 3D κάμερας και Lidar. Το Lidar υποστηρίζει μια 2D απεικόνιση 360 μοιρών, ώστε να αποφύγει τα εμπόδια σε οριζόντιο επίπεδο. Η 3D κάμερα έχει τοποθετηθεί σε βάση εκτυπωμένη από 3D εκτυπωτή, κοιτάζοντας το κάτω μέρος του drone. Αυτό επιτρέπει στο drone να αποφύγει κάποιο εμπόδιο το οποίο βρίσκεται στην κάτω πλευρά του drone, παίρνοντας υπόψιν του τον ευρύτερο χώρο. Το πλεονέκτημα σε αυτή την περίπτωση είναι ότι καθίσταται δυνατή η αναγνώριση ενός εμποδίου, το οποίο δεν βρίσκεται απαραίτητα κάθετα στον αισθητήρα.

Η πλατφόρμα αυτή θα πρέπει να υποστηρίζει επεξεργασία εικόνας για περαιτέρω χρησιμοποίηση της σε εφαρμογές με ΑΙ τεχνητή νοημοσύνη. Επίσης, θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα ανύψωσης βάρους 1-2 κιλά επιπλέον του βάρους του με σκοπό την πρόσθετη ανύψωση εξοπλισμού που σχετίζεται με την εφαρμογή. Μια τέτοια πλατφόρμα μπορεί να πρωταγωνιστήσει σε διάφορες εφαρμογές, καθώς ο υπολογιστής Raspberry Pi προσφέρει αρκετές δυνατότητες.

Δυστυχώς, λόγω περιορισμένου χρόνου δεν κατέστη δυνατή η χρήση της παρούσας πλατφόρμας σε κάποια εφαρμογή η οποία να συνδυάζει την αποφυγή εμποδίων με την αναγνώριση εικόνας με σκοπό κάποια λειτουργία, όπως την αυτόματη πλοήγηση. Η πλατφόρμα αυτή υποστηρίζει όμως την περαιτέρω χρήση της μέσω του Dronekit, το οποίο είναι εγκατεστημένο και μπορεί να προγραμματιστεί μέσω Python.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα – Προτάσεις

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η δημιουργία ενός Drone, ως σχεδιασμός, το οποίο συνδιάζει την πλόηση με τη δυνατότητα αποφυγής εμποδίων, της ανύψωσης 1-2 κιλών και την επεξεργασία εικόνας. Στο παρόν κεφάλαιο θα περιγράψουμε διέξοδους ή προοπτικές που άνοιξε η παρούσα εργασία αλλά δεν ήταν δυνατόν να ερευνηθούν στο πλαίσιο της, άρα προτείνονται ως μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας.

Στην παρούσα εργασία διακρίναμε την δυσκολία στησίματος μιας πλατφόρμας τεχνολογίας χωρίς να έχει γίνει 3D μοντελοποίηση και simulation κίνησης και πλόησης. Αυτό καθιστά την πλατφόρμα ευάλωτη σχετικά με την ισορροπία της. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν εργαλεία όπως Solidworks ή Ansys με σκοπό την μελέτη της κίνησης της υπάρχουσας πλατφόρμας. Εργάλεια όπως τα προαναφερθέντα μπορούν να βοηθήσουν πάρα πολύ στην καλύτερη ευστάθεια και να κάνουν προσομοίωση οποιασδήποτε αλλαγής στο κέντρο βάρους, η οποία μπορεί να προέρχεται ακόμα και από την μικρή διαφορά στην τοποθέτηση της μπαταρίας. Η παρούσα πλατφόρμα παρουσίασε προβλήματα στην ισορροπία της στον αέρα και η βελτίωση του κέντρου βάρους της είναι απαραίτητη.

Επίσης, ένα μείονεκτημα της υπάρχουσας πλατφόρμας είναι ότι δεν έχει γίνει πρόβλεψη, ώστε να είναι αδιάβροχη. Αυτό παρουσίαζε τη δυσκολία ότι εξαρτάται η πτήση του από τον καιρό, σε συνδιασμό ότι χρειάζεται Gps για να απογειωθεί, παρόλο που είναι εφικτή η απόγειωση του χωρίς Gps. Η λειτουργία του Gps είναι εφικτή μόνο σε εξωτερικό χώρο και η πιθανή απογείωση του σε εσωτερικό χώρο είναι επικίνδυνη χωρίς πρόσθετο αισθητήρα.

Επιπλέον, δεν κατέστη δυνατόν να πραγματοποιηθεί καποια εφαρμογή αναγνώρισης εικόνας μέσω της 2D εικόνας που μας δίνει η 3D κάμερα. Η υπάρχουσα πλατφόρμα μπορεί να συμμετέχει σε μια πλειάδα εφαρμογών αναγνώρισης εικόνας από την κάμερα που στοχεύει στο έδαφος (μέτρηση ανθρώπων, ζώων, αντικειμένων, ανίχνευση φωτιάς, ανίχνευση ωριμανσης φρουτων) σε συνδυασμό με αυτόματη πλόηση μέσω αποφυγής εμποδίων.

- [1] Official U.S. Government Information about the Global Positioning System (GPS) and Related Topics. GPS Accuracy. 2016. Available online: <http://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>
- [2] Scherzinger, B.M. Precise robust positioning with inertial/GPS RTK. In Proceedings of the 13th International Technical Meeting for the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS), Salt Lake City, UT, USA, 19–22 September 2000; pp. 115–162.
- [3] Google.com Website. Google Self Driving Car Project. 2017. Available online: <https://www.google.com/selfdrivingcar/>
- [4] Levinson, J.; Thrun, S., “Robust vehicle localization in urban environments using probabilistic maps”, In Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Anchorage, AK, USA, 3–8 May 2010; pp. 4372–4378.
- [5] Ziegler, J.; Lategahn, H.; Schreiber, M.; Keller, C.G.; Knoppel, C.; Hipp, J.; Haueis, M.; Stiller, C. Making Bertha Drive — An Autonomous Journey on a Historic Route, 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Dearborn, MI, USA, 8–11 June 2014; pp. 1231–1238.
- [6] Mercedes Benz Website. Technological Innovations—Autonomous Driving. 2017. Available online: <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/autonomous-driving/>
- [7] Διαθεσιμότητα NB-IoT και LoRaWAN. Available online: <https://exm.gr/nb-iot-netweek/>
- [8] <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/top-drones-with-obstacle-detection-collision-avoidance-sensors-explained/>
- [9] <https://www.instructables.com/id/Autonomous-Drone-Using-RPi/>
- [10] <https://github.com/lakshmanmallidi/PyLidar2>

10. <https://www.dronetrest.com/t/lipo-batteries-how-to-choose-the-best-battery-for-your-drone/1277>
- [11] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1207/1/012019/pdf>
- [12] <https://oscarliang.com/wire-awg-chart-quadcopter-rc/>
- [13] <https://www.rchelicopterfun.com/deans-connector.html>
- [14] <http://www.droneybee.com/best-lipo-battery-connectors/>
- [15] Guide to Lithium Polymer Battery's, Hyperion World
- [16] Radio Control Info
- [17] Ενσωματωμένα Συστήματα, Ο αθέατος ψηφιακός κόσμος
- [18] Nahid Mahamud, Galib Muhammad Shahriar, Hedayet Ullah Khan, Sanjida Sharmin, Nusrat Jahan Lisa, “ALW Drone : A new design and efficient approach”, in 19th International Conference on Computer and Information Technology, December 18-20, 2016, North South University, Dhaka, Bangladesh
- [19] Owen McAree, Jonathan M. Aitken, Sandor M. Veres, “A model based design framework for safety verification of a semi-autonomous inspection drone”, in 2016 UKACC 11th International Conference on Control, 31st August - 2nd September, 2016, Belfast, UK
- [20] Hans Dermot Doran, Monika Reif, Marco Oehler, Curdin Stöhr, “Conceptual Design of Human-Drone Communication in Collaborative Environments”, in 2020 50th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks Workshops (DSN-W)
- [21] Amin Talaeizadeh, Esmail Najafi, Hossein Nejat Pishkenari, Aria Alasty, “Deployment of Model-based Design Approach for a Mini-quadcopter”, in Proceedings of the 7th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM 2019) November 20-21, 2019, Tehran, Iran
- [22] Kazi Mahmud Hasan, Wida Susanty Suhaili, Md. Shamim Ahsan, S. H. Shah Newaz, “Development of an Aircraft Type Portable Autonomous Drone for Agricultural Applications”, in 2020 International Conference on Computer Science and Its Application in Agriculture (ICOSICA)

- [23] Paweł Smoczyński, Łukasz Starzec, Grzegorz Granosik, “Autonomous drone control system for object tracking Flexible system design with implementation example”, in 978-1-5386-2402-9/17/\$31.00 ©2017 IEEE
- [24] P.R. Sriram,Sandeep Kumar Ramani,Ram V Shrivatsav,Muthu M.Mankiandan,Nithin Ayyappaa, “Autonomous Drone for Defence Machinery Maintenance and Surveillance”, in 978-1-7281-3780-3/19/\$31.00 c 2019 IEEE
- [25] Md. Abu Jubair, Sajid Hossain, Md. Abdullah Al Masud, Kazi Mahmud Hasan, S. H. Shah Newaz, and Md. Shamim Ahsan, “Design and Development of an autonomous agricultural drone for sowing seeds”
- [26] Arne Devos, Emad Ebeid, Poramate Manoonpong, “Development of Autonomous Drones for Adaptive Obstacle Avoidance in Real World Environments”, in 2018 21st Euromicro Conference on Digital System Design
- [27] Parvanthi sanjana, M.Prathilothamai, “Drone Design for First Aid Kit Delivery in Emergency Situation”, in 2020 6th Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)
- [28] Bo Yi Li, He Lin, and Hooman Samani, Laurel Sadler, Timothy Gregory, and Brian Jalaian, “On 3D Autonomous Delivery Systems: Design and Development”
- [29] Masaru Sato, Masami Iwase, “Semi-autonomous flight control of forestry-use drone”, in 2019 58th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), September 10-13, 2019, Hiroshima, Japan
- [30] Dries Hulens, Jon Verbeke and Toon Goedeme, “How to choose the best embedded processing platform for on-board UAV image processing?”
- [31] Stamate, M.A., Nicolescu, Fl.A., Pupaza, C., Mathematical Model of a Multi-Rotor Drone Prototype and Calculation Algorithm for Motor Selection, Proceedings in Manufacturing Systems, Volume 12, Issue 3, 2017, ISSN 2067-9238, pp.119-128
-