

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

«Κατασκευή μη επανδρωμένου τετρακόπτερου (Drone)»

ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΔΑΝΙΗΛ ΑΜ:15111

Επιβλέπων Καθηγητής: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΓΙΑΝΝΑΚΕΑΣ

Άρτα 2019

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

«Κατασκευή μη επανδρωμένου τετρακόπτερου (Drone)»

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

Παπαδημητρίου Δανιήλ ΑΜ:15111

Επιβλέπων Καθηγητής : Νικόλαος Γιαννακέας

- Άρτα 2019-

CONSTRUCTION OF UNMANNED QUADCOPTER (DRONE)

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα, Σεπτέμβριος 2019

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Γιαννακέας Νικόλαος

Πανεπιστημιακός Υπότροφος

2. Μέλος επιτροπής

Τζάλλας Αλέξανδρος

Επίκουρος Καθηγητής

3. Μέλος επιτροπής

Δημόπουλος Δημήτριος

Πανεπιστημιακός Υπότροφος

Ο Προϊστάμενος του Τμήματος

Ευριπίδης Γλαβάς,

Καθηγητής

Υπογραφή

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Παπαδημητρίου Δανιήλ

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Νικόλαο Γιαννακέα, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας το συγκεκριμένο θέμα εργασίας, δίνοντας μου τη δυνατότητα να μάθω χρήσιμα πράγματα σχετικά με το αντικείμενο των σπουδών μου. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την στήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αρχικά γίνεται αναφορά στην λειτουργία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών και στην χρήση τους την σημερινή εποχή. Στην συνέχεια εξετάζεται η επιμέρους λειτουργία του κάθε εξαρτήματός τους και η ομαλή λειτουργία του software τους με το hardware. Γίνεται επιλογή των απαραίτητων εξαρτημάτων για την κατασκευή ενός μη επανδρωμένου τετρακόπτερου FPV τύπου για χρήση απλής ελεύθερης πλοήγησης. Κατασκευάζεται βήμα προς βήμα. Τέλος γίνεται έλεγχος λειτουργίας, αναφορά στις δυσλειτουργίες και αναφορά στα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την υλοποίηση της κατασκευής.

Λέξεις-κλειδιά: Μη-επανδρωμένο αεροσκάφος, τετρακόπτερο

Abstract

In the present thesis, reference is made to the operation of unmanned aircraft and their use in modern times. Then we examine the individual operation of each of their components and the smooth operation of their software with the hardware. The components necessary for the manufacture of an unmanned FPV quadcopter for simple free navigation use are made. It is built step by step. Finally, there is an operation check, a reference to malfunctions and a reference to problems encountered during construction.

Keywords: unmanned aircraft (UAV), quadcopter

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	14
1.1 Μη επανδρωμένα αεροσκάφη.....	14
1.2 Ιστορική αναδρομή και η εξέλιξή τους.....	17
2. Πεδία εφαρμογής μη επανδρωμένων τετρακόπτερων (drones).....	22
2.1 Αεροφωτογράφιση	22
2.2 Ασφάλεια	24
2.3 Υγεία	24
3. Αρχή λειτουργίας και προσανατολισμός	27
3.1 Λειτουργία	27
3.2 Γωνίες Euler.....	29
3.2.1 Κλασικές γωνίες Euler	29
3.2.2 Γωνίες Tait-Bryan	30
4. Αισθητήρες	32
4.1 Γυροσκόπιο	32
4.2 Επιταχυνσιόμετρο	33
4.3 Μαγνητόμετρο	33
5. Hardware.....	34
5.1 Σκελετός (frame).....	34
5.2 Ελεγκτής πτήσης (flight controller)	35
5.3 Κινητήρες – Ρότορες και Προπέλες.....	36
5.4 ESC	38
5.5 Τηλεκατεύθυνση (πομπός και δέκτης).....	39
5.6 Μονάδα διανομής ισχύος (PDB)	40
5.7 Μπαταρία και Φορτιστής.....	40
6. Software	42
6.1 Ardupilot.....	42

6.2 iNAV	43
6.3 Betaflight.....	43
6.4 Cleanflight.....	44
7. Κατασκευή.....	46
7.1 Υλικό.....	46
7.2 Λογισμικό	58
8. Συμπεράσματα	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Βιβλιογραφία	65

Κεφάλαιο 1^ο

1. Εισαγωγή

Στην σημερινή εποχή, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV) αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι της σύγχρονης τεχνολογίας και η χρήση τους είναι αρκετά διαδεδομένη λόγω της εύκολης χρήσης τους σε σύγκριση με τα συμβατικά αεροσκάφη καθώς την σχετικά χαμηλή τιμή τους και τον μικρό τους όγκο. Η ανάγκη για χρήση αυτόνομων συστημάτων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη των drones αρχικά για στρατιωτικούς σκοπούς και στην συνέχεια για συλλογή δεδομένων, χαρτογράφηση, στα συστήματα ασφαλείας για περιμετρικούς ελέγχους σε περιπτώσεις ‘απρόσκλητων’ επισκεπτών, για πολιτισμικούς σκοπούς και τέλος για διασκέδαση.

1.1 Μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος (Unmanned Aerial Vehicle (UAV) ή ένα εξ αποστάσεως χειριζόμενο όχημα (remotely operated aircraft (ROA), ή ένα εξ αποστάσεως κατευθυνόμενο όχημά (remotely piloted vehicle(RPV) ορίζεται ένα αεροσκάφος το οποίο δεν περιέχει πιλότο στο χώρο του αεροσκάφους ελέγχεται είτε από αυτόνομο σύστημά πλοήγησης είτε από τηλεχειριζόμενο σύστημα πλοήγησης, έχουν κυρίως την μορφή ενός εναέριου οχήματος με έναν ή περισσότερους κινητήρες και έλικες συντονισμένους για πλήρως ελεγχόμενη πτήση από ειδικό πρόγραμμα ή χειριστήριο εδάφους.

Τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα αεροσκάφη εξελίχθηκαν ραγδαία κατά την τελευταία δεκαετία. Τα πολλά υποσχόμενα χαρακτηριστικά τους είναι η μεγάλη διάρκεια πτήσης, η βελτιωμένη ασφάλειά της, η επανάληψη των πτήσεων λόγω της βελτίωσης των αυτόματων πιλότων, το μειωμένο κόστος και όγκου σε σύγκριση με τα επανδρωμένα αεροσκάφη. Οι κανονισμοί που καθορίζουν τη λειτουργία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών βρίσκονται ακόμη στα αρχικά στάδια ανάπτυξης. (Watts, 2012)



Εικόνα 1 Μη επανδρωμένο Αεροσκάφος

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες που μπορούμε να χωρίσουμε τα UAVs

- Τα UAVs με σταθερά πτερύγια όπως τα ανεμόπτερα, που με την χρήση του ανέμου ανυψώνονται και για να επιτευχθεί η ανύψωση χρησιμοποιούν προπέλες όπως και τα μηχανοκίνητα τα οποία κινούνται με έλικες, ωστόσο δεν είναι ευέλικτα στους ελιγμούς αλλά μπορούν να μείνουν στον αέρα για μεγάλο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 2 UAV Με σταθερά πτερύγια

- Τα UAVs με περιστρεφόμενα πτερύγια όπως τα ελικόπτερα η αλλιώς ‘χαρταετοί με ρότορα’ που αποτελούνται από μονά, διπλά, τετραπλά και πολύ-ροτορικά συστήματα.



Εικόνα 3 UAV Με περιστρεφόμενα πτερύγια

Τα συστήματα μονού ρότορα, έχουν ένα βασικό στροφείο που βοηθά στην ανύψωση και δίνει ώθηση καθώς και ένα δεύτερο στροφείο στην ουρά του συστήματος για να αντισταθμίζει την περιστροφική κίνηση και τη ροή του συστήματος.

Τα συστήματα διπλού ρότορα ή τα ομοαξονικά συστήματα, θεωρούνται αποτελεσματικότερα, έχουν αυξημένο ωφέλιμο φορτίο και λειτουργούν σε μεγάλα υψόμετρα με ίδια ισχύ του κινητήρα, αλλά με χαμηλό επίπεδο θορύβου. Υπάρχει ένα μειονέκτημα των διπλών ροτορικών συστημάτων, ότι έχουν δύο κύριους ρότορες που είναι συναρμολογημένοι στον ίδιο άξονα του δρομέα, οι οποίοι πρέπει να περιστρέφονται σε αντίθετες κατευθύνσεις, με συνέπεια την αυξημένη μηχανική πολυπλοκότητα του ρότορα.

Τέλος τα πολύ-ροτορικά συστήματα χαρακτηρίζονται από το μικρό ωφέλιμο φορτίο καθώς είναι εξοπλισμένα με ελαφρούς και χαμηλού κόστους αισθητήρες. Επίσης σε σχέση με τα μονό-ροτορικά και διπλό-ροτορικά συστήματα, το μικρό τους μέγεθος τα καθιστά ευέλικτα και ικανά να πετούν και σε εσωτερικούς αλλά και σε εξωτερικούς χώρους. (Σιφναίου, 2016)

1.2 Ιστορική αναδρομή και η εξέλιξή τους

Οι εξελίξεις στον τομέα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών ξεκίνησαν πριν από δεκαετίες ακόμη και πριν από την πρώτη επανδρωμένη πτήση του αεροπλάνου που σημειώθηκε το 1903.

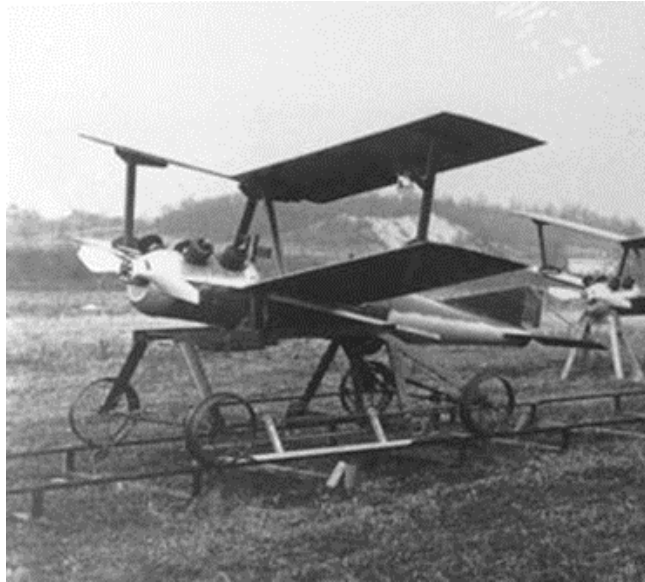
Τα πρώτα σχέδια επικεντρώθηκαν στα μπαλόνια. Οι πρώτες προσπάθειες έγιναν στη Γαλλία το 1782 από τους αδελφούς Montgolfier [εικόνα 4]. Αυτές οι απόπειρες συνεχίστηκαν με τα χρόνια, ένα από τα οποία αναπτύχθηκε από τον Charles Perley τον Φεβρουάριο του 1863, δύο χρόνια μετά την έναρξη του εμφυλίου πολέμου. Ο Perley επιχείρησε να σχεδιάσει έναν εναέριο βομβαρδισμό, ένα μπαλόνι θερμού αέρα που έφερε εκρηκτικά στο καλάθι του.



Εικόνα 4 Montgolfiers First Manned Balloon

Ουσιαστικά τα UAVs ξεκίνησαν να αναπτύσσονται στις αρχές της δεκαετίας του 1900 και επικεντρώθηκαν στην παροχή στόχων για την κατάρτιση του στρατιωτικού προσωπικού. Το 1883, ο Douglas Archibald πέταξε ένα ανεμόμετρο στη γραμμή ενός χαρταετού και μετρούσε την ταχύτητα του ανέμου σε υψόμετρο μέχρι 1.200m. Το 1887 έδωσε κάμερες πάνω σε χαρταετούς και δημιούργησε έτσι το πρώτο UAV παγκόσμιας αναγνώρισης. Κατά την διάρκεια του ισπανικού-αμερικανικού πολέμου πάρθηκαν εκατοντάδες φωτογραφίες από τον William Eddy χρησιμοποιώντας

τέτοιου είδους χαρταετούς. Έπειτα μέχρι τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο, τα UAVs ήταν ήδη αναγνωρισμένα συστήματα. Πιο συγκεκριμένα ο Charles Kettering δημιούργησε το πρώτο αεροπλάνο διπλής όψης για το στρατό που έφερε το όνομα Kettering Aerial Torpedo, γνωστό ως "Bug Kettering" που είχε αποσπώμενα πτερύγια και απελευθερώνονταν όταν περνούσε από το στόχο, μπορούσε να πετάξει σχεδόν 40 μίλια και μπορούσε να φέρει 180 λίβρες εκρηκτικών. [Εικόνα 5] (Martinezks, 2019)



Εικόνα 5 Πρώτο αεροπλάνο διπλής όψης "Bug Kettering"

Μετά το τέλος του Α' Παγκοσμίου Πολέμου, με τη χρήση των UAVs και των συστημάτων τους, άρχισαν να ιδρύονται εταιρείες αεροφωτογράφισης με τη βοήθεια αεροσκαφών με σκοπό αποτυπώσεις του χώρου και χαρτογράφηση, ενισχύοντας έτσι το ρόλο των UAVs. Το 1920, ο Sherman Fairchild κατασκεύασε το αεροπλάνο Fairchild Cabin Monoplane-FC1 και το Fairchild Cabin Monoplane-FC2 με ειδικό θάλαμο για τη φωτογραφική μηχανή, για πολιτικές και στρατιωτικές εφαρμογές. [Εικόνα 6]



Εικόνα 6 Fairchild Cabin Monoplane FC2

Έπειτα το 1924 ο Archibald Montgomery Low, δημιούργησε τον πρώτο σύνδεσμο δεδομένων και επίλυσε τα προβλήματα παρεμβολής που δημιουργούνταν από τον κινητήρα UAV και το Σεπτέμβριο του 1924 έκανε την πρώτη επιτυχημένη πτήση στον κόσμο με ραδιοεπικοινωνία. Το 1933 στη Μεγάλη Βρετανία πέταξαν τρία αεροσκάφη με τηλεχειριστήριο, τα οποία πήραν το όνομα “Fairey Queen” αλλά τα δύο από τα τρία συνετρίβησαν.

Κατά τη διάρκεια της Πυραυλικής Κρίσης της Κούβας το 1962 αναπτύχθηκαν UAVs για αναγνώριση, που ονομάστηκαν Fireflies [εικόνα 7], αλλά δεν χρησιμοποιήθηκαν εξαιτίας της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης εκείνης της εποχής. Η Northrop-Ventura Division δημιούργησε μια επιτυχημένη σειρά UAVs στόχου, που ονομάστηκαν Falconer όπου υιοθετήθηκε ένα εξελισσόμενο σύστημα ραδιοελέγχου.



Εικόνα 7 Ryan Model 154 Firefly

Τον Αύγουστο του 1971 το συμβούλιο των επιστημών του υπουργείου Άμυνας των Η.Π.Α δημιούργησε το μίνι-RPVs για εντοπισμό πυροβολικών στόχων και προσδιορισμό λέιζερ και μέχρι το τέλος του πολέμου του Βιετνάμ, τα αεροσκάφη αυτά είχαν ποσοστό επιτυχίας 90%. (Martinezks, 2019)

Στη δεκαετία του 1990 αρχίσαν να κατασκευάζουν UAVs με μεγαλύτερο εύρος και καλύτερη ακρίβεια θέσης. Πολλά από αυτά τα UAVs χρησιμοποιήθηκαν στον πόλεμο του Κόλπου το 1991 και πιο συγκεκριμένα 5 συστήματα UAVs: τα Pioneer, Ex-Drone, Pointer από τις αμερικανικές δυνάμεις, το Mini Avion de Reconnaissance Telepilot από τις γαλλικές δυνάμεις και το CL 89 από τις βρετανικές δυνάμεις. Το 1995 το NATO έστειλε UAVs στο πόλεμο στη Βοσνία με συστήματα Gnat για αναγνώριση και επιτήρηση σε 7 βοσνιακές-σερβικές στρατιωτικές εγκαταστάσεις. Το βασικό UAV που χρησιμοποιήθηκε στη Βοσνία ήταν το Predator από μεγάλα υψόμετρα από αεροπορική βάση στην Ουγγαρία . Όμως οι θερμικές κάμερες IR των UAVs δεν μπορούσαν να αποτυπώσουν πληροφορία μέσα από τα σύννεφα και αυτό είχε ως αποτέλεσμα να περιοριστεί η χρήση τους σε μεγάλα ύψη. Έτσι αναπτύχθηκαν συστήματα ραντάρ συνθετικού διαφράγματος (SAR) για UAVs. Όμως τα αρχικά SAR ήταν βαριά, με αποτέλεσμα την επέκταση του εύρους και της αντοχής των UAVs και την ανάπτυξη μεγαλύτερων και βαρύτερων συστημάτων. Έτσι την δεκαετία του 2000, δημιουργήθηκε το μοντέλο Predator B για λήψεις σε μεγαλύτερο υψόμετρο και το Predator C, με αναβαθμισμένο σύστημα MALE και HALE. (Martinezks, 2019)



Εικόνα 8 Predator C Avanger

Το 2002 στον πόλεμο του Ιράκ, τα UAVs είχαν μετατραπεί σε ένα πιθανό βασικό σύστημα όπλων. Στην αρχή του πολέμου χρησιμοποιήθηκε το Global Hawk άτυπα, αλλά και πολλά άλλα UAVs χρησιμοποιήθηκαν για τη Ιρακινή Ελευθερία. Επίσης τα προγράμματα Pioneer, Shadow, Hunter και Pointer χρησιμοποιήθηκαν από τις δυνάμεις των ανταρτών. Επίσης τα UAVs του Predator, και το Dragon Eye χρησιμοποιήθηκαν για οπλική έκδοση στα πεδία μάχης του Αφγανιστάν και του Ιράκ και απέδειξαν τη στρατιωτική αξία των UAVs. Την τελευταία δεκαετία, παρατηρείται συνεχής εξέλιξη της ηλεκτρονικής τεχνολογίας που βελτιώνει την αποτελεσματικότητα των συστημάτων UAVs και επιτρέπει την ανάπτυξη μερών των UAVs που δεν υπήρχαν παλιότερα. Επιπλέον ο σχεδιασμός, το ωφέλιμο φορτίο, και η αυτονομία τους βελτιώνεται χρόνια με τα χρόνια, γεγονός τα κάνει πιο προσιτά στη χρήση. Πλέον είναι μικρά, ελαφριά, προσιτά, ικανά για όλες τις χρήσεις και ο ρόλος του ανθρώπου είναι ελεγκτικός και όχι χειριστή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι το 2012, η USAF απασχολούσε 7.494 UAVs και το 2013 χρησιμοποιήθηκαν σε πάνω από 50 χώρες όπως στην Κίνα, στο Ιράν, στο Ισραήλ κτλ. (Martinezks, 2019)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Πεδία εφαρμογής μη επανδρωμένων τετρακόπτρων (drones)

Τα τηλεκατευθυνόμενα η αυτόνομα αεροσκάφη multicopter (στα οποία τα ονόματα tricopter, quadcopter, hexacopter και octocopter συχνά χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν ελικόπτερα με 3, 4, 6 και 8 ρότορες, αντίστοιχα) χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Το πιο βασικό τους πλεονέκτημα είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής τους, το μικρό μέγεθος τους, καθώς και η μεγάλη ευστάθεια που μπορεί να επιτευχθεί κατά την διάρκεια πτήσης η οποία είναι αρκετή για σταθερές λήψεις εναέριων φωτογραφιών και βίντεο. Για αυτόν τον λόγο επιλέγονται όλο και συχνότερα για τη δημιουργία αεροφωτογραφιών και βίντεο σε διάφορους χώρους και κτίρια.

2.1 Αεροφωτογράφιση - βιντεοσκόπηση

Τα drones πλέον έχουν την δυνατότητα να πετάνε σε εξωτερικούς χώρους είτε σε εσωτερικούς με μια σχετική ευκολία η οποία εξαρτάται κιόλας από την εμπειρία του πιλότου πίσω από το τηλεχειριστήριο. Πλέον είναι πολύ διαδεδομένος τρόπος βιντεοσκόπησης σημαντικών γεγονότων της ζωής του ανθρώπου όπως γάμους, βαπτίσεις, συναυλίες και για άλλους ψυχαγωγικούς σκοπούς.

Πολύ σημαντικό πέραν της ψυχαγωγίας θα ήθελα να αναφερθώ σε ένα θέμα που πλήττει τον τελευταίο καιρό τον κόσμο κατά την διάρκεια της καλοκαιρινής σεζόν, η πυρκαγιές. Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα έχουν την δυνατότητα με χρήση μίας θερμικής κάμερας να εκτελούν περιπολίες πάνω από δασικές περιοχές για την αποφυγή πυρκαγιών. Στην *εικόνα 9* μπορούμε να διακρίνουμε μία φωτογραφία από ένα μη επανδρωμένο τετρακόπτερο το οποίο βρίσκεται πάνω από μια φλεγόμενη οικία.



Εικόνα 9 Φωτογραφία φλεγόμενου σπιτιού από μη επανδρωμένο

Με την προσθήκη μιας θερμικής κάμερας στο τετρακόπτερο και με χρήση της τεχνολογίας FLIR SMX (Multi-Spectral Dynamic Imaging) μπορούμε να προσθέσουμε λεπτομέρειες ορατού φωτός σε θερμικές εικόνες σε πραγματικό χρόνο για μεγαλύτερη σαφήνεια, ενσωματώνοντας λεπτομέρειες ακμής και περιγράμματος σε θερμικές ενδείξεις, κάνοντας την εικόνα μας να φαίνεται διαφορετικά διακρίνοντας πλέον τα σημεία τα οποία έχουν μεγαλύτερη θερμοκρασία *εικόνα 10*. Με παρόμοιο τρόπο θα μπορούσαμε να αποτρέψουμε και μια πυρκαγιά πριν εξαπλωθεί.



Εικόνα 10 Εφαρμογή Θερμικής κάμερας στο μη επανδρωμένο

Τέλος στο πεδίο της αεροφωτογράφισης δεν μπορούμε να μην συμπεριλάβουμε την χρήση του drone στην διάφορες στρατιωτικές εφαρμογές και επιχειρήσεις οι οποίες έχουν να κάνουν με την φωτογράφιση του εδάφους από ψηλά. (Finds, 2019)

2.2 Ασφάλεια

Στον σημερινό κόσμο, η ασφάλεια αποτελεί ύψιστη προτεραιότητα και για τον λόγο αυτόν έχει δημιουργήσει αυτόνομα πλέον μη επανδρωμένα αεροσκάφη τα οποία έχουν την δυνατότητα να κάνουν περιπολίες σε χώρους που απαιτούν υψηλή ασφάλεια όπως σε μεγάλα εργοστάσια, αποθήκες είτε κτήρια που απαιτούν υψηλή ασφάλεια. Σε περίπτωση συναγερμού η πυρανίχνευσης στον συγκεκριμένο χώρο, το μη επανδρωμένο όχημα έχει την δυνατότητα να απογειωθεί μόνο του και να σπεύσει στον χώρο άμεσα πριν από την άμεση επέμβαση και να αποκτήσει εικόνα από την κατάσταση. Είναι μια πολύ χρήσιμη τεχνολογία που έχει εφευρεθεί και η χρήση της θα γίνει πιο διαδεδομένη στα επόμενα χρόνια.

2.3 Υγεία

Αν και πολλοί μπορεί να θεωρούν την κύρια χρήση των drones ως έναν τρόπο για τον στρατό να ενισχύσει την στόχευσή τους, τις κατασκοπεία και τις γενικές επιχειρήσεις, υπάρχουν πολλοί τρόποι που τα drones σώζουν ζωές μακριά από το πεδίο μάχης.

Από τους χαμένους πεζοπόρους, τους κολυμβητές και τους κωπηλάτες καγιάκ που έχουν παρασύρει νερά, τα αεροσκάφη ενισχύουν τις προσπάθειες διάσωσης, όπου τα ελικόπτερα και τα γυαλιά νυχτερινής όρασης υπολείπονται. Οι αποστολές αναζήτησης και διάσωσης μπορούν να είναι επικίνδυνες, χρονοβόρες και εξαντλητικές για τους εμπλεκόμενους, ωστόσο τα αεροσκάφη παρέχουν μη επανδρωμένη υποστήριξη αεροσκαφών που εξοικονομεί χρόνο και εκατοντάδες πιθανών εθελοντών, σαρώνουν το σκοτάδι μέσα από πυκνά δέντρα, νερό ή βράχια για να βρουν αυτούς που αντιμετωπίζουν προβλήματα. (Finds, 2019)

Τον Ιούνιο του 2017, αναφέρθηκαν ως αγνοούμενοι δυο πεζοπόροι στο εθνικό δρυμό του Κολοράντο. Η τοπική ομάδα έρευνας και διάσωσης κλήθηκε να τους αναζητήσει και περισσότεροι από είκοσι πέντε εθελοντές εμφανίστηκαν για να βοηθήσουν. Οι άνθρωποι κοίταζαν με τα πόδια, με ATV και υπήρχε επίσης ομάδα K-9. Υπήρχε όμως

και μία ομάδα που χρησιμοποιούσε μη επανδρωμένο τετρακόπτερο για την αναζήτηση των χαμένων πεζοπόρων. Με την χρήση του drone, κατάφεραν να εντοπίσουν τους πεζοπόρους σε μια περιοχή που εκτείνεται σε χιλιάδες στρέμματα σε μόλις δυο ώρες.



Εικόνα 11 Οι χαμένοι πεζοπόροι στον εθνικό δρυμό του Κολοράντο

Η παγκοσμίου φήμης εταιρία που ασχολείται και κατασκευάζει επανδρωμένα αεροσκάφη DJI αναφέρει ότι έχουν σωθεί 65 ανθρώπινες ζωές με την χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών το έτος 2017 ενώ το 2018 ο αριθμός έφτασε στα ύψη με 1,333. Όπως παρατηρούμε στο παρακάτω γράφημα, το ποσοστό των διασώσεων που επιτεθήκαν από drones έχει αυξηθεί κατά περίπου 2000% , ένα ποσό που με την ραγδαία παραμετροποίηση και αύξηση της τεχνολογίας θα ανέβει ακόμα πιο ψηλά. (C, 2019)



Υπάρχουν πολλές ιδέες και καινοτομίες που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη των drones πάνω στην υγεία, όπως για παράδειγμα θα μπορούσαν να γίνονται εναέριες μεταφορές προϊόντων υγείας, φαρμάκων ακόμα και οργάνων σε περιοχές που δεν είναι εύκολα προσβάσιμες. (Finds, 2019)

2.4 Διασκέδαση

Τέλος, ένα πολύ μεγάλο κομμάτι της χρήσης του drone και το οποίο αυξάνεται ραγδαία ανήκει στην διασκέδαση. Δεν είναι λίγοι οι χειριστές που χρησιμοποιούν τα drone για την ψυχαγωγία τους είτε μέσω μοντελισμού για την κατασκευή των drone είτε μέσω της απλής οδήγησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

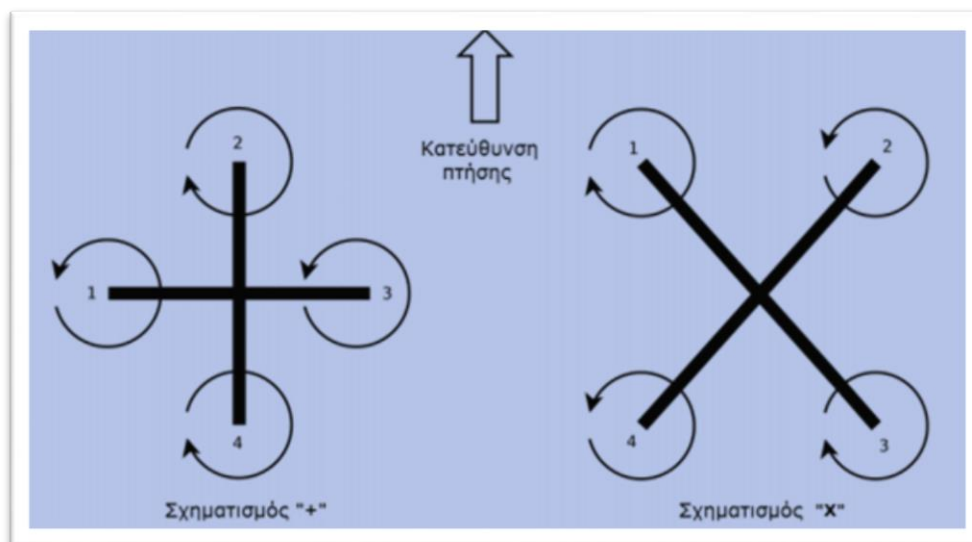
3. Αρχή λειτουργίας και προσανατολισμός

3.1 Λειτουργία

Ένα τετρακόπτερο μπορούμε να το χαρακτηρίσουμε και ως ένα ελικόπτερο το οποίο για την ανύψωση και την κίνησή του χρησιμοποιεί τέσσερις οριζόντιους στροφείς. Κάθε στροφέας αποτελείται από έναν έλικα προσαρμοσμένο σε έναν κινητήρα. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα ενός τετρακόπτερου είναι ότι έχει την δυνατότητα να ελέγχεται εύκολα, αφού η κίνηση βασίζεται στην ταχύτητα των ροτόρων. Η χρήση των τεσσάρων ροτόρων επιτρέπει στο καθένα να έχει μικρότερο μέγεθος σε αντίθεση με το ρότορα του απλού ελικόπτερου, αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μικρότερη αποθήκευση κινητικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της πτήσης.

Αν πάρουμε ως παράδειγμα ένα συνηθισμένο ελικόπτερο, η ροπή που παράγεται από τον κεντρικό ρότορα αντισταθμίζεται από έναν επιπλέον ρότορα στην ουρά του ελικοπτέρου, χωρίς αυτόν τον επιπλέον ρότορα, το ελικόπτερο δεν θα μπορούσε να ελεγχθεί στον αέρα λόγω συνεχών περιστροφών γύρο από τον κεντρικό του άξονα., στην περίπτωση όμως του τετρακόπτερου, η κίνηση και ο έλεγχος γίνονται ευκολότερα. (Nice, 2004)

Τα τετρακόπτερα μπορούν να ίπτανται σε δύο σχηματισμούς ανάλογα με τη κατεύθυνση της πτήσης: σε σχηματισμό ‘+’ και ‘x’. Οι διαφορές τους φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 12 Σχηματισμοί πτήσης τετρακόπτερου

Στην περίπτωση του σχηματισμού '+' η κίνηση του τετρακόπτερου προς τα εμπρός πραγματοποιείται αυξάνοντας την ταχύτητα του οπίσθιου (μοτέρ 4) και μειώνοντας την ταχύτητα του εμπρόσθιου (μοτέρ 2), διατηρώντας την ταχύτητα των υπολοίπων σταθερή. Παρομοίως, για την κίνηση προς τα δεξιά αυξάνεται η ταχύτητα του αριστερού (μοτέρ 1) και μειώνεται αυτή του δεξιού (μοτέρ 3), διατηρώντας την ταχύτητα άλλων δύο σταθερή. Τέλος, για την περιστροφή γύρω από τον κάθετο άξονα προς τα δεξιά αυξάνεται η ταχύτητα του αριστερού και δεξιού (μοτέρ 1 και 3) ενώ μειώνεται η ταχύτητα των άλλων δύο (μοτέρ 2 και 4).

Κατά την πτήση σε σχηματισμό 'x' για την αλλαγή της πορείας συμμετέχουν όλα τα μοτέρ. Έτσι, για την προς εμπρός κίνηση τα μοτέρ 1 και ελαττώνουν ταχύτητα ενώ τα 3 και 4 αυξάνουν. Η κίνηση προς τα δεξιά πραγματοποιείται με αύξηση της ταχύτητας των μοτέρ 1, 4 και με αντίστοιχη μείωση της ταχύτητας των 2 και 3. Η περιστροφή γύρω από τον κάθετο άξονα είναι ίδια με την περίπτωση του σχηματισμού "+". Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πως σε περίπτωση που δε θέλουμε να μεταβληθεί το ύψος στο οποίο ίπταται το τετρακόπτερο, σε κάθε αύξηση της ταχύτητας πρέπει να υπάρχει αντίστοιχη μείωση από τα αντίθετα μοτέρ. Οι σχηματισμοί είναι παρεμφερείς, ενώ εύκολα μπορεί να πραγματοποιηθεί εναλλαγή μεταξύ των δύο χωρίς να χρειάζεται κάποια μεταβολή στο τετρακόπτερο. Το μόνο που αλλάζει είναι οι συνδυασμοί των μοτέρ που χρησιμοποιούνται για κάθε κίνηση

καθώς επίσης το σύστημα συντεταγμένων των αισθητήρων στο οποίο στηρίζεται ο υπολογισμός του προσανατολισμού. (Nice, 2004)

3.2 Γωνίες Euler

Οι γωνίες Euler χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του προσανατολισμού ενός συστήματος συντεταγμένων (πλαίσιο αναφοράς) ως σύνθεση τριών στοιχειωδών περιστροφών έχοντας ως βάση ένα άλλο σταθερό σύστημα συντεταγμένων (σταθερό πλαίσιο). Για την περιγραφή στον τρισδιάστατο Ευκλείδειο χώρο χρησιμοποιούνται τρεις γωνίες περιστροφής και συνήθως συμβολίζονται ως φ , θ , ψ . (Γεωργία, 2012)

Σταθερό πλαίσιο ορίζεται ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων το οποίο θεωρείται ακίνητο και οι άξονες του συμβολίζονται με x , y , z . Όταν ως σταθερό πλαίσιο θεωρηθεί η Γη και ο άξονας x δείχνει στο Βορρά, ο y στην Ανατολή ενώ ο z προς τα κάτω τότε το εν λόγω πλαίσιο ονομάζεται North-East-Down (NED). Οι άξονες του πλαισίου αναφοράς συμβολίζονται με τα αντίστοιχα κεφαλαία γράμματα X , Y , Z . (Γεωργία, 2012)

Κάθε προσανατολισμός του πλαισίου αναφοράς μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση τριών στοιχειωδών περιστροφών. Οι περιστροφές μπορούν να συντελεστούν είτε στους άξονες του σταθερού πλαισίου x , y , z (εξωτερικές περιστροφές), είτε στους άξονες του πλαισίου αναφοράς X , Y , Z (εσωτερικές περιστροφές). Υπάρχουν είκοσι τέσσερις (δώδεκα εσωτερικές και δώδεκα εξωτερικές) δυνατές διαδοχικές αλληλουχίες περιστροφών οι οποίες χωρίζονται σε δύο ομάδες: (Αποστολίδης, 2015)

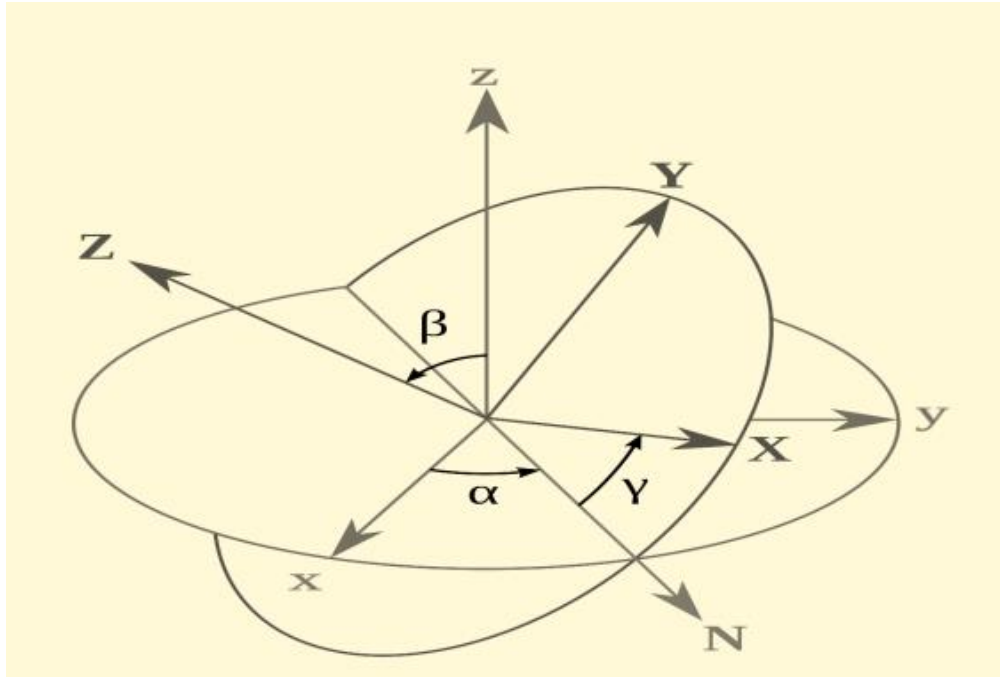
- **Κλασσικές γωνίες Euler** (z - x - z , x - y - x , y - z - y , z - y - z , x - z - x , y - x - y)
- **Γωνίες Tait–Bryan** (x - y - z , y - z - x , z - x - y , x - z - y , z - y - x , y - x - z)

3.2.1 Κλασσικές γωνίες Euler

Η γεωμετρική ερμηνεία των γωνιών Euler στηρίζεται στο πλαίσιο αναφοράς, το οποίο μπορεί να θεωρεί ως ένα αντικείμενο που περιστρέφεται, στο σταθερό πλαίσιο καθώς και σε έναν επιπλέον άξονα που ονομάζεται γραμμή σημείων τομής. Ως γραμμή σημείων τομής N ορίζεται άξονας τομής των xy και XY επιπέδων ή η γραμμή που

ξεκινάει από την αρχή των αξόνων των δύο πλαισίων και είναι κάθετη στο επίπεδο zZ (Domingues, 2009). Οι τρεις γωνίες Euler ορίζονται ως εξής:

- α είναι η γωνία μεταξύ των αξόνων x και N
- β είναι η γωνία μεταξύ των αξόνων z και Z
- γ είναι η γωνία μεταξύ των αξόνων N και X



Εικόνα 13 Γωνίες Euler

Οι τρεις αυτές γωνίες ορίζουν μια περιστροφή ως διαδοχικές περιστροφές των αξόνων z - x - z

$$R = R_z(\gamma) R_x(\beta) R_z(\alpha)$$

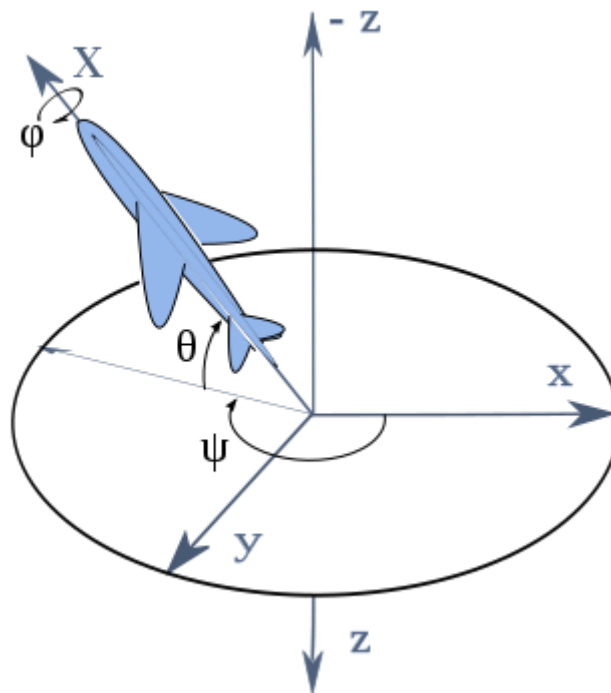
3.2.2 Γωνίες Tait-Bryan

Σε αυτή τη σύμβαση η γραμμή σημείων τομής N ορίζεται ως η γραμμή τομής μεταξύ των xy και XY επιπέδων ενώ επίσης ορίζονται ως

- ϕ ή roll η γωνία μεταξύ των αξόνων N και Y
- θ ή pitch η γωνία μεταξύ του z άξονα και του επιπέδου YZ
- ψ ή yaw η γωνία μεταξύ των αξόνων N και y

Όταν το πλαίσιο αναφοράς είναι ένα αεροσκάφος τότε συνήθως ορίζεται το κέντρο μάζας του ως η αρχή των αξόνων με τον άξονα x να δείχνει μπροστά στο

αεροσκάφος, τον άξονα y να δείχνει πλάγια δεξιά στο φτερό και ο άξονας z προς τα κάτω.



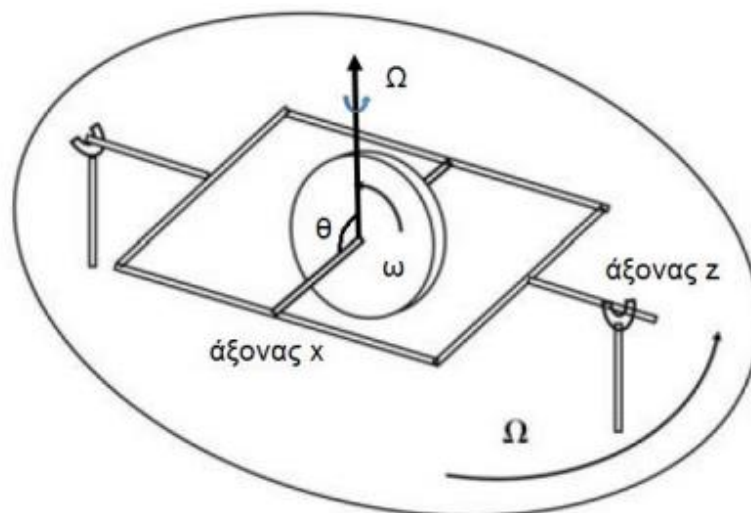
Εικόνα 14 Προσανατολισμός

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Αισθητήρες

4.1 Γυροσκόπιο

Το γυροσκόπιο είναι ένας μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την μέτρηση και την διατήρηση του προσανατολισμού μέσω την περιστροφής των εξωτερικών μερών. Ένα συμβατικό γυροσκόπιο αποτελείται από ένα στρεφόμενο δίσκο στερεωμένο σε δύο στεφάνες, εσωτερικά του πλαισίου του γυροσκοπίου που του επιτρέπουν να περιστρέφεται και στους τρεις άξονες. (Στεφανάτος, 2008)



Εικόνα 15 Γυροσκόπιο

Για τη μέτρηση του προσανατολισμού μετρούνται οι γωνίες που διαγράφουν οι στεφάνες. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των μηχανικών γυροσκοπίων είναι πως χρησιμοποιούν κινούμενα μέρη. Ως γνωστών στα κινούμενα μέρη αναπτύσσεται τριβή η οποία προκαλεί μείωση ακρίβειας και απόκλιση των μετρήσεων με την πάροδο του χρόνου. Για τη μείωση της τριβής χρησιμοποιούνται μεγάλης ακρίβειας ρουλεμάν και ειδικά λιπαντικά τα οποία όμως καταλήγουν να είναι αρκετά κοστοβόρα. Επίσης, τα μηχανικά γυροσκόπια χρειάζονται μερικά λεπτά λειτουργίας

πριν να είναι έτοιμα προς χρήση. Αυτά τα μειονεκτήματα έρχονται να λύσουν τα MEMS γυροσκόπια. (Αποστολίδης, 2015)

Εν αντιθέσει με τα μηχανικά γυροσκόπια, τα MEMS γυροσκόπια δε μετρούν τον προσανατολισμό αλλά τη γωνιακή ταχύτητα γύρω κάθετους άξονές τους. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιείται πυρίτιο με τεχνική μικροκλίμακας (νανόμετρα), ενώ αποτελούνται από μικρό αριθμό εξαρτημάτων οπότε είναι και σχετικά φθηνά. (Αποστολίδης, 2015)

4.2 GPS

Μια κεραία GPS επιτρέπει σε ένα τετρακόπτερο να προσδιορίσει την θέση, το ύψος και την ταχύτητα. Παρέχει στο τετρακόπτερο τη δυνατότητα να επιστρέψει αυτόνομα σε ένα καθορισμένο «αρχικό σημείο» εάν του δοθεί εντολή ή εάν ο πομπός αποσυνδεθεί κατά την διάρκεια της πτήσης. (GetFPV, getfpv.com, 2018)

4.3 Βαρόμετρο

Ένα βαρόμετρο παρέχει δεδομένα ύψους στον ελεγκτή πτήσης μετρώντας την πίεση του αέρα. Είναι χρήσιμος για πιλότους μεγάλης εμβέλειας καθώς παρέχει δεδομένα ύψους με μεγαλύτερη ακρίβεια από ένα GPS. Το βαρόμετρο επιτρέπει επίσης σε ένα τετρακόπτερο να ενεργοποιήσει έναν τρόπο κράτησης σε υψόμετρο που του επιτρέπει να διατηρεί σταθερό ύψος κατά τη διάρκεια της πτήσης (GetFPV, getfpv.com, 2018)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Hardware

5.1 Σκελετός (frame)

Ο σκελετός – πλαίσιο (frame) αποτελείται από τα κύρια εξαρτήματα και ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια ενός μη επανδρωμένου τετρακόπτερου διότι πάνω σε αυτό τοποθετούνται οι κινητήρες-ρότορες και όλα τα ηλεκτρονικά κυκλώματα και εξαρτήματα. Στο εμπόριο μπορούμε να βρούμε πολλά και διαφορετικά μοντέλα ανάλογα τις προτιμήσεις και τον σκοπό της κατασκευής.

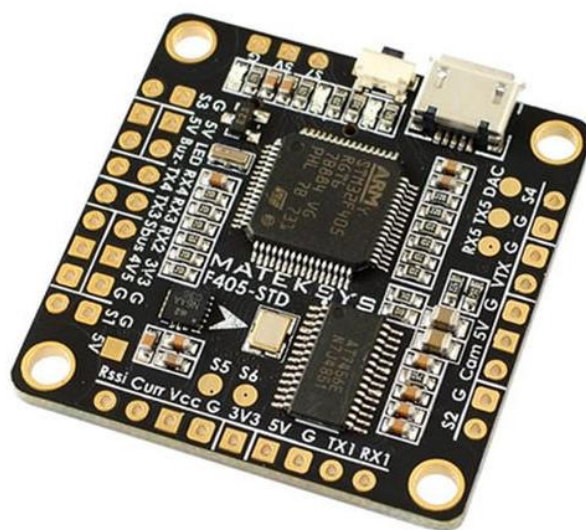
Το πλαίσιο ενός τετρακόπτερου αποτελείται από 4 βραχίονες οι οποίοι απέχουν ίση απόσταση από το κέντρο του πλαισίου, όπου στον καθένα θα τοποθετηθεί ένας κινητήρας με έναν έλικα για να επιτευχθεί η κινητικότητα του. Θα πρέπει να επιλέξουμε υλικό κατασκευής το οποίο να μην επηρεάζει το συνολικό βάρος του τετρακόπτερου και ταυτόχρονα να είναι όσο πιο αποτελεσματικό γίνεται στις ‘ανώμαλες’ προσγειώσεις. Το υλικό που συνηθίζεται να χρησιμοποιείται είναι το ανθρακόνημα (Carbon fiber) το οποίο αποτελείται από ίνες κυρίως άνθρακα. Το ανθρακόνημα παρέχει υψηλή στιβαρότητα και αντοχή σε θραύση και χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής. (I, 2014)



Εικόνα 16 Πλαίσιο τετρακόπτερου

5.2 Ελεγκτής πτήσης (flight controller)

Την κεντρική μονάδα του τετρακόπτερου θα μπορούσαμε να την χαρακτηρίσουμε και ως τον εγκέφαλο του οχήματός μας, ο οποίος ελέγχει την ταχύτητα και τα περύγια του οχήματος. Η ύπαρξη ενός καλού Flight controller είναι κρίσιμη για την απόδοση των κινητήρων επίσης ο καθορισμός του ελεγκτή πτήσης εξαρτάται από τον τύπο πτήσεων που επιθυμούμε να διεκπεραιώσουμε και τους αισθητήρες που θέλουμε να εμπεριέχει. Ο πιο βασικός αισθητήρας που θα πρέπει να εμπεριέχεται είναι το γυροσκόπιο, με το οποίο το τετρακόπτερο μπορεί να διατηρεί σταθερό τον προσανατολισμό του μέσω της περιστροφής. (Θ., 2018)



Εικόνα 17 Matek F405-STD flightController

5.3 Κινητήρες – Ρότορες και Προπέλες

Οι κινητήρες είναι ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια των τηλεκατευθυνόμενων με πολλαπλούς ρότορες, είναι ένα κομμάτι ισχύος του συστήματος. Η συνολική ισχύς του συστήματος εξαρτάται από την επιλογή των κινητήρων. Για να μπορέσουμε να επιλέξουμε τα σωστά μοτέρ θα πρέπει να λογαριάσουμε το συνολικό βάρος του τετρακόπτερου και το μέγεθος του πλαισίου που θα χρησιμοποιήσουμε στην κατασκευή μας. Στον υπολογισμό του συνολικού βάρους θα πρέπει να συμπεριλάβουμε όλα τα επί μέρους κομμάτια: πλαίσιο, Flight Controller, μονάδα διανομής ισχύος, καλώδια, μοτέρ, ESC, μπαταρία κλπ. Γνωρίζοντας το μέγεθος του πλαισίου αυτόματα ξέρουμε το μέγιστο μέγεθος των προπελών που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε. (Nice, 2004)



Εικόνα 18 2212 1400KV motor

Ο δείκτης *KV* αποτελεί ένα μέτρο για τις στροφές ανά λεπτό (RPM) του μοτέρ όταν τροφοδοτηθεί με συγκεκριμένη τάση. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση.

$$PM = KV * V$$

Όπου *V* η τάση τροφοδοσίας του μοτέρ

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για την επιλογή μοτέρ είναι το βάρος που μπορεί να σηκώσει το κάθε μοτέρ από την ώθηση που παράγει. Αποτελεί γενικό κανόνα πως η συνολική ώθηση των μοτέρ πρέπει να είναι διπλάσια από το βάρος του τετρακόπτερου. Οπότε κάθε μοτέρ πρέπει να έχει ώθηση

$$T = \frac{W}{2}$$

Όπου *T* η ώθηση που παράγει το κάθε μοτέρ και *W* το βάρος του τετρακόπτερου.

Έλικες - πτερύγια

Υπάρχουν διάφοροι παράμετροι που διαμορφώνουν τα χαρακτηριστικά ενός έλικα, όπως το μήκος της και η κλίση των πτερυγίων της. Για παράδειγμα 50x45 έλικα έχει μήκος 5in και κλίση 4,5in. Όσο πιο μεγάλο μήκος και κλίση έχει ένας έλικας, τόσο

περισσότερο ρεύμα τραβάει το μοτέρ. Μεγαλύτερη κλίση ισοδυναμεί με λιγότερες περιστροφές, αλλά περισσότερη ώση και επομένως ταχύτητα κίνησης του τετρακόπτερου.

Υπάρχουν κάποιοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επιλογή της κλίσης:

- Οι έλικες με μικρότερη κλίση δημιουργούν μεγαλύτερη ροπή, έτσι το μοτέρ δεν χρειάζεται να κινείται γρήγορα και να καταναλώνει πολύ ρεύμα και ταυτόχρονα προσδίδουν καλύτερη σταθερότητα στο τετρακόπτερο.
- Οι έλικες με μεγαλύτερη κλίση ωθούν περισσότερο όγκο αέρα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται στροβιλισμοί και να προκαλούν ταλαντώσεις στο τετρακόπτερο.

Όσον αφορά το μήκος του έλικα:

- Μεγαλύτερο μήκος οδηγεί σε μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής του έλικα με τον αέρα και επομένως καλύτερη αποδοτικότητα. Αυτό σημαίνει, όμως, και μεγαλύτερη αδράνεια κίνησης με αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης του μοτέρ.
- Ο έλικας με μικρότερο μήκος είναι πιο εύκολο να σταματήσει ή να επιταχύνει, ενώ καταναλώνεται μικρότερη ενέργεια στο μοτέρ.

5.4 ESC

Ο ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας (Electronic Speed Controller – ESC) χρησιμοποιείται ως οδηγός των τριφασικών brushless μοτέρ. Ο ESC, αναλόγως με την είσοδο που δέχεται, παράγει συνεχόμενα τρία σήματα μεγάλης συχνότητας με διαφορετικές φάσεις για τον έλεγχο του μοτέρ. Το σήμα εισόδου του αποτελείται από συνεχείς παλμούς. Όσο αυξάνεται η συχνότητα των παλμών τόσο αυξάνεται η ταχύτητα του μοτέρ. Η ρύθμιση της συχνότητας των παλμών γίνεται μέσω PWM από την κεντρική μονάδα. Η τροφοδοσία του ESC γίνεται από μπαταρία τύπου λιθίου ιόντων πολυμερούς Li-Po. (Αποστολίδης, 2015)

Πολλοί ESC διαθέτουν ένα κύκλωμα εξουδετέρωσης μπαταρίας (Batter Elimination Circuit – BEC) το οποίο παρέχει 5V έξοδο από τον ESC η οποία δίνει τροφοδοσία στον δέκτη και στην κεντρική μονάδα.

Η επιλογή του κατάλληλου ESC βασίζεται σε δύο παραμέτρους: το μέγιστο ρεύμα με το οποίο μπορεί να τροφοδοτήσει το μοτέρ και το μέγιστο ρεύμα εξόδου του BEC.

5.5 Τηλεκατεύθυνση (πομπός και δέκτης)

Η τηλεκατεύθυνση είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που χρησιμοποιεί συχνότητες για την μετάδοση εντολών από το τηλεχειριστήριο στο ίδιο το drone. Με άλλα λόγια η συσκευή αυτή μεταφράζει τις εντολές του πιλότου που έχουν σχέση με την κίνηση του τετρακόπτερου.



Εικόνα 19 FlySky Fs-t6 πομπός και δέκτης

5.6 Μονάδα διανομής ισχύος (PDB)

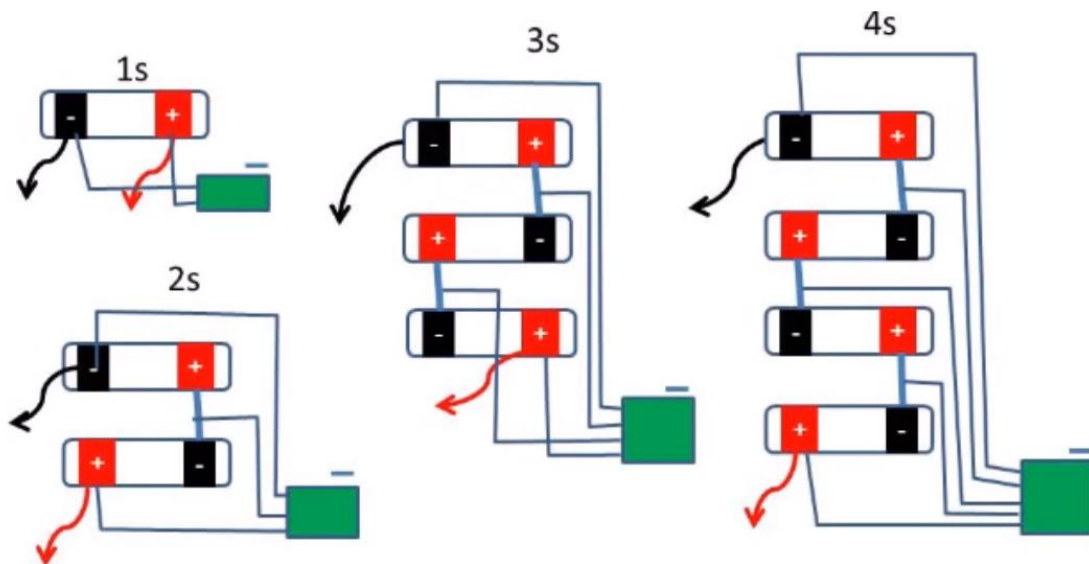
Η μονάδα διανομής ισχύος (Power Distribution Board – PDB) είναι μια πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος που χρησιμοποιείται για τη διανομή της ισχύος από την μπαταρία σε όλα τα διαφορετικά εξαρτήματα του τετρακόπτερου. Πριν από τη συσσώρευση του PDB ήταν απαραίτητο να συνδεθούν όλα τα διαφορετικά εξαρτήματα με τη χρήση σύρματος και το αποτέλεσμα συχνά έμοιαζε με ένα χταπόδι και ζύγισε μια σημαντική ποσότητα λόγω της ποσότητας χαλκού και αρμών συγκόλλησης στα καλώδια. (GetFPV, All about a Multicopter FPV Drone Power Distribution Board, 2019)

5.7 Μπαταρία και Φορτιστής

Η μπαταρία είναι το εξάρτημα που θα πρέπει να παρέχει όλη την απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται το τετρακόπτερο. Η χωρητικότητα, το βάρος και τη μέγιστη ένταση ρεύματος που μπορεί να τροφοδοτήσει είναι οι παράμετροι που πρέπει να υπολογιστούν για την σωστή επιλογή μπαταρίας. Η εξέλιξη της τεχνολογίας των μπαταριών δε συμβαδίζει με αυτή των υπόλοιπων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Έτσι, οι μπαταρίες έχουν ακόμα μικρή χωρητικότητα σε σχέση με τις ενεργειακές απαιτήσεις της σύγχρονης τεχνολογίας, ενώ για μεγαλύτερες χωρητικότητες αυξάνεται χαρακτηριστικά η τιμή τους και το βάρος τους.

Ο τύπος μπαταρίας που θα χρησιμοποιήσουμε είναι Li-Po, μπαταρία τύπου λιθίου ιόντων πολυμερούς. Είναι η ιδανικότερη παρούσα τεχνολογία με την καλύτερη αναλογία χωρητικότητα προς βάρος, το οποίο είναι και το ζητούμενο για ένα τετρακόπτερο με όσο το δυνατόν λιγότερο βάρος προς ανύψωση.

Οι μπαταρίες LiPo αποτελούνται από στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά ώστε να δώσουν την επιθυμητή τάση (βολτ, V). Το κάθε στοιχείο έχει ονομαστική τιμή τάσης 3,7V. Σειρές στοιχείων μπορούν να δώσουν πολλαπλάσιες τιμές τάσης του 3,7. Έτσι υπάρχουν μπαταρίες με 1cell και 3.7V, 2cell και 7.4V, 3cell και 11.1V, 4cell και 14.8V κοκ. Ένα πλήρως φορτισμένο στοιχείο LiPo έχει μέγιστη τάση 4.2V. Οπότε αντίστοιχα μία 3cell μπαταρία πλήρως φορτισμένη, θα έχει τάση (3x4,2V) 12.6V.



Εκτός από την τάση τους οι μπαταρίες LiPo χαρακτηρίζονται και από το ρεύμα που μπορούν να δώσουν. Αυτό μετριέται σε "C". Έτσι έχουμε μπαταρίες 15C, 20C, 25C κ.ο.κ. Για να βρεθεί πόσο ρεύμα μπορεί να αποδώσει μια μπαταρία πολλαπλασιάζουμε τον αριθμό C με τα Ampere που έχει αποθηκευμένα η μπαταρία. Έτσι μια LiPo 2200mAh και 40C μπορεί να δώσει $2,2 \times 40 = 88A$. Καθώς η μπαταρία όμως εκφορτίζεται, το ρεύμα που έχει αποθηκευμένο μειώνεται. Έτσι όταν είναι στο 50% της φόρτισης της η μπαταρία του παραδείγματος θα έχει φορτίο μόνο 1100mAh. Οπότε τότε θα μπορεί να δώσει μόνο $1,1 \times 40 = 44A$.

Για τη φόρτιση των LiPo υπάρχουν ειδικοί φορτιστές. Αυτοί φροντίζουν εκτός των άλλων, τα στοιχεία της μπαταρίας να έχουν το ίδιο φορτίο. Κάνουν δηλαδή το λεγόμενο balancing. (Schneider, 2012)

6. Software

Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη λογισμικών, το κάθε ένα από αυτά εστιάζει συνήθως σε συγκεκριμένο τύπο λογισμικού, την τεχνολογία που διαθέτει η κεντρική μονάδα και τους στόχους.

6.1 Ardupilot

Το Ardupilot είναι ίσως ένα από τα δημοφιλέστερα λογισμικά που έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν λειτουργίες αυτόματου πιλότου. Το λογισμικό μπορεί να ελέγχει σχεδόν οποιοδήποτε όχημα, τόσο τα αεροπλάνα με σταθερά πτερύγια αλλά και αυτά με πολλαπλούς ρότορες.



Εικόνα 20 Ardupilot Software

Φυσικά για να λειτουργήσει το λογισμικό χρειάζεται και τα απαραίτητα εξαρτήματα όπως ένα GPS και μία κεντρική μονάδα που να υποστηρίζει το συγκεκριμένο λογισμικό όπως: το Pixhawk η το PX4.

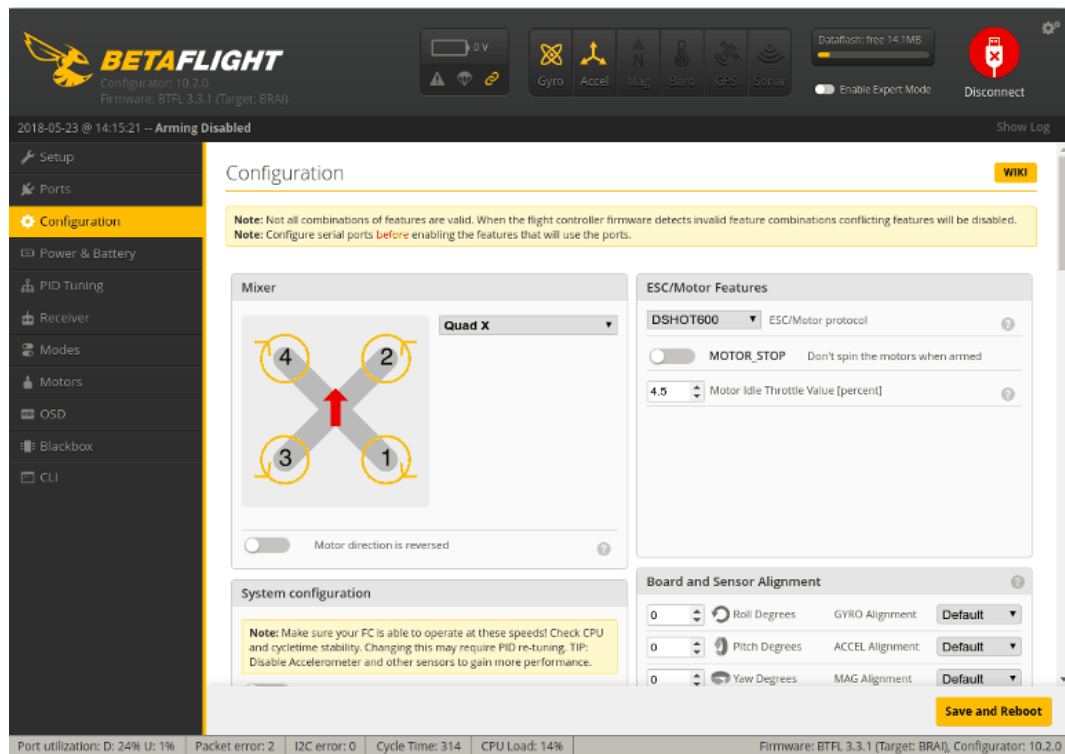
Η χρήση του συνίσταται για αυτούς που έχουν σκοπό να έχουν ένα όχημα με πλήρως εξοπλισμένο σύστημα αυτόματου πιλότου με πλοήγηση 3D. Έχει επίσης μία από της μεγαλύτερες κοινότητες προγραμματιστών και χρησιμοποιείται σε πολλά εμπορικά συστήματα.

6.2 iNAV

Το iNav είναι ουσιαστικά μία επέκταση του λογισμικού Betaflight που επικεντρώνεται στην προσθήκη αυτόνομων λειτουργιών. Είναι ένα παρόμοιο λογισμικό με το Ardupilot που ανέφερα στην προηγούμενη ενότητα. Το λογισμικό αυτό επιτρέπει στο drone να πετάξει σε σημεία αναφοράς ή να χρησιμοποιήσει την λειτουργία ‘return to home’ για ασφαλή επιστροφή στο σημείο απογείωσης.

6.3 Betaflight

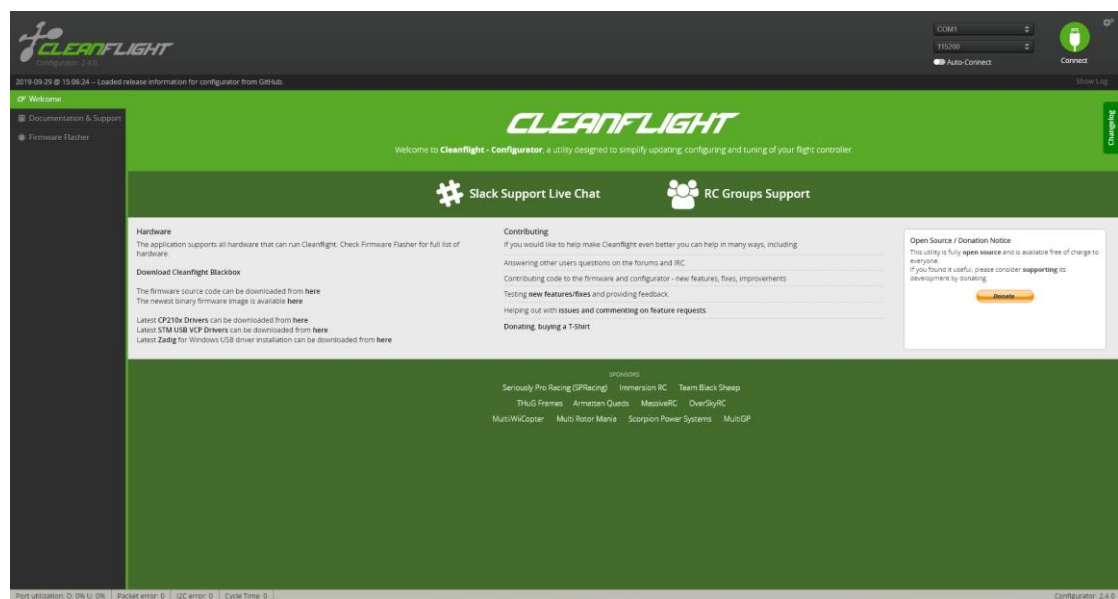
Το λογισμικό Betaflight είναι ένα από τα δημοφιλέστερα firmware για FPV. Χρησιμοποιείται κυρίως για τετρακόπτερα αλλά υποστηρίζει και αεροπλάνα σταθερών πτερυγίων, εξακόπτερα, οκτακόπτερα κ.α.



Εικόνα 21 Betaflight

6.4 Cleanflight

Το λογισμικό προγραμματισμού Cleanflight είναι ένα παρόμοιο λογισμικό με το Betaflight το οποίο όμως παρέχει λιγότερες δυνατότητες για τον προγραμματισμό και πολύ σημαντικό είναι ο ελεγκτής πτήσης να υποστηρίζει το συγκεκριμένο λογισμικό.



Εικόνα 22 Cleanflight

Κεφάλαιο 7

7. Κατασκευή

7.1 Υλικό

Ο σχεδιασμός του τετρακόπτερου απαιτεί την επιλογή των κατάλληλων υλικών λαμβάνοντας υπόψη κάποιες προϋποθέσεις.

- Η χρήση για την οποία κατασκευάζεται
- Το κόστος του να είναι όσο γίνεται πιο χαμηλό

Η επιλογή των υλικών κατασκευής δεν ήταν εύκολη υπόθεση διότι κυκλοφορούν πολλά και διαφορετικά μοντέλα στην αγορά που κάνουν την έρευνα αγοράς ακόμη πιο δύσκολη.

Πλαίσιο

Το πλαίσιο είναι μία κατασκευή που κρατάει όλα τα εξαρτήματα μαζί, θα πρέπει να είναι σχεδιασμένο από στιβαρό υλικό και όσο το δυνατόν πιο άκαμπτο. Για την επιλογή της κατάλληλης βάσης για την κατασκευή του τετρακόπτερου ακολούθησα κάποια κριτήρια:

- Να υπάρχουν τέσσερις βραχίονες στα άκρα για την σταθεροποίηση των μοτέρ.
- Μία κεντρική βάση στην οποία να στηρίζονται όλα τα ηλεκτρονικά.
- Μια δευτερεύουσα βάση πάνω από την κεντρική για την στερέωση της μπαταρίας και προαιρετικά μίας action κάμερας για την καταγραφή των πτήσεων.
- Η διάμετρος του σκελετού να μην υπερβαίνει τα 35cm, ώστε να μην υπάρχει ασυμβατότητα με τα υπόλοιπα υλικά που επέλεξα
- Το υλικό κατασκευής να είναι από ανθρακόνημα.

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια επέλεξα το πλαίσιο QAV250 φτιαγμένο από ανθρακόνημα με βάρος 140 γραμμαρίων και διάμετρο 25 εκατοστών.



Εικόνα 23 Frame QAV250

Η συναρμολόγησή του δεν είναι δύσκολη υπόθεση διότι η εταιρία φροντίζει να παρέχει τον απαραίτητο οδηγό για την σωστή συνδεσμολογία για την μέγιστη αποτελεσματικότητά του.



Εικόνα 24 Frame QAV250 parts

Κινητήρες και προπέλες

Με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή για το πλαίσιο του τετρακόπτερου, μας παραπέμπει στο προτεινόμενο μέγεθος κινητήρων που είναι καλό να χρησιμοποιήσουμε. Το μέγεθος αυτό είναι 2205, όπου 22mm σημαίνει η διάμετρος του κινητήρα και 05mm το ύψος του περιστρεφόμενου μέρους του κινητήρα.

Οι κινητήρες που χρησιμοποιήσα είναι της εταιρίας Turnigy και έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

RPM/V	2300KV
Τροφοδοσία	2-4 LiPoly (7.4-14.8V)
Μέγιστη ένταση ρεύματος	21A
Προτεινόμενες Προπέλες	5045
ESC	30A
Βάρος	28g

Εφόσον σχεδιάσαμε τον σκελετό με επιτυχία τοποθετούμε στους βραχίονες 1 και 4 τα μωτέρ CCW και στους βραχίονες 2 και 3 CW.



Εικόνα 25 Σκελετός μετά από την τοποθέτηση των Κινητήρων

Με βάση τις υποδείξεις του κατασκευαστή για την σωστή επιλογή των προπελών μας παραπέμπει στο να χρησιμοποιήσουμε προπέλες 5045. Το μέγεθος του έλικα μετριέται από άκρη σε άκρη και αναφέρεται ως διάμετρος διότι όταν ο έλικας στροβιλίζει δημιουργεί έναν κύκλο με διάμετρο ίση με το μήκος του έλικα. Το βήμα του έλικα είναι η κάθετη απόσταση που διανύει σε μια πλήρη περιστροφή. Όσο αυξάνουμε το μέγεθος ή το βήμα του έλικα έχουμε μεγαλύτερη κατανάλωση ρεύματος διότι μετακινείται περισσότερος αέρας και γίνεται δυσκολότερο να γυρίσει, αυτό παράλληλα θα αυξήσει και την ταχύτητα του τετρακόπτερου.



Εικόνα 26 5045 vs 6045

PDB

Στην επιλογή του PDB το μόνο που θα χρειαστεί να παρατηρήσουμε είναι να έχει έξοδο τα V της μπαταρίας και 5V για την τροφοδοσία του Flight Controller. Η τοποθέτησή του είναι συνήθως στο κέντρο του σκελετού και κάτω από τον ελεγκτή πτήσης (Flight Controller).



Εικόνα 27 Τοποθέτηση PDB XT60

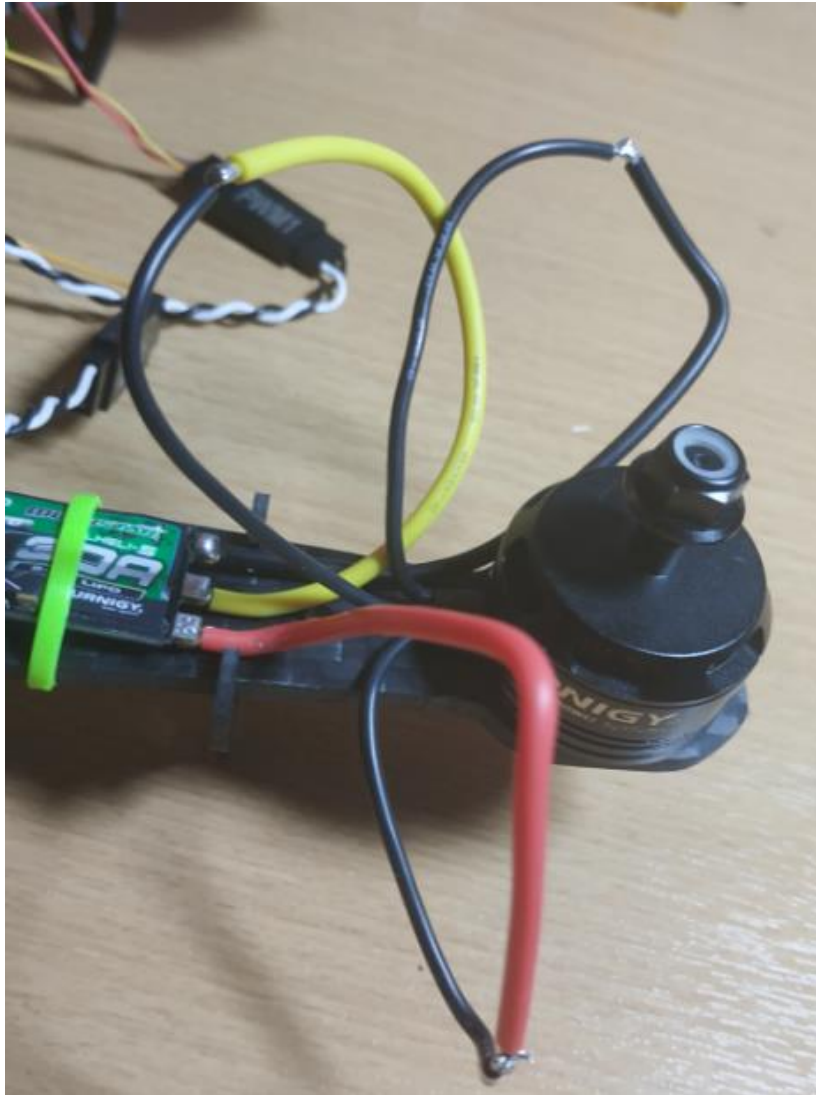
ESC

Τα ESC που επέλεξα για την κατασκευή είναι των 30A και της εταιρίας Turnigy λόγω των μοτέρ για να αποφύγω προβλήματα ασυμβατότητας. Επίσης τρέχουν λογισμικό BheLi-S που μας βοηθάει στην αναβάθμισή τους και στη σωστή βαθμονόμηση. Οι ενώσεις που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε στο PDB και στους ακροδέκτες (κόκκινους - μαύρους) στις ενδείξεις +/- πάνω στο PDB, έγιναν με κασσιτεροκόλληση.



Εικόνα 28 Συγκόλληση ESC στο PDB

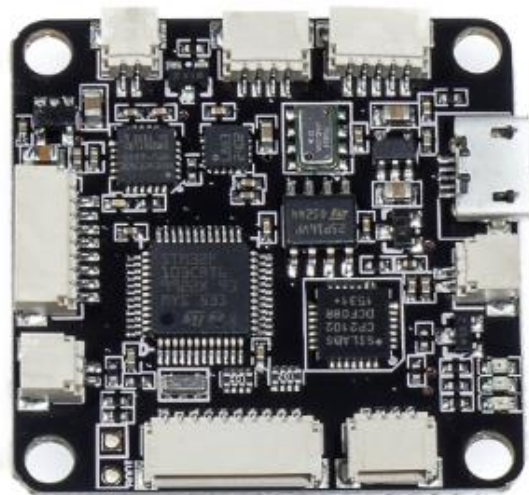
Συνδέουμε προσωρινά τον κάθε ESC με το αντίστοιχο κινητήρα. Η προσωρινή σύνδεση γίνεται διότι δεν γνωρίζουμε την κατεύθυνση που θα πάρουν οι κινητήρες με την συγκεκριμένη συνδεσμολογία οπότε θα χρειαστεί να τροφοδοτήσουμε το σύστημα για να προσδιορίσουμε την φορά του κάθε κινητήρα. Η αλλαγή φοράς γίνεται απλά αντιστρέφοντας οποιαδήποτε 2 από τα 3 καλώδια στην συνδεσμολογία.



Εικόνα 29 Συνδεσμολογία μεταξύ ESC και Κινητήρα

Ελεγκτής πτήσης (Flight Controller)

Ο ελεγκτής πτήσης που επέλεξα είναι της εταιρίας EMAX και ονομάζεται skyline32. Η EMAX έχει δημιουργήσει στο παρελθόν διάφορους flight controllers οι οποίοι είχαν διάφορα μικροπροβλήματα που έχουν σχέση με την λειτουργικότητά τους. Η συγκεκριμένη κεντρική μονάδα έχει κινήσει το ενδιαφέρον λόγω της αξιοπιστίας που παρέχει, του εύκολου προγραμματισμού με την χρήση του BaseFlight ή Cleanflight Configurator που γίνεται εύκολα και γρήγορα και φυσικά για την χαμηλή τιμή στην αγορά.

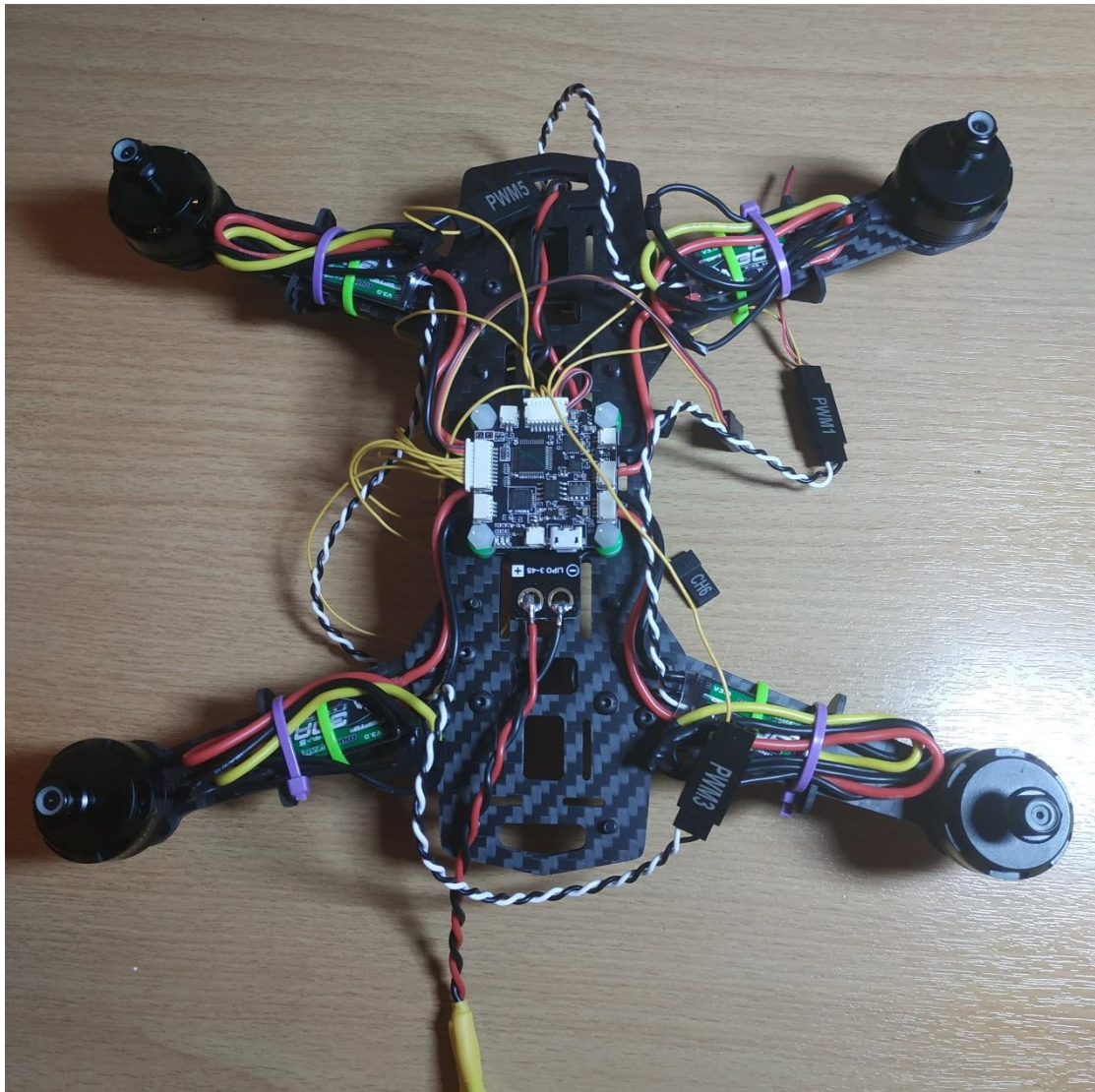


Εικόνα 30 Skyline32 Flight Controller (front)



Εικόνα 31 Skyline32 Flight Controller (back)

Οι έξοδοι του ελεγκτή πτήσης που θα χρησιμοποιήσω στην κατασκευή μου είναι οι PWM όπου εκεί θα συνδέσω τα σήματα του κάθε ESC και RC_CH όπου εκεί θα συνδεθούν τα κανάλια του Reciever για την επικοινωνία με τον Transmitter. Η πλακέτα έχει πολλαπλούς εισόδους των 5V όπου μέσω αυτών τροφοδοτείται ο ελεγκτής πτήσης. Όπως προαναφέραμε στο PDB υπάρχει έξοδος των 5V, οπότε συνδέουμε τα 5V σε οποιαδήποτε είσοδο του flight controller για να δώσουμε τροφοδοσία στο σύστημα.



Εικόνα 32 Σύνδεση των ESC στο flight Controller στις εξόδους PWM

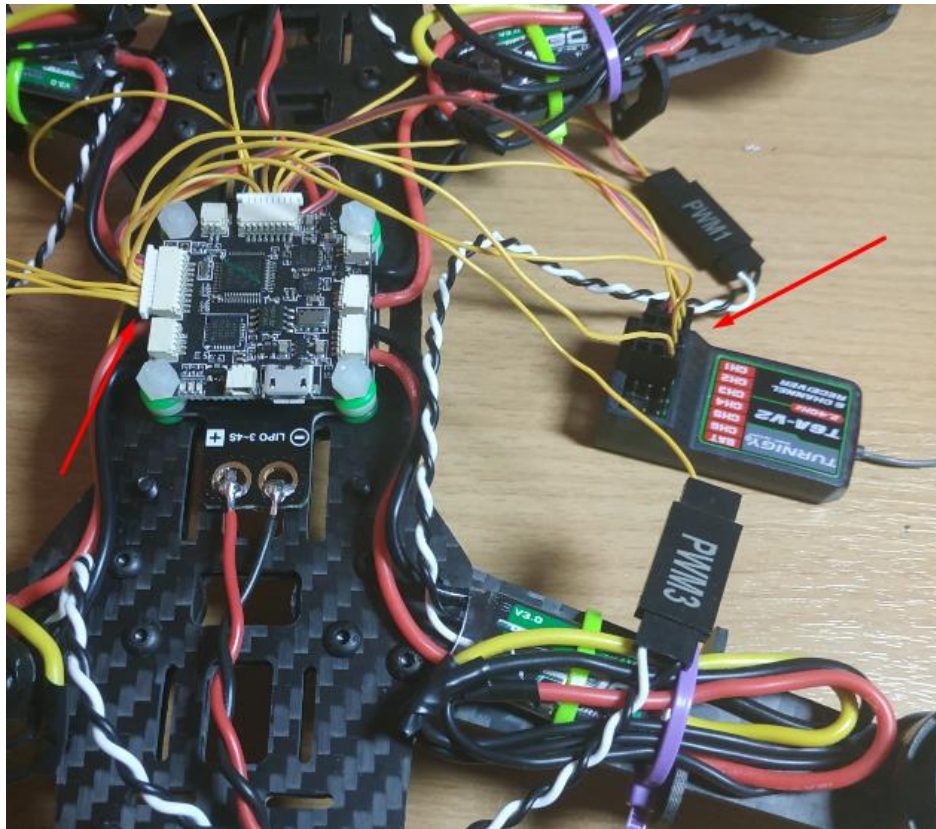
Τηλεκατεύθυνση

Ένας πομπός και δέκτης της εταιρίας Turnigy, συγκεκριμένα ο T6A-V2, χρησιμοποιήθηκε για το σύστημα τηλεκατεύθυνσης. Το συγκεκριμένο σύστημα τηλεκατεύθυνσης λειτουργεί στα 2.4 GHz, διαθέτει 6 κανάλια με ισχύ RF στα 19db. Το συγκεκριμένο σύστημα λειτουργεί με σύστημα χειρισμού Mode 2 που σημαίνει ότι ο δεξιός μοχλός χρησιμοποιείται για τον ορισμό της κατεύθυνσης του αεροσκάφους ενώ ο αριστερός ορίζει την επιτάχυνση και την περιστροφή. Ο πομπός έχει την δυνατότητα προγραμματισμού 2 διακοπών και 2 trimmer για διάφορες λειτουργίες πτήσης.



Εικόνα 33 Σύστημα τηλεκατεύθυνσης

Για την σύνδεση του receiver στον ελεγκτή πτήσης θα χρησιμοποιήσουμε την είσοδο RC_CH. Συνδέουμε κάθε ένα από τα κανάλια με το αντίστοιχό του και ο προγραμματισμός τους γίνεται αυτόματα από το λογισμικό.



Εικόνα 34 Συνδεσμολογία receiver με flight board

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα έχω συνδέσει τα κανάλια που πρόκειται να χρησιμοποιήσω για τον ορισμό της κατεύθυνσης του drone στον αέρα.

Μπαταρία

Η μπαταρία που επέλεξα για την κατασκευή μου είναι της εταιρίας Turnigy και έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Capacity: **2200mAh**
- Configuration: **3S / 11.1v / 3Cell**
- Constant Discharge: **40C**
- Pack Weight: **204g**

Είναι μια μπαταρία με αρκετή χωρητικότητα σε mAh για μεγαλύτερο χρόνο πτήσης και το πιο σημαντικό είναι ότι η τάση που βγάζει στην έξοδο συμπίπτει με τα υλικά της κατασκευής. Με την χρήση του βύσματος XD60 της μπαταρίας μπορούμε πλέον να την συνδέσουμε με το τετρακόπτερο για να κάνουμε τις πρώτες δοκιμές και τον έλεγχο λειτουργικότητάς του. Σε αυτό το σημείο χρειάζεται προσοχή διότι αν υπάρχει κάποιο βραχυκύκλωμα είτε κακή συνδεσμολογία στο drone υπάρχει περίπτωση να

καεί κάποιο από τα εξαρτήματα, οπότε πρέπει να γίνει επανέλεγχος πριν την τροφοδοσία του.

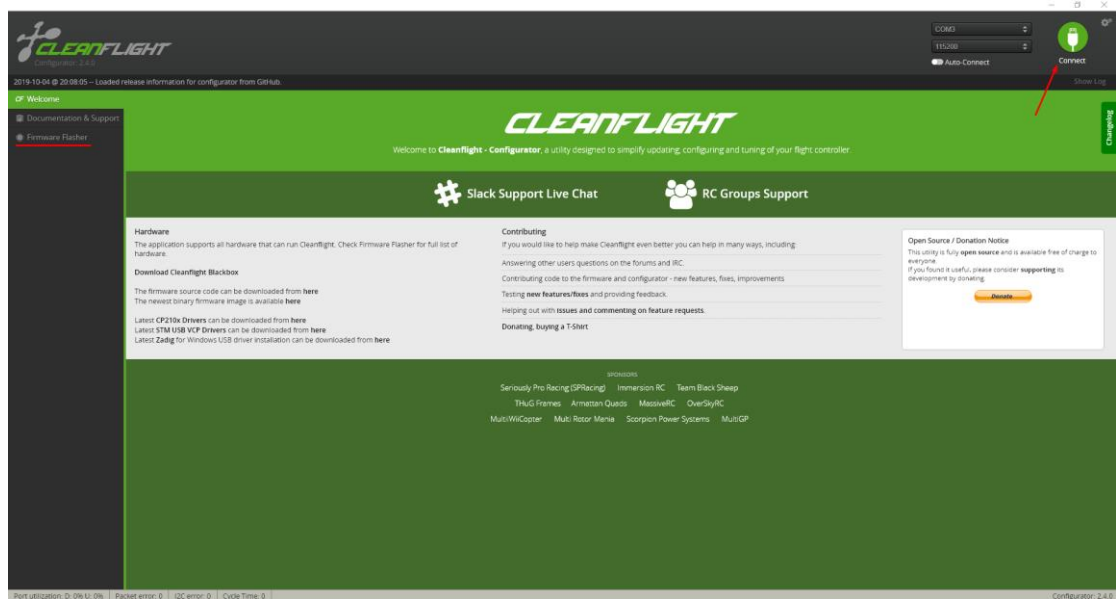


Εικόνα 35 Μπαταρία Turnigy 2200 mAh

7.2 Λογισμικό

Εφόσον η κατασκευή έχει ολοκληρωθεί με επιτυχία χωρίς να εμφανιστεί κάποιο βραχυκύκλωμα στα ηλεκτρονικά μέρη του τετρακόπτερου, θα περάσουμε στον προγραμματισμό του ελεγκτή πτήσης. Το λογισμικό που χρησιμοποιώ για τον προγραμματισμό είναι το CleanFlight διότι υποστηρίζεται από τον flight controller.

Εφόσον εγκαταστήσουμε το λογισμικό με τους απαραίτητους οδηγούς που χρειάζεται ο υπολογιστής για να αναγνωρίσει τον ελεγκτή πτήσης, το συνδέουμε μέσω της micro USB θύρας που υπάρχει πάνω στην πλακέτα. Εφόσον ανοίξουμε το πρόγραμμα το μόνο που χρειάζεται να κάνουμε είναι να συνδεθούμε, σε περίπτωση που το σύστημα δεν μας αφήνει θα πρέπει να βρούμε ένα καινούριο λογισμικό για να περάσουμε στον ελεγκτή πτήσης για να υποστηριχθεί από το Cleanflight.



Εικόνα 36 Cleanflight Software

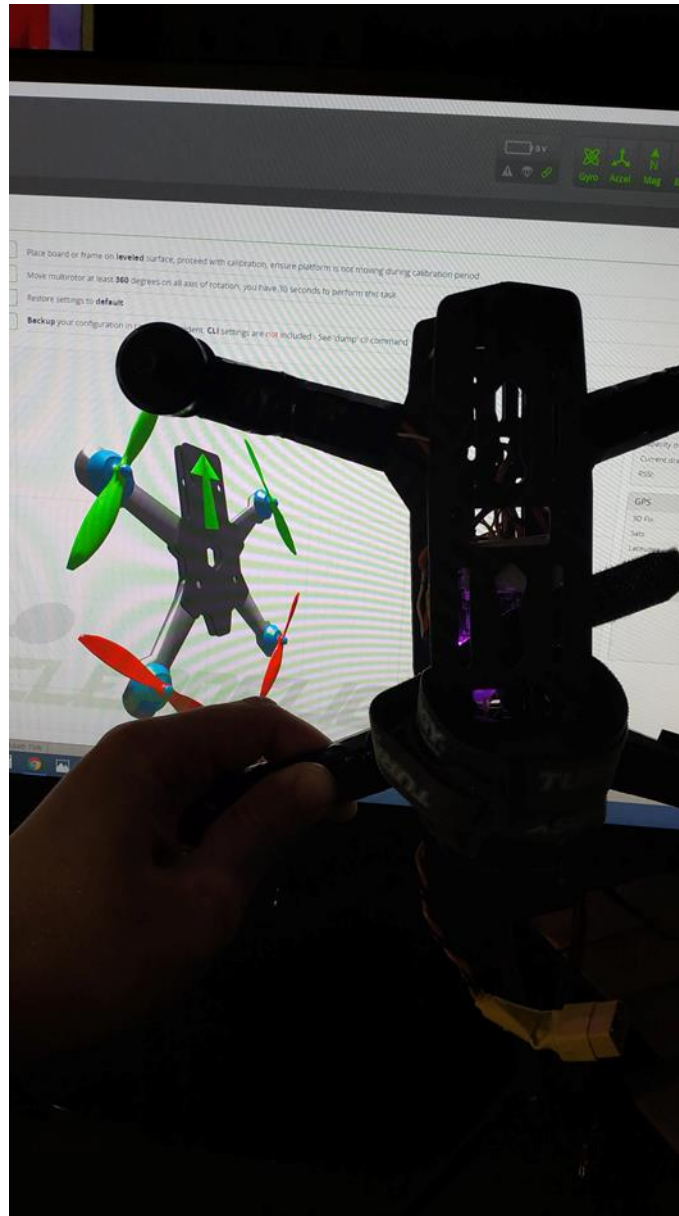
Με την εισαγωγή στο πρόγραμμα παρατηρούμε ένα μενού με επιλογές στο αριστερό μέρος, πάνω δεξιά είναι οι αισθητήρες που υποστηρίζονται από τον ελεγκτή πτήσης και στο κέντρο είναι οι ρυθμίσεις ανά καρτέλα.



Εικόνα 37 Περιβάλλον προγράμματος

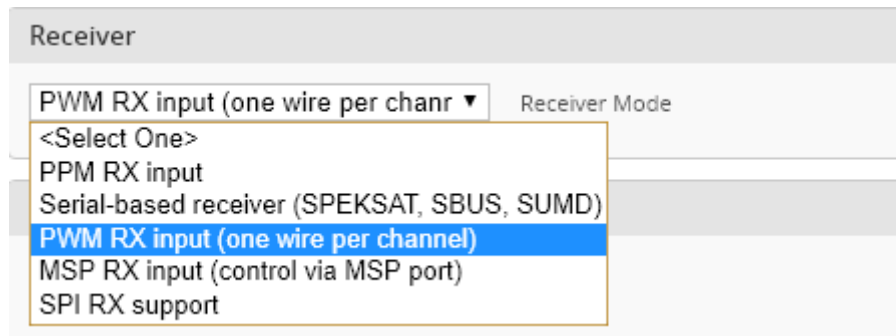
Το πρώτο βήμα που χρειάζεται να κάνουμε είναι στην καρτέλα Setup, Calibrate το επιταχυνσιόμετρο. Για να γίνει σωστά θα πρέπει ο ελεγκτής πτήσης να μείνει ακίνητος σε μία πολύ επίπεδη επιφάνεια για λίγα δευτερόλεπτα. Είναι πολύ σημαντικό το Cleanflight να αναγνωρίζει τον σωστό προσανατολισμό του

τετρακόπτερου. Η ένδειξη του προσανατολισμού κατά την πρώτη σύνδεση μπορεί να είναι ανακριβής, κατά την μετάβαση στην καρτέλα Setup παρατηρούμε ένα 3D μοντέλο του τετρακόπτερου στο κέντρο της οθόνης. Αυτό θα πρέπει να κινείται σωστά σε σχέση με το πώς θα το μετακινήσουμε σε πραγματικό χρόνο.



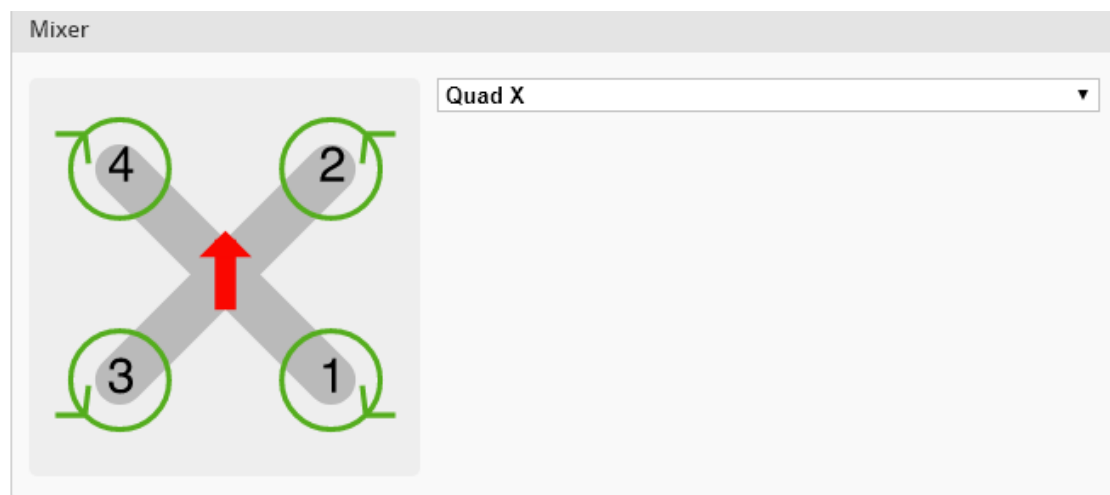
Εικόνα 38 3D μοντέλο H/Y σε σχέση με τον πραγματικό χρόνο

Το επόμενο βήμα είναι να δούμε ότι η τηλεκατεύθυνση επικοινωνεί με το τετρακόπτερο και να ορίσουμε τον τρόπο συνδεσμολογίας που έχουμε επιλέξει. Στην καρτέλα Configuration στην ρύθμιση του Receiver επέλεξα το PWM mode όπου χρησιμοποιώ ένα καλώδιο ανά κανάλι.



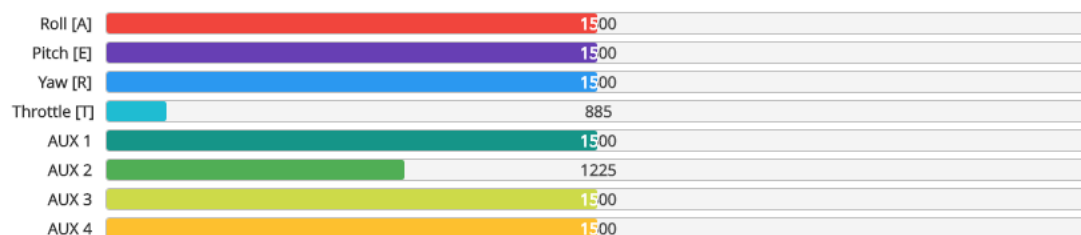
Εικόνα 39 PWM input

Εφόσον επιλέξουμε το σωστό πρωτόκολλο επικοινωνίας, επιλέγουμε τον τύπο αεροσκάφους που προγραμματίζουμε. Στην περίπτωση μου χρησιμοποιώ τετρακόπτερο τύπου X.



Εικόνα 40 Ορισμός τύπου κατασκευής

Τοποθετούμε την μπαταρία στο τετρακόπτερο και πάμε στην καρτέλα Receiver. Εκεί αν η συνδεσμολογία έχει γίνει σωστά θα πρέπει κατά την κίνηση των μοχλών στην τηλεκατεύθυνση να μεταβάλλονται και οι τιμές στο πρόγραμμα.

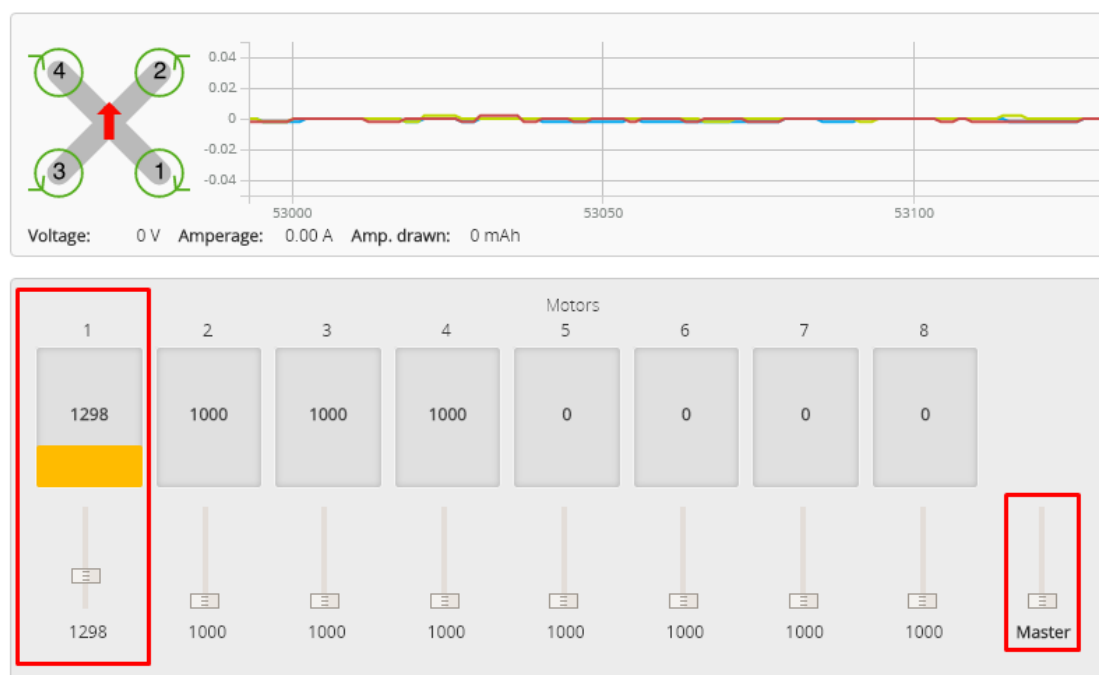


Εικόνα 41 Reciever tab

Εφόσον όλα λειτουργούν όπως θα έπρεπε, θα πρέπει να δοκιμάσουμε αν οι κινητήρες λειτουργούν σωστά. Στην καρτέλα Motors υπάρχει μια κάτοψη ενός τετρακόπτερου, αυτό υποδεικνύει την σειρά των κινητήρων και την κατεύθυνση περιστροφής. Με την ανύψωση του Master Slider ελέγχουμε γρήγορα ότι όλοι οι κινητήρες λειτουργούν. Ιδανικά οι κινητήρες θα πρέπει να ξεκινάνε ταυτόχρονα.

Εάν όλα λειτουργούν θα χρειαστεί να ενεργοποιήσουμε κάθε έναν κινητήρα ξεχωριστά, με την ανύψωση του ρυθμιστή 1, ο κινητήρας 1 ή το κάτω δεξιά μοτέρ στο τετρακόπτερο αρχίζει να περιστρέφεται. Η περιστροφή του σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα θα πρέπει να είναι δεξιόστροφη. Εάν δεν είναι σωστή θα χρειαστεί διόρθωση περιστροφής όπου συνήθως επιτυγχάνεται με την αντιστροφή 2 εκ των τριών καλωδίων από το ESC προς τον κινητήρα.

Motors



Εικόνα 42 Καρτέλα ρυθμίσεων κινητήρων

Εφόσον όλα φαίνονται λειτουργικά το τετρακόπτερο είναι έτοιμο για την πρώτη πτήση.



Εικόνα 43 Η πρώτη πτήση

Κεφάλαιο 8

8. Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αρχικά έγινε λόγος για τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, για την λειτουργία τους και για την χρησιμότητά τους, συγκεκριμένα για τα τετρακόπτερα. Έπειτα έγινε εκτενής περιγραφή για τους αισθητήρες, τα μηχανικά μέρη, τα ηλεκτρονικά μέρη και για τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό. Στην συνέχεια αφού έγινε επιλογή των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάστηκε αναλυτικά η κατασκευή του τετρακόπτερου.

Τα θέματα προς επίλυση που εμφανίστηκαν κατά την διάρκεια της εργασίας είναι η μη σωστή φόρτιση της μπαταρίας κατά την πρώτη πτήση και η ασυμβατότητα της έκδοσης του λογισμικού που προϋπήρχε από την εταιρία.

Πλέον ο μοντελισμός απλών μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι ένας τομέας με μεγάλη εξέλιξη και ανταπόκριση από όλο και περισσότερο κόσμο με αποτέλεσμα στο διαδίκτυο και γενικά στην αγορά να κυκλοφορούν όλο και περισσότερα σχέδια και υλικά για την κατασκευή τους.

Βιβλιογραφία

- C, M. (2019). 133 lives saved by drones worldwide.
- Domingues, J. M. (2009). *Quadrotor prototype*.
- Finds, S. (2019). Drones Have Saved Dozens Of Lives In Last Year.
- GetFPV. (2018, 2 2). *getfpv.com*. Ανάκτηση από <https://www.getfpv.com/learn/new-to-fpv/all-about-multirotor-fpv-drone-flight-controller/>
- GetFPV. (2019). All about a Multirotor FPV Drone Power Distribution Board.
- Martinezks, K. (2019). The History of Drones (Drone History Timeline From 1849 To 2019).
- Nice, E. B. (2004, 5). Design of a four rotor hovering vehicle.
- Schneider, B. (2012, 5 26). guide to understandint LiPo Batteries.
- Watts, A. ,. (2012). Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research Classification and Considerations of Use.
- Αποστολίδης, Α. (2015). *ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΕΤΡΑΚΟΠΤΕΡΟΥ*. Θεσσαλονίκη.
- Γεωργία, Δ. (2012). *Μελέτη κίνησης Στερεού Σώματος*. Πάτρα.
- Θ., Ξ. Γ. (2018). Μη επανδρωμένα Αεροσκάφη και οι Εφαρμογές τους σε Remote Sensing και Logistics.
- I, K. (2014). *Σύνθετα Υλικά*.
- Σιφναίου, Μ. Α. (2016). Εναέρια μη επανδρωμένα συστήματα λήψης εικόνων και η χρήση τους σε εφαρμογές μηχανικού.
- Στεφανάτος, Δ. (2008). Γυροσκόπια και εφαρμογές αυτών στην πλοήγηση.