

**ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

To Quadcopter

**Ιεζεκιήλ Ιωάννου
Σπυρίδων Φιλτισάκος**

Εισηγητής: Ιωάννης Έλληνας, Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

To Quadcopter

Ιεζεκιήλ Ιωάννου

A.M. : 42012

Σπυρίδων Φιλτισάκος

A.M. : 40195

Εισηγητής:

Ιωάννης Έλληνας, Καθηγητής

Εξεταστική Επιτροπή:

Ημερομηνία εξέτασης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Ιωάννη Έλληνα για την γρήγορη ανταπόκρισή όποτε τον χρειαστήκαμε, δίνοντας λύση σε ό,τι πρόβλημα αντιμετωπίζαμε.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε και τις οικογένειές μας για την στήριξη που μας παρείχαν κατά τα έτη των σπουδών μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με το τετρακόπτερο και όλα τα στοιχεία που το χαρακτηρίζουν. Διαπραγματεύεται με τις τεχνολογίες των εξαρτημάτων που το καταρτίζουν, την μεθοδολογία για την κατασκευή του και τον τρόπο λειτουργίας του. Επιπλέον στην πτυχιακή περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία κατασκευής ενός τετρακόπτερου καθώς και οι αποφάσεις που πάρθηκαν από την ομάδα συγγραφής για την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Αναλύεται το πως επιλέχθηκαν τα εξαρτήματα για το χτίσιμο καθώς και οι ιδιότητές τους, ενώ περιγράφεται ο τρόπος και ο σκοπός της κάθε τροποποίησης που έλαβε μέρος. Η πτυχιακή περιλαμβάνει και τις διαδικαστικές πράξεις στις οποίες πρέπει να προβεί ένας χειριστής ώστε να πετάξει το τετρακόπτερο επιτυχώς με ασφάλεια.

ABSTRACT

This thesis deals with Quadcopter and all the elements that characterize it. It deals with the hardware technologies that it is consisted from, the methodology for its construction and its mode of operation. Furthermore the thesis describes in detail the process of constructing a Quadcopter and the decisions made by the writing team for the methodology used. The selection of components for the building process and their properties is analysed, and the purpose of each modification took place is thoroughly described. The thesis includes the procedural steps that must be undertaken for one pilot to fly the Quadcopter successfully and safely.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Τεχνολογία πολύκοπτερων και Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκάφων

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: τετρακόπτερο, ελεγκτής πτήσης, επίγειος σταθμός ελέγχου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	16
1.1 Πως λειτουργούν	17
1.2 Απαραίτητα εξαρτήματα	19
1.3 Το πλαίσιο.....	20
1.3.1 Τα υλικά του πλαισίου.....	20
1.3.2 Σχημα του πλαισίου	22
1.3.3 Ο ρόλος του μεγέθους.....	23
1.4 Ο Ελεγκτής πτήσης.....	25
1.4.1 Τρόποι Πτήσης.....	26
1.4.2 Επιλογή του κατάλληλου ελεγκτή πτήσης.....	27
1.5 Ηλεκτρονικός Ελέγκτής Ταχύτητας	30
1.5.1 Λειτουργία	30
1.5.2 Ηλεκτρονικός Ελέγκτής Ταχύτητας τύπου Brushless.....	31
1.5.3 Κατηγοριοποίηση.....	31
1.5.4 Το υλικολογισμικό (firmware) των ESC	32
1.5.5 Εφαρμογή στα Quadcopters.....	32
1.6 Κινητήρες	33
1.6.1 Υλοποιήσεις ελεγκτή.....	34
1.6.2 Παραλλαγές στον τομέα των κατασκευών.....	35
1.6.3 Έφαρμογές	36
1.6.4 Στον Μοντελισμό	37
1.7 Μπαταρία	38
1.7.1 Προέλευση σχεδιασμού και ορολογία	38

1.7.2 Αρχή λειτουργίας των Li-po	40
1.7.3 Φόρτιση μπαταριών	40
1.7.4 Ασφάλεια κατά την χρήση	41
1.7.5 Η εφαρμογή πίεσης σε μπαταρία LiPo	41
1.7.6 Εφαρμογές	42
1.7.7 Για Ράδιο ελεγχόμενο εξοπλισμό και λοιπή εξοπλισμό	42
1.8 Ράδιο –έλεγχος	42
1.8.1 Κανάλια.....	43
1.8.2 Συχνότητα	43
1.8.3Ταίριασμα πομπού και δέκτη.....	44
1.8.4 Ποιός ραδιοπομπός συμφέρει περισσότερο.....	44
1.8.5 Πρωτόκολλα ραδιοπομπού	45
1.9 Οι Έλικες.....	45
1.9.1 Ανάλυση της κλίσης του έλικα, της διαμέτρου, και των στροφών του ανά λεπτό	47
1.9.2 Μονάδες στις οποίες εκφράζεται η διάμετρος και η κλίση;.....	47
1.9.3 Υλικό του Έλικα.....	48
1.9.4 Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα ελίκων από ανθρακόνημα σε σχέση με τους πλαστικούς	48
1.9.5 Ξύλινοι Έλικες	49
1.10 Προσαρμογείς ελίκων.....	49
1.10.1 Τι είναι ο προσαρμογέας έλικα	49
1.10.2 Τύποι στήριγματος προσαρμογέα.....	50
1.10.2.1 Προσαρμογέας που βιδώνεται.....	50
1.10.2.2 Προσαρμογέας ακέφαλής βίδας	50
1.10.2.3 Προσαρμογέας τύπου Collet	51
1.10.3 Ποιός προσαρμογέας Έλικα είναι ο ιδανικότερος	51
1.11 Άλλα εξαρτήματα του Quadcopter.....	52
1.11.1.1 Κατανεμητής μπαταρίας.....	52

1.11.1.2 Τεχνολογία.....	53
1.11.2.1 Απαιτούμενα υλικά.....	56
1.11.2.2 Επιλέγοντας έναν Explorer	57
1.11.2.3 Ξεκινώντας με το XCTU.....	59
1.11.2.4 Διαμόρφωση Δικτύου XBee.....	61
1.11.3 OSD.....	64
1.11.3.1 Τι είναι το OSD και ποιά είναι τα οφέλη του.....	64
1.11.3.2 Τύποι δεδομένων που μπορούν να εμφανιστούν μέσω OSD.....	64
1.11.4 Επίγειος σταθμός ελέγχου.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	68
2.1 Το χτίσιμο ενός Quadcopter	68
2.2 Σκελετός/πλαίσιο.....	68
2.2 Επιλογή ελεγκτή πτήσης.....	70
2.3 Μπαταρία	71
2.4 Ρυθμός αποφόρτισης της μπαταρίας.....	74
2.5 Τελική επιλογή μπαταρίας.....	74
2.6 Επιλογή κινητήρων και Ελεγκτών ταχύτητας	75
2.7 Ηλεκτρονικοί Ελεγκτές ταχύτητας.....	78
2.8 Έλικες και προσαρμογείς.....	80
2.9 Μονάδα ισχύος και μονάδα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	82
2.10 Πλακέτα διανομής ηλεκτρική ενέργειας.....	83
2.11 Η διαδικασία της κατασκευής.....	83
2.12 Χειριστήριο	88
2.12.1 Τα πλήκτρα.....	88
2.13 Διαδικασία βαθμονόμησης του flight controller.....	93
2.14 Αλλαγή ρυθμίσεων και έλεγχος των ESC.....	96
2.14.1 Αλλαγές Ρυθμίσεων.....	96
2.14.2 Έλεγχοι και προειδοποιήσεις.....	98

2.14.3 Ηχοι Προειδοποίησης	99
2.14.4 Λειτουργία προστασίας του ESC	99
2.15 Λειτουργία τηλεμετρίας με XBee	99
2.16.1 Σύνδεση με τον επίγειο σταθμό	100
2.16.2 Βήματα που ακολουθήσαμε για να λειτουργήσει το XBee με το APM 2.6.....	102
2.16 Ολοκλήρωση της κατασκευής	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	103
3.1 Έλεγχος ασφάλειας πριν το όπλισμα.....	103
3.1.1 Αναγνώριση ποιού έλεγχου Pre-Arm έχει αποτύχει με τη χρήση του Επίγειου Σταθμού Ελέγχου	103
3.1.2 Μηνύματα Σφάλματος.....	103
3.1.2.1 Σφάλματα Ραδιοπομπού (δηλαδή πομπού ή δέκτη):	103
3.1.2.2 Σφάλματα Βαρόμετρου:	104
3.1.2.3 Σφάλματα Πυξίδας.....	104
3.1.2.4 Σφάλματα που σχετίζονται με το GPS	105
3.1.1.5 Έλεγχοι “INS” (δηλαδή Αξελερομετρου και γυροσκοπίου):.....	105
3.1.1.6 Έλεγχοι της τάσης της Πλάκετας του ελεγκτη πτήσης.....	106
3.1.2 Απενεργοποίηση των Έλεγχων Ασφαλείας:	107
3.1.3 Μηνύματα των LED.....	108
3.2 Δημιουργία αποστολής.....	109
3.2.1 Ρύθμιση της αρχικής θέσης	109
3.2.2 Εισαγωγή δεδομένων	110
3.3 Οδηγός πτήσης	112
3.3.1 Roll	112
3.3.2 Pitch	113
3.3.3 Yaw	114
3.3.4 Throttle	114
3.3.5 Επιλέγοντας κατάλληλο μέρος για πτήση	114

3.4 Λειτουργίες πτήσης του Arducopter	115
3.4.1 Εξάρτηση από το GPS	117
3.5 Κανονισμοί πτήσεων.....	118
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	120
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	121

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1: Απλό quadcopter	18
Εικόνα 2: Απόσταση κινητήρα από κινητήρα.....	21
Εικόνα 3: Το άνοιγμα των βραχίωνων του quadcopter	23
Εικόνα 4: Παράδειγμα των Δέλτα και Ύψιλον διαμορφώσεων περιέληξης.	36
Εικόνα 5: Απλοί Έλικες.....	45
Εικόνα 6: Διάφορα είδη ελίκων.....	46
Εικόνα 7: Προσαρμογέας που βιδώνεται.....	50
Εικόνα 8: Προσαρμογέας ακέφαλής βίδας	51
Εικόνα 9: Προσαρμογέας τύπου Collet	51
Εικόνα 10: Το Xbee S1 module	55
Εικόνα 11: Τρεις συσκευές διεπαφή Η/Υ με Xbee με υποδοχές από αριστερά προς τα δεξιά: mini usb , usb , Rs232.	56
Εικόνα 12: Πως συνδέουμε το Xbee με τον Explorer: Αριστερά ο σωστός τρόπος δεξιά ο λάθος.....	58
Εικόνα 13: Οθόνη έναρξης XCTU	59
Εικόνα 14: Παράθυρο επιλογής θύρας του Xbee.....	60
Εικόνα 15: Παραθύρο XCTU που δείχνει συνδεδεμένο επιτυχώς ενά Xbee	60
Εικόνα 16: Παράθυρο αποτυχίας σύνδεσης του Xbee.....	61
Εικόνα 17: Επιλεγμένες μεταβλητές στο Xbee	62
Εικόνα 18: Είκονα από ένα OSD.	65
Εικόνα 19: Το πλαίσιο Hobbyking X650F.....	69
Εικόνα 20: Η πλάκετ του ardupilot Mega 2.6 με εξωτερική θήκη η οποία προστατεύει τα κυκλωματα.	70
Εικόνα 21: Πλακέτα GPS που συνδέεται με το Ardupilot.....	71
Εικόνα 22: Σχέση χρόνου πτήσης με Χωριτικότητα μπαταρίας	72
Εικόνα 23: Έλικες τύπου EPP1045	73
Εικόνα 24: Η μπαταρία που επιλέξαμε στην προστατευτική της θήκη	74
Εικόνα 25: Κινητήρας NTM Prop Drive Series 35-30 1100kv / 380w	76
Εικόνα 26: Φωτογραφία απο αρχείο excel για την επιλογή κινητήρα.....	76
Εικόνα 27: Οι προδιαγραφές του κινητήρα που επιλέξαμε	78
Εικόνα 28: Ο Ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας που επιλέξαμε	78
Εικόνα 29: Οι προδιαγραφές του ESC μας	79
Εικόνα 30: Το βήμα του έλικα σε σχέση με τις στροφές μια βίδας	80
Εικόνα 31: Οι έλικες που επιλέξαμε μαζί με δαχτυλίδια προσαρμογής για τον αντάπτορα.....	81

Εικόνα 32: Βλέπουμε υπογραμμισμένο το ρεύμα που χρειάζεται το μοτέρ με την επιλογή του μεγέθους του έλικα.	81
Εικόνα 33: Μονάδα ισχύος arm.....	82
Εικόνα 34: Πλακέτα διανομής ηλεκτρική ενέργειας για quadcopter.....	83
Εικόνα 35: Τα εξαρτήματα που συγκεντρώσαμε	84
Εικόνα 36: Τα 4 επίπεδα του σκελετού τα οποία είναι η βάση των εξαρτημάτων.....	84
Εικόνα 37: Βραχίωνες διαφορετικού χρώματος του quadcopter για τον ευκολότερο προσανατολισμό του.	85
Εικόνα 38: Το πάνω μέρος του χαμηλότερου επιπέδου του σκελετου.	85
Εικόνα 39: Φορά των ελίκων σε σψέση με την θέση τους στον σκελετό	86
Εικόνα 40: Το χειριστήριο SKYSPORT-6A FUTABA.....	88
Εικόνα 41: Οι μοχλοί ελέγχου του χειριστηρίου και οι μοχλοι ακριβείας	89
Εικόνα 42: Διακόπτες που ρυθμίζουν το εύρος τιμών	90
Εικόνα 43: Περιστροφικός διακόπτης έκτου καναλιου και διακόπτης “mixing”	90
Εικόνα 44: Διακόπτες “trainer” και “gear” στην αριστερή πλευρά της ράχης του χειριστηρίου	91
Εικόνα 45: Διακόπτες στο πίσω μέρος του χειριστηρίου	91
Εικόνα 46: Διακόπτες στο πίσω μέρος του χειριστηρίου- Λεπτομέρειες	92
Εικόνα 47: Καρτέλα επιλογής τύπου σκελετού	93
Εικόνα 48: Θέσεις που τοποθετούμε τον ελεγκτή πτήσης κατά την βαθμονόμηση του επιταχυνσιόμετρου.....	93
Εικόνα 49: Παράθυρο του mission planner κατά τη βαθμονόμηση της πυξίδας.	94
Εικόνα 50: Καρτέλα βαθμόνωσης της ραδιοεπικοινωνίας.....	94
Εικόνα 51: Καρτέλα ορισμού λειτουργίας πτήσης.....	95
Εικόνα 52: Οι παράμετροι της τηλεμετρίας στην καρτέλα παραμέτρων στο Mission Planner.	100
Εικόνα 53: Σύνδεση XBee με καλώδιο USB	101
Εικόνα 54: Οθόνη Mission Planner κατά την επιτυχή σύνδεση μέσω τηλεμετρίας με τον ελεγκτή πτήσης.....	101
Εικόνα 55: Μέρη της πλακέτας που πρέπει να συγκολληθούν	102
Εικόνα 56: Η θέση των LED στις πλακέτες APM 2.5 και 2.6	109
Εικόνα 57: Καρτέλα ρυθμίσεων του planner.....	110
Εικόνα 58: Καρτέλα δημιουργία αποστολής στον Mission Planner.....	111
Εικόνα 59: Καρτέλα δημιουργία αποστολής στον Mission Planner, αφού έχει δημιουργηθεί μια αποστολή	111

Εικόνα 60: Απλή απεικόνιση των roll, pitch, yaw, και της ισχύος σε ένα πομπό (αριστερή εικόνα) και στο quadcopter (δεξιά εικόνα).	112
Εικόνα 61: Κίνηση Quadcopter ανάλογα με τον δεξίο μοχλό του χειριστηρίου, αριστερά και δεξιά	113
Εικόνα 62: Κίνηση Quadcopter ανάλογα με τον δεξίο μοχλό του χειριστηρίου, μπροστά και πίσω	113

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ελεγκτές πτησης και Ιδιότητες A	28
Πίνακας 2: Ελεγκτές πτησης και Ιδιότητες B	29
Πίνακας 3: Στοιχεία λειτουργίας προγραμματισμού του ESC και οι τόνοι που τους αντιστοιχούν	97
Πίνακας 4: Επιλογές στοιχείων λειτουργίας προγραμματισμού του ESC.....	97
Πίνακας 5: Τα LED και το τι προδίδει η συμπεριφορά τους.....	108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το quadcopter(τετρακόπτερο), το οποίο ονομάζεται επίσης και quadroto helicopter ή quadroto, (ονομάζεται και quad ή copter για συντόμηση) είναι ένα πολυ-έλικο ελικόπτερο το οποίο αραιτε και κινείται με τεσσερις ρότορες. Τα Quadcopters κατατάσσονται ως στροφιόπτερα, σε αντίθεση με τα αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας, επειδή η ανέλκυσή τους γίνεται από ένα σύνολο ρότορων (και κάθετα προσανατολισμένες έλικες).

Σε αντίθεση με τα περισσότερα ελικόπτερα, τα quadcopters χρησιμοποιούν δύο ζευγάρια πανομοιότυπων σταθερής ροπής ελίκων : δύο δεξιόστροφα (Clockwise ή CW) και δύο αριστερόστροφα (Counter-Clockwise ή CCW) εναλλάσσοντας τις στροφές ανά λεπτό για τον έλεγχο της ανύψωσης και της ροπής. Ο Έλεγχος της κίνησης το οχήματος επιτυγχάνεται με την μεταβάλλοντας την ταχύτητα περιστροφής ενός ή περισσότερων δίσκων ρότορα, αλλάζοντας τα χαρακτηριστικά του φορτίου ροπής και της ώθησης/ανύψωσης .

Νωρίς στην ιστορία της πτήσης, οι διαμορφώσεις quadcopter θεωρήθηκαν ως πιθανές λύσεις για ορισμένα από τα επίμονα προβλήματα της κάθετης πτήσης όπως θέματα ελέγχου ροπής (καθώς και θέματα απόδοσης που προέρχονται από το ουραίο στροφέιο, το οποίο δεν παράγει χρήσιμη ανύψωση)τα οποία μπορούν να εξαλειφθούν με αντίθετη περιστροφή και τα σχετικά μικρά πτερύγια που είναι πολύ πιο εύκολο να κατασκευαστούν. Ένας αριθμός επανδρωμένων σχεδίων εμφανίστηκαν στη δεκαετία του 1920 και του 1930. Τα οχήματα αυτά ήταν από τα πρώτα επιτυχή βαρύτερα-από-αέρα για κάθετη απογείωση και την προσγείωση οχήματα. Ωστόσο, τα πρώτα πρωτότυπα υποφέραν από κακή απόδοση, και τα επόμενα πρωτότυπα απαιτούσαν πάρα πολύ πιλοτικό φόρτο εργασίας, λόγω της ελάχιστης αύξησης της σταθερότητας και του περιορισμένου ελέγχου.

Πιο πρόσφατα τα σχέδια των quadcopter έχουν γίνει δημοφιλή στον ερευνητικό τομέα μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων(Unmanned Aerial Vehicles ή UAV). Τα οχήματα αυτά χρησιμοποιούν ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου και ηλεκτρονικούς αισθητήρες για τη σταθεροποίηση του αεροσκάφους. Το μικρό τους μέγεθος και η ευελιξία τους, τα καθιστά ικανά να μπορούν να πετάξουν τόσο σε εσωτερικούς, όσο και εξωτερικούς χώρους.

Υπάρχουν πολλά περισσότερα πλεονεκτήματα στα quadcopters συγκριτικά με τα συμβατικά ελικόπτερα. Πρώτον, τα quadcopters δεν απαιτούν μηχανικές συνδέσεις για να μεταβάλλουν τη γωνία βήματος του πτερυγίου και του δρομέα, καθώς περιστρέφονται. Αυτό απλοποιεί την κατασκευή και την συντήρηση του οχήματος. Δεύτερον, η χρήση τεσσάρων ροτόρων επιτρέπει σε κάθε ξεχωριστό ρότορα να έχει μικρότερη διάμετρο από το στροφέιο του συμβατικού ελικοπτέρου, επιτρέποντάς τους να έχουν λιγότερη κινητική ενέργεια κατά τη διάρκεια της πτήσης. Έτσι μειώνεται η ζημιά που προκαλείται στους ρότορες εάν χτυπήσουν πάνω σε κάποιο αντικείμενο. Για τα μικρής κλίμακας UAV, αυτό σημαίνει ότι τα οχήματα καθίστονται ασφαλέστερα για αλληλεπίδραση σε σχετικά μικρή απόσταση. Μερικά quadcopters μικρής κλίμακας έχουν σκελετό οποίος περικλείει τους ρότορες, επιτρέποντας τις πτήσεις μέσα από πιο δύσκολα περιβάλλοντα, με μικρότερο κίνδυνο να καταστραφεί το όχημα ή το περιβάλλον που βρίσκεται αυτό.

Λόγω της ευκολίας της τόσο στην κατασκευή όσο και στον έλεγχο, τα quadcopter χρησιμοποιούνται συχνά ως και ερασιτεχνικά μοντέλα αεροσκαφών.

1.1 Πως λειτουργούν

Τα quadcopter είναι αεροδυναμικά ασταθή και απαιτούν απολύτως μικρο-υπολογιστή (γνωστός και ως ελεγκτή πτήσης) για σταθερή πτήση. Ως αποτέλεσμα, είναι "Fly by Wire"(Πτήσης με καλώδια) συστήματα, δηλαδή πετάνε μέσω ηλεκτρονικών σημάτων που μεταδίδονται από καλώδια, και αν ο υπολογιστής δεν λειτουργεί, δεν είναι ικανά να πετάξουν. Ο ελεγκτής της πτήσης συνδυάζει δεδομένα από μικράς MEMs(microelectromechanical systems ή μικρο-ηλεκτρομηχανικά συστήματα) επί του σκάφους όπως γυροσκόπια, επιταχυνσιόμετρα (τα ίδια με εκείνα χρησιμοποιούνται σε έξυπνα τηλέφωνα) για να διατηρηθεί μια ακριβή εκτίμηση του προσανατολισμού και της θέσης.

Το quadcopter φαίνεται από στη παραπάνω εικόνα είναι ο απλούστερος τύπος quadcopter, με κάθε κινητήρα / έλικα να στρέφεται κατά την αντίθετη κατεύθυνση από τους δύο κινητήρες και στις δύο πλευρές του (δηλαδή κινητήρες στις αντίθετες γωνίες του πλαισίου στρέφονται στην ίδια κατεύθυνση). Είναι απαραίτητο λόγω του τρίτου νόμου κίνησης του Νεύτωνα (δράσης αντίδρασης) και ώστε η ώθηση που παράγουν να έχει την ίδια κατεύθυνση.



Εικόνα 1: Απλό quadcopter

Ένα quadcopter μπορεί να ελέγξει το Roll(πλάγια κλίση) και το Pitch(μπροστινή κλίση) με την επιταχύνοντας δύο κινητήρες στη μία πλευρά και επιβραδύνοντας τους άλλους δύο. Έτσι, για παράδειγμα, αν το quadcopter χρειαζόταν να κλίνει αριστερά θα επιταχύνει τους κινητήρες στη δεξιά πλευρά του πλαισίου και θα επιβραδύνει τους δύο στα αριστερά. Ομοίως, αν θέλει να κλίνει προς τα εμπρός επιταχύνει τους δύο πίσω κινητήρες και επιβραδύνει τους δύο εμπρός.

Το copter περιστρέφεται (γνωστός και ως yaw) προς τα αριστερά ή δεξιά από την επιτάχυνση των δύο κινητήρων που είναι διαγώνια απέναντι ο ένας από τον άλλο, και επιβραδύνει τους άλλους δύο.

Η οριζόντια κίνηση επιτυγχάνεται με προσωρινή επιτάχυνση / επιβράδυνση μερικών κινητήρων, έτσι ώστε το όχημα να κλίνει προς την κατεύθυνση της επιθυμητής πορείας και αυξάνοντας τη συνολική ώθηση όλων των κινητήρων έτσι ώστε το όχημα κινείται προς τα εμπρός. Γενικά, όσο περισσότερο το όχημα κλίνει, τόσο πιο γρήγορα ταξιδεύει.

Το υψόμετρο ελέγχεται από την επιτάχυνση ή επιβράδυνση όλων των κινητήρων ταυτόχρονα.

1.2 Απαραίτητα εξαρτήματα

- Το Πλαίσιο(σκελετός): Το πλαίσιο φέρει όλα τα εξαρτήματα του quadcopter και στην απλούστερη μορφή του αποτελείται από μια πλάκα στήριξης που συνδέεται με τέσσερις βραχίονες για την τοποθέτηση των κινητήρων. Το πλαίσιο του quadcopter συνήθως αποτελείται από δύο ή περισσότερες πλάκες.
- Κινητήρες και έλικες: Οι κινητήρες και οι έλικες παρέχουν ώθηση και κατευθύνουν το quadcopter.
- Ο ελεγκτής πτήσης: Ο ελεγκτής της πτήσης είναι ο εγκέφαλος του quad. Είναι ο κύριος υπολογιστής στην κατασκευή του quadcopter
- Ηλεκτρονικοί ελεγκτές ταχύτητας(ESC ή Electronic Speed Controller): Οι ESC ή ηλεκτρονικοί ελεγκτές ταχύτητας ελέγχουν την ταχύτητα κάθε κινητήρα. Ένας ESC συνδέεται μεμονωμένα με κάθε κινητήρα, ένα κοινό πίνακα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και τον ελεγκτή πτήσης. Στην περίπτωση των quadcopters τέσσερις μεμονωμένοι ESC μπορούν να συνδυαστούν σε ένα ενιαίο κύκλωμα. Αυτοί ονομάζονται «τετραπλόι»(four-in-one) ESC και είναι εξαιρετικά εύκολο να εγκαταστηθούν στην κατασκευή.
- Μονάδα ισχύος και μονάδα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας: Ένα κύκλωμα μονάδας ισχύος και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας παρέχει ενέργεια από την μπαταρία ή τις μπαταρίες σε κάθε ESC, καθώς και άλλα εξαρτήματα, όπως μια συσκευή βίντεο, ελεγκτή πτήσης κ.λπ.
- Μπαταρία: Οι μπαταρίες LiPo παρέχουν την ενέργεια σε ένα quadcopter. Οι μπαταρίες αυτές κυμαίνονται από 2S ως 6S (το 'S' είναι ο αριθμός των κελιών) και έχουν μια ποικιλία χωρητικότητας που βαθμονομείται μιλι-αμπέρ ώρες (milliamp hours ή mAh).
- Ραδιοχειριστήριο(Radio Controller ή R/C): Το ραδιοχειριστήριο δίνει στον πιλότο(χειριστή) στο έδαφος την ικανότητα να πετάξει το quadcopter.Τα ραδιοχειριστήρια αποτελούνται από δύο μέρη: Ένα δέκτη που τοποθετείται στο quadcopter και έναν πομπό που ο πιλότος έχει στα χέρια του. Τα Quadcopters μπορούν να ελεγχθούν με ένα ραδιοχειριστήριο, ένα επίγειο σταθμός ελέγχου ή σε ορισμένες περιπτώσεις και τα δύο.

1.3 Το πλαίσιο

Ο σκελετός ή πλαίσιο είναι η δομή που συγκρατεί όλα τα εξαρτήματα μαζί. Ο σκελετός θα πρέπει να είναι άκαμπτος, και να είναι σε θέση να ελαχιστοποιήσει τις δονήσεις που προέρχονται από τους κινητήρες.

1.3.1 Τα υλικά του πλαισίου

Ένα πλαίσιο quadcopter αποτελείται από δύο έως τρία μέρη τα οποία δεν είναι απαραίτητο να είναι από το ίδιο υλικό:

- Η κεντρική πλάκα, όπου τα ηλεκτρονικά στερεωμένα
- Τέσσερις βραχίονες τοποθετούνται στη κεντρική πλάκα
- Τέσσερα στηρίγματα κινητήρων που συνδέουν τους κινητήρες στο άκρο των βραχιόνων

Πιο συχνά διαθέσιμα υλικά για το πλαίσιο είναι:

- Ανθρακονήματα
- Αλουμίνιο
- Ξύλο, όπως το κόντρα πλακέ ή MDF (μεσαίας πυκνότητας ινοσανίδες-Medium-density fibreboard)

Το ανθρακόνημα είναι πιο άκαμπτο και απορροφητικό στη δόνηση από τα τρία υλικά, αλλά και το πιο ακριβό.

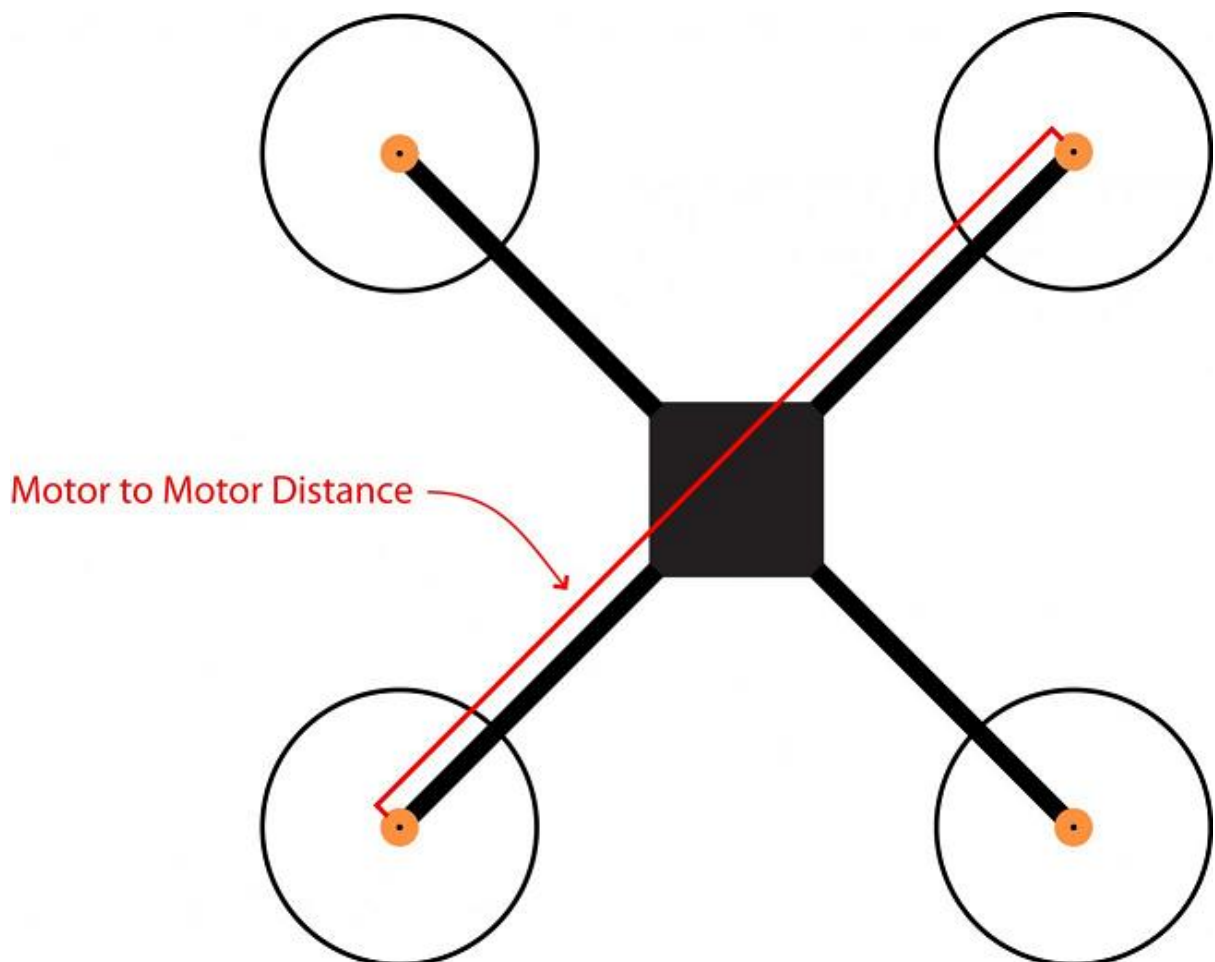
Κούφιοι αλουμίνιοι ράβδοι είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι για τους βραχίονες των QuadCopters «λόγω του σχετικά μικρού βάρους τους, της ακαμψίας και του προσιτού κόστους τους. Ωστόσο, θα μπορούσαν να παρουσιάσουν προβλήματα από τις δονήσεις του κινητήρα, καθώς η απόσβεση δεν είναι τόσο καλή όσο με τα ανθρακονήματα. Σε περιπτώσεις σοβαρού πρόβληματος κραδασμών, αυτό θα μπορούσε να αλλοιώσει τις μετρήσεις των αισθητήρων.

Ξύλινες σανίδες όπως οι πλάκες MDF είναι κατάλληλες για βραχίονες καθώς είναι καλύτερες σε απορρόφηση των δονήσεων από το αλουμίνιο. Δυστυχώς, το ξύλο δεν είναι ένα πολύ άκαμπτο υλικό και μπορεί να σπάσει εύκολα εάν το quadcopter συντριβεί.

Αν και δεν είναι τόσο σημαντικό ποιό από τα τρία υλικά θα χρησιμοποιηθεί για τους βραχίονες, το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την πλάκα κέντρο, είναι το

κόντρα πλακέ που παρατηρείται πιο συχνά λόγω του μικρού βάρους του, της ευκολίας να τροποποιηθεί και της καλής απορρόφησης των κραδασμών.

Όσον αφορά το μήκος του βραχίονα, ο όρος «απόσταση κινητήρα-από-κινητήρα» χρησιμοποιείται μερικές φορές, που υποδικνύει την απόσταση μεταξύ του κέντρου του ενός κινητήρα με ένα άλλο κινητήρα στον ίδιο βραχίονα στην ορολογία των QuadCopter.



Εικόνα 2: Απόσταση κινητήρα από κινητήρα

Η απόσταση κινητήρα-από-κινητήρα εξαρτάται συνήθως από τη διάμετρο των ελίκων. Για να υπάρχει αρκετός χώρος μεταξύ των ελίκων έτσι ώστε να μην συγκρουστούν μεταξύ τους.

1.3.2 Σχήμα του πλαισίου

Σήμερα, υπάρχουν δύο κύριοι τύποι σκελετών quadcopter σε χρήση, ο σκελετός σε σχήμα Η και ο σκελετός σε σχήμα Χ. Όπως δηλώνει και το όνομα του, το πλαίσιο Η διαμορφώνεται όπως ένα Η και το πλαίσιο Χ διαμορφώνεται σαν ένα Χ. Κατά την έναρξη της ευρύτερης διάδοσης των quadcopters, οι περισσότεροι άνθρωποι επέλεξαν να χρησιμοποιήσουν το πλαίσιο Χ – διότι είναι πιο εύκολο να τοποθετηθούν τα υπόλοιπα εξαρτήματα σε αυτό. Εκτός από αυτό, το πλαίσιο Χ μειώνει τις δονήσεις περισσότερο από το Η. Με τον καιρό όμως, το Η πλαίσιο γίνεται όλο και πιο δημοφιλές όσο οι λάτρεις του τομέα βελτιώνουν τις ικανότητές τους στην κατασκευή των quadcopters.

Σύμφωνα με απόψεις στο χώρο κατασκευής quadcopter, το υλικό από το οποίο το πλαίσιο είναι κατασκευασμένο δεν έχει σημασία τόσο πολύ όσο το είδος πλαισίου, η εξισορρόπηση των ελίκων καθώς και το πόσο καλά είναι τοποθετημένος ο ελεγκτής της πτήσης. Για παράδειγμα, σε ένα πλαίσιο τύπου Η, δεν υπάρχει άμεση σύνδεση από τον κινητήρα στον ελεγκτή πτήσης που σημαίνει ότι οι δονήσεις είναι πιο μειωμένες σε σύγκριση με το πλαίσιο Χ. Αυτό σημαίνει ότι από την αρχή της διαδικασίας κατασκευής του quadcopter θα πρέπει να ληφθούν υπόψη όλα αυτά τα δεδομένα.

Πολλοί «θιασώτες» του χώρου των quadcopters, ειδικά αρχάριοι, αποθαρρύνονται από τις δονήσεις διότι επηρεάζουν τον τρόπο που οι εικόνες που αιχμαλωτίζονται από την κάμερα που είναι τοποθετημένη. Δεν υπάρχει συγκεκριμένο πρόβλημα που προκαλεί κραδασμούς, με αποτέλεσμα να πρέπει να αντιμετωπίσει με πολλαπλούς ελέγχους. Αυτά είναι μερικά από τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν.

- Ο χειριστής πρέπει να βεβαιωθεί ότι οι βραχίονες του πλαισίου είναι τόσο άκαμπτοι όσο μπορούν να είναι.
- Το πλαίσιο που χρησιμοποιείται δεν είναι πολύ φθηνό και πολύ ελαφρύ. Τα καλύτερης ποιότητας και πιο ακριβά πλαίσια είναι συνήθως αποτελεσματικότερα στη μείωση των κραδασμών.
- Να χρησιμοποιούνται αναρτήσεις κραδασμών στους κινητήρες.
- Αν αποφασίσει ο χρήστης να δημιουργήσει το πλαίσιο από την αρχή θα πρέπει να βεβαιωθεί πρώτα ότι όλοι οι βραχίονες είναι εντελώς όμοιοι. Ένας

καλός τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι να χρησιμοποιηθεί καλούπι, χρησιμοποιώντας εποξική ρητίνη αναμιγμένη με τρίμα fiberglass.

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τζελ ή αφρός για τη μείωση των κραδασμών. Αυτά χρησιμοποιούνται από πολλούς χρήστες, αλλά αυτό μπορεί να είναι λίγο περίπλοκη η κατανόηση για το τι ακριβώς πρέπει γίνει. Ευτυχώς, υπάρχουν πολλά βίντεο στο διαδίκτυο που εξηγούν ακριβώς πως πρέπει να γίνει η εφαρμογή τους.
- Ο χειριστής πρέπει αποφύγει τους μεγάλους και αργούς έλικες καθώς τείνουν να προκαλούν περισσότερες δονήσεις. Αν και είναι πιο αποτελεσματικοί, μερικές φορές πρέπει να επιλέχθούν μικρότεροι έλικες, εάν χρειάζεται το quadcopter να πετάει χωρίς κραδασμούς.
- Βεβαιωθείτε ότι οι κινητήρες σας λειτουργούν ομαλά: να ο χειριστής χρειάζεται να προσέχει για οξείς ήχους.
- Βεβαιωθείτε ότι οι έλικες σας είναι απόλυτα συμμετρικοί με ένα εξάρτημα εξισορρόπησης έλικα.
- Η εξισορρόπηση των κινητήρων είναι επίσης σημαντική. Βεβαιωθείτε ότι είναι καλά ισορροπημένοι. Η εναλλακτική λύση είναι να αγοράσουν κινητήρες που έχουν ήδη εξισορροπηθεί στο εργοστάσιο.



Εικόνα 3: Το άνοιγμα των βραχίωνων του quadcopter

1.3.3 Ο ρόλος του μεγέθους

Το μέγεθος καθορίζεται από το άνοιγμα των βραχίωνων, μετράται τη μια άκρη έως την άλλη για τους έλικες, συνήθως σε χιλιοστά. Ένα μικρο quadcopter έχει άνοιγμα φτερών περίπου 100 χιλιοστά, ενώ το κοινό μέγεθος για ιπτάμενα εξωτερικού χώρου κυμαίνεται στο εύρος 250 χιλιοστών με 400 χιλιοστά. Ακόμη μεγαλύτερα μεγέθη που χρησιμοποιούνται συχνά για βαρέα ωφέλιμα φορτία, όπως επαγγελματικό φωτογραφικό εξοπλισμό και αλλά αυτά συχνά παίρνουν τη μορφή hexcopter ή

octacopter. Τόσο τα μικρά όσο και τα μεγάλα μεγέθη έχουν το καθένα τα δικά τους οφέλη.

Το μικρότερο μέγεθος οφελεί διότι:

- Είναι πιο ευέλικτο
- Κατάλληλο για χρήση σε εσωτερικούς χώρους
- Μπορεί να χωρέσει μέσα από στενά ανοίγματα
- φθηνότερα εξαρτήματα (μικρότερες μπαταρίες, κινητήρες, κλπ)
- πιο ασφαλή σε περίπτωση σύγκρουσης ή ατυχήματος (μεγαλύτερα quadcopters μπορεί να προκαλέσουν σοβαρή ζημιά στους ανθρώπους ή σε περιουσία)
- λιγότερος θόρυβος

Το μεγαλύτερο μέγεθος οφελεί διότι:

- Παρέχει αυξημένη σταθερότητα σε συνθήκες ανέμου
- Κατάλληλο για χρήση σε εξωτερικούς χώρους
- Μπορούν να προσαρμοστούν μεγαλύτεροι κινητήρες και έλικες
- Ανύψωση βαρύτερου ωφέλιμου φορτίου

1.4 Ο Ελεγκτής πτήσης

Ο ελεγκτής πτήσης είναι μία πλακέτα κυκλώματος που διαβάζει τους αισθητήρες δεδομένων και τις εντολές του χρήστη, για να κάνει την προσαρμογή της ταχύτητας του κινητήρα, προκειμένου να κρατήσει το quadcopter ισορροπημένο και υπό έλεγχο. Όλα οι σύγχρονοι ελεγκτές πτήσης των multicopter έχουν γυροσκόπιο (Gyro) και επιταχυνσιόμετρο (ACC), κάποιοι πιο προηγμένοι ελεγκτές πτήσης έχουν ακόμη και Βαρόμετρο (αισθητήρες βαρομετρικής πίεσης), μαγνητόμετρο (πυξίδα) και το GPS. Κάθε αισθητήρας είναι χρήσιμος σε κάποιον τομέα, για παράδειγμα, το γυρο-σκόπιο είναι για τον προσανατολισμό, το βαρόμετρο είναι για την καταγραφή του υψόμετρου, ενώ το GPS μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την λειτουργία αυτόματου πιλότου ή ως δικλείδα ασφάλειας σε αστοχία.

Ενώ πολλοί ελεγκτές πτήσης έχουν παρόμοιο υλισμικό ή αισθητήρες, έχουν πολύ διαφορετικό λογισμικό και αλγόριθμο υπολογισμού, το οποίο οδηγεί σε διαφορετικά χαρακτηριστικά πτήσης, και διαφορετική διεπαφή χρήστη. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το ίδιο quadcopter πετάει και συμπεριφέρεται διαφορετικά με κάθε διαφορετικό ελεγκτή πτήσης που έχει εγκατασταθεί.

Υπάρχουν πολλοί ελεγκτές πτήσης διαθέσιμοι αυτή τη στιγμή στην αγορά. Μερικοί από αυτού είναι πιο ακριβοί, ενώ μερικοί είναι περιεκτικότεροι σε λειτουργικότητα. Μερικοί έχουν υπάρχουν εδώ και ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, ενώ μερικοί είναι απλά φθηνότερες εκδόσεις ήδη προυπάρχοντων.

Ένας χειρηστής χρειάζεται ένα καλό ελεγκτή πτήσης, αλλά μία ομάδα ελεγκτών δεν είναι πάντα καλύτερη από μια άλλη. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το είδος της πτήσης που σκοπεύει ο χρήστης να πραγματοποιήσει και με τι είδους είναι το multicopter. Για παράδειγμα, ορισμένοι ελεγκτές πτήσης είναι πιο εύκολοι στην εγκατάσταση, κάποιοι είναι καλύτεροι με μικρότερα μέγεθη αεροσκάφων, ενώ κάποια μπορεί να έχουν ενσωματωμένο το GPS και κάποια άλλοι όχι.

Επίσης, υπάρχουν πολλοί κλώνοι στην αγορά, που μπορεί να φαίνεται ότι είναι παρόμοιοι και φθηνότεροι, λόγω των χαμηλής ποιότητας υλικών που χρησιμοποιούν. Εάν χρησιμοποιείται ένας μη αξιόπιστος ελεγκτής πτήσης θέτει ολόκληρο το quadcopter σε κίνδυνο.

1.4.1 Τρόποι Πτήσης

Πριν εξετάσει κάποιος τους ελεγκτές πτήσης θα πρέπει να γνωρίζει ότι υπάρχουν τρία διαφορετικά στυλ πτήσης και οι περισσότεροι ελεγκτές πτήσης είναι πραγματικά αποδοτικοί μόνο σε ένα συγκεκριμένο στυλ. Όταν αγοράζουμε ένα ελεγκτή πτήσης, θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι πρώτα έχουμε κατανοήσει τι είδους πτήσης πρόκειται να πραγματοποιήσουμε ως επί το πλείστον, και στη συνέχεια να αποφασίσουμε για κάποιον συγκεκριμένο.

- Κινηματογραφική πτήση

Ο πρώτος και ο πιο διαδεμένος τρόπος πτήσης στις μέρες μας ονομάζεται «Κινηματογραφική πτήση». Κινηματογραφική πτήση είναι όταν η πτήση πραγματοποιείται ειδικά για την παραγωγή όσο το δυνατόν ομαλότερου βίντεο. Αυτός ο τύπος πτήσης συνήθως απαιτεί έναν ελεγκτή με πολύ ομαλά χαρακτηριστικά πτήσης και τα πολλές μικρές βαθμίδες στο μοχλό ελέγχου (για πραγματοποίηση αργών ελιγμών).

- Αυτόνομη πτήση

Ο δεύτερος τρόπος πτήσης ονομάζεται «αυτόνομη πτήση». Αυτόνομη πτήση είναι προφανώς όταν ένα μοντέλο πετάει χωρίς να χρειάζεται να επιβληθεί οποιοσδήποτε έλεγχος. Εάν χρειάζεται να πραγματοποιήσουμε πολλές αυτόνομες πτήσεις, είναι σημαντικό να έχουμε έναν ελεγκτή πτήσης που διαθέτει χαρακτηριστικά όπως αυτόματη απογείωση και προσγείωση, σημείο αναφοράς και δυνατότητα τηλεμετρίας. Θα πρέπει επίσης να έχουν το firmware ανοικτού κώδικα, έτσι ώστε να μπορούμε αργότερα να προσθέσουμε ή να βελτιώσουμε τα χαρακτηριστικά του.

- Ανταγωνιστική Πτήση

Ο τρίτος και πιο «διασκεδαστικός» τρόπος πτήσης ονομάζεται "ανταγωνιστική πτήση". Ανταγωνιστική πτήση είναι όταν πετάς πολύ γρήγορα και πραγματοποιείς επιθετικούς αλλά παράλληλα και ακριβείς ελιγμούς για διασκέδαση ή για να ανταγωνιστείς άλλο χειριστή. Οποιοσδήποτε καλός ελεγκτής πτήσης για ανταγωνιστική πτήση θα πρέπει να είναι σε θέση να ανακάμψει από πολύ γρήγορους πλάγιους ελιγμούς, να διατηρήσει οποιαδήποτε γωνία όρισουμε το quadcopter να πετάξει (ανεξάρτητα από το πόσο γρήγορα ή προς ποια κατεύθυνση κινείται) και θα πρέπει να είναι πλήρως συντονισίμος. Επίσης, δεν θα πρέπει να κοστίζει πολλά χρήματα,

δεδομένου ότι είναι πιθανό ότι θα μπορούσε να σπάσει από τη συχνή συντριβή.

1.4.2 Επιλογή του κατάλληλου ελεγκτή πτήσης

Γνωρίζοντας το τρόπο πτήσης που θέλει ο χρήστης να ακολουθήσει το quadcopter το οποίο κατέχει, συνήθως επιλέγει τον ελεγκτή πτήσης με κριτήριο τις πτητικές δυνατότητες του σε σχέση με το κόστος του. Οι βασικότερες πτητικές δυνατότητες που έχουν ως επί το πλείστον οι ελεγκτές πτήσεις είναι οι εξής :

- Γυροσκοπική Σταθεροποίηση : Η ικανότητα να κρατηθεί εύκολα σταθερό quadcopter υπό τον έλεγχο του χειριστή. Αυτό είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα όλων των ελεγκτών πτήσης.
- Αυτο-σταθεροποίηση : Η ικανότητα ο χειριστής να αφήσει τα πλήκτρα του πομπού και να διατηρηθεί το quadcopter σταθερό.
- Ελεύθερο ελέγχου : Ο χειριστής να μπορεί να ελέγξει το quadcopter σαν να είναι στραμμένο προς την αρχική του κατεύθυνση, όσο ο προσανατολισμός του ελικόπτερου αλλάζει.
- Διατήρηση υψομέτρου : Η ικανότητα να αιωρείται σε μια ορισμένη απόσταση από το έδαφος, χωρίς να χρειάζεται ο χειριστής να ρυθμίσει χειροκίνητα την ώθηση.
- Διατήρηση θέσης : Η ικανότητα να αιωρείται σε μια συγκεκριμένη θέση.
- Επιστροφή Αρχική θέση : Η ικανότητα να επιστρέφει αυτόματα στο σημείο όπου το quadcopter αρχικά απογειώθηκε.
- Πλοήγηση μέσω σημείων : Η δυνατότητα να οριστούν συγκεκριμένα σημεία στο χάρτη του quadcopter τα οποία θα ακολουθήσει ως μέρος ενός σχεδίου πτήσης.

Ακολουθούν δύο πίνακες με τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους συγχρονους ηλεκτές πτήσης.

Πίνακας 1: Ελεγκτές πτήσης και Ιδιότητες Α

Πλακέτα	Ανοιχτού κώδικα	Σταθεροποίηση Γυροσκοπίου	Αυτόματη Σταθεροποίηση	Ελεύθερο-ελέγχου
AeroQuad 32	Ναι	Ναι	Ναι	-
ArduCopter (APM 2.5)	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
AutoQuad v6.6	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
Crius All In One PRO	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
Crius MultiWii Lite	Ναι	Ναι	Ναι	-
Crius MultiWii SE	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
DJI Naza	-	Ναι	Ναι	Πρόσθετο
DJI Wookong	-	Ναι	Ναι	Ναι
Free Flight	-	Ναι	Ναι	-
FY-30A	-	Ναι	Ναι	-
Gauji GU-344	-	Ναι	-	-
Hobbyking KK2.0	Ναι	Ναι	Ναι	-
HoverflyPRO	-	Ναι	Ναι	Πρόσθετο
HoverflySPORT	-	Ναι	-	-
KKMulticopter	Ναι	Ναι	-	-
MikroKopter Flight-Ctrl	-	Ναι	Ναι	Πρόσθετο
MultiWii PRO / MTK GPS	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
MultiWii PRO 2.0 / MTK GPS	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
OpenPilot CC3D	Ναι	Ναι	Ναι	-
Paris MultiwiiCopter	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
Quadрино ZoomFlight	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
Rabbit	-	Ναι	Ναι	Ναι
SmartAP Autopilot	-	Ναι	Ναι	Ναι
TMF Pro FH-X46 AQ50	-	Ναι	Ναι	-
UAVP/UAVX	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
XAircraft FC1212-P	-	Ναι	Πρόσθετο	Πρόσθετο
Zero UAV YS-X6	-	Ναι	Ναι	-
3DR Pixhawk	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι

Πίνακας 2: Ελεγκτές πτήσης και Ιδιότητες Β

Πλακέτα	Διατήρηση Υψόμετρου	Διατήρηση Θέσης	Επιστροφή στην Αρχική θέση	Πλοήγηση με σημεία	Τιμή
AeroQuad 32	Ναι	Πρόσθετο	Πρόσθετο	Πρόσθετο	Μέτρια
ArduCopter (APM 2.5)	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Μέτρια
AutoQuad v6.6	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Υψηλή
Crius All In One PRO	Ναι	Πρόσθετο	Πρόσθετο	Πρόσθετο	Χαμηλή
Crius MultiWii Lite	-	-	-	-	Χαμηλή
Crius MultiWii SE	Ναι	-	-	-	Χαμηλή
DJI Naza	Ναι	Πρόσθετο	Πρόσθετο	-	Μέτρια
DJI Wookong	Ναι	Ναι	Ναι	Πρόσθετο	Υψηλή
Free Flight	-	-	-	-	Χαμηλή
FY-30A	-	-	-	-	Μέτρια
Gauji GU-344	-	-	-	-	Μέτρια
Hobbyking KK2.0	-	-	-	-	Χαμηλή
HoverflyPRO	Ναι	Πρόσθετο	Πρόσθετο	Πρόσθετο	Υψηλή
HoverflySPORT	Πρόσθετο	-	-	-	Μέτρια
KKMulticopter	-	-	-	-	Χαμηλή
MikroKopter Flight-Ctrl	Ναι	Πρόσθετο	Πρόσθετο	Πρόσθετο	Υψηλή
MultiWii PRO / MTK GPS	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Χαμηλή
MultiWii PRO 2.0 / MTK GPS	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Χαμηλή
OpenPilot CC3D	-	-	-	-	Χαμηλή
Paris MultiwiiCopter	Ναι	Πρόσθετο	Πρόσθετο	Πρόσθετο	Μέτρια
Quadriino ZoomFlight	Ναι	-	-	-	Μέτρια
Rabbit	Πρόσθετο	Πρόσθετο	Πρόσθετο		Χαμηλή
SmartAP Autopilot	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Υψηλή
TMF Pro FH-X46 AQ50	-	-	-	-	Μέτρια
UAVP/UAVX	Ναι	Ναι	Πρόσθετο	Πρόσθετο	Χαμηλή
XAircraft FC1212-P	Πρόσθετο	Πρόσθετο	Πρόσθετο	-	Μέτρια
Zero UAV YS-X6	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Υψηλή
3DR Pixhawk	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Υψηλή

1.5 Ηλεκτρονικός Ελέγκτης Ταχύτητας

Ο Ηλεκτρονικός Ελέγκτης Ταχύτητας (Electronic Speed Controller ή ESC) είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που χρησιμοποιείται για να μεταβάλλει την ταχύτητα και την κατεύθυνση ενός ηλεκτρικού κινητήρα ενώ ενεργεί ως δυναμικό φρένο). Οι ESC συχνά χρησιμοποιούνται σε ηλεκτροκίνητα τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα, για κινητήρες τύπου brushless παρέχοντας ένα ηλεκτρονικά παραγόμενο τριφασικό ρεύμα, χαμηλής τάσης και ισχύος για τον κινητήρα.

Ένα ESC μπορεί να είναι μια αυτόνομη μονάδα η οποία συνδέεται στο κανάλι ελέγχου της ισχύος του κινητήρα (throttle ή «γκάζι») ή μπορεί να ενσωματωθεί στον δέκτη, κάτι που πραγματοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις χρήσης σε τηλεκατευθυνόμενα παιχνίδια. Μάλιστα ορισμένοι κατασκευαστές τηλεκατευθόμενων οχημάτων συνδυάζουν και τα δύο κυκλώματα (του ESC και του δέκτη) σε μία πλακέτα κυκλώματος.

1.5.1 Λειτουργία

Ανεξάρτητα από τον τύπο που χρησιμοποιείται, ο ESC ερμηνεύει πληροφορίες ελέγχου όχι ως μηχανική κίνηση, όπως θα γίνονταν στην περίπτωση ενός σέρβο-κινητήρα, αλλά με έναν τρόπο που μεταβάλλει τον ρυθμό μεταγωγής του δικτύου των τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (Field Effect Transistors ή FETs). Η ταχεία μεταγωγή των τρανζίστορ είναι αυτό που προκαλεί στον κινητήρα την εκπομπή του χαρακτηριστικού υψίσυχνου ήχου του, ο οποίος είναι ιδιαίτερα αισθητός σε χαμηλότερες ταχύτητες. Επιτρέπει επίσης πολύ ομαλότερη και πιο ακριβή μεταβολή της ταχύτητας του κινητήρα με πολύ πιο αποτελεσματικό τρόπο από τον παλαιότερο περισσότερο δημοφιλή μηχανικού τύπου που λειτουργούσε με ένα ωμικό πηνίο και έναν κινούμενο βραχίονα.

Τα περισσότερα σύγχρονα ESC έχουν ενσωματωμένο ένα κύκλωμα περιορισμού μπαταρίας (battery eliminator circuit ή BEC) για να ρυθμίζει την τάση για το δέκτη, καταργώντας έτσι, την ανάγκη για σύνδεση ξεχωριστων τις μπαταριών στον δέκτη. Τα BECs είναι συνήθως είτε γραμμικοί είτε εναλλασσόμενοι ρυθμιστές τάσης.

Οι ESC συνεχούς ρεύματος είναι με την ευρύτερη έννοια ελεγκτές διαμόρφωσης εύρους παλμών (Pulse Width Modulation ή PWM) για ηλεκτρικούς κινητήρες. Ο ESC δέχεται μια ονομαστική τιμή εισόδου της τάξης των 50 Hz .

Όταν του εισάγεται παλμός στα 50 Hz με πλάτος 1 ms, ο ESC ανταποκρίνεται με την απενεργοποίηση του κινητήρα σταθερού ρεύματος που βρίσκεται στην έξοδο του. Ένα σήμα εισόδου με πλάτος παλμού 1,5 ms κινεί τον κινητήρα με περίπου μισή ταχύτητα. Όταν εισάγεται 2,0 ms σήμα εισόδου, ο κινητήρας λειτουργεί σε πλήρη ταχύτητα.

1.5.2 Ηλεκτρονικός Ελέγκτής Ταχύτητας τύπου Brushless

Το σύστημα των ESC για κινητήρες τύπου brushed είναι πολύ διαφορετικό σε σχεδιασμό (αρχιτεκτονική) με αποτέλεσμα οι ESC τύπου brushed να μην είναι συμβατοί με κινητήρες τύπου brushless. Οι ESC τύπου Brushless περιστρέφουν τους τριφασικούς κινητήρες τύπου brushless με την αποστολή μιας ακολουθίας σημάτων. Οι κινητήρες τύπου Brushless ονομάζονται επίσης και «outrunners» ή «inrunners» και είναι αρκετά δημοφιλείς στην χρήση σε τηλεκατευθυνόμενα αεροπλάνα από χομπίστες, λόγω της απόδοσης, της δύναμης, της μακροζωίας και του μικρού βάρους τους σε σύγκριση με τους κινητήρες τύπου brushed. Ωστόσο, οι εναλλασσόμενου ρεύματος τύπου brushless ESC κινητήρες είναι πολύ πιο περίπλοκοι από τους τύπου brushed ESC κινητήρων.

Η σωστή φάση μεταβάλλεται με την περιστροφή του κινητήρα, η οποία πρέπει να υπολογίζεται από τον ESC. Συνήθως αντι-ηλεκτρεγερτική δύναμη (back EMF) χρησιμοποιείται από τον κινητήρα για να ανιχνεύσει αυτήν την περιστροφή, ενώ υπάρχουν και διάφορες εναλλακτικές που χρησιμοποιούν μαγνητικούς ή οπτικούς ανιχνευτές. Τα ESC που προγραμματίζονται με υπολογιστή, έχουν γενικά καθοριζόμενες από τον χρήστη επιλογές που επιτρέπουν την ρύθμιση χαμηλών ορίων τάσης, συγχρονισμού /χρονομέτρησης (timing), επιτάχυνσης, φρεναρίσματος και κατεύθυνσης της περιστροφής. Η αντιστροφή της κατεύθυνσης του κινητήρα μπορεί επίσης να επιτευχθεί με την αλλαγή οποιονδήποτε δύο καλωδίων από τα τρία του ESC που καταλήγουν στον κινητήρα.

1.5.3 Κατηγοριοποίηση

Οι ESC κανονικά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το υψηλότερο ρεύμα που μπορούν να δεχθούν, όπως για παράδειγμα τα 25 A. Γενικά όσο υψηλότερο είναι το

μέγιστο όριο τους, τόσο μεγαλύτεροι και βαρύτεροι τείνουν να είναι κάτι που παίζει ρόλο στον υπολογισμό της μάζας και την ζυγοστάθμιση σε ιπτάμενα οχήματα. Πολλά σύγχρονα ESC υποστηρίζουν μπαταρίες τύπου nickel metal hydride(Υδριδίου νικελίου-μετάλλου), lithium ion polymer(πολυμερούς ιόντων λιθίου) and lithium iron phosphate(φωσφορικού σιδήρου λιθίου) με ποικίλες τάσεις εισόδου και τάσεις κατωφλίου. Ο τύπος και τα κελία της μπαταρίας που είναι συνδεδεμένη διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή του κύκλωματος περιορισμού μπαταρίας (BEC) είτε αυτό είναι ενσωματωμένο στο ESC είτε είναι αυτόνομη μονάδα. Όσο υψηλότερος είναι αριθμός κελιών που έχουν συνδεθεί θα οδηγήσει σε τόσο μειωμένη ονομαστική ισχύ και επομένως χαμηλότερο αριθμό σέρβο που υποστηρίζονται από ένα ολοκληρωμένο BEC, εάν χρησιμοποιεί έναν γραμμικό ρυθμιστή τάσης. Ένα καλά σχεδιασμένο BEC χρησιμοποιώντας ένα ρυθμιστή μεταγωγής δεν θα πρέπει να έχει παρόμοιο περιορισμό.

1.5.4 Το υλικολογισμικό (firmware) των ESC

Τα περισσότερα σύγχρονα ESC περιέχουν ένα μικροελεγκτή που αναγνωρίζει το σήμα εισόδου και ανάλογα με αυτό ελέγχει τον κινητήρα χρησιμοποιώντας ένα ενσωματωμένο πρόγραμμα, ή υλικολογισμικό. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν να αλλάχθει το εργοστάσιακα ενσωματωμένο υλικολογισμικό με κάποιο άλλο υλικολογισμικό που έχει διατεθεί στο κοινό. Αυτό γίνεται για την προσαρμογή του εκάστοτε ESC στην συγκεκριμένη εφαρμογή που αυτό χρησιμοποιείται. Ορισμένα ESC έχουν εργοστασιακή ρύθμιση με δυνατότητα αναβάθμισης του υλικολογισμικού. Άλλοι απαιτούν συγκόλληση για να συνδεθούν με έναν προγραμματιστή.

1.5.5 Εφαρμογή στα Quadcopters

Οι Ηλεκτρονικοί Ελεγκτές ταχύτητας αποτελούν βασικά εξαρτήματα των σύγχρονων Quadcopters (και όλων των multirotors) προσφέροντας υψηλής ισχύς, υψηλή συχνότητα, υψηλής ανάλυσης εναλλασσόμενο ρεύματος 3 φάσεων στους κινητήρες σε μια εξαιρετικά συμπαγή μικρογραφία πακέτου. Τα αεροσκάφη αυτά εξαρτώνται εξ ολοκλήρου από την μεταβολή της ταχύτητας των κινητήρων που

κινούν τους έλικες. Αυτή η ευρεία διακύμανση και ο λεπτεπιλεπτος έλεγχος στροφών του ηλεκτροκινητήρα και των ελίκων αποδίδουν το απαραίτητο μέτρο ελέγχου που είναι χρειάζεται το Quadcopter (και κατ' επέκταση όλα τα multirotors) για να πετάξει.

Το ύψος καθορίζεται από την ποσότητα της δύναμης και στους τέσσερις κινητήρες. Η κίνηση προς τα εμπρός επιτυγχάνεται με την οδήγηση των πρυμναίων (πίσω μέρους) ελίκων ταχύτερα από τους εμπρόσθιους έλικες. Η πλάγια κίνηση (Yaw) επιτυγχάνεται με τη περιστροφή των αριστερών ή δεξιών ελίκων γρηγορότερα. Η στροφή αριστερά και δεξιά επιτυγχάνονται και πάλι από την επιβράδυνση ή την επιτάχυνση επιμέρων κινητήρων. Αυτός ο έλεγχος εξαρτάται από το γεγονός ότι δύο από τους ρότορες περιστρέφονται δεξιοστροφα, ενώ οι άλλοι δύο είναι αντίθετης φοράς έτσι ώστε επιβραδύνοντας ή επιταχύνοντας επιμέρους κινητήρες (και έλικες) θα παράγει, και πάλι, μια αλλαγή στη στάση του αεροσκάφους.

1.6 Κινητήρες

Οι Σερβοκινητήρες Συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη (Brushless DC electric motor ή BLDC motors ή BL motors)(θα αναφερόμαστε σε αυτούς ως κινητήρες τύπου Brushless) επίσης γνωστοί και ως κινητήρες ηλεκτρονικής μεταγωγής (electronically commutated motors ή ECMs ή EC κινητήρες) είναι σύγχρονοι κινητήρες που τροφοδοτούνται από μια ηλεκτρική πηγή συνεχούς ρεύματος μέσω ενός ενσωματωμένου τροφοδοτικού που είναι μετατροπέας / μεταγωγέας, το οποίο επίσης παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα εναλλασσόμενου ρεύματος για την οδήγηση του κινητήρα. Αναφερόμενοι στο εναλλασσόμενο ρεύμα δεν συνεπάγεται ότι αυτό έχει μια ημιτονοειδή κυματομορφή , αλλά ότι το ρεύμα είναι αμφίδρομο(bi-directional current) χωρίς περιορισμούς στην κυματομορφή. Πρόσθετοι αισθητήρες και τα ηλεκτρονικά συστήματα ρυθμίζουν το εύρος εξόδου του μετατροπέα, της κυματομορφής (και ως εκ τούτου το ποσοστό τοις εκατό της απόδοσης και της χρήσης του διαύλου συνεχούς ρεύματος) και της συχνότητας (όπως π.χ. ταχύτητα του ρότορα).

Το τμήμα του ρότορα ενός κινητήρα τύπου Brushless είναι συχνά ένας σύγχρονος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη, αλλά μπορεί επίσης να είναι ένας μαγνητικός κινητήρας ή ένας επαγωγικός κινητήρας .

Οι κινητήρες τύπου Brushless μπορούν να περιγραφούν ως βηματικοί. Ωστόσο, ο όρος «βηματικός κινητήρας» τείνει να χρησιμοποιείται για κινητήρες που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να λειτουργούν σε κατάσταση λειτουργίας όπου συχνά το στροφείο σταματά σε μια καθορισμένη γωνιακή θέση.

Δύο βασικές παράμετροι απόδοσης του κινητήρα τύπου Brushless είναι οι σταθερές κινητήρα K_v (σταθερά ταχύτητας κινητήρα) και K_m (σταθερά μεγέθους κινητήρα).

1.6.1 Υλοποιήσεις ελεγκτή

Επειδή ο ελεγκτής πρέπει να κατευθύνει την περιστροφή του ρότορα, απαιτεί κάποια μέσα για τον προσδιορισμό του προσανατολισμού και της θέσης του ρότορα (σε σχέση με τα στατικά πηνία). Μερικά μοντέλα χρησιμοποιούν αισθητήρες φαινομένου Hall ή περιστροφικούς κωδικοποιητές για τον απευθείας προσδιορισμό θέσης του δρομέα. Άλλα μοντέλα μετρούν την αντι-ηλεκτρεγερτική δύναμη (back EMF δηλαδή την τάση που ωθεί ενάντια στο ρεύμα που την προκαλεί) στα ενεργοποιημένα πηνία για να συμπεράνουν τη θέση του ρότορα, εξαλείφοντας την ανάγκη για ξεχωριστούς αισθητήρες φαινομένου Hall, και ως εκ τούτου ονομάζονται «ελεγκτές χωρίς σένσορα».

Σε ένα κινητήρα τύπου Brushless, τα δύο πηνία ενεργοποιούνται κάθε φορά με ίσες και αντίθετες πολικότητες, με το ένα να ωθεί το δρομέα μακριά από αυτό, ενώ το άλλο να τον προσέλκει τον ρότορα προς την κατεύθυνση του. Αυτό αυξάνει τη συνολική ικανότητα ροπής που παράγει ο κινητήρας και οι αισθητήρες του φαινομένου Hall ή ένας περιστροφικός κωδικοποιητής καθορίζει ποια δύο πηνία θα πρέπει να ενεργοποιηθούν για την επίτευξη αυτής του τρόπου λειτουργίας.

Ένας τυπικός ελεγκτής περιέχει 3 αμφίδρομες εξόδους (δηλαδή τριφασική εξόδος ελεγχόμενης συχνότητας), οι οποίες ελέγχονται από ένα λογικό κύκλωμα. Απλοί ελεγκτές χρησιμοποιούν σύγκριτες για να καθορίσουν πότε πρέπει να λάβει μέρος η φάση εξόδου, ενώ πιο προηγμένοι ελεγκτές χρησιμοποιούν έναν μικροελεγκτή για να διαχειριστεί όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά γίνεται την επιτάχυνση, την ταχύτητα και την αποδοτικότητα.

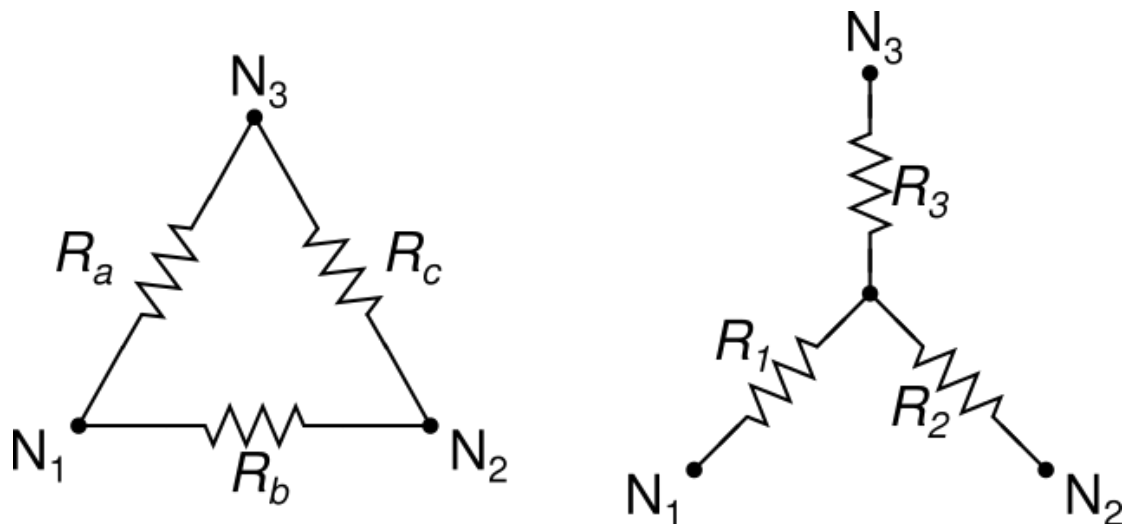
Ελεγκτές που ανιχνεύουν τη θέση του δρομέα που βασίζονται στην αντι-ηλεκτρεγερτική δύναμη έχουν επιπλέον δυσκολίες στην έναρξη της κίνησης, επειδή

δεν παράγεται αντι-ηλεκτρεγερτική δύναμη όταν το στροφέιο είναι στάσιμο. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με την περιστροφή να ξεκινάει από μια αυθαίρετη φάση και κατόπιν να μεταπηδάει στη σωστή φάση, εφόσον αυτή έχει βρεθεί να είναι λάθος. Αυτό μπορεί να προκαλέσει τον κινητήρα να μετακινηθεί για λίγο προς τα πίσω, προσθέτοντας ακόμα μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στη διαδικασία εκκίνησης. Άλλοι ελεγκτές χωρίς αισθητήρες έχουν την ικανότητα να μετράνε τον κορεσμό των περιελίξεων(δηλαδή το πόσο δυνατό είναι το μαγνητικό πεδίο τους) που προκαλείται από την θέση των μαγνητών για να συμπεράνουν τη θέση του δρομέα.

1.6.2 Παραλλαγές στον τομέα των κατασκευών

Οι κινητήρες τύπου Brushless μπορούν να κατασκευαστούν σε αρκετές διαφορετικές υλικές διαμορφώσεις: Στη «συμβατική» (επίσης γνωστή και ως inrunner) διαμόρφωση, οι μόνιμοι μαγνήτες είναι μέρος του ρότορα. Τρεις στατικές περιελίξεις περιβάλλουν το ρότορα. Στη διαμόρφωση τύπου outrunner (ή εξωτερικού ρότορα), η αρχιτεκτονική σχέση μεταξύ των πηνίων και μαγνητών είναι η αντίστροφη: τα στατικά πηνία σχηματίζουν το κέντρο (τον πυρήνα) του κινητήρα, ενώ οι μόνιμοι μαγνήτες περιστρέφονται μέσα σε ένα προεξέχοντα στροφέα που περιβάλλει τον πυρήνα. Η επίπεδη ή αξονική τύπου ροή, που χρησιμοποιείται όπου υπάρχουν περιορισμοί χώρου ή σχήματος, χρησιμοποιεί πλάκες στάτορα και ρότορα, τοποθετημένες παράλληλα με την μια να αντικριστά στην άλλη. Οι κινητήρες τύπου Outrunners έχουν συνήθως περισσότερους πόλους, που έχει συσταθεί ανά τριάδες για να διατηρήσουν τις τρεις ομάδες των περιελίξεων, και έχουν μεγαλύτερη ροπή στις χαμηλές στροφές. Σε όλους τους κινητήρες τύπου Brushless, τα πηνία είναι σταθερά.

Υπάρχουν δύο κοινές ηλεκτρικές διαμορφώσεις περιέλιξης η διαμόρφωση δέλτα που συνδέει τρεις περιελίξεις μεταξύ τους (το κυκλώματα είναι σε σειρά) σε ένα κύκλωμα που μοιάζει με τρίγωνο, όπου η ενέργεια διοχετεύεται σε κάθε μία από τις συνδέσεις. Ύψιλον (σχήματος σε μορφή γράμματος Υ) διαμόρφωση, μερικές φορές χαρακτηρίζεται αστέρι περιελίξεων, συνδέοντας όλες τις περιελίξεις σε ένα κεντρικό σημείο (σχηματίζοντας παράλληλα κυκλώματα) και η ενέργεια εφαρμόζεται στην αντίθετη απόληξη της κάθε περιέλιξης.



Εικόνα 4: Παράδειγμα των Δέλτα και Ύψιλον διαμορφώσεων περιέλιξης.

Ένας κινητήρας με περιέλιξη σε διάταξη τριγώνου(Δέλτα) δίνει χαμηλή ροπή στις χαμηλές στροφές, αλλά μπορεί να δώσει υψηλότερη τελική ταχύτητα. Αντιθέτως ή διαμόρφωση Ύψιλον δίνει υψηλή ροπή στις χαμηλές στροφές, αλλά όχι τό ίδιο υψηλή τελική ταχύτητα.

Μολονότι η αποτελεσματικότητα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την κατασκευή του κινητήρα, η περιέλιξη Ύψιλον είναι συνήθως πιο αποτελεσματική. Σε περιελίξεις συνδεδεμένες με διαμόρφωση δέλτα , μισή τάση εφαρμόζεται μεταξύ των περιελίξεων βρίσκονται είναι προσκείμενες στο άκρο που άγεται (σε σύγκριση με τις περιελίξεις που βρίσκονται μεταξύ των επαγωγικών άκρων(driven leads), αυξάνοντας τις απώλειες αντίστασης. Επιπλέον, οι περιελίξεις μπορεί να επιτρέψουν υψηλής συχνότητας παρασιτικά ηλεκτρικά ρεύματα να άγονται εξ-ολοκλήρου εντός του κινητήρα. Μια Ύψιλον συνδεδεμένη περιέλιξη δεν περιέχει κλειστό βρόχο στο οποίο παρασιτικά ρεύματα μπορεί να ρέουν, την εμποδίζοντας τέτοιες απώλειες. Ένας ελεγκτής, αντιμετωπίζει τις δύο μορφές των περιελίξεων ακριβώς το ίδιο.

1.6.3 Έφαρμογές

Οι κινητήρες τύπου Brushless εκπληρώνουν πολλές λειτουργίες που αρχικά εκτελούνταν από κινητήρες συνεχούς ρεύματος τύπου brushed, αλλά το κόστος και η πολυπλοκότητα του ελέγχου αποτρέπει την πλήρη αντικατάσταση των κινητήρων τύπου Brushed από τους Brushless στις εφαρμογές χαμηλότερου κόστους. Παρ'όλα αυτά, οι Brushless έχουν κυριαρχούν σε πολλές εφαρμογές ιδιαίτερα συσκευών

όπως οι σκληροί δίσκοι και τα CD / DVD players. Οι μικροί ανεμιστήρες ψύξης σε ηλεκτρονικό εξοπλισμό που ανήκουν αποκλειστικά στην ομάδα των κινητήρων τύπου Brushless. Επίσης εντοπίζονται σε ασύρματα ηλεκτρικά εργαλεία, όπου η αυξημένη απόδοση του κινητήρα οδηγεί σε μεγαλύτερες περιόδους χρήσης πριν χρειαστεί η μπαταρία να φορτιστεί. Χαμηλής ταχύτητας, και χαμηλής ισχύος κινητήρες Brushless χρησιμοποιούνται στο πικάπ άμεσης οδήγησης για δίσκους γραμμοφώνου.

1.6.4 Στον Μοντελισμό

Οι κινητήρες τύπου Brushless είναι μια δημοφιλής επιλογή κινητήρα για αεροσκάφη μοντελισμού συμπεριλαμβανομένων και των ελικοπτέρων. Οι ευνοϊκές αναλογίες της ισχύος και του βάρους τους καθώς και μια μεγάλη γκάμα διαθέσιμων μεγεθών, από κάτω των 5 γραμμαρίων μέχρι μεγάλους κινητήρες ονομαστικής ισχύος πολλών κιλοβάτ στο φάσμα εξόδου, έχουν φέρει ριζοσπαστικές αλλαγές στην αγορά για τα ηλεκτρικά-τροφοδοτημένα μοντέλα πτήσης, εκτοπίζοντας στο σύνολο τους σχεδόν brushed ηλεκτρικούς κινητήρες. Έχουν επίσης ενθαρρύνει την ανάπτυξη του απλού, ελαφρού ηλεκτρικού μοντέλου αεροσκάφους, παρά το ότι οι προηγούμενοι κινητήρες εσωτερικής καύσης τροφοδοτούσαν μεγαλύτερα και βαρύτερα μοντέλα. Η μεγάλη αναλογία δύναμης προς βάρος των σύγχρονων μπαταριών και οι κινητήρες brushless επιτρέπουν στα μοντέλα να ανέβουν κατακόρυφα, αντί να ανεβαίνουν σταδιακά. Το χαμηλό επίπεδο θορύβου και η έλλειψη χάνους σε σύγκριση τους μικρούς κινητήρες εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν καύσιμο μοντελισμού είναι ακόμη ένας λόγος για τη δημοτικότητά τους.

Οι νομικοί περιορισμοί για τη χρήση της καύσης κινητήρα αεροσκαφών μοντέλο σε ορισμένες χώρες ήταν επίσης ένας λόγος για την στροφή προς τα υψηλής ισχύος ηλεκτρικά συστήματα.

1.7 Μπαταρία

Μια μπαταρία πολυμερών λιθίου (lithium polymer battery) , ή πιο σωστά μπαταρία πολυμερών ιόντων λιθίου (lithium-ion polymer battery) (εν συντομία ονομάζεται ποικιλοτρόπως και «LiPo», «LIP» , Li-poly και άλλα), είναι μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία τεχνολογίας ιόντων λιθίου σε μορφή σάκου(θύλακα). Σε αντίθεση με κυλινδρικά και πρισματικά κελιά, οι LiPos κατασκευάζονται με ένα μαλακό πακέτο ή θήκη, η οποία τις καθιστά ελαφρύτερες, αλλά και λιγότερο άκαμτες.

Η ονομασία «πολυμερές λιθίου» προκαλεί συχνά σύγχυση στους χρήστες μπαταριών επειδή μπορεί να ερμηνευθεί με δύο τρόπους. Αρχικά «πολυμερές λιθίου» χρησιμοποιήθηκε για μια αναπτυσσόμενη τεχνολογία που χρησιμοποιεί ένα πολυμερές ηλεκτρολυτών αντί για τον πιο κοινό υγρό ηλεκτρολύτη. Το αποτέλεσμα είναι ένα «πλαστικό» κελί, το οποίο θεωρητικά θα μπορούσε να είναι λεπτό, εύκαμπτο, και να κατασκευάζεται σε διάφορα σχήματα, χωρίς κίνδυνο διαρροής του ηλεκτρολύτη. Οι εν λόγω μπαταρίες είναι διαθέσιμες αν και η τεχνολογία τους δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως για να διατεθεί στο εμπόριο, καθώς η έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη.

Το όνομα "πολυμερές λιθίου" (LiPo) είναι πιο διαδεδομένη μεταξύ των χρηστών τηλεκατευθυνόμενων μοντέλων, και μπορεί να αναφέρεται σε ένα μοναδικό κελί ή μια μπαταρία με κελιά συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα.

Η δεύτερη, πιο ευρεία της έννοια χρησιμοποιείται από το ευρύ κοινό, ενώ η πρώτη έννοια όπως γίνεται αντιληπτό, χρησιμοποιείται στον τομέα της έρευνας και της ακαδημαϊκής κοινότητας.

Τα κελιά LiPo ακολουθούν την ιστορία των κελιών ιόντων λιθίου και μετάλλου λιθίου το οποίο ήταν αντικείμενο σημαντικής έρευνας κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, αγγίζοντας ένα σημαντικό ορόσημο με τον πρώτο εμπορικό κυλινδρικό κελί Li-ion της Sony το 1991. Μετά από αυτό, άλλες τεχνικές συσκευασίας αναπτύχθηκαν, συμπεριλαμβανομένης της μορφής θήκης που τώρα ονομάζεται επίσης «LiPo».

1.7.1 Προέλευση σχεδιασμού και ορολογία

Το αρχικό είδος κελιού που ονομάζεται "πολυμερές λιθίου" έχει εξελιχθεί τεχνολογικά από μπαταρίες ιόντων-λιθίου και μετάλλου-λιθίου. Η κύρια διαφορά είναι

ότι αντί να χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρολύτη λιθίου άλατος (όπως ο LiPF₆) που περιέχεται σε έναν οργανικό διαλύτη (όπως EK / DMC / DEC), η μπαταρία χρησιμοποιεί ένα στερεό πολυμερή ηλεκτρολύτη (solid polymer electrolyte ή SPE) όπως πολυ(οξειδίο του αιθυλενίου) (PEO), πολυ-(ακρυλονιτρίλιο) (PAN), πολυ-(μεθακρυλικό μεθύλιο) (PMMA) ή πολυ-(βινυλιδανοφθορίδιο) (PVDF).

Ο στερεός ηλεκτρολύτης μπορεί να χαρακτηριστεί συνήθως ως ένας από τους τρεις τύπους: ξηρός SPE, πηκτωματοποιημένο(gelled) SPE και πορώδης SPE. Ο ξηρός SPE ήταν ο πρώτος που χρησιμοποιήθηκε σε πρωτότυπο μπαταρίας, γύρω στο 1978 από τον Michel Armand. Από το 1990 πολλές οργανώσεις όπως η "Mead and Valence" στις Ηνωμένες Πολιτείες και η "GS Yuasa" στην Ιαπωνία ανέπτυξαν τις μπαταρίες χρησιμοποιώντας πηκτωματοποιημένο SPE. Το 1996, το Bellcore στις Ηνωμένες Πολιτείες ανακοίνωσε την δημιουργία μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας κελιών πολυ-μερών λιθίου με τη χρήση πορωδών SPE, αλλά χωρίς αυτή να έχει επιτυχία στον τομέα του εμπορίου.

Παράλληλα με την ανάπτυξη αυτών των μπαταριών «πολυμερών ηλεκτρολυτών», ο όρος "πολυμερές λιθίου" άρχισε να χρησιμοποιείται και για τα κελιά υγρού ηλεκτρολύτη Li-ion σε μορφή σάκου(θύλακα). Αυτές οι μπαταρίες άρχισαν να διατίθενται στα καταναλωτικό κοινό γύρω στο 1995, με τελικά να γίνονται γνωστές ως «LiPo» για ορισμένες εφαρμογές.

Η σύγχυση στα ονόματα μπορεί να προκύψει από την κατασκευή του βασικού κελιού ιόντων λιθίου. Ένα τυπικό κελί έχει τέσσερα κύρια συστατικά στοιχεία: ένα θετικό ηλεκτρόδιο, ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο, ένα διαχωριστή και τον ηλεκτρολύτη. Ο ίδιος ο διαχωριστής μπορεί να είναι ένα πολυμερές, όπως ένα μικροπορώδες φιλμ πολυαιθυλενίου (polyethylene ή PE) ή πολυπροπυλενίου (polypropylene ή PP). Έτσι, ακόμα και όταν το κελί έχει ένα υγρό ηλεκτρολύτη, θα εξακολουθεί να περιέχει ένα "πολυμερές" συστατικό στοιχείο. Επιπρόσθετα, το θετικό ηλεκτρόδιο μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω σε τρία μέρη: το μέταλλο μετάβασης λιθίου-οξειδίου (όπως το LiCoO₂ ή το LiMn₂O₄), ένα αγώγιμο πρόσθετο, και ένα πολυμερές συνδετικό υλικό του πολυ (βινυλιδανοφθορίδιο) ((poly(vinylidene fluoride) ή PVDF)). Το αρνητικό ηλεκτρόδιο υλικό μπορεί επίσης να έχει τα ίδια τρία μέρη, μόνο με τον άνθρακα να αντικαθιστά το μέταλλο λιθίου-οξειδίου.

Ως εκ τούτου, ακόμη και αν ένα γυμνό, ημιτελή κελί στερείται πολυμερή διαχωριστή, ή οποιοδήποτε υγρό ή στερεό ηλεκτρολύτη, μπορεί να εξακολουθεί να έχει ένα "πολυμερές" συστατικό στα ενεργά υλικά των ηλεκτροδίων. Αυτό το

πολυμερές, όμως, είναι μόνο ένα μικρό κλάσμα, τυπικά λιγότερο από 5% κατά βάρος, και δεν συμμετέχει στις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις, αλλά είναι χρήσιμο μόνο για τη σύνδεση των ενεργών σωματιδίων μαζί για να διατηρηθεί η θετική αγωγιμότητα, και να βοηθήσει να προσκολληθεί το μείγμα πολτού καλά στις ταινίες χαλκού και αλουμινίου που συνθέτουν τις συλλέκτες ρεύματος του κελιού της μπαταρίας.

1.7.2 Αρχή λειτουργίας των Li-po

Ακριβώς όπως με τα άλλα κελιά ιόντων λιθίου, οι LiPos λειτουργούν με βάση την αρχή της προβολής και αντι-προβολής ιόντων λιθίου από ένα υλικό θετικού ηλεκτροδίου και ένα υλικό αρνητικού ηλεκτροδίου, με τον υγρό ηλεκτρολύτη να παρέχει ένα αγωγίμο μέσο. Για να αποφευχθεί η άμεση επαφή τους ενός ηλεκτροδίου από το άλλο, υπάρχει ένας μικροπορώδης διαχωριστής ανάμεσα τους ο οποίος επιτρέπει μόνο στα ιόντα και όχι στα σωματίδια των ηλεκτροδίων να μεταναστεύσουν από τη μία πλευρά στην άλλη.

1.7.3 Φόρτιση μπαταριών

Ακριβώς όπως και με άλλα είδη μπαταριών κελιών λιθίου-ιόντων, η τάση ενός κελιού LiPo εξαρτάται από τη χημεία του και κυμαίνεται από περίπου 2,7 έως 3,0 V (αποφορτισμένο), ενώ περίπου 4,20-4,35 V (πλήρως φορτισμένο), για τα κελιά με βάση μέταλλο λιθίου-οξειδίου (όπως LiCoO_2), και περίπου 1.8-2.0 V (αποφορτισμένο) με 3.6 - 3.8 V (πλήρως φορτισμένο), για εκείνα που έχουν βάση φωσφορικού-λιθίου-σιδήρου (LiFePO_4).

Οι ακριβείς διακυμάνσεις τάσης θα πρέπει να προσδιορίζονται στα δελτία δεδομένων του εκάστοτε προϊόντος, με την προϋπόθεση ότι τα κελιά θα πρέπει να προστατεύονται από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που δεν θα τους επιτρέψει να υπερφόρτοθούν ούτε υπερβολική αποφόρτιση κατά τη χρήση.

Για μπαταρίες LiPo με κελιά συνδεδεμένα σε σειρά, ένα εξειδικευμένος φορτιστής μπορεί να παρακολουθεί το φορτίο με βάση ανά κελί, έτσι ώστε όλα τα κύτταρα βρίσκονται και να διατηρούνται στην ίδια κατάσταση φόρτισης (state of charge ή SOC).

1.7.4 Ασφάλεια κατά την χρήση

Οι μπαταρίες LiPo επηρεάζονται από τα ίδια προβλήματα που πλήττουν όλα τα άλλα στοιχεία ιόντων λιθίου. Αυτό σημαίνει ότι η υπερ-φόρτιση, η υπερ-αποφόρτιση, η υπερθέρμανση, το βραχυκυκλώμα, η σύνθλιψη και διαπέραση από αιχμηρά αντικείμενα μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφική βλάβη της μπαταρίας, και κατ'επέκταση σε καταστροφή της θήκης, διαρροή ηλεκτρολύτη, ή ακόμα και φωτιά.

Όλα τα κελιά Li-ion διαστέλλονται όταν φτάσουν σε υψηλά επίπεδα της κατάστασης φόρτισης (SOC) ή υπερ-φορτιστούν, εξ αιτίας της ελαφράς εξάτμισης του ηλεκτρολύτη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αποκόλληση, και επομένως κακή επαφή των εσωτερικών στρωμάτων του κελιού της μπαταρίας, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί σε ελάττωση της αξιοπιστίας και της συνολικής διάρκειας του κύκλου ζωής της μπαταρίας. Αυτό μπορεί να γίνει πολύ αισθητό στις LiPos, οι οποίες μπορεί να φουσκώσουν εμφανώς, λόγω έλλειψης της σκληρής θήκης που εναλλακτικά θα περιόριζε την διαστολή τους.

Σε σύγκριση με κυλινδρικά κελιά μπαταρίας τύπου Li-ion, οι LiPos στερούνται ενσωματωμένους μηχανισμούς ασφαλείας, όπως ένα μηχανισμός διακοπής ρεύματος (current interrupting device ή CID) ή ένα υλικό θετικού συντελεστή θερμοκρασίας (positive temperature coefficient ή PTC), το οποίο είναι σε θέση να προστατεύσει σε καταστάσεις υπερβολικού ρεύματος ή υπερβολικής θερμοκρασίας.

1.7.5 Η εφαρμογή πίεσης σε μπαταρία LiPo

Σε αντίθεση με τις κυλινδρικές και πρισματικές μπαταρίες ιόντων λιθίου, οι οποίες έχουν μια άκαμπτη μεταλλική θήκη, οι μπαταρίες LiPo έχουν θήκη ευέλικτη και σε μορφή λεπτού φύλλου (ελασματικό πολυμερές), έτσι ώστε να σχετικά να μην έχει περιορισμούς. Από μόνες τους οι μπαταρίες είναι πάνω από 20% ελαφρύτερες από το αντίστοιχο κυλινδρικές της ίδιας χωρητικότητας.

Το να είναι ελαφρές είναι ένα πλεονέκτημα όταν η εφαρμογή τους απαιτεί ελάχιστο βάρος, όπως στην περίπτωση των τηλεκατευθυνόμενων μοντέλων. Ωστόσο, έχει διερευνηθεί ότι η μέτρια πίεση στη στοίβα των στρωμάτων που συνθέτουν το κελί της μπαταρίας έχει ως αποτελέσματα την αυξημένη κατακράτηση χωρητικότητας, επειδή η επαφή μεταξύ των συστατικών μεγιστοποιείται και η

αποκόλληση και παραμόρφωση εμποδίζεται, κάτι που συνδέεται με την αύξηση της αντίστασης της μπαταρίας και την υποβάθμιση της.

1.7.6 Εφαρμογές

Ένα συναρπαστικό πλεονέκτημα των μπαταριών LiPo είναι ότι οι κατασκευαστές μπορούν να τις διαμορφώσουν σε διάφορα σχήματα, το οποίο μπορεί να είναι σημαντικό σε εφαρμογές που απαιτούν μικρότερο όγκο για το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, όπως η ολοένα και λεπτότερη και ελαφρύτερη μπαταρία για τα κινητά τηλέφωνα και τους φορητούς υπολογιστές.

1.7.7 Για Ράδιο ελεγχόμενο εξοπλισμό και λοιπή εξοπλισμό

Οι μπαταρίες LiPo κερδίζουν έδαφος στον κόσμο των τηλεκατευθυνόμενων αεροσκαφών, των τηλεκατευθυνόμενων αυτοκινήτων και της μεγάλης κλίμακας τρένων μοντέλισμού, όπου τα πλεονεκτήματα του χαμηλότερου βάρους της αύξησης της χωρητικότητας και της ισχύος είναι ανάλογα με την τιμή.

Από τις αρχές του 2013, υπάρχουν πακέτα μπαταριών LiPo των 1,3 Ah, που παρέχουν 45C συνεχή εκφόρτιση, και σύντομου χρόνου διακυμάνσεις(bursts) των 90C. Μεγαλύτερες συσκευασίες των 4,5 Ah μπορεί να διαθέτουν το ρυθμό εκφόρτισης των 70 C, με διακυμάνσεις(bursts) 140C.

1.8 Ράδιο –έλεγχος

Οι πομποί είναι διαθέσιμοι είτε ως μια ενιαία μονάδα , είτε λιγότερο συχνά, δομοστοιχείωτα. Όταν αγοράζετε την θήκη του πομπού, τους λεβιέδες, τους στροφείς και τους διακόπτες μόνους τους, χωρίς το υλικό, τότε χρειάζεστε μια μονάδα πομπού να εκπέμπει τις εισόδους σας. Λάτρεις με πολλαπλά μοντέλα επικοινωνίας σε διαφορετικές συχνότητες βρίσκουν συχνά αυτή η προσέγγιση χρήσιμη, δεδομένου ότι είναι εύκολο να ανταλλάξουν ενότητες.

Ενώ στις χαμηλότερες συχνότητες γίνεται καλύτερη διείσδυση συχνότητας πρέπει να χρησιμοποιηθεί διαφορετικό μήκος κύματος για τον έλεγχο και για τις

μετάδοση δεδομένων (τηλεμετρία) ή εικόνας (κάμερα) . Επιπλέον αποθαρρύνεται και η χρήση συχνοτήτων με αρμονικές που ταιριάζουν επειδή και πάλι δημιουργούν παρεμβολές. Για παράδειγμα ένα σήμα βίντεο στα 1,2 GHz θα παρεμβάλει τον έλεγχο στα 2.4GHz επειδή τα ραδιοκύματα έχουν τους ίδους κόμβους.

1.8.1 Κανάλια

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον αριθμό των καναλιών που προσφέρει ένας πομπός. Για κάθε απομακρυσμένα ελεγχόμενη πράξη, απαιτείται και ένα ξεχωριστό κανάλι για να μεταφέρει τα δεδομένα εισόδου. Το ελάχιστο που απαιτείται για το χειρισμό ενός quadcopter είναι τέσσερα κανάλια: γκάζι, περιστροφή (yaw), μπροστινή κλίση (pitch) ,και πλάγια κλίση (roll). Με περισσότερα κανάλια από μόλις τέσσερα, είναι δυνατόν να προσαρμόσουμε διακόπτες, ή ποτενσιόμετρα για να αλλάξουμε τις ρυθμίσεις του quadcopter κατά τη διάρκεια πτήσης. Οι περισσότεροι ελεγκτές πτήσης μπορούν να υποστηρίξουν έως οκτώ κανάλια. Όσο περισσότερα μπορεί ένας ελεγκτής να υποστηρίξει,τόσο μεγαλύτερες είναι οι δυνατότητες για την προσαρμογή και την αναβαθμίση του quadcopter.

1.8.2 Συχνότητα

Υπάρχουν δύο κύριες συχνότητες που χρησιμοποιούμε για τους ραδιοφωνικούς πομπούς, τα 72Mhz και τα 2.4Ghz.

- Τα 72 MHz χρησιμοποιούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα (εδώ και δεκαετίες),και επιτρέπουν μεγαλύτερη εμβέλεια, αλλά μπορεί να παρεμβαίνουν με άλλους πομπούς που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα (έστω και με διαφορετική χρήση)
- Τα 2.4 GHz είναι ένα νεότερα χρησιμοποιούμενη συχνότητα, και σήμερα είναι η πιο κοινή . Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μικρότερη κεραία, αλλά συνήθως και μικρότερη εμβέλεια από το 72Mhz. Ένα ακόμη θετικό ότι είναι δυνατόν παραπάνω από ένα quadcopter να πετάξουν σε μικρή απόσταση χρησιμοποιώντας την συχνότητα των 2.4Ghz.

1.8.3 Ταίριασμα πομπού και δέκτη

Ένας δέκτης έρχεται συνήθως με τον πομπό όταν το αγοράζετε. Βέβαια ορισμένα είδη του πομπού είναι μόνο συμβατά με τους δέκτες στους οποίους ανήκουν (έχουν ίδια μάρκα και ίδιο μοντέλο). Αυτό σημαίνει έαν ο δέκτης σπάσει θα χρειαστεί να αντικατασταθεί και ο πομπός και το αντίστροφο. Υπάρχουν μερικές εξαιρέσεις στις οποίες μπορούν να συνδυάζονται πομποί με άλλους δέκτες (καθολικοί πομποί).

1.8.4 Ποιός ραδιοπομπός συμφέρει περισσότερο

Το εύρος τιμών είναι τεράστιο, από τόσο φθηνούς στα 20 USD έως πάνω από 1000usd. Φυσικά η φθηνότερη, η χαμηλότερη ποιότητα σημαίνει λιγότερα κανάλια. Θα ήταν καλύτερη επιλογή φτηνό χειριστήριο 5 ή 6 καναλιών για μια αρχική εμπειρία με ίπταμενο τηλεκατευθυνόμενο αεροσκάφος, και αργότερα να γίνει αναβάθμιση σε ένα καλύτερο πομπό όταν υπάρχει περισσότερη γνώση πάνω στο θέμα. Είναι πάντα μια καλή ευκαιρία να χρησιμοποιηθούν οι παλαιότεροι ως εφεδρικοί πομποί ούτως ή άλλως. Οστόσο, εάν προτίθεται κάποιος να ασχοληθεί εις βάθος με τα quadcopters και κάποια μέρα θέλει να αποκτήσει ένα με πλοήγηση GPS, gimbal ελέγχου κλπ, είναι καλύτερο να πάρει πομπό με 8 ή περισσότερα κανάλια.

Ο πομπός είναι μια δυνητικά μακροπρόθεσμη επένδυση. Αν δεν είναι σίγουρο ότι η ενασχόληση με τον χώρο των quadcopters θα είναι μακροπρόθεσμη τότε προτείνεται ο πομπός να είναι φθηνής κατηγορίας με 6 κανάλια το μέγιστο. Αλλά σε αντίθετη περίπτωση 8 τουλάχιστον κανάλια είναι μια θετική επιλογή. Επιπλέον, δεν είναι μόνο ότι ένας ακριβότερος πομπός έχει απλά μεγαλύτερο αριθμό καναλιών. Ορισμένοι ραδιο-πομποί υποστηρίζουν προγραμματισμό καθώς και επαναπρογραμματισμό του firmware για τη βελτιώση τη λειτουργικότητας. Έτσι είναι φρόνιμο να γίνει κάποια έρευνά από τον χειριστή πριν ξοδέψει χρήματα τον πομπό.

Υπάρχουν πολλά περισσότερα για να ληφθούν υπόψιν, όταν πρόκειται για την επιλογή ενός καλού πομπού, όπως η οθόνη προβολής, και η αίσθηση των λεβιέδων, οι πολλαπλές μνήμες μοντέλων και τα χαρακτηριστικά εκπαίδευσης (βοηθητική λειτουργία).

Ορισμένοι ραδιοφωνικοί πομποί έρχονται με ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό που ονομάζεται «Εχρο», το οποίο δίνει πιο ακριβή έλεγχο, αλλά εξακολουθεί να σας

επιτρέπει να χρησιμοποιείτε το πλήρες φάσμα. Υπάρχει μια εκθετική καμπύλη και κάνει τους λεβιέδες λιγότερο ευαίσθητους κοντά στην αρχική τους θέση.

1.8.5 Πρωτόκολλα ραδιοπομπού

Υπάρχουν δύο πρωτόκολλα για μετάδοση ελέγχου. Το πρώτο και πιο παραδοσιακό είναι παλμοκωδική διαμόρφωση (pulse-code modulation ή PCM), ένα πρότυπο αναλογικό με εκπομπή ένα-προς-ένα. Παραμένει τόσο αξιόπιστη και όσο δημοφιλής. Αλλά όλο και περισσότεροι, χομπίστες υιοθετούν μια εναλλακτική λύση: αυτή της διαμόρφωσης θέσης παλμών (pulse-position modulation ή PPM). Με PPM, οι πολλαπλές εισόδους κωδικοποιούνται και μεταδίδονται χρησιμοποιώντας ένα μόνο κανάλι. Το πλεονέκτημα είναι ότι μειώνει τον αριθμό καλωδιώσεων και τη δυσκολία εγκατάστασης, επιτρέποντας για περισσότερα κανάλια από ήταν παλαιότερα δυνατόν. Αμφότερα τα συστήματα λειτουργούν, και δεν θεωρείται κάποιο πιο σωστό από το άλλο. Ωστόσο, δεν υποστηρίζουν όλοι συνδυασμοί πομπού και δέκτη ppm.

1.9 Οι Έλικες

Σε κάθε έναν από τους κινητήρες υπάρχει τοποθετημένη μία έλικα.

Μπορεί να μην είναι εύκολα παρατηρήσιμο αυτό στην επόμενη φωτογραφία(βλ. Εικόνα 5) , αλλά οι τέσσερις έλικες δεν είναι στην πραγματικότητα εντελώς όμοιοι. Με λίγη προσοχή διακρίνεται ότι το εμπρός και το πίσω των ελίκων έχουν κλίση προς τα δεξιά, ενώ το αριστερό και δεξιά έλικες κλίση προς τα αριστερά.



Εικόνα 5: Απλοί Έλικες

Όπως έχει προαναφερθεί, 2 κινητήρες περιστρέφονται σε αντίθετες κατευθύνσεις προς τους άλλους δύο για να αποφευχθεί περιστροφή ολόκληρου του quadcopter. Κάνοντας τα ζεύγη ελίκων να περιστρέφονται σε κάθε κατεύθυνση,

έχοντας παράλληλα αντίθετη κλίση μεταξύ τους, όλοι τους θα παρέχουν ώθηση για ανύψωση χωρίς να χρειάζεται να γυρίζουν προς την ίδια κατεύθυνση. Αυτό καθιστά δυνατό για το QuadCopter να σταθεροποιηθεί η περιστροφή εκτροπής, η οποία είναι η περιστροφή γύρω από τον εαυτό του.

Οι έλικες υπάρχουν σε διάφορες διαμέτρους και κλίσεις. Ο χειριστής θα πρέπει να αποφασίσει ποιά να χρησιμοποιήσει ανάλογα με το μέγεθος του πλαισίου του, και όταν η απόφαση αυτή γίνεται, θα πρέπει να επιλέξει το κινητήρα του σύμφωνα με αυτόν. Μερικά από τα τυποποιημένα μεγέθη της έλικας που χρησιμοποιούνται για QuadCopters είναι:



Εικόνα 6: Διάφορα είδη ελίκων

- EPP1045 : διάμετρος 10 ίντσες(25.4cm) και κλίση 4,5 ίντσες(11.43cm). Αυτός είναι ο πιο δημοφιλής έλικας, καλός για μεσαίου μεγέθους quadcopters.
- APC 1047 : διάμετρος 10 ίντσες και κλίση 4,7 ίντσες(11,938cm). Πολύ παρόμοιος με τον παραπάνω
- EPP0845 : διάμετρος 8 ίντσες(20.32cm) και κλίση 4,5 ίντσες. Χρησιμοποιείται τακτικά σε μικρότερα quadcopters.
- EPP1245 : διάμετρος 12 ίντσες(30.48cm) και κλίση 4,5 ίντσες. Χρησιμοποιείται για μεγαλύτερα quadcopters που απαιτούν πολλή ώθηση.
- EPP0938 : διάμετρος 9 ίντσες(22.86cm) και κλίση 3,8 ίντσες(9,652cm). Χρησιμοποιείται σε μικρότερα quadcopters.

1.9.1 Ανάλυση της κλίσης του έλικα, της διαμέτρου, και των στροφών του ανά λεπτό

Διαφορά κλίσης σε σχέση με τη διάμετρο: η διάμετρος ουσιαστικά είναι η διάμετρος του δίσκου που διαγράφουν τα ακροπτερύγια, ενώ κλίση σημαίνει ελεύθερος χώρος. Έτσι, μια έλικα με μεγαλύτερη κλίση αλλά την ίδια διάμετρο, δημιουργεί μεγαλύτερη ώθηση και το quadcopter μπορεί να άρει περισσότερο βάρος, αλλά χρησιμοποιώντας περισσότερη ενέργεια.

Ένας έλικας με υψηλότερο αριθμό στροφών ανά λεπτό θα μας δώσει μεγαλύτερη ταχύτητα και ευελιξία, αλλά θα υπάρχει περιορισμός στο ποσό του βάρους που θα είναι σε θέση να άρει με την δεδομένη ισχύ. Επίσης, η ισχύς (και η εκ περιτροπής δύναμη που απαιτείται) από τους κινητήρες αυξάνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος του έλικα, έτσι μια μεγαλύτερη διάμετρος ή μεγαλύτερη κλίση δίνουν τη δυνατότητα να αντληθεί περισσότερη ισχύς με την ίδια ταχύτητα στροφών ανά λεπτό, αλλά θα παράγουν επίσης πολύ περισσότερη ώθηση, και θα είναι σε θέση να άρει περισσότερο βάρος.

Κατά την επιλογή ενός συνδυασμού ισορροπημένου κινητήρα και έλικα, θα πρέπει να γνωρίζετε τι πορεία θα ακολουθήσετε με το quadcopter. Αν χρειάζεται να πετάει σταθερά με κάποιο βαρύ αντικείμενο στερεωμένο πάνω του, όπως μια φωτογραφική μηχανή, θα χρησιμοποιηθεί κατά πάσα πιθανότητα ένα μοτέρ που πραγματοποιεί λιγότερες στροφές, αλλά μπορεί να προσφέρει περισσότερη ροπή και μια μεγαλύτερη ή με μεγαλύτερη κλίση έλικα (που χρησιμοποιεί περισσότερη ροπή για να αιχμαλωτίζει περισσότερο αέρα, προκειμένου να δημιουργηθεί ανύψωση). Η μικρή κλίση(ψιλό βήμα) μπορεί να συγκριθεί με την πρώτη ταχύτητα του αυτοκινήτου, ενώ η μεγάλη κλίση (χοντρό βήμα) με την τέταρτη ταχύτητα.

1.9.2 Μονάδες στις οποίες εκφράζεται η διάμετρος και η κλίση;

Το πιο διαδεδομένο μέτρο έκφρασης των δύο αυτών παραμέτρων/μεγεθών είναι οι ίντσες, και με αυτό έχουμε συνηθίσει να τις μνημονεύουμε και στην Ελλάδα. Οι Ευρωπαϊκοί κατάλογοι αναφέρουν τα δύο αυτά μεγέθη σε εκατοστά, αλλά υπάρχουν πολλοί που τα αναφέρουν και σε ίντσες.

Πρέπει να σημειωθεί το εξής:

Η αντιστοιχία των δύο αυτών μονάδων δεν είναι στρογγυλός αριθμός. Έτσι μία έλικα διαμέτρου 10 ιντσών είναι στην πράξη 25,4 εκατοστά, ενώ αντίστοιχα μία έλικα

διαμέτρου 25 εκατοστών είναι στην πράξη 9,84 ίντσες. Οι διαφορές αυτές στις μεγάλες διαμέτρους είναι πρακτικά αμελητέες.

Όσον αφορά τις αντιστοιχίες στα βήματα, δεν παίζει μεγάλο ρόλο αν το ονομαστικό βήμα είναι 6 ίντσες = 15,24 εκ ή 15 εκ = 5,9 ίντσες. Και στις δύο περιπτώσεις η κλίση (το βήμα) θεωρείται πρακτικά ίδιο.

1.9.3 Υλικό του Έλικα

Το είδος του υλικού, μπορεί να επηρεάσει την απόδοση της πτήσης. Καλοί έλικες μπορούν να βελτιώσουν τον έλεγχο, την ικανότητά του αεροσκάφους, να αυξήσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, να βελτιώσουν την ποιότητα του βίντεο, και πολλά άλλα καλά πράγματα.

1.9.4 Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα ελίκων από ανθρακόνημα σε σχέση με τους πλαστικούς

Κατά την επιλογή ελίκων για multicopter, θα πρέπει να εξεταστεί όχι μόνο το μέγεθος και η κλίση των ελίκων, πρέπει επίσης να επιλεγθεί και ο τύπος του υλικού: ανθρακονήματα, πλαστικό, υαλόνηματα(φάημπεργκλας), ξύλινοι έλικες κλπ. Οι έλικες από ανθρακόνημα είναι σχεδόν δύο φορές πιο ακριβοί όπως τα κοινούς πλαστικούς έλικες, και για αυτό είναι που προωθούνται ότι έχουν καλύτερη απόδοση από ό,τι οι φθηνοί πλαστικοί. Βέβαια τα ουσιαστικά προτερήματα και μειονεκτήματα τους είναι τα εξής:

Πλεονεκτήματα

- Οι έλικες από ανθρακονήματα παράγουν λιγότερους κραδασμούς λόγω της ακαμψίας τους και είναι πιο αθόρυβοι όταν περιστρέφονται.
- Λιγότερο ταλάντωση στα βίντεο.
- Είναι ελαφρύτεροι και σημαντικά ισχυρότεροι από τους πλαστικούς σε μια συντριβή του quadcopter, αλλά δεν είναι άφθαρτοι όμως.
- Είναι τις περισσότερες φορές ισορροπημένοι κατ 'ευθείαν από την αγορά τους.
- Έχουν καλή απόδοση κάτω από υψηλές στροφές ανά λεπτό (λειτουργεί καλά με κινητήρες με υψηλό KV).

- Ελαφρά στηρίγματα σημαίνουν και λιγότερη αδράνεια, και ως εκ τούτου ταχύτερη αλλαγή της ταχύτητας του κινητήρα, με καλύτερη απόκριση στον έλεγχο.

Μειονεκτήματα

- Έχουν μεγάλο κόστος.
- Οι έλικες από ανθρακονήματα έχουν ελαφρώς μικρότερο χρόνο πτήσης από έλικες στήριγμα της ίδιας διαμέτρου και κλίσης.
- Αυτό συμβαίνει επειδή παράγουν λιγότερη ώθηση από τα πλαστικά στηρίγματα.
- Επειδή είναι σκληροί και δύσκολοι να σπάσουν, σε περίπτωση συντριβής του quadcopter, το ρουλεμάν του κινητήρα θα δεχτεί το περισσότερο της κρούσης.

1.9.5 Ξύλινοι Έλικες

Οι έλικες από ξύλο δεν είναι δημοφιλείς στο κύκλο των multicopter, δεδομένου ότι είναι ακριβοί, και βαριοί. Μπορούν να λειτουργήσουν καλά για FPV αεροφωτογράφιση με τα μεγαλύτερα και πιο ισχυρά multicopters, αλλά δεν είναι τόσο καλοί για τα ακροβατικά, γενικά τις πτήσεις ακροβατικής επίδειξης λόγω της αύξησης στην ορμή περιστροφής που οφείλεται στο μεγαλύτερο βάρος, κάνοντάς τους λιγότερο αποκριτικούς σε αλλαγές στην ταχύτητα του κινητήρα.

1.10 Προσαρμογείς ελίκων

1.10.1 Τι είναι ο προσαρμογέας έλικα

Ο ηλεκτροκινητήρας διαθέτει έναν ομαλό λείο άξονα, και χρειάζεται έναν προσαρμογέα έλικα (γνωστός επίσης και ως “prop adapter”) για να στερεωθεί στον άξονα, προκειμένου να τοποθετηθεί μια έλικα. Σήμερα, πολλοί ηλεκτρικοί κινητήρες που έχουν σχεδιαστεί για multicopters πωλούνται με προσαρμογείς στο στήριγμα τους, ενώ κάποιοι έχουν ακόμα και ενσωματωμένο το στήριγμα του προσαρμογέα.

1.10.2 Τύποι στήριγματος προσαρμογέα

Υπάρχουν τρεις τύποι προσαρμογέων, και ο καθένας έχει μοναδικό τρόπο σύνδεσης προς τον άξονα του κινητήρα ή στο κάτω μέρος του.

1.10.2.1 Προσαρμογέας που βιδώνεται

Αυτό το είδος του προσαρμογέα λειτουργεί μόνο εάν οι κινητήρες έχουν τρύπες για εισαγωγή βίδας στην κορυφή ή στη βάση τους. Αυτή είναι η καλύτερη επιλογή εάν το μοτέρ έχει την δυνατότητα να την υποστηρίξει διότι είναι και οι πιο σταθεροί.



Εικόνα 7: Προσαρμογέας που βιδώνεται

1.10.2.2 Προσαρμογέας ακέφαλης βίδας

Αυτός ο προσαρμογέας έλικα χρησιμοποιεί ακέφαλες βίδες για να συνδέθει με τον άξονα του κινητήρα. Χρησιμοποιείται συνήθως για άξονες του κινητήρα οι οποίοι έχουν μια εσοχή. Η ακέφαλη βίδα σφίγγεται πάνω στη περιοχή του άξονα που υπάρχει η εσοχή, για να αποτρέψει τον προσαρμογέα από το να περιστρέφεται ελεύθερα στον άξονα.

Όταν χρησιμοποιείται αυτός ο τύπος προσαρμογέα, συνιστάται ή χρήση κάποια κόλλας «λόκταητ»(Loctite) για κάθε βίδα συγκράτησης πριν αυτή στερεωθεί για μεγαλύτερη σταθερότητα.



OscarLiang.net

Εικόνα 8: Προσαρμογέας ακέφαλης βίδας

1.10.2.3 Προσαρμογέας τύπου Collet

Εάν ένας κινητήρας δεν υποστηρίζει προσαρμογέα που βιδώνεται, ούτε έχει επιφάνεια του άξονα που προεξέχει, γίνεται επίσης να εξετάσει η χρήση προσαρμογείς τύπου Collet. Αυτός είναι ίσως ένα από τους πιο κοινά χρησιμοποιούμενος προσαρμογείς έλικα από τους ανθρώπους του χώρου. Λειτουργεί με ένα μεταλλικό δακτύλιο που αρπάζει την ομαλή επιφάνεια του άξονα του κινητήρα όταν το παξιμάδι η ροδέλα της έλικας σφίγγεται προς τα κάτω.



OscarLiang.net

Εικόνα 9: Προσαρμογέας τύπου Collet

1.10.3 Ποιός προσαρμογέας Έλικα είναι ο ιδανικότερος

Ο προσαρμογέας που πρέπει να χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τον κινητήρα και το είδος του έλικα που χρησιμοποιείται. Είναι καλύτερο να χρησιμοποιείται προσαρμογέας που βιδώνεται ως πρώτη επιλογή σε περίπτωση που κινητήρες είναι συμβατοί. Αυτό γίνεται επειδή είναι ασφαλίζουν καλύτερα πάνω στον κινητήρα και

τείνουν να έχουν μικρότερο πρόβλημα ισορροπίας καθώς και θέματα κραδασμών , επειδή το κέντρο βάρους είναι χαμηλότερα.

Ο προσαρμογέα ακέφαλης βίδας, υπάρχει και σε μορφή διπλής βίδας που είναι καλύτερη από την απλή. Εάν μία βίδα χαλαρώσει, τότε υπάρχει ακόμα μια που δημιουργεί αρκετή τριβή για να τον κρατήσει στη θέση του. Λειτουργούν ιδιαίτερα καλά με τους άξονες που έχουν μια επίπεδη επιφάνεια.

Οι προσαρμογείς ελίκων τύπου Collet στην θεωρία θα πρέπει να λειτουργούν καλά, επειδή έχουν ολόκληρο τον άξονα ως επιφάνεια επαφής, οπότε θα πρέπει να παράγεται αρκετή τριβή για να το κρατηθούν σφιχτά στην θέση τους. Συχνά όμως συμβαίνει το αντίθετο, ιδιαίτερα με ισχυρούς κινητήρες και τα μεγάλους έλικες, όπου παρατηρείται να χαλαρώνουν αρκετά συχνά, ακόμη και κατά τη διάρκεια των πτήσεων. Θα πρέπει ο χρήστης να ελέγξει ότι είναι απόλυτα στερεομένοι κάθε φορά πριν από την απογείωση.

1.11 Άλλα εξαρτήματα του Quadcopter

1.11.1.1 Κατανεμητής μπαταρίας

Εξισορρόπηση της μπαταρίας και η αναδιανομή της μπαταρίας είναι τεχνικές που μεγιστοποιούν την ικανότητα μιας μπαταρίας με πολλαπλά κελιά σε σειρά ώστε να κάνει όλη την ενέργειά της διαθέσιμη προς χρήση και να αυξήσει τη μακροζωία της . Ένας κατανεμητής μπαταρίας ή ρυθμιστής παταρίας είναι μια συσκευή, η οποία εκτελεί την εξισορρόπηση της μπαταρίας. Οι Εξισορροπηστές μπορούν να βρεθούν συχνά σε μπαταρίες ιόντων λιθίου για κινητά τηλέφωνα και για φορητούς υπολογιστές. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων.

Συνήθως, τα μεμονωμένα κελιά σε μια μπαταρία μπορεί να έχουν κάπως διαφορετικές ικανότητες και να είναι σε διαφορετικά επίπεδα κατάστασης φόρτισης (state of charge ή SOC). Χωρίς αναδιανομή, η αποφόρτιση πρέπει να σταματάει όταν το κελί με τη μικρότερη χωρητικότητα είναι άδειο (ακόμα και αν τα άλλα κελιά δεν έχουν ακόμα αποφορτιστεί εντελώς) περιορίζοντας έτσι, την ενέργεια που μπορεί να ληφθεί από και να επιστράφει στη μπαταρία.

Χωρίς εξισορρόπηση, το κελί με τη μικρότερη χωρητικότητα είναι το «αδύνατο σημείο της μπαταρίας», και μπορεί εύκολα να υπερ-φορτιστεί ή υπέρ-αποφορτιστεί ενώ τα κελιά με μεγαλύτερη χωρητικότητα να υφίστανται μόνο μερικό κύκλο φόρτισης. Για να υποστούν τον πλήρη κύκλο φόρτισης και εκφόρτισης που είναι μεγαλύτερου εύρους τα κελιά με μεγαλύτερη ικανότητα χωρητικότητας, πρέπει ο καταναμητής να «προστατεύσει» τα πιο αδύναμα κελιά έτσι ώστε σε μια ισορροπημένη μπαταρία, το κελί με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα να μπορεί να φορτιστεί χωρίς τον κίνδυνο υπερφόρτισης οποιοδήποτε άλλου (δηλαδή ασθενέστερου ή μικρότερου) κελιού, και να μπορεί να αδειάσει χωρίς να μπορεί να συμβεί υπερβολική αποφόρτιση σε οποιοδήποτε άλλο κελί. Εξισορρόπηση της μπαταρίας γίνεται με τη μεταφορά ενέργειας από και προς τα μεμονωμένα κελιά, έως ότου το SOC του κελιού με τη χαμηλότερη χωρητικότητα είναι ίση προς το SOC ολόκληρης της μπαταρίας.

Η αναδιανομή της μπαταρίας μερικές φορές διαφοροποιείται από την εξισορρόπηση της μπαταρίας με την δεύτερη να σταματάει όταν τα κελιά βρίσκονται σε ίση κατάσταση φόρτισης (SOC) μόνο σε ένα κοινό σημείο (συνήθως 100% SOC), έτσι ώστε η ικανότητα της μπαταρίας να περιορίζεται μόνο από την χωρητικότητα των πιο αδύναμων κελιών της.

Ένα πλήρες σύστημα διαχείρισης μπαταριών (battery management system ή BMS) μπορεί να περιλαμβάνει ενεργή εξισορρόπηση, καθώς και παρακολούθηση της θερμοκρασίας, της διαδικασίας της φόρτισης, και άλλα στοιχεία για να μεγιστοποιηθεί η διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

1.11.1.2 Τεχνολογία

Η εξισορρόπηση μπορεί να είναι ενεργητική ή παθητική. Ο όρος καταναμητής μπαταρίας αναφέρεται συνήθως μόνο σε συσκευές που εκτελούν εξισορρόπηση παθητικά.

Στην παθητική εξισορρόπηση, η ενέργεια προέρχεται από το πιο φορτισμένο κελί και σπαταλάται ως θερμότητα, συνήθως μέσω των αντιστάσεων.

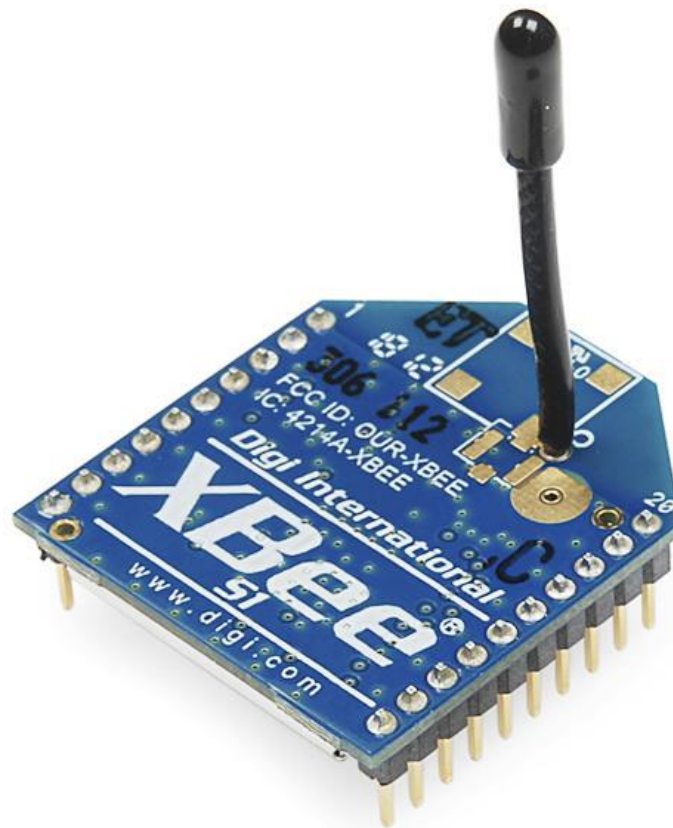
Στην ενεργή εξισορρόπηση, η ενέργεια προέρχεται από το πιο φορτισμένο κελί και μεταφέρεται σε λιγότερο φορτισμένο κελί, συνήθως μέσω DC-DC μετατροπέα.

Εξισορρόπηση της μπαταρίας μπορεί να πραγματοποιηθεί με DC-DC μετατροπέα, σε μια από τις εξής 3 τοπολογίες: Κελί-προς-μπαταρία , Μπαταρία-προς-κελί και αμφίδρομη.

Τυπικά, η ενέργεια που χειρίζεται κάθε μετατροπέας DC-DC είναι μερικές τάξεις μεγέθους χαμηλότερη από τη ενέργεια που χειρίζεται η μπαταρία.

1.11.2 XBee

Τα XBee είναι εξαιρετικά δημοφιλείς ασύρματοι πομποδέκτες για διάφορους λόγους. Είναι ευέλικτα, διότι στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένων μέσω σειριακής θύρας, το οποίο σημαίνει ότι είναι συμβατά με τους υπολογιστές και με τους μικροελεγκτές (Όπως το Arduino). Είναι ιδιαίτερα διαμορφώσιμο - μπορεί να δημιουργηθεί ένα δίκτυο με δεκάδες XBee, ή μόνο ένα ζεύγος για ανταλλαγή δεδομένων. Μπορούν να τα χρησιμοποιηθούν για να ελέγχουν από απόσταση μια κατασκευή , ή να για να διαχειρίζονται ένα ολόκληρο σπίτι σας, για να παρακολουθούν θερμοκρασίες ή συνθήκες φωτισμού σε κάθε δωμάτιο.



Εικόνα 10: Το Xbee S1 module

Το ζεύγος των XBee από μόνα τους δεν είναι τόσο ευχρηστα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, θα χρειαστεί μια ξεχωριστή συσκευή (module) για τη διασύνδεση με τα XBee. Μπορείτε να χρησιμοποιηθεί ένας μετατροπέας-XBee (shield) για να συνδεθεί το XBee στο Arduino. Ή μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ένα XBee Explorer για να συνδέσετε ένα XBee στον υπολογιστή σας.



Εικόνα 11: Τρεις συσκευές διεπαφή Η/Υ με Xbee με υποδοχές από αριστερά προς τα δεξιά: mini usb , usb , Rs232.

Οι Συσκευές Διεπαφής Η/Υ με Xbee: Explorer USB, Explorer Dongle, και Serial Explorer.

Με ένα XBee Explorer συνδεδεμένο μεταξύ του υπολογιστή και του XBee, και με τη βοήθεια του λογισμικού XCTU, τα Xbee είναι εύκολο να ρυθμιστούν, πιο συγκεκριμένα ο έλεγχος σύνδεσης ή μεταφορά δεδομένων μεταξύ του υπολογιστή και ενός απομακρυσμένου XBee.

1.11.2.1 Απαιτούμενα υλικά

Τα XBee είναι πραγματικά χρήσιμα μόνο αν υπάρχει τουλάχιστον ένα ζευγάρι από τα εξής εξαρτήματα:

- 2x XBee – Τα XBee υπάρχουν σε μια ποικιλία σειρών, συχνοτήτων και εύρων.
- 2x Explorers - είτε ο Explorer USB, Explorer USB Dongle, ή Explorer Serial.
 - Αυτές οι πλακέτες ενεργούν ως διεπαφή μεταξύ του υπολογιστή και ενός XBee. Χρησιμοποιούνται για να ρυθμιστούν τα XBee σας και να περάσει τα δεδομένα προς και από τον υπολογιστή.
 - Ανάλογα με το ποια πλακέτα χρησιμοποιείται, ίσως χρειαστεί επίσης μια αντιστοιχία mini-B USB ή σειριακό καλώδιο.
- Τουλάχιστον ένας υπολογιστής με XCTU εγκατεστημένο.
 - Η τελευταία έκδοση του XCTU είναι διαθέσιμη για Mac και Windows.

1.11.2.2 Επιλέγοντας έναν Explorer

Το πρώτο βήμα για την επικοινωνία με τα XBee είναι να επιλεγθεί μια πλακέτα που υποστηρίζεται από τον Η/Υ. Ακολουθεί μια σύντομη επισκόπηση της καθεμίας:

- *XBee Explorer USB*

Το XBee Explorer USB είναι τις πιο δημοφιλείς συσκευές διεπαφής στους χρήστες. Είναι εξοπλισμένο με μια υποδοχή USB miniB, οπότε θα χρειαστεί το κατάλληλο καλώδιο USB για να το συνδεθεί στον υπολογιστή .

Τα πλεονέκτημα αυτής της πλακέτας είναι ένας μετατροπέας FT231X USBtoSerial. Αυτός είναι υπεύθυνος για να μεταφράζει τα δεδομένα μεταξύ του υπολογιστή και του XBee. Υπάρχει επίσης ένα κουμπί επαναφοράς (reset), και ένα ρυθμιστή τάσης για τον εφοδιασμό της XBee με άφθονη ενέργεια. Επιπλέον, υπάρχουν τέσσερις λυχνίες LED που θα βοηθήσουν τον χρήστη αν χρειαστεί ποτέ να ελέγξει το XBee : RX, TX, RSSI (Δείκτης ισχύος του σήματος), και μια ένδειξη ισχύος. Αυτή η πλακέτα διαχωρίζει κάθε I/O pins του XBee σε ζευγάρια συμβατών σε breadboard κεφαλών. Έτσι, αν χρειάζεται να γίνει χρήση της εκτεταμένης λειτουργικότητας του XBee, είναι δυνατόν να συγκολληθούν μερικά pins σε αυτά, ή ακόμα και συγκολληθούν κάποια καλώδια.

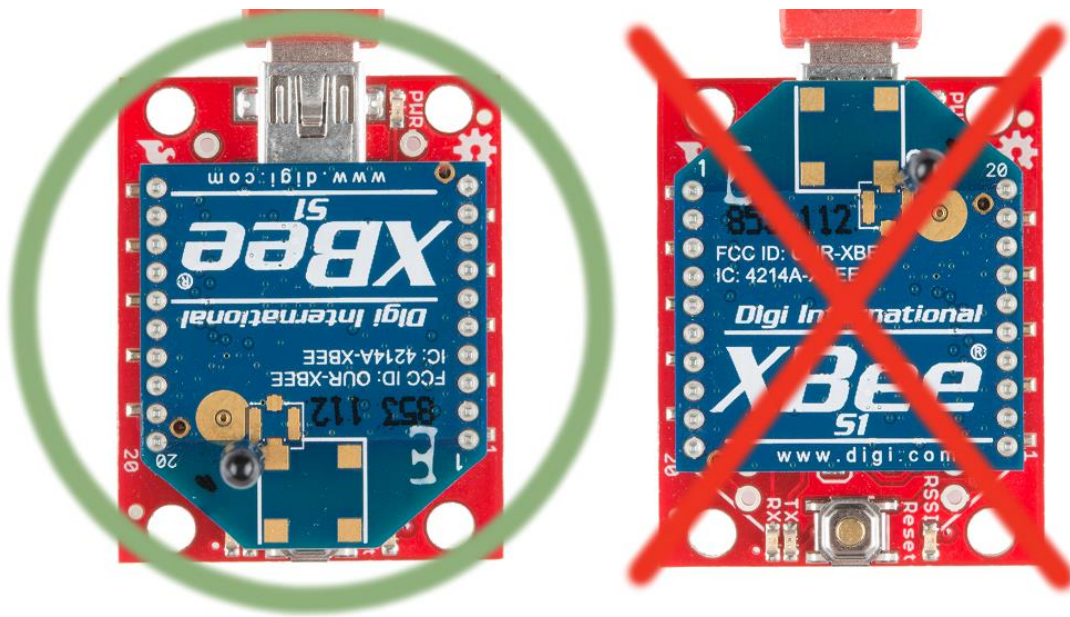
- *Dongle USB XBee Explorer*

Ο XBee Explorer Dongle είναι μια επέκταση του Explorer. Η μόνη πραγματική διαφορά μεταξύ αυτού και τον προκάτοχό του είναι η υποδοχή USB. Το Dongle μπορεί να συνδεθεί άμεσα με το laptop ή με θύρα USB ενός PC ή αν είναι απαραίτητη κάποια απόσταση από τον υπολογιστή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα καλώδιο επέκτασης USB. Το Dongle εξακολουθεί να μοιράζεται όλα τα χαρακτηριστικά το Explorer USB, δηλαδή κουμπί επαναφοράς, LEDs, ρυθμιστή τάσης, και τα συμβατά σε breadboard, pins.

- *XBee Explorer Serial*

Υπολογιστές με σειριακή θύρα RS232 είναι παλαιότερης τεχνολογίας ,αλλά το Serial XBee Explorer είναι μια βιώσιμη επιλογή στο θέμα συμβατότητας με αυτούς. Το Serial Explorer έχει μεγαλύτερο μέγεθος από τα USB τύπου Explorer, αλλά εξακολουθεί να μοιράζεται τα περισσότερα από τα ίδια χαρακτηριστικά. Υπάρχουν RX και TX LED, κουμπί επαναφοράς, pins που χωρίζουν μεταξύ τους, και ένας ρυθμιστής τάσης.

Πρόσθετο χαρακτηριστικό που έχει το Serial Explorer είναι ένας διακόπτης On / Off στην πλακέτα. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει την τροφοδοσία στο XBee. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που διατίθεται στην Serial Explorer είναι δύο jumpers διαθέσιμα κοντά στην υποδοχή DB9. Αυτά επιτρέπουν στο χρήστη να αλλάξει τη διαμόρφωση του DB9 είτε σε διαμόρφωση DCE, είτε σε διαμόρφωση DTE. Εάν χρησιμοποιείται σειριακό καλώδιο, η προεπιλεγμένη διαμόρφωση DCE είναι αποδεκτή. Το Serial Explorer απαιτεί εξωτερικό τροφοδοτικό. Έχει ένα βύσμα το οποίο δουλεύει με τροφοδοτικά των 12V, 9V, ή 5V. Ο χρήστης πρέπει να προσέξει ότι η επιλεγμένη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να εφοδιασεί αρκετό ρεύμα για το XBee που χρησιμοποιείται.



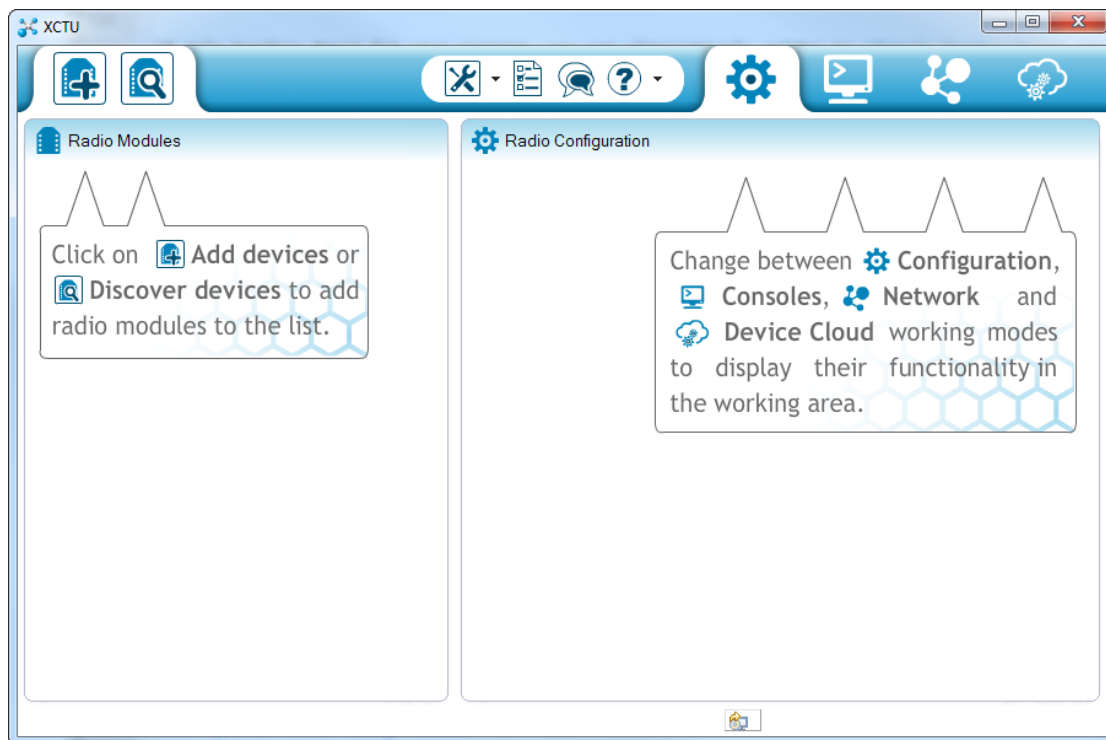
Εικόνα 12: Πως συνδέουμε το XBee με τον Explorer: Αριστερά ο σωστός τρόπος δεξιά ο λάθος

1.11.2.3 Ξεκινώντας με το XCTU


Το XCTU είναι ένα ελεύθερο λογισμικό, που παρέχεται από την Digi (ο κατασκευαστής του XBee), το οποίο χρησιμοποιείται για να ρυθμιστεί να διαχειριστεί το XBee, και να δοκιμαστεί όλο το δίκτυο.

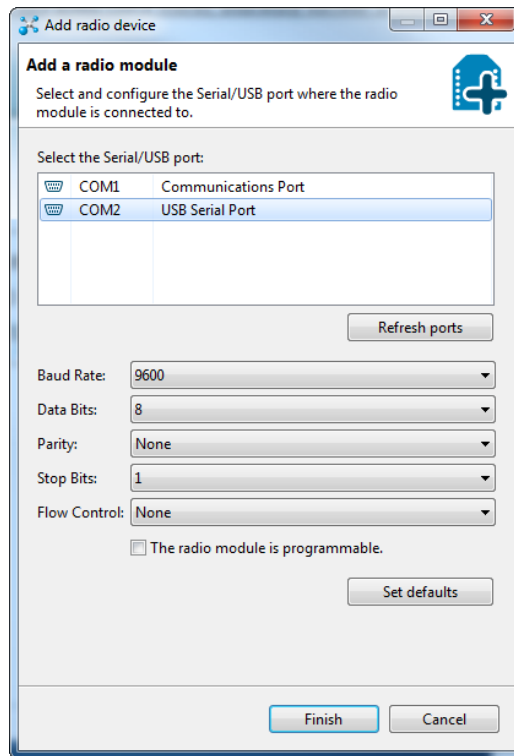
Πριν ο χρήστης επιχειρήσει κάτι,πρέπει πρώτα να βεβαιωθεί ότι το XBee έχει συνδεθεί με το (σωστά) στον Explorer, και ο Explorer συνδεδεμένος στον υπολογιστή. Όταν εγκατασταθούν τα προγράμματα οδήγησης για τον Explorer θα πρέπει να έχει εκχωρηθεί ο αριθμός θύρας. Αυτός θα το χρειαστεί για τα επόμενα βήματα.

Ανοίγοντας το XCTU, θα παρουσιαστεί με ένα παράθυρο σαν αυτό:



Εικόνα 13: Οθόνη έναρξης XCTU

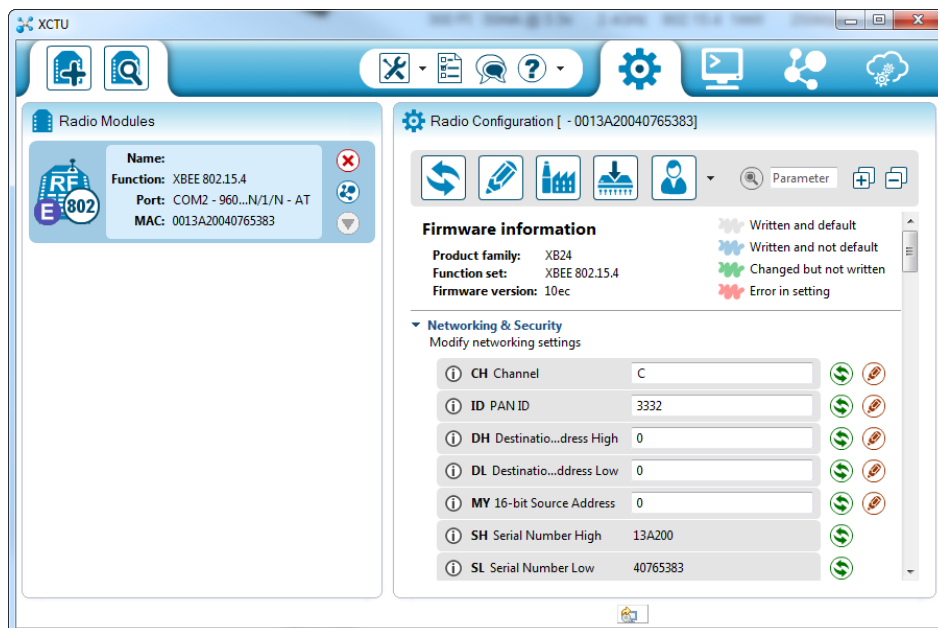
Για να προστεθεί το XBee , πρέπει να επιλεγθεί το εικονίδιο "Προσθήκη συσκευής" -  - στο πάνω αριστερό μέρος του παραθύρου και θα εμφανιστεί στην την οθόνη αυτό το παρακάτω παράθυρο:



Εικόνα 14: Παράθυρο επιλογής θύρας του XBee

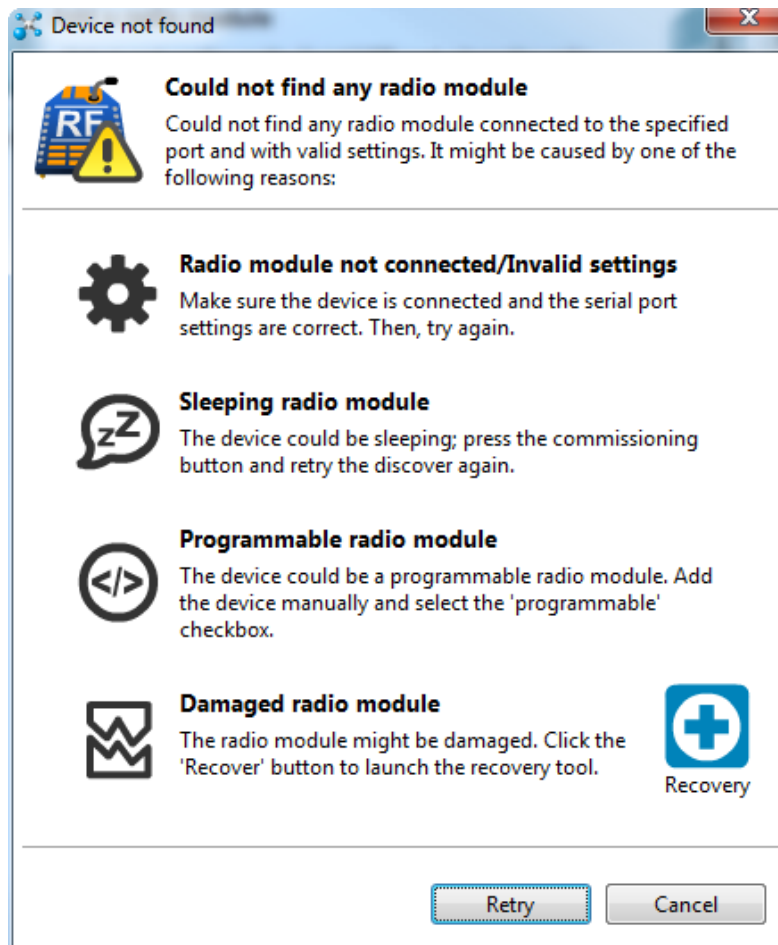
Αφού επιλεγεί η θύρα επικοινωνίας στην οποία είναι συνδεδεμένο το XBee . Αυτό το παράθυρο επιτρέπει επίσης να καθοριστούν πιο συγκεκριμένα σειριακά χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα baud, bit δεδομένων, και τα stop bits. Έχοντας τελειώσει με τις ρυθμίσεις ο χρήστης επιλέγει Finish.

Εάν έχουν γίνει όλα σωστά τότε εμφανιστεί η παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 15: Παράθυρο XTCU που δείχνει συνδεδεμένο επιτυχώς ενά XBee

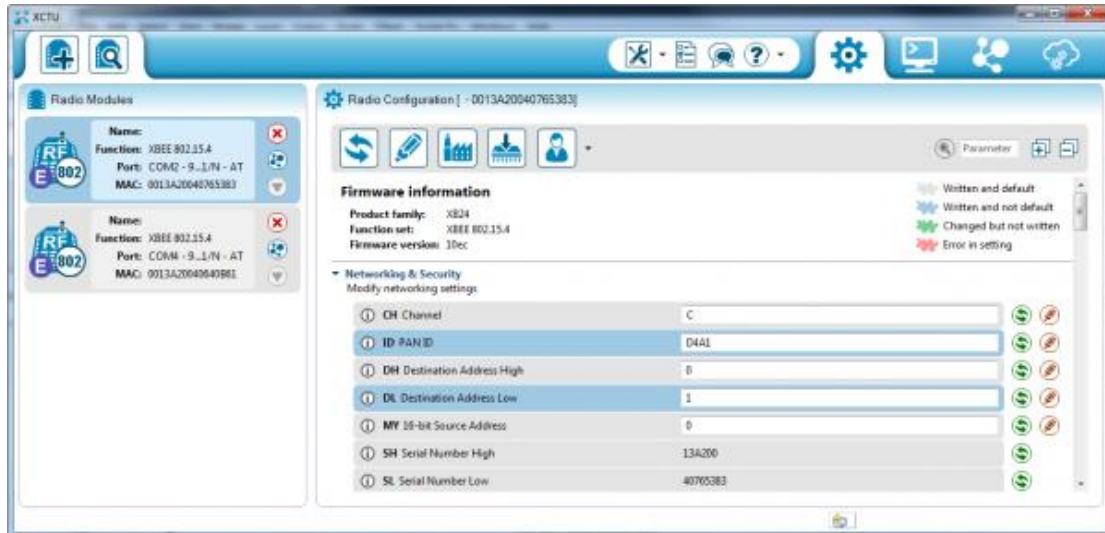
Αλλιώς ένα παράθυρο με το μήνυμα ότι δεν βρέθηκε το XBee θα εμφανιστεί:



Εικόνα 16: Παράθυρο αποτυχίας σύνδεσης του XBee

1.11.2.4 Διαμόρφωση Δικτύου XBee

Τα XBee εργοστασιακά μπορούν να επικοινωνήσουν όλα σε ένα κοινό δίκτυο. Αν θέλει ο χρήστης κάποια από τα XBee να επικοινωνούν σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο τότε πρέπει να αλλάξει τις παραμέτρους τους μέσα από το XCTU οι οποίες αποθηκεύονται πατώντας και στο εικονίδιο του μολυβιού. Τρεις από τις πιο βασικές παραμέτρους στο XBee είναι τα εξής: PAN ID, MY address, και διεύθυνση προορισμού (destination).



Εικόνα 17: Επιλεγμένες μεταβλητές στο Xbee

Γενικά στα δίκτυα των XBee υπάρχουν πολλοί παράμετροι για να ρυθμιστούν. Αρχικά, υπάρχει το κανάλι. Αυτό ελέγχει τη ζώνη συχνότητας που το XBee θα επικοινωνεί. Τα περισσότερα XBee λειτουργούν στη ζώνη των 2,4 GHz 802.15.4, και το κανάλι επιλέγει τη συγκεκριμένη συχνότητα που θα λειτουργούν εντός αυτού του εύρους τιμών. Συνήθως, το κανάλι κάνει ρύθμιση αυτόματα, και αρκεί ο χρήστης να βεβαιωθεί ότι κάθε XBee που χρειάζεται να είναι στο ίδιο δίκτυο λειτουργεί και στο ίδιο κανάλι.

Η επόμενη παράμετρος ενός δικτύου XBee είναι το δίκτυο προσωπικής περιοχής ID (PAN ID). Το αναγνωριστικό δικτύου είναι μερικά δεκαεξαδικά ψηφία μεταξύ 0 και του 0xFFFF. Τα XBee μπορούν να επικοινωνούν μόνο μεταξύ τους αν έχουν το ίδιο αναγνωριστικό δικτύου. Έτσι γίνεται να υπάρχουν μέχρι και 65536 δυνατοί συνδυασμοί.

Τέλος, υπάρχουν οι μεταβλητές MY address και destination address. Κάθε XBee σε ένα δίκτυο πρέπει να του ανατεθεί μια 16bit διεύθυνση (πάλι μεταξύ 0 και 0xFFFF), η οποία αναφέρεται ως MY address, ή ως διεύθυνση "πηγής". Στη ρύθμιση της destination address, καθορίζεται ποια είναι η διεύθυνση προορισμού που το XBee μπορεί να στείλει τα δεδομένα του, όπως σηλώνει και το όνομα της. Για είναι σε θέση τα XBee να στείλουν δεδομένα μεταξύ τους, θα πρέπει οι διευθύνσεις τους να αντιστοιχούν η μια στην άλλη.

Για παράδειγμα, αν το XBee 1 έχει μια MY address που είναι 0x1234, και το XBee 2 έχει μια αντίστοιχη διεύθυνση προορισμού η οποία είναι 0x1234, τότε το XBee 2 μπορεί να στείλει δεδομένα στο XBee 1. Αλλά αν το XBee 2 έχει μια διεύθυνση MY 0x5201, και το XBee 1 έχει μια διεύθυνση προορισμού του 0x5200,

τότε XBee 1 δεν μπορεί να στείλει δεδομένα σε XBee 2. Σε αυτήν την περίπτωση, μόνο μονόδρομη επικοινωνία είναι ενεργοποιημένη μεταξύ των δύο XBees .(μόνο το XBee 2 μπορεί να στείλει δεδομένα στο XBee 1).

1.11.3 OSD

1.11.3.1 Τι είναι το OSD και ποιά είναι τα οφέλη του

OSD σημαίνει Απεικόνιση επί της Οθόνης(On Screen Display). Στον χώρο των quadcopter το OSD είναι μια μικρή πλακέτα PCB που αποστέλει πληροφορίες για την πτήση μέσω βίντεο από την εικόνα του quadcopter. Επίσης επιτρέπει την παρακολούθηση της κατάστασης ενός quadcopter σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια πτήσης πρώτο πρόσωπο.

Έχοντας επιλέξει τους κατάλληλους αισθητήρες και OSD, είναι δυνατόν να προβληθούν τα δεδομένα της πτήσης μέσω σύνδεσης στο διαδίκτυο ή σε κάποια οθόνη, όπως η τάση της μπαταρίας, το πόσο ρεύμα οι κινητήρες και τα άλλα ηλεκτρονικά εξαρτήματα τραβάνε, το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται το quadcopter, και συντεταγμένες της γεωγραφικής θέσης.

Η πτήση γίνεται ασφαλέστερη αν ο χειριστής γνωρίζει το επίπεδο της μπαταρίας του quad, τότε θα πρέπει να προσγειωθεί, ή την απόσταση που έχετε διανύσει το quadcopter και με ποιο τρόπο θα πρέπει να επιστρέψει στην αρχική του θέση.

Το OSD δεν είναι απαραίτητο εξάρτημα για ένα quadcopter, αλλά είναι εξαιρετικά χρήσιμο. Η πιο απλή χρήση για ένα OSD με βασικές λειτουργίες είναι για δείχνει την τάση της LiPo στον χειριστή για να αποφευχθεί η υπερβολική αποφόρτιση των μπαταριών του quadcopter (διότι όσο απομακρύνεται αυτό είναι δυσκολότερο να ακουστεί ο προειδοποιητικός ήχος της χαμηλής τάσης).

1.11.3.2 Τύποι δεδομένων που μπορούν να εμφανιστούν μέσω OSD

Μερικά από τα πιο κοινά είδη δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε OSD είναι τα εξής :

- Χρονόμετρο

Εξαρτάται από το είδος της OSD που χρησιμοποιείται, ο χρόνος που καταγράφεται μπορεί να είναι χρόνος πτήσης (από το δευτερόλεπτο που το quadcopter απογειώνεται), ή ο χρόνος από ενεργοποίησης του quadcopter (από το δευτερόλεπτο που quad είναι ενεργοποιήται). Μερικά OSD επιτρέπουν ακόμα και πολλαπλή λειτουργία χρονομέτρησης.

- Τάση μπαταρίας
Σχεδόν όλα τα OSD έχουν την δυνατότητα της μέτρησης της τάσης. Αυτή θεωρείται ως η πιο σημαντική πληροφορία κατά την πτήση ενός quadcopter, για να ξέρει ο χειριστής πότε θα πρέπει να το προσγειώσει.
- Ρεύμα
Με αισθητήρα ρεύματος είναι δυνατόν παρακολουθείται πόσο ρεύμα τραβάει η μπαταρία LiPo, και η συνολική χωρητικότητα της μπαταρίας που χρησιμοποιείται σε mAh.
- RSSI
RSSI(Received signal strength indication ή Ένδειξη δύναμης σήματος) είναι η ένδειξη της ισχύος του σήματος ραδιοπομπού , που συνήθως εμφανίζεται ως ποσοστό στο OSD. Όσο μακρύτερα πετάει το quadcopter τόσο πιο αδύναμο γίνεται το σήμα, και χρησιμοποιώντας αυτή την πληροφορία , ο χρήστης ξέρει πότε θα χρειαστεί να το επιστρέψει μέσα στην ακτίνα λήψης του.
Το RSSI παράγεται από το δέκτη ραδιοφώνου συνήθως σε μορφή PWM(Pulse-width modulation), έτσι μερικές φορές θα πρέπει ο χρήστης να έχει ένα μετατροπέα σήματος από ψηφιακό σε αναλογικό, όπως ένα φίλτρο χαμηλής διέλευσης.
- Προειδοποιήσεις
Μερικά OSD έχουν τη δυνατότητα να ρυθμιστούν ώστε να εκπέμπουν προειδοποιήσεις, όταν τιμές που έχει ορίσει ο χρήστης έχουν επιτευχθεί, όπως κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο τάσης της μπαταρίας, ή όταν το RSSI είναι πολύ χαμηλό και ούτω καθεξής.



Εικόνα 18: Εικόνα από ένα OSD.

- **Τρόπος Πτήσης**
Εμφανίζει τον τρέχον πτήσης του quadcopter. Είναι χρήσιμο, αν χρειάζεται συχνή αλλαγή μεταξύ πολλών των τρόπων πτήσης όπως «παραμονή», «χειροκίνητος» ή λειτουργίας αυτο-σταθεροποίησης, έτσι ώστε να μην μπερδεύει ο χρήστης σε τι κατάσταση βρίσκεται το quadcopter. Θα πρέπει βέβαια να υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης του OSD στη σειριακή θύρα του ελεγκτή της πτήσης για να λειτουργήσει αυτή το χαρακτηριστικό.
- **Γεωγραφικός προσανατολισμός(GPS)**
Με τη χρήση του GPS, είναι δυνατόν να ληφθούν συντεταγμένες ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους, καθώς και τα δεδομένα για το υψόμετρο (αν και τα δεδομένα θα είναι πάντα πιο ακριβή με βαρόμετρικό αισθητήρα ή αισθητήρας σόναρ). Χάρη σε κάποια σύνθετους αλγόριθμους, μπορεί επίσης να μετρηθεί η οριζόντια ταχύτητα του quadcopter, η απόσταση του από το σημείο όπου απογειώθηκε, και η αρχική θέση (μια γραφική ένδειξη για το προς ποια κατεύθυνση θα πρέπει να πετάξει για να επιστρέψει σε αυτή, που βοηθά χειρίστη σε περίπτωση που χάσει τον προσανατολισμό του.)
- **Τεχνητός Ορίζοντας**
Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ένα εικονικός ορίζοντας που απεικονίζεται για να βοηθήσει το χρήστη με την ισορροπία στον άξονα περιστροφής.

1.11.4 Επίγειος σταθμός ελέγχου

Ένας επίγειος σταθμός(Ground Control Stations ή GCS) ελέγχου είναι συνήθως μια εφαρμογή λογισμικού, που τρέχει σε έναν υπολογιστή, που επικοινωνεί με το UAV σας μέσω ασύρματης τηλεμετρίας. Εμφανίζει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την απόδοση και τη θέση των UAVs και μπορεί να χρησιμεύσει ως ένα "εικονικό πιλοτήριο", που δείχνει πολλά από τα ίδια εργαλεία που φέρουν τα πραγματικά αεροσκάφη. Ένα GCS μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο ενός UAV κατά την πτήση, προωθώντας νέες εντολές αποστολής και τη ρυθμιζοντας παραμέτρους. Συχνά χρησιμοποιούνται για να παρακολουθείται η ζωντανή ροή βίντεο από τις κάμερες του UAV.

Υπάρχουν τουλάχιστον οκτώ διαφορετικοί επίγειοι σταθμοί ελέγχου (Mission Planner, APM Planner 2, MAVProxy, Πύργος (DroidPlanner 3), AndroPilot, MAVPilot, iDroneCtrl και QGroundControl) που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία με ArduPilot, δηλαδή ελικόπτερο ή αεροπλάνο.

Η απόφαση για την επιλογή ενός συγκεκριμένου GSC συχνά εξαρτάται από το όχημά και τη προτιμώμενη πλατφόρμα πληροφορικής:

Οι χρήστες των έτοιμων για πτήση οχημάτων μπορεί να προτιμούν τη φορητότητα και την ευκολία χρήσης του Tower (Droid Planner 3), ή κάποιου άλλου GCS που εκτελείται στο tablet ή το τηλέφωνο.

Οι χρήστες που έχουν χτίσει μόνοι τους το αεροσκάφος τους και οι προγραμματιστές συχνά πρέπει να έχουν πρόσβαση σε εργαλεία διαμόρφωσης και ανάλυσης, και ως εκ τούτου χρειάζονται, τουλάχιστον αρχικά, τους Mission Planner, APM Planner 2 ή ένα άλλον GCS με πιο πλήρεις δυνατότητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Το χτίσιμο ενός Quadcopter

Το πρώτο βήμα ήταν να αποφασίσουμε για τι τρόπο πτήσης προορίζοταν και τι μέγεθος , και κατ'επέκταση βάρος , μας εξυπηρετεί περισσότερο. Όντας κατασκευή στα πλαίσια εργασίας αποφασίσαμε να είναι μεσσαίου μεγέθους ώστε να μπορεί να εξυπηρετεί πολλές μετατροπές οι οποίες πιθανόν θα το επιβαρυναν , κατι που θα καταστούσε μια μικρότερη κατασκευή μη ικανή να πεταξει , ενώ μια μεγαλύτερη θα είχε πολύ μεγαλύτερο κόστος για εμάς.

Ξεκινήσαμε ψάχνοντας από το που μπορούμε να προμηθευτούμε τα εξαρτήματα ενός quadcopter. Αφού επισκευθήκαμε διάφορα μαγαζιά μοντελισμού αντιληφθήκαμε ότι δεν γίνεται να συγκεντρώσουμε ο,τι χρειαζόμαστε διότι τα περισσότερα από αυτά δεν διέθεταν τον κατάλληλο εξόπλισμό ή ό,τι υπήρχε ήταν υπερκοστολογημένο . Στραφήκαμε , λοιπόν , σε δικτυακά καταστήματα τα οποία προσφέρουν και αρκετά μεγάλη ποικιλία σε εξαρτήματα με το αρνητικό όμως ότι διαμεσολάβουσε χρονικό διάστημα μέχρι και ενός μήνα σε ορισμένες περιπτώσεις για να τα παραλάβεις καθώς αποστέλλονταν από το εξωτερικό.

Το δεύτερο στοιχείο που λάβαμε υπόψη πριν πραγματοποιήσουμε κάποια αγορά είναι το βάρος της κατασκευής το οποίο δεν θα έπρεπε να ξεπερνάει κάποιο όριο , δεδομένου ότι είχαμε ήδη αποφασίσει ότι το μέγεθος του σκελετού θα είναι μεσσαίο , οπότε θέσαμε ως όριο να μην ξεπερνάει τα 3 κιλά.

2.2 Σκελετός/πλαίσιο

Ο σκελετός αποφασίσαμε να είναι από ανθρακονήματα για τα χαρακτηριστικά του που προσφέρουν απορρόφηση των δονήσεων από τα μοτέρ καθώς και αντοχή , διότι όντας καινούργιοι στο χώρο των quadcopter θα έπρεπε να προβλέψουμε για τυχών πτώσεις στα πρώτα τεστ πτήσης. Επόμενο σημαντικό χαρακτηριστικό του σκελετού είναι να έχει την δυνατότητα να ενσωματώσει αρκετά εξαρτήματα ώστε να μην χρειαστεί να περιοριστούμε από την αρχιτεκτονική του σε περίπτωση που θα θέλαμε να προσθέσουμε κάτι ακόμα.

Ο Hobbyking X650F ήταν η επιλογή μας διότι είναι φτιαγμένος από το ελαφρύ αλλά άκαμπτο ανθρακόνημα με βραχίονες αλουμινίου, προσφέροντας ένα καλό συνδυασμός της εξοικονόμησης βάρους και δύναμης τους υλικού.

Οι βραχίονες είναι αναδιπλούμενοι καθιστώντας εύκολη την μεταφορά και την αποθήκευση. Επίσης οι βραχίονες ανά δύο είναι διαφορετικά χρώματα για τον προσανατολισμό του χειρίστη, οπότε είναι ευκολότερο να διατηρηθεί ή πτήση του quadcopter τη σωστή κατεύθυνση. Οι καθολικές βάσεις κινητήρα εξυπηρετούν την χρήση ενός ευρέους φάσματος κινητήρων ενώ διαθέτει και αεριζόμενες θέσεις για τα ESC ώστε να μπορούν να ψυχθούν κατά τη διάρκεια της χρήσης τους.

Αυτός ο σκελετός διαθέτει και επεκταμένη βάση προσγείωσης που δίνοντας μας την απόσταση από το έδαφος που απαιτείται για την προσθήκη κάμερας εάν αργότερα αποφασίζαμε να προσθέσουμε μια. Για αυτόν τον σκοπό διαθέτει αποσπώμενη βάση κάμερας.



Εικόνα 19: Το πλαίσιο Hobbyking X650F

2.2 Επιλογή ελεγκτή πτήσης

Ο ελεγκτής πτήσης είναι ο εγκέφαλος του quadcopter οπότε θα έπρεπε να τον επιλέξουμε προσεκτικά. Επειδή το quadcopter δεν προορίζονταν εξ-αρχής για κάποια συγκεκριμένη χρήση, ο ελεγκτής θα έπρεπε να έχει όσο το δυνατόν περισσότερες δυνατότητες ώστε να μας επιτρέπει να πειραματιστούμε.

Ο ελεγκτής με όνομα Ardupilot Mega 2.6 βρέθηκε να ταιριάζει στις απαιτήσεις μας διότι διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά που συνθέτουν έναν καλό ελεγκτή σε λογικό κόστος για αυτά που προσφέρει.

Το Arducopter (όπως επίσης αποκαλείται) , συγκεντρώνει τα περισσότερα χαρακτηριστικά των ελεγκτών πτήσης, και ο χρήστης μπορεί να προσθέσει ακόμα περισσότερους αισθητήρες και δυνατότητες, όπως η τηλεμετρία. Υπάρχουν επίσης πολλές άλλες πλατφόρμες λογισμικού που χρησιμοποιούν αυτό την πλακέτα, όπως ArduPirate και Aeroquad. Αν και στον χώρο των quadcopter θεωρείται ως ένας από τους απαιτητικότερους ελεγκτές για διαμορφωθεί ώστε λειτουργήσει σωστά προσφέρει πολλά είδη πτήσης ενώ έχει προηγμένες δυνατότητες αυτόνομιας.



Εικόνα 20: Η πλάκετ του ardupilot Mega 2.6 με εξωτερική θήκη η οποία προστατεύει τα κυκλώματα.

Το πραγματικό όφελος όμως για τον APM2.6 είναι ότι έχει ένα εύρος των αισθητήρων, που υποστηρίζονται εγγενώς στον κώδικα στους οποίου συμπεριλαμβάνονται : αισθητήρας βαρομετρικής πίεσης, μαγνητόμετρο (πυξίδα),

GPS, επιταχυνσιόμετρο καθώς και πλήρη αυτόματο πιλότο στον οποίο μπορείς να ορίσεις πολλά σημεία αναφοράς.

Εξίσου θετικό είναι ότι η κοινότητα του Arducopter είναι πολύ μεγάλη, έτσι ώστε όλος ο κώδικας έχει ελεγχθεί διεξοδικά από πολλούς ανθρώπους. Η πλακέτα είναι βασιμμένη στο Arduino , οπότε υπάρχει αρκετή γνώση σχετικά και με το υλισμικό.

Σημαντικό μειονέκτημα είναι βέβαια ότι είναι αρκετά δύσκολο να κάνεις το GPS και πολλους από τους αισθητήρες να λειτουργήσουν σωστά λόγω του θορύβου και των παρεμβολών στο σύστημα.

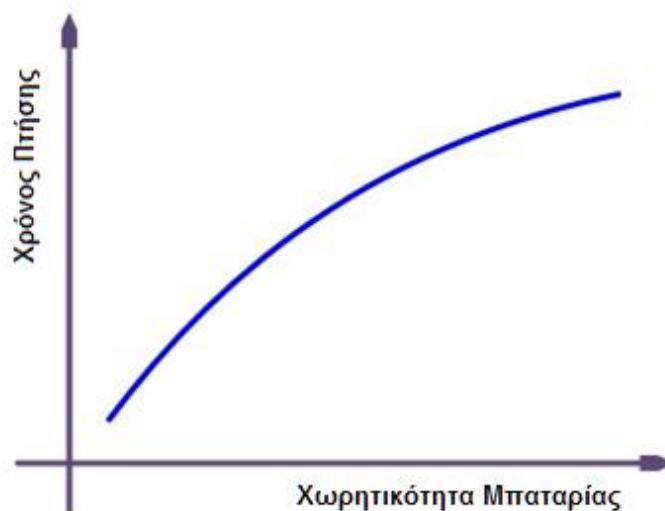


Εικόνα 21: Πλακέτα GPS που συνδέεται με το Ardupilot.

2.3 Μπαταρία

Το επόμενο εξάρτημα που μας απασχόλησε ήταν η μπαταρία που θα χρησιμοποιήσουμε. Τα χαρακτηριστικά της που μας αφορούσαν άμεσα ήταν δύο : το βάρος και η χωρητικότητα της. Το πρώτο διότι επηρρέαζε άμεσα την αρχιτεκτονική

του μοντέλου μας , και από το δεύτερο εξαρτάται το πόσο χρόνο μπορεί να βρίσκεται στον άερα. Δυστυχώς, η αύξηση του χρόνου πτήσης δεν είναι ανάλογη με την αύξηση του μεγέθους της μπαταρίας, το οποίο σημαίνει ότι έχουν την εξής σχέση.



Εικόνα 22: Σχέση χρόνου πτήσης με Χωρητικότητα μπαταρίας

Καθώς η μπαταρία μεγαλώνει, η αύξηση του χρόνου πτήσης καθίσταται αναποτελεσματική. Τελικά θα φτάνει σε ένα σημείο όπου απλά δεν κερδίζεται περισσότερος χρόνος πτήσης με μεγαλύτερη μπαταρία (αντιθέτως είναι δυνατόν και να χάνεται χρόνος πτήσης). Αυτό προκαλείται κυρίως από το βάρος της μπαταρίας. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι όσο βαρύτερο είναι το ελικόπτερο, τόσο λιγότερο ευκίνητο θα είναι. Αρκετοί χομπίστες βέβαια επενδύουν στη σταθερότητα που φέρνει το μεγαλύτερο βάρος. Εκτός από την χωρητικότητα της μπαταρίας, υπάρχει και C-τάξη(C-τιμή ή C-rating ή C-value) που θα πρέπει να εξεταστεί.

Η ιδιαίτερη αναλογία που έχουν μεταξύ τους ο χρόνος πτήσης και η χωρητικότητα της μπαταρίας, καθιστά πιο δύσκολο να επιλεγεί ποια μπαταρία θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε, και όχι απλά «να πάρουμε τη μεγαλύτερη μπαταρία που είναι διαθέσιμη». Οπότε , επείτα από έρευνα στο διαδίκτυο εντοπίσαμε τεχνικές στις οποίες μπορέσαμε να βασιστούμε και χρησιμοποιήσαμε για να διευκολύνουμε αυτήν την επιλογή:

Η δημιουργία γραφημάτων και μαθηματικών μοντέλων στο Excel, το οποίο είναι πολύ χρήσιμο κατά τη σύγκριση διαφόρων προϊόντων του ίδιου είδους. Η

τεχνική αυτή, βέβαια ,είναι αξιοποιήσιμη για όλα τα είδη multicopters, συμπεριλαμβανομένων και μικρότερων μεγεθών.

Αρχικά όμως για να ξεχωρίσουμε ποιές μπαταρίες είναι κατάλληλες για την κατασκευή μας πρέπει να υπολογίσουμε τα εξής:

- Πόση ενέργεια θα χρησιμοποιούν οι κινητήρες;
- Να αποφασίσουμε πόσο χρόνο πτήση που θέλετε συγκεκριμένα;
- Πόση επιρροή θα έχει το βάρος της μπαταρίας επί του συνολικού βάρους;

Ένας καλός εμπειρικός κανόνας είναι ότι με τέσσερις EPP1045 έλικες (ελικές που έχουν διάμετρο 10 ίντσες και κλίση 4.5 ίντσες δηλαδή 25.4cm και 11.43cm αντίστοιχα) και τέσσερις κινητήρες με ονομαστική ισχύ $Kv = 1000$, θα έχουμε τον ίδιο αριθμό των λεπτών χρόνου πτήσης σε μέγιστη ισχύ κινητήρων με τον αριθμό αμπερ/ωρών για τη χωρητικότητα της μπαταρίας μας. Αυτό σημαίνει ότι αν έχουμε μια μπαταρία των 4000mAh, θα επιτύχουμε περίπου 4 λεπτά από πλήρης ισχύος κινητήρων σε χρόνο πτήσης αν και με 1κιλό συνολικού βάρους το quadcopter θα μπορεί να αιωρείται για 16 λεπτά.



Εικόνα 23: Έλικες τύπου EPP1045

Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η επιλογή της μπαταρίας, των ελίκων , των κινητήρων και κατ' επέκταση των ελεγκτών ταχύτητας , είναι αλληλένδετη διότι πρέπει όλα τα εξαρτήματα να είναι συμβατά μεταξύ τους και να παράγουν αρκετή ισχύ ώστε να μπορεί να ίπταται το quadcopter.

2.4 Ρυθμός αποφόρτισης της μπαταρίας

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας στην επιλογή είναι ο ρυθμός αποφόρτισης της μπαταρίας που καθορίζεται από την C-τάξη. Η C-τάξη μαζί με την χωρητικότητα της μπαταρίας δείχνει πόσο ρεύμα μπορούν να αντληθεί από την μπαταρία.

Η μέγιστη ισχύ ρεύματος που μπορεί να προέρχεται μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\text{Μέγιστη Ισχύς Ρεύματος} = \text{Ρυθμός εκφόρτισης} \times \text{Χωρητικότητα}$$

Για παράδειγμα, έχουμε μια μπαταρία που έχει ένα ποσοστό απόφορτισης 30C και χωρητικότητα 2000 mAh. Με αυτή τη μπαταρία θα είμαστε σε θέση να προμηθεύουμε τους κινητήρες, το μέγιστο $30C \times 2000mAh = 60A$ ρεύμα. Έτσι, σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι το συνολικό ποσό του ρεύματος που λαμβάνεται από τους κινητήρες μας δεν θα υπερβαίνει τα 60A.

2.5 Τελική επιλογή μπαταρίας

Γνωρίζοντας τα παραπάνω αποφασίσαμε να επιλέξουμε την Turnigy nano-tech 4500mah 3S 35~70C Lipo Pack. Όπως δηλώνει και το όνομα της είναι μπαταρία 3 κελιών (3S) , με κάθε κελί να είναι στα 3,7 volt , που σημαίνει ότι η δική μας μπαταρία είναι στα 11.1 volt (3,7volts x 3 cells). Η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι 4.500 mAh που σημαίνει ότι μια συσκευή μπορεί να «τράβει» από αυτήν 4500mA για μια ώρα μέχρι αυτή να ξεφορτιστεί , ενώ έχει 35C ρυθμό εκφόρτισης κάτι που μας επιτρέπει να «τραβάμε» μέχρι και 2625mAh το λεπτό (υπολογιστήκε ως εξής: $4500mAh \times 35C = 157500mAh$ το οποίο στην συνέχεια διαιρούμε με τα 60 λεπτά της ώρας για να μας δώσει 2625mAh) με περίπου 1.7 λεπτά πτήσης. Το βάρος της είναι στα 372g που είναι 55 γραμμάρια περισσότερα από την δεύτερη επιλογή μας που είναι στα 3300mAh , αλλά δεν είναι σημαντική διαφορά διότι επενδύσαμε σε 1200mAh παραπάνω που θα μας παρέχουν μεγαλύτερο χρόνο πτήσης.



2.6 Επιλογή κινητήρων και Ελεγκτών ταχύτητας

Όταν επιλέγουμε κινητήρες, συνήθως υπάρχουν προδιαγραφές που χαρακτηρίζουν τον κάθε κινητήρα που είτε παρέχονται από τον πωλητή είτε από τον κατασκευαστή. Θα πρέπει να είμαστε σε θέση να βρούμε πληροφορίες σχετικά με την ισχύ του μοτέρ, την ώθηση που παράγει, τις στροφές ανά λεπτό κλπ.

Για να επιλέξουμε ένα συγκεκριμένο κινητήρα πρέπει πρώτα να γνωρίζουμε το πόσο βάρος σχεδιάζουμε να φορτώσουμε στον σκελετό, και στη συνέχεια να επεξεργαστούμε την ώθηση που απαιτείται για την άρση ολόκληρου του quadcopter. Ένας γενικός κανόνας είναι ότι θα πρέπει οι κινητήρες να είναι σε θέση να παρέχουν την διπλάσια ώθηση από το βάρος του quad. Εάν η ώθηση που παρέχεται από τους κινητήρες είναι πολύ μικρή, το quad δεν θα ανταποκριθεί καλά για στον έλεγχο μας, ενώ μπορεί και να έχει δυσκολίες στο να απογειωθεί. Αλλά εάν η ώθηση είναι πολύ μεγάλη, το quadcopter μπορεί να γίνει πάρα πολύ ευαίσθητο και δύσκολο να ελεγχθεί.

Ένας γενικός κανόνας που λάβαμε υπόψιν είναι :

$$\text{Ώθηση που απαιτείται ανά κινητήρα} = (\text{βάρος} \times 2) / 4$$

Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε ένα quadcopter με βάρος που μπορεί να είναι περίπου 1 kg. Χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση, ξέρουμε ότι χρειαζόμαστε μια συνολική ώθηση των 2 κιλών με 500g ανά κινητήρα. Φυσικά θα πρέπει να έχουμε υπολογίσει προσεγγιστικά το τελικό βάρος του quadcopter μας, χωρίς να παραλήψουμε να προσθέσουμε το βάρος των κινητήρων και ελίκων που ποικίλλουν σε κάθε περίπτωση. Εάν προσθέσουμε κάμερα, θα χρειαστεί να προνοήσουμε για το βάρος της.

Αν και μπορούμε να επιλέξουμε τους κινητήρες για το βάρος που εμείς θέλουμε να μεταφέρουμε, είναι πάντα φρονιμότερο να μεταφέρουμε όσο το λιγότερο βάρος δυνατόν. Η ελαφρότητα είναι πολύ σημαντικό για όλα τα αεροσκάφη, διότι τυχόν περίσσεια βάρους θα μπορούσε να μειώσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και την ευελιξία αεροσκάφους μας.

Έως τώρα το συνολικό βάρος του σκελετού, της μπαταρίας και του arducopter είναι 1040 γραμμάρια, που είναι το ένα τρίτο από το μέγιστο των τριών κιλών που έχουμε ορίσει. Μαζί με τέσσερα μοτέρ και τέσσερις ελεγκτές ταχύτητας, τον δέκτη του χειριστηρίου καθώς και μια πλακέτα διαμοίρασης ενέργειας, που είναι

απαραίτητη, υπολογίζουμε χονδρικά ότι το συνολικό βάρος δεν θα ξεπεράσει τελικά τα 2 κιλά , κάτι που είναι αρκετά θετικό διότι μας αφήνει περιθώριο 1 κιλό από το μέγιστο.

Ο κινητήρας που επιλέξαμε είναι ο «NTM Prop Drive Series 35-30 1100kv / 380w».



Εικόνα 25: Κινητήρας NTM Prop Drive Series 35-30 1100kv / 380w

Όπως και στο παράδειγμα στο οποίο αναφερθήκαμε προηγουμένως, ο κάθε κινητήρας θα χρειαστεί να παράγει ώθηση για τουλάχιστον 500 γραμμάρια.

Motor calculator		
Fill in 'Inputs' below		
Setup		
# rotor	4	
α	1,45	
Use calculated AUW		
Mass	2 kg	
Battery		
Voltage	11,1 V	
#	1	
Capacity	4500 mAh	
Rating	29 C	
Propeller		
Diameter	10 in	
Pitch	4,5 in	
Thrust-to-Weight		
Desired Thrust-to-Weight (usually 3)		
Desired	3	
Req Tot T	6 kg	
Req T Per	1,5 kg	
Max RPM calculated using Prop D		
Propeller Correction Factors		
Prop	α	Max RPM
Aeront E	0,93	TBC
APC E	1,3	14500
APC SF	1,9	6500
APC MR	1,6	10500
Graupner E	1,45	13500
MA-K	1,3	16500
MA Scim	0,95	16500
Zinger	1,1	TBC
Required Motor		
Required	10209 RPM	
Required KV	920 KV	
Efficiency	80 %	
Req Nom KV	1104 KV	
Req Power	306 W	
Req ESC	33 A	
Estimator		
100% Throttle		
Required	10209 RPM	
P-out	255 W	
P-in	306 W	
A-motor	27,6 A	
A-tot	110,3 A	
Hover		
RPM	6456 RPM	
P-out	65 W	
P-in	77 W	
A-motor	7,0 A	
A-tot	27,9 A	
Endurance		
Hover	7,7 Min	
Average	4,9 Min	
100% Throt	2,0 Min	

Εικόνα 26: Φωτογραφία απο αρχείο excel για την επιλογή κινητήρα

Η επιλογή του κινητήρα έγινε με βάση τα δεδομένα που πήραμε με τη βοήθεια ενός calculator. Στην παραπάνω φωτογραφία(βλ. Εικόνα 26) εισάγαμε τον αριθμό των μοτέρ που θα χρησιμοποιήσουμε (μεταβλητή “# rotor”) , την μάζα που υπολογίζουμε να έχει το quad μας (μεταβλητή “Mass”) , τα στοιχεία της μπαταρίας που έχουμε επιλέξει (όπου “Voltage” είναι τα Volt της μπαταρίας μας , η δόση είναι ο αριθμός των μπαταριών που χρησιμοποιούμε και “Capacity” είναι η χωρητικότητα της μπαταρίας σε mAh) καθώς και τα στοιχεία των ελικων που έχουμε επιλέξει . Τέλος εισάγαμε τον λόγο ώθησης προς βάρος να είναι ίσος με 3 και επιλέξαμε να έχουμε τουλάχιστον 80% απόδοτικότητα με τα μοτέρ.

Ο calculator μας επέστρεψε ότι χρειαζόμαστε τουλάχιστον μια μπαταρία με ρυθμό εκφόρτισης τουλάχιστον 29C , κάτι που καλύπτουμε ήδη (έχοντας μπαταρία με ρυθμό εκφόρτισης 30C) και ότι συνολικά χρειαζόμαστε ώθηση για 6 κιλά δηλαδή 1,5 κιλό ο κάθε κινητήρας (αυτό το βλέπουμε στις μεταβλητές “Req Tot T” και “Req T Per” αντίστοιχα). Στον πίνακα “Required motor” ,στο πεδίο “Required” μας δίνεται ο αριθμός των στροφών το λεπτό που έχει ο κάθενας από τους έλικες ξεχωριστά στο 100% της ισχύος του κινητήρα , με βάση βέβαια τις προδιαγραφές του έλικα και τα kv των κινητήρων. Τα ελάχιστα Kv χρειάζεται το κάθε μοτέρ , για να υψώσουν το quad μας αναγράφεται στην μεταβλητή “Required KV” , ενώ δίνεται επίσης η ονομαστική τιμή των Kv που θα πρέπει να έχει στις προδιαγραφές του το μοτέρ από την μεταβλητή “Req Nom KV”. Ο πίνακας “Estimator” μας δίνει την ισχύ και το ρεύμα του κάθε μοτέρ στο 100% του γκαζιού , καθώς και όταν είναι ακρίβως αρκετό μόνο για να αιρηθεί το quad , ενώ μας ενημερώνει και για το μέσο χρόνο πτήσης που θα έχουμε διαθέσιμο ή πραγματοποιώντας απλή αιωρήση ή αιωρηση στο 100% της ισχύος του κινητήρα.

Από των πίνακα των προδιαγραφών του NTM Prop Drive Series 35-30 1100kv / 380w που επιλέξαμε , βλέπουμε ότι έχουμε σχεδόν ίδια ονομαστική τιμή Kv ενώ το μέγιστο ρεύμα που χρειάζεται για να λειτουργήσει είναι λιγότερο απόσο υπολογίσαμε

Kv(rpm/V)	1100
Weight (g)	88
Max Current(A)	32
Resistance(mh)	0
Max Voltage(V)	15
Power(W)	380
Shaft A (mm)	4
Length B (mm)	32
Diameter C (mm)	35
Can Length (mm)	15
Total Length E (mm)	53

Εικόνα 27: Οι προδιαγραφές του κινητήρα που επιλέξαμε

Ο λόγος που επιλέξαμε την αναλογία της ώθησης προς το βάρος να είναι μεγαλύτερος από 2 που είναι το συνιθισμένο είναι επειδή με αναλογία 3 μας επιτρέπεται να ρυθμίσουμε το quadcopter να πραγματοποιεί ακροβατικούς ελιγμούς, σε περίπτωση που αποφασίσουμε να διαμορφώσουμε την αρχιτεκτονική του με αυτόν τον τρόπο. Σε αντίθετη περίπτωση, δεν είναι δυνατόν, διότι όπως και να είναι τοποθετημένα τα εξαρτήματα πάνω στο σκελετό δεν θα είχαν την δυνατότητα οι κινητήρες. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι ένα quadcopter μπορεί να ανυψωθεί και με αναλογία 1,5, αν και σε αυτό θα σήμαινε ότι χρησιμοποιούμε μοτέρ με μικρότερη ικανότητα ώθησης από το κανονικό, τα οποία θα δέχονται πολύ «ζόρισμα». Όπως έχει αναφερθεί ήδη πολύ μεγάλη αναλογία θα έκανε το quadcopter ευαίσθητο και ασταθές.

2.7 Ηλεκτρονικοί Ελεγκτές ταχύτητας

Οι ελεγκτές ταχύτητας που επιλέξαμε μαζί με τα μοτέρ ήταν οι «TURNIGY Plush 40amp Speed Controller».



Εικόνα 28: Ο Ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας που επιλέξαμε

Όταν επιλέγουμε ESC υπάρχει ένα πολύ βασικό χαρακτηριστικό για το οποίο θα προσέξουμε. Αυτή είναι η τάξη της έντασης του ρεύματος που δέχεται. Κάθε κινητήρας λαμβάνει διαφορετική ποσότητα αμπέρ. Δηλαδή ,έστω ότι έχουμε ένα μοτέρ που τραβά 10 αμπέρ. Δεν θέλουμε να αγοράσουμε ένα ESC που είναι σχεδιασμένα για 10 αμπέρ. Χρειαζόμαστε να πάρουμε ένα ESC που είναι σχεδιασμένο για 15 ή 18 αμπέρ. Είναι πάντα καλό να ή τάξη του να είναι υψηλότερη. Όσο υψηλότερη τάξη αμπέρ είναι το ESC τόσο λιγότερη θερμότητα θα εκπέμπεται από αυτό.

Cont Current: 40A
Burst Current: 55A
BEC Mode: Linear
BEC : 5v / 3A
Lipo Cells: 2-6
NiMH : 5-18
Weight: 33g
Size: 55x28x13mm

Εικόνα 29: Οι προδιαγραφές του ESC μας

Παρατηρούμε ότι το ESC είναι σχεδιασμένο για 40A δηλαδή τηρεί τον κανόνα και είναι παραπάνω από τα 32A που χρειάζονται τα μοτέρ. Επιπλέον η μπαταρία μας είναι και αυτή συμβατή με τα ESC : όπως έχουμε υπολογίσει ήδη , στέλνει σε κάθε κινητήρα περίπου 39Amp (* υπολογίστηκε με βάση το Νόμο της Έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος του Kirchhoff , γνωρίζοντας ότι η μπαταρία παρέχει σε τεσσσερις κινητήρες 157,5 Αμπερ την ώρα , δηλαδή $157,5A / 4 = 39,375 A$ Δεν έχουμε βέβαια υπολογίσει το ρεύμα που θα τραβάει το ardupilot και ο ραδιο-δέκτης που θα είναι σαφώς πολύ λιγότερο από αυτό των κινητήρων.) που είναι μέσα στο όριο που μπορεί να δεχτεί το ESC .

Η θερμότητα, για τα ESC μπορεί να φτάσει υψηλά επίπεδα σε ορισμένες περιπτώσεις! Αυτός είναι ο λόγος που ένα ESC πρέπει τάξη της έντασης του ρεύματος να είναι μεγαλύτερη από του κινητήρα μας, διότι διαφορετικά ο κινητήρας θα «τραβήξει» πάρα πολλά αμπέρ μέσα από το ESC και θα προκαλέσει υπερθέρμανση και πιθανώς να ξεσπάσει και φωτιά.

Τα ESC θα πρέπει να τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να παίρνουν επαρκή ροή αέρα για να διατηρηθούν σε όσο χαμηλότερη θερμοκρασία γίνεται.

2.8 Έλικες και προσαρμογείς

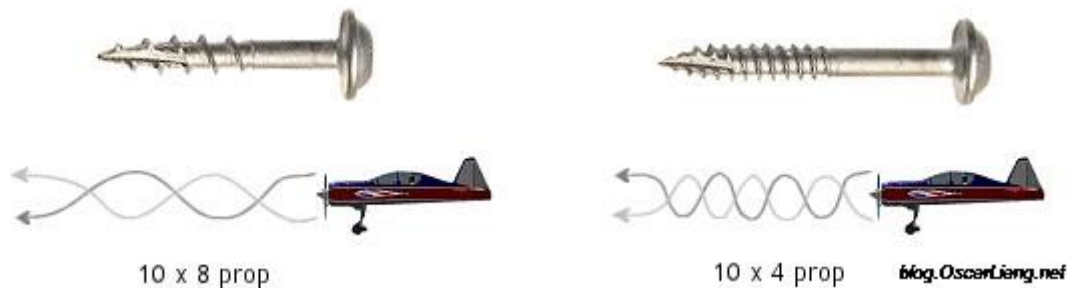
Η επιλογή των ελίκων είναι επίσης αλληλένδετη με αυτή των κινητήρων επειδή μαζί συνθέτουν τον μηχανισμό που κάνει το quadcopter να ύππатаι.

Το quadcopter χρησιμοποιεί δύο έλικες που γυρίζουν με τη φορά του ρολογιού (CW) και δύο αριστερόστροφους (CCW) .

Μία βίδα προχωράει σε κάθε πλήρη περιστροφή της όσο και η απόσταση που έχουν οι βόλτες της, δηλαδή όσο είναι το βήμα της.

Αν και η έλικα δεν «βιδώνει» σε σκληρό υλικό, αλλά στον αέρα, για την κατανόηση του όρου "βήμα", θα την θεωρήσουμε και αυτή σαν μία βίδα.

Αρα βήμα(κλίση) είναι η απόσταση που θα προχωρούσε η έλικα θεωρητικά, σε μία πλήρη περιστροφή της, αν ακολουθούσε πιστά την κλίση/γωνία που έχουν τα πτερύγιά της.



Εικόνα 30: Το βήμα του έλικα σε σχέση με τις στροφές μια βίδας

Κατά τη λήψη απόφασης σχετικά με το μήκος και τη κλίση του έλικα, θα πρέπει να βρεθεί μια καλή ισορροπία. Σε γενικές γραμμές ένας έλικας με μικρή κλίση μπορεί να δημιουργήσει περισσότερη ροπή. Οι κινητήρες δεν χρειάζεται να δουλέψουν τόσο έντονα γι 'αυτό τραβάει λιγότερο ρεύμα με αυτό το είδος έλικα. Για ακροβατικά, χρειαζόμαστε έλικες που παρέχουν ροπή και περισσότερη επιτάχυνση και βάζοντας λιγότερη πίεση στο σύστημα τροφοδοσίας. Μικρότερη κλίση βελτιώνει επίσης τη σταθερότητα.

Αποφασίσαμε να επιλέξουμε έναν έλικα 10x4.5 διότι το quad μας είναι μεσαίου μεγέθους. Διαλέξαμε τους «10x4.5 SF Props 2pc CW 2 pc CCW Rotation» σε χρώμα μπλε για να μπορούμε να διακρίνουμε το quad μας καλύτερα. Επίσης όπως δηλώνει και το όνομα τους είναι έλικες «αργής πτήσης» (SF ή slow fly) που σημαίνει ότι σε μέγιστο αριθμό στροφών δεν θα κίνεταί πολύ γρήγορα , κατί που θα μας βοηθήσει στις δοκιμές , και σε περιπτώση που θα χάσουμε τον έλεγχο.



Εικόνα 31: Οι έλικες που επιλέξαμε μαζί με δαχτυλίδια προσαρμογής για τον αντάπτορα

Μια έλικα με μεγαλύτερη κλίση κινεί μεγαλύτερη ποσότητα αέρα, το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει αναταράξεις και να κάνει το quadcopter μας να ταλαντεύεται κατά τη διάρκεια που θα αιωρείται ενώ με μικρότερη θα είχαμε πρόβλημα σε περίπτωση που θα χρειαζοταν να φορτώσουμε τον σκελετό με περισσότερο βάρος διότι θα μας περιόριζε σημαντικά.

Επιπλέον με βάση τον πίνακα των tests με διάφορους έλικες, στον κινητήρα που επιλέξαμε βλέπουμε ότι σε συνδιασμό με την μπαταρία που έχουμε χρειάζεται πολύ λιγότερα Watt από αυτά που έχει προβλέψει ο calculator στο πεδίο "Req Power" του πίνακα "Required Motor". Αυτό σημαίνει ότι θα έχουμε λιγότερη κατανάλωση και περισσότερο χρόνο στον αέρα, μέχρι να εξαντληθεί η μπαταρία.

Prop Tests:			
8x4	- 14.8v	- 251W	- 17A
8x4	- 11.1v	- 121W	- 11A
9x6	- 11.1v	- 178W	- 16A
9x6	- 14.8v	- 355W	- 24A
10x5	- 11.1v	- 200W	- 18A
10x5	- 14.8v	- 385W	- 26A
11x5.5	- 11.1v	- 200w	- 20A
12x6	- 11.1v	- 266w	- 26A

Εικόνα 32: Βλέπουμε υπογραμμισμένο το ρεύμα που χρειάζεται το μοτέρ με την επιλογή του μεγέθους του έλικα.

2.9 Μονάδα ισχύος και μονάδα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Για την τροφοδοσία των κινητήρων και των υπόλοιπων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων με ρεύμα το quadcopter χρειάζεται δυο πολύ βασικά εξαρτήματα: Μια πλακέτα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας(power distribution board) και μια μονάδα ισχύος(power module).



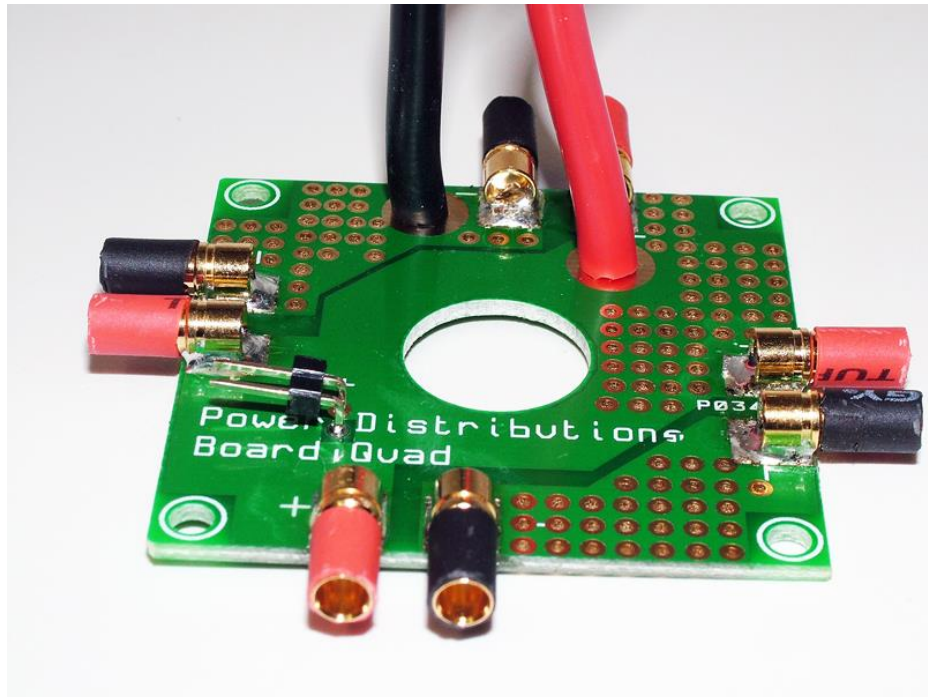
Εικόνα 33: Μονάδα ισχύος arm

Υπάρχει συγκεκριμένη υποδοχή για την τοποθέτηση μονάδας ισχύος για το arducopter οπότε οι επιλογές μας ήταν περιορισμένες. Βέβαια προσφέρονται και μερικά πλεονεκτήματα :

- Παρέχει μια σταθερή τάση στα 5.37V και τροφοδοτεί με 2.25Amp μειώνοντας τις πιθανότητες ενός μιας ξαφνικής πτώσης τάσης.
- Επιτρέπει την παρακολούθηση της τάσης της μπαταρίας και δίνοντας την δυνατότητα της επιστροφής στην θέση απογείωσης, όταν ανιχνευθεί ότι η τάση είναι χαμηλή ή η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της πτήσης προσεγγίζει χωρητικότητα της μπαταρίας.
- Επιτρέπει στο firmware arm να αντισταθμίσει με μεγαλύτερη ακρίβεια την παρεμβολή στην πυξίδα από τα άλλα εξαρτήματα.
- Η μονάδα ισχύος δέχεται μέγιστη τάση εισόδου 18V (έως 4S για Lipo μπαταρία) και μέγιστο ρεύμα 90Amps , ενώ μπορούν να ανιχνευθούν και τα 90Amp ρεύματος.

2.10 Πλακέτα διανομής ηλεκτρική ενέργειας

Ορισμένοι σκελετοί quadcopter έχουν ενσωματωμένη πλακέτα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε περίπτωση όμως που δεν έχει αυτό το χαρακτηριστικό, όπως συγκεκριμένα αυτός που επιλέξαμε εμείς, χρειάζεται να προμηθευτείς μια ξεχωριστά. Ανάλογα με το πόσους κινητήρες χρησιμοποιείς έχει και τόσα πινάκια, οπότε για το quadcopter μας χρειαζόμαστε μια με συνολικά 8 (ένα για την τροφοδοσία και ένα για την γείωση του κάθε κινητήρα)



Εικόνα 34: Πλακέτα διανομής ηλεκτρική ενέργειας για quadcopter

Επιπλέον μπορούμε να παρατηρήσουμε από την παραπάνω φωτογραφία (βλ. Εικόνα 34) ότι έχει δύο μικρότερα pins για την τροφοδοσία κάποιου άλλου εξαρτήματος.

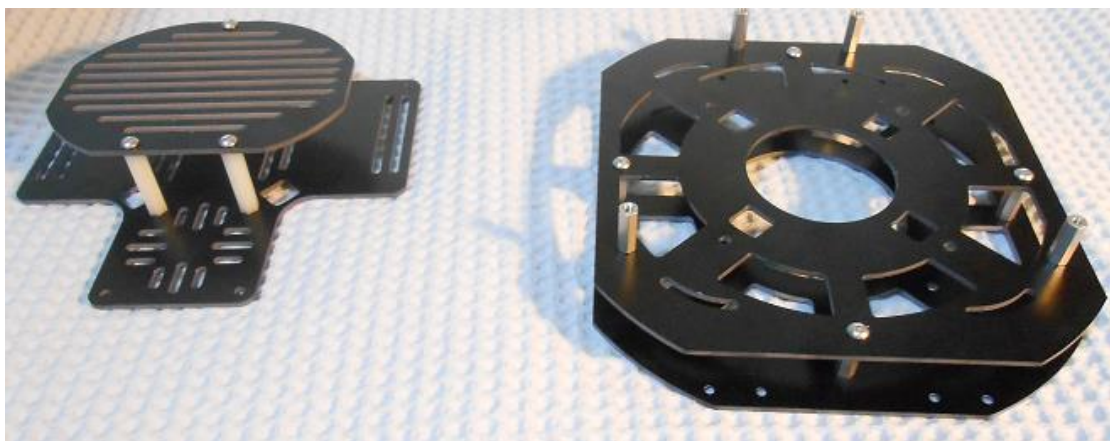
2.11 Η διαδικασία της κατασκευής

Αφού επιλέξαμε και συγκεντρώσαμε όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα για την κατασκευή του quadcopter ξεκινήσαμε να το κατασκευάζουμε.



Εικόνα 35: Τα εξαρτήματα που συγκεντρώσαμε

Πρώτο βήμα ήταν η κατασκευή του σκελετού. Συνδέσαμε αρχικά τα πρώτα επίπεδα του σκελετού ώστε να έχουμε μια γενική ιδέα του πώς θα τοποθετήσουμε τα εξαρτήματα (θέση του arducopter , του GPS κλπ.)



Εικόνα 36: Τα 4 επίπεδα του σκελετού τα οποία είναι η βάση των εξαρτημάτων

Στην συνέχεια συνδέσαμε στους βραχίονες τις βάσεις των κινητήρων έτσι ώστε να δούμε και πάλι πως μπορούμε να τοποθετήσουμε τους κινητήρες σε συνδιασμό με τους ελεγκτές ταχύτητας. Δεδομένου ότι οι κινητήρες είναι outrunners , δηλαδή περιστρέφεται το εξωτερικό μέρος τους , δεν πρέπει να έρχονται σε επαφή με κάποιο άλλο εξάρτημα κατά την λειτουργία τους διότι κάτι τέτοιο μπορεί όχι μόνο να επηρεάσει τον κινητήρα και κατ' επέκταση την ομαλότητα της πτήσης. Αποφασίσαμε λοιπόν ότι, παρόλο που υπάρχει χώρος στις βάσεις των κινητήρων ειδικά για την τοποθέτηση των ελεγκτών ταχύτητας , να μην τον χρησιμοποιήσουμε διότι θα ήταν επικίνδυνα κόντα στα μοτέρ. Επιπλέον εκτός από την πιθανότητα να

έρθουν σε επαφή οι ελεγκτές ταχύτητας και οι κινητήρες , πιθανή έκκλιση θερμότητας από τους κινητήρες στους ελεγκτές ταχύτητας θα μπορούσε να υπερθερμάνει τα κυκλώματα τους.



Εικόνα 37: Βραχίωνες διαφορετικού χρώματος του quadcopter για τον ευκολότερο προσανατολισμό του.

Στην συνέχεια στερεώσαμε την πλακέτα διανομής ενέργειας στο χαμηλότερο επίπεδο έτσι ώστε να το καλώδιο της να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο λυγισμένο ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να κοπεί το σύρμα εσωτερικά.

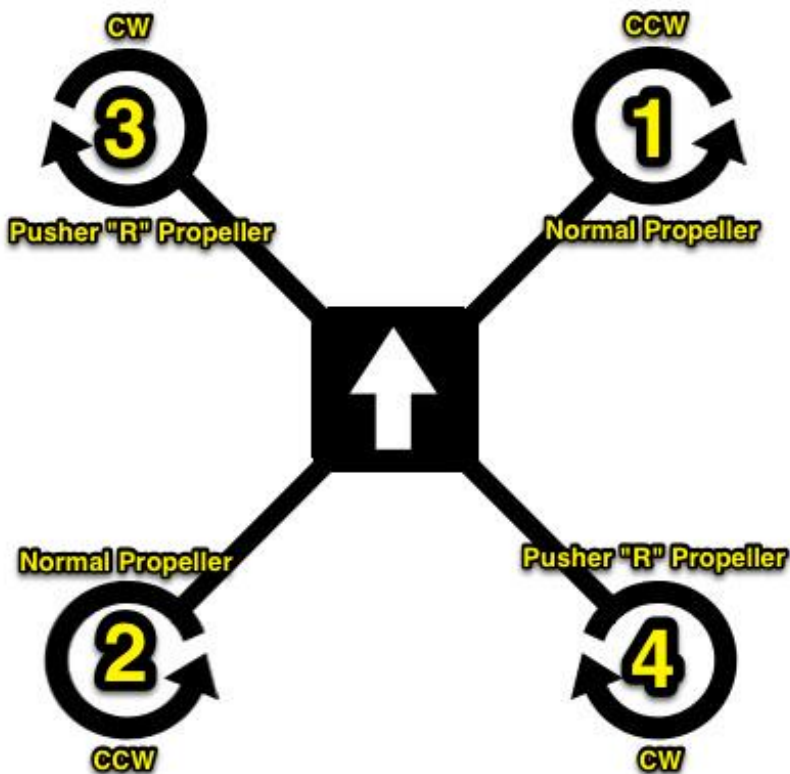


Εικόνα 38: Το πάνω μέρος του χαμηλότερου επιπέδου του σκελετου.

Χτίζοντας τον σκελετό προσπαθήσουμε να τοποθετήσουμε έτσι τα εξαρτήματα ώστε να υπάρχει ισορροπία για να μην κλίνει στη πτήση προς μια συγκεκριμένη πλευρά , διότι θα προκαλούνταν η αποσταθεροποίηση του quad ή ακόμα και αν παρέμενε σταθερό , αυτό θα συνέβαινε εις βάρος των κινητήρων που έχουν περισσότερο βάρος από την πλευρά τους . Οι κινητήρες αυτοί θα πρέπει να λειτουργούν σε μεγαλύτερη ταχύτητα για να παράγουν περισσότερη ώθηση προκαλώντας τους έτσι μεγαλύτερη φθορά.

Οι κινητήρες ήταν το επόμενο εξάρτημα που τοποθετήσαμε στον σκελετό. Πριν τους τοποθετήσουμε βίδώσαμε τους προσαρμογείς που είχαμε προμηθευτεί στον καθένα ξεχωριστά διότι θα ήταν πολύ δυσκολότερο εάν το κάναμε αφού είχαν τοποθετηθεί οι κινητήρες στον σκελετό.

Σειρά είχε η σύνδεση και στερέωση των ESC. Επειδή οι κινητήρες στρέφονται ανά δυο με διαφορετική φορά χρειάζεται να συνδέσουμε αντεστραμένα τα δύο από τα τεσσερα ESC για το επιτύχουμε. Πιο συγκεκριμένα συνδέουμε τα τρία καλώδια του ESC (power, ground, signal) με αυτά του κινητήρα αλλά σε αυτούς που χρειαζόμαστε αντεστραμένους, βάζουμε το καλώδιο signal στο power και το αντιστροφο.



Εικόνα 39: Φορά των ελίκων σε σφύση με την θέση τους στον σκελετό

Αποτέλεσμα είναι ο μπροστά-αριστερός κινητήρας και ο πίσω-δεξιός να κινούνται με την φορά του ρολογιού(δεξιόστροφα) και ο μπροστά-δεξιός με τον πίσω-αριστερό , αντίθετα.

Εν συνεχεία συνδέουμε όλα τα καλώδια τροφοδοσίας και γείωσης των ESC με την πλακέτα διανομής ενέργειας και τα καλώδια του σήματος με τα pins εξόδου του ardupilot στις θέσεις από 1 έως 4 με το καθένα ανάλογα με την εικόνα από πάνω.

Αφού συνδέσουμε τα ESC χρειάζεται να ελέγξουμε τις εργοστασιακές τους ρυθμίσεις και λειτουργούν σωστά. Για να το κάνουμε αυτό χρειάζεται πρώτα να τα συνδέσουμε και τον ελεγκτή πτήσης με τον ράδιο-δέκτη.

Για να μην υπάρχει η πιθανότητα σφάλματος , όμως πρέπει να γίνει βαθμονόμηση των ραδιοκαναλιών πρώτα. Αυτό γίνεται με την βοήθεια ενός προγράμματος «επίγειου σταθμού ελέγχου» (ground station).

2.12 Χειριστήριο

Το χειριστήριο που χρησιμοποιήσαμε είναι ένα “SKYSPORT-6A FUTABA” το οποίο είναι σχετικά παλιό χειριστήριο για τηλεκατευθυνόμενα αεροπλάνα το οποίο όμως μπορεί να μας εξυπηρετήσει στον σκοπό μας.



Εικόνα 40: Το χειριστήριο SKYSPORT-6A FUTABA

Το χειριστήριο αυτό λειτουργεί με μια μπαταρία τύπου Nicd των 9.6V, χωρητικότητας 500mAh η οποία προσφέρει περίπου μισή ώρα συνεχόμενης ασφαλούς λειτουργίας και χρειάζεται 15 ώρες φόρτισης.

Η εμβέλεια του χειριστηρίου επηρεάζεται από τον χώρο στο οποίο βρίσκεται (εάν βρίσκεται κάποιο συμπαγές αντικείμενο ανάμεσα στον πομπό και τον δεκτή εμποδίζεται το σήμα), από την ταχύτητα που κινείται ο πομπός και από το πόσο είναι επιμηκυμένη η κεραία του. Επιπλέον χρειάζεται να βρίσκεται σε ακτίνα τουλάχιστον 3 χιλιομέτρων από πεδία άλλων ράδιο-πομπών.

Το χειριστήριο έχει συνολικά 6 κανάλια από τα οποία τα 4 αντιστοιχούν στους βασικούς μοχλούς έλεγχου , ενώ τα υπόλοιπα υπάρχουν 2 για πρόσθετες λειτουργίες και αντιστοιχούν σε πλήκτρα που βρίσκονται στη «ράχη» του.

2.12.1 Τα πλήκτρα

Τα δύο πιο βασικά πλήκτρα του χειριστηρίου είναι οι 2 μοχλοί ελέγχου που χρησιμοποιούνται για να κινήσουν το quadcopter κάθετα , οριζόντια και πλαγίως.

Ο αριστερός μοχλός όταν κινείται οριζόντια περιστρέφει το quadcopter στον κάθετο άξονα του, δηλαδή αντιστοιχεί στο κανάλι της περιστροφής(yaw), ενώ όταν κινείται κάθετα μεταβάλλει την τιμή του καναλιού της ισχύος στους κινητήρες(throttle) του έτσι ώστε να του δώσει περισσότερο ύψος ή ταχύτητα ανάλογα την κλίση του.



Εικόνα 41: Οι μοχλοί ελέγχου του χειριστήριου και οι μοχλοι ακριβείας

Ο δεξιός μοχλός με οριζόντια κίνηση το κάνει να κλίνει αριστερά και δεξιά ενώ με κάθετη μπροστά και πίσω, δηλαδή είναι το «πηδαλιό κλίσεως αέρος»(aileron) και «ανυψωτήρας»(elevator) ταυτόχρονα μεταβάλλοντας τα κανάλια του “roll” και του “pitch” αντίστοιχα.

Σε περίπτωση που χρειάζεται το quadcopter να κάνει πιο λεπτεπίλεπτες κινήσεις καθώς και μικροπροσαρμογές κατά την διάρκεια της πτήσης του, χρησιμοποιούνται οι μοχλοί ακριβείας οι οποίοι αλλάζουν τις τιμές που στέλνονται στον δέκτη κατά ένα πολύ μικρότερο μέγεθος απότι οι κανονικοί μοχλοί.

Το χειριστήριο είναι εξοπλισμένο με ακόμη 2 διακόπτες οι οποίοι ρυθμίζουν το εύρος τιμών των καναλιών του αριστερού μοχλού. Είναι δυνατόν να ορίσουμε δύο διαφορετικά εύρη τιμών ,καθώς και τον ρυθμό που μεταβάλλονται ανάλογα με τις κινήσεις των μοχλών.



Εικόνα 42: Διακόπτες που ρυθμίζουν το εύρος τιμών

Στη δεξιά πλευρά της ράχης του χειριστηρίου υπάρχει ένας περιστροφικός διακόπτης ο οποίος μεταβάλλει τις τιμές του έκτου καναλιού καθώς και ένας διακόπτης ο οποίος έχει την λειτουργία του “mixing” δηλαδή την παράλληλη μεταβολή των τιμών δυο καναλιών. Πιο συγκεκριμένα μεταβάλλει τις τιμές του έκτου και του καναλιού του “pitch” όταν ενεργοποιημένος (στην θέση ON) , αν και είναι μια λειτουργία η οποία δεν χρειάζεται κατά την πτήση του quadcopter ,οπότε δεν θα τον χρησιμοποιήσουμε.



Εικόνα 43: Περιστροφικός διακόπτης έκτου καναλιου και διακόπτης “mixing”

Στην αριστερή πλευρά της ράχης του χειριστηρίου υπάρχουν δυο διακόπτες. Ο διακόπτης “Gear” αλλάζει τις τιμές του πέμπτου καναλιού το οποίο χρησιμοποιείται για ειδικές λειτουργίες καθώς έχει δυο θέσεις που ανάγεται σε δυο μόνο τιμές.



Εικόνα 44: Διακόπτες “trainer” και “gear” στην αριστερή πλευρά της ράχης του χειριστήριου

Ιδιαίτερη λειτουργία έχει ο διακόπτης “trainer” ο οποίος χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του χειριστή. Ειδικότερα, το χειριστήριο μπορεί να συνδεθεί μέσω καλωδίου με κάποιο άλλο συμβατό χειριστήριο, που θα χειρίζεται κάποιος εκπαιδευτής, και να είναι υπό τον έλεγχο αυτού. Όντας στην θέση “off” είναι υπό τον έλεγχο του εκπαιδευτή, ενώ στη θέση “on”, ο μάθητης το παίρνει υπό τον έλεγχο του.

Τέλος αρκετά σημαντικοί είναι οι διακόπτες και τα κόμβια που βρίσκονται στην πίσω πλευρά του χειριστήριου. Οι 6 πρώτοι διακόπτες χρησιμοποιούνται για την



Εικόνα 45: Διακόπτες στο πίσω μέρος του χειριστήριου αντιστροφή των 6 καναλιών ενώ οι τρεις τελευταίοι για ειδικές λειτουργίες τις οποίες όμως δεν θα χρησιμοποιήσουμε στο quadcopter (είναι κυρίως για την πτήση

τηλεκατευθυνόμενων αεροπλάνων, για τα οποία προορίζεται και αρχική χρήση αυτού του χειριστηρίου).



Εικόνα 46: Διακόπτες στο πίσω μέρος του χειριστηρίου- Λεπτομέρειες

Οι περιστροφικοί διακόπτες είναι και αυτοί που καθορίζουν τον ρυθμό μεταβολής των τιμών στα κανάλια.

2.13 Διαδικασία βαθμονόμησης του flight controller

Για να γίνει η βαθμονόμηση του flight controller πρέπει να το συνδέσουμε με καλώδιο usb στον υπολογιστή μας .

Ξεκινάμε το πρόγραμμα–ground station της επιλογής μας . Εμείς χρησιμοποιούμε το mission planner.

Επιλέγουμε την σωστή θύρα επικοινωνίας, στην οποία θα αναγνωρίζει την πλακέτα , ρυθμίζουμε το baud rate στα 115200 , και πατάμε το connect

Στην καρτέλα “Initial Setup” μπορούμε να επιλέξουμε να εγκαταστήσουμε firmware στον flight controller , εάν δεν έχουμε εγκαταστήσει ήδη , αλλά θα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί διότι εγκαθιστώντας από την αρχή το firmware ,διαγράφονται όλες οι αλλαγές που έχουμε κάνει στις παραμέτρους και στον κώδικα ήδη.

Επιπλέον υπάρχει και ένα “Wizard” που καθοδηγεί τον χρήστη βήμα-βήμα για την βαθμονόμηση κάθε σημαντικού στοιχείου του flight controller.

1. Επιλέγουμε τον τύπο του σκελετού και κατ’ επέκταση τον αριθμό των κινητήρων.



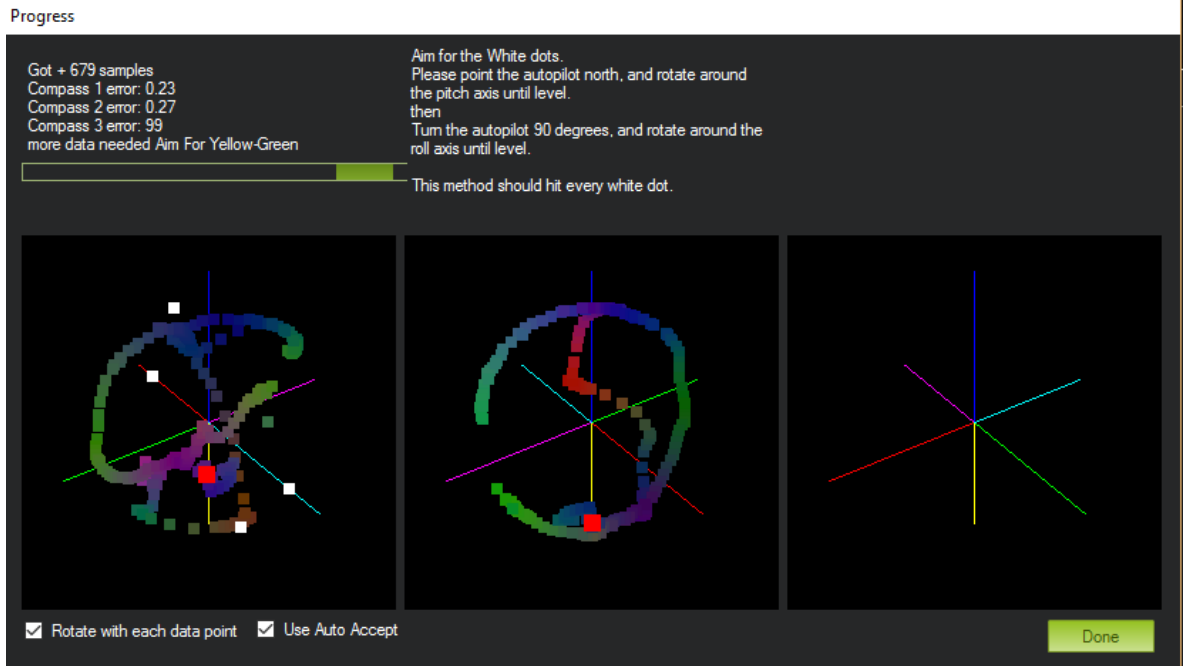
Εικόνα 47: Καρτέλα επιλογής τύπου σκελετού

2. Στην συνέχεια κάνουμε βαθμονόμηση του επιταχυνσιόμετρου τοποθετώντας τον ελεγκτή πτήσης σε διάφορες θέσεις που μας υποδεικνύει το πρόγραμμα και πατώντας να γράψει τις μέτρησεις του οργάνου στις κατάλληλες μεταβλητές. Οι θέσεις είναι οι ίδιες που υποδεικνύονται παρακάτω στην εικόνα με το τρικόπτερο.



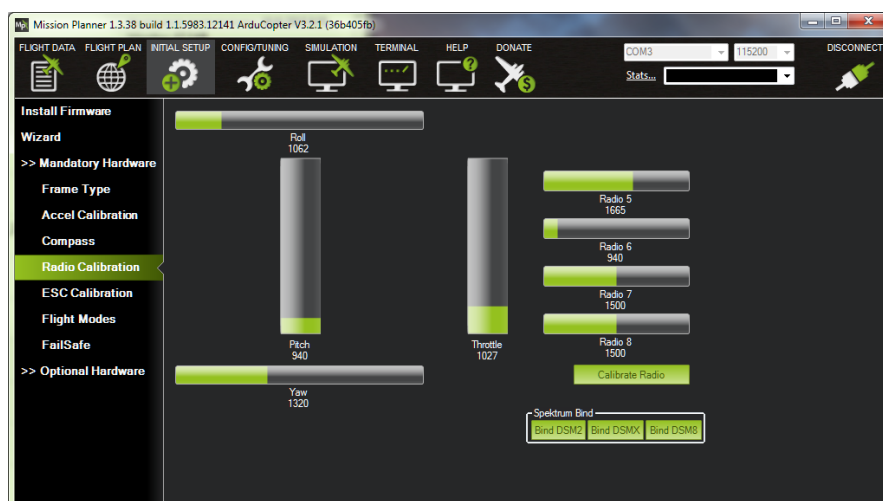
Εικόνα 48: Θέσεις που τοποθετούμε τον ελεγκτή πτήσης κατά την βαθμονόμηση του επιταχυνσιόμετρου

3. Η βαθμονόμηση της πυξίδας έχει σειρά. Σε αυτή τη διαδικασία θα χρειαστεί να περιστρέψουμε τον ελεγκτή πτήσης στους τρεις άξονες ώστε ο αισθητήρας να λάβει τις σωστές μετρήσεις. Το πρόγραμμα μάλιστα υποδεικνύει ορισμένα σημεία από τα οποία πρέπει να περάσει ο ελεγκτή πτήσης κατά την περιστροφή του στις 3 άξονες.



Εικόνα 49: Παράθυρο του mission planner κατά τη βαθμονόμηση της πυξίδας.

4. Η βαθμόνωση της ραδιοεπικοινωνίας γίνεται αφού πρώτα έχουμε συνδέσει τον δέκτη με τον ελεγκτή πτήσης και έχουμε ενεργοποιήσει το χειριστήριο.

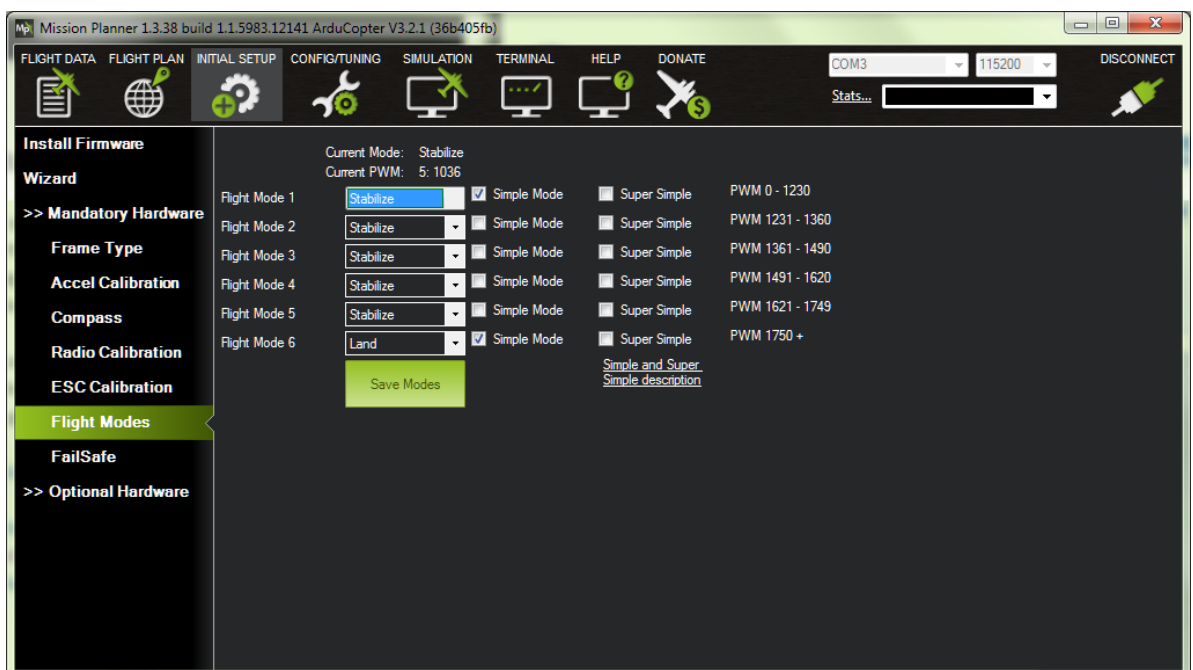


Εικόνα 50: Καρτέλα βαθμόνωσης της ραδιοεπικοινωνίας

Για να πραγματοποιηθεί σωστά πρέπει να κινήσουμε όλους τους μοχλούς του χειριστηρίου στις ακραίες θέσεις τους έτσι ώστε να αποθηκεύσει ο ελεγκτής

πτήσης τις μικρότερες και τις μεγαλύτερες τιμές που μπορεί να του σταλούν από κάθε συγκεκριμένο κανάλι. Σε περίπτωση που κάποια τιμή είναι εκτός αυτών των ορίων ο ελεγκτής πτήσης θα ανιχνεύσει το σφάλμα και θα δράσει αναλόγως τις ρυθμίσεις που του έχουν γίνει. Ο σχεδιασμός είναι τέτοιος διότι τιμές εκτός των ορίων των καναλιών τις περισσότερες φορές σημαίνουν ότι υπάρχει κάποια παρεμβολή ή ότι έχει χαθεί ή σύνδεση του χειριστηρίου με τον δέκτη.

5. Οι λειτουργίες πτήσης είναι η επόμενη βασική ρύθμιση για τον ελεγκτή πτήσης. Για γίνει εναλλαγή στις λειτουργίες πτήσης ο ελεγκτής πτήσης διαβάζει τις τιμές σε ένα κανάλι που θα του ορίσει ο χρήστης και ανάλογα τις τιμές που θα δέχεται (από τη διαμόρφωση εύρου παλμού) θα ενεργοποιείται και η αντίστοιχη λειτουργία πτήσης. Επίσης ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει μεταξύ απλή και υπεραπλουστευμένης λειτουργίας πτήσης.



Εικόνα 51: Καρτέλα ορισμού λειτουργίας πτήσης

6. Τελευταίο στάδιο στην διαδικασία βαθμονόμησης είναι η ρύθμιση ασφαλείας σε περίπτωση που η επαφή μεταξύ ραδιοπομπού του χειριστή και του δέκτη ελεγκτή πτήσης χάνεται. Οι ρυθμίσεις ασφαλείας ενεργοποιούνται στις εξής περιπτώσεις :
 - Ο χειριστής σβήνει τον ραδιοπομπό-πομπό
 - Το όχημα κινείται εκτός του εύρους του ραδιοπομπού (συνήθως γύρω στα 500μ με 700μ)

- Ο δέκτης χάνει την ισχύ του
- Τα καλώδια που συνδέουν τον δέκτη στον ελεγκτή πτήσης, κοπούν. Με APM2 μόνο η σύνδεση του τρίτου καναλιού(ch3) μεταξύ του δέκτη και του ελεγκτή πτήσης θα ενεργοποιήσει την ρύθμιση ασφαλείας.

Κατά την ενεργοποίηση της ρύθμισης ασφαλείας θα συμβούν τα ακόλουθα :

- Τίποτα εάν το όχημα είναι ήδη αποπλισμένο
- Οι κινητήρες θα αποπλιστούν αμέσως εάν το όχημα είναι προσγειωμένο ή σε σταθεροποίηση ή σε λειτουργία Acro και η ισχύς του χειριστή είναι στο μηδέν
- Επιστροφή στην θέση απογείωσης (Return-to-Launch ή RTL) εάν το όχημα έχει μια κλειδωμένο GPS και είναι περισσότερο από 2 μέτρα από την αρχική θέση
- Προσγειώνεται εάν στο όχημα :
 - Δεν είναι «κλειδωμένο» το GPS ή
 - είναι σε απόσταση εντός 2 μέτρων από την αρχική του θέση ή
 - η μεταβλήτη FS_THR_ENABLE έχει οριστεί σε "Πάντα Προσγείωση"("Enabled Always Land)

2.14 Αλλαγή ρυθμίσεων και έλεγχος των ESC

2.14.1 Αλλαγές Ρυθμίσεων

Υπάρχει η δυνατότητα να αλλάξουν κάποιες εργοστασιακές ρυθμίσεις του ESC εάν το θέσουμε σε λειτουργία προγραμματισμού. Αρχικά χρειάζεται να αναφέρουμε ότι για να αλληλεπιδράσεις με το ESC χρειάζεται να το έχουμε συνδέσει με τον ελεγκτή πτήσης καθώς και μια πηγή ρεύματος (την μπαταρία) , ενώ χρειάζεται και χειριστήριο (ραδιοπομπός).

Για να μπεις σε λειτουργία προγραμματισμου χρειάζεται να κινήσουμε τον λεβιέ της ισχύος στην ανώτατη θέση του και αφού το κάνουμε αυτό να συνδεσουμε το ESC με την μπαταρία. Περιμένουμε για 2 δευτερόλεπτα και ακούμε έναν διπλό σφυριγμό να εκπέμπεται από το ESC. Συνεχίζουμε να περιμένουμε για άλλα 5

δευτερόλεπτα , και θα πρέπει να ακούσουμε ακόμα έναν ειδικό σφυριγμό , που σημαίνει ότι έχουμε εισαχθεί στην λειτουργία προγραμματισμού.

Αφού μπούμε στην λειτουργία προγραμματισμού του ESC θα αρχίσουν να ακούγονται από αυτό 8 διαφορετικοί σφυρικοί τόνοι σε επαναλαμβανόμενη σειρά. Εάν κινήσουμε τον λεβιέ στην κατώτατη του θέση ,μόλις ακούσουμε έναν από αυτούς τους τόνους, τότε θα μπούμε σε διαδικασία αλλαγής του στοιχείου.

Τα στοιχεία που μπορούμε να αλλάξουμε περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 3: Στοιχεία λειτουργίας προγραμματισμού του ESC και οι τόνοι που τους αντιστοιχούν

Στοιχείο	Χαρακτηριστικός Τόνος
1. Φρένα	Ένας (1) σύντομος σφυριγμός
2. Τύπος μπαταρίας	Δυο (2) σύντομοι σφυριγμοί
3. Λειτουργία αποκοπής	Τρεις(3) σύντομοι σφυριγμοί
4. Κατώφλι αποκοπής	Τέσσερις(4) σύντομοι σφυριγμοί
5. Λειτουργία Εκκίνησης	Ένας (1) παρατεταμένος σφυριγμός
6. Χρονισμός	Ένας (1) παρατεταμένος και Ένας (1) σύντομος σφυριγμός
7. Εργοστασιακές Ρυθμίσεις	Ένας (1) παρατεταμένος και Δυο (2) σύντομοι σφυριγμοί
8. Έξοδος	Δυο (2) παρατεταμένοι σφυριγμοί

Κάθε στοιχείο έχει κάποιες επιλογές με το μέγιστο να είναι τρεις. Για να επιλεγεί μια συγκεκριμένη χρειάζεται να τοποθετηθεί ο λεβιές ισχύος στην ανώτατη θέση του,αφού ακουστεί ένας αριθμός συντόμων σφυριγμών με ένα δευτερόλεπτο διαφορά, και να ακολουθηθεί με έναν ειδικό τόνο, που σημαίνει ότι η επιλογή έχει οριστεί και αποθηκευτεί. Ακολουθεί πίνακας με τις επιλογές τις κάθε στοιχείου.

Πίνακας 4: Επιλογές στοιχείων λειτουργίας προγραμματισμού του ESC

Στοιχείο/ Χαρακτηριστικός Τόνος	Ένας (1) σύντομος σφυριγμός	Δυο (2) σύντομοι σφυριγμοί	Τρεις(3) σύντομοι σφυριγμοί
1. Φρένα	Απενεργοποίηση	Ενεργοποίηση	-
2. Τύπος μπαταρίας	Li-ion / Li-poly	NiMh / Nicd	-
3. Λειτουργία	Μείωση Ισχύος	Απενεργοποίηση	

αποκοπής			
4. Κατώφλι αποκοπής	Χαμηλό	Μέτριο	Υψηλό
5. Λειτουργία Εκκίνησης	Κανονική	Ήπια	Αρκετά Ήπια
6. Χρονισμός	Χαμηλός	Μέτριος	Υψηλός

Επίσης εάν κινήσουμε προς τα κάτω τον λεβιέ ισχύος ,μέσα σε 2 δευτερόλεπτα , μετά από τον ειδικό τόνο αποθήκευσης της επιλογής του στοιχείου.

2.14.2 Έλεγχοι και προειδοποιήσεις.

Το esc χρειάζεται να εκκινηθεί με τις εξής διαδικασίες:

Μετακινούμε τον λεβιέ της ισχύος στη κατώτατη θέση και, στη συνέχεια, ενεργοποιούμε το χειριστήριο.

Συνδέουμε τη μπαταρία με το ESC, και αυτό ξεκινάει μια διαδικασία αυτοελέγχου, με έναν ειδικό τόνο να εκπέμπεται ο οποίος σημαίνει ότι η τάση της μπαταρίας είναι σε φυσιολογικά επίπεδα. Στη συνέχεια θα ηχήσουν N-ήχοι, όπου N είναι ο αριθμός των κελιών της μπαταρίας λιθίου. Τέλος ένα μακρύ ηχητικό σήμα θα ακουστεί, το οποίο σημαίνει αυτοέλεγχος είναι εντάξει, και το ελικόπτερο είναι έτοιμο να απογειωθεί.

1. Εάν υπάρξει κάποια επιπλοκή, χρειάζεται να ελεγχθεί η μπαταρία και η συνδεσμολογία της
2. Εάν ένας ειδικός τόνος εκπεμφθεί μετά από 2 σφυρικούς ήχους, που σημαίνει ότι το ESC έχει εισέλθει λειτουργία προγραμματισμού, είναι επειδή το κανάλι της ισχύος του πομπού είναι αντιστραμένο.
3. Αν εκπέμπονται γρήγοροι σφυρικοί τόνοι, σημαίνει ότι η τάση εισόδου είναι πολύ χαμηλή ή πολύ υψηλή και πρέπει να ελεγχθεί η τάση της μπαταρίας
4. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι επειδή διαφορετικοί ραδιοπομποί
5. έχουν διαφορετικό εύρος του ισχύος, συνιστάται η βαθμονόμηση πριν από την πτήση για προσάρμογη.

2.14.3 Ηχοι Προειδοποίησης

Τα ESC παράγουν προειδοποιητικούς ήχους στις εξής περιπτώσεις:

1. Όταν η τάση εισόδου είναι μη-φυσιολογική: Το ESC ξεκινάει να ελέγχει την τάση όταν συνδέεται μπαταρία. Αν η τάση δεν είναι στο αποδεκτό επίπεδο, ένας διπλός σφυρικός και επαναλαμβανόμενος ήχος ειδοποίησης θα ακουστεί με διαφορά ενός δευτερολέπτου.
2. Εάν το σήμα της ισχύος δεν είναι φυσιολογικό. Όταν το ESC δεν μπορεί να ανιχνεύσει το σήμα της ισχύος, ένας ήχος ειδοποίησης θα εκπεμφθεί, ο οποίος θα είναι ένας σφυριγμός κάθε δυο δευτερόλεπτα.
3. Όταν ο λεβιές της ισχύος δεν είναι στη κατώτατη θέση κατά την εκκίνηση λειτουργίας, ένας πολύ γρήγορα επαναλαμβανόμενος σφυριγμός, με διάστημα 0.25 sec, θα ακουστεί.

2.14.4 Λειτουργία προστασίας του ESC

1. Αποτυχία Εκκίνησης: Εάν ο κινητήρας δεν ξεκινήσει μέσα σε 2 δευτερόλεπτα από την αύξηση της ισχύος, το ESC θα μειώσει την ισχύ στην έξοδο. Σε αυτή την περίπτωση, ο λεβιές ισχύος πρέπει να μετακινηθεί προς τα κάτω και να γίνει επανεκκίνηση του κινητήρα. Αυτό συμβαίνει στις ακόλουθες περιπτώσεις: εάν η σύνδεση μεταξύ του ESC και του κινητήρα δεν είναι αξιόπιστη, η έλικα ή ο κινητήρας είναι μπλοκαρισμένος, κλπ.
2. Υπερθέρμανση: όταν η θερμοκρασία του ESC είναι πάνω από 110 βαθμούς Κελσίου, το ESC θα μειώσει τη ισχύ εξόδου.
3. Προστασία σε περίπτωση απώλειας σήματος της ισχύος: Το ESC θα μειώσει την ισχύ εξόδου, αν το σήμα της έχει χαθεί για 1 δευτερόλεπτο, ενώ για περαιτέρω απώλεια για 2 δευτερόλεπτα, θα σταματήσει την ισχύ εντελώς.

2.15 Λειτουργία τηλεμετρίας με XBee

Στην τηλεμετρία δεν συνιστάται να χρησιμοποιούνται τα Xbee (επίσης γνωστά ως ZigBee) σε σχέση με έτοιμες τηλεμετρικές συσκευές όπως τα Sik Radio και RFD900 Radio. Βέβαια υπάρχουν περιπτώσεις όπου μόνο τα Xbee μπορεί να

χρησιμοποιηθεί. Παρακάτω θα δούμε πως μπορούμε να διαμορφώσουμε τα Xbee για να χρησιμοποιηθούν ως τηλεμετρικές συσκευές, όπως κάναμε και εμείς κατά την κατασκευή του Quadcopter.

Αρχικά συνδέσαμε τα Xbee με τον υπολογιστή ώστε να προσαρμόσουμε τις ρυθμίσεις τους με τη βοήθεια του παραγράμματος XCTU

Το Xbee είναι εργοστασιακά ρυθμισμένο να συνδέεται με συχνότα συνδέσης 9600 baud rate οπότε πρώτη μας ενέργεια ήταν να την αλλάξουμε στα 57600bps για να ταιριάζει με τη σειριακή ταχύτητα του APM. Υπάρχει δυνατότητα να αλλάξουμε την σειριακή ταχύτητα του APM αλλάζοντας την τιμή της μεταβλητής “SERIAL3_BAUD”. Επιπλέον αλλάξαμε την σειριακή ταχύτητα του βοηθητικού προγράμματος αναλόγως. Στην συνέχεια κάναμε έλεγχους μέσω του XCTU για να βεβαιωθούμε ότι τα Xbee επικοινωνούσαν μεταξύ τους κανονικά.

Για να το κάνουμε να δουλέψει με το APM 2.6 ακολουθήσαμε τα εξής βήματα:

Το πρώτο βήμα είναι το Xbee του ardupilot να είναι συνδεδεμένο στο UART0 και να έχουν συνδεθεί σωστά το RX και TX και στις δύο πλακέτες (Arduipilot και Xbee). Αφού το κάνουμε αυτό τότε ορίζουμε στο Mission Planner ένα από τα BRD_SER1_RTSCCTS (αν χρησιμοποιείτε Telem1) ή BRD_SER2_RTSCCTS (αν χρησιμοποιείτε Telem2) σε μηδέν (μετά την πραγματοποίηση της αλλαγής του ελεγκτή πτήσης θα πρέπει να γίνει επανεκκίνηση).



Εικόνα 52: Οι παράμετροι της τηλεμετρίας στην καρτέλα παραμέτρων στο Mission Planner.

2.16.1 Σύνδεση με τον επίγειο σταθμό

Εάν χρησιμοποιείτε έναν προσαρμογέα USB, απλά συνδέστε μέσω ενός καλωδίου USB, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα (βλ. Εικόνα 53) :



Εικόνα 53: Σύνδεση XBee με καλώδιο USB

Μόλις τα ρυθμίσετε σωστά θα πρέπει να είστε σε θέση να συνδεθείτε με το ardupilot από το σταθμό εδάφους (π.χ. Mission Planner) επιλέγοντας την το Xbee στην κατάλληλη θύρα COM και κατάλληλο ρυθμό Baud (πχ. 57600).

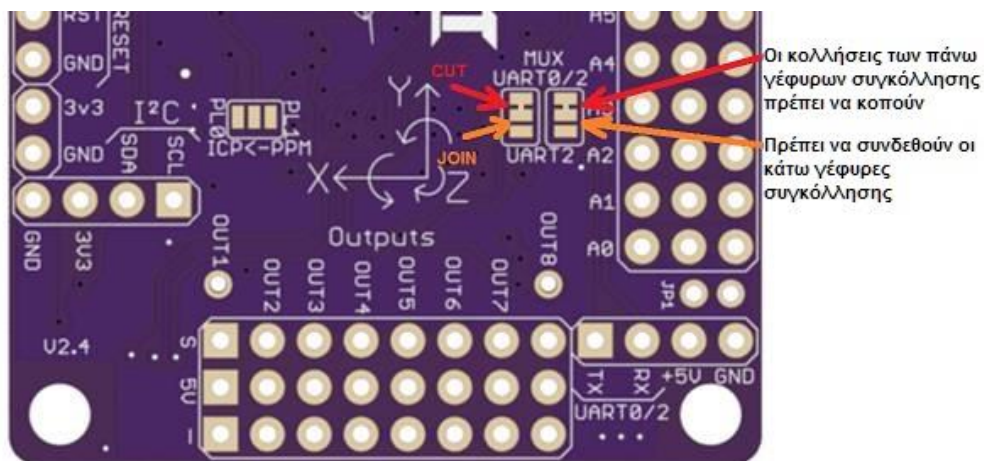
Ο προσαρμογέας θα πρέπει να είναι σε κατάσταση "Master". ("Master" και "Slave" αντιστρέφοντας τα pins TX και RX κατά την σύνδεση στην πλακέτα του arpm).



Εικόνα 54: Οθόνη Mission Planner κατά την επιτυχή σύνδεση μέσω τηλεμετρίας με τον ελεγκτή πτήσης

2.16.2 Βήματα που ακολουθήσαμε για να λειτουργήσει το XBee με το APM 2.6

- Συνδέσαμε με την θύρα τηλεμετρίας (UART0/2 πάνω στην πλακέτα). Όταν θέσαμε σε λειτουργία το APM 2.6 και πατήσαμε “connect” στο επίγειο σταθμό ελέγχου “Mission Planner” , έληξε ο χρόνος της σύνδεσης και το πρόγραμμα παρουσίασε το μήνυμα “Time Out”.
- Συγκολλήσαμε καλώδια στις θύρες UART0 και UART2.
- Δοκιμάσαμε να το συνδέσουμε με το UART0 και δούλεψε επιτυχώς, στέλνοντας δεδομένα τηλεμετρίας στο “Mission Planner”.
- Κάναμε δοκιμή να το συνδέσουμε με το UART2 και παρουσίασε πάλι το μήνυμα “Time Out”.
- Βρήκαμε ότι για να δουλέψει με το UART2 χρειάζεται να συγκολληθούν κάποια σημεία στο κάτω μέρος της πλακέτας.



Εικόνα 55: Μέρη της πλακέτας που πρέπει να συγκολληθούν

2.16 Ολοκλήρωση της κατασκευής

Αφού κάνουμε την βαθμονόμηση του ελεγκτή πτήσης και προγραμματίσουμε τα ESC να λειτουργούν όπως χρειαζόμαστε, μπορούμε πλέον να συνδέσουμε όλα τα κομμάτια του σκελετού. Σειρά έχει να κάνουμε τις τελευταίες συνδεσμολογίες των καλωδίων και αφού βεβαιωθούμε ότι όλα τα στοιχεία του quadcopter είναι σωστά τοποθετημένα και συνδεδεμένα είμαστε έτοιμοι να το θέσουμε σε λειτουργία για το πετάξιμο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Έλεγχος ασφάλειας πριν το όπλισμα

Το quadcopter περιλαμβάνει ένα σύνολο από ελέγχους ασφάλειας οι οποίοι εμποδίζουν τους κινητήρες από το να οπλιστούν, εάν κάποιο από έναν αρκετά μεγάλο αριθμό προβλημάτων ανακαλυφθεί πριν από την απογείωση, συμπεριλαμβανομένων σφαλμάτων στη βαθμονόμηση, τη διαμόρφωση ή αλλοιωμένα δεδομένα στον αισθητήρα. Οι έλεγχοι αυτοί βοηθούν στην πρόληψη της συντριβής του quad, αλλά μπορούν επίσης να απενεργοποιηθούν εάν είναι απαραίτητο.

3.1.1 Αναγνώριση ποιού έλεγχου Pre-Arm έχει αποτύχει με τη χρήση του Επίγειου Σταθμού Ελέγχου.

Ο πιλότος θα παρατηρήσει μια αποτυχία ελέγχου ασφάλειας, επειδή αυτός/αυτή δεν θα είναι σε θέση να οπλίσει το copter και το κίτρινο LED θα αναβοσβήνει. Για να καθοριστεί ποιος ακριβώς έλεγχος έχει αποτύχει πρέπει να γίνουν οι εξής ενέργειες:

- Να συνδεθεί ο ελεγκτής πτήσης στον επίγειο σταθμό, χρησιμοποιώντας ένα καλώδιο USB ή τηλεμετρία.
- Να είναι βέβαιο ότι ο GCS είναι συνδεδεμένος με το όχημα.
- Να ενεργοποιηθεί ο πομπός και να γίνει προσπάθεια να οπλιστούν οι κινητήρες.
- Το πρώτο αίτιο της αποτυχίας του έλεγχου θα εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα στο παράθυρο HUD(Head-up display ή οθόνη απεικόνισης).

3.1.2 Μηνύματα Σφάλματος

3.1.2.1 Σφάλματα Ραδιοπομπού (δηλαδή πομπού ή δέκτη):

RC not calibrated: Η βαθμονόμηση του ραδιοπομπού δεν έχει εκτελεστεί. Οι μεταβλητές RC3_MIN και RC3_MAX πρέπει να έχουν αλλάξει από τις προεπιλεγμένες τιμές τους (1100 και 1900) και για τα κανάλια 1 έως 4, με τη MIN να πρέπει να έχει μικρότερη τιμή από 1300 και το MAX να έχει μεγαλύτερη από το 1700.

3.1.2.2 Σφάλματα Βαρόμετρου:

Baro not healthy : Ο αισθητήρας βαρόμετρου αναφέρει ότι έχει βλάβη το οποίο είναι συνήθως ένα σημάδι βλάβης του υλικού.

Alt disparity: Το υψόμετρο του βαρόμετρου διαφοροποιείται με την εκτίμηση της αδρανειακής πλοήγησης (δηλαδή βαρόμετρο + επιταχυνσιόμετρο) για υψόμετρο πάνω από 2 μέτρα. Αυτό το μήνυμα είναι συνήθως μικρής διάρκειας και μπορεί να συμβεί όταν ο ελεγκτής της πτήσης συνδεθεί για πρώτη φορά ή αν δεχτεί ένα δυνατό τράνταγμα (δηλαδή πέσει ξαφνικά). Αν δεν σταματίσει, το επιταχυνσιόμετρο μπορεί να χρειαστεί να βαθμονομηθεί ή μπορεί να υπάρχει ένα ζήτημα υλικού βαρόμετρο.

3.1.2.3 Σφάλματα Πυξίδας

Compass not healthy : Ο αισθητήρας της πυξίδας αναφέρει ότι έχει σφάλμα το οποίο είναι ένα σημάδι μιας βλάβης υλικού.

Compass not calibrated : Η πυξίδα (ES) δεν έχει βαθμονομηθεί. Οι μεταβλητές COMPASS_OFS_X, Y, Z των παραμέτρων είναι μηδέν ή ο αριθμός ή ο τύπος των συνδεδεμένων πυξίδων έχει αλλάξει από τότε που έγινε η τελευταία βαθμονόμηση.

Compass offsets too high : Το αρχικό αντιστάθμισμα της πυξίδας (δηλαδή το τετράγωνο $(x^2 + y^2 + z^2)$) είναι μεγαλύτερο από 500. Αυτό μπορεί να προκληθεί από μεταλλικά αντικείμενα που τοποθετούνται πολύ κοντά στην πυξίδα. Εάν χρησιμοποιείται μόνο μια εσωτερική πυξίδα που (δεν συνιστάται), μπορεί απλά να είναι το μέταλλο στη πλακέτα που προκαλεί τις μεγάλες μετατοπίσεις και αυτό δεν μπορεί να αποτελεί πρόβλημα. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί εάν θέλει ο χειριστής να απενεργοποιήσει τον έλεγχο της πυξίδα.

Check mag field : Το ανιχνευμένο μαγνητικό πεδίο στην περιοχή είναι κατά 35% υψηλότερο ή χαμηλότερο από την αναμενόμενη τιμή. Η αναμενόμενη τιμή είναι 530 οπότε θα έχει ανιχνευθεί τιμή που είναι μεγαλύτερη του 874 ή μικρότερη του 185. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου κυμαίνεται σε όλο τον κόσμο, αλλά το εύρος των ακραίων ορίων σημαίνει ότι είναι πιο πιθανό η βαθμονόμηση της πυξίδας δεν έχει υπολογίσει καλά τα αντισταθμιστικά οφέλη και πρέπει να επαναληφθεί.

Compasses inconsistent : Η εσωτερική και εξωτερική πυξίδα δείχνουν σε διαφορετικές κατευθύνσεις (με διαφορά μεγαλύτερη των 45 μοιρών). Αυτό συνήθως

προκαλείται από λανθασμένο προσανατολισμό της εξωτερικής πυξίδας (παράμετρος COMPASS_ORIENT δηλαδή).

3.1.2.4 Σφάλματα που σχετίζονται με το GPS

GPS Glitch : Το GPS έχει μικροβλάβες και το όχημα είναι σε λειτουργία πτήσης που απαιτεί GPS ή / και είναι ενεργοποιημένα τα κυκλικά όρια.

Need 3D Fix : Το GPS δεν έχει 3D fix και το όχημα είναι σε λειτουργία πτήσης που απαιτεί το GPS και / ή τα κυκλικά όρια είναι ενεργοποιημένα.

Bad Velocity : Η ταχύτητα του οχήματος (σύμφωνα με το αδρανειακό σύστημα πλοήγησης) είναι πάνω από 50 cm/s. Λόγοι που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αυτό το σφάλμα είναι το όχημα κινείται στην πραγματικότητα σε αυτή την ταχύτητα ή να έχει πέσει, κακή βαθμονόμηση του επιταχυνσιόμετρου ή και η ενημέρωση του GPS γίνεται σε τιμή χαμηλότερη της αναμενόμενης που είναι 5Hz.

High GPS HDOP : Η τιμή HDOP του GPS (ένα μέτρο της ακρίβειας θέσης) είναι μεγαλύτερη από 2.0 και το όχημα είναι σε λειτουργία πτήσης που απαιτεί GPS και / ή έχει το κυκλικό φράχτη ενεργοποιημένο. Αυτό μπορεί να επιλυθεί απλά αναμένοντας λίγα λεπτά, μετακινώντας το quad σε μια τοποθεσία με την καλύτερη οπτική στον ουρανό ή ελέγχοντας την πηγή παρεμβολών του GPS (δηλαδή εξοπλισμό FPV) και μετακινώντας τις πιο μακριά από το GPS. Εναλλακτικά, ο έλεγχος μπορεί να εξομαλυνθεί με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου GPS_HDOP_GOOD σε 2.2 ή 2.5. Στη χειρότερη περίπτωση ο χειριστής μπορεί να απενεργοποιήσει τον εικονικό φράχτη και να απογειώσει το quadcopter σε μια λειτουργία πτήσης που δεν απαιτεί το GPS (δηλαδή Σταθεροποίηση, AltHold) και να στραφούν σε χαζεύω μετά τον οπλισμό, αλλά αυτό δεν συνιστάται.

3.1.1.5 Έλεγχοι “INS” (δηλαδή Αξελερομετρου και γυροσκόπιου):

INS not calibrated: Μέρος ή το σύνολο των αντισταθμιστικών οφελών του επιταχυνσιόμετρου είναι μηδέν. Τα επιταχυνσιόμετρα πρέπει να βαθμονομηθούν.

Accels not healthy: Ένα από τα επιταχυνσιόμετρα αναφέρει ότι έχει σφάλματα πράγμα που θα μπορούσε να είναι πρόβλημα υλικού. Αυτό μπορεί επίσης να εμφανιστεί αμέσως μετά από μια αναβάθμιση του firmware πριν από την επανεκκίνηση της πλακέτας.

Accels inconsistent: Τα επιταχυνσιόμετρα αναφέρουν επιταχύνσεις που είναι διαφορετικές μεταξύ τους τουλάχιστον κατά 1 m/s. Είτε τα επιταχυνσιόμετρα πρέπει να βαθμονομηθούν εκ νέου ή υπάρχει σφάλμα υλικού.

Gyros not healthy: Ένα από τα γυροσκόπια αναφέρει ότι έχει σφάλματα το οποίο είναι πιθανώς ένα ζήτημα υλικού. Αυτό μπορεί επίσης να εμφανιστεί αμέσως μετά από μια αναβάθμιση του firmware πριν από την επανεκκίνηση της πλακέτας.

Gyro cal failed: Η βαθμονόμηση του γυροσκόπιου απέτυχε να αναγνωρίσει ακρότατες τιμές. Αυτό συχνά προκαλείται εάν το όχημα που μετακινείται κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης του γυροσκόπιου (όταν τα κόκκινα και μπλε led αναβοσβήνουν). Στην συγκεκριμένη περίπτωση αποσυνδέοντας και συνδέοντας πάλι την μπαταρία με προσοχή ώστε να μην ταρακουνηθεί το όχημα θα επιλύσει το ζήτημα κατά πάσα πιθανότητα. Σφάλματα των αισθητήρων υλικού μπορεί επίσης να προκαλέσουν το πρόβλημα αυτό.

Gyros inconsistent: Τα δύο γυροσκόπια αναφέρουν τιμές περιστροφής του οχήματος που διαφέρουν περισσότερο από 20deg / sec. Αυτό είναι πιθανό σφάλμα του υλικού ή προκαλείται από κακή βαθμονόμηση του γυροσκόπιου.

3.1.1.6 Έλεγχοι της τάσης της Πλάκετας του ελεγκτή πτήσης

Check Board Voltage: Η εσωτερική τάση της πλακέτας είναι κάτω από 4,3 Volts ή πάνω από 5,8 Volt.

Αν τροφοδοτείται μέσω ενός καλωδίου USB , αυτό μπορεί να προκληθεί εάν ο επιτραπέζιος υπολογιστής δεν είναι σε θέση να παρέχει επαρκές ρεύμα στον ελεγκτή πτήσης. Η αντικαταστασή του καλωδίου USB μπορεί να λύσει το πρόβλημα.

Αν τροφοδοτείται από μπαταρία τότε αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα και το σύστημα τροφοδοσίας(δηλαδή η μονάδα ισχύος, μπαταρία, κλπ) θα πρέπει να ελεγχθούν προσεκτικά πριν από την πτήση.

Έλεγχοι παραμέτρων

Ch7&Ch8 Opt cannot be same: Οι διακόπτες βοηθητικής λειτουργίας έχουν οριστεί στην ίδια επιλογή ,κάτι που δεν επιτρέπεται, διότι θα μπορούσε να οδηγήσει σε σύγχυση.

Check FS_THR_VALUE: Η τιμή της ραδιοεπικοινωνίας ασφαλείας PWM έχει ρυθμιστεί πολύ κοντά στην ελάχιστη τιμή του γκαζιού (δηλαδή CH3).

Check ANGLE_MAX: Η παράμετρος ANGLE_MAX η οποία ελέγχει τη μέγιστη γωνία κλίσης του οχήματος έχει οριστεί κάτω από 10 μοίρες (δηλαδή έχει τιμή 1000) ή πάνω από 80 μοίρες (δηλαδή 8000).

ACRO_BAL_ROLL/PITCH: Η παράμετρος ACRO_BAL_ROLL είναι υψηλότερη από ό, τι η Stabilize_Roll_P ή / και η παράμετρος ACRO_BAL_PITCH είναι υψηλότερη από την τιμή της παραμέτρου Stabilize_Pitch_P . Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει στην αδυναμία του χειριστή να είναι σε θέση να ελέγξει την γωνία κλίσης σε λειτουργία ACRO, διότι η σταθεροποίηση Acro Trainer θα εξουδετερώνει τις εντολές του χειριστή.

3.1.2 Απενεργοποίηση των Έλεγχων Ασφαλείας:

Εάν ο χειριστής είναι βέβαιος ότι η αποτυχία ελέγχου ασφαλείας δεν είναι ένα πραγματικό πρόβλημα, μπορεί να απενεργοποιήσει τους ελέγχους με τα εξής βήματα:

- Συνδέοντας τον ελεγκτή πτήσης τον συντονιστή αποστολής
- Πηγαίνοντας στην καρτέλα Config / Tuning >> Standard Params του Mission Planner
- Υπάρχει επιλογή στο πεδίο Arming Check σε "Disabled" καθώς και "Skip" επιλογές που παραλείπει πιο αποτελεσματικά το στοιχείο που προκαλεί την αποτυχία.
- Πιέστε το πλήκτρο "Γράψτε Params"
- Στην ιδανική περίπτωση, ωστόσο θα πρέπει ο χειριστής να προσδιορίσει την αιτία της αποτυχίας πριν το οπλίσμα και αν μπορεί να επιλύσει, για να επαναφέρει την παράμετρο Arming Check πίσω στο "Enabled".

3.1.3 Μηνύματα των LED

Σε περίπτωση που το Quadcopter δεν είναι συνδεδεμένο με κάποιον επίγειο σταθμό τότε ο χειριστής μπορεί να καταλάβει την κατάσταση στην οποία βρίσκεται από την συμπεριφορά των LED, η οποία προδίδει κάποιες βασικές πληροφορίες για αυτό.

Πίνακας 5: Τα LED και το τι προδίδει η συμπεριφορά τους

Όνομα LED	Συμπεριφορά LED	Κατάσταση
Power	Σταθερό	Αναμένο κατά την λειτουργία.
A (κόκκινο)	Σταθερό	όταν είναι οπλισμένο, και οι κινητήρες περιστρέφονται όταν η τιμή της ισχύος αυξάνεται.
	Μονή αναλαμπή	αφοπλισμένο και οι κινητήρες δεν θα περιστραφουν.
	Διπλή αναλαμπή	αφοπλισμένο, οι κινητήρες δεν θα περιστραφούν, δεν μπορεί να οπλίσει λόγω της αποτυχίας στους ελέγχους ασφάλειας.
B (κίτρινο)	Αναλαμπή	αναβοσβήνει μόνο μαζί με το A και B κατά τη βαθμονόμηση ή ως μέρος της λειτουργίας αυτόματης μικροπροσορμογής εν πτήση.
C (μπλε)	Σταθερά	το GPS λειτουργεί, με 3D lock
	Αναλαμπή	το GPS λειτουργεί, αλλά δεν υπάρχει 3D Lock
	Σβηστό	GPS δεν είναι συνδεδεμένο ή δεν λειτουργεί
PPM / Serial	Αναλαμπή	αναβοσβήνει όταν ανιχνεύεται δεδομένα

APM 2.5 & 2.6



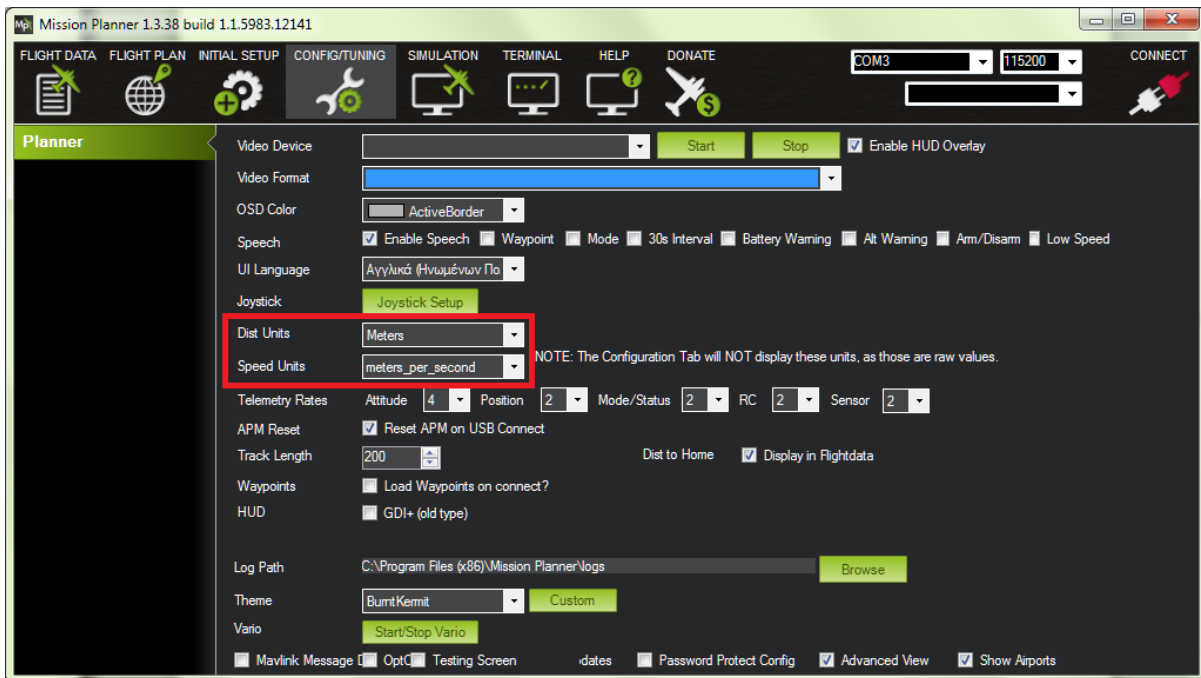
Εικόνα 56: Η θέση των LED στις πλακέτες APM 2.5 και 2.6

3.2 Δημιουργία αποστολής

3.2.1 Ρύθμιση της αρχικής θέσης

Για το Copter η αρχική θέση(home) ορίζεται ως θέση όπου σπλίζεται το copter. Αυτό σημαίνει ότι αν εκτελεστεί η λειτουργία πτήσης RTL στο ελικόπτερο, θα επιστρέψει στη θέση όπου σπλίστηκε. Οπότε χρειάζεται το copter να σπλιστεί στη θέση που ο χειριστής θέλει αυτό να επιστρέψει.

Ρυθμίζουμε τις μονάδες μέτρησης του προγράμματος από την καρτέλα “Planner” στο μενού “Config/Tuning”



Εικόνα 57: Καρτέλα ρυθμίσεων του planner.

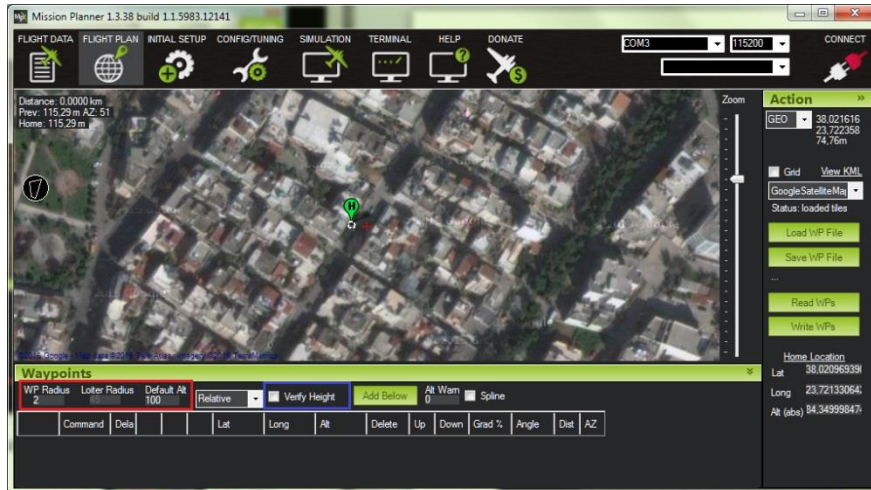
3.2.2 Εισαγωγή δεδομένων

Ο χειριστής μπορεί να εισάγει σημεία και άλλες εντολές. Στις αναπτυσσόμενες λίστες σε κάθε σειρά, επιλέγει την εντολή που θέλει. Η επικεφαλίδα της στήλης θα αλλάξει για δείξει τι

δεδομένα απαιτεί κάθε εντολή. Το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος μπορούν να εισαχθούν κάνοντας κλικ στον χάρτη. Το υψόμετρο είναι σε σχέση με το υψόμετρο στην αρχική θέση έτσι αν έχουν οριστεί 100μ, για παράδειγμα, θα πετάξει 100μ από πάνω αυτήν.

Προεπιλεγμένο υψόμετρο(Default alt) είναι το υψόμετρο όταν το quadcopter εισέρχεται σε νέα σημεία.

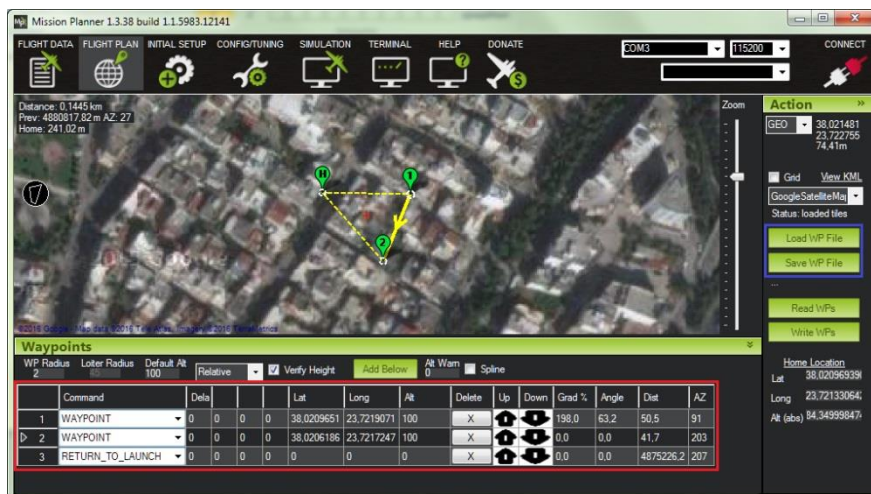
Βεβαίωση ύψους(Verify height)(βλ. Εικόνα 58) σημαίνει ότι ο Mission Planner θα χρησιμοποιήσει τα δεδομένα τοπολογίας του Google Earth για να ρυθμίσει το επιθυμητό ύψος σε κάθε σημείο ώστε να αντικατοπτρίζει το ύψος από το έδαφος από κάτω. Έτσι, αν σημείο αναφοράς είναι πάνω σε ένα λόφο, αν έχει ενεργοποιηθεί αυτή η επιλογή στον Mission Planner θα αυξηθεί τη ρύθμιση του ύψους σε σχέση με το ύψος του λόφου. Αυτός είναι ένας καλός τρόπος για να αποφευχθεί η συντριβή σε βουνά.



Εικόνα 58: Καρτέλα δημιουργία αποστολής στον Mission Planner.

Μόλις τελειώσουμε η αποστολή, για να αποσταλεί στο APM και να αποθηκευτεί στην EEPROM πρέπει να πατηθεί το κουμπί “Write”. Μπορεί να επιβεβαιωθεί ότι είναι σωστά περασμένη με την επιλογή “Read”.

Μπορούν να αποθηκευτούν πολλαπλά αρχεία αποστολής σε έναν τοπικό σκληρό σα δίσκο επιλέγοντας “Save WP File” ή διαβάζοντας τα αρχεία με την επιλογή “Load WP File” στο μενού δεξιού πλήκτρου του ποντικίου.



Εικόνα 59: Καρτέλα δημιουργία αποστολής στον Mission Planner, αφού έχει δημιουργηθεί μια αποστολή

3.3 Οδηγός πτήσης

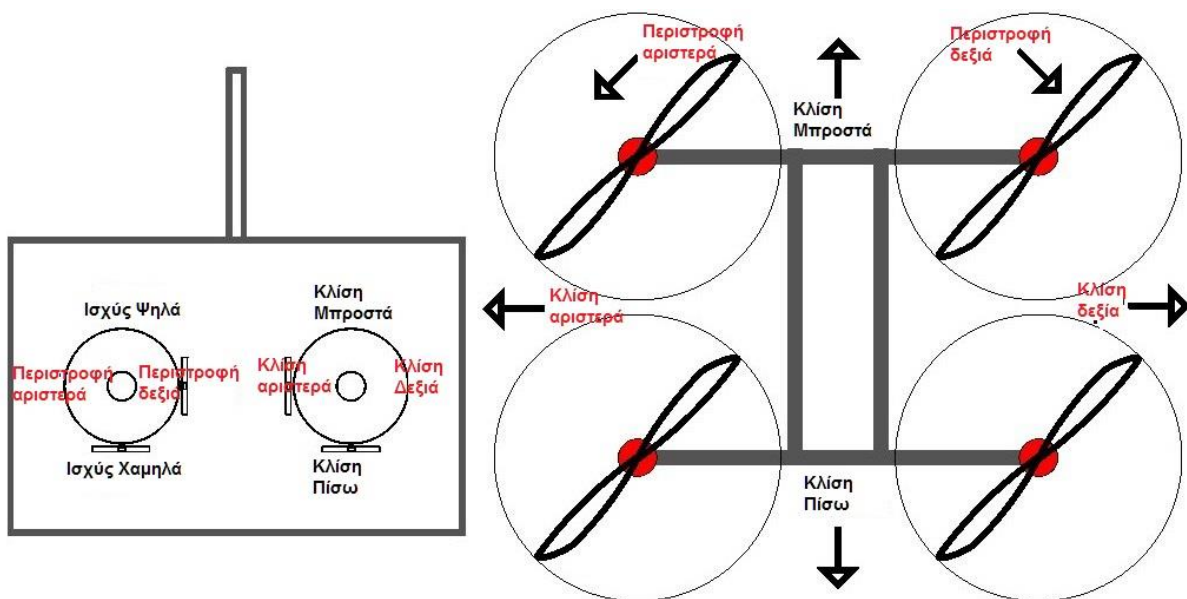
Κατά την εκμάθηση του πως να πετάει το quadcopter, οι έλεγχοι είναι το πιο ουσιώδες στοιχείο.

Με οποιοδήποτε από αυτούς τους ελέγχους, όσο πιο δυνατά κινηθεί ο μοχλός, τόσο και πιο ισχυρά θα κινηθεί το quadcopter προς οποιαδήποτε κατεύθυνση.

Όταν ακόμη ο χειριστής είναι αρχάριος, συνέτο είναι να κινεί τους μοχλούς πολύ απαλά, έτσι ώστε quadcopter εκτελεί μικρές κινήσεις. Όσο περισσότερο μαθαίνει, μπορεί να εκτελεί και πιο έντονες κινήσεις.

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί έλεγχοι στο quadcopter:

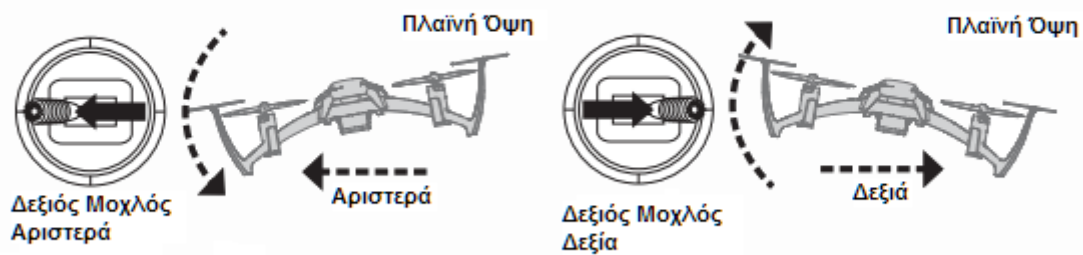
- Roll
- Pitch
- Yaw
- Throttle



Εικόνα 60: Απλή απεικόνιση των roll, pitch, yaw, και της ισχύος σε ένα πομπό (αριστερή εικόνα) και στο quadcopter (δεξιά εικόνα).

3.3.1 Roll

Roll είναι όταν το quadcopter κινείται αριστερά ή δεξιά. Γίνεται πιέζοντας το δεξιό μοχλό στο πομπό προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά. Ονομάζεται "Roll", διότι κυλά το quadcopter πλάγια. Για παράδειγμα, καθώς ωθείται ο δεξιός μοχλό προς τα δεξιά, το quadcopter θα κινηθεί διαγώνια προς τα κάτω προς τη δεξιά πλευρά του.



Εικόνα 61: Κίνηση Quadcopter ανάλογα με τον δεξίο μοχλό του χειριστήριου, αριστερά και δεξιά

Κατά αυτήν την κίνηση, το κάτω μέρος των ελίκων θα προσανατολίζονται προς τα αριστερά. Αυτό ωθεί τον αέρα προς τα αριστερά, αναγκάζοντας το quadcopter να πετάει προς τα δεξιά.

Το ίδιο συμβαίνει και όταν πιέζεται ο μοχλός προς τα αριστερά, αλλά σε αυτή την περίπτωση οι έλικες θα πρέπει να πιέζουν τον αέρα προς τα δεξιά, αναγκάζοντας το copter να πετάξει προς τα αριστερά.

3.3.2 Pitch

Το Pitch γίνεται πιέζοντας το δεξίο μοχλό στο πομπό προς τα εμπρός ή προς τα πίσω. Αυτό θα ανατρέψει το quadcopter, με αποτέλεσμα την προς τα εμπρός ή προς τα πίσω κίνηση. Πολύ συχνά όμως το Pitch είναι αντεστραμένο με αποτέλεσμα ο μοχλός να χρειάζεται να κινηθεί σε αντίθετη κατεύθυνση.



Εικόνα 62: Κίνηση Quadcopter ανάλογα με τον δεξίο μοχλό του χειριστήριου, μπροστά και πίσω

3.3.3 Yaw

Ουσιαστικά, αυτό περιστρέφεται η multicopter δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα. Αυτό γίνεται με το πάτημα του αριστερού μοχλού προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά.

Το Yaw χρησιμοποιείται τυπικά ταυτόχρονα με την αυξομείωση της ισχύος κατά τη πτήση. Αυτό επιτρέπει στον πιλότο να κάνει κύκλους και μοτίβα. Επιτρέπει, επίσης, στους εικονολήπτες και τους φωτογράφους να ακολουθήσουν τα αντικείμενα που θα μπορούσαν να αλλάξουν κατεύθυνση.

3.3.4 Throttle

Το Throttle δίνει στους έλικες του quadcopter αρκετή ισχύ για να ανυψωθεί. Κατά την πτήση, η ισχύς είναι το κύριο μέλημα του χειριστή. Για την αύξηση της ισχύος, πρέπει να κινηθεί ο αριστερός μοχλός προς τα εμπρός. Για να μειωθεί, αρκεί ένα τράβηγμα προς τα πίσω. Σημαντικό είναι να μην απεμπλακεί τελείως, αλλά μέχρι να φτάσει μερικά εκατοστά από το έδαφος. Διαφορετικά, μπορεί να γίνει ζημιά στο quadcopter.

3.3.5 Επιλέγοντας κατάλληλο μέρος για πτήση

Η εκμάθηση στην πτήση ενός quadcopter πρέπει να αποφεύγεται να γίνεται σε κλειστό χώρο. Όσο πιο έμπειρος είναι όμως ο χειριστής, τόσο πιο εύκολη θα είναι για αυτόν, η πτήση σε στενούς χώρους.

Ένας αρχάριος, χρειάζεται να επιλέξει μια θέση που θα ελαχιστοποιήσει τον αντίκτυπο τυχόν λαθών που θα μπορούσε να γίνουν. Προτείνεται να ξεκινάει σε ένα μεγάλο, ανοιχτό χώρο, όπως ένα πάρκο ή ένας αγρός. Πολλοί άνθρωποι προτιμούν να μάθουν σε χορταριασμένο έδαφος, οπότε αν το quadcopter χρειάζεται να κάνει αναγκαστική προσγείωση, θα έχουν τουλάχιστον κάποιο είδος του προστασίας κατά την πτώση. Στη συνέχεια, χρειάζεται απόσταση από ανθρώπους ή ζώα. Τυχόν ατυχήματα μπορεί να προκαλέσουν σοβαρό τραυματισμό. Τέλος, ο άνεμος μπορεί να είναι ο χειρότερος εχθρός του χειριστή κατά τη διαδικασία της πτήσης. Για να μειωθεί η πιθανότητα της πτήσης με αέρα, προτείνεται να γίνεται το πρωί.

3.4 Λειτουργίες πτήσης του Arducopter

Το arducopter έχει 14 ενσωματωμένες λειτουργίες πτήσης, από τις οποίες οι 10 χρησιμοποιούνται τακτικά από τους χρήστες. Υπάρχουν τρόποι για να υποστηρίχθούν διαφορετικά επίπεδα και τύποι σταθεροποίησης της πτήσης, ένας εξελιγμένος αυτόματος πιλότος, ένα σύστημα παρακολούθησης και πολλά άλλα.

Οι λειτουργίες πτήσης ρυθμίζονται μέσω ενός διακόπτη του πομπού, με την αποστολή εντολών, ή χρησιμοποιώντας εντολές από έναν επίγειο σταθμό ελέγχου (GCS) ή έναν υπολογιστή.

Για έναν αρχάριο χειρίστη είναι πιο εύκολο να αρχίσει να χρησιμοποιεί τις εξής λειτουργίες πτήσης με τη σειρά με την οποία παρουσιάζονται παρακάτω πριν προχωρήσει στην επόμενη.

- Σταθεροποίηση (Stabilize)

Επιτρέπει να στον χειριστή να πετάξει το όχημά χειροκίνητα, αλλά αυτο-ισορροπεί το όχημα όταν γέρνει προς κάποια κατεύθυνση(στους άξονες του pitch και του roll).

- Διατήρηση ύψους (Alt Hold)

Το quadcopter διατηρεί ένα σταθερό ύψος, επιτρέποντας παράλληλα να ελέγχεται κανονικά.

- Λειτουργία Παραμονής (Loiter)

Στη λειτουργία παραμονής το quad προσπαθεί αυτόματα να διατηρήσει την τρέχουσα θέση, το προσανατολισμό και το υψόμετρο του. Ο πιλότος μπορεί να πετάξει το quad σαν να είναι σε χειροκίνητη λειτουργία. Απελευθερώνοντας τους μοχλούς θα συνεχίσει να διατηρεί την ίδια θέση.

- Επιστροφή στην θέση απογείωσης (Return-to-Launch ή RTL)

Η λειτουργία επιστροφής στη θέση απογείωσης οδηγεί το Copter από την τρέχουσα θέση του να αιωρηθεί πάνω από την αρχική του θέση. Η συμπεριφορά της λειτουργίας RTL μπορεί να ελέγχεται με διάφορες ρυθμιζόμενες παραμέτρους.

- Αυτόματη (Auto)

Στην αυτόματη λειτουργία το quadcopter θα ακολουθήσει ένα προ-προγραμματισμένο σενάριο αποστολής που είναι αποθηκευμένο στον αυτόματο πιλότο και αποτελείται από εντολές πλοήγησης (δηλαδή σημεία)

ενώ "εκτελεί" εντολές (δηλαδή εντολές που δεν επηρεάζουν τη θέση του copter συμπεριλαμβανομένης την ενεργοποίηση του κλείστρου της κάμερας).

Πρόσθετες λειτουργίες πτήσης:

- «Acro»

Η λειτουργία Acro (ή λειτουργία Rate) χρησιμοποιεί τους μοχλούς του χειριστηρίου για τον έλεγχο της γωνιακής ταχύτητας του copter. Όταν ο χειριστής απελευθερώσει τους μοχλούς το όχημα θα διατηρήσει τη τρέχουσα στάση του και δεν θα επιστρέψει στην επίπεδη θέση του. Αυτή η λειτουργία είναι χρήσιμη για ακροβατικά, ή FPV(First Person View ή προβολή πρώτου προσώπου) όταν είναι επιθυμητός ο γρήγορος και ομαλός έλεγχος.

- Αθλητική (Sport)

Η συμπεριφορά σε αυτή τη λειτουργία είναι σαν την λειτουργία διατήρησης ύψους αλλά με «ελεγχόμενο ρυθμό σταθεροποίησης» (δηλαδή όπως στην λειτουργία Acro).

- Με κλίση (Drift)

Αυτή η λειτουργία επιτρέπει στο χρήστη να πετάξει ένα multicopter σαν να ήταν ένα αεροπλάνο με ενσωματωμένο αυτόματες συντονισμένες στροφές. Η αριστερή και δεξιά κλίση του quad (Roll) δεν ελέγχεται από τον χειριστή αλλά από τον αυτόματο πιλότο.

- Καθοδηγούμενη (Guided)

Η καθοδηγούμενη λειτουργία είναι μια δυνατότητα του quadcopter να καθοδηγείται δυναμικά μια θέση προορισμού ασύρματα χρησιμοποιώντας τον συνδυασμό μια επικοινωνίας μέσω τηλεμετρίας και μια εφαρμογή επίγειου σταθμού.

- Κυκλική (Circle)

Θέτει σε τροχία γύρο από ένα σημείο ενδιαφέροντος με τη μύτη του οχήματος στραμμένη προς το κέντρο. Η ακτίνα του κύκλου μπορεί να ελέγχεται με τροποποίηση της παραμέτρου CIRCLE_RADIUS.

- Διατήρηση Θέσης (PosHold)

Η λειτουργία πτήσης διατήρηση θέσης (παλαιότερα γνωστή ως «Υβριδική»-"Hybrid") είναι μια νέα λειτουργία AC3.2. Είναι παρόμοια με τη λειτουργία παραμονής διότι ότι το όχημα διατηρεί μια σταθερή θέση,

προσανατολισμό, και το υψόμετρο, αλλά ο χειριστής ελέγχει άμεσα τη γωνία κλίσης του οχήματος παρέχοντας μια πιο «φυσική» αίσθηση.

- Προσγείωσης (Land)

Η λειτουργία αυτή προσπαθεί να φέρει το quadcopter ευθεία προς τα κάτω προσγειώνοντάς το.

- Φρεναρίσματος (Brake)

Αυτή η πολύ απλή λειτουργία πτήσης απλά σταματά το όχημα όσο το δυνατόν συντομότερα, έχοντας την ίδια συμπεριφορά με την λειτουργία παραμονής. Μόλις όμως ενεργοποιηθεί, αυτή η λειτουργία δεν αποδέχεται καμία είσοδο από τον πιλότο. Αυτή η λειτουργία απαιτεί GPS.

- Ακολουθήσης (Follow Me)

Η λειτουργία ακολουθήσης δίνει τη δυνατότητα κάνει το copter να ακολουθεί το χειριστή καθώς κινείται, χρησιμοποιώντας τηλεμετρία και ένα σταθμό εδάφους.

- Απλή και Υπεραπλουστευμένη (Simple and Super Simple)

Η απλή και η Υπεραπλουστευμένη λειτουργία επιτρέπουν στον χειριστή να ελέγχει την κίνηση του copter από το σημείο οπτικής του πιλότου, ανεξάρτητα το προς τα που το copter είναι προσανατολισμένο. Αυτό είναι χρήσιμο για τους νέους πιλότους που δεν έχουν εξοικειωθεί με τη ρύθμιση εισόδων των καναλιών του roll και του pitch ανάλογα ποιο τρόπο το όχημα είναι προσανατολισμένο και για τις περιπτώσεις όταν το copter είναι αρκετά μακριά ώστε να το μπροστινό του μέρος δεν είναι εμφανές.

Η απλή λειτουργία επιτρέπει να ελέγχεται το copter σε σχέση με το που βρίσκεται το μπροστινό του μέρος κατά την απογείωση και βασίζεται μόνο σε μια καλή πυξίδα.

Η υπεραπλουστευμένη λειτουργία επιτρέπει να ελέγχεται το copter σε σχέση με την αρχική του θέση (δηλαδή εκεί που οπλίστηκε), αλλά απαιτεί μια καλή θέση για GPS.

3.4.1 Εξάρτηση από το GPS

Λειτουργίες πτήσης που χρησιμοποιούν δεδομένα θέσης του GPS απαιτούν την ενεργό κλειδώμα στο GPS πριν από την απογείωση. Για να δει ο χειριστής εάν ο αυτόματος πιλότος έχει κλειδώσει το GPS, αρκεί να συνδέσει το quad σε έναν

επίγειο σταθμό ή να συμβουλευθεί τις ενδείξεις LED για το κλείδωμα του GPS. Οι λειτουργίες που χρειάζονται κλείδωμα GPS είναι οι : Λειτουργία Παραμονής, Επιστορφή στην θέση απογείωσης, Αυτόματη, Καθοδηγούμενη, Με κλίση, Διατήρηση Θέσης, Ακολουθήσης και Κυκλική

3.5 Κανονισμοί πτήσεων

Σημαντικό για κάθε χειριστή quadcopter είναι να ενημερωμένους τους κανονισμούς που έχουν θεσπιστεί από τις αρχές για την κατοχή και την πτήση των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ).

Στην Ελλάδα από την 08/06/2016, έπειτα από ολοκλήρωση δημόσια διαβούλευσης , έχουν αρχίσει διαδικασίες κατάρτισης κανονισμού για τα ΣμηΕΑ . Ο κανονισμός αυτός καθορίζει όρους και προϋποθέσεις για την εκτέλεση πτήσεων των ΣμηΕΑ , ελεύθερων ή προσδεδμένων (free or tethered) στις ATHINAI FIR / HELLAS UIR(αθηναϊκή Περιοχή Πληροφοριών Πτήσεων και ελληνική Άνω Περιοχή Πληροφοριών). Επίσης καθορίζονται οι κυρώσεις για τις περιπτώσεις πτήσεων από Συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών που εκτελούνται χωρίς την τήρηση των αναφερομένων προϋποθέσεων ή την εξασφάλιση των απαιτούμενων εγκρίσεων.

Γενικά ο κανονισμός καλύπτει τα εξής θέματα :

- Τις Κατηγορίες συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών
- Τη Διεξαγωγή Πτήσεων ΣΜηΕΑ
- Την «Ανοικτή» κατηγορία ΣμηΕΑ
- Τις υποκατηγορίες «ανοικτής» κατηγορίας – ειδικές προϋποθέσεις
- Προϋποθέσεις πτήσεων ΣμηΕΑ «ειδικής» κατηγορίας
- Προϋποθέσεις πτήσεων ΣμηΕΑ «πιστοποιημένης» κατηγορίας
- Μηολόγηση /Καταχώρηση σε Μητρώο των ΣμηΕΑ
- Την τήρηση Μητρώου Εκμεταλλεόμενων και Χειριστών ΣμηΕΑ
- Τήρηση Μητρώου Ελεγκτών Κατασκευής
- Ασφάλιση έναντι τρίτων
- Προστασία Προσωπικών δεδομένων
- Πιστοποιητικό εκμεταλλεόμενου ΣμηΕΑ της Πιστοποιημένης κατηγορίας- Διαδικασία χορήγησης Πιστοποιητικού

- Ειδικό πιστοποιητικό αξιοπλοΐας (πτητικής ικανότητας) συστημάτων μη-επανδρωμένων αεροσκαφών της «πιστοποιημένης» κατηγορίας
- Τη Διαδικασία Αδειοδότησης Χειριστών ΣμηΕΑ
- Διεξαγωγή πτήσεων των ΣμηΕΑ
- Σταθμός εδάφους Συστημάτων μη – επανδρωμένων αεροσκαφών
- Συστήματα αναγνώρισης κινδύνου και αποφυγής σύγκρουσης στην «ειδική» και «πιστοποιημένη» κατηγορία
- Κυρώσεις και Αρμοδιότητα επιβολής αυτών

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία το πρώτο κεφάλαιο αφιερώθηκε στην αναλυτική περιγραφή των ιδιοτήτων και του τρόπου λειτουργίας των εξαρτημάτων ενός Quadcopter. Το δεύτερο κεφάλαιο είχε την διαδικασία του χτισίματος ενός quadcopter καθώς και την επολογή των εξαρτημάτων του, περιλαμβάνοντας επίσης και τρόπους για την σωστή βαθμονόμησή του. Τέλος το τρίτο κεφάλαιο περιείχε βασικές οδηγίες που πρέπει να γνωρίζει κάθε χειριστής, ώστε να διασφαλιστεί η ασφάλης και χωρίς προβλήματα πτήση.

Τα Quadcopters είναι μια τεχνολογία με ταχυ ρυθμό ανάπτυξης και γίνονται όλο μεγαλύτερο κομμάτι της ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Η παρούσα πτυχιακή στοχεύει να καλύψει όσο περισσότερους τομείς αφορούν αυτή την τεχνολογία έτσι ώστε να δώσει κάποια βασικά εφόδια στον αναγνώστη για μπορέσει να αλληλεπιδράσει με αυτήν.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <https://oscarliang.com/>
2. <http://www.rcgroups.com/>
3. <http://www.instructables.com/>
4. <http://www.slideshare.net/corradosantoro/quadcopter-31045379>
5. <http://aeroquad.com/>
6. <http://flitetest.com/>
7. <http://multicopter.forestblue.nl/>
8. <http://myfirstdrone.com/>
9. <http://thequadcopterguy.blogspot.gr/>
10. <http://www.tomshardware.com/>
11. <http://diydrones.com/>
12. <http://jkon.aeromodelling.gr/>
13. <http://www.opengov.gr/yme/?p=3248>
14. <http://ardupilot.org/>
15. <http://uavcoach.com/>
16. <http://learnrobotix.com/>
17. <http://electronics.howstuffworks.com/>
18. <http://www.wannarace.co.uk/>