



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ Τ.Ε.
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΙΠΤΑΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΕΛΙΚΕΣ

Σπουδαστές: Ρούπος Γιώργος, Σαββίδης Γιάννης

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Μαρία Δρακάκη

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Θεσσαλονίκη - 2017

Περίληψη Εργασίας

Η πτυχιακή εργασία με τίτλο: «Μελέτη και κατασκευή αυτόνομου ιπτάμενου οχήματος με τέσσερις έλικες» πραγματοποιείται την μελέτη, το σχεδιασμό και τη κατασκευή ενός Quadcopter με συστήματος ελέγχου για την επίτευξη ευσταθούς αιώρησης, καθώς και την παρακολούθηση μη μηδενικών σημείων αναφοράς (*roll, pitch, yaw, υψόμετρο*). Το σύστημα ελέγχου εφαρμόστηκε σε ένα εφαρμοσμένο ελεγκτή (τον *Arducopter*), μέσω του οποίου έγινε η διαχείριση όλων των περιφερειακών εξαρτημάτων (όπως οι ηλεκτρικοί κινητήρες, αισθητήρες κ.λπ.) και συλλέχθηκαν σε πραγματικό χρόνο.

Στα παρακάτω εδάφια αναλύονται τα στάδια μελέτης, σχεδιασμού και κατασκευής ενός Τετρακοπτέρου όπως επίσης και οι αρχές λειτουργίας του.

Στα εισαγωγικά στοιχεία παρουσιάζονται: Ιστορικές αναδρομές των αυτόνομων ιπτάμενων οχημάτων, η αρχή λειτουργίας του καθώς και τα πεδία εφαρμογής ενός τέτοιου οχήματος.

Περιγράφονται επίσης η μελέτη και διαδικασία κατασκευής του τετρακοπτέρου, καθώς και η ανάλυση των μελών που το απαρτίζουν, το καθένα ξεχωριστά και μαζί σαν σύστημα. Εξηγείται η ροή αλγορίθμου πτήσης και αναλύεται η σειρά με την οποία εκτελούνται οι έλεγχοι των διαδικασιών για την ορθή λειτουργία του.

Τέλος, παρατίθενται τα συμπεράσματα και τα αποτελέσματα της εκάστοτε πτυχιακής εργασίας όπως και οι τρόποι για μελλοντική αναβάθμιση και βελτίωση.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας . Ιδιαίτερα θα θέλαμε να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη στην καθηγήτρια κυρία Μαρία Δρακάκη που μας έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθούμε με το συγκεκριμένο θέμα που μας ενδιέφερε εξ αρχής . Τον ευχαριστούμε για την στήριξή του , τις συζητήσεις μας πάνω στο αντικείμενο και την εποικοδομητική κριτική του.

Επίσης , θα θέλουμε να ευχαριστήσουμε τους συμφοιτητές μας και φίλους των ακαδημαϊκών χρόνων για τις καταστάσεις που ζήσαμε μαζί σε αυτήν την πορεία.

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	7
1.1 Ορισμός των «Μη Επανδρωμένων Ιπτάμενων Οχημάτων».....	8
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	8
1.3 Κατηγορίες Μη Επανδρωμένων Ιπτάμενων Οχημάτων- <i>MEIM</i>	10
1.4 Εφαρμογές και μελλοντικές χρήσεις των drones.....	11
1.5 Κανονισμός από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (Υ.Π.Α.).....	12
1.6 Σκοπός εργασίας.....	15
Κεφάλαιο 2ο: Υλικά & Μέθοδοι.....	16
Μέρος Α' : Θεωρητική Προσέγγιση του QuadCopter.....	17
2.1 Μαθηματικές συναρτήσεις του QuadCopter.....	19
2.1.1 Μαθηματικές συναρτήσεις της θέσεως.....	19
2.1.2 Μαθηματικές συναρτήσεις της Κινηματικής / Κίνησης.....	21
2.1.3 Μαθηματικές συναρτήσεις της Ταχύτητας / Ροπής.....	28
2.1.4 Μαθηματικές συναρτήσεις Φυσικών Συστημάτων.....	29
Μέρος Β: Πρακτική Προσέγγιση του QuadCopter.....	35
2.2 Υλικά του QuadCopter.....	35
2.2.1 Flame Wheel F450.....	35
2.2.2 Μπαταρία Gens Ace 5,300 mAh High Discharge Li-Po Battery.....	36
2.2.3 Μικροελεγκτής ArduCopter.....	36
2.2.4 Κινητήρες DJI 2312e / 960KVCCW.....	39
2.2.5 Esc 30A Brushless Motor Esc for Airplane QuadCopter.....	42
2.2.6 Προπέλες.....	43
2.2.7 Τηλεχειριστήριο Fly Sky Transmitter-6.....	44
Κεφάλαιο 3ο: Κατασκευή.....	45
3.1 Η Συνδεσμολογία του Drone.....	46
3.2 Κατασκευή του Drone.....	48
3.3 Προγραμματισμός του Drone.....	52
3.3.1 APMrover2.....	52
3.3.2 AntennaTracker.....	55
3.3.3. ArduPlane.....	57
3.3.4 Libraries.....	58
Κεφάλαιο 4ο: Αποτελέσματα & Συζήτηση.....	60

Κεφάλαιο 5ο: Βιβλιογραφία	62
5. Βιβλιοθήκες & Βιβλιογραφία.....	63

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Ορισμός των «Μη Επανδρωμένων Ιπτάμενων Οχημάτων»

Ως **Μη Επανδρωμένες Ιπτάμενες Μηχανές, ΜΕΙΜ** (*Unmanned Aerial vehicles, UAVs*) ή αλλιώς γνωστές ως **drones**, ονομάζονται τα κάθε είδους ιπτάμενα μηχανήματα χωρίς ανθρώπινο πιλότο επί του σκάφους. Τα UAV αποτελούν συστατικό του συστήματος μη επανδρωμένων αεροσκαφών (*UAS*), τα οποία περιλαμβάνουν: ένα UAV, έναν επίγειο ελεγκτή και ένα σύστημα επικοινωνίας μεταξύ των δύο.

Η πτήση των UAV μπορεί να λειτουργεί με διάφορους βαθμούς αυτονομίας: είτε με τηλεχειρισμό από έναν χειριστή (*τηλεκατευθυνόμενα*) είτε με αυτόνομο τρόπο από υπολογιστές επί του σκάφους (*προγραμματισμένα*).

Τα drone έχουν τη μορφή μικρών ελικοπτέρων που ο χρήστης τους, μπορεί να τα χρησιμοποιήσει όπως εκείνος επιθυμεί, ανάλογα φυσικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και τον σκοπό για τον οποίο έχουν κατασκευαστεί.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Οι πρώτες αναφορές στον όρο της κάθετης πτήσης προέρχονται από την Κίνα του 400 π.Χ. Ήταν όμως απλά ένα παιδικό παιχνίδι που έφερε έλικα. Πολύ αργότερα, στις αρχές της δεκαετίας του 1480, ο Leonardo da Vinci δημιούργησε ένα σχέδιο μιας μηχανής πτήσης που θα μπορούσαμε να περιγράψουμε ως “εναέρια βίδα”. Το μόνο ελάττωμα της ήταν πως δεν προέβλεπε κάποιο μηχανισμό που να αντισταθμίζει τη ροπή στρέψης.

Από το 1754 έως το 1860 έγιναν αρκετές προσπάθειες δημιουργίας οχημάτων κάθετης πτήσης, όπου το 1861 ο Γάλλος εφευρέτης Gustave de Ponton d' Amécourt χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τη λέξη “ελικόπτερο” παρουσιάζοντας μια κατασκευή από αλουμίνιο τροφοδοτούμενη από μια ατμομηχανή και η κατασκευή του γιορτάστηκε ως πρωτοποριακή χρήση του αλουμινίου, παρόλο που ποτέ δεν ανυψώθηκε.

Το 1861, ο James Gordon Bennet, Jr. έδωσε στον Thomas Edison χίλια αμερικάνικα δολάρια για να πραγματοποιήσει πειράματα για την ανάπτυξη των πτήσεων και ο Edison κατασκεύασε ένα ελικόπτερο με μηχανή εσωτερικής καύσης, το οποίο καταστράφηκε έπειτα από έκρηξη. Το 1878 από τον Enrico Forlanini κατασκευάζεται το πρώτο μη επανδρωμένο ελικόπτερο που απογειώθηκε, που τροφοδοτούνταν από ατμομηχανή που έμεινε στον αέρα για είκοσι δευτερόλεπτα, σε ύψος δώδεκα μέτρων μετά την κάθετη απογείωσή του. Το Μάιο του 1905, ο Σλοβάκος ερευνητής Ján Bahýl που υιοθέτησε τις έρευνες του Edison για τη χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης στα ελικόπτερα, πραγματοποίησε πτήση με το δικό του σχέδιο που έφτασε σε ύψος τεσσάρων μέτρων και πέταξε για πάνω από χίλια πεντακόσια μέτρα.

Η πρώτη επίσημα αναγνωρισμένη επανδρωμένη πτήση, καταγράφεται το Σεπτέμβριο του 1907, όταν το “Gyroplane No.1” σήκωσε τον πιλότο του εξήντα εκατοστά από το έδαφος για ένα λεπτό. Παρόλα αυτά, το ελικόπτερο ήταν εξαιρετικά ασταθές και χρειαζόταν έναν άνθρωπο σε κάθε του άκρη για να το κρατάνε σταθερό. Την ίδια χρονιά, ο Γάλλος εφευρέτης Paul Cornu σχεδίασε και κατασκεύασε ένα ελικόπτερο με δύο αντίστροφης περιστροφής

έλικες που κινούνταν από έναν κινητήρα υγρών καυσίμων εικοσιτεσσάρων (24) ίππων. Το Νοέμβριο του ίδιου έτους, το ελικόπτερο αυτό υψώθηκε μαζί με τον Cornu 30 εκατοστά από το έδαφος για είκοσι δευτερόλεπτα, παρόλο που η πτήση δεν ξεπερνά αυτή του "Gyrorplane No.1" έχει καταγραφεί ως η πρώτη πραγματικά ελεύθερη πτήση με πιλότο. Πραγματοποιήθηκαν μερικές πτήσεις ακόμη με το ελικόπτερο αυτό που έφτασαν τα δύο μέτρα ύψος, αλλά αποδείχθηκε πως ήταν ασταθές και εγκαταλείφθηκε.

Μηχανή του Etienne Oemichen

Στη Γαλλία, ο Etienne Oemichen, ένας νεαρός μηχανικός στην Peugeot, ξεκίνησε πειράματα με περιστρεφόμενες πτέρυγες (έλικες) το 1920, κατασκευάζοντας ένα σύνολο από έξι διαφορετικές μηχανές. Η δεύτερη μηχανή του πέταξε χωρίς βοήθεια στις 11 Νοεμβρίου 1922. Το Oemichen No.2 είχε ένα σωληνοειδές πλαίσιο σχήματος "X", με ένα ευρύ ρότορα δύο πτερυγίων στο άκρο του κάθε βραχίονα. Για τον έλεγχο και την πλευρική κίνηση, χρησιμοποιήθηκαν οκτώ μικρές έλικες: πέντε οριζόντιες έλικες μεταβλητού και αναστρέψιμου βήματος για πλευρική σταθερότητα, μία άλλη έλικα στη μύτη για την αλλαγή κατεύθυνσης, και ένα άλλο ζεύγος από ωθητές για την προς τα εμπρός κίνηση. Μέχρι το 1923, το Oemichen No.2 ήταν σε θέση να παραμένει στον αέρα για αρκετά λεπτά και στις 14 Απριλίου του 1924, κατάφερε το πρώτο ρεκόρ απόστασης περιστροφικής πτέρυγας, τα 360 μέτρα. Στις 4 Μαΐου, ολοκλήρωσε την πρώτη πτήση ενός χιλιομέτρου για όχημα με περιστροφικές πτέρυγες σε 7 λεπτά 40 δευτερόλεπτα για να κερδίσει ένα βραβείο 90.000 φράγκων. Ο μέγιστος χρόνος πτήσης ήταν 14 λεπτά. Παρά το γεγονός ότι ήταν σε θέση να επιδείξει επαρκή ελεγχιμότητα και δύναμη σε αυτή την ιστορική πτήση, δεν ήταν μια πρακτική ιπτάμενη μηχανή. Αναγνωρίζοντας την έλλειψη πρακτικότητας της μηχανής, ο Oemichen επικεντρώθηκε σε μια σειρά από αεροσκάφη με ένα μόνο κύριο στροφέιο και δύο ρότορες κατά της ροπής στρέψης, αλλά είχε μικρή επιτυχία.

Μια σημαντική συμβολή στη λειτουργία του ελικοπτέρου ήρθε να δώσει ο Αργεντινός Raúl Pateras-Pescara de Castelluccio που το 1920, ενώ εργαζόταν στην Ευρώπη, παρουσίασε την πρώτη επιτυχημένη εφαρμογή των πτερυγίων με ρυθμιζόμενη κλίση, με δύο ομοαξονικούς έλικες, αντίστροφα περιστρεφόμενους, που μπορούσαν να ρυθμίζουν την ροή αέρα σύμφωνα με το επιθυμητό. Ακόμη, οι έλικες του είχαν τη δυνατότητα να γείρουν μερικές μοίρες προς τα εμπρός, επιτρέποντας στο όχημα να κινηθεί προς αυτή την κατεύθυνση, χωρίς χρήση ξεχωριστού έλικα για το σκοπό αυτό. Ως τις αρχές του 1924, το ελικόπτερο No.1 του Pescara δοκιμάστηκε και κρίθηκε ως πολύ χαμηλής ισχύος για το βάρος του. Η Βρετανική κυβέρνηση χρηματοδότησε την περαιτέρω έρευνα του Pescara, το οποίο αποτέλεσε στο ελικόπτερο No.3, εφοδιασμένο με μια μηχανή απόδοσης 250 ίππων που μπορούσε να ιπταται για δέκα λεπτά.

1.3 Κατηγορίες Μη Επανδρωμένων Ιπτάμενων Οχημάτων-MEIM

Τα είδη των Μη Επανδρωμένων Ιπτάμενων Μηχανών χωρίζονται ανάλογα με τη μορφή τους σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Μηχανές με σταθερές πτέρυγες, όπως τα αεροπλάνα.



Εικόνα 1: Μη επανδρωμένο όχημα με σταθερές πτέρυγες

2. Μηχανές με έλικες, όπως τα ελικόπτερα.



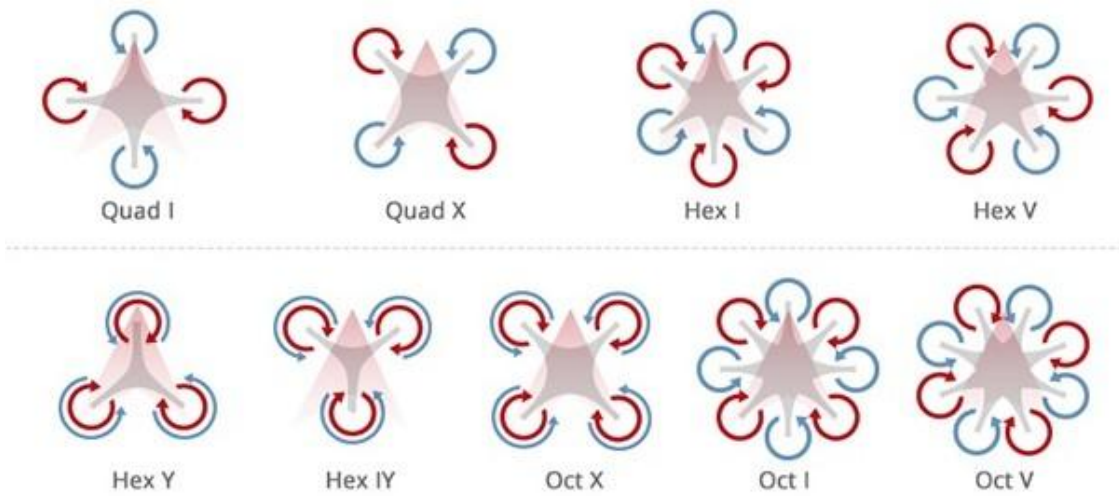
Εικόνα 2: Μη επανδρωμένο όχημα με έλικες

Τα drones μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω ανάλογα με τον αριθμό των κινητήρων ή ελίκων που περιλαμβάνουν, ως εξής:

- Singlecopter: 1 κινητήρας/έλικα
- Dualcopter: 2 κινητήρες/έλικες
- Tricopter: 3 κινητήρες/έλικες
- Quadcopter: 4 κινητήρες/έλικες
- Penticopter: 5 κινητήρες/έλικες
- Hexicopter: 6 κινητήρες/έλικες
- Octocopter: 8 κινητήρες/έλικες

Τα drones με πολλαπλό αριθμό κινητήρων ή ελίκων αναφέρονται επίσης ως Multicopters ή Multirotors. Τα multirotors συχνά χρησιμοποιούν πτερύγια σταθερού βήματος, των οποίων ο ρότορας δεν μεταβάλλει την γωνία του καθώς τα πτερύγια περιστρέφονται. Για τα multicopters με ρότορες ζυγού αριθμού, ο έλεγχος της κατεύθυνσης του οχήματος επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας την σχετική ταχύτητα του κάθε ρότορα για να αλλάξει η ώθηση και η ροπή που παράγεται από τον καθένα, ενώ για τα multicopters με μονού αριθμού

ρότορες (πχ *tricopters*) χρειάζεται ένας τουλάχιστον από τους ρότορες να μπορεί να μεταβάλλει τη γωνία κλίσης του για τη αλλαγή της κατεύθυνσης του οχήματος.



Εικόνα 3: Περιστροφή κινητήρων ανάλογα με τον αριθμό τους

1.4 Εφαρμογές και μελλοντικές χρήσεις των drones

Τα μικρά ιπτάμενα κατευθυνόμενα έξυπνα ρομπότ μπορούν να χρησιμεύσουν σε δεκάδες περιπτώσεις, από μετακινήσεις προϊόντων μέχρι πανοραμικά πλάνα και από κατασκοπεία μέχρι διασκέδαση. Μερικά παραδείγματα εφαρμογών των drones είναι τα ακόλουθα:

- Στρατιωτικές αποστολές και κατασκοπεία: όπου τα drones μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για το πεδίο μάχης ή να παρέχουν δυνατότητα επίθεσης σε υψηλού κινδύνου αποστολές χωρίς διακινδύνευση ανθρώπινων ζωών.
- Επιχειρήσεις εύρεσης και διάσωσης: τα drone αυτές τις μέρες είναι εξοπλισμένα με θερμικούς αισθητήρες έτσι ώστε να είναι σε θέση να εντοπίσουν τη θέση των χαμένων ατόμων. Είναι επίσης σε θέση να εργάζονται στο σκοτάδι και μέσα σε ένα δύσκολο έδαφος. Οι επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης υπέφεραν πολύ από πολύ καιρό λόγω έλλειψης τεχνολογίας, αλλά τώρα τα αεροσκάφη μπορούν να κάνουν τα πάντα μέσα σε λίγα λεπτά.
- Γεωργία: τα drone μπορούν να βοηθήσουν τους αγρότες να εξοικονομήσουν χρήματα και να προστατεύουν τις καλλιέργειες τους παρακολουθώντας φυτά που τυχόν δεν ευδοκίμουν. Μπορούν να μελετήσουν τις μεγάλες γεωργικές εκτάσεις μαζί με την κατάλληλη παρακολούθηση των συστημάτων άρδευσης. Οι αγρότες μπορούν τώρα να ελπίζουν σε όλες τις ενημερώσεις πληροφοριών γρήγορα και τα drones μπορούν επίσης

να τους βοηθήσουν να ψεκάζουν λιπάσματα, φυτοφάρμακα και νερό στις καλλιέργειες σε κατάλληλες στιγμές.

- Φωτογράφιση/ Βιντεοσκόπηση: όπου τα drones μπορούν να παρέχουν υλικό από απρόσιτες ή δύσκολα προσβάσιμες τοποθεσίες. Τα αεροσκάφη μπορούν επίσης να μετακινηθούν εύκολα σε αυστηρότερες περιοχές λόγω του μικρού τους μεγέθους, ώστε να χρησιμοποιηθούν επίσης για την καταγραφή συνεντεύξεων πρόσωπο με πρόσωπο.
- Μετακινήσεις προϊόντων: Καθώς οι προηγμένες μονάδες drones είναι ικανές να μεταφέρουν μεγάλα ωφέλιμα φορτία, ώστε να μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές αποστολής και παράδοσης. Θα βοηθήσει τους ανθρώπους να παραλάβουν άμεσα τα ζητούμενα/παραγγελλμένα προϊόντα τους χωρίς καθυστερήσεις από μπουτλιαρίσματα στο οδικό δίκτυο.
- Χαρτογράφιση
- Διασκέδαση

Μελετάται η μελλοντική χρήση μη επανδρωμένων ιπτάμενων μηχανών κυρίως για ειρηνικούς σκοπούς, όπως: μεταφορά φαρμάκων, βιολογικών υλικών για ιατρικές εξετάσεις και τροφίμων από και προς δύσβατες περιοχές, αξιοποιώντας τις μελέτες αυτές και την τεχνολογία η οποία τείνει να καθιερωθεί υπό τον όρο MatterNet αναφερόμενη στην εφαρμογή αυτόματου τρόπου μετακίνησης υλικών.

1.5 Κανονισμός από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (Υ.Π.Α.)

Με βάση τον νέο κανονισμό από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας που ισχύει από 1^η Ιανουαρίου 2017, δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών – ΣμηΕΑ.

Ο κανονισμός της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, που δημοσιεύθηκε σε ΦΕΚ (3152/Β/30.9.2016), καθορίζει όλη την διαδικασία για το ευαίσθητο θέμα των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών - ΣμηΕΑ, το οποίο άπτεται θεμάτων ασφαλείας πτήσεων, αλλά και ιδιωτικότητας, προστασίας δεδομένων, αστικής ευθύνης, προστασίας του πολίτη, προστασίας του περιβάλλοντος, τα οποία αντιμετωπίζονται κατά αρμοδιότητα. Η δομή του κανονισμού είναι διαμορφωμένη στα πλαίσια των αρχών του Ευρωπαϊκού Οργανισμού για την Ασφάλεια της Αεροπορίας (EASA) και του Διεθνούς Οργανισμού Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO), κατά τρόπο ώστε να γίνει ευχερής η πλήρης ενσωμάτωση των ευρωπαϊκών κανονισμών που αναμένεται να διαμορφωθούν στο μέλλον.

Σύμφωνα με τον κανονισμό, τα drone χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες και ο εκμεταλλευόμενος και ο χειριστής του ΣμηΕΑ Ειδικής, Πιστοποιημένης ή και Ανοικτής Κατηγορίας με εμβέλεια τηλεχειρισμού άνω των 50 μ. εγγράφονται σε ειδικό Μητρώο που τηρείται από την ΥΠΑ. Ειδικότερα, πρόκειται για τις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ανοιχτή κατηγορία**: Εδώ ο χειριστής έχει απευθείας οπτική επαφή με το drone, το οποίο είναι έως 25 κιλά και η πτήση διεξάγεται σε απόσταση μικρότερη των 500 μέτρων από τον χειριστή. Το μεγαλύτερο επιτρεπόμενο ύψος πτήσης είναι τα 400

πόδια και οι πτήσεις της συγκεκριμένης κατηγορίας απαγορεύονται πάνω από συγκεντρώσεις προσώπων, εκτός αν διαθέτουν άδεια επαγγελματικής χρήσης και πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές ασφαλείας.

- **Ειδική κατηγορία:** Στην περίπτωση αυτή απαιτείται άδεια πτητικής λειτουργίας, η οποία χορηγείται εφόσον ο ενδιαφερόμενος προσκομίσει σχέδιο αξιολόγησης κινδύνων ασφαλείας, εγχειρίδιο πτητικής λειτουργίας και ασφαλιστήριο συμβόλαιο. Σε περίπτωση εμπορικής χρήσης απαιτείται και η εγγραφή του drone σε ειδικό μητρώο και η εξασφάλιση ειδικής άδειας μέσω της πληρωμής παραβόλου.
- **Πιστοποιημένη κατηγορία:** Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η νηολόγηση του αεροσκάφους σε ειδικό μητρώο και η έκδοση πιστοποιητικού αξιοπλοΐας. Ο χειριστής αυτής της κατηγορίας θα διαθέτει ειδική εκπαίδευση, το περιεχόμενο και οι εξετάσεις της οποίας θα καθοριστούν. με απόφαση του διοικητή της ΥΠΑ.

Σύμφωνα με τον κανονισμό στην περίπτωση που η χρήση των drone δεν είναι ερασιτεχνική, ο χειριστής τους οφείλει να παρακολουθήσει ορισμένα μαθήματα προκειμένου να λάβει μια σχετική πιστοποίηση, ενώ τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που χρησιμοποιούνται για επαγγελματικούς και εμπορικούς σκοπούς θα πρέπει να ασφαλιζονται. Για την εμπορική εκμετάλλευση μη επανδρωμένου αεροσκάφους οποιασδήποτε κατηγορίας απαιτείται ειδική άδεια της Υ.Π.Α. , η οποία έχει δωδεκάμηνη ισχύ και ανανεώνεται ύστερα από επανέλεγχο και πληρωμή νέου παράβολου. Σύμφωνα με τον κανονισμό, θα πρέπει να είναι δηλωμένα σε μητρώο της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας όλα τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που πετούν σε απόσταση μεγαλύτερη των 50 μέτρων από τον χειριστή τους ανεξαρτήτως από τους λόγους χρήσης τους, ενώ ακόμη και τα ερασιτεχνικά θα πρέπει να δηλώνονται μέσω μιας απλής δήλωσης που θα συμπληρώνεται και θα αποστέλλεται ηλεκτρονικά.

«Ανεξαρτήτως του αν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται για εμπορικό, επιστημονικό ή ψυχαγωγικό σκοπό καθώς και για την εκτέλεση πτήσεων αεροπορικών εργασιών, ο ιδιοκτήτης ή μισθωτής τους είναι υποχρεωμένος να δηλώνει στην αεροπορική αρχή το είδος της χρήσης τους» σημειώνεται στον κανονισμό, ενώ τονίζεται ότι πρέπει να γίνεται σεβαστή η νομοθεσία για την προστασία των προσωπικών δεδομένων.

Μια από τις πολύ σημαντικές παραμέτρους του Κανονισμού για drones είναι ότι θα απαιτείται ασφαλιστική κάλυψη τόσο για τα ΣμηΕΑ "Ανοικτής Κατηγορίας" σε περίπτωση επαγγελματικής χρήσης, όσο και για τα ΣμηΕΑ της "Ειδικής Κατηγορίας" καθώς και για τα ΣμηΕΑ της "Πιστοποιημένης Κατηγορίας". Ειδικότερα έναντι υλικών ζημιών τρίτων έως 150.000 και για σωματικές βλάβες έως 1.000.000.

Κανόνες κυκλοφορίας

Σε ότι αφορά τους κανόνες εναέριας κυκλοφορίας για τη διεξαγωγή των πτήσεων τους, σύμφωνα με τον κανονισμό, επιτρέπεται γενικά σε εναέριο χώρο διαχωρισμένο από τον εναέριο χώρο που χρησιμοποιείται από τα επανδρωμένα αεροσκάφη. Ειδικότερα, επιτρέπεται να ίπτανται:

- α.** Κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια για την κυκλοφορία επανδρωμένων αεροσκαφών με κανόνες πτήσεως διά οργάνων (*IFR*) ή/και εξ όψεως (*VFR*), με μέγιστο ύψος τα 400 πόδια επάνω από το έδαφος ή την επιφάνεια της θάλασσας.
- β.** Επάνω από τα ανώτερα όρια του ελεγχόμενου εναέριου χώρου για την κυκλοφορία επανδρωμένων αεροσκαφών (*επίπεδο πτήσεως 460 έως 46.000 πόδια*).
- γ.** Εντός προσωρινών αποκλειστικών περιοχών που προσδιορίζονται από τις υπηρεσίες εναέριας κυκλοφορίας της ΥΠΑ για πτήσεις ΣΜηΕΑ.
- δ.** Σε καθορισμένα ίχνη και ύψη που προσδιορίζονται με ειδικές άδειες των υπηρεσιών εναέριας κυκλοφορίας της ΥΠΑ.

Απαγορεύεται να πετούν σε εναέριο χώρο:

- α.** Όπου διενεργούνται πτήσεις επανδρωμένων αεροσκαφών με κανόνες πτήσεως διά οργάνων ή και εξ όψεως.
- β.** Εντός των ζωνών κυκλοφορίας των αεροδρομίων και ούτως ή άλλως σε απόσταση μικρότερη των 8 χιλιομέτρων από την περίμετρο του αεροδρομίου και από τα ίχνη προσγείωσης/απογείωσης από/προς το αεροδρόμιο.
- γ.** Στις απαγορευμένες περιοχές για τις πτήσεις συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών, όπως ορίζονται από τους αρμόδιους φορείς και δημοσιεύονται με απόφαση της ΥΠΑ.
- δ.** Εντός των απαγορευμένων και περιορισμένων περιοχών, εντός των οποίων απαγορεύονται ή περιορίζονται οι πτήσεις των επανδρωμένων αεροσκαφών, οι οποίες ορίζονται από τις υπηρεσίες εναέριας κυκλοφορίας. Σε ειδικές περιπτώσεις και κατόπιν αιτήματος προς την ΥΠΑ υπάρχει η δυνατότητα να επιτραπεί η πτήση ΣΜηΕΑ σε σχετικό εναέριο χώρο.

Επίσης, ο χειριστής είναι υπεύθυνος για την ασφαλή λειτουργία και την ασφαλή απόσταση του ΣμηΕΑ από ανθρώπους και κινητά/ακίνητα στοιχεία περιουσίας στο έδαφος ή τη θάλασσα. Οι χειριστές των ΣμηΕΑ που χρησιμοποιούνται για μη επαγγελματικούς σκοπούς θα εξασφαλίζουν ότι δεν θα ίπτανται πάνω από ανθρώπους. Ακόμα απαγορεύεται γενικά η πτήση ΣΜηΕΑ επάνω από συγκεντρώσεις προσώπων. Εξαιρούνται τα ΣμηΕΑ και οι χειριστές τους όταν διαθέτουν άδεια επαγγελματικής χρήσης με καταχώρηση για πτήσεις επάνω από συγκεντρώσεις και η πτητική ασφάλεια συμπληρώνεται με μηχανισμούς ασφαλείας (*αλεξίπτωτα, μικρό βάρος σώματος με αφρώδες υλικό κ.α*).

Η διεξαγωγή των πτήσεων ΣΜηΕΑ με λειτουργία σε απόσταση οπτικής επαφής ή και με λειτουργία σε απόσταση με επέκταση οπτικής επαφής (*μέσω της εικόνας που μεταδίδεται από την κάμερα του drone στο χειριστήριο*) θα διενεργείται στα χρονικά όρια μισής ώρας πριν από την ανατολή του ηλίου έως μισής ώρας μετά από τη δύση του ηλίου.

Τέλος, σε ισχύ τίθενται και πρόστιμα, τα οποία αφορούν την παραβίαση των διατάξεων του νέου κανονισμού σε σχέση με τη λειτουργία, την εκμετάλλευση, την ασφάλεια, τους κανόνες εναέριας κυκλοφορίας, καθώς και τις διατάξεις άλλων νόμων και κανονισμών της πολιτικής αεροπορίας ή την άρνηση ελέγχου από την ΥΠΑ, βάσει του Κώδικα Αεροπορικού Δικαίου. Τα πρόστιμα αποτελούν δημόσιο έσοδο και εισπράττονται κατά τις διατάξεις του

Κώδικα περί εισπράξεων δημοσίων εσόδων καθώς και τις ειδικότερους σχετικές διαδικασίες της ΥΠΑ.

1.6 Σκοπός εργασίας

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας ήταν:

- η μελέτη
- η σχεδίαση
- και η κατασκευή

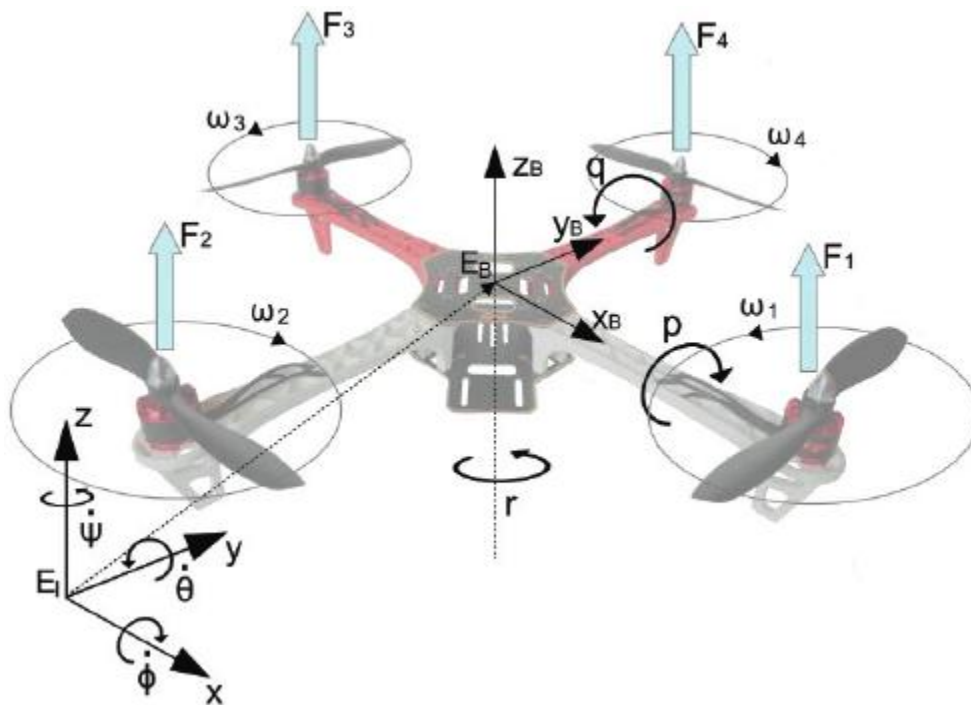
ενός **Quadcopter** με σύστημα ελέγχου για την επίτευξη ευσταθούς αιώρησης και την παρακολούθηση μη μηδενικών σημείων αναφοράς .

Κεφάλαιο 2ο: Υλικά & Μέθοδοι

Μέρος Α' : Θεωρητική Προσέγγιση του QuadCopter

Σήμερα πολλά Drones για να λειτουργήσουν με σωστό και ρυθμισμένο τρόπο βασίζονται στο σύστημα **QuadRotor**, το οποίο τους επιτρέπει να κινούνται στο χώρο και χρησιμοποιεί τέσσερις έλικες συμμετρικά διατεταγμένες για την παραγωγή ώθησης. Ο έλεγχος της κίνησης του γίνεται μεταβάλλοντας την γωνιακή ταχύτητα των κινητήρων που συνεπώς ελέγχει και τη σχετική παραγόμενη δύναμη και ροπή.

Η δομή ενός QuadCopter (ή του QuadRotor) παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα, συμπεριλαμβάνοντας τις γωνιακές ταχύτητες, ροπές και δυνάμεις, οι οποίες δημιουργήθηκαν από τους 4 έλικες (με αρίθμηση από το 1 έως το 4).



Εικόνα 2.1: Η Γενική Δομή ενός QuadCopter/Drone

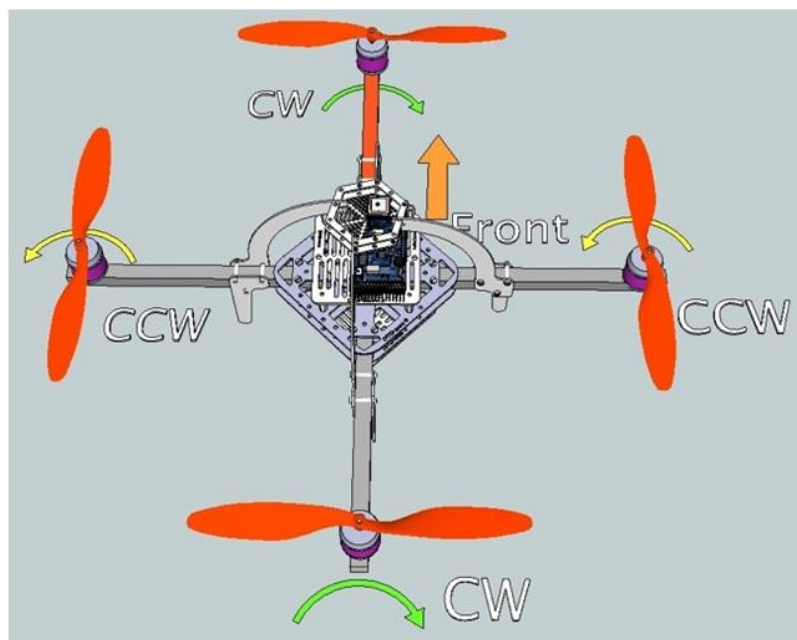
Στην εικόνα 2.1, φαίνονται οι δυνάμεις (ώθηση-thrust) και οι ροπές αντίδρασης (drag) που αναπτύσσονται στις έλικες. Οι φορές περιστροφής και οι παραγόμενες ροπές των κινητήρων είναι προφανώς αντίθετες από αυτές των αναπτυσσόμενων αντιδράσεων (t_1, t_2, t_3, t_4), έτσι στη συγκεκριμένη διάταξη πτήσης οι κινητήρες 2 και 4 περιστρέφονται με θετική φορά και οι 1 και 3 με αρνητική. Με τον τρόπο αυτό στην απόλυτα στατική πτήση οι ροπές των κινητήρων σβήνονται ανά δύο.

Ακόμη, σύμφωνα με αυτή την επιλογή των ζευγών των ομόρροπα περιστρεφόμενων κινητήρων, το ελικόπτερο μπορεί να εκτελεί ανεξάρτητες περιστροφές γύρω από τους άξονες B_x (μήκος-roll), B_y (πλάτος-pitch) και B_z (ύψος-yaw). Η επίτευξη θετικού roll υπό ιδανικές

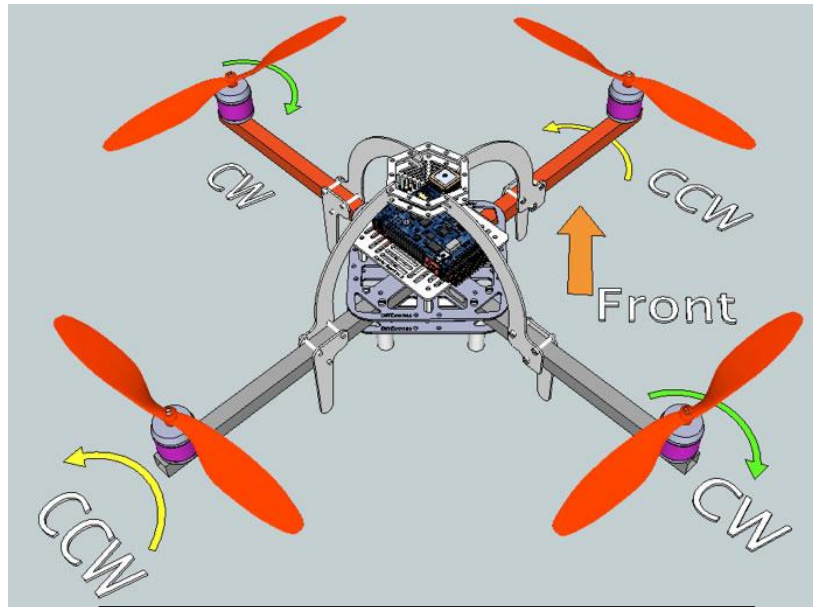
συνθήκες, γίνεται αυξάνοντας τις στροφές του κινητήρα 3 και μειώνοντας τις στροφές του 4 κατά το ίδιο ποσό, διατηρώντας τις στροφές των άλλων δύο σταθερές. Η συνισταμένη ροπή γύρω από τον άξονα B_z παραμένει μηδενική και έτσι έχουμε περιστροφή γύρω από τον άξονα B_x εξαιτίας της ροπής που δημιουργείται λόγω της διαφοράς του μέτρου των διανυσμάτων F_3 και F_4 . Με την ίδια ακριβώς λογική, επιτυγχάνεται η μεταβολή του pitch με τη μόνη διαφορά ότι εδώ επηρεάζει η συνεισφορά των κινητήρων 1 και 2. Αλλάζοντας τις στροφές των κινητήρων ανά ζεύγη ($t1; t2$ και $t3; t4$) έχουμε καθαρή περιστροφή γύρω από τον άξονα B_z , έτσι για θετικό yaw έχουμε αύξηση των στροφών των κινητήρων 3 4 και αντίστοιχη μείωση των στροφών των άλλων δύο. Τέλος, όταν η πλατφόρμα βρίσκεται σε απόλυτα επίπεδη στάση μεταβάλλοντας τις στροφές και των τεσσάρων κινητήρων ισόποσα έχουμε κίνηση στη διεύθυνση του ύψους.

Τα Drone μπορούν να έχουν δομικά τοποθετημένους τους κινητήρες σε:

- **Σχήμα Σταυρού**, (εικόνα 2.2), το οποίο δίνει στο drone το πλεονέκτημα να κινείται από την τρέχουσα θέση προς την επιθυμητή πιο γρήγορα (επομένως γρήγορη ανταπόκριση θέσεως), αλλά και το μειονέκτημα να έχει περισσότερες διαταραχές (άρα περισσότερες ταλαντώσεις).
- **Σχήμα Χ**, (εικόνα 2.3), το οποίο δίνει στο drone το πλεονέκτημα να έχει λίγες διαταραχές (άρα λίγες ταλαντώσεις), αλλά και το μειονέκτημα να κινείται από τη θέση που είναι προς στην επιθυμητή θέση πιο αργά (σε σύγκριση με το σχήμα του σταυρού).



Εικόνα 2.2: Το drone σε σχήμα Σταυρό



Εικόνα 2.3: Το drone σε σχήμα X

2.1 Μαθηματικές συναρτήσεις του QuadCopter

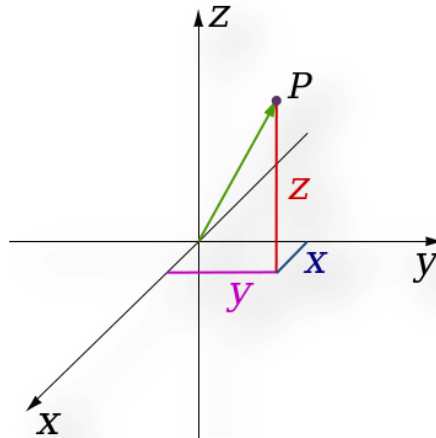
2.1.1 Μαθηματικές συναρτήσεις της θέσεως

Το drone έχει μια συγκεκριμένη μάζα, την οποία θα συμβολίζουμε ως m . Το drone κινείται μέσα σε στο χώρο, ο οποίος έχει τρεις (3) άξονες που τον εκφράζουν:

- Μήκος (τον συμβολίζουμε με x).
- Πλάτος (τον συμβολίζουμε με y).
- Ύψος (τον συμβολίζουμε με z).

Για να βρούμε την θέση του drone χρησιμοποιούμε το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (εικόνα 2.4), το οποίο πήρε το όνομά του από τον Καρτέσιο (*Descartes*) και στα μαθηματικά ορίζεται ως ένα ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει ένα σημείο στο επίπεδο ή στο χώρο.

Το καρτεσιανό σύστημα στο επίπεδο αποτελείται από δύο προσανατολισμένες ευθείες, κάθετες μεταξύ τους, οι οποίες καλούνται συμβατικά **άξονας τετμημένων** (οριζόντιος άξονας) και **άξονας τεταγμένων** (κατακόρυφος άξονας) και συμβολίζονται αντίστοιχα με x και y , όπου το σημείο που τέμνονται λέγεται **αρχή του συστήματος συντεταγμένων**.



Εικόνα 2.4: Καρτεσιανό Σύστημα Συντεταγμένων

Ένα σημείο πάνω στο καρτεσιανό επίπεδο προσδιορίζεται μοναδικά από ένα ζεύγος αριθμών: την τετμημένη (απόσταση του σημείου από τον άξονα y) και την τεταγμένη (απόσταση του σημείου από τον άξονα x). Η τετμημένη και η τεταγμένη αποτελούν τις συντεταγμένες του σημείου και με αυτή τη σύμβαση, η αρχή των αξόνων αναφέρεται ως σημείο αναφοράς(0,0).

Επιπλέον ορίζεται απόσταση ίση με 1, σύμφωνα με την οποία αριθμούνται οι άξονες. Οι συντεταγμένες (x_p, y_p) ενός σημείου P δηλώνουν τη θέση του P κατά την ορθή προβολή του στους άξονες τετμημένων και τεταγμένων αντίστοιχα. Εντελώς αντίστοιχα επιχειρήματα ισχύουν και στην περίπτωση των τριών ή και ανώτερων διαστάσεων. Δηλαδή στις τρεις διαστάσεις, εκτός από τους άξονες x και y ορίζουμε και έναν τρίτο άξονα z όπου είναι κάθετο στο επίπεδο που ορίζουν οι δύο πρώτοι. Έτσι κάθε σημείο στο χώρο μπορεί να παρασταθεί από μία μοναδική τριάδα αριθμών (x, y, z) , με κάθε συντεταγμένη να αντιστοιχεί στην κάθετη απόσταση του σημείου από κάθε έναν από τους τρεις άξονες αντίστοιχα.

Στον τρισδιάστατο χώρο με δοσμένα σημεία (x_1, y_1, z_1) και (x_2, y_2, z_2) , η μεταξύ τους απόσταση δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

Σχέση 1
$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Παρατήρηση: Ο τρισδιάστατος χώρος μέσω της άλγεβρας δεν θεωρείται Γραμμικό Σύστημα, αλλά ένα Μη Γραμμικό Σύστημα.

Όταν θέλουμε να το μετατρέψουμε την Σχέση 1 σε μορφή πίνακα ,προκύπτει η Σχέση 2:

Σχέση 2
$$d = \begin{bmatrix} (x_1 - x_2)^2 & 0 & 0 \\ 0 & (y_1 - y_2)^2 & 0 \\ 0 & 0 & (z_1 - z_2)^2 \end{bmatrix}$$

Σχόλιο1: Ο πίνακας αυτός εφόσον αφορά σε τρισδιάστατο χώρο τότε θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

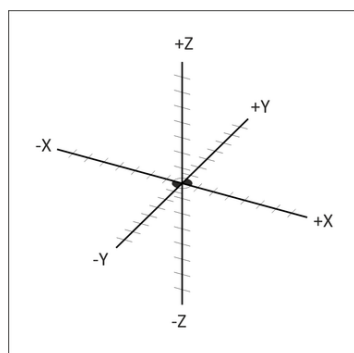
- Είναι της τάξεως $n * n$, όπου το n ισούται με 3.
- Ο πίνακας αυτός βασίζεται στον μοναδιαίο πίνακα , που ο διαγώνιος έχει τιμή (διάφορο του μηδενός) και η κάθε στήλη αφορά για την κάθε άξονα ξεχωριστά. Για παράδειγμα η $1^{\text{η}}$ στήλη θα αφορά για το μήκος , η $2^{\text{η}}$ στήλη για το πλάτος και η $3^{\text{η}}$ στήλη για το ύψος.

2.1.2 Μαθηματικές συναρτήσεις της Κινηματικής / Κίνησης

Η κίνηση του ελικοπτέρου στο χώρο ορίζεται πλήρως από το διάνυσμα θέσης του κέντρου μάζας του και από τον προσανατολισμό του, ως προς κάποιο σύστημα αναφοράς. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι αναπαράστασης του προσανατολισμού ενός στερεού σώματος στο χώρο (*Euler Angles, Axis-Angle*). Κάθε μία από αυτές παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τα οποία τις καθιστούν λιγότερο ή περισσότερο ελκυστικές σε διάφορες εφαρμογές. Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση των γωνιών Euler και των τετραδονίων (*quaternions*), για να βρούμε τον αλγόριθμο του ελεγκτή και τη σύνθεση του εκτιμητή (*Kalman Filter*), αντίστοιχα. Οι λόγοι για την επιλογή αυτή, καθώς και η ανάλυση των μεθόδων θα παρουσιαστούν στις υπό ενότητες που ακολουθούν, αφού πρώτα εισαχθούν τα απαραίτητα συστήματα αναφοράς.

Αντιθέτως με τη γραμμική μετατόπιση, η γωνιακή μετατόπιση ενός στερεού σώματος δεν μπορεί να προκύψει με ολοκλήρωση του διανύσματος της γωνιακής του ταχύτητας ως προς το σύστημα αναφοράς . Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την βοήθεια των γωνιών Euler, που αποτελούν τρεις συντεταγμένες (γωνίες) που περιγράφουν τον προσανατολισμό ενός στερεού σώματος.

Αρχικά γνωρίζουμε ότι ένα σύστημα αναφοράς αποτελείται από ένα σημείο του χώρου Ο την αρχή του συστήματος αναφοράς τρία ανεξάρτητα μοναδιαία διανύσματα i, j, k στο σημείο Ο τα οποία αποτελούν την διανυσματική βάση του συστήματος αναφοράς. Ο πίνακας στροφής μετασχηματίζει ένα διάνυσμα από το ένα σύστημα αναφοράς σε ένα άλλο. Αποτελείται από κατευθύνοντα συνημίτονα και από τα εξωτερικά γινόμενα των συνιστωσών των μοναδιαίων διανυσμάτων.



Εικόνα 2.5: Σημείο αναφοράς

Η μαθηματική σχέση περιγράφεται ως εξής:

Σχέση 3

$$C_B^A = \begin{bmatrix} \widehat{b}_1 * \widehat{a}_1 & \widehat{b}_1 * \widehat{a}_2 & \widehat{b}_1 * \widehat{a}_3 \\ \widehat{b}_2 * \widehat{a}_1 & \widehat{b}_2 * \widehat{a}_2 & \widehat{b}_2 * \widehat{a}_3 \\ \widehat{b}_3 * \widehat{a}_1 & \widehat{b}_3 * \widehat{a}_2 & \widehat{b}_3 * \widehat{a}_3 \end{bmatrix}$$

Σχέση 4

$$[\vec{r}b] = C_B^A [\vec{r}a]$$

Σχέση 5

$$C_B^A C_A^B = C_A^B C_B^A = I$$

Γωνίες Euler - Πίνακας Στροφής

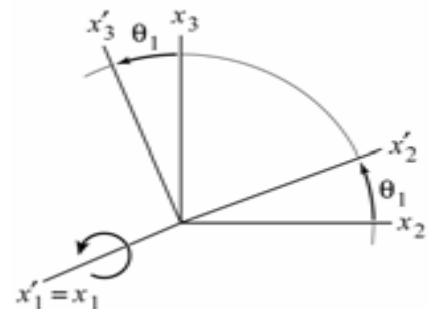
Το θεώρημα των πινάκων στροφής του Euler ερμηνεύει ότι ο προσανατολισμός ενός οποιουδήποτε Σύστημα Αναφοράς στον χώρο (XYZ) μπορεί να εκφραστεί ως σύνθεση τριών περιστροφών περί τους άξονες ενός σταθερού συστήματος αναφοράς. Ο πίνακας στροφής μετατρέπει ένα διάνυσμα ενός συστήματος αναφοράς σε ένα άλλο και αποτελείται από κατευθύνοντα συνημίτονα.

Ουσιαστικά ο πίνακας στροφής από μια απλή περιστροφή εκφράζεται ως $R_i(\theta_j)$, όπου ο δείκτης i υποδηλώνει τον άξονα γύρω από τον οποίο γίνεται η στροφή και ο δείκτης j στην γωνία θ ορίζει ποια είναι η σειρά της συγκεκριμένης στροφής ανάμεσα στις τρεις διαδοχικές γωνίες Euler. Άρα, οι περιστροφές για τους τρεις διαφορετικούς άξονες δίνονται ως εξής:

- Στροφή περί τον 1^ο άξονα (κατά τον X άξονα, μήκος)
Και η συνάρτηση υπολογίζεται ως:

$$R_1(\theta_1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 \\ 0 & \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix}$$

Σχέση 6

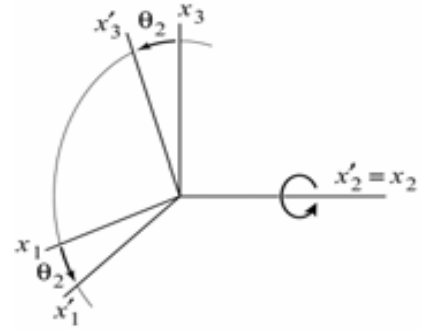


Εικόνα 2.6: Περιστροφή του άξονα X

- Στροφή περί τον 2^ο άξονα (κατά τον Y άξονα, πλάτος)
Και η συνάρτηση υπολογίζεται ως:

$$R_2(\theta_2) = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & 0 & -\sin \theta_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_2 & 0 & \cos \theta_2 \end{bmatrix}$$

Σχέση 7

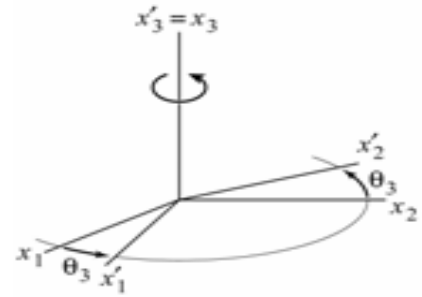


Εικόνα 2.7: Περιστροφή του άξονα Y

- Στροφή περί τον 3^ο άξονα (κατά τον Z άξονα, ύψος)
Και η συνάρτηση υπολογίζεται ως:

$$R_3(\theta_3) = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Σχέση 8



Εικόνα 2.8: Περιστροφή του άξονα Z

Στην περίπτωση που κάνουμε από μια στροφή από τους άξονες με την σειρά $R_1(\theta_1)$, $R_2(\theta_2)$ και $R_3(\theta_3)$, τότε θα έχουμε ως αποτέλεσμα την ακόλουθη σχέση:

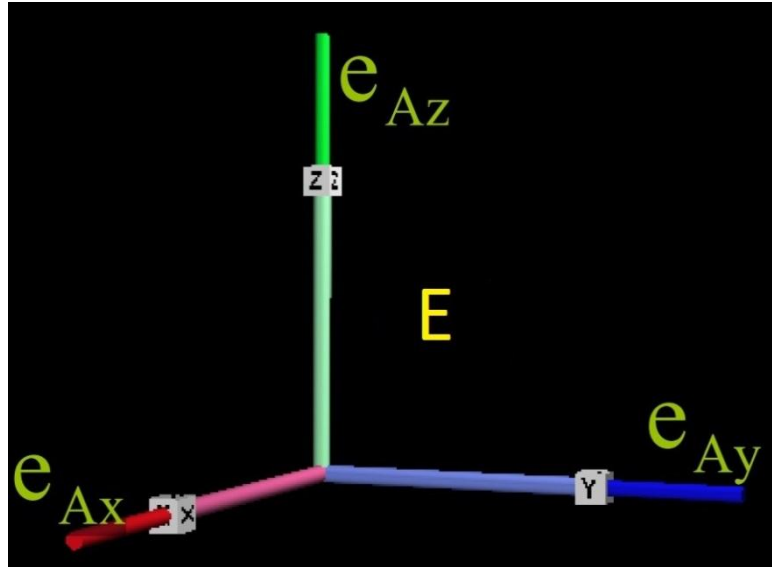
$$C_{123}(x, y, z) = R_1(\theta_1) * R_2(\theta_2) * R_3(\theta_3)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 \\ 0 & \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & 0 & -\sin \theta_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_2 & 0 & \cos \theta_2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \theta_2 \cos \theta_3 & \cos \theta_3 \sin \theta_1 \sin \theta_2 - \cos \theta_1 \sin \theta_3 & \cos \theta_1 \cos \theta_3 \sin \theta_2 - \sin \theta_1 \sin \theta_3 \\ \cos \theta_2 \sin \theta_3 & \cos \theta_1 \cos \theta_3 + \sin \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 & \cos \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 - \cos \theta_3 \sin \theta_1 \\ -\sin \theta_2 & \cos \theta_2 \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \cos \theta_2 \end{bmatrix}$$

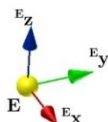
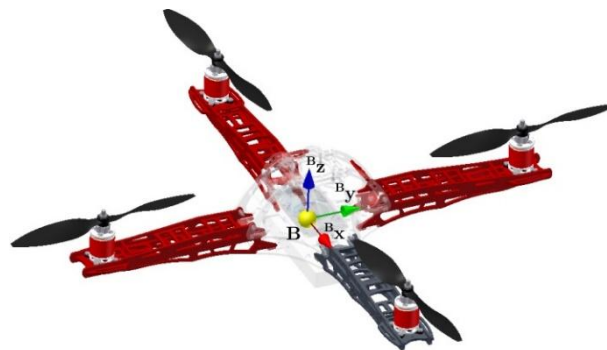
Σχέση 9

Και όπως φαίνεται στην εικόνα 2.9, το αδρανειακό σύστημα αναφοράς E βρίσκεται σταθερό στην επιφάνεια της γης (*Earth Fixed Frame*). Πρόκειται για το σύστημα που αφορά το χώρο μέσα στον οποίο πετάει το σώμα, με το επίπεδο E_y να συμπίπτει με το έδαφος και τον άξονα E_z να δείχνει προς τα πάνω.



Εικόνα 2.9:Σύστημα αναφοράς E

Πρέπει να σημειωθεί πως η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της γης θεωρείται αμελητέα, διότι το επίπεδο θορύβου του γυροσκοπίου είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με το ρυθμό περιστροφής της γης και για το λόγο αυτό δεν θα συμπεριληφθεί στο μοντέλο των κινηματικών συνθηκών του συστήματος. Από την άλλη, το σύστημα B είναι δεμένο με το κέντρο μάζας του συστήματος (*Body Fixed Frame*), και περιστρέφεται μαζί με αυτό (*μη αδρανειακό*). Ο άξονας B δείχνει στο μπροστά μέρος του QuadRotor, όπου στο φυσικό μοντέλο διακρίνεται από το χρώμα του ποδιού (*σκούρο γκρι*). Οι διευθύνσεις των διανυσμάτων βάσης του συστήματος αυτού, συμπίπτουν με τους άξονες ευαισθησίας των μετρητικών οργάνων. Κάθε μέτρηση λοιπόν που παρέχεται από τους αισθητήρες του συστήματος είναι εκφρασμένη σε αυτήν την ορθοκανονική βάση.

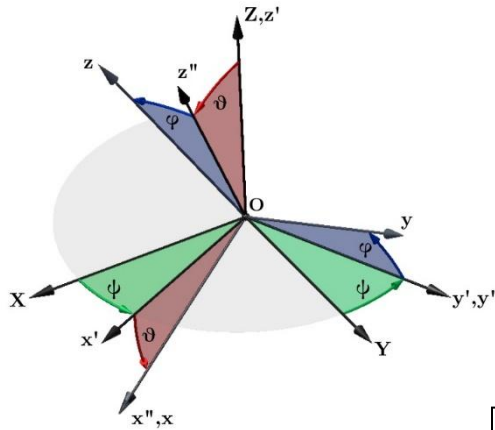


Εικόνα 2.10:Body Fixed Frame

Από εδώ και στο εξής, σύμφωνα με το σύστημα αναφοράς στο ποιο είναι εκφρασμένο ένα διάνυσμα, θα συμβολίζεται και με τον αντίστοιχο εκθέτη. Ένα διάνυσμα στο σύστημα B για παράδειγμα, θα συμβολίζεται ως B_V .

Για τον ορισμό των γωνιών Euler, ορίζεται το σύστημα αναφοράς $f(Oxyz)$ που βρίσκεται δεμένο πάνω στο σώμα και περιστρέφεται μαζί με αυτό ως προς την αρχή O και το σύστημα $f'(Ox'y'z')$ το οποίο παραμένει ακίνητο. Οποιοσδήποτε προσανατολισμός του στερεού σώματος μπορεί να επιτευχθεί με τρεις διαδοχικές γωνιακές μετατοπίσεις. Ο συνδυασμός των διαδοχικών περιστροφών που επιλέχθηκε περιλαμβάνει τις παρακάτω:

- **Yawangle (γωνία ψ):** Περιστροφή του συστήματος αναφοράς κατά γωνία ψ γύρω από τον άξονα OZ ($f \rightarrow f'$).
- **Pitchangle (γωνία θ):** Περιστροφή του συστήματος f' κατά γωνία θ γύρω από τον άξονα Oy' ($f' \rightarrow f''$).
- **Rollangle (γωνία φ):** Περιστροφή του συστήματος αναφοράς f'' κατά γωνία φ γύρω από τον άξονα Ox'' ($f'' \rightarrow f$).



Εικόνα 2.11

Η γωνιακή ταχύτητα του στερεού ως προς το ακίνητο σύστημα αναφοράς F εκφράζεται ως :

Σχέση 10
$$\omega_{f/F} = \omega_{f/f''} + \omega_{f''/f'} + \omega_{f'/F} = \dot{\varphi} * e_x + \dot{\theta} * e_y + \dot{\psi} * e_z$$

Ιδιαίτερη σημασία έχει η έκφραση των συνιστωσών του διανύσματος $\omega_{f/F}$ στο σύστημα f που βρίσκεται δεμένο στο στερεό σώμα, διότι οι μετρήσεις από τα αισθητήρια του συστήματος παρέχονται σε αυτό ακριβώς το σύστημα. Όταν τις αναπτύξουμε τις εξισώσεις αυτές, προκύπτουν:

Σχέση 11α
$$\omega_x = \omega_{f/F} * e_x = \dot{\varphi}(e_x * e_x) + \dot{\theta}(e'_y * e_x) + \dot{\psi}(e'_z * e_x)$$

Σχέση 11β
$$\omega_y = \omega_{f/F} * e_y = \dot{\varphi}(e_x * e_y) + \dot{\theta}(e'_y * e_y) + \dot{\psi}(e'_z * e_y)$$

Σχέση 11γ
$$\omega_z = \omega_{f/F} * e_z = \dot{\varphi}(e_x * e_z) + \dot{\theta}(e'_y * e_z) + \dot{\psi}(e'_z * e_z)$$

Στην εξίσωση 11α το πρώτο εσωτερικό γινόμενο είναι μονάδα, καθώς πρόκειται για το μέτρο του e_x και το δεύτερο μηδέν αφού τα διανύσματα e'_y είναι κάθετα. Για τον τρίτο όρο ισχύει ότι :

$$\text{Σχέση 12} \quad \dot{\psi}(e'_z * e_x) = \dot{\psi} \cos \left[(\pi/2 + \theta) \right] = -\dot{\psi} \sin \theta$$

Για την έκφραση 11β ο πρώτος όρος είναι προφανώς μηδέν, ενώ για τον δεύτερο προκύπτει εύκολα ότι:

$$\text{Σχέση 13} \quad \dot{\theta}(e'_y * e_y) = \dot{\theta} \cos \varphi$$

Ο τελευταίος όρος στην έκφραση 11β, είναι:

$$\begin{aligned} \dot{\psi}(e'_z * e_y) &= \dot{\psi} e_y * (e'_x \times e'_y) = \dot{\psi} e'_x * (e'_y \times e_y) = \dot{\psi} \sin \varphi (e'_x * e_x) \\ &= \dot{\psi} \sin \varphi \cos \theta \end{aligned}$$

Σχέση 14

Και τέλος για την 11β ομοίως ο πρώτος όρος είναι μηδενικός και για τους άλλους δύο ισχύει :

$$\text{Σχέση 15} \quad \dot{\theta}(e'_y * e_y) = \dot{\theta} \cos \left(\frac{\pi}{2} + \varphi \right) = -\dot{\theta} \sin \varphi$$

Και για τον τρίτο όρο (έκφραση 11γ):

$$\begin{aligned} \dot{\psi}(e'_z * e_z) &= \dot{\psi} e_z * (e'_x \times e'_y) = \dot{\psi} e'_x * (e'_y \times e_z) \\ &= \dot{\psi} \sin \left(\frac{\pi}{2} + \varphi \right) (e'_x * e_x) \end{aligned}$$

Σχέση 16

$$= \dot{\psi} \cos \varphi \cos \theta$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω που αναλύσαμε, οι εξισώσεις έχουν ως εξής:

Σχέση 17α

$$\omega_x = \dot{\varphi} - \dot{\psi} \sin \theta$$

Σχέση 17β

$$\omega_y = \dot{\theta} \cos(\varphi) + \dot{\psi} \sin \varphi \cos \theta$$

Σχέση 17γ

$$\omega_z = -\dot{\theta} \sin \varphi + \dot{\psi} \cos \varphi \cos \theta$$

Η Επίλυση των προηγούμενων εκφράσεων ως προς τις χρονικές παραγώγους των γωνιών Euler, οδηγεί στο παρακάτω σύστημα :

$$\text{Σχέση 18} \quad \begin{bmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin \varphi \tan \theta & \cos \varphi \tan \theta \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi \\ 0 & \sin \varphi \sec \theta & \cos \varphi \sec \theta \end{bmatrix} * B_{\omega}$$

$$\text{Όπου } B_{\omega} = [\omega_x \omega_y \omega_z]^T .$$

Οι σχέσεις αυτές αποτελούν ένα σύστημα μη γραμμικών διαφορικών εξισώσεων και η αναλυτική τους λύση δεν μας είναι γνωστή . Μετρώντας λοιπόν το διάνυσμα της γωνιακής ταχύτητας του στερεού σώματος με το γυροσκόπιο τριών αξόνων και επιλύοντας το σύστημα με χρήση της μεθόδου αριθμητικής ολοκλήρωσης, προκύπτει ο προσανατολισμός του Drone στο χώρο.

Ένα σημαντικό πρόβλημα αυτής της μεθόδου είναι ότι για την επίλυση των σχέσεων 4 απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύς λόγω των σύνθετων τριγωνομετρικών συναρτήσεων. Ο αλγόριθμος εκτίμησης του προσανατολισμού του τετρακοπτέρου δεσμεύει το μεγαλύτερο τμήμα του λογισμικού του ελεγκτή, συνεπώς απαιτεί και τον περισσότερο χρόνο. Τέλος, εύκολα αντιλαμβανόμαστε ότι για $\theta=90^{\circ}$ ή $\theta=270^{\circ}$ οι σχέσεις ένα και τρία δεν ορίζονται καθώς το $\cos(\theta)$ μηδενίζεται στον παρονομαστή. Το πρόβλημα αυτό που προκύπτει από το γεγονός της περίπτωσης που $\theta=90^{\circ}$ ή $\theta=270$ οι γωνίες ψ και φ περιγράφουν την ίδια περιστροφή, άρα ένας βαθμός ελευθερίας χάνεται και δεν μπορούν να υπολογιστούν ξεχωριστά. Συνεπώς περιορίζου με τις γωνίες :

$$\text{Σχέση 19} \quad 0 \leq \psi < 2\pi$$

$$\text{Σχέση 20} \quad -\pi/2 \leq \theta < \pi/2$$

$$\text{Σχέση 21} \quad 0 \leq \varphi < 2\pi$$

Κάθε πιθανός προσανατολισμός του σώματος μπορεί να επιτευχθεί εκτελώντας τις απαραίτητες περιστροφές και ο περιορισμός αυτός που παρουσιάζουν οι γωνίες Euler δεν αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για το σχεδιασμό του συγκεκριμένου συστήματος καθώς στόχος είναι ο έλεγχος της πλατφόρμας γύρω από το σημείο στατικής ισορροπίας.

2.1.3 Μαθηματικές συναρτήσεις της Ταχύτητας / Ροπής

Η ταχύτητα ενός σώματος είναι ουσιαστικά ο ρυθμός μεταβολής της θέσης ανάλογα με τον χρόνο, ενώ ορίζεται ως η παράγωγος της θέσης σε σχέση με τον χρόνο. Επίσης η ταχύτητα είναι διανυσματικό μέγεθος και αυτό προκύπτει από το μέτρο (τιμή) και την φορά (κατεύθυνση) της. Και ο τύπος που την περιγράφει είναι:

Σχέση 22

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{dr}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{r_1 - r_2}{t_1 - t_2}$$

Η επιτάχυνση είναι ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας, και ορίζεται ως η παράγωγος της ταχύτητας προς τον χρόνο, η δεύτερη παράγωγος σε σχέση με τον χρόνο είναι:

Σχέση 23

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{v_1 - v_2}{t_1 - t_2}$$

Το οποίο αν το αναλύσουμε περισσότερο προκύπτει η σχέση που περιγράφει την στιγμιαία επιτάχυνση από μια διανυσματική συνάρτηση της θέσης:

Σχέση 24

$$a(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 r}{dt^2}$$

Η δύναμη είναι μια μορφή ενέργειας που προκαλεί την κάθε μεταβολή των σωμάτων της κίνησης μέσα στο χώρο, είτε ο χώρος αυτός είναι μονοδιάστατος είτε δισδιάστατος και πάει λέγοντας.

Με βάση τον δεύτερο (2^ο) νόμο του Νεύτωνα το οποίο συνδυάζει την δύναμη και την ορμή, προκύπτει η σχέση:

Σχέση 24

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(m * v)}{dt}$$

Ο όρος $m * v$ είναι η ορμή. Με αυτό τον τρόπο, η δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα ή σε ένα σύστημα ισούται με τον ρυθμό μεταβολής της ορμής του συστήματος σε σχέση με τον χρόνο. Εάν συνδυάσουμε στην σχέση 24 και την επιτάχυνση, τότε η σχέση θα γίνει:

Σχέση 25

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(m * v)}{dt} = m * \frac{dv}{dt} = m * a$$

Αν η δύναμη F που ασκείται σε ένα σύστημα το μετατοπίζει κατά Δr , τότε το έργο που παράγεται από την δύναμη ορίζεται ως εσωτερικό γινόμενο της δύναμης και μετατόπισης, και ορίζεται ως:

Σχέση 26

$$W = F * \Delta r$$

Κι αν η δύναμη μεταβάλλεται μέσα σε μια συνάρτηση, τότε το έργο της δύναμης υπολογίζεται ως:

Σχέση 27
$$W = \int_C F(r) * dr$$

Η μονάδα μέτρησης, σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα SI, ορίζεται ως: $N = Kg * m/sec^2$ (Newton).

Εφόσον έχουμε δύναμη τότε έχουμε και ροπή, το οποίο είναι το φυσικό μέγεθος που ισούται με την δύναμη επί την κάθετη απόσταση από το σημείο. Και ορίζεται από την σχέση :

Σχέση 28
$$\tau = r * F = (r_x * i + r_y * j + r_z * k) * (F_x * i + F_y * j + F_z * k)$$

$$= \begin{vmatrix} i & j & k \\ r_x & r_y & r_z \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix}$$

Όπου το r είναι η απόσταση από το επιθυμητό σημείο του σημείου εφαρμογής της δύναμης και το F είναι η ασκούμενη δύναμη. Και με τον 2^ο νόμο του Νεύτωνα, η ροπή ορίζεται ως:

Σχέση 29
$$\tau = I * a$$

Όπου το I είναι η ροπή αδράνειας του περιστρεφόμενου σώματος και το a το διάνυσμα της γωνιακής επιτάχυνσης.

2.1.4 Μαθηματικές συναρτήσεις Φυσικών Συστημάτων

Ο νόμος της διατήρησης αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη και μετρήσιμη ποσότητα ενός απομονωμένου συστήματος που δεν μεταβάλλεται καθώς το σύστημα εξελίσσεται στο χώρο και στο χρόνο. Στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρουν:

- Η διατήρηση ενέργειας.
- Η διατήρηση ορμής.

Η **διατήρηση ενέργειας** είναι το άθροισμα όλων των μορφών ενέργειας ενός συστήματος ως προς το χρόνο. Για να διατηρηθεί στο επιθυμητό σημείο (θέσης) ανεξαρτήτως του χρόνου, η ενέργεια (μηχανική ενέργεια) θα πρέπει:

Σχέση 30
$$U_1 + K_1 = U_2 + K_2$$

όπου :

U_1 : η συνολική δυναμική ενέργεια του συστήματος τη χρονική στιγμή t_1 .

K_1 : η συνολική κινητική ενέργεια του συστήματος τη χρονική στιγμή t_1 .
 U_2 : η συνολική δυναμική ενέργεια του συστήματος τη χρονική στιγμή t_2 .
 K_2 : η συνολική κινητική ενέργεια του συστήματος τη χρονική στιγμή t_2

Στην περίπτωση που η κινητική ενέργεια δεν μεταβάλλεται (δηλαδή $K_1 = K_2$), τότε η σχέση 30 γίνεται:

Σχέση 31
$$U_1 = U_2$$

Αυτό σημαίνει ότι θα εξαρτάται η διατήρηση της ενέργειας από την δυναμική ενέργεια του συστήματος ως προς την χρονική στιγμή t_1 και t_2 . Στη σχέση αυτή, δεν υπάρχουν θερμικές απώλειες, διότι δεν υπάρχουν τριβές και περιγράφει μια γραμμική εξίσωση ανεξαρτήτως του εάν βρίσκεται μέσα σε Μη Γραμμικό Τρισδιάστατο Χώρο.

Η **διατήρηση της ορμής** ορίζει πως το διανυσματικό άθροισμα των συνολικών ορμών ενός συστήματος παραμένει πάντα σταθερό ως προς τον χρόνο.

Σχέση 32
$$\sum \vec{p} = \sum m * \vec{u} = 0$$

Εάν τα συστήματα είναι πολλά, τότε :

Σχέση 33
$$\sum_{i=0}^n \vec{p} = \sum_{i=0}^n m_i * \vec{u}_i = m_1 * \vec{u}_1 + m_2 * \vec{u}_2 + \dots + m_{n-1} \vec{u}_{n-1} = 0$$

όπου

m : η μάζα του σώματος.

\vec{u} : η στιγμιαία ταχύτητα του σώματος.

Από τις σημαντικές εργασίες στη διαδικασία ανάλυσης και σχεδιασμού συστημάτων ελέγχου είναι η μαθηματική τους μοντελοποίηση, για την οποία οι πιο γνωστές μέθοδοι είναι:

- Μέθοδος Συνάρτησης Μεταφοράς (Σ.Μ.).
- Μέθοδος των Μεταβλητών Καταστάσεων (Μ.Κ.).

Η Μέθοδος Συνάρτησης Μεταφοράς ισχύει μόνο για γραμμικά χρονικά αμετάβλητα συστήματα, ενώ οι εξισώσεις της μεθόδου μεταβλητών καταστάσεων μπορούν να εφαρμοσθούν τόσο σε γραμμικά όσο και σε μη γραμμικά συστήματα.

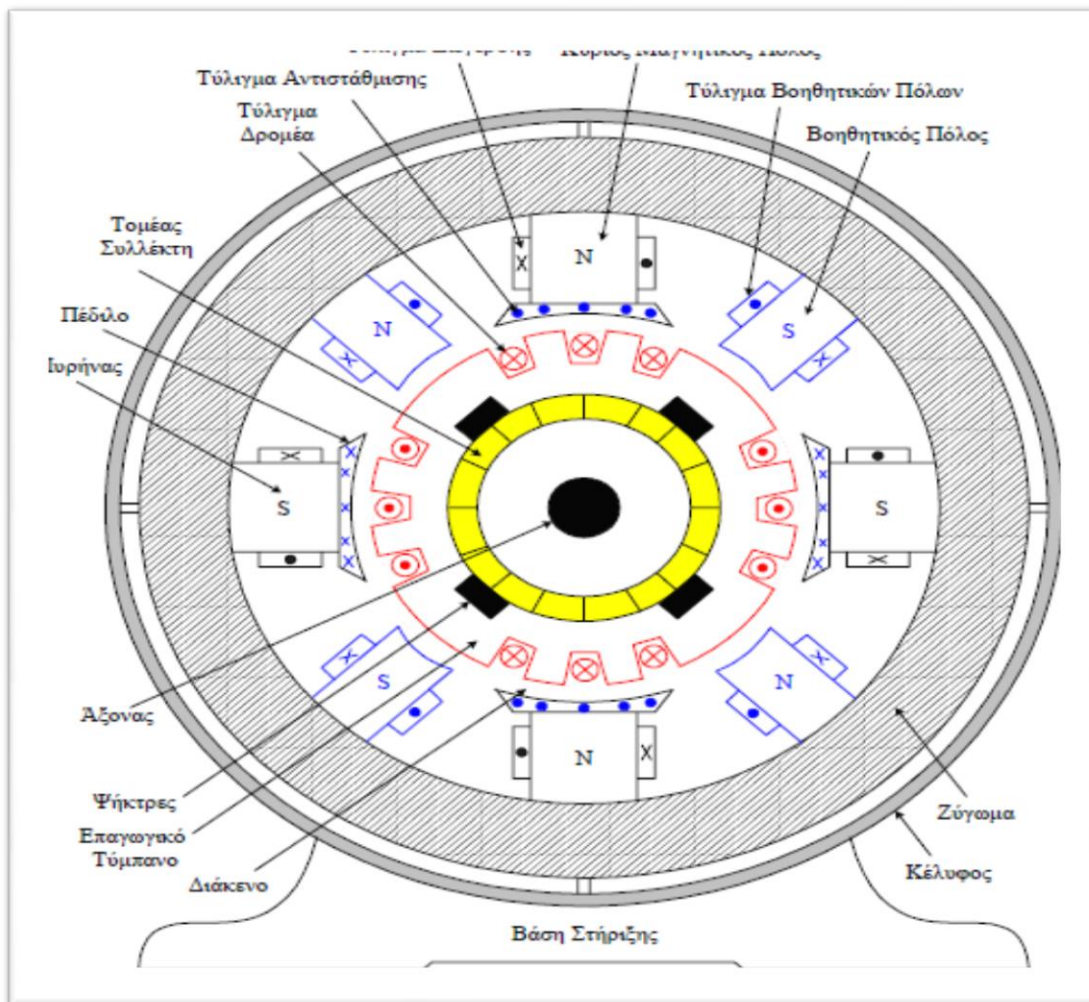
Μέσα στην μοντελοποίηση αυτών των εργασιών, ανεξαρτήτως της μεθόδου που εφαρμόζεται, υπολογίζονται και τα ηλεκτρικά κυκλώματα, τα οποία βασίζονται στη μέθοδο των βρόγχων και στη μέθοδο των κόμβων, όπως διατυπώνονται μέσω των εξισώσεων των

νόμων του Kirchhoff. Το σύστημά μας, με βάση τον 2^ο νόμο του Kirchhoff (που αναφέρεται στους βρόχους), στην γενικότερη μορφή του, είναι :

Σχέση 34

$$U_{πηγής} = V_{\text{συστήματος}}$$

Οι περισσότεροι κινητήρες συνεχούς ρεύματος (dc) λειτουργούν, στις περισσότερες εφαρμογές, με ανεξάρτητη διέγερση. Επομένως θα θεωρήσουμε ότι σε αυτή την πτυχιακή εργασία οι κινητήρες θα είναι κινητήρες ανεξάρτητης διέγερσης, και η πιο απλή δομή του κινητήρα συνεχούς ρεύματος έχει μορφή όπως της εικόνας 2.12:



Εικόνα 2.12: Εσωτερική δομή ενός κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης

Οι μεταβλητές κατάστασης του κινητήρα είναι το ρεύμα οπλισμού i_a , η ταχύτητα περιστροφής ω και το ρεύμα διέγερσης i_f ή ισοδύναμο η μαγνητική ροή φ του διακένου. Με βάση το παραπάνω ισοδύναμο κύκλωμα οι εξισώσεις κατάστασης του dc κινητήρα είναι:

$$\text{Σχέση 35} \quad L_a \frac{di_a}{dt} = -R_a i_a - e + V_a$$

$$\text{Σχέση 36} \quad J \frac{d\omega}{dt} = T_e - T_L$$

$$\text{Σχέση 37} \quad N_f \frac{d\varphi}{dt} = -R_f i_f + V_f$$

Εκτός από τις εξισώσεις κατάστασης, υπάρχουν και εξισώσεις της αντιηλεκτρεγερτικής δύναμης e και της ηλεκτρομαγνητικής ροπής T_e , οι οποίες είναι:

$$\text{Σχέση 38} \quad e = c_1 \varphi \omega$$

$$\text{Σχέση 39} \quad T_e = c_2 \varphi i_a$$

Σχόλιο 3: Τα c_1 και c_2 οι οποίοι είναι συντελεστές και είναι σταθερές.

Η βασική μορφή μιας Συνάρτησης Μεταφοράς οποιουδήποτε συστήματος, ανοιχτού βρόγχου, είναι η εξής:

$$\text{Σχέση 40} \quad \text{Συνάρτηση Μεταφοράς} = \frac{\text{έξοδος}}{\text{είσοδος}} = \frac{1}{G(s)}$$

Τότε η Συνάρτηση Μεταφοράς ενός Κινητήρα Ανεξάρτητη Διέγερση σε ανοιχτού βρόγχου, δεδομένου την βασική μορφή της συνάρτησης μεταφοράς και τις εξισώσεις που αναλύσαμε, ισούται με:

$$\text{Σχέση 41} \quad \frac{T_L}{T_o} = \frac{T_{L1}}{T_o} + T_{L2} \left(\frac{\omega}{\omega_o} \right) + T_{L3} \left(\frac{\theta}{\theta_o} \right)$$

Όπου για κάθε εφαρμογή, η αντίστοιχη συνάρτηση της ροπής και φορτίου προσδιορίζονται με τους συντελεστές T_{L1} , T_{L2} και T_{L3} . Εάν δεν υπάρχουν και οι τρεις (3) συνιστώσες, τότε οι συντελεστές (στις αντίστοιχες βαθμίδες προσδιορισμού του φορτίου) θα μηδενίζονται.

Η Συνάρτηση Μεταφοράς, σύμφωνα με το γενικό τύπο για τον κλειστό βρόχο, είναι:

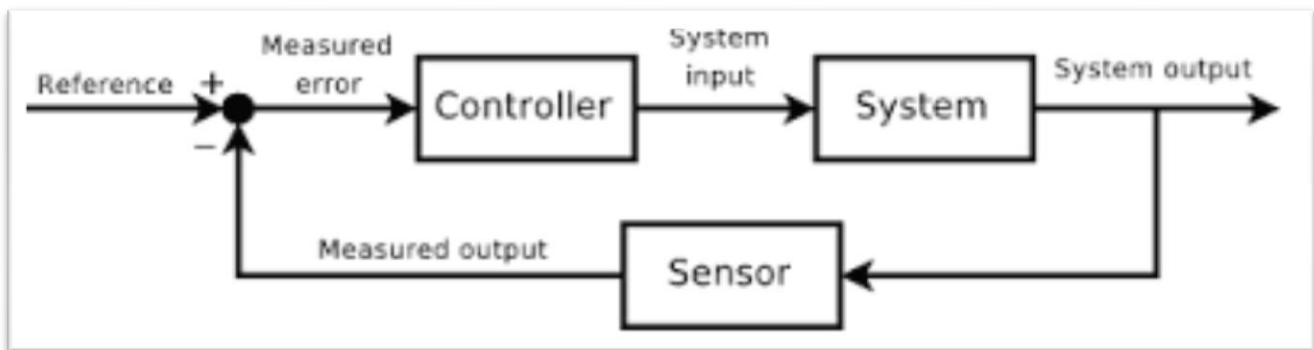
$$\text{Σχέση 42} \quad G(s) = \frac{1}{1 + G(s) * H(s)}$$

Επομένως, συνδυάζοντας την σχέση 41 με την σχέση 42, η Συνάρτηση Μεταφοράς του Κινητήρα Ανεξάρτητης Διέγερσης σε κλειστού βρόχου θα προκύψει ως:

$$\text{Σχέση 43} \quad G(s) = \frac{1}{1 + \left[\frac{T_{L1}}{T_o} + T_{L2} \left(\frac{\omega}{\omega_o} \right) + T_{L3} \left(\frac{\theta}{\theta_o} \right) \right]}$$

Όπου η σχέση 43 προκύπτει εάν υποθέσουμε ότι το $H(s)$, το οποίο είναι η ανάδραση, ισούται με μονάδα (1). Και περιγράφει μόνο την Συνάρτηση Μεταφοράς ενός Κινητήρα Ανεξάρτητης Διέγερσης.

Η Συνάρτηση Μεταφοράς δεν σταματά εδώ, διότι η Συνάρτηση Μεταφοράς στα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου σκοπό έχει να περιγράψει όλο το σύστημα (του drone) και όχι μεμονωμένα. Η πιο απλή εκδοχή και η βασική του μορφή (σε μπλοκ διάγραμμα – block diagram), έχει το ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 2.12: Δομή ενός Συστήματος Κλειστού Βρόχου

Επομένως λύσαμε ένα μέρος του γενικού συνόλου της Συνάρτησης Μεταφοράς. Και θέλουμε, όσο γίνεται, να φέρουμε το «μηχάνημα» σε αυτή την μορφή.

Τον ρόλο του Controller θα παίξει ο Arducopter, και τον ρόλο του System θα παίξουν οι τέσσερις (4) κινητήρες που θα δώσουν την ανάλογη έξοδο (που η έξοδός μας είναι το System Output). Εν τω μεταξύ, ανάμεσα στον controller και του system μεσολαβούν άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το σύστημα του drone, όπως είναι το Επιταχυνσιόμετρο, το Γυροσκόπιο και ο Ενισχυτής. Το Επιταχυνσιόμετρο και το Γυροσκόπιο θα παίζουν ρόλο ως είσοδοι (το καθένα ξεχωριστά) που θα επηρεάσουν τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος, ενώ ο Ενισχυτής θα παίξει το ρόλο του ενισχυτή, το οποίο θα ενισχύει το σύστημά μας κατά K έως ένα σημείο K_{max} .

Επομένως η Συνάρτηση Μεταφοράς του συστήματος μας στην συνολική του μορφή, θα είναι:

$$\Sigma.M. = [M(s) + \Theta(s)] * K_{max} * [G(s)_{motor_1} + G(s)_{motor_2} + G(s)_{motor_3} + G(s)_{motor_4}]$$

Σχέση 44

$$\begin{aligned} \Sigma.M. &= \frac{[M(s) + \Theta(s)] * K_{max}}{1 + \left[\frac{T_{L1}}{T_o} + T_{L2} \left(\frac{\omega}{\omega_o} \right) + T_{L3} \left(\frac{\theta}{\theta_o} \right) \right]} \\ &+ \frac{[M(s) + \Theta(s)] * K_{max}}{1 + \left[\frac{T_{L1}}{T_o} + T_{L2} \left(\frac{\omega}{\omega_o} \right) + T_{L3} \left(\frac{\theta}{\theta_o} \right) \right]} \\ &+ \frac{[M(s) + \Theta(s)] * K_{max}}{1 + \left[\frac{T_{L1}}{T_o} + T_{L2} \left(\frac{\omega}{\omega_o} \right) + T_{L3} \left(\frac{\theta}{\theta_o} \right) \right]} \\ &+ \frac{[M(s) + \Theta(s)] * K_{max}}{1 + \left[\frac{T_{L1}}{T_o} + T_{L2} \left(\frac{\omega}{\omega_o} \right) + T_{L3} \left(\frac{\theta}{\theta_o} \right) \right]} \end{aligned}$$

όπου

K_{max} : Η ενίσχυσή μας.

$\Theta(s)$: Το σήμα του Γυροσκοπίου.

$M(s)$: Το σήμα του Επιταχυνσιόμετρου.

Μέρος Β: Πρακτική Προσέγγιση του QuadCopter

2.2 Υλικά του QuadCopter

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούμε όλα τα υλικά εξαρτήματα που θα χρησιμοποιήθηκαν για την υλική κατασκευή του drone.

2.2.1 DJI Flame Wheel F450



Εικόνα 2.3.1: Flame Wheel F450

Ο σκελετός Flame Wheel F450 ουσιαστικά είναι η βάση (ή το πλαίσιο) επάνω στο οποίο θα τοποθετηθούν όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα του Αυτόνομου Ιπτάμενου Οχήματος (*Drone*). Το συγκεκριμένο εξάρτημα είναι σχεδιασμένο για όλους τους πιλότους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ψυχαγωγία, αεροφωτογραφίες, FPV και άλλες δραστηριότητες, όπως αερομοντελισμό. Επίσης, περιέχει κάποια χαρακτηριστικά όπως:

Τέλος, οι προδιαγραφές του είναι :

- Πλαίσιο Βάρος: 282g
- Diagonal Μεταξόνιο: 450 χιλιοστά
- Απογείωση Βάρος: 800g - 1200g
- Προπέλα: 10 x 4.5in
- Μπαταρία: LiPo (3S 1500mAh ~ 2600mAh)
- Κινητήρας: 2212 - 2216 (μέγεθος του στάτη)
- ΟΚΕ: 15 A - 25A

2.2.2 Μπαταρία Gens Ace 5,300 mAh High Discharge Li-Po Battery

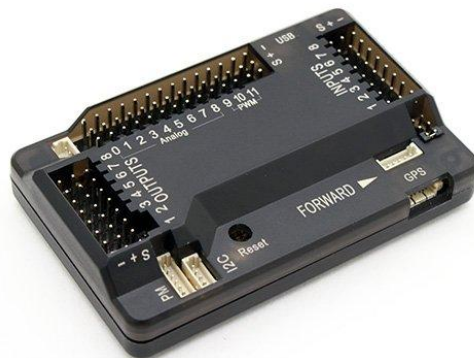


Εικόνα 2.3.2: Gens Ace 5300 mAh Li-Po Battery

Η μπαταρία ή ηλεκτρικός συσσωρευτής είναι η συσκευή η οποία αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια με σκοπό να τροφοδοτήσει τις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές. Η μπαταρία αυτή έχει τις εξής προδιαγραφές :

- Τύπος προϊόντος: Lipo μπαταρία
- Καθαρό Βάρος (g) 415
- Διαστάσεις: 139 * 43 * 32 χιλιοστά
- Χωρητικότητα: 5300mAh
- Τάση: 11.1V
- MaxCont ρεύμα (A): 159
- MaxBurst ρεύμα (A): 318
- Plug Υπόλοιπο: JST-XH
- Απαλλαγή Plug: βύσμα T
- Απαλλαγή Rate (C): 3
- Max απαλλαγή Burst Rate (C): 6
- Παράλληλη (P): 1
- WireGauge 12 #
- Wire Μήκος (C / D) : 50 χιλιοστά / 100 χιλιοστά
- Balancer Τύπος υποδοχής JST-XH
- Χρέωσης: 1-3C Συνιστάται, 5C Max

2.2.3 Μικροελεγκτής ArduCopter



Εικόνα 2.3.3: Μικροελεγκτής ArduCopter

Το ArduCopter είναι μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα του Μη Επανδρωμένου Αέρος που δημιουργήθηκε από την κοινότητα DIY Drones, και μπορεί να λειτουργεί με συστήματα αυτόματου πιλότου Pixhawk και Ardupilot Mega (APM1 και APM2) που δημιουργήθηκαν από τα DIY Drones και πωλούνται από την 3DRobotics, η οποία είναι βασισμένη στην πλατφόρμα του Arduino. Η προσέγγιση του ελεύθερου λογισμικού από το ArduCopter είναι παρόμοια με αυτή του ParagazziProject και του αυτόματου πιλότου PX4, όπου το χαμηλό κόστος και η διαθεσιμότητα επιτρέπουν τη χρήση του σε μικρά απομακρυσμένα πιλοτικά αεροσκάφη, όπως μικρά αεροσκάφη και μικροσκοπικά UAV. Το Arducopter βασίζεται πάνω στο Ardupilot.

Το Ardupilot είναι ένα επαγγελματικό λογισμικό ανοιχτού κώδικα, το οποίο μπορεί να ελέγχει αυτόνομα τα εξής:

- Πολύχρονα αεροσκάφη
- Αεροσκάφη σταθερού πτερύγου και VTOL
- Μοντέλα ελικόπτερα
- Επίπεδα εδάφους
- Μοντέλα σκάφη
- Μοντέλα υποβρύχια και
- Ανιχνευτές κεραίας

Το Ardupilot είναι ένα από τα πιο προηγμένα, πλήρως εξοπλισμένα και αξιόπιστα λογισμικά αυτόματου πιλότου που χρησιμοποιούνται από μια μεγάλη ποικιλία επαγγελματιών και ερασιτεχνών, που έχει αναπτυχθεί από μια ομάδα διαφόρων επαγγελματιών μηχανικών και επιστημόνων υπολογιστών.

Λογισμικό

Το λογισμικό του ArduPilot αποτελείται από το λογισμικό πλοήγησης (*συνήθως αναφερόμενο ως υλικό λογισμικό όταν συντάσσεται σε δυαδική μορφή για στόχους υλικού μικροελεγκτή*), που εκτελείται στο όχημα (*είτε Copter, Plane, rover ή Sub*) Planner, APMPPlanner, QGroundControl, ManProxy, Tower και άλλα. Ο πηγαίος κώδικας του ArduPilot αποθηκεύεται και διαχειρίζεται στο GitHub και από τις αρχές του 2017 έχει διαγραφεί από περισσότερους από 5.000 χρήστες GitHub. Το source δέντρο περιλαμβάνει περίπου 700.000 σειρές πρωτίστως C++ κώδικα, που προέρχεται από 25.000 patches με παραπάνω από 300 συνεισφέροντες, και έχει διαιεθεί πάνω από 5.000 φορές.

Υποστηριζόμενο υλικό

Το λογισμικό Copter, Plane, Rover ή Sub, λειτουργεί σε μια μεγάλη ποικιλία ενσωματωμένων υλικών (*συμπεριλαμβανομένων των πλήρων υπολογιστών Unix/Linux*), που συνήθως αποτελούνται από έναν ή περισσότερους μικροελεγκτές ή μικροεπεξεργαστές συνδεδεμένους σε περιφερειακούς αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για πλοήγηση. Αυτοί οι αισθητήρες περιλαμβάνουν γυροσκόπια MEMS και επιταχυνσιόμετρα στο ελάχιστο, απαραίτητα για πτήση πολλαπλών τροχών και σταθεροποίηση του αεροπλάνου. Οι αισθητήρες περιλαμβάνουν επιπλέον μια ή περισσότερες πυξίδες, ύψιστο (*βαρόμετρο*) και GPS, μαζί με προαιρετικούς

επιπρόσθετους αισθητήρες, όπως αισθητήρες οπτικής ροής, δείκτες ταχύτητας αέρα, υψόμετρα λέιζερ ή σόναρ ή ανιχνευτές ταχύτητας, μονοφωνικές, στερεοσκοπικές κάμερες ή κάμερες RGB-D. Οι αισθητήρες ενδέχεται να βρίσκονται στην ίδια ηλεκτρονική πλακέτα ή εξωτερικά. Το λογισμικό επίγειων σταθμών, το οποίο χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό ή την παρακολούθηση της λειτουργίας του οχήματος, είναι διαθέσιμο για Windows, Linux, MacOSX, IOS και Android.

Το ArduPilot τρέχει σε μια ευρεία ποικιλία πλατφόρμα υλικού, όπως:

- Intel Aero (βάση *Linux*).
- APM 2.X (βάση *Arduino* του μικροελεγκτή *AtmelMega* , που σχεδιάστηκε για το *ArduPilot Mega*, λειτουργεί μόνο σε παλαιότερες εκδόσεις του *ArduPilot*).
- BeagleBone Blue και PXF Mini (*BeagleBone Black Cape*).
- Erle-Brain (βάση *Linux*) σχεδιασμένο από την ErleRobotics.
- PixRacer (βάση μικροελεγκτή *APMCortex*) που σχεδιάστηκε από την AUAV.

Εκτός από τις παραπάνω βασικές πλατφόρμες πλοήγησης, το ArduPilot υποστηρίζει την ολοκλήρωση και την επικοινωνία με το συνοδηγό ή βοηθητικούς υπολογιστές για προηγμένη πλοήγηση που απαιτεί πιο ισχυρή επεξεργασία. Αυτές περιλαμβάνουν NVidiaTX1 και TX2 (αρχιτεκτονική *NVidiaJetson*), IntelEdison και IntelJoule, HardKernelOdroid και RaspberryPI υπολογιστές.

Χαρακτηριστικά

Το ArduPilot περιέχει ένα σύνολο χαρακτηριστικών, συμπεριλαμβανομένων των ακόλουθων κοινών για όλα τα οχήματα:

- Πλήρως αυτόνομοι, ημιαυτόνομοι και πλήρως χειροκίνητοι τρόποι πτήσης, προγραμματιζόμενες αποστολές με τρισδιάστατα σημεία, προαιρετικό geofencing.
- Επιλογές σταθεροποίησης για την άρνηση της ανάγκης για συγκυβερνήτη τρίτου μέρους.
- Προσομοίωση με μια ποικιλία προσομοιωτών, συμπεριλαμβανομένου του ArduPilot SITL.
- Μεγάλος αριθμός αισθητήρων πλοήγησης που υποστηρίζονται, συμπεριλαμβανομένων πολλών μοντέλων GPARTK, παραδοσιακών GPSL1, βαρομέτρων, μαγνητομέτρων, μετρητών λέιζερ και σόναρ, οπτικής ροής, πομποδέκτη ADS-B, υπερύθρων, ταχύτητας αέρα, αισθητήρων.
- Επικοινωνία αισθητήρων μέσω SPI, I2C, διαύλου CAN, σειριακής επικοινωνίας SMBus.
- Υποστήριξη για ενεργοποιητές όπως αλεξιπτωτα και μαγνήτες λαβές, για κινητήρες χωρίς ψήκτρεις και βούρτσες.
- Υποστήριξη και ενσωμάτωση φωτογραφικών και βίντεο αντίβαρων.
- Πλούσια τεκμηρίωση μέσω του wiki του ArduPilot.
- Υποστήριξη και ενσωμάτωση συστημάτων , όπως το γυροσκόπιο και το επιταχυνσιόμετρο.

- Λειτουργίες πτήσης.
- Αυτόματη Ρύθμιση.
- Μεγάλη ποικιλία υποστηριζόμενων τύπων πλαισίων, συμπεριλαμβανομένων τρικυκλών, quadcopters, hexacopter, επίπεδων και ομοαξονικών οκτοκοντίων και προσαρμοσμένων συνθέσεων κινητήρα.
- Υποστήριξη για παραδοσιακά ηλεκτρικά και αεριοθούμενα ελικόπτερα, μονοκόπτες, ελικόπτερα tandem.

Προσαρμοστικότητα

Η προσαρμοστικότητα του ArduPilot το καθιστά πολύ δημοφιλές στον τομέα του DIY, αλλά έχει επίσης κερδίσει μεγάλη δημοτικότητα με επαγγελματίες χρήστες και εταιρείες. Ο Soloquadcopter της 3DRobotics, για παράδειγμα χρησιμοποιεί το ArduPilot . Η δυνατότητα προσαρμογής επιτρέπει την υποστήριξη μιας μεγάλης ποικιλίας τύπων και μεγεθών πλαισίων, διαφορετικών αισθητήρων, ζυγού καμερών και πομπών RCανάλογα με τις προτιμήσεις του χειριστή.

2.2.4 Κινητήρες DJI 2312e / 960KVCCW



Εικόνα 2.3.4 : Κινητήρες DJI 2312e

Ο κινητήρας είναι σύστημα μηχανημάτων που έχει την ικανότητα να μετατρέπει την κάθε μορφή ενέργειας που του προσφέρεται σε κινητική ενέργεια. Συνήθως όμως ονομάζουμε έτσι τα μηχανικά συγκροτήματα και διακρίνουμε τους κινητήρες, ανάλογα με το είδος της ενέργειας που χρησιμοποιούν και έπειτα μετατρέπουν σε κινητική ενέργεια, σε:

- **Ηλεκτροκινητήρες ή ηλεκτρικούς κινητήρες:** Αυτή η κατηγορία απαρτίζεται από περισσότερο εκσυγχρονισμένους κινητήρες και πιο συγκεκριμένα από κινητήρες που έχουν τη μεγαλύτερη ικανότητα απόδοσης ενέργειας συγκριτικά με την ενέργεια που τους προσφέρεται. Είναι η οικογένεια των κινητήρων που χρησιμοποιούμε, για να βάλουμε σε

κίνηση τον ηλεκτρισμό. Διακρίνονται σε κινητήρες συνεχούς και κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος.

- **Κινητήρες εσωτερικής καύσης:** Σε αυτήν την κατηγορία κινητήρων ανήκουν αυτοί που μεταχειρίζονται σαν κινητήρια δύναμη τη δύναμη που αναπτύσσεται από την ανάφλεξη του πετρελαίου ή των παραγώγων του (βενζίνη κλπ.). Είναι οι πιο διαδομένοι κινητήρες της εποχής μας, επειδή συνδυάζουν την ικανοποιητική απόδοση και σχετική ανεξαρτησία απέναντι στην πηγή διοχέτευσης της ενέργειας. Διακρίνονται σε κινητήρες ντίζελ, με καύσιμο πετρελαίου και σε κινητήρες με καύσιμο τη βενζίνη. Οι δεύτεροι χρειάζονται την ύπαρξη του ηλεκτρικού αναφλεκτήρα (μπουζί), για να δουλέψουν.
- **Αερομηχανές ή γκαζομηχανές:** που χρησιμοποιούν σαν κινητήρια δύναμη τη δύναμη που παράγεται από την ανάφλεξη μείγματος ορισμένων αερίων και αέρα. Σήμερα κατασκευάζονται τέτοιου είδους κινητήρες με πολύ μεγάλη συνολική ισχύ. Συναντώνται συχνά στην βιομηχανία.
- **Υδραυλικοί κινητήρες:** χρησιμοποιούν τη δύναμη που ασκεί το νερό όταν αυτό πέφτει πάνω σε μια ορισμένη επιφάνεια από ύψος που ονομάζεται "ύψος υδατόπτωσης". Είναι μία από τις πρώτες μηχανές παραγωγής κινητικής ενέργειας που ανακάλυψε ο άνθρωπος. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα σήμερα στην Ελλάδα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Ατμομηχανές:** κινητήρια δύναμη των ατμομηχανών είναι ο ατμός που παράγεται με τη θέρμανση νερού ή άλλου υγρού. Παλαιότερα τους χρησιμοποιούσαμε κυρίως για κίνηση, τρένων (ατμάμαξες), σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπό μορφή ατμοστροβίλων.
- **Αιολικοί κινητήρες ή ανεμοκινητήρες:** Κι αυτοί είναι απ' τους κινητήρες που ανακάλυψε ο άνθρωπος απ' τα πρώτα χρόνια της ύπαρξής του. Είναι οι κινητήρες που εκμεταλλεύονται τη δύναμη ανέμου που φυσάει.
- **Κινητήρες πυρηνικής ενέργειας:** Η χρησιμοποίησή τους για παραγωγή ενέργειας θ' αυξηθεί σημαντικά.

Εμείς για την εκπόνηση της εργασίας θα χρησιμοποιήσουμε DC ηλεκτροκινητήρες τους κινητήρες DJI E305 Motor 2312E / 960KV. το quadcopter θα διαθέτει 4 κινητήρες οι οποίοι θα δώσουν περιστροφική κίνηση σε 4 έλικες, οι 2 θα κινούνται δεξιόστροφα και οι άλλοι 2 αριστερόστροφα. Ο Brushless DC Motor είναι Σύγχρονος Κινητήρας Μονίμου Μαγνήτη και η οδήγηση του γίνεται ηλεκτρονικά με την χρήση του ESC η αλλιώς τριφασικός αντιστροφέας ισχύος, οι κινητήρες αυτοί ελαχιστοποιούν τις απώλειες χάριν στην έλλειψη της τριβής λόγω του ότι τα γνωστά καρβουνάκια που έχουν οι DC κινητήρες δεν υπάρχουν στους συγκεκριμένους κινητήρες. Έτσι οι κινητήρες αυτοί έχουν και την καλύτερη απόδοση.

Τα μοτέρ είναι κομμάτι της ισχύος του συστήματος. Όντως η συνολική ισχύ του συστήματος εξαρτάται από την επιλογή των μοτέρ για αυτό πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί κατά την επιλογή τους. Χρησιμοποιούμε Brushless μοτέρ για τα multirotors. Τα Brushless μοτέρ έρχονται με μερικές σημαντικές προδιαγραφές. Για την επιλογή των μοτέρ μερικές σημαντικές προδιαγραφές είναι:

- **KV:** $kV = RPM/V$ ταχύτητα περιστροφής του μοτέρ ανά volt ρεύματος που του παρέχουμε

- **Maxcurrent (A):** Το μέγιστο ρεύμα αναφέρεται στο μέγιστο ποσό του ρεύματος που μπορεί κάθε κινητήρας να χειριστεί με ασφάλεια. Αυτό το ρεύμα μετριέται σε Ampere.
- **Thrust:** Το ποσό της ώθησης κάθε κινητήρα, πρακτικά είναι το πόσο του βάρους που μπορεί να σηκώσει κάθε μοτοράκι. Μετριέται σε γραμμάρια αλλά η τιμή του αλλάζει ανάλογα του τι προπέλες χρησιμοποιούμε.
- **Weight:** Το βάρος του μοτέρ σε γραμμάρια
- **Watts:** είναι η ονομαστική ισχύς ή η υποδύναμη ισοδύναμο χωρίς ψήκτρες στα RC Motor. Τα μαθηματικά είναι εδώ Amps x Volts = Watts. Αυτό είναι το ποσό της υποδύναμης που θα πρέπει να παράγει ο κάθε κινητήρας με ασφάλεια. Χρήση του κινητήρα πάνω από αυτή την ονομαστική τιμή θα μπορούσε να τον καταστρέψει, ειδικά όταν δουλεύει για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- **PropSize:** Το μέγεθος του έλικα που υποστηρίζει κάθε μοτέρ. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε (σε λογικά πλαίσια) ότι μέγεθος θέλουμε, αλλά κάθε κινητήρας δημιουργείται για να δέχεται συγκεκριμένα PropSizes για ομαλή και δίχως απώλειες λειτουργία του. Ανάλυση των χαρακτηριστικών των προπελών γίνεται παρακάτω.

Κριτήρια Επιλογής Κινητήρα

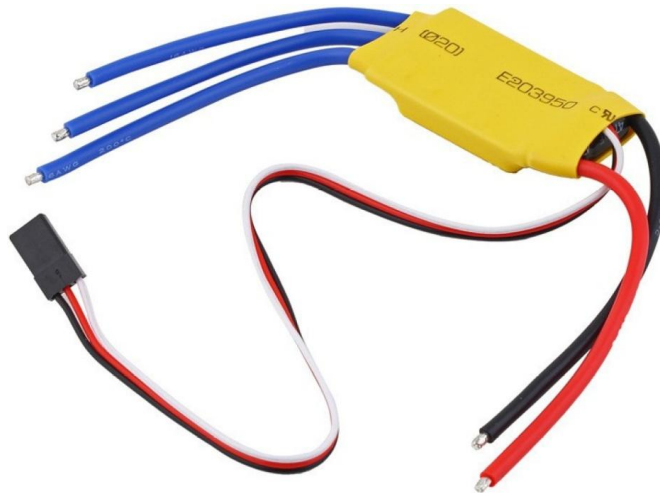
Γνωρίζουμε ότι **το βάρος του τηλεκατευθυνόμενου πρέπει να είναι το μισό από την συνολική ώθηση Total Thrust = 2x AUW για την ανύψωση.** Δηλαδή για να σηκωθεί ένα τετρακόπτερο που ζυγίζει 1000 γραμμάρια θα χρειαστούμε 2000 γραμμάρια ώθησης. Έπειτα αντιληφθήκαμε ότι όταν βάλουμε τους έλικες οι στροφές θα μειωθούν. Σε αυτό το σημείο θα δώσουμε παράδειγμα: έστω ότι έχουμε ένα μοτέρ με 6660 στροφές χωρίς φορτίο, δύο διαφορετικών τύπων έλικα 10x3.8 και 10x6. Όταν τοποθετήσουμε έλικα με διάμετρο 10 ίντσες θα μειωθεί στις 3600 στροφές το λεπτό ή 60 περιστροφές το δευτερόλεπτο. Ο πρώτος έλικας έχει 3.8 ίντσες pitch. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε περιστροφή θα κινείται 3.8 ίντσες.

Έτσι $60 \times 3.8 = 228$ ίντσες/δευτερόλεπτο=5.7μέτρα/δευτερόλεπτο. Για τον δεύτερο έλικα ο οποίος έχει 6 ίντσες pitch είναι: $60 \times 6 = 360 = 9.1$ μέτρα το δευτερόλεπτο. Μπορούμε να πούμε ότι εάν έχουμε έλικα 10x3.8 το τετρακόπτερο θα ανεβαίνει στον αέρα με 5.7 μέτρα το δευτερόλεπτο ενώ με έλικα 10x6 με 9.1 μ/δ. Μεγαλύτερη διάμετρος έλικας παράγει περισσότερη ώθηση.

Εφ' όσον ζυγίσαμε τα κομμάτια του τετρακοπτέρου, συνολικό βάρος 1600 γραμμάρια, και σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κάθε κινητήρα επιλέξαμε τους DJI E305 Motor 2312E / 960KV με χαρακτηριστικά:

- StatorSize : 23x12 mm
- KV : 960 rpm/V
- Weight : 60 g

2.2.5 Esc 30A Brushless Motor Esc for Airplane QuadCopter



Εικόνα 2.3.5 : Esc 30A

Κάθε κινητήρας του οχήματος χρειάζεται ένα κύκλωμα που θα μετατρέπει τα 12 Volt συνεχούς ρεύματος της πηγής (μπαταρία) σε τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα κατάλληλης συχνότητας για να γυρίσουν τα μοτέρ στις στροφές που θέλουμε. Αυτοί οι ελεγκτές δέχονται έναν τετραγωνικό παλμό από τον "μικροελεγκτή" και στην έξοδο τους βγάζουν την κατάλληλη τριφασική τάση που χρειαζόμαστε για να γυρίσουν τα μοτέρ και να ανυψωθεί το Drone. Ένας ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας ή ESC είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που έχει ως σκοπό να μεταβάλλει τη ταχύτητα ενός ηλεκτρικού κινητήρα και πιθανόν επίσης να ενεργεί ως ένα δυναμικό φρένο. Οι ESCs χρησιμοποιούνται συχνά σε ηλεκτροκίνητα τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα, χρησιμοποιούνται πιο συχνά για κινητήρες χωρίς ψήκτες και ουσιαστικά παρέχουν μια ηλεκτρική ενέργεια χαμηλής τάσης τριών φάσεων για τον κινητήρα. Ένα ESC μπορεί να είναι μια αυτόνομη μονάδα η οποία συνδέεται σε κανάλι ελέγχου γκαζιού του δέκτη ή να ενσωματώνεται στο ίδιο το δέκτη, όπως συμβαίνει στα περισσότερα οχήματα παιχνιδι-βαθμού R/C.

Ουσιαστικά το ESC είναι ένας ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας (ή ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα) που ο σκοπός του είναι να μεταβάλλει την ταχύτητα ενός ηλεκτροκινητήρα, την κατεύθυνσή του αλλά και ενδεχομένως να λειτουργήσει και ως δυναμικό φρένο. Χρησιμοποιείται συχνά σε ηλεκτροκίνητα ραδιοελεγχόμενα μοντέλα, με την ποικιλία που χρησιμοποιείται συχνότερα για κινητήρες χωρίς ψήκτες. Και για αυτό η ονομασία του είναι Esc Controller, δηλαδή Electronic System Controller.

Τα Esc μπορούν να ταξινομηθούν με βασικό κριτήριο το μέγιστο ρεύμα, όπως των 25 Ampere ή 25A. Γενικά όσο υψηλότερη είναι η βαθμολογία, τόσο το Esc είναι μεγάλο και βαρύτερο που αυτό σημαίνει ότι είναι ένας παράγοντας για τον υπολογισμό της μάζας και της ισορροπίας στα αεροπλάνα (ή σε άλλα μοντέλα). Πολλά σύγχρονα Esc υποστηρίζουν υδρίδιο μεταλλικού νικελίου, πολυμερές ιόντων λιθίου και μπαταρίες φωσφορικού σιδήρου λιθίου μια σειρά τάσεων εισόδου και διακοπής. Επομένως, με βάση ορισμένων κριτηρίων όπως το

μέγεθος των κινητήρων, το μέγεθος της τάσης που θα λειτουργούσαν , τα πόσα Ampere θα πρόσφερε ως προς τον κινητήρα κ.λπ., επιλέξαμε το Brushless Motor ESC 30A for Airplane Quadcopter.

Το Brushless Motor ESC 30A for Airplane Quadcopter είναι ένα από τα συνηθισμένα ESC Controller που υποστηρίζει και μπορεί να λειτουργήσει με κινητήρες χωρίς ψήκτρες. Ορισμένα από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που έχει είναι τα ακόλουθα :

- **Βάρος:** 25 g.
- **Διαστάσεις:** 45x24x11 χιλιοστά.
- **Ισχύς Εισόδου:** 5.6 Volts μέχρι 16.8 Volts (για μπαταρίες Ni-MH / Ni-MH / Ni-Cd / Ni-Cd 2-3 κυψελών Li-ply).
- **BEC:** 2A.
- **Σταθερό ρεύμα:** 30A (μπορεί να δώσει και μέχρι 40A , όμως για λιγότερο χρόνο των 10 δευτερολέπτων).

Χαρακτηριστικά:

- **Λειτουργία ασφαλούς λειτουργίας:** ανεξάρτητα από το ραβδί γκαζιού σε οποιαδήποτε θέση, ο κινητήρας δεν θα ξεκινήσει αμέσως.
- **Λειτουργία βαθμονόμησης γκαζιού:** προσαρμογή σε διαφορετική απόσταση διαδρομής του γκαζιού, βελτίωση γραμμικότητας απόκρισης του γκαζιού, με ομαλή, λεπτή αίσθηση και εξαιρετική ταχύτητα γραμμικής ταχύτητας.
- **Λειτουργία προστασίας χαμηλής τάσης:** είναι ένα κατώφλι προστασίας χαμηλής τάσης.

2.2.6 Έλικες APC 10x4.5MRP

Πρέπει να έχουμε στο νου μας σαν γενικό κανόνα ότι μοτέρ με λιγότερα kV μπορούν να πάρουν μεγαλύτερους έλικες. Μεγαλύτερη διάμετρος του έλικα παράγει περισσότερη ώθηση. Οι προδιαγραφές τους γίνονται εύκολα κατανοητές και είναι η διάμετρος και το ύψος της κατακόρυφης κίνησης (*pitch*). Γενικά βλέπουμε προπέλες με τις παρακάτω προδιαγραφές :7x3.5, 8x4.5, 9x5, 10x3.8, 10x4.5, 10x6, 11x4.7, 12x3.8.

Η πρώτη τιμή είναι η διάμετρος του έλικα και η δεύτερη τιμή είναι το ύψος της κίνησης. Και οι δύο τιμές είναι σε ίντσες. Διάμετρος: Εικονικός κύκλος που δημιουργεί ο έλικας. Pitch: Το ύψος σε κάθε περιστροφή. Σε γενικές γραμμές στα χαρακτηριστικά του μοτέρ που θα επιλέξουμε θα αναγράφονται και τα χαρακτηριστικά για τους έλικες. Για multicopter εφαρμογές θα προτιμήσουμε έλικες με χαμηλό pitch εάν θέλουμε μεγαλύτερη σταθερότητα και λιγότερες δονήσεις.

2.2.7 Τηλεχειριστήριο Fly Sky Transmitter-6



Εικόνα 2.3.6: FlySky T6

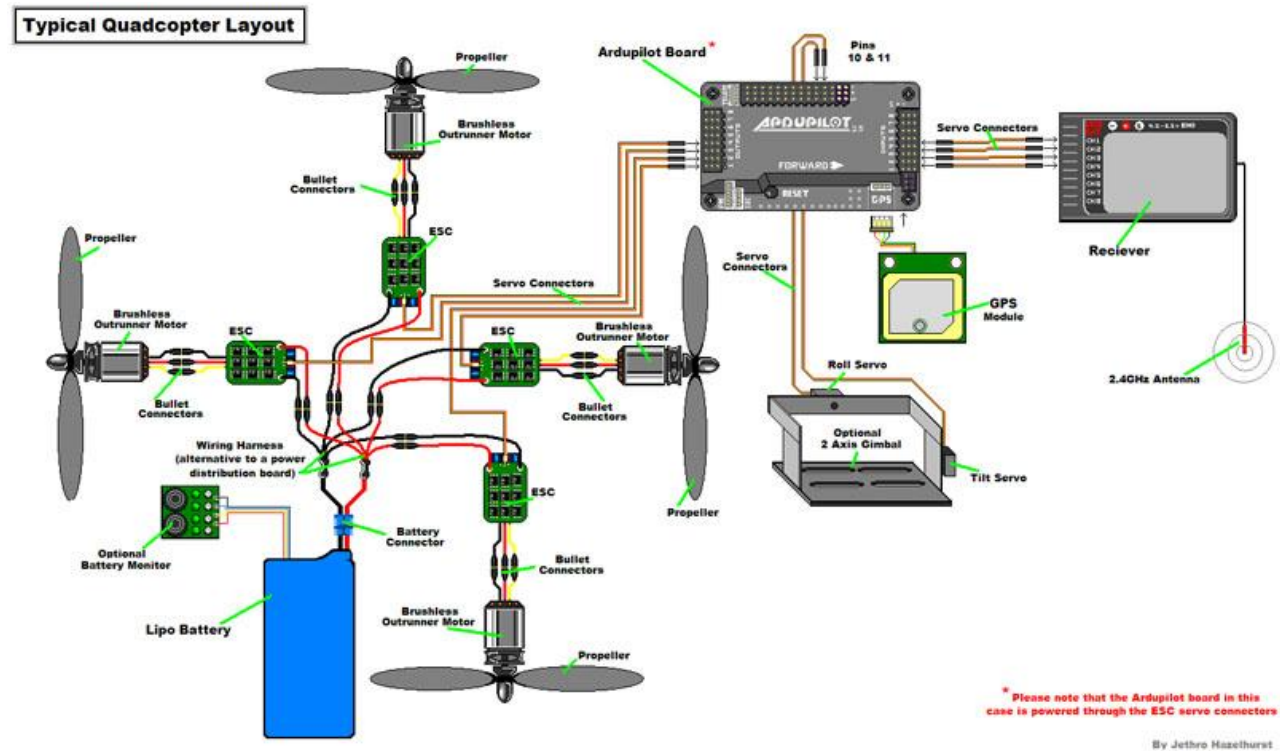
Το Fly Sky Transmitter 6 είναι ένα μοντέλο τηλεχειριστήριου από την εταιρεία Fly Sky που δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να διαχειριστεί και να δίνει τις κατάλληλες εντολές στο drone όπως το επιθυμεί από απόσταση.

Το αριστερό λεβιέ ορίζει το γκάζι και το δεξιό λεβιέ ορίζει την διεύθυνση του drone . Έχει ένα κουμπί που ανάβει και σβήνει (σε λειτουργία) το τηλεχειριστήριο. Περιέχει τρία κουμπιά που δίνουν την δυνατότητα στον χειριστή να ρυθμίζει στο γενικό πλαίσιο τις λειτουργίες του τηλεχειριστηρίου, και με συνεργασία του LCD μπορεί να δει τις ρυθμίσεις πιο εύκολα . Επίσης περιέχει τέσσερα που διευκολύνουν την λειτουργία τους λεβιέ γκαζιού και διεύθυνσης.

Κεφάλαιο 3ο: Κατασκευή

3.1 Η Συνδεσμολογία του Drone

Η συνδεσμολογία των εξαρτημάτων, για να λειτουργήσει σωστά και με γραμμικό τρόπο μέσα σε ένα τρισδιάστατο χώρο (Μη Γραμμικό Σύστημα), πρέπει να γίνει με αρμονικό και σωστό τρόπο με σκοπό να λειτουργήσει το Drone κανονικά. Η συνδεσμολογία των εξαρτημάτων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 3.1: Η συνδεσμολογία του Drone

Περιγραφή της συνδεσμολογίας του Drone

Το Arducopter (ή Ardupilot) είναι ένας μικροελεγκτής (ένας τυπικός μικροεπεξεργαστής), ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα, λόγω των πολλών ενσωματωμένων υποσυστημάτων που διαθέτει. Το Arducopter περιέχει:

- 8 εισόδους
- 19 εξόδους (8 ως αναλογικοί, 8 είτε ως αναλογικοί είτε ψηφιακοί, 3 ως PWM)
- επιπλέον ξεχωριστές θύρες (π.χ. για GPS, PM και I2C)
- κουμπί Reset

Στις θύρες εισόδου συνδέουμε το **receiver του τηλεχειριστηρίου** (κατά αύξουσα σειρά). Πάντοτε στη σύνδεσή βάζουμε τρία (3) καλώδια , από τα οποία δύο είναι για τη τροφοδοσία του σήματος και ένα είναι το σήμα που πάει από το receiver στον Arducopter (“S”).

Στις θύρες εξόδου συνδέουμε **Esc’s controller**, με σκοπό να μπορέσουν να πάρουν το σήμα (υπό μορφή PWM) από το Arducopter για να δώσουν στους κινητήρες το κατάλληλο ρεύμα και εντολή.

Στην θύρα του GPS τοποθετούμε **την κεραία του GPS**. Και ο λόγος της τοποθέτησης είναι την ομαλή λειτουργία του drone , είτε της προσγείωσης είτε της απογείωσης .

Για να ρυθμιστούν οι κινητήρες , με σκοπό να έχουμε έλεγχο κινητήρων πρέπει να εφαρμόσουμε κάποιο πρωτόκολλο επικοινωνίας. Ως πρωτόκολλα επικοινωνίας υπάρχουν τα εξής:

- Πρωτόκολλο Επικοινωνίας **PWM** (Διαμόρφωση Εύρους Πλάτους).
- Πρωτόκολλο Επικοινωνίας **PPM**.
- Πρωτόκολλο Επικοινωνίας **PCM**.
- Πρωτόκολλο Επικοινωνίας **SBUS**.
- Πρωτόκολλο Επικοινωνίας **DSM2&DSMX**.

Από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που υπάρχουν, με σκοπό την ρύθμιση των κινητήρων και τον έλεγχο των κινητήρων, εμείς θα χρησιμοποιήσουμε το πρωτόκολλο επικοινωνίας τη **Διαμόρφωση Εύρους Πλάτους**, που είναι γνωστό ως **PWM** (Pulse Width Modulation).

Πρωτόκολλο επικοινωνίας PWM

Η διαμόρφωση εύρους παλμού (PWM) είναι μια τεχνική για τον έλεγχο των αναλογικών κυκλωμάτων με τις ψηφιακές εξόδους ενός μικροελεγκτή. Το PWM χρησιμοποιείται σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών, που κυμαίνονται από τις μετρήσεις και τις επικοινωνίες έως και για τον έλεγχο ισχύος. Ελέγχοντας αναλογικά κυκλώματα με ψηφιακό τρόπο, το κόστος και η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να μειωθεί δραστικά. Επίσης, πολλοί μικροελεγκτές περιλαμβάνουν ελεγκτές PWM, καθιστώντας εύκολη την εφαρμογή του. Μέσω της χρήσης μετρητών υψηλής ανάλυσης, ο κύκλος λειτουργίας ενός τετραγωνικού παλμού είναι διαμορφωμένος για να κωδικοποιήσει ένα συγκεκριμένο επίπεδο αναλογικού σήματος. Το σήμα PWM εξακολουθεί να είναι ψηφιακό, διότι, σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή, το DC σήμα είναι είτε "1" (on) ή "0" (off). Η πηγή τάσης ή ρεύματος παρέχεται στο αναλογικό φορτίο μέσω μιας επαναλαμβανόμενης σειράς από παλμούς "0" και "1".

Generic PWM Pulse



Εικόνα 3.2: Το σήμα PWM

Το PWM είναι ένα πρότυπο για τον έλεγχο διαφορετικών συσκευών πλοήγησης σε ένα τηλεκατευθυνόμενο μοντέλο. Σχεδόν όλα τα servo's, ESC, οι ελεγκτές της πτήσης και οι ραδιοφωνικοί δέκτες μπορούν να λειτουργήσουν με το σήμα PWM. Είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο σε Drones χωρίς Flight Controller. Στην περίπτωση του Drone το PWM είναι ένας παλμός που θα περάσει μέσα από το καλώδιο του ESC με αρχή λειτουργίας την μεταβολή του πλάτους του παλμού. Ανάλογα με το πλάτος του παλμού ορίζεται και το ποσοστό του ελέγχου στον χρόνο, για κάθε μοτέρ ξεχωριστά. Ο χρόνος που ο παλμός είναι στο ON δηλαδή στο 1 είναι από 1 μs (*microseconds*) μέχρι 2 μs ενώ το συνολικό μήκος του παλμού ή frame είναι 20 ms (*milliseconds*), τον παλμό αυτό τον δέχεται το ESC και εκτελεί περιστροφή στα μοτοράκια. Το PWM απαιτεί τουλάχιστον 4-5 κανάλια (*μερικές φορές ακόμη περισσότερα*) και θα δείτε τους ίδιους αριθμούς των σέρβο να συνδέονται μεταξύ του δέκτη και του ελεγκτή πτήσης.

3.2 Κατασκευή του Drone

Εφόσον αναλύθηκε το θεωρητικό πεδίο, με τα σχετικά εξαρτήματα που θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση του τετρακοπτέρου Drone και με ποιο τρόπο θα γίνει η συνδεσμολογία, είμαστε στην κατάλληλη θέση να τα παραγγείλουμε και να τα αξιοποιήσουμε. Τα υλικά που παραγγείλαμε, τα οποία συγκεντρώσαμε φαίνονται στις παρακάτω φωτογραφίες:

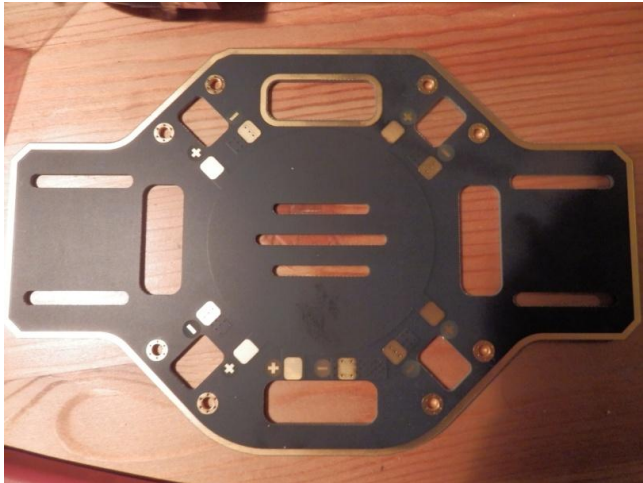


Εικόνα 3.3: Η συγκέντρωση των εξαρτημάτων

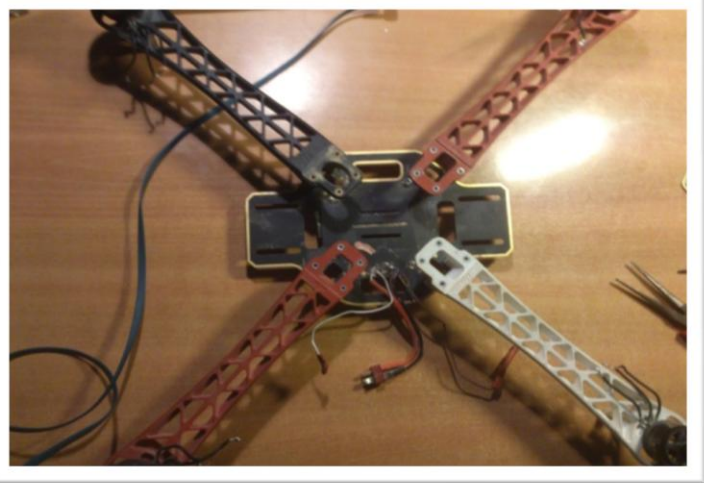
Η διαδικασία της κατασκευής του drone φαίνεται από τα ακόλουθα βήματα:

Βήμα 1°

Συναρμολογώ το σκελετό του drone. Τοποθετούνται πάνω στη βάση του σκελετού Flame Wheel F450 οι τέσσερις πλαστικές προεκτάσεις, και τέλος το επάνω μέρος της βάσης (καπάκι).



Εικόνα 3.4: Η βάση του σκελετού



Εικόνα 3.5: Η ολοκληρωμένη βάση του σκελετού

Βήμα 2°

Στη συνέχεια, τοποθετούνται οι κινητήρες DJI 2312e πάνω στο σκελετό του drone.



Εικόνα 3.6: Η τοποθέτηση των κινητήρων

Βήμα 3°

Ύστερα συνδέω τα Esc controller με τους κινητήρες DJI 2312e με σκοπό να γίνει το calibration (των Esc).



Εικόνα 3.7: Η τοποθέτηση των Esc των 30A

Βήμα 4°

Για τη calibration των Esc, συνδέω τα καλώδια της «εντολής» των Esc στο δέκτη του τηλεχειριστηρίου και ειδικά στο κανάλι 3 (*channel 3*), που είναι έχει οριστεί ως το γκάζι. Εφόσον συνδέσω τα καλώδια με τον δέκτη του τηλεχειριστηρίου, ανοίγω το τηλεχειριστήριο και «πηγαίνω» το γκάζι στην θέση της μέγιστης ταχύτητας (*full*) και ύστερα τροφοδοτώ με την μπαταρία τα Esc. Όταν δώσω τροφοδοσία στα Esc, κάνουν δύο (2) χαρακτηριστικούς συνεχόμενους ήχους. Εφόσον ακουστούν αυτοί οι ήχοι, «πηγαίνω» το γκάζι στο ελάχιστο, όπου τα Esc κάνουν τρεις (3) συνεχόμενους χαρακτηριστικούς ήχους. Τέλος, όταν η διαδικασία αυτή ολοκληρωθεί με τους σχετικούς χαρακτηριστικούς ήχους τότε τα Esc είναι προγραμματισμένα και έτοιμα να λειτουργήσουν. Το calibration των Esc πραγματοποιείται τέσσερις φορές, για κάθε Esc ξεχωριστά.

Βήμα 5°

Ύστερα από το calibration των Esc κολλάω τα καλώδια της τροφοδοσίας των Esc στον σκελετό και συνδέω τα καλώδια των «εντολών» στις εξόδους του ArduCopter. Πρέπει να σημειωθεί ότι το κάθε καλώδιο της «εντολής» έχει τρία καλώδια: α) γείωση, β) +5 Volt και γ) εντολή. Από τα τρία αυτά τα καλώδια θα χρησιμοποιήσουμε τα δύο, δηλαδή τη γείωση και την εντολή.

Βήμα 6°

Στην συνέχεια συνδέω τον δέκτη του τηλεχειριστηρίου με τον ArduCopter. Κατά την συνδεσμολογία τους θα χρησιμοποιήσουμε τα τέσσερα κανάλια από τα έξι (που έχει), στα οποία εφαρμόζουμε τις γειώσεις και τις «εντολές» των καναλιών.

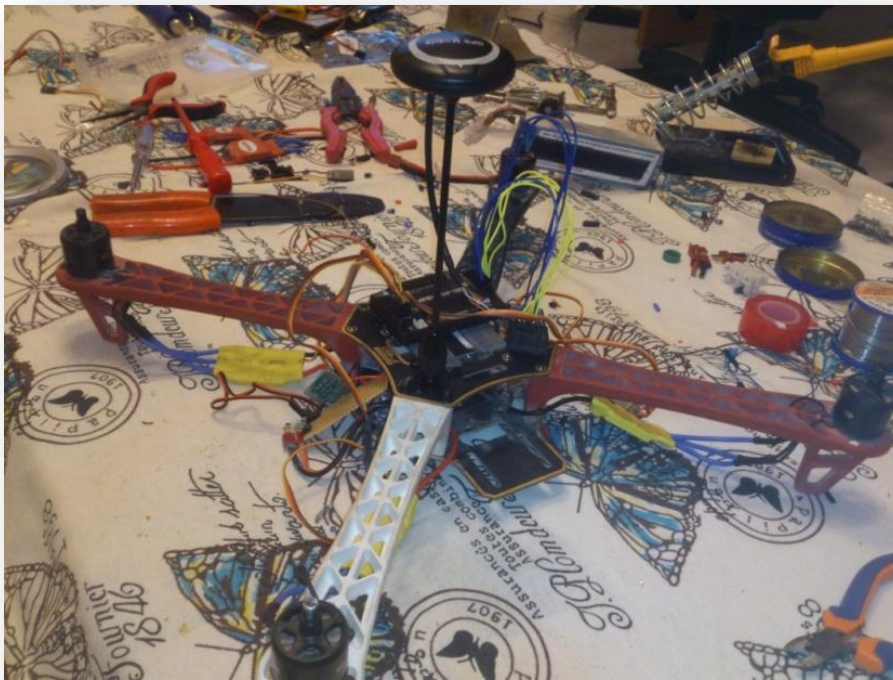
Βήμα 7°

Έπειτα τοποθετώ πάνω στον ArduCopter το GPS, συνδέοντας τα καλώδια στις δύο ξεχωριστές κατάλληλες θύρες του GPS που έχει ο ArduCopter.

Βήμα 8°

Μετάπειτα κολλάω στους κατάλληλους πόλους της μπαταρίας ένα ηλεκτρονικό μετατροπέα που μετατρέπει τα +12 Volts σε +5 Volts, και κατόπιν συνδέω την έξοδο +5 Volts του μετατροπέα σε μια από τις θύρες του ArduCopter και στις κατάλληλες θύρες του δέκτη (του τηλεχειριστηρίου) με σκοπό να τροφοδοτούνται και να λειτουργήσουν.

Τέλος συνδέω την μπαταρία με τον ηλεκτρονικό μετατροπέα και είναι έτοιμο το Drone για χρήση.



Εικόνα 3.8: Η ολοκλήρωση του drone

3.3 Προγραμματισμός του Drone

Επειδή στην παρούσα πτυχιακή εργασία χρησιμοποιούμε τον μικροελεγκτή ArduCopter στο Drone, θα βασιστούμε στους έτοιμους κώδικες του που υπάρχουν. Οι κώδικες αυτοί υπάρχουν διατεθειμένοι στο διαδίκτυο και ο οποιοσδήποτε μπορεί να τους δει και να χρησιμοποιήσει ελεύθερα (βρίσκονται στον ιστότοπο της ομάδα *GitHub*, η οποία έχει και ιστοσελίδα *ArduPilot*).

Οι έτοιμοι κώδικες του ArduCopter καλύπτουν διάφορα στάδια και επίπεδα, όπως την εξασφάλιση του πώς λειτουργεί το σύστημά μας, την διεύθυνση και το τύπο του συστήματος, ρυθμίσεις των κινητήρων μέσω αλγορίθμων (ή παρομοίων τρόπων επίλυσης προβλήματος), αναγνώριση – έλεγχο – διόρθωση των διάφορων σφαλμάτων κ.λ.π.

Ουσιαστικά οι κώδικες αυτοί, έχουν τις κύριες στοχαστικές λειτουργίες:

- Ορισμός του συστήματος και διεύθυνσή του.
- Κάλυψη διάφορων στοιχείων του συστήματος.
- Στοιχεία υποστήριξης και παραμέτρους για να καλύψουν τα διάφορα στοιχεία του συστήματος.
- Σχετικές βιβλιοθήκες για να υπάρχουν αυτή την υποστήριξη και τους σχετικούς παραμέτρους.
- Σχετικά στοιχεία για τον έλεγχο του συστήματος, που στην συνέχεια κάνει τις διορθώσεις των σφαλμάτων (στην περίπτωση που έχει το σύστημά μας) εκ συνεχείας την τελική συμπεριφορά του κατά την λειτουργία του (συμπεριλαμβανόμενου και το ξεκίνημά του).
- Τέλος, ασχολούνται με τις βελτιωμένες λειτουργίες του συστήματος.

Θα αναφερθούν, στη συνέχεια, κάποιοι από τους κώδικες για να κατανοήσουμε πως λειτουργούν και πως συμπεριφέρονται το καθένα ξεχωριστά με σκοπό για την εκτέλεση του συστήματός μας συνολικά.

3.3.1 APMrover2

Το AOMrover2 ουσιαστικά καθορίζει τα βασικά στοιχεία του συστήματος, ενώ περιέχει τα ακόλουθα:

- Προσθήκη υποστήριξης για υψηλότερα baudrates στις θύρες τηλεμετρίας, ώστε να διευκολυνθεί η χρήση τηλεμετρίας υψηλού ρυθμού σε συνοδευτικές κάρτες. Οι ταχύτητες έως και 1.5 Mbit υποστηρίζονται τώρα σε συνοδευτικές κάρτες.
- Κωδικός εύρους μετρητών με υποστήριξη για ευρύτερο φάσμα τύπων εύρους φάσματος, συμπεριλαμβανομένης σειράς Lidars.
- Προστεθειμένος η καταγραφή της κατάστασης ισχύος.
- Πολλές βελτιώσεις στην υποστήριξη του EKF για τον Rover, του οποίου η χρήση μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια πλοήγησης για γρήγορους δρομείς.
- Βελτιωμένη υποστήριξη για το διπλό GPS στο Pixhawk.
- Υποστήριξη έως και 14 καναλιών RC (*RC κινητήρων*).

- Πρόσθετη υποστήριξη για την τηλεμετρία FrSky μέσω της παραμέτρου SERIAL2_PROTOCOL.

Εκτός από αυτά, τώρα με την τελευταία έκδοση του έχει επιπλέον στοιχεία, όπως :

- Προσθήκη στήριξης τύπου συστήματος και διεύθυνσης.
- Υποστήριξη του κινητήρα χωρίς ψήκτρες.
- Βελτιωμένοι ρυθμιστές ταχύτητας / γκαζιού.
- Αλλαγές βοηθητικού διακόπτη.
- Υποστηρίζεται κωδικοποιητής τροχών/κινητήρων για πλοήγηση εκτός GPS (μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με GPS).
- Υποστήριξη οπτικής οδομετρίας για πλοήγηση εκτός GPS (μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με GPS).
- Βελτιωμένες λειτουργίες:
 - a) το SET_ATTITUDE_TARGET δέχεται τετραμερή για την επικεφαλίδα στόχου, η έγκυρη ώθηση άλλαξε στο εύρος $-1 \sim +1$ (προηγουμένως ήταν $0 \sim 1$).
 - b) Διορθώσεις υποστήριξης COMMAND_LONG.SET_YAW_SPEED (πεδίο ώθησης αποδεκτό ως ταχύτητα στόχου σε m/s).
 - c) SET_POSITION_TARGET_GLOBAL_INT, LOCAL_NED διορθώνει και προσθέτει υποστήριξη για τα πεδία περιστροφής και εκτροπής.
- Διορθώσεις σφαλμάτων :
 - a) Επίλυση της περιστασιακής εκκίνησης των κινητήρων μετά την ενεργοποίηση.
 - b) Λειτουργία διεύθυνσης στρέψτε την κατεύθυνση καθορισμού κατά την αναστροφή.
 - c) Αντιστροφή στις διορθώσεις αυτόματης λειτουργίας (βλ. εντολή DO_REVERSE αποστολής).

Το AOMrover2 περιέχει τέσσερις κώδικες που καθορίζουν την βασική του λειτουργία:

1. ardupilot__APMrover2__AP_MotorsUGV.cpp
2. ardupilot__APMrover2__APMrover2.cpp
3. ardupilot__APMrover2__mode_auto.cpp
4. ardupilot__APMrover2__Parameters.cpp

Ο κώδικας 1 παίζει τον ρόλο του ρυθμιστή των παραμέτρων των κινητήρων που χρησιμοποιούνται. Ορισμένοι παράμετροι των κινητήρων είναι οι εξής:

- i. Οι κινητήρες ελέγχονται μέσω του PWM εισόδου.
- ii. Κυμαίνονται σε συγκεκριμένες μοίρες , όπως αναφέρονται μεταξύ στις -45° με 45° .
- iii. Ορισμός του γκαζιού από -100 έως 100 . Διότι από τον ορισμό του γκαζιού θα παίρνουν την ανάλογη τάση και το ανάλογο ρεύμα οι κινητήρες.
- iv. Ρύθμιση της εξόδου για κανονικά πλαίσια στροφών / γκαζιού.
- v. Ρύθμιση της εξόδου σε κανονικά κανάλια διεύθυνσης και γκαζιού , έτσι ώστε να γνωρίζουν οι κινητήρες σε ποια διεύθυνση επιθυμεί ο χρήστης με το ανάλογο γκάζι.
- vi. Ρύθμιση της εξόδου σε κανάλια διεύθυνσης με κλίση.

- vii. Ορισμός της τιμής της εξόδου στο κύριο κανάλι γκαζιού, αριστερό γκάζι ή δεξί γκάζι. Το γκάζι όμως, πρέπει να κλιμακωθεί από -100 μέχρι 100.

Ο κώδικας 2 ορίζει τις ονομασίες των βασικών στοιχείων μέσω ενός πίνακα ονομασιών, όπου αναφέρονται όλες οι κανονικές εργασίες, με τη συχνότητα που θα πρέπει να καλούνται και με τον μέγιστο χρόνο που αναμένεται να ληφθούν (της τάξεως *microseconds*). Μέσα στον πίνακα αυτόν στην αρχή δηλώνεται το όνομα, μετά η συχνότητά του (Hz) και στο τέλος τα δευτερόλεπτα (των *ms*). Ο ορισμός των ονομασιών γίνεται με το κάλεσμα `const AP_Scheduler::Task Rover::scheduler_tasks[]`. Αργότερα στον κώδικα `APMrover2.cpp` με την συνάρτηση `void Rover::setup()` γίνεται η εγκατάσταση καλείται όταν αρχίσει το sketch και με την συνάρτηση `void Rover::loop()` περιμένουμε πρώτα το σήμα INS που στην συνέχεια εφόσον πήραμε το σήμα να ενημερώσουμε στον «χρονοδιακόπτη» ότι έχει περάσει ο επιθυμητός χρόνος, και στο τέλος θα εκτελεστούν όλες οι εργασίες με την σειρά (όσες πρόκειται να εκτελεστούν). Κατά τον `loop()` οι εργασίες καλούνται μόνο μια φορά, διότι οι εργασίες είναι προγραμματισμένες με τέτοιο τρόπο σε πολλαπλάσια του κύριου βρόχου. Με σκοπό αν δεν τρέξουν στην πρώτη κλήση, δεν θα τρέξουν σε μια μεταγενέστερη κλήση μέχρι να καλέσει ξανά ο `scheduler.tick()`. Με την συνάρτηση `void Rover::ahrs_update()` ενημερώνει το σύστημα AHRS. Και αργότερα με την συνάρτηση `void Rover::gcs_failsafe_check(void)` ελέγχει αν το GCS αποτυγχάνει και τέλος `void Rover::update_aux(void)` γίνεται επικαιροποίηση των βοηθημάτων τοποθέτησης σερβοκινητήρων.

Ο κώδικας 3 χρησιμοποιείται για το σταμάτημα του συστήματος πιο απαλά. Δηλαδή με την συνάρτηση `bool ModeAuto::_enter()` έχει σκοπό να αποτυγχάνουν να εισέλθουν στο auto εάν δεν έχουν εντολές αποστολής, την αρχικοποίηση (γενικώς) εάν το initialize αντιστρέφονται για να είναι ψευδείς και την επανεκκίνηση της επεξεργασίας αποστολής. Αργότερα με την συνάρτηση `void ModeAuto::_exit()` μας δίνει την ικανότητα να σταματήσουμε να τρέχουμε την αποστολή. Αργότερα με την συνάρτηση `void ModeAuto::update()` κάνει την λειτουργία να ελέγχει εάν ο χρήστης πιέσει την αυτόματη ενεργοποίηση, αν έχει ήδη ενεργοποιηθεί τότε επιστρέφει true, επιστρέφει true αν απενεργοποιηθεί αυτόματη ενεργοποίηση και kickstart και έλεγχος εάν η αποστολή ξεκινά με το όχημα με ένα κύπημα με επιτάχυνση `Auto_Kickstart`. Και τέλος με την συνάρτηση `bool ModeAuto::check_trigger(void)` ελέγχει για την έναρξη της αυτόματης λειτουργίας.

Τέλος, ο κώδικας 4 εφαρμόζεται στο σύνολο του Arducopter με σκοπό να ορίζει υπό ποιες προϋποθέσεις (ή συνθήκες) πρέπει να λειτουργήσει το drone. Καλούμε το `const AP_Param::ConversionInfoconversion_table[]`, που είναι ένας πίνακας μετατροπής από παλιές τιμές παραμέτρων σε νέα ονόματα παραμέτρων. Ο κώδικας εκκίνησης αναζητά αποθηκευμένες τιμές των παλαιών παραμέτρων και θα τις αντιγράψει στις νέες παραμέτρους αν η νέα παράμετρος δεν έχει ακόμα αποθηκευμένη τιμή. Στη συνέχεια αποθηκεύει τη νέα τιμή. Σημειώστε ότι αυτό λειτουργεί κόμη και αν έχει καταργηθεί η παλιά παράμετρος. Βασίζεται στο μη απομακρυσμένο δείκτη `k_param`. Η δεύτερη στήλη παρακάτω είναι ο δείκτης

στον πίνακα var_info [] για το παλιό αντικείμενο. Αυτό θα πρέπει να είναι μηδενικό για παραμέτρους ανώτερου επιπέδου.

3.3.2 AntennaTracker

Σημαντικό ρόλο παίζει η παρακολούθηση της κεραίας μέσω του ανιχνευτή κεραίας (διαφορετικά το *Antenna Tracker*). Ο ανιχνευτής κεραίας είναι ουσιαστικά το GPS. Αυτό το πρόγραμμα (ή λογισμικό), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προκαλέσει μια κεραία υψηλού κέρδους για την παρακολούθηση ενός αεροσκάφους ή εδάφους εξοπλισμένου με manlink σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας ραδιοζεύξεις υψηλότερης ποιότητας σε μεγαλύτερες αποστάσεις από μια στατική ή καθολική κεραία. Το Antenna Tracker μπορεί να είναι είτε μια σταθερή εγκατάσταση στο έδαφος ή μπορεί να είναι είτε κινητό, τοποθετημένο σε ένα όχημα, και να κινείται ταυτόχρονα με το όχημα που παρακολουθεί, όπως σε ένα όχημα αναζήτησης κλπ. Το λογισμικό λειτουργεί με :

- Ιχνηλάτη κεραίας, που είναι τοποθετημένος σε Alt-Azimuth και είναι εξοπλισμένος με 2 σερβομηχανισμούς: ένα για το Azimuth (που ονομάζεται και φέρουσα ή στρέφοντας) - 180 έως 180 βαθμούς και το άλλο για ύψος (που ονομάζεται επίσης ανύψωση ή πίσσα) -90 μοίρες (ευθεία πάνω). Χρησιμοποίησα μια αντανάκλαση αντανάκλασης.
- Επεξεργαστής συμβατός με Ardupilot, όπως Flymaple .

Το Antenna Tracker λαμβάνει αναφορές θέσης GPS σε πραγματικό χρόνο από το όχημα που παρακολουθείται (με τη μορφή GLOBAL_POSITION_INT μηνυμάτων που αποστέλλονται από τη ραδιοφωνική σύνδεση manlink ή ενδεχομένως από την ενσύρματη σειριακή σύνδεση). Το Antenna Tracker γνωρίζει επίσης την τρέχουσα θέση του. Με βάση αυτά τα 2 σύνολα συντεταγμένων, υπολογίζει το μαγνητικό έδρανο και την ανύψωση στο όχημα. Στη συνέχεια μετακινεί το σερβοειδές του ιχνηλάτη έως ότου η κεραία (και ο επεξεργαστής Antenna Tracker) ευθυγραμμιστούν με το επιθυμητό έδρανο και ύψος. Σε αυτό το στάδιο η κεραία είναι στραμμένη κατευθείαν στο οδοστρωμένο όχημα. Καθώς το όχημα (και ενδεχομένως η ίδια η βάση της κεραίας) μετακινείται, οι σερβοειδείς μετακινούνται συνεχώς για να παρακολουθούν το όχημα.

Το Antenna Tracker υποστηρίζει μόνο ανατροφοδότηση κλειστού βρόχου για την τοποθέτηση της κεραίας. Αυτό προϋποθέτει ότι ο επεξεργαστής Antenna Tracker (συμπεριλαμβανομένων των επιταχυνσιόμετρων και της πυξίδας) θα τοποθετηθεί στο κινούμενο τμήμα του υλικού παρακολούθησης της κεραίας. Οι σερβοειδείς μετακινούνται μέχρις ότου η κλίση και η κλίση του επεξεργαστή (και επομένως της κεραίας) να ταιριάζουν με το ρουλεμάν και την ανύψωση με το όχημα με τροχιά.

Το Antenna Tracker για να γνωρίζει για το πού βρίσκεται στη γη ,

- ✓ Εάν ο ιχνηλάτης είναι εφοδιασμένος με GPS και είχε μια καλή διόρθωση 3D, χρησιμοποιείται η πιο πρόσφατη καλή διόρθωση GPS.
- ✓ Εάν ο ιχνηλάτης είναι εξοπλισμένος με GPS και έχει χάσει την επιδιόρθωσή του, χρησιμοποιείται η πιο πρόσφατη καλή διόρθωση GPS.
- ✓ Εάν δεν υπάρχει καλή επισκευή GPS από την εκκίνηση (είτε επειδή δεν είναι εξοπλισμένο το GPS είτε επειδή το GPS δεν έχει ακόμη επιδιορθώσει), χρησιμοποιείται η πιο κατάλληλα ρυθμισμένη θέση HOME.

- ✓ Αν δεν έχει οριστεί ποτέ θέση HOME στο tracker, χρησιμοποιούνται 0.0 Latitude, 0.0 Longitude, 0 Altitude (το οποίο πιθανότατα δεν είναι πολύ χρήσιμο).

Σε αυτή την παρακολούθηση της κεραίας (του GPS) μας ενδιαφέρουν τρεις κώδικες, ο οποίος θα μας δείξουν με ποιο τρόπο λειτουργεί το κεντρικό πρόγραμμα, ύστερα πως αυτό το κεντρικό πρόγραμμα λαμβάνει από την κεραία το επιθυμητό σήμα. Με αυτό τον τρόπο, θα κατανοήσουμε πως λειτουργεί τη σχετική συμπεριφορά μεταξύ του επιθυμητού σήματος (μέσω του κεντρικού προγράμματος) με τους κινητήρες (δηλαδή ο λόγος Κεραία / Κινητήρες) και από τον λόγο, πως θα βελτιωθεί το αποτέλεσμα. Οι κώδικες αυτοί είναι οι εξής:

1. **Ο κώδικας του Tracking.cpp**, όπου καλούμε την συνάρτηση void Tracker::update_vehicle_pos_estimate() που σκοπό έχει την ενημέρωση εκτίμησης των θέσεων του οχήματος που θα πρέπει να καλείται σε 50hz. Μέσα στην συνάρτηση αυτή με μια συνθήκη if() υπολογίζει τον χρόνο από την τελευταία ενημέρωση πραγματικής θέσης, δηλαδή εάν σε λιγότερο από 5 seconds από την τελευταία ενημέρωση θέσης εκτιμάται η θέση ή προβάλλουμε την θέση του οχήματος για να λάβουμε υπόψη τα χαμένα ραδιοκύματα (ορίσουμε την σημαία valind_location) αλλιώς το drone μας έχει χαθεί. Αργότερα με την συνάρτηση που καλείται το void Traker::update_tracker_position() έχει σαν στόχο της ενημέρωσης της θέσεως του ιχνηλάτη της κεραίας από την τοποθεσία GPS και μετά καλείται η συνάρτηση void Traker::update_bearing_and_distance() που έχει σαν σκοπό την ενημέρωση του ρουλεμάν και της απόστασης – οι ενημερώσεις και η απόσταση από το drone, το οποίο θα πρέπει να καλούνται στις 50hz. Τέλος με την συνάρτηση void Traker::update_armed_disarmed() στόχο έχει την ενημέρωση οπλισμένο αφοπλισμένο, δηλαδή ρυθμίσουμε το οπλισμένο LED εάν έχουμε λάβει ενημέρωση θέσης μέσα στα τελευταία 5 δευτερόλεπτα.
2. **Ο κώδικας του System.cpp**, ο οποίος έχει τις ακόλουθες λειτουργίες:
 - a. Στην αρχή αποθηκεύουμε την αποστολή μας.
 - b. Αρχικοποίηση της σειριακής θύρας κονσόλας.
 - c. Ελέγχουμε την έκδοση της EEPROM, πριν να φορτώσουμε τις οποιασδήποτε παραμέτρους από το EEPROM.
 - d. Ρυθμίσουμε την πρώτη θύρα νωρίς για να επιτρέψουμε στο BoardConfig να αναφέρει σφάλματα (το BoardConfig υπολογίζει και αναφέρει τα σφάλματα).
 - e. Καταχωρούμε το mavlink_delay_cb, το οποίο θα τρέξει οποτεδήποτε έχουμε πάνω από 5 mseconds στην κλήση μας στο hal.scheduler->delay.
 - f. Ξεκινάμε υποθέτοντας σύνδεση USB.
 - g. Εγκατάσταση τηλεοπτικές υποδοχές με σειριακές θύρες.
 - h. Αρχικοποίηση του GPS, τη βιβλιοθήκη δεδομένων με την ονομασία Data Flash και τους σερβοκινητήρες.
 - i. Χρησιμοποιούμε τις θέσεις εκκίνησης.

- j. Ρυθμίσουμε τους σερβοκινητήρες για να μειώσουμε την τιμή μετά από την αρχικοποίηση.
 - k. Στην περίπτωση που η λειτουργία είναι σωστή , να μην τις αλλάζουμε τις λειτουργίες αυτές.
3. **Και ο κώδικας του Servo.cpp**, ο οποίος στην αρχή καλείται τη συνάρτηση void Tracker::init_servos() που σκοπό έχει να αρχικοποιεί τους σερβοκινητήρες . Αργότερα με τις συναρτήσεις void Tracker::update_pitch_servo() και void Tracker::update_pitch_position_servo() κάνει ενημέρωση στους σερβοκινητήρες για το βήμα (ανύψωση). Δηλαδή ο στόχος είναι να οδηγηθούν τα πεδία ahrs του drone στο απαιτούμενο βήμα, οπότε ο πίνακας (επομένως η κεραία) θα δείχνει στο στόχο.

3.3.3. ArduPlane

Άλλο σημαντικό πρόγραμμα είναι το Arduplane, δηλαδή οι διορθώσεις σφαλμάτων, όπου είναι:

- ✓ Καθορισμένο σφάλμα στην υποστήριξη TRIM_AUTO με διαφορεικά spoilers.
- ✓ Σταθερό σφάλμα με RCn_TRIM == RCn_MIN στη λειτουργία MANUAL.
- ✓ σταθερός συνδυασμός TKOFF_THR_MINACCκαιTKOFF_THR_DELAY.
- ✓ Και διόρθωση σε ένα σφάλμα κατά την αποστολή μηνυμάτων STATUSTEXT σε όλα τα κανάλια του MAVLink.

Το νέο χαρακτηριστικό είναι ότι μπορούμε να ορίσουμε το πρωτόκολλο για το UART εντοπισμού σφαλμάτων στην πλακέτα FMUv2 ή FMUv3 (όπως Pixhawk ή Cube) για να επιτρέψουμε να επιτρέπεται η χρήση του UART5 για αυθαίρετα πρωτόκολλα. Για να χρησιμοποιήσουμε αυτό το απωθητικό, απλά ρυθμίσει με το SERIAL5_PROTOCOL στο επιθυμητό σειριακό πρωτόκολλο. Αυτό γενικός θα πρέπει να είναι χρήσιμο στους χρήστες που έχουν πολλαπλές σειριακές συσκευές (όπως συσκευές εύρεσης τροχαίου υλικού) που θέλουν να συνδεθούν και έχουν εξαντληθεί τα UART. Εκτός από αυτά, περιέχει ταυτόχρονα και διπλασιασμένο φίλτρο Kalman και διπλούς αισθητήρες.

Τα σημαντικότερα προγράμματα του είναι τα εξής:

1. Το Parameters.h & Parameters.cpp, που είναι οι παράμετροι (μαζί με την σχετική βιβλιοθήκη) που ρυθμίζουν τις συνθήκες επαναφοράς του κανονικού υψόμετρου του drone.
 - Στο Parameters.h υπάρχει η τιμή του k_format_version που καθορίζει εάν τα υπάρχοντα δεδομένα στην μνήμη EEPROM θεωρούνται έγκυρα. Για να καθορίζουμε εάν τα υπάρχοντα δεδομένα στην μνήμη EEPROM θεωρούνται έγκυρα, πρέπει η τιμή του k_format_version να την αλλάζουμε στις ακόλουθες περιπτώσεις:
 - Αλλάζει η σημαία μιας υπάρχουσας παραμέτρου EEPROM.
 - Αλλάζει η τιμή μιας υπάρχουσας τιμής k_param*enum.

- Στο πρόγραμμα Parameters.cpp στην αρχή δίνονται οι ορισμοί των παραμέτρων του ArduPlane , αυτοί οι παράμετροι ορίζονται σε δύο (2) ομάδες
2. Το Quadplane.h (σχετική βιβλιοθήκη) που σκοπό έχει να βελτιώνει την απογυμνωμένη απογείωση του drone:
 - Οριακό βήμα κατά την μετάβαση σε QLOITER και QLAND
 - Να επιτρέπουν την αλλαγή ύψους στόχου στο GUIDED
 3. Το Quadplane.cpp που να μην ξεκινήσει μια μετάβαση ενώ είναι αφοπλισμένο.
 4. Το servo.cpp που ασχολείται με τους σερβοκινητήρες (servomotors).

3.3.4 Libraries

Το τελευταίο από τα σημαντικά προγράμματα του κώδικα του arducopter είναι το libraries, και περιέχει βιβλιοθήκες και κώδικες για συγκεκριμένες λειτουργίες, όπως PID έλεγχος, βελτίωση των περιγραφών παραμέτρων PWM κ.λπ. Εμείς θα ασχοληθούμε με ότι έχει σχέση με:

- Με πρόσθεση βήμα εισόδου για αυτόματη μετάδοση.
- Χρησιμοποίησης των μονάδων SI σε μονάδες των παραμέτρων.
- Κατασκευή του PID ελέγχου.
- Η χρησιμοποίηση των παραμέτρων PWM και η βελτίωσή τους.
- Έλεγχος πεδαλίου μέσω του γκαζιού (και της βιβλιοθήκης).

Ο PID έλεγχος γίνεται μέσω αλγόριθμου, όπου το P είναι το κέρδος που παράγει μια τιμή εξόδου που είναι ανάλογη προς την τρέχουσα τιμή σφάλματος, το I είναι το κέρδος που παράγει μια έξοδο που είναι ανάλογη τόσο με το μέγεθος όσο και με τη διάρκεια του σφάλματος και το D είναι το κέρδος που παράγει μια έξοδο που είναι ανάλογη με την ταχύτητα αλλαγής του σφάλματος.

Εκτός από τον PID ελεγκτή, υπάρχει και ο AP_Gripper.cpp κώδικας που με συνδυασμό τον PID ελεγκτή ρυθμίζει τους κινητήρες να τους κάνουμε PWM διαμόρφωση (πρωτόκολλο επικοινωνίας).

Οι κώδικες που μας ενδιαφέρουν είναι οι εξής:

- **AP_GPS.cpp:** Ο κώδικας AP_GPS.cpp ασχολείται με οτιδήποτε που έχει σχέση με το GPS. Στην αρχή με την συνάρτηση `const AP_Param::GroupInfo AP_GPS::var_info[]` δηλώνουμε τον πίνακα των παραμέτρων , που μπορούν να οριστούν από τον χρήστη. Εφόσον τον δημιουργούμε (τον πίνακα) , δηλώνουμε την συνάρτηση `void AP_GPS::init()` για την έναρξη εκκίνησης και αργότερα με το `uint8_t AP_GPS::num_sensors(void) const` επιστρέφουμε τον αριθμό των ενεργών αισθητήρων GPS. Αργότερα καλούμε την συνάρτηση `void AP_GPS::send_blob_start()` και κατόπιν την συνάρτηση `void AP_GPS::send_blob_update()` με σκοπό να στείλουμε μερικά ακόμη bytes string αρχικοποίησης αν υπάρχει χώρος στο UART buffer αποστολής. Στην συνέχεια καλούμε την συνάρτηση `void AP_GPS::detect_instance()` για να εκτελέσουμε ένα βήμα

ανίχνευσης για μια περίπτωση GPS. Με την συνάρτηση `void AP_GPS::update(void)` κάνουμε ενημέρωση όλες τις παρουσίες του GPS. Και τέλος για να υπολογίσουμε μια αναμεμειγμένη κατάσταση του GPS , καλούμε τότε την συνάρτηση `void AP_GPS::calc_blended_state(void)`.

- **AP_Gripper.cpp:** Ο κώδικας `AP_Gripper.cpp` υπάρχει με σκοπό την δημιουργία του PWM protocol, αλλά και η βελτίωση των περιγραφών παραμέτρων του (*δηλαδή του PWM*). Στον κώδικα αυτόν , στην αρχή δηλώνονται οι παράμετροι μέσω πίνακα και ,αυτή η δήλωση του πίνακα , γίνεται με την δήλωση `const AP_Param::GroupInfoAP_Gripper::var_info[]` . Στο τέλος στην συνάρτηση `void AP_Gripper::init()` κάνει δύο λειτουργίες:
 - Πρώτα επιστρέφει αμέσως αν δεν είναι ενεργοποιημένη την τιμή
 - Δεύτερον , γίνεται η ενημέρωση που θα πρέπει να καλείται τουλάχιστον σε 10 Hz.
- **AC_AttitudeControl.cpp:** Ο κώδικας `AC_AttitudeControl.cpp` χρησιμοποιείται για την πρόσθεση βήματος εισόδου για αυτόματη μετάδοση. Για την πρόσθεση βήματος εισόδου (*για αυτόματη μετάδοση*) γίνεται με μια σειρά βημάτων που εφαρμόζεται στον κώδικα. Αυτή η σειρά βημάτων γίνεται ως εξής, στην αρχή δημιουργείται ο πίνακας των παραμέτρων που μπορούν να οριστούν από τον χρήστη με την συνάρτηση `const AP_Param::GroupInfoAC_AttitudeControl::var_info[]` . Στην συνέχεια, ρυθμίσουμε το γκάζι εξόδου και απενεργοποιώντας την σταθερότητα βεβαιώνοντας ότι ο ελεγκτής θέσης έχει μηδενικά σφάλματα για την έξοδο του ρυθμιστή ταχύτητας , αυτό γίνεται με των συναρτήσεων `void AC_AttitudeControl::set_throttle_out_unstabilized()` και `void AC_AttitudeControl::relax_attitude_controllers()` .
- **AC_PID.cpp:** είναι ένας γενικός αλγόριθμος του PID ελεγκτή. Ο λόγος που μας ενδιαφέρει σε τέτοιο βαθμό, είναι επειδή ο ελεγκτής αυτός δρα στον αναλογικό–ολοκληρωτικό– διαφορικό όρο, για να έχουμε ως αποτέλεσμα καλή επίδοση (*κριτήρια απόδοσης βρόχου ανάδρασης*), ευρεία προσαρμοστικότητα (*ρυθμιζόμενοι παράμετροι*), γρήγοροι υπολογισμοί (*αποφυγή προβλημάτων αριθμητικής σύγκλισης*), μετάβαση από / σε χειροκίνητο έλεγχο (*ομαλή μετάβαση*) και επέκταση (*εύκολη βελτίωση*) στο σύστημά μας. Αυτός ο αλγόριθμος στην αρχή, αρχικοποιούμε τα στοιχεία που χρειαζόμαστε και αργότερα με την συνάρτηση `AC_PID::AC_PID(floatinitial_p, floatinitial_i, floatinitial_d, floatinitial_imax, floatinitial_filt_hz, floatinitial_dt)`: φορτώνει τις τιμές παραμέτρων από την μνήμη eeprom και επαναφέρουμε το φίλτρο εισόδου στην πρώτη τιμή που λάβαμε.

Κεφάλαιο 4ο: Αποτελέσματα & Συζήτηση

Ο σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη, η σχεδίαση και η κατασκευή ενός Αυτόνομου Ιπτάμενου Οχήματος με τέσσερις έλικες (ή αλλιώς QuadCopter). Το συγκεκριμένο όχημα περιλάμβανε ένα σύστημα ελέγχου (ArduCopter) για την επίτευξη ευσταθούς αιώρησης και την παρακολούθηση μη μηδενικών σημείων αναφοράς.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η θεωρητική προσέγγιση του QuadCopter, μέσω μαθηματικής μοντελοποίησης ώστε να υπολογιστούν οι συναρτήσεις μεταφοράς, με τις συνολικές συναφείς δυνάμεις και ροπές, και να βρεθούν τα κατάλληλα υλικά προς την κατασκευή. Με τα ανάλογα αποτελέσματα προκύπτει η συσχέτιση των υπολοίπων, όπως η διατήρηση του επιθυμητού σημείου και το πώς θα λειτουργεί το drone (η συνδεσμολογία και τις αντίστοιχοι τύποι κ.λ.π.).

Στη συνέχεια, αγοράστηκαν τα προαναφερθέντα υλικά και πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση της κατάλληλης συνδεσμολογίας που απαιτούταν για την υλική κατασκευή του QuadCopter.

Τέλος, συναρμολογήθηκε ο σκελετός του QuadCopter και πάνω σε αυτόν συνδέθηκαν όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα (το κόστος των οποίων υπολογίστηκε συνολικά στα 400€), τα οποία περιλαμβάνουν:

- Μπαταρία
- Έλικες
- Κινητήρες
- Escs
- ArduCopter
- GPS

Σημαντικό σημείο προέκυψε η ρύθμιση των Esc (calibration), καθώς χωρίς αυτό το βήμα δεν μπορούσε να λειτουργήσει το QuadCopter. Με τη συγκεκριμένη ρύθμιση ορίζονται η περιστροφή των κινητήρων αλλά και η σωστή ρύθμιση των εντολών από τηλεχειριστήριο προς τους κινητήρες.

Για την πτήση του QuadCopter είτε μέσω τηλεχειριστηρίου είτε αυτόνομη, απαιτείται υποχρεωτικά ένα μηχάνημα GPS, ώστε να οριστούν οι κατευθύνσεις Βορράς-Νότος-Ανατολή-Δύση, αλλά και να είναι ομαλότερη η λειτουργία του QuadCopter. Το GPS θα πρέπει επίσης να ρυθμιστεί (calibration).

Μετά την κατασκευή του QuadCopter, δοκιμάστηκε η λειτουργία του σε ανοικτό χώρο. Παρατηρήθηκε η σωστή λειτουργία του, δηλαδή η απογείωση, πτήση και προσγείωση. Παρόλα αυτά, η πτήση του QuadCopter είναι αρκετά δύσκολη και απαιτεί μεγάλο βαθμό εξοικείωσης και εξάσκησης. Με την συνεχή εξάσκηση, παρατηρήθηκε βελτιστοποίηση στην ομαλή πτήση του QuadCopter και ομαλότερη απογείωση/ προσγείωση.

Για να μπορέσει το drone να λειτουργήσει αυτόματα και αυτόνομα, ίσως χρειάζονται επιπλέον εξαρτήματα και λειτουργίες.

Κεφάλαιο 5ο: Βιβλιογραφία

5. Βιβλιοθήκες & Βιβλιογραφία

Οι Βιβλιογραφίες και οι πηγές που βασιστήκαμε για την μελέτη και την κατασκευή ενός drone είναι τα ακόλουθα :

- Το βιβλίο «Εισαγωγή στη Ρομποτική» του Φώτη Ν.Κουμπουλής και του Βασίλη Γ.Μέρτζιος , με κεφάλαια 3^ο,5^ο,7^ο και 8^ο.
- Το βιβλίο «Εισαγωγή στη Ρομποτική : Μηχανική και Αυτόματος Έλεγχος» 3^η έκδοση του John J.Craig , με κεφάλαια 2^ο,3^ο,4^ο και 5^ο.
- Το βιβλίο «Λογισμός Συναρτήσεων Μιας Μεταβλητής με Στοιχεία Διανυσματικής & Γραμμικής Άλγεβρας» του Χαράλαμπου Κ.Τερζίδη, με κεφάλαια 1^ο και 2^ο.
- Το βιβλίο «Εφαρμοσμένα Μαθηματικά» του Ανδρέα Γ.Αθανασιάδη, με κεφάλαια 1^ο και 2^ο.
- Το βιβλίο «Βασικά κεφάλαια αριθμητικής ανάλυσης» του Μιχαήλ Ν.Κεσογλίδης, με κεφάλαια 1^ο,2^ο,3^ο,7^ο,8^ο και 9^ο.
- Το βιβλίο «Πανεπιστημιακή Φυσική – Ηλεκτρομαγνητισμός Οπτική Σύγχρονη Φυσική Τόμος Β'» του Hugh D.Young, με κεφάλαια 25^ο,27^ο,28^ο και 29^ο.
- Το βιβλίο «Φυσική Ηλεκτρισμός, Μαγνητισμός και Εφαρμογές» του Ι.Αρβανιτίδης και του Π.Κάβουρας, με κεφάλαια 3^ο και 5^ο.
- Το βιβλίο «Ηλεκτρονική » 7^η έκδοση του Albert Malvino και David J.Bates, με κεφάλαια 1^ο,3^ο,4^ο,5^ο και 7^ο.
- Το βιβλίο «Ψηφιακά Ηλεκτρονικά» 5^η έκδοση του Leach και του Albert Malvino, με κεφάλαια 2^ο,3^ο,5^ο,6^ο,9^ο,10^ο και 12^ο.
- Το βιβλίο «Ψηφιακά Ηλεκτρονικά» 5^η έκδοση του Roger L.Tokheim, με κεφάλαια 2^ο,7^ο,10^ο,11^ο και 12^ο.
- Το βιβλίο «Ηλεκτρονικά Ισχύος – Κυκλώματα, Εξαρτήματα και Εφαρμογές» του Muhammad H.Rashid, με κεφάλαια 6^ο,8^ο,10^ο και 15^ο.
- Το βιβλίο «Διαμόρφωση & Μετάδοση Σημάτων» 2^η έκδοση του Παναγιώτη Γ.Κωπτή, με κεφάλαιο 15^ο.
- Το βιβλίο «Συστήματα Αυτοματισμού Ελέγχου Τόμος Α'» 2^η έκδοση του Παντελή Β.Μαλατέσις, με κεφάλαια 1^ο,2^ο,3^ο,4^ο,6^ο,7^ο,8^ο και 10^ο.
- Το βιβλίο «Σύγχρονα Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου» 11^η έκδοση του Richard C.Dorf και Robert H.Bishop, με κεφάλαια 2^ο,3^ο,4^ο,6^ο,7^ο και 12^ο.
- Το βιβλίο «Προγραμματίζοντας τον μικροελεγκτή 8051» του Μυκε Prekdo, με κεφάλαια 1^ο,3^ο,9^ο και 11^ο.
- Το βιβλίο «Η γλώσσα C++ σε βάθος» του Νίκου Μ.Χατζηγιαννάκης, με κεφάλαια 1^ο,2^ο,3^ο,4^ο,5^ο,6^ο,7^ο,8^ο,9^ο,10^ο,11^ο και 23^ο.
- Το βιβλίο «Αντικειμενοστρεφής Προγραμματισμός με τη C++» του Robert Lafore, με κεφάλαια 2^ο,3^ο,4^ο,5^ο,6^ο,7^ο,8^ο,10^ο,12^ο και 15^ο.
- Σημειώσεις από το μάθημα «Ειδικά Θέματα ΣΑΕ».

- Σημειώσεις από το μάθημα «Έλεγχος Κίνησης»
- Σημειώσεις από το μάθημα «Ηλεκτρικές Μηχανές»
- Σημειώσεις από το μάθημα «Ηλεκτρονικά 1»
- Σημειώσεις από το μάθημα «Ηλεκτρονικά 2»
- Σημειώσεις από το μάθημα «Ηλεκτρονικά Ισχύος»
- Σημειώσεις από το μάθημα «Μαθηματικά 1»
- Σημειώσεις από το μάθημα «Μαθηματικά 2»
- Σημειώσεις από το μάθημα «Μαθηματικά 3»
- Σημειώσεις από το μάθημα «Ρομποτικής»
- Σημειώσεις από το μάθημα «Μικροεπεξεργαστές»
- Σημειώσεις από το μάθημα «Μικροελεγκτές»
- Σημειώσεις από το μάθημα «Προγραμματισμός 1»
- Σημειώσεις από το μάθημα «Προγραμματισμός 2»
- Σημειώσεις από το μάθημα «Προγραμματισμός 1» του τμήματος Αυτοματισμού στο ΤΕΙ Πειραιώς
- Σημειώσεις από το μάθημα «Προγραμματισμός 2» του τμήματος Αυτοματισμού στο ΤΕΙ Πειραιώς
- Σημειώσεις από το μάθημα «ΣΑΕ 1» του τμήματος Αυτοματισμού στο ΤΕΙ Πειραιώς
- Σημειώσεις από το μάθημα «ΣΑΕ 2» του τμήματος Αυτοματισμού στο ΤΕΙ Πειραιώς
- Σημειώσεις από το μάθημα «Ηλεκτρικές Μηχανές» του τμήματος Αυτοματισμού στο ΤΕΙ Πειραιώς
- Σημειώσεις από το μάθημα «Ηλεκτρονικά Ισχύος» του τμήματος Αυτοματισμού στο ΤΕΙ Πειραιώς
- Ευκλείδια Γεωμετρία.
- Σημειώσεις «Συνήθεις Διαφορικές Εξισώσεις» του Δημήτρη Τσουμπελή και το link : <http://www.math.upatras.gr/~tsoubeli/SDEI.pdf> (Πανεπιστήμιο Πατρών - Τμήμα Μαθηματικών).
- Σημειώσεις «Μερικές Διαφορικές Εξισώσεις» του Δημήτρη Τσουμπελή και το link : <http://www.math.upatras.gr/~tsoubeli/MDEI.pdf> (Πανεπιστήμιο Πατρών - Τμήμα Μαθηματικών).
- Σημειώσεις «Διαφορικές Εξισώσεις με Μερικές Παραγώγους» του Θεόδωρου Ζυγκιρίδης και το link: <http://icte.uowm.gr/uploads/zigkiridis/Lecture%20notes/%CE%9C%CE%95%CE%A1%CE%99%CE%9A%CE%95%CE%A3%20%CE%94%CE%99%CE%91%CE%A6%CE%9F%CE%A1%CE%99%CE%9A%CE%95%CE%A3%20%CE%95%CE%9E%CE%99%CE%A3%CE%A9%CE%A>

[3%CE%95%CE%99%CE%A3.pdf](#) (Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας – Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών).

- Κώδικες του μικροελεγκτή ArduCopter βρίσκεται στην διεύθυνση : <http://github.com/ArduPilot/ardupilot> και με την ιστοσελίδα τους στην διεύθυνση : <http://ardupilot.org/ardupilot/index.html>