



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κατασκευή τετρακόπτερου και χειρισμός του με χρήση RF και
GPS.**

Αναγνωστόπουλος Χρήστος
Σαρλάμης Ιάσοντας

Επιβλέποντες: Πάρις Μαστοροκώστας

ΑΘΗΝΑ
ΜΑΪΟΣ 2018

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κατασκευή Τετρακόπτερου και χειρισμός του με RF και GPS.

**Χρήστος Αναγνωστόπουλος
Α.Μ. 41772
Σαρλάμης Ιάσοντας
Α.Μ. 41801**

Εισηγητής:

Πάρις Μαστοροκώστας

Εξεταστική Επιτροπή:

Ιωάννης Έλληνας

Ημερομηνία εξέτασης:

25/05/2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ήρθε εις πέρας μετά από δύσκολες κι επίμονες προσπάθειες, σ' ένα ενδιαφέρον γνωστικό αντικείμενο όπως αυτό της κατασκευής και του χειρισμού ενός τετρακόπτερου.

Αξίζουν ένα μεγάλο ευχαριστώ όλοι εκείνοι που μας μετέδωσαν τις γνώσειςτουςαφιλοκερδώς, ώστε να πετύχουμε τον στόχο μας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τις οικογένειές μας για την χρήσιμη βοήθεια που μας έδωσαν όλα αυτά τα χρόνια καθώς και για την οικονομική στήριξη που μας πρόσφεραν για να ολοκληρώσουμε την πτυχιακή εργασία μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τη μελέτη, την κατασκευή και τον χειρισμό ενός τετρακόπτερου (Αγγλ.: Quadcopter). Για τη διεξαγωγή της παρούσας πτυχιακής έχει γίνει χρήση βασικών γνώσεων PIDελεγκτών, καθώς και η ανάπτυξη ενός θεωρητικού μοντέλου. Επίσης δόθηκε η προσπάθεια για την προσέγγιση του πραγματικού μοντέλου του και τέλος για την κατασκευή και τον επιτυχημένο έλεγχο του Quadcopter. Επιπροσθέτως έχουν χρησιμοποιηθεί μέθοδοι μοντελοποίησης για την απόδοση των ηλεκτρικών μοτέρ από τις διαφορικές του εξισώσεις, καθώς και την ανάλυση όλων των επιμέρους ηλεκτρονικών πλακετών που χρησιμοποιήσαμε, την επεξήγηση του προγράμματος πτήσης και των ρυθμίσεων του Quadcopter μας.

Στο πρώτο κεφάλαιο βρίσκεται η εισαγωγή της εργασίας μας. Γίνεται ιστορική αναφορά στον κόσμο των ιπτάμενων οχημάτων και τις προσπάθειες που έκαναν οι ερευνητές για την μελέτη και την κατασκευή αυτών. Τέλος δεν θα μπορούσε να λείπει μια ιστορική εισαγωγή για τον σκοπό τις εργασίας, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει η ανάπτυξη του θεωρητικού μοντέλου και πιο συγκεκριμένα η παρουσίαση των εξισώσεων που περιγράφουν ένα τέτοιο σύστημα, όπως τα Quadcopter, UAV.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται ανάπτυξη του τρόπου λειτουργίας και των ελεγκτών καθώς και των διάφορων αισθητήρων και ηλεκτρικών πλακετών που υπάρχουν σε αυτό.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσεται ο τρόπος λειτουργίας των ηλεκτρικών μοτέρ που υπάρχουν, καθώς κι όλη η φιλοσοφία των προπελών που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες κατασκευές.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο επικοινωνεί το Quadcopter με τον υπολογιστή.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται λεπτομερώς ο τρόπος λειτουργίας, του προγράμματος Mission Planner.

Τέλος δεν θα μπορούσε να λείπει ο επίλογος, στον οποίο αναλύουμε ίσως μελλοντικές τεχνολογίες που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν και να εγκατασταθούν πάνω στο ήδη υπάρχων μοντέλο.

ABSTRACT

The present thesis deals with the study, the construction and the control of a UAV Quadcopter. The thesis required knowledge regarding PID controllers as well as the development of a theoretical model. Additionally, an attempt has been made to approximate the actual model. Another objective was the construction and the successful control of our Quadcopter. Moreover, methods for extracting the output of the electrical motors from their differential equations have been applied and the analysis of additional electronic boards (PCBs) has been conducted. Finally, the illustration of our flight program and the various sensors has been made.

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	- 13 -
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 13 -
1.1 Ορισμός του UAV και η χρησιμότητα του.	- 13 -
1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των UAV.	- 13 -
1.3 Τι είναι το Quadcopter.....	- 14 -
1.4 Σύντομη Ιστορική Αναδρομή.	- 15 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	- 17 -
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....	- 17 -
2.1 Το μαθηματικό μοντέλο ενός Quadcopter.	- 17 -
2.2 Το πραγματικό μοντέλο ενός Quadcopter.	- 20 -
2.3 Ελεγκτές PID.....	- 20 -
2.4 Ελεγκτής Ασαφούς Λογικής	- 21 -
2.5 Λειτουργία Ασαφούς Λογικής	- 22 -
2.6 Αναφορά στο φίλτρο Kalman.	- 23 -
2.7 Λίγα λόγια για την λειτουργία του φίλτρου Kalman.....	- 24 -
2.8 Επίλογος Κεφαλαίου.....	- 24 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	- 25 -
ΕΛΕΓΚΤΗΣ – CONTROLLER.....	- 25 -
3.1 Τι είναι ένας Ελεγκτής – Controller.	- 25 -
3.2 Γυροσκόπιο – Gyroscope.....	- 26 -
3.3 Ηλεκτρονικό γυροσκόπιο.....	- 27 -
3.4 Πως λειτουργεί ένα ηλεκτρονικό γυροσκόπιο.	- 28 -
3.5 Πως εντοπίζουν την ταχύτητα περιστροφής.....	- 29 -
3.6 Επιταχυνσιόμετρο – Accelerometer.....	- 30 -
3.7 Λειτουργία ενός επιταχυνσιόμετρου.	- 30 -
3.8 Διαφορές μεταξύ Γυροσκοπίου και Επιταχυνσιόμετρου.....	- 32 -
3.9 Βαρόμετρο – Barometer.....	- 32 -
3.10 Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης – GPS.	- 35 -
3.11 Ανάλυση Ελεγκτή Πτήσης.....	- 37 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	- 39 -
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΜΟΤΕΡ, BRUSHED ΚΑΙ BRUSHLESS.....	- 39 -

4.1 Σύνομη περιγραφή λειτουργίας Brushed Μοτέρ.	39 -
4.2 Αναλυτική περιγραφή λειτουργίας Brushed Μοτέρ.	40 -
4.3 Ψήκτρες και Αλλαγή Μαγνητικού Πεδίου.....	41 -
4.4 Η Δομή Του Brushless Μοτέρ.	42 -
4.5 Αναλυτική περιγραφή λειτουργίας Brushless Μοτέρ.	42 -
4.6 Έλεγχος Brushless Μοτέρ.....	44 -
4.7 Αρχή Λειτουργίας αισθητήρα Hall.....	44 -
4.8 Brushless Μοτέρ Εναντίον Brushed Μοτέρ.	45 -
4.9 Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας - ElectronicSpeedController.	48 -
4.10 Θεωρία Προπελών.....	48 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	53 -
ΕΝΣΥΡΜΑΤΗ - ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ARDUPILOT ΜΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ.....	53 -
5.1 U.A.R.T - Universal Asynchronous Receiver-Transmitter.....	54 -
5.2 Τρόπος Λειτουργίας.....	54 -
5.3 BaudRate.....	56 -
5.4 Ασύρματη Επικοινωνία – Τηλεμετρία.	56 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	61 -
MISSION PLANNER.....	61 -
6.1 Περιγραφή Mission Planner.	61 -
6.2 Ρύθμιση της σύνδεσης του Ελεγκτή Πτήσης.	61 -
6.3 Οθόνη Δεδομένων Πτήσης - Flightdata.....	66 -
6.4 Οθόνη Προγράμματος Πτήσης.	67 -
6.5 Αρχική Ρύθμιση - Initial Setup.	69 -
6.6 Διαμόρφωση και Ρυθμίσεις - Config/Tuning.....	71 -
6.7 Προσομοιωτής - Simulation.....	76 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	79 -
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	79 -
7.1 Μελλοντικές Αναβαθμίσεις.....	79 -
7.2 Βιβλιογραφία – Σχετικά Link.....	80 -

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Περιστροφή Μοτέρ	18
Εικόνα 2: Σχεδιάγραμμα Ελεγκτών PID.	21
Εικόνα 3: Ελεγκτής - Controller.	27
Εικόνα 4: Γυροσκόπιο - Gyroscope.	29
Εικόνα 5: Επιταχυνσιόμετρο - Accelerometer.	29
Εικόνα 6: Περιστροφή γύρω από τον άξονα.	30
Εικόνα 7: Ηλεκτρονικό Γυροσκόπιο.	31
Εικόνα 8: Πιεζοηλεκτρικό Γυροσκόπιο.	31
Εικόνα 9: Απεικόνιση Γυροσκοπίου.	33
Εικόνα 10: Απεικόνιση Λειτουργίας Γυροσκοπίου.	33
Εικόνα 11: Παραδοσιακό Βαρόμετρο.	35
Εικόνα 12: Μεταλλικό Βαρόμετρο.	35
Εικόνα 13: Ψηφιακό Βαρόμετρο.	37
Εικόνα 14: Σχεδιάγραμμα δορυφόρων γύρω από την γη.	37
Εικόνα 15: Αισθητήρας GPS.	38
Εικόνα 16: Σχεδιάγραμμα Υποδοχών Ελεγκτή Πτήσης.	39
Εικόνα 17: Ηλεκτρικό μοτέρ.	41
Εικόνα 18: Στάτορας.	42
Εικόνα 19: Μαγνήτες του στάτορα.	42
Εικόνα 20: Εσωτερικό σχεδιάγραμμα ηλ. μοτέρ.	43
Εικόνα 21: Εσωτερικό σχεδιάγραμμα ηλ. μοτέρ.	43
Εικόνα 22: Εσωτερική απεικόνιση ηλ. μοτέρ.	44
Εικόνα 23: Εσωτερική διατομή ηλ. μοτέρ.	44
Εικόνα 18: Μοτέρ μονής φάσης.	45
Εικόνα 25: Μοτέρ τριπλής φάσης.	45
Εικόνα 26: Μόνιμοι μαγνήτες ρότορα.	46
Εικόνα 27: Ηλεκτρονικός Ελεγκτής ταχύτητας.	50
Εικόνα 28: Προπέλες.	51
Εικόνα 29: Προπέλα.	52
Εικόνα 30: Ανακυκλωμένες προπέλες.	52

Εικόνα 31: Προπέλες με τρία πτερύγια.	52
Εικόνα 32: Διατομή προπέλας.	53
Εικόνα 33: Είσοδος UART.	54
Εικόνα 34: Ρυθμός μετάδοσης UART.	56
Εικόνα 35: Πακέτο δεδομένων UART.	56
Εικόνα 36: Τυπικό δίκτυο τηλεμετρίας.	58
Εικόνα 37: Θύρα τηλεμετρίας.	59
Εικόνα 38: Πομποδέκτης τηλεμετρίας.	59
Εικόνα 39: Υποδοχή USB ελεγκτή πτήσης.	63
Εικόνα 40: Αρχική οθόνη Mission Planner.	63
Εικόνα 41: Αρχική οθόνη Mission Planner.	64
Εικόνα 42: Αρχική οθόνη Mission Planner.	64
Εικόνα 43: Αρχική οθόνη Mission Planner.	65
Εικόνα 44: Βαθμονόμηση Επιταχυνσιόμετρου.	65
Εικόνα 45: Βαθμονόμηση πυξίδας.	66
Εικόνα 46: Βαθμονόμηση τηλεκατεύθυνσης.	67
Εικόνα 47: Οθόνη δεδομένων πτήσης.	68
Εικόνα 48: Οθόνη προγράμματος πτήσης.	68
Εικόνα 49: Διαμόρφωση WayPoints.	69
Εικόνα 50: Οθόνη αρχικής ρύθμισης.	70
Εικόνα 51: Οθόνη αρχικής ρύθμισης.	71
Εικόνα 52: Ρύθμιση FailSafe.	72
Εικόνα 53: Ρύθμιση τρόπου πτήσης.	72
Εικόνα 54: Διαδικασία RTL.	74
Εικόνα 55: Απεικόνιση Γεω-Φράκτη.	74
Εικόνα 56: Ρυθμίσεις Γεω-Φράκτη.	75
Εικόνα 57: Οθόνη βασικών ρυθμίσεων.	75
Εικόνα 58: Πλήρης λίστα παραμέτρων.	76
Εικόνα 59: Ρυθμίσεις προγράμματος Mission Planner.	77
Εικόνα 60: Οθόνη προσομοιωτή.	78
Εικόνα 61: Quadcopter με κάμερα.	81

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

UAV- UnnamedAerialVehicle

RF-Radio Frequency

GPS-Global Positioning System

ESC-Electronic Speed Controller

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμός του UAV και η χρησιμότητα του.

Ένα UAV (Unnamed Aerial Vehicle) είναι ένα αεροσκάφος το οποίο μπορεί να ίπταται χωρίς να το χειρίζεται άμεσα ανθρώπινο ον, κάποιος πιλότος δηλαδή. Οι πτήσεις του μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε αυτόνομα είτε μέσα από κάποιον υπολογιστή είτε από επεξεργαστές, οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι σε αυτό. Οι τύποι των UAV είναι πάρα πολλοί, υπάρχουν σε διαφορετικά σχήματα και μεγέθη, ενώ τα χαρακτηριστικά τους διαφέρουν κατά πολύ ανάλογα με την χρησιμότητα τους.

Ιστορικά τα UAV χειρίζονταν άνθρωποι, πιλότοι, οι οποίοι τα έλεγχαν μέσα από διάφορα χειριστήρια-πηδάλια κατά την πτήση τους. Με την πάροδο των χρόνων και την ανάπτυξη της τεχνολογίας, ο αυτόνομος έλεγχος εντάχθηκε πλέον ολοκληρωτικά στον έλεγχο των UAV.

Η μελέτη και η δημιουργία των UAV οφείλεται κυρίως σε στρατιωτικές ανάγκες, όμως δε χρειάστηκε να περάσει πολύς χρόνος για την ανάπτυξη τους ώστε να χρησιμοποιούνται και σε εφαρμογές εκτός στρατού, όπως για παράδειγμα σε διασώσεις, πυροσβεστικές αποστολές, ελέγχους ασφάλειας με εναέρια μέσα καθώς και για λόγους διασκέδασης (εναέριες φωτογραφίες, hobby κλπ).

1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των UAV.

Πέρα από τις στρατιωτικές ανάγκες, τα UAV είναι πλέον κατάλληλα για μια πληθώρα χρήσεων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν άριστα σε επιχειρήσεις διασώσεων σε χώρους που δεν μπορεί να φτάσει το ανθρώπινο δυναμικό με οποιοδήποτε άλλο μέσο.

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σεδασικές περιοχές, ώστε να παρακολουθούν την έκταση για τυχόν πυρκαγιές που με άλλον τρόπο θα ήταν αδύνατο, ειδικά σε εκτάσεις οι οποίες είναι πάρα πολύ μεγάλες ή σε χώρους που απαιτείται εναέριο μέσο όπως προαναφέραμε. Σημαντικό πλεονέκτημα θεωρείται η μεγάλη γκάμα μεγέθους που μπορούν να βρεθούν στην αγορά.

Το μέγεθος μπορεί να ισούται από μερικά εκατοστά μέχρι και κάποια μέτρα, γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν σε οποιονδήποτε χώρο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως, πλέον, λόγω ανάπτυξης της τεχνολογίας, ένα σύστημα UAV μπορεί να γίνει διαθέσιμο στον οποιονδήποτε καθώς το κόστος απόκτησης του ή και κατασκευής του είναι σχετικά μικρό.

Μπορεί τα UAV να έχουν σχετικά πολλά πλεονεκτήματα όμως κάποια προβλήματα δεν έχουν ξεπεραστεί ακόμη. Για παράδειγμα, ένα σημαντικό πρόβλημα βρίσκεται στην κατασκευή τους και πιο συγκεκριμένα κάποια αισθητήρια και κάποιοι ελεγκτές που βρίσκονται πάνω, δημιουργούν ή επηρεάζονται από θορύβους που μπορεί να προέρχονται από διάφορους κραδασμούς ή ακόμη και από γειτονικούς αισθητήρες λόγω μαγνητικού πεδίου για παράδειγμα.

Ακόμα ένα σημαντικό πρόβλημα, ειδικά για κατασκευές οι οποίες είναι τελείως αυτόνομες, είναι η πτήση σε άγνωστο χώρο. Για να μπορέσει να κινηθεί ελεύθερα μέσα σε ένα χώρο που του είναι άγνωστος, πρέπει πρώτα να μάθει/καταλάβει σε τι χώρο βρίσκεται και ποια εμπόδια υπάρχουν σε αυτόν. Για να γίνει αυτό, χρειάζεται να τα αποθηκεύσει και να τα επεξεργαστεί με τέτοιο τρόπο που να είναι εφικτή η βέλτιστη πτήση στον χώρο.

1.3 Τι είναι το Quadcopter.

Το τετρακόπτερο (Αγγλ.: Quadcopter) είναι κι αυτό ένα UAV δηλαδή είναι ένα αεριωθούμενο όχημα σαν ελικόπτερο το οποίο χρησιμοποιεί τέσσερα (4) ανεξάρτητα μοτέρ (ρότορες) οι οποίοι ισαπέχουν μεταξύ τους και βρίσκονται συνήθως στην άκρη του σκαριού του (σασί).

Όπως όλα τα UAV έτσι κι αυτό ο χειρισμός του μπορεί εύκολα να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους για παράδειγμα τηλεκατεύθυνση RF, GPS, Bluetooth αλλά και από υπολογιστή ώστε να γίνει τελείως αυτόνομο.

Δεδομένου ότι οι ρότορες δουλεύουν ανεξάρτητα μεταξύ τους, το καθιστά πολύ δύσκολο και περίπλοκο στην υλοποίηση του, γι' αυτό και η ανάπτυξή του είχε σταματήσει εδώ και πολλές δεκαετίες. Λόγο της μεγάλης ανάπτυξης της τεχνολογίας και με την δημιουργία των μικροεπεξεργαστών τώρα πλέον μπορεί να υλοποιηθεί και να αναπτυχθεί τεχνολογικά πολύ εύκολα.

1.4 Σύντομη Ιστορική Αναδρομή.

Breguet-Richet Gyroplane (1907)

Η Πρώτη εμφάνιση ενός ελικοπτερού με 4 ρότορες γίνεται το 1907 από τον Luis Charles Breguet (Γάλλος σχεδιαστής και παραγωγός αεροσκαφών). Χρησιμοποιώντας 4 κινητήρες, ο Luis κατάφερε να σηκώσει το αεροσκάφος από το έδαφος κατά μερικά μέτρα κρατώντας το για μερικά λεπτά στο ίδιο ύψος. Ένα χρόνο μετά, το 1908, αναφέρεται ότι ακολούθησαν κι άλλες επιτυχημένες προσπάθειες χωρίς όμως να υπάρχουν αρκετές πληροφορίες για το έργο του.

Oehmichen No.2 (1920)

Η δεύτερη εμφάνιση γίνεται από τον Etienne Oehmichen (το 1920), ο οποίος πειραματιζόταν με διάφορα σχέδια. Τελικά έξι από αυτά κατάφεραν να αποδώσουν καρπούς με το πιο επιτυχημένο όχημα, τουπτό αριθμόν 2, γι' αυτό έμεινε και στην ιστορία με το όνομα Oehmichen No.2.

Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου μοντέλου ο Etienne χρησιμοποίησε 2 μεταλλικές ράβδους σε σχήμα σταυρού, οι οποίες στις άκρες τους είχαν 2 μοτέρ-ρότορες. Κάθε μοτέρ ήταν εξοπλισμένο με πέντε προπέλες, οι οποίες σταθεροποιούσαν το τετρακόπτερο κυριολεκτικά οριζόντια. Το όχημα αυτό ήταν αρκετά αξιόπιστο για τα τότε δεδομένα, καθώς την δεκαετία του 1920 πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμαστικές πτήσεις. Το 1924 πραγματοποίησε κυκλική πορεία 360 μέτρων κι αργότερα έσπασε το ρεκόρ πραγματοποιώντας ευθεία πορεία για 1 χιλιόμετρο.

De Bothezathelicopter (1922)

Το 1922 ο George de Bothezat και ο Ivan Jerome υλοποίησαν ένα αεροσκάφος με 4 ρότορες οι οποίοι ήταν εξοπλισμένοι με 6 προπέλες. Η κατασκευή έγινε για χάρη της αμερικάνικης πολεμικής αεροπορίας, λέγοντας πως ήταν η πρώτη επιτυχημένη υλοποίηση για τα τότε δεδομένα.

Ωστόσο οι μεγάλοι και βαριοί κινητήρες κατάφερναν να το σηκώσουν από το έδαφος με το μειονέκτημα όμως, το σκάφος να μην μπορεί να κάνει μανούβρες καθώς έκαναν τη χρήση του αφάνταστα περίπλοκου.

Curtiss-Wright VZ-7 (1958)

Δημιουργήθηκε από την εταιρεία Curtiss-Wright για χάρη του αμερικανικού στρατού. Ήταν το πρώτο αεροσκάφος που χρησιμοποιούσε 4 ανεξάρτητους κινητήρες. Το αεροσκάφος αυτό μπορούσε να κινηθεί με μεγάλη ευκολία σχεδόν σε όλα τα τεστ που πραγματοποιήθηκαν. Το 1960 όμως ο αμερικανικός στρατός το έκρινε ακατάλληλο, καθώς δεν συμβάδιζε με τα στάνταρ που είχε ορίσει, και το επέστρεψε πίσω στους δημιουργούς του.

Τις τελευταίες δεκαετίες με τη δραματική ανάπτυξη της τεχνολογίας, όπως προαναφέραμε, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μικρού μεγέθους για διάφορες εφαρμογές.

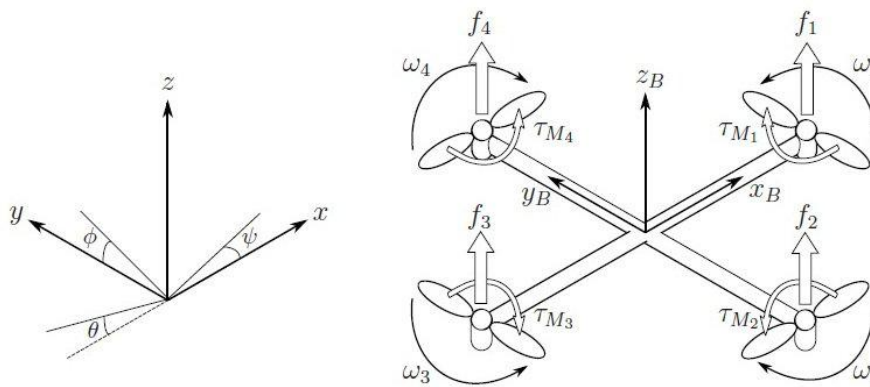
Πλέον η τόσο απλή σχεδίαση των τετρακόπτερων προσφέρει απίστευτα υψηλή άνεση στις κινήσεις τους, αξιοπιστία και χαμηλό κόστος για την κατασκευή τους. Η αναζήτηση για νέες τεχνολογίες, οι οποίες θα αναπτύξουν τις δυνατότητες των τετρακόπτερων καθιστούν το αντικείμενο πολύ ενδιαφέρον, καθώς θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις όπου άλλα οχήματα δεν θα μπορέσουν να ανταποκριθούν σωστά ή ακόμα και καθόλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

2.1 Το μαθηματικό μοντέλο ενός Quadcopter.

Στην παρακάτω ενότητα θα μελετήσουμε το μαθηματικό μοντέλο ενός Quadcopter. Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιάσουμε το σχέδιο ενός Quadcopter UAV συμπεριλαμβάνοντας τις ροπές, δυνάμεις και τις γωνιακές ταχύτητες που δημιουργούνται από τους τέσσερις (4) έλικες που υπάρχουν και άλλα.



Εικόνα 1: Περιστροφή Μοτέρ

Αρχικά πρέπει πρώτα να ορίσουμε, να αρχικοποιήσουμε δηλαδή τη δομή του Quadcopter μας, γι' αυτό λοιπόν θα ορίσουμε το κέντρο μάζας του μοντέλου μας να βρίσκεται στην αρχή των αξόνων. Επίσης είναι σημαντικό να τονίσουμε πως η γραμμική θέση ενός UAV στον χώρο, προσδιορίζεται στον αρχικό σχηματισμό των αξόνων x, y, z με ξ . Η κίνηση του, δηλαδή η γωνιακή του ταχύτητα προσδιορίζεται, με 3 Eulerγωνίες η . Η γωνία **pitch**, θ προσδιορίζει την περιστροφή ενός UAV γύρω από τον άξονα y . Η γωνία **roll**, ϕ προσδιορίζει την περιστροφή γύρω από τον άξονα x και η γωνία **yaw**, ψ προσδιορίζει την περιστροφή γύρω από άξονα z . Επίσης το διάνυσμα α περιέχει τα γραμμικά και περιστροφικά διανύσματα θέσης ξ και η αντίστοιχα.

$$\xi = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \quad \eta = \begin{bmatrix} \varphi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix}, \quad \mathbf{q} = \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix}$$

Πρέπει επίσης να τονιστεί πως οι γραμμικές ταχύτητες πλέον θα συμβολίζονται με \mathbf{V}_B και οι γωνιακές με \mathbf{v} .

$$\mathbf{V}_B = \begin{bmatrix} U_{x,B} \\ U_{y,B} \\ U_{z,B} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{v} = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}$$

Παρακάτω παραθέτουμε τον πίνακα περιστροφής με το μοντέλο μας να είναι στην αρχική του θέση.

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \theta & \cos \psi \sin \theta \sin \varphi - \sin \psi \cos \varphi & \cos \psi \sin \theta \cos \varphi + \sin \psi \sin \varphi \\ \sin \psi \cos \theta & \sin \psi \sin \theta \sin \varphi + \cos \psi \cos \varphi & \sin \psi \sin \theta \cos \varphi - \cos \psi \sin \varphi \\ -\sin \theta & \cos \theta \sin \varphi & \cos \theta \cos \varphi \end{bmatrix}$$

Το Quadcopter θεωρείται συμμετρικό σαν κατασκευή για το λόγο ότι τα τέσσερα άκρα του είναι ευθυγραμμισμένα με τους άξονες x,y πράγμα που σημαίνει ότι ο πίνακας αδράνειας του είναι διαγώνιος, με συμβολισμό I , στον οποίο $I_x = I_y$.

$$I = \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix}$$

Η γωνιακή ταχύτητα του μοτέρ i , υποδηλώνοντας ω_i , δημιουργεί μια δύναμη f_i σύμφωνη με την κατεύθυνση του μοτέρ. Η γωνιακή ταχύτητα και η επιτάχυνση του μοτέρ δημιουργεί επιπρόσθετως μια ροπή τ_{Mi} γύρω από τον άξονα του μοτέρ στην οποία, η σταθερά ανύψωσης είναι το k , η σταθερά υστέρησης είναι το b και η αδράνεια του μοτέρ είναι I_M . Συχνά το διάνυσμα ω_i θεωρείται αμελητέο επειδή είναι μικρό. Η παρακάτω σχέση περιλαμβάνει ότι προαναφέραμε.

$$f_i = k\omega_i^2, \tau_{Mi} = b\omega_i^2 + I_M \dot{\omega}_i$$

Ο συνδυασμός των δυνάμεων του μοτέρ δημιουργεί μια ώθηση T , η οποία κατευθύνεται επάνω στον άξονα z . Η ροπή τ_B αποτελείται από τις ροπές $\tau_\varphi, \tau_\theta, \tau_\psi$, οι οποίες έχουν κατεύθυνση, αντίστοιχη των γωνιών του μοντέλου.

$$T = \sum_{i=1}^4 f_i = k \sum_{i=1}^4 \omega_i^2, \quad T^B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{bmatrix},$$

$$\tau_B = \begin{bmatrix} \tau_\varphi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l k (\omega_4^2 - \omega_2^2) \\ l k (\omega_3^2 - \omega_1^2) \\ \sum_{i=1}^4 T_{Mi} \end{bmatrix},$$

Στις δύο παραπάνω σχέσεις (αύξων αριθμός σχέσεων), το l είναι η απόσταση μεταξύ του μοτέρ και του κέντρου μάζας του Quadcopter. Έτσι για να γίνει μια κίνηση **Roll** για παράδειγμα επιτυγχάνεται μειώνοντας την ταχύτητα του 2^{ου} μοτέρ και αυξάνοντας την ταχύτητα του 4^{ου} και αντιστρόφως. Ομοίως, μια κίνηση **Pitch** για παράδειγμα, επιτυγχάνεται με την μείωση της ταχύτητας του 1^{ου} μοτέρ και την παράλληλη αύξηση της ταχύτητας του 3^{ου} μοτέρ και αντιστρόφως. Αντίστοιχα για μια κίνηση **Yaw** για να μπορέσει να επιτευχθεί αυξάνονται οι γωνιακές ταχύτητες των δύο απέναντι μοτέρ που κινούνται αντίστροφα για παράδειγμα του 1^{ου} και του 2^{ου} μοτέρ και μειώνοντας τις γωνιακές ταχύτητες των άλλων δύο, του 3^{ου} και του 4^{ου} δηλαδή.

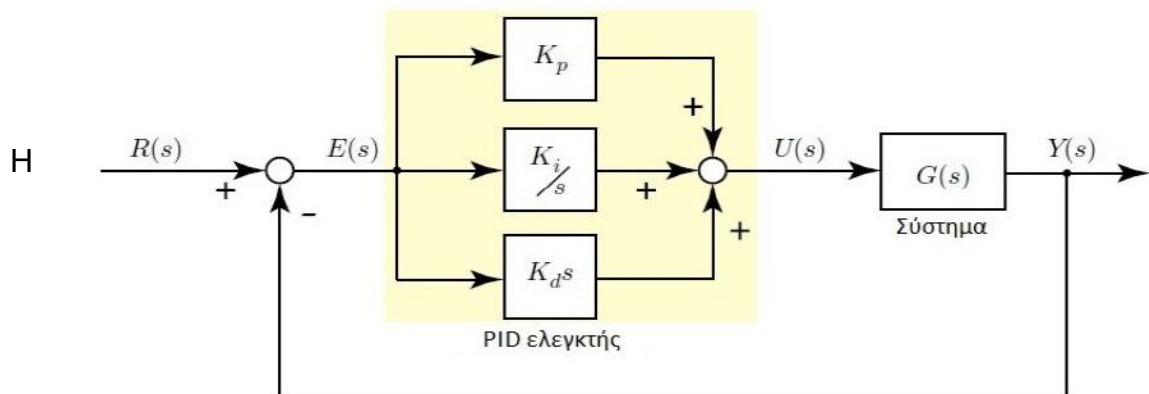
2.2 Το πραγματικό μοντέλο ενός Quadcopter.

Στο προηγούμενο μοντέλο αναπτύξαμε μια απλοποιημένη υλοποίηση του μαθηματικού μοντέλου ενός Quadcopter. Τι συμβαίνει όμως όταν επιδρούν εξωτερικές δυνάμεις πάνω στο Quadcopter μας; Σε αυτή την παράγραφο θα μπορούσαμε να δούμε μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση του πραγματικού μοντέλου μας και να αναλύσουμε τις αεροδυναμικές δυνάμεις, οι οποίες παράγονται από την αντίσταση του αέρα, από τον κυματισμό των προπελών, τις διαταραχές κ.α.

Κάτι τέτοιο όπως είναι κατανοητό, απαιτεί πολύπλοκες συναρτήσεις και το μοντέλο είναι δύσκολο να υλοποιηθεί. Τέλος, αρκετές φορές το Quadcopter αποκτά υψηλές ταχύτητες. Οι δυνάμεις οι οποίες δημιουργούνται σε αυτή την περίπτωση είναι σχεδόν ακατόρθωτο να υπολογιστούν, γι' αυτό και χρησιμοποιούμε το αρχικό μοντέλο που παρουσιάστηκε.

2.3 Ελεγκτές PID.

Οι ελεγκτές PID μπορούν να βρεθούν σχεδόν σε όλα τα αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου. Ένας ελεγκτής PID είναι αυτός που υπολογίζει ένα "σφάλμα" και πιο συγκεκριμένα την διαφορά μεταξύ της επιθυμητής εισόδου και της πραγματικής εξόδου του συστήματος μας. Ο ελεγκτής PID επιχειρεί να ελαχιστοποιήσει το "σφάλμα" αυτό, όσο το δυνατόν περισσότερο. Το πόσο εύστοχα και γρήγορα θα καταφέρει να το μηδενίσει, εξαρτάται από την ρύθμιση που θα γίνει.



Εικόνα 2: Σχεδιάγραμμα Ελεγκτών PID

εξίσωση στο πεδίο του χρόνου που περιγράφει την λειτουργία του ελεγκτή αυτού είναι εξής:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{d}{dt} e(t) ,$$

στην οποία:

- K_p : Αναλογικό Κέρδος
- K_i : Ολοκληρωτικό Κέρδος
- K_d : Διαφορικό Κέρδος

Εμπειρικά, τα κέρδη K_p , K_i , K_d μπορούν να ερμηνευθούν χρονικά:

- Το αναλογικό κέρδος (K_p) εξαρτάται από το σφάλμα του παρόντος
- Το ολοκληρωτικό κέρδος (K_i) εξαρτάται από την συσσώρευση προηγούμενων σφαλμάτων
- Και το διαφορικό κέρδος (K_d) είναι μια πρόβλεψη μελλοντικών σφαλμάτων.

Κάποιες φορές, αρκετά συστήματα για να αποκτήσουν την επιθυμητή απόκριση δεν είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται και τα τρία στοιχεία ενός PID, αλλά μόνο ένα ή δύο εξ αυτών. Αυτό για να επιτευχθεί πρέπει να θέσουμε ίσες με το μηδέν εκείνες τις σταθερές που δεν χρειαζόμαστε.

Στον παρακάτω πίνακα που ακολουθεί, θα δούμε την επίδραση που έχει κάθε σταθερά ενός PID (K_p , K_i , K_d) σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου.

Σταθερά Ελεγκτή	Χρόνος Ανύψωσης	Υπερύψωση	Χρόνος Αποκατάστασης	Μόνιμο Σφάλμα
K_p	Μείωση	Αύξηση	Μικρή αλλαγή	Μείωση
K_i	Μείωση	Αύξηση	Αύξηση	Εξάλειψη
K_d	Μικρή αλλαγή	Μείωση	Μείωση	Μικρή αλλαγή

2.4 Ελεγκτής Ασαφούς Λογικής

Ασαφής λογική είναι ένα συγκρότημα λογικών συνθηκών ή λογικών πιθανοτήτων, το οποίο έχει να κάνει περισσότερο με κατά προσέγγιση αιτιολογίες παρά με σταθερές και ακρίβειες. Σε σύγκριση με το δυαδικό σύστημα, στο οποίο οι τιμές

μας μεταφράζονται μόνο ως ψευδείς ή αληθείς, στα πλαίσια της ασαφούς λογικής οι τιμές των μεταβλητών ενός συστήματος μπορούνεκτός από τις γνωστές τιμές (0) & (1) – ψευδή ή αληθή αντίστοιχα, να βρίσκονται σε ενδιάμεσες καταστάσεις των τιμών αυτών.

Πιο συγκεκριμένα η Ασαφής Λογική αναπτύχθηκε για να χειρίζεται την έννοια της μερικής “αλήθειας”, στην οποία η αληθής τιμή μπορεί να βρίσκεται ανάμεσα στην απόλυτα αληθή κα απόλυτα ψευδή τιμή. Επιπλέον, όταν χρησιμοποιούνται γλωσσικές μεταβλητές, οι ενδιάμεσες αυτές τιμές μπορούν να διαχειρίζονται από συγκεκριμένες συναρτήσεις. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστός κι ως “fuzzjective”. Η Ασαφής λογική χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς, από την θεωρία του ελέγχου μέχρι την τεχνητή νοημοσύνη.

Μια βασική εφαρμογή της Ασαφούς Λογικής θα μπορούσε να χαρακτηρίζει τμήματα μιας συνεχής μεταβλητής. Για παράδειγμα, μια μέτρηση θερμοκρασίας για το σύστημα απεμπλοκής των τροχών θα μπορούσε να αποτελείται από αρκετές συναρτήσεις, οι οποίες θα καθορίζουν συγκεκριμένα τμήματα θερμοκρασίας στα οποία θα χρειαστεί να γίνει έλεγχος των φρένων. Κάθε συνάρτηση από αυτές, καθορίζει ένα εύρος τιμών, μέσα στο οποίοεκτελεί μια ακολουθία. Το εύρος των μεταβλητών κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0 και 1. Αναλόγως με το αποτέλεσμα που θα παρθεί από την μέτρησή μας, θα κληθεί και η ανάλογη συνάρτηση.

Καθώς οι μεταβλητές στα μαθηματικά παίρνουν ως τιμές αριθμούς, σε εφαρμογές ασαφούς λογικής, η μη-αριθμητικές “γλωσσικές μεταβλητές” χρησιμοποιούνται συχνά για να διευκολύνουν τον χαρακτηρισμό των κανόνων και των γεγονότων. Μια γλωσσική μεταβλητή όπως για παράδειγμα η ηλικία θα μπορούσε να έχει την τιμή νέος ή γέρος. Ωστόσο, η μεγάλη χρησιμότητα των μεταβλητών αυτών είναι πως μπορούν να τροποποιηθούν μέσω γλωσσικών αντισταθμιστών οι οποίοι εφαρμόζονται σε πρωτογενείς όρους. Οι γλωσσικές μεταβλητές μπορούν να συνδεθούν με ορισμένες συναρτήσεις.

2.5 Λειτουργία Ασαφούς Λογικής

Όσο δύσκολη κι αν μας φαίνεται η κατανόηση ενός τέτοιου είδους ελεγκτή, στην πραγματικότητα η υλοποίηση του είναι αρκετά απλή, αρκεί να προσέξουμε την ρύθμιση των εισόδων – εξόδων του ελεγκτή μας.

Η ασαφής λογική, βασίζεται στην γνωστή σε όλους μας συνθήκη αληθείας: **AN (συνθήκη) ΤΟΤΕ**.

Παρακάτω ακολουθεί παράδειγμα το πως δουλεύει ένας ελεγκτής ασαφούς λογικής σύμφωνα με το μοντέλο λειτουργίας του Quadcopter μας.

IF attitude **IS** very big **THEN** stop the power to motors

IF attitude **IS** big **THEN** turn down the power to motors

IF attitude **IS** medium **THEN** maintain the current power at motors

IF attitude **IS** low **THEN** speed up the motors

Στις συνθήκες του ελεγκτή ασαφούς λογικής, δεν υπάρχει η εντολή 'αλλιώς', γιατί μέσα σε δύο διαφορετικά διαστήματα τιμών, μπορεί να υπάρξει ταύτιση. Όπως μπορούμε να δούμε πρόκειται για έναν πολύ απλό τρόπο σκέψης, ο οποίος όμως για να λειτουργήσει σωστά, θα πρέπει να του γίνει πολύ καλή ρύθμιση, όπως προαναφέραμε. Πρέπει να επιλέξουμε όσο το δυνατόν περισσότερη ακρίβεια τις γραφικές παραστάσεις που θέλουμε να περιγράψουν τις εισόδους και τις εξόδους μας.

2.6 Αναφορά στο φίλτρο Kalman.

Το φίλτρο Kalman, είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιεί μια σειρά από μετρήσεις (ο οποίες παρατηρήθηκαν με το πέρασ του χρόνου και περιέχουν θόρυβο κι άλλες αστοχίες), για να παράγει εκτιμήσεις άγνωστων μεταβλητών οι οποίες έτειναν να είναι πιο ακριβείς από αυτές που βασίζονταν σε μια και μόνο μέτρηση. Πιο συγκεκριμένα το φίλτρο Kalman λειτουργεί αναδρομικά σε εισόδους με θόρυβο για να παράγει μια στατιστική βέλτιστη εκτίμηση του χώρου κατάστασης.

Το φίλτρο Kalman εμπεριέχει πολυάριθμες εφαρμογές στην τεχνολογία. Συχνή εφαρμογή του φίλτρου αφορά την καθοδήγηση και τον έλεγχο οχημάτων και ιδιαίτερα των ιπτάμενων αεροσκαφών. Σε αυτή την περίπτωση εντάσσεται και το Quadcopter μας, ένα μη επανδρωμένο ιπτάμενο αεροσκάφος.

2.7 Λίγα λόγια για την λειτουργία του φίλτρου Kalman.

Ο αλγόριθμος ενός φίλτρου Kalman λειτουργεί σε μια διαδικασία που αποτελείται από δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο συναντάμε εκείνο τις πρόβλεψης. Το φίλτρο αυτό παράγει εκτιμήσεις των τωρινών μεταβλητών κατάστασης, μαζί με κάποιο θόρυβο. Εν συνεχεία στο δεύτερο στάδιο, μόλις εφαρμοστεί η ακριβώς επόμενη μέτρηση (η οποία θα περιέχει σφάλμα, συμπεριλαμβανομένου του τυχαίου σφάλματος), οι μελλοντικές μετρήσεις αναβαθμίζονται με έναν σταθμισμένο μέσο όρο, ο οποίος έχει περισσότερη βαρύτητα για πιο σίγουρες εκτιμήσεις. Όπως προαναφέραμε το φίλτρο Kalman περιέχει τον όρο αναδρομικότητα, οπότε έχει την δυνατότητα να επεξεργαστεί και να εκτελεστεί σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας μόνο τις παρούσες μετρήσεις και την προηγούμενη υπολογισμένη κατάσταση.

2.8 Επίλογος Κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύσαμε το μαθηματικό μοντέλο ενός Quadcopter καθώς επίσης, αναφέραμε περιληπτικά ένα από τα σημαντικότερα φίλτρα που διαχειρίζονται τις πληροφορίες που συλλέγει ο ελεγκτής του Quadcopter από τους PID ελεγκτές καθώς και τα διάφορα ηλεκτρονικά του μέρη.

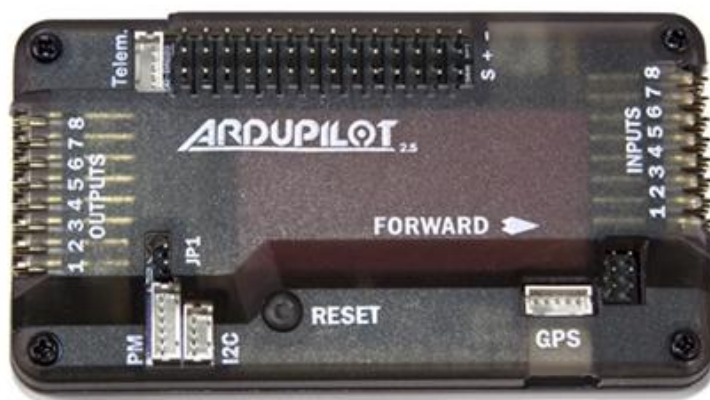
Στο επόμενο κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τον τρόπο λειτουργίας του ελεγκτή πτήσης, καθώς και την ανάλυση των επιμέρους ηλεκτρονικών στοιχείων που το απαρτίζουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΛΕΓΚΤΗΣ - CONTROLLER

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε την λειτουργία του Ελεγκτή Πτήσης(Αγγλ.: FlightController) του Quadcopter μας καθώς και των επιμέρους ελεγκτών που υπάρχουν πάνω.

Για λόγους ευκολίας και οικονομίας επιλέξαμε τον ArduPilot ή αλλιώς APM 2.6 (ArduPilotMega)της 3DRo οποίος βασίζεται πάνω στο ArduinoMega με τον 8-bit μικροεπεξεργαστή ATmega2560 της Atmel. Ήταν οικονομικός και συγχρόνως εφοδιασμένος με αρκετές λειτουργίες που τον καθιστούν έναν από τους καταλληλότερους ελεγκτές για το χειρισμό Quadcopterκι όχι μόνο.



Εικόνα 19: Ελεγκτής - Controller

3.1 Τι είναι ένας Ελεγκτής -Controller.

Τα Quadcopter είναι μοναδικά στον κόσμο των τηλεκατευθυνόμενων οχημάτων, όταν έχουμε να κάνουμε με τον έλεγχο μιας βάρκας ή ενός αεροπλάνου ο ελεγκτής έχει τον απόλυτο και ακριβή έλεγχο στο να οδηγεί κατάλληλα το κάθε μοτέρ ξεχωριστά. Η διαφορά του ελέγχου από τον ανθρώπινο παράγοντα έναντι ενός ελεγκτή, είναι πως με την χρήση του ελεγκτή, δεν χρειάζεται απολύτως

κανένα υπολογισμός από τον άνθρωπο, για να ελεγχθεί η ταχύτητα των μοτέρ ή για την επίτευξη της ισορροπίας ειδικά για οχήματα που βρίσκονται στον αέρα.

Ένας ελεγκτής πτήσης (Αγγλ.: FlightController) είναι στην ουσία ένα μικρό κύκλωμα, πολύπλοκο σε κάποιες περιπτώσεις, όπου η δουλειά του, όπως προαναφέραμε, είναι να ελέγχει την ταχύτητα περιστροφής των μοτέρ ανάλογα με τις τιμές των εισόδων του. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ελεγκτές έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες, όπως απλά γυροσκόπια για τον προσανατολισμό ή ακόμη και βαρόμετρα για να μπορεί να στέκεται αυτόματα σε συγκεκριμένο ύψος. Αρκετές φορές μπορεί να χρησιμοποιηθεί και συσκευή GPS(GlobalPositioningSystem) για αυτόματη πλοήγηση (θα γίνει αναλυτικότερη περιγραφή παρακάτω).

Όπως προαναφέραμε, για τον εύκολο χειρισμό του Quadcopter χρησιμοποιήσαμε τον ArduPilotMega 2.6 (APM), ο οποίος είναι εφοδιασμένος με γυροσκόπιο τριών αξόνων (Αγγλ.: 3-axisGyroscope), επιταχυνσιόμετρο (Αγγλ.: Accelerometer) κι ένα υψηλής ακρίβειας βαρόμετρο (Αγγλ. Barometer). Επίσης ο ελεγκτής χρησιμοποιεί μία τεσσάρων (4) MegabyteDataflash μνήμη, η οποία χρησιμοποιείται για την αποθήκευση δεδομένων. Τέλος, για την επικοινωνία του ελεγκτή με τον υπολογιστή μέσωUSB, έχει επιλεγθεί ο μικροεπεξεργαστής ATMEGA32U-2, της Atmel. Για τον εντοπισμό και την πλοήγηση έχουμε επιλέξει μια εξωτερική μονάδα GPS με ενσωματωμένη πυξίδα.

Πριν προχωρήσουμε όμως σε περαιτέρω ανάπτυξη, θα εξηγήσουμε αμέσως παρακάτω τις βασικές έννοιες που αναφέραμε παραπάνω.

3.2 Γυροσκόπιο – Gyroscope.

Το γυροσκόπιο είναι μια συσκευή η οποία μπορεί να μετρήσει την στροφορμή γύρω από κάποιον άξονα. Συνήθως τα γυροσκόπια είναι τριών (3) αξόνων και μπορούν να αντιληφθούν την περιστροφική κίνηση καθώς και αλλαγές στον προσανατολισμό.

Ένα μηχανικό γυροσκόπιο λοιπόν, μπορεί και διατηρεί σταθερό τον προσανατολισμό του, μέσω της περιστροφής των μερών του και της αρχής της διατήρησης της στροφορμής. Αποτελείται από μια μεταλλική στεφάνη που μπορεί να περιστρέφεται δεξιά ή αριστερά. Αυτή η στεφάνη φέρει δεύτερη εσωτερική που στηρίζεται με συνδέσμους σε οριζόντια διάταξη, ως προς την εξωτερική, δυνάμενη

έτσι να περιστρέφεται ελεύθερα με φορά πάνω ή κάτω. Στην εσωτερική αυτή στεφάνη συγκρατείται εσωτερικά, σε κάθετη διάταξη σε σχέση με τη προηγούμενη ο "σφόνδυλος" που αποτελεί μια μικρή σφαίρα που περιστρέφεται υπό μορφή σβούρας. Τα σημεία έδρασης της κάθε στεφάνης καθώς και του σφονδύλου εξασφαλίζουν την ελεύθερη περιστροφή όλων των τμημάτων της διάταξης, δηλαδή του γυροσκοπίου σαν σύνολο.



Εικόνα 20: Γυροσκόπιο - Gyroscope

3.3 Ηλεκτρονικό γυροσκόπιο.

Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη παράγραφο έτσι και τα ηλεκτρονικά γυροσκόπια (Αγγλ.: MEMS microelectromechanical system) μετρούν την ταχύτητα περιστροφής. Η μονάδα μέτρησης της ταχύτητας περιστροφής είναι μοίρες ανά δευτερόλεπτο (Αγγλ.: RPS – revolutions per second).

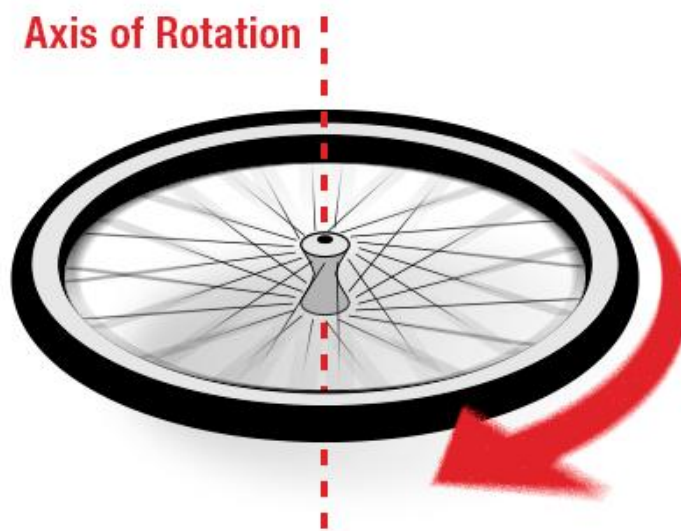
Έτσι μοιάζει ένα ηλεκτρονικό γυροσκόπιο:



Εικόνα 21: Επιταχυνσιόμετρο -
Accelerometer

3.4 Πως λειτουργεί ένα ηλεκτρονικό γυροσκόπιο.

Όταν τα σώματα γυρνούν γύρω από έναν άξονα, έχουμε αυτό που λέμε 'περιστροφική κίνηση'. Ένα τέτοιο παράδειγμα μπορούμε να δούμε παρακάτω με έναν τροχό να περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του.



Εικόνα 22: Περιστροφή γύρω από τον άξονα

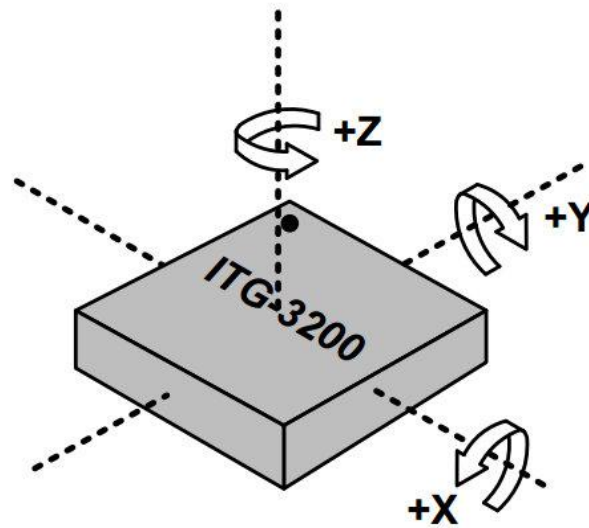
Σημείωση: Ο άξονας Z του γυροσκοπίου συμπίπτει με τον άξονα περιστροφής της ρόδας.

Έτσι λοιπόν αν συνδέσουμε αυτό τον αισθητήρα πάνω στην ρόδα μας θα μπορέσουμε να μετρήσουμε την στροφορμή του στον άξονα Z. Στους άλλους δύο άξονες X & Y δεν θα έχουμε καμιά μέτρηση.

Ας φανταστούμε τώρα πως η ρόδα μας κάνει μια περιστροφή σε ένα δευτερόλεπτο. Θα έχει αποκτήσει λοιπόν μια ταχύτητα της τάξεως, 360 μοίρες ανά δευτερόλεπτο.

Ένα ηλεκτρονικό γυροσκόπιο τριών αξόνων, παρόμοιο με το προαναφερθέν (βλέπε παρακάτω εικόνα), μπορεί να μετρήσει την περιστροφή και στους 3 άξονες X, Y και Z. Αυτοί οι αισθητήρες συνήθως χρησιμοποιούνται σε

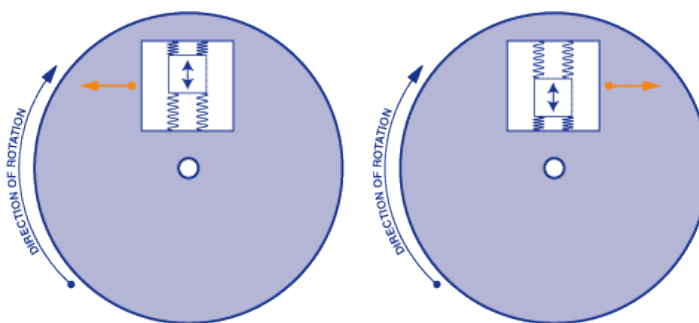
αντικείμενα τα οποία δεν περιστρέφονται πολύ γρήγορα. Γι' αυτό είναι οι καταλληλότεροι για την χρήση σε αυτοκίνητα, αεροπλάνα, Quadcopters κλπ.



Εικόνα 7: Ηλεκτρονικό Γυροσκόπιο

3.5 Πως εντοπίζουν την ταχύτητα περιστροφής.

Τα γυροσκόπια που βρίσκονται μέσα σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (Αγγλ.: IC – Integrated Circuit) είναι μικροσκοπικά (περίπου από 1 μέχρι 100 μm – μικρόμετρα). Όταν το γυροσκόπιο περιστρέφεται, ένα μικρό πιεζοηλεκτρικό στοιχείο παράγει μια πολύ χαμηλή τάση καθώς η περιστροφική ταχύτητα αλλάζει. Αυτή η τάση μπορεί να ενισχυθεί και να σταλθεί στον μικροεπεξεργαστή. Με αυτή την λειτουργία ο ελεγκτής καταλαβαίνει σε κάθε άξονα την περιστροφική κίνηση του οχήματος και αναλόγως τις τιμές, οδηγεί τα μοτέρ για να μπορέσει να το φέρει σε απόλυτη ισορροπία. (Βλέπε παρακάτω εικόνα)



Εικόνα 23: Πιεζοηλεκτρικό Γυροσκόπιο

3.6 Επιταχυνσιόμετρο – Accelerometer.

Επιταχυνσιόμετρο είναι ένας ηλεκτρομηχανικός αισθητήρας που μετρά την δύναμη των επιταχύνσεων που δέχεται. Αυτές οι δυνάμεις μπορεί να είναι είτε στατικές, όπως η δύναμη που δέχεται σε κατάσταση ηρεμίας, η βαρύτητα δηλαδή, είτε δυναμικές όπως για παράδειγμα οι δυνάμεις που ασκούνται σε μια βίαιη αλλαγή της κίνησης ή από δονήσεις λόγω απότομης κίνησης.

Βρίσκοντας την τιμή της στατικής επιτάχυνσης λόγω της βαρύτητας, μπορούμε να υπολογίσουμε την γωνία του οχήματος σε σχέση με την γη. Υπολογίζοντας τώρα την τιμή της δυναμικής επιτάχυνσης, μπορούμε να αναλύσουμε τον τρόπο με τον οποίο κινείται το όχημα.

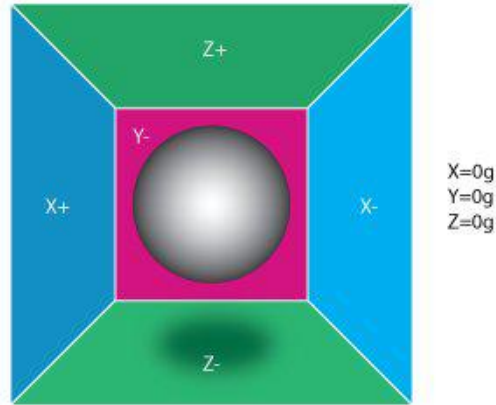
Σαν πρώτη εντύπωση, δεν μας φαίνεται κάτι το συνταρακτικό, ωστόσο όμως οι μηχανικοί έχουν ανακαλύψει διάφορους τρόπους που μπορούν να φανούν χρήσιμοι σαν αισθητήρες.

Ένα επιταχυνσιόμετρο μπορεί να βοηθήσει σε διάφορα προβλήματα, όπως για παράδειγμα στην δική μας περίπτωση. Σε τι θέση βρίσκεται το Quadcopter; Μήπως έχει κλίση προς το έδαφος; Μήπως χάνει μη αναμενόμενα ύψος; Πετάει οριζόντια; Ένας καλός προγραμματιστής μπορεί να δώσει απάντηση σε αυτά τα ερωτήματα αξιοποιώντας τις τιμές του αισθητήρα και τον τρόπο που διαχειρίζεται γι' αυτόν ένας Ελεγκτής Πτήσης, όπως χρησιμοποιήσαμε κι εμείς στο δικό μας έργο.

3.7 Λειτουργία ενός επιταχυνσιόμετρου.

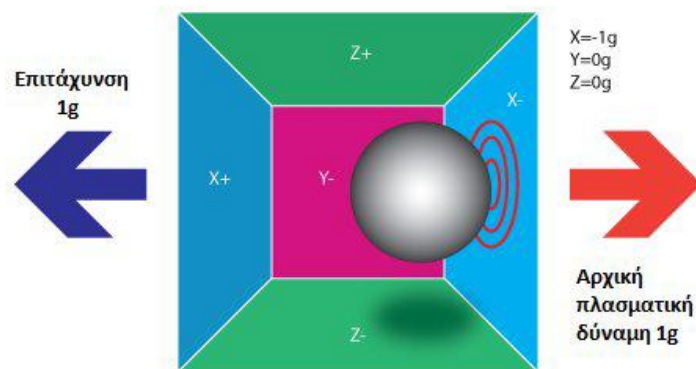
Υπάρχουν πάρα πολύ τρόποι για να φτιάξουμε ένα επιταχυνσιόμετρο. Κάποια χρησιμοποιούν πιεζοηλεκτρικά στοιχεία (όπως αυτά που χρησιμοποιούν τα γυροσκόπια). Ένας άλλος τρόπος, αρκετά διαφορετικός, είναι μετρώντας τις διαφορές στο μαγνητικό πεδίο. Βάζουμε δύο μικροστοιχεία πολύ κοντά το ένα στο άλλο. Καθώς τα διαπερνά ρεύμα δημιουργούν ένα συγκεκριμένο μαγνητικό πεδίο. Με την επίδραση των δυνάμεων πάνω στα μικροστοιχεία, αυτά αρχίζουν να απομακρύνονται ή να πλησιάζουν το ένα το άλλο με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο. Έπειτα παίρνουμε τις μεταβολές αυτές και τις οδηγούμε μέσα από ένα κύκλωμα το οποίο τις μετατρέπει σε τάση. Με αυτό τον τρόπο έχουμε καταφέρει να φτιάξουμε ένα επιταχυνσιόμετρο.

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε την δομή ενός επιταχυνσιόμετρου, μπορούμε να το φανταστούμε σαν ένα κύβο, ο οποίος στο εσωτερικό του, κρύβει μια σφαίρα.



Εικόνα 9: Απεικόνιση Γυροσκοπίου

Αν αφήσουμε το επιταχυνσιόμετρο σε ηρεμία, η μπάλα που βρίσκεται στο εσωτερικό του κύβου, θα βρίσκεται στο κέντρο του και θα αιωρείται. Φανταστείτε λοιπόν, πως καθένας από τους τοίχους είναι ευαίσθητος στην πίεση. Αν εμείς κινήσουμε ξαφνικά τον κύβο μας αριστερά με μια επιτάχυνση 1 g ($g=9.81 \text{ m/s}^2$), λόγω της αδράνειας η σφαίρα μας θα χτυπήσει τον τοίχο X- με δύναμη 1 g (Βλέπε εικόνα παρακάτω).



Εικόνα 10: Απεικόνιση Λειτουργίας Γυροσκοπίου

Παρατηρούμε πως το επιταχυνσιόμετρο ανιχνεύει μια δύναμη η οποία είναι αντίθετη σε κατεύθυνση από το διάνυσμα της επιτάχυνσής μας.

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο το επιταχυνσιόμετρο μπορεί να αντιληφθεί οποιαδήποτε επιτάχυνση από την κίνηση στον τρισδιάστατο χώρο, αλλά και από ποια μεριά ασκείται έλξη από την γη. Έτσι δίνοντας αυτές τις πληροφορίες στον Ελεγκτή μας, μπορεί να καταλάβει ανά πάσα στιγμή την επιτάχυνση που δέχεται το Quadcopter μας σε κάθε άξονα και το πως βρίσκεται αυτό στο χώρο (κάθετα στην γη, παράλληλα στην γη κ.ο.κ.), την δεδομένη στιγμή και να προβεί σε ενέργειες για την αυτόματη κίνηση του Quadcopter.

3.8 Διαφορές μεταξύ Γυροσκοπίου και Επιταχυνσιόμετρου.

Όπως παρατηρούμε και τα δύο στοιχεία μοιάζουν πάρα πολύ στον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν. Όμως αν παρατηρήσουμε καλύτερα θα καταλάβουμε πως μετρούν διαφορετικά πράγματα. Όσον αφορά το γυροσκόπιο, μετράει την ταχύτητα της περιστροφικής κίνησης γύρω από έναν άξονα, ενώ το επιταχυνσιόμετρο με την σειρά του μετράει την επιτάχυνση σε έναν άξονα.

Ο συνδυασμός αυτών των δύο αισθητήρων, σε διάφορες κατασκευές (όπως το Quadcopter μας), μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμος για την λειτουργία τους. Συνήθως χρησιμοποιούνται τρία γυροσκόπια και τρία επιταχυνσιόμετρα, δύο για κάθε άξονα δηλαδή.

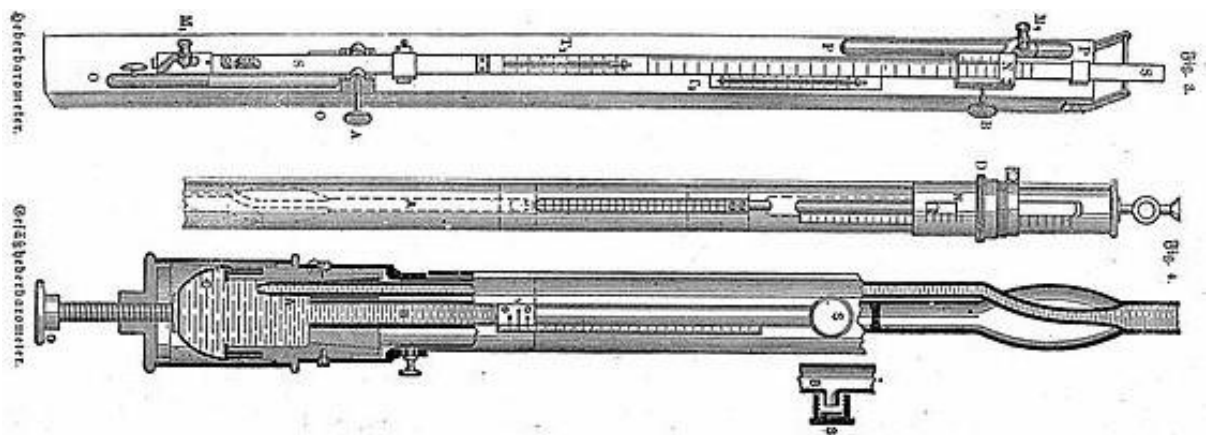
3.9 Βαρόμετρο – Barometer.

Το βαρόμετρο είναι ένα ειδικό όργανο, το οποίο μετρά την ατμοσφαιρική πίεση (ή αλλιώς βαρομετρική). Η χρήση του είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη μετεωρολογικών φαινομένων. Τα αναλογικά βαρόμετρα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα Υδραργυρικά βαρόμετρα και τα Μεταλλικά.

➤ Υδραργυρικό Βαρόμετρο

Τα υδραργυρικά βαρόμετρα είναι ιστορικά τα πρώτα βαρόμετρα που δημιουργήθηκαν. Η αρχή λειτουργίας του υδραργυρικού βαρομέτρου στηρίζεται στο ότι το βάρος της στήλης του ατμοσφαιρικού αέρα μπορεί ν' αντισταθμίζεται από το βάρος της στήλης υδραργύρου. Στην απλούστερη μορφή του το

υδραργυρικό βαρόμετρο αποτελείται από ένα γυάλινο σωλήνα που το ένα του άκρο είναι κλειστό και είναι γεμάτος με υδράργυρο. Για την απομάκρυνση και της ελάχιστης ποσότητας του αέρα που μπορεί να έχει εισχωρήσει και να έχει επικαθίσει στα εσωτερικά τοιχώματα του σωλήνα ο υδράργυρος βράζεται μέσα στον σωλήνα. Στη συνέχεια ο σωλήνας αναστρέφεται με το ανοικτό άκρο φραγμένο με το δάκτυλο του χειριστή - παρατηρητή όπου και βυθίζεται σε μικρή λεκάνη υδραργύρου οπότε και απελευθερώνεται το ανοικτό άκρο του. Τότε παρατηρείται ο υδράργυρος να κατέρχεται μέχρι ν' αντισταθμιστεί από τη πίεση που ασκεί η ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της λεκάνη με τον υδράργυρο. Αυτό σημαίνει πως το βάρος του υδραργύρου που βρίσκεται στο σωλήνα εκφράζει το μέγεθος της ασκούμενης, εκείνη τη στιγμή, ατμοσφαιρικής πίεσης.



Εικόνα 11: Παραδοσιακό Βαρόμετρο

➤ Μεταλλικό Βαρόμετρο

Τα μεταλλικά βαρόμετρα (ή αλλιώς ανηροειδές) από την άλλη μεριά έχουν τελείως διαφορετική αρχή λειτουργίας. Το όργανο αυτό αποτελείται από ένα θάλαμο μορφής μεταλλικού τυμπάνου που βρίσκεται σχεδόν σε «κενό αέρος», και που είναι ερμητικά κλειστό. Ο θάλαμος του βαρομέτρου αυτού ονομάζεται θάλαμος "Vidi". Ο θάλαμος "Vidi" είναι



Εικόνα 12: Μεταλλικό Βαρόμετρο

ευπαθής και στις πλέον μικρές μεταβολές της εξωτερικής πίεσης. Η ανώτερη επιφάνεια του θαλάμου συνδέεται μέσω συστήματος μοχλών καιελατηρίωνμεδείκτη.Έτσι κάθε κίνηση της ανώτερης επιφάνειας μεγεθυνόμενη μέσω των μοχλών παρουσιάζεται από τη βελόνη που κινείται αντίστοιχα, πάνω σε βαθμονομημένο, σε μονάδες βαρομετρικής πίεσης, κυκλικό δίσκο.

- **Ατμοσφαιρική πίεση (ή αλλιώς βαρομετρική).**

Ατμοσφαιρική πίεση ονομάζεται η πίεση που ασκεί η ατμόσφαιρα, με το βάρος της, στην επιφάνεια της γης. Η ατμοσφαιρική ή βαρομετρική πίεση μεταβάλλεται «οριζόντια» και «κατακόρυφα» τόσο από τόπου εις τόπο, όσο και από χρόνου εις χρόνο παρατήρησης. Οι «οριζόντιες μεταβολές» είναι πολύ μικρότερες των «κατακόρυφων μεταβολών». Οι πρώτες έχουν εξαιρετική σημασία στη δημιουργία των καιρικών φαινομένων, όπως π.χ. οι άνεμοι, είναι αποτέλεσμα αυτών των μεταβολών. Οι δεύτερες με την σειρά τους είναι εκείνες που μας ενδιαφέρουν περισσότερο. Η ατμοσφαιρική πίεση καθώς ανεβαίνουμε υψόμετρο, μικραίνει. Οπότε εξοπλίζοντας τον ελεγκτή πτήσης μας με ένα βαρόμετρο αυτομάτως μπορεί να υπολογίσει με απίστευτη ακρίβεια σε πιο ύψος βρίσκεται.

➤ **Ψηφιακό Βαρόμετρο (Αγγλ.: MEMSBarometers)**

Τα ψηφιακά βαρόμετρα έχουν αξιοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών, κυρίως σε κινητά τηλέφωνα, tablets, GPS, drones, όπου είναι χρήσιμος ο υπολογισμός του υψομέτρου.

Η αρχή λειτουργίας του είναι πανομοιότυπη με αυτή του μεταλλικού βαρομέτρου.

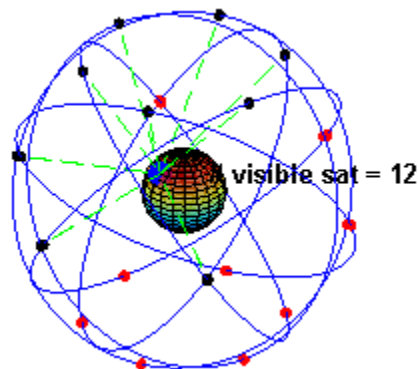
Μέσα στον αισθητήρα υπάρχει μια πολύ λεπτή μεμβράνη η οποία βρίσκεται σε κενό αέρος. Ανάλογα με τις μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης η μεμβράνη αυτή πιέζει ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο το οποίο μετατρέπει την πίεση αυτή σε πολύ χαμηλή τάση, η οποία στέλνεται στον ελεγκτή πτήσης. Εκείνος με την σειρά του επεξεργάζεται την τιμή αυτή καιαναγνωρίζει το ύψος στο οποίο βρίσκεται.



Εικόνα 13: Ψηφιακό Βαρόμετρο.

3.10 Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης – GPS.

Το GPS είναι παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης. Μπορεί να δώσει την ακριβή τοποθεσία ακίνητου σημείου ή ακόμη και κινητού. Για την επίτευξη του εντοπισμού, χρησιμοποιείται ένα σύστημα το οποίο περιλαμβάνει εικοσιτέσσερις (24) δορυφόρους που περιστρέφονται γύρω από την Γη, οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι με ειδικές συσκευές εντοπισμού. Οι πομποδέκτες αυτοί παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τη θέση ενός σημείου, το υψόμετρό του, την ταχύτητα του καθώς και την κατεύθυνση της κίνησης του.



Εικόνα 14: Σχεδιάγραμμα δορυφόρων γύρω από την γη

➤ **Λειτουργικά τμήματα.**

Το σύστημα εντοπισμού θέσης GPS σχηματίζει ένα παγκόσμιο δίκτυο, με εμβέλεια που καλύπτει ξηρά, θάλασσα και αέρα. Εξαιτίας αυτής της έκτασής του, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός του σε επιμέρους τμήματα όπου πραγματοποιούνται όλες οι λειτουργίες του αλλά και ο συντονισμός του. Αναλυτικά, τα τμήματα αυτά είναι:

- **Διαστημικό τμήμα:** Αποτελείται από το δίκτυο των 24-32 δορυφόρων που ήδη αναφέραμε. Οι δορυφόροι αυτοί «σκεπάζουν» ομοιόμορφα με το σήμα τους ολόκληρο τον πλανήτη, γεγονός που αποδεικνύει τη φιλοσοφία που κρύβεται πίσω από τη λειτουργία του συστήματος GPS, δηλαδή τη διαθεσιμότητά του σε κάθε σημείο της Γης, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να αποπροσανατολιστεί κανείς ποτέ και πουθενά.
- **Επίγειο τμήμα ελέγχου:** Οι δορυφόροι, όπως είναι αναμενόμενο πολύ πιθανό να αντιμετωπίσουν ανά πάσα στιγμή προβλήματα στη σωστή λειτουργία τους. Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται σε αυτούς αφορούν τη σωστή τους ταχύτητα και υψόμετρο και την κατάσταση της επάρκειάς τους σε ηλιακή ενέργεια. Παράλληλα, εφαρμόζονται όλες οι διορθωτικές ενέργειες που αφορούν το σύστημα χρονομέτρησης των δορυφόρων, ώστε να αποτρέπεται η παροχή λανθασμένων πληροφοριών στους χρήστες του συστήματος. Το τμήμα επίγειου ελέγχου αποτελείται από ένα επανδρωμένο και τέσσερα μη επανδρωμένα κέντρα, εγκατεστημένα σε ισάριθμες περιοχές του πλανήτη.
- **Το τμήμα τελικού χρήστη:** Απαρτίζεται από τους χιλιάδες χρήστες δεκτών GPS ανά την υφήλιο. Οι δέκτες αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο κατά τη διάρκεια μιας απλής πεζοπορίας, όσο και σε οχήματα ή θαλάσσια σκάφη και κατά κανόνα διαθέτουν αρκετά μικρές διαστάσεις. Για να προσφέρουν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες, οι δέκτες συνδυάζονται με ειδικό λογισμικό, που προβάλλει ένα χάρτη στην οθόνη της συσκευής GPS.

Στη δική μας κατασκευή χρησιμοποιήσαμε τοUbloxGPSμε ενσωματωμένη πυξίδα της εταιρίας 3DR.

Έγινε αυτή η επιλογή καθώς,είναι το μόνοGPS πουλειτουργεί απροβλημάτιστα, με τον Ελεγκτή Πτήσης που έχουμε επιλέξει.

Επίσης ενσωματώνει μαγνητόμετρο (ηλεκτρονική



Εικόνα 15: Αισθητήρας GPS

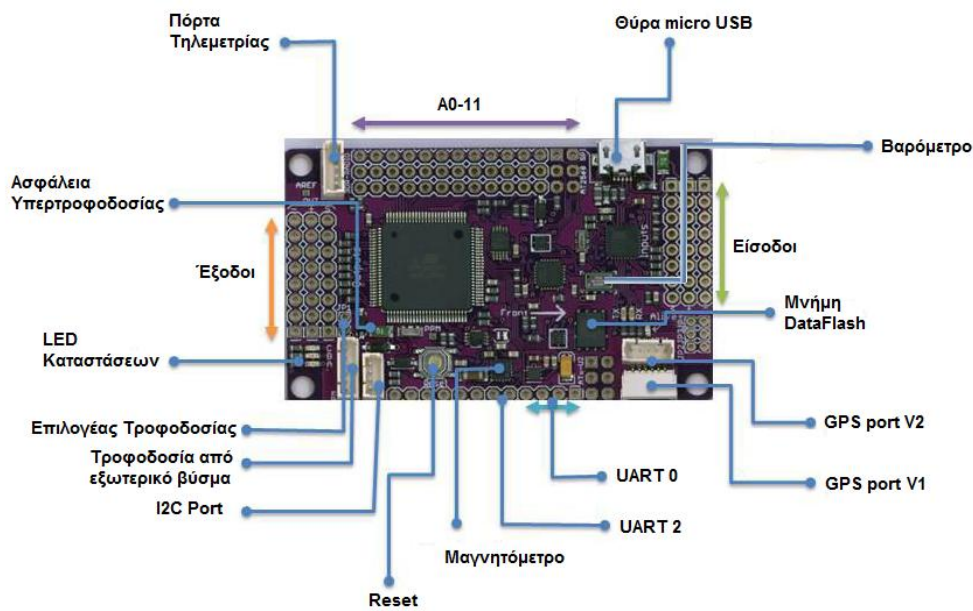
πυξίδα), για τον υπολογισμό των πόλων.

Η χρήση του δέκτη γίνεται εξωτερικά, για να αποφευχθούν οποιοιδήποτε θόρυβοι προκαλούνται από τα μαγνητικά πεδία κατά την χρήση των μοτέρ (λόγω μεγάλης έντασης ρεύματος) ή οποιονδήποτε άλλων θορύβων που μπορεί να δημιουργούνται από άλλους ηλεκτρονικούς αισθητήρες.

3.11 Ανάλυση Ελεγκτή Πτήσης.

Όπως παρατηρούμε κι από την παρακάτω εικόνα, ο ελεγκτής πτήσης, περιέχει όλα όσα αναφέραμε προηγουμένως. Όλα αυτά τα ηλεκτρονικά στοιχεία, πρέπει να συνεργάζονται με αρμονία ώστε το Quadcopter να πετάει χωρίς λάθη και με άρτια ισορροπία.

Παρόλα αυτά, μόνος του ένας ελεγκτής πτήσης δεν μπορεί να καταφέρει τίποτα αν δεν υπάρχουν τα μοτέρ.

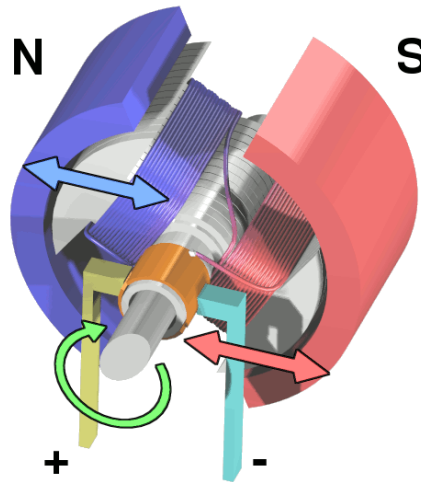


Εικόνα 16: Σχεδιάγραμμα Υποδοχών Ελεγκτή Πτήσης

Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναλύσουμε το πως λειτουργούν τα μοτέρ, τι χρειάζεται για να τα ελέγξει ο ελεγκτής, καθώς και την φιλοσοφία που βρίσκεται πίσω από την χρήση των προπελών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΜΟΤΕΡ, BRUSHED ΚΑΙ BRUSHLESS



Εικόνα 17: Ηλεκτρικό μοτέρ

4.1 Σύντομη περιγραφή λειτουργίας Brushed Μοτέρ.

Οι πόλοι της μπαταρίας έρχονται σε επαφή με τα πηνία που βρίσκονται τοποθετημένα στον άξονα του μοτέρ. Καθώς τα πηνία διαρρέονται από το ρεύμα, δημιουργείται μαγνητικό πεδίο. Το πεδίο αυτό, σε συνδυασμό με το μαγνητικό πεδίο των πόλων του μαγνήτη που υπάρχει στο περίβλημα του μοτέρ, κάνει τον άξονα να περιστρέφεται.

Λόγω της περιστροφής, η πολικότητα των πηνίων πρέπει να εναλλάσσεται ώστε κάθε φορά η κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου να είναι αυτή που πρέπει για να 'αντιδρά' σωστά με τους μαγνήτες του περιβλήματος.

Τη λειτουργία της εναλλαγής αναλαμβάνουν οι λεγόμενες ψήκτρες ή αλλιώς μετατροπέας (Αγγλ.:Commutator). Οι ψήκτρες βρίσκονται τοποθετημένες σταθερά στο περίβλημα κι έρχονται σε επαφή με δύο ακροδέκτες στον άξονα του μοτέρ, οι οποίοι είναι και τα άκρα των πηνίων. Με αυτό τον τρόπο μεταφέρουν στον κάθε ακροδέκτη είτε το θετικό και είτε το αρνητικό ρεύμα καθώς ο άξονας περιστρέφεται.

➤ **Με απλά λόγια**

Τα Brushed μοτέρ περιέχουν τέσσερα βασικά στοιχεία.

- a) Τον στάτορα (Αγγλ.: Stator).
- b) Τον ρότορα (Αγγλ.: Rotor/Armature).
- c) Τις περιελίξεις ή αλλιώς πηνία (Αγγλ.: Windings).
- d) Τις ψήκτρες ή αλλιώς μετατροπέας (Αγγλ.: Brushes/Commutator).

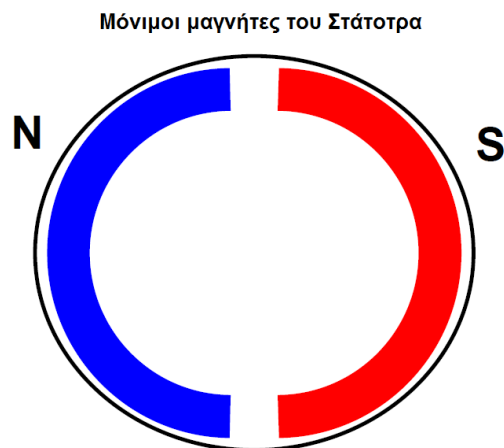
4.2 Αναλυτική περιγραφή λειτουργίας Brushed Μοτέρ.

➤ **Στάτορας.**

Ας ξεκινήσουμε πρώτα από τον στάτορα. Όπως υπονοεί και το όνομα, ο στάτορας παράγει ένα στατικό μαγνητικό πεδίο το οποίο περιβάλλει τον ρότορα. Αυτό το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται συνήθως είτε από μόνιμους μαγνήτες είτε από ηλεκτρομαγνητικά πηνία (περιελίξεις).



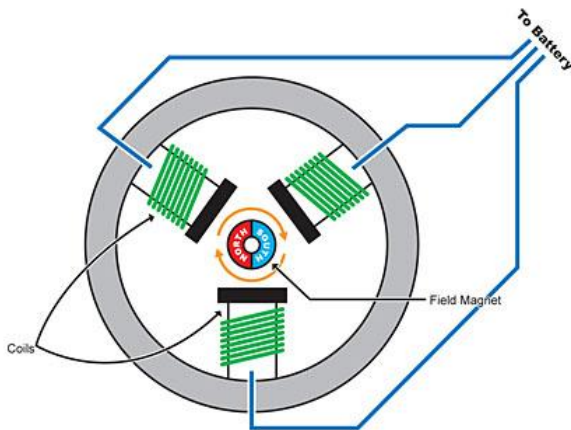
Εικόνα 18 Στάτορας



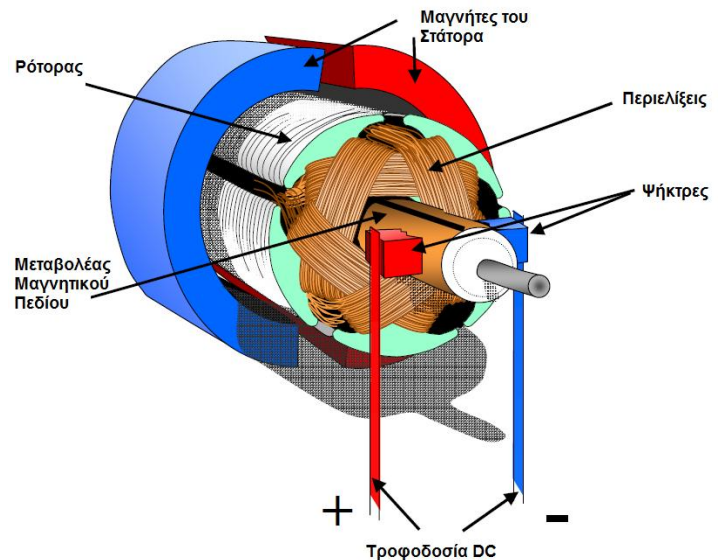
Εικόνα 19 Μαγνήτες του στάτορα

➤ **Ρότορας.**

Ο ρότορας είναι φτιαγμένος από μία ή παραπάνω περιελίξεις. Όταν αυτές οι περιελίξεις διαρρέονται από ηλεκτρική ενέργεια, τότε δημιουργούν γύρω τους ένα μαγνητικό πεδίο. Οι πόλοι του ρότορα θα έλκονται από τους πόλους του στάτορα που είναι αντίθετα μαγνητισμένοι με αποτέλεσμα να έχουμε την περιστροφή του ρότορα. Καθώς το μοτέρ περιστρέφεται, οι περιελίξεις δέχονται στιγμιαία



Εικόνα 22: Εσωτερική απεικόνιση ηλ. μοτέρ



Εικόνα 23: Εσωτερική διατομή ηλ. μοτέρ

4.4 Η Δομή Του Brushless Μοτέρ.

Και σε αυτού του είδους μοτέρ, η αρχή λειτουργίας τους είναι η ίδια ακριβώς. Το διαφορετικό της υπόθεσης είναι ο τρόπος που γίνεται η εναλλαγή της πολικότητας στα πηνία. Στα brushless μοτέρ, τα πηνία συνδέονται απευθείας με τους πόλους του ρεύματος. Την εναλλαγή της πολικότητας του ρεύματος την κάνει ένας ηλεκτρονικός διαχειριστής που λέγεται Electronic Speed Controller (συντ.: ESC) (αναλυτικότερη περιγραφή θα γίνει παρακάτω). Τα προτερήματα που έχουν τα brushless μοτέρ έναντι των brushed είναι σημαντικά, ειδικά για την περίπτωση των Quadcopters και θα αναφερθούν παρακάτω.

➤ Με απλά λόγια:

Τα Brushless μοτέρ περιέχουν τρία βασικά στοιχεία.

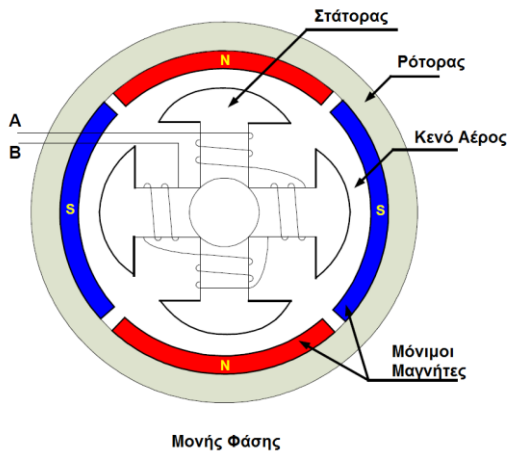
- Τον στάτορα (Αγγλ.: Stator).
- Τον ρότορα (Αγγλ.: Rotor/Armature).
- Οι περιελίξεις ή αλλιώς πηνία (Αγγλ.: Windings).

4.5 Αναλυτική περιγραφή λειτουργίας Brushless Μοτέρ.

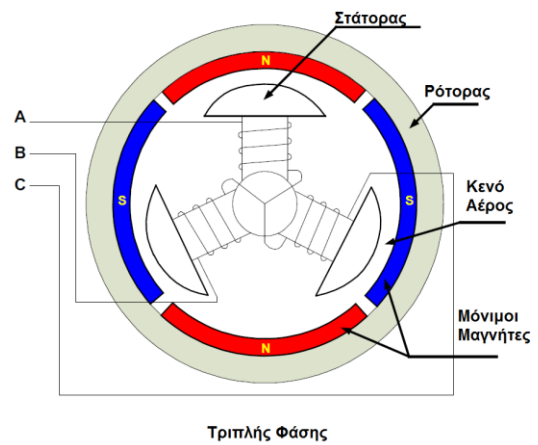
➤ Στάτορας.

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες των Brushless μοτέρ: Μονής Φάσης, Διπλής Φάσης και Τριπλής Φάσης.

Ο Μονής και ο Τριπλής Φάσης είναι οι πιο συνήθεις κατηγορίες που χρησιμοποιούνται. Τα παρακάτω σχήματα δείχνουν την απλοποίηση ενός BrushlessΜοτέρ, Μονής και Τριπλής Φάσης. Ο ρότορας έχει μόνιμους μαγνήτες ώστε να μπορεί να δημιουργεί δύο ζευγάρια μαγνητικών πόλων, οι οποίοι περιβάλλουν τον Στάτορα ο οποίος περιέχει τις περιελίξεις.



Εικόνα 24: Μοτέρ μονής φάσης

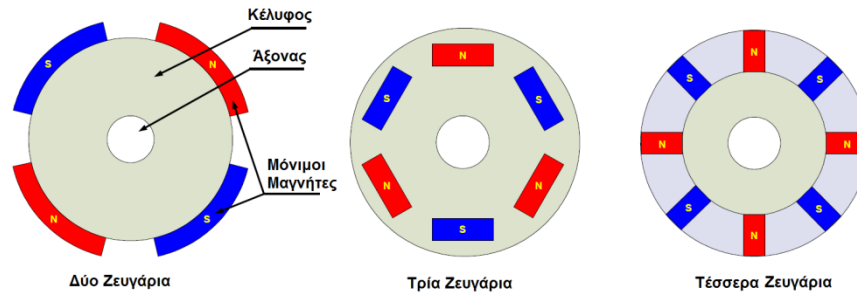


Εικόνα 25: Μοτέρ τριπλής φάσης

Ένα BrushlessΜοτέρ Μονής Φάσης έχει μια περιέλιξη στον στάτορα η οποία είναι συνδεδεμένη με την πηγή για να μπορεί να δημιουργεί τέσσερις μαγνητικούς πόλους όπως φαίνεται στο σχήμα α). Με ακριβώς τον ίδιο τρόπο λειτουργεί κι το μοτέρ Τριπλής Φάσης το οποίο δέχεται τρεις διαφορετικές φάσεις ρεύματος ώστε να αλλάζει περιοδικά τα μαγνητικά πεδία στις περιελίξεις του.

➤ **Ρότορας.**

Στα BrushlessΜοτέρ ο ρότορας περιέχει τους μόνιμους μαγνήτες πάνω του σε διάφορες συστοιχίες. Μπορεί να χρησιμοποιεί δύο, τρία ακόμη και τέσσερα ζευγάρια ανάλογα με τον τύπο του, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 26: Μόνιμοι μαγνήτες ρότορα

4.6 Έλεγχος Brushless Μοτέρ.

Όπως προαναφέραμε για να μπορέσει να λειτουργήσει ένα Brushless Μοτέρ, πρέπει να καθοδηγηθεί από έναν ελεγκτή ο οποίος θα αλλάζει την πολικότητα στις περιελίξεις για να παράγεται κίνηση. Για να γίνει αυτό πρέπει ο ελεγκτής να γνωρίζει σε ποια φάση βρίσκεται το μοτέρ και σε ποια θέση βρίσκονται οι μαγνήτες σε σχέση με τις περιελίξεις. Η δουλειά αυτή μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες Hall.

4.7 Αρχή Λειτουργίας αισθητήρα Hall.

Οι αισθητήρες θέσεως τύπου Hall, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ταχύτητας και της θέσης ενός άξονα.

Στον άξονα του διανομέα είναι τοποθετημένο ένα 'ποτηράκι' με σχισμές, κατασκευασμένο από ηλεκτρομαγνητικό υλικό που περιστρέφεται μαζί με τον άξονα. Το σήμα εξόδου του αισθητήρα Hall μπορεί να λάβει μόνο δύο τιμές τάσης, είτε χαμηλή είτε υψηλή, ανάλογα με το αν ο αισθητήρας βρίσκεται μπροστά στην σχισμή (διάκενο) ή όχι.

Την στιγμή που η σχισμή ΔΕΝ είναι μπροστά στον αισθητήρα η τάση εξόδου του, αντιστοιχεί στην χαμηλή τιμή, αντιθέτως την στιγμή που είναι μπροστά στον αισθητήρα, η τάση εξόδου αντιστοιχεί στην υψηλή τιμή της.

Πιο συγκεκριμένα, όταν οι μαγνητικοί πόλοι του Ρότορα περνούν από τους αισθητήρες Hall, μια υψηλή τάση (για έναν πόλο) σημειώνεται στην έξοδο, ενώ αντίθετα όταν δεν περνούν δημιουργείται μια χαμηλή τάση (πάλι για έναν πόλο). Την τιμή αυτή δέχεται ο μικροελεγκτής ο οποίος μέσα από κατάλληλη

κωδικοποίηση καταλαβαίνει πότε πρέπει να αναστρέψει τους πόλους για να δημιουργηθεί κίνηση ή για να μειωθεί η τρέχουσα.

4.8 Brushless Μοτέρ Εναντίον Brushed Μοτέρ.

Τα Brushed DC μοτέρ εμφανίστηκαν περίπου στα μέσα του 19^{ου} αιώνα, ενώ τα Brushless μπήκαν σχετικά νωρίς στο χώρο. Το πρώτο βήμα έγινε στην αρχή του 1960 χάρη στην τεχνολογία Solid State με συντριπτικές ανανεώσεις περίπου το 1980 λόγω της ανάπτυξης των υλικών που χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή των μαγνητών.

Τα Brushed μοτέρ αναπτύσσουν την μέγιστη ροπή τους κατά την στάση τους, όπου μειώνεται γραμμικά, καθώς η περιστροφή τους αυξάνεται. Κάποιοι σημαντικοί περιορισμοί των Brushed μοτέρ μπορούν να ξεπεραστούν από τα Brushless. Αυτά με την σειρά τους χαρακτηρίζονται από την πολύ μεγαλύτερη αποδοτικότητα τους και την μικρότερη ευαισθησία τους στην μηχανική φθορά λόγω τριβών. Τα οφέλη αυτά όμως έχουν ως κόστος την δημιουργία πιο σύνθετων και πιο ακριβών ESC's (Electronic Speed Controllers).

Τα Brushless μοτέρ προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των Brushed Μοτέρ, συμπεριλαμβανομένου την μεγάλη σχέση που έχουν στην ροπή ανά βάρος. Έχουν περισσότερη ροπή όσο αυξάνεται η τάση στα άκρα τους που πρακτικά αυτό σημαίνει μεγαλύτερη αποδοτικότητα, έχουν αυξημένη αξιοπιστία, μειωμένο θόρυβο, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής μιας και δεν περιέχουν ψήκτρες, δεν υπάρχουν ηλεκτρικοί σπινθήρες λόγω φθοράς και τέλος έχουν περιορίσει σημαντικά τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

Επίσης ένα σημαντικό θετικό στοιχείο που πρέπει να σημειωθεί είναι πως λόγω του ότι δεν υπάρχουν περιελίξεις στον ρότορα, εξαλείφεται αυτό που ονομάζουμε φυγοκεντρική δύναμη. Οι περιελίξεις βρίσκονται πλέον πίσω από τα εξωτερικά τοιχώματα του μοτέρ (σε αντίθεση με τα brushed μοτέρ) πράγμα που σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να ψύχεται από την ροή του αέρα μέσα στο ρότορα, αλλά ψύχεται από τον εξωτερικό αέρα του περιβάλλοντα χώρου. Αυτό καθιστά τα Brushless μοτέρ μη ευάλωτα στην σκόνη, βρωμιά και ξένα υλικά καθώς τα εσωτερικά του στοιχεία βρίσκονται κλεισμένα μέσα σε κέλυφος.

Επιπλέον κάτι ακόμη που αξίζει να σημειωθεί είναι πως στα BrushlessΜοτέρ η εναλλαγή τηςκίνησης τους μπορεί να γίνει με βάση τον προγραμματισμό μέσα από κάποιον μικροελεγκτή (Αγγλ.: Microcontroller) ή κάποιον μικροεπεξεργαστή (Αγγλ.:Microprocessor) ή εναλλακτικά από ένα ψηφιακό πρόγραμμα το οποίο 'τρέχει' σε κάποιο FPGA (field-programmablegatearray). Αυτό σημαίνει πως η εναλλαγή της κίνησης η οποία βασίζεται σε ηλεκτρονική διαχείριση,τα καθιστά πιο ευέλικτα και με περισσότερες ικανότητες οιοποίες δεν μπορούν να βρεθούν στα Brushedμοτέρ, συμπεριλαμβανομένου τον περιορισμό της ταχύτητας καθώς και τον ομαλή έλεγχο σε πολύ μικρές ταχύτητες.

Η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής που μπορεί να επιτευχθεί σε έναBrushlessμοτέρ είναι περιορισμένη από τον παράγοντα «θερμοκρασία». Καθώς αυξάνεται η τάση εισόδου και το φορτίο που δέχεται το μοτέρ, η θερμοκρασία ανεβαίνει, πράγμα που σημαίνει πως οι μαγνήτες χάνουν την δύναμη τους και μπορεί να δημιουργηθούν υλικές φθορές στην μόνωση των περιελίξεων.

Εν κατακλείδι, όταν μετατρέπουμε την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια, τα Brushlessμοτέρ είναι πιο αποδοτικά έναντι των Brushed. Αυτή η εξέλιξη οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην συχνότητα την οποία το ηλεκτρικό σήμα μπορεί να αλλάξει βασισμένο στην ανάδραση του αισθητήρα θέσης. Επιπροσθέτως έχουμε κέρδος λόγω της μειωμένης μηχανικής απώλειας επειδή δεν υπάρχουν εσωτερικές τριβές.

➤ **ΘΕΤΙΚΑ BRUSHED MOTEP:**

- Έλεγχος με δύο καλώδια.
- Υπάρχει δυνατότητα αντικατάσταση των ψηκτρών για επιμήκυνση ζωής.
- Χαμηλό κόστος παραγωγής.
- Απλός και φθηνός τρόπος ελέγχου.
- Δεν χρειάζεται κάποιος ελεγκτής για συγκεκριμένες ταχύτητες.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περίπλοκα συστήματα, λόγω απλού κυκλώματος.

➤ **ΑΡΝΗΤΙΚΑ BRUSHED MOTEP:**

- Συστηματική συντήρηση.
- Η ταχύτητα και η ροπή δεν είναι γραμμική σε όλο το φάσμα.
- Σε υψηλές ταχύτητες, μείωση της ροπής λόγωτριβών των ψηκτρών.

- Δύσκολη διάλυση της θερμότητας λόγω των εσωτερικών δομών.
- Μεγάλη αδράνεια η οποία περιορίζει την δυναμική.
- Μικρό εύρος ταχυτήτων λόγω των μηχανικών περιορισμών των ψηκτρών.
- Λόγω της τριβής οι ψήκτρες δημιουργούν ηλεκτρικές εκκενώσεις, οι οποίες δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

➤ **ΘΕΤΙΚΑ BRUSHLESS MOTEP:**

- Δεν χρειάζεται συστηματική επίβλεψη λόγω έλλειψης ψηκτρών.
- Ακριβής έλεγχος λόγω ηλεκτρονικών αισθητήρων θέσεως.
- Η ροπή και η ταχύτητα είναι γραμμική σε όλο το φάσμα ανεξαρτήτου φόρτου εργασίας.
- Υψηλή απόδοση.
- Δεν υπάρχουν πτώσεις στην τάση.
- Μειωμένο μέγεθος λόγω των θερμικών χαρακτηριστικών.
- Η αποβολή θερμότητας είναι πολύ καλή διότι οι περιελίξεις βρίσκονται πάνω στον ρότορα.
- Μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων λόγω των ανύπαρκτων μαγνητών και λόγω έλλειψης της τριβής.
- Ελάχιστος ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος.

➤ **ΑΡΝΗΤΙΚΑ BRUSHLESS MOTEP:**

- Μεγαλύτερο κόστος κατασκευής.
- Περίπλοκος έλεγχος λόγω ηλεκτρονικών ελεγκτών.

Όπως είδαμε παραπάνω, η επιλογή των μοτέρ τύπου Brushless είναι αναγκαία για την σωστή λειτουργία του Quadcopter. Η πληθώρα των θετικών χαρακτηριστικών τους, τα καθορίζουν ως τα ιδανικότερα για την χρήση αυτή.

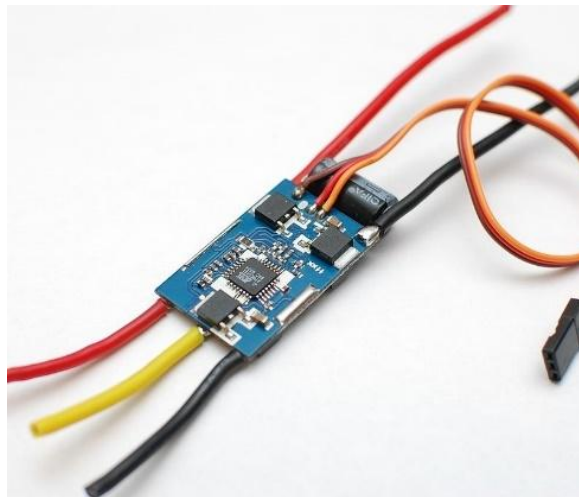
Για να λειτουργήσουν όμως αρμονικά τα μοτέρ, με τον Ελεγκτή Πτήσης μας, πρέπει να μεσολαβήσει μια πλακέτα, η οποία είναι υπεύθυνη για την σωστή επικοινωνία μεταξύ τους. Αυτή η πλακέτα ονομάζεται Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας (Αγγλ.: Electronic Speed Control – Συντ.: ESC).

Αυτό συμβαίνει διότι, σε περίπτωση που ζητηθεί από τα μοτέρ να παραχθεί μεγάλο φορτίο (π.χ. σε μια απότομη αλλαγή ταχύτητας), θα χρειαστεί να καταναλώσουν μεγάλη ποσότητα ρεύματος, της τάξεως των 40, 50 ακόμη και 60 Αμπέρ (Αγγλ.: Ampere). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να τα καθιστά αδύνατον να συνδεθούν κατευθείαν πάνω στον ελεγκτή πτήσης, καθώς ο ελεγκτής μπορεί να τροφοδοτήσει ένα ηλεκτρονικό στοιχείο με 5V και ένταση ως 500mah.

Σε αντίθετη περίπτωση η ανάγκη γι' αυτή την ένταση ρεύματος θα καταστρέψει τον ελεγκτή μας.

4.9 Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας - Electronic Speed Controller.

Ένας Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας, είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο ρυθμίζει την ταχύτητα, την φορά περιστροφής των ηλεκτρικών μοτέρ, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να λειτουργήσει και σαν δυναμικό φρένο, δηλαδή ένα σύστημα το οποίο επιδρά αντίθετα στον άξονα περιστροφής του Μοτέρ και το επιβραδύνει. Χρησιμοποιείται κατά κόρον σε συνδυασμό με Brushless Μοτέρ.



Εικόνα 27: Ηλεκτρονικός Ελεγκτής ταχύτητας

4.10 Θεωρία Προπελών.

Η προπέλα είναι το πιο σύνηθες εξάρτημα που συναντάται στα Quadcopter καθώς και στα άλλα μη-επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα. Μια προπέλα είναι χωρισμένη σε λεπίδες οι οποίες περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα και δημιουργούν ώθηση σπρώχνοντας αέρα προς μια κατεύθυνση.

Η επίδοση μια προπέλας έχει να κάνει με την γεωμετρία της κατασκευής της. Διαφορετικές γεωμετρίες μας δίνουν και διαφορετικές επιδόσεις ανάλογα βέβαια και σε τι μοτέρ χρησιμοποιούνται.

➤ **Τύποι Προπελών:**

Διάφοροι κατασκευαστές προπελών χρησιμοποιούν διάφορους τύπους γεωμετρίας για την κατασκευή των προπελών τους.

Για παράδειγμα υπάρχουν προπέλες οι οποίες χρησιμοποιούνται για Μοτέρ τα οποία λειτουργούν με χαμηλές στροφές. Αυτές οι προπέλες έχουν μεγάλες κλίσεις στις λεπίδες τους για να μπορούν να τραβούν περισσότερη ροή αέρα.



Εικόνα 28: Προπέλες

Ένα άλλο είδος προπελών, είναι εκείνο που χρησιμοποιείται σε μοτέρ τα οποία περιστρέφονται σε υψηλές στροφές και λειτουργούν αντίθετα από τις παραπάνω. Η κλίση των λεπίδων είναι σχετικά μικρή ώστε να μην τραβάει μεγάλο όγκο αέρα. Ο περίσσιος αέρας αυξάνει την κατανάλωση του μοτέρ λόγω επιβαρυσμένων φορτίων με συνέπεια την αύξηση της κατανάλωσης του ρεύματος που δαπανάται.



Εικόνα 29: Προπέλα

Ένας εναλλακτικός διαχωρισμός των προπελών μπορεί να γίνει σύμφωνα με το υλικό το οποίο είναι κατασκευασμένες. Στο εμπόριο υπάρχουν προπέλες οι οποίες είναι κατασκευασμένες από Πλαστικό, Ανθρακόνημα, Fiberglass ακόμη και Ξύλο. Ακαμπτα υλικά δημιουργούν πιο αποδοτικές προπέλες, μιας και ελαχιστοποιούνται οι 'θόρυβοι' του αέρα, οι οποίοι προκαλούν μείωση της απόδοσης. Η ακαμψία βοηθά επίσης στην μείωση των κραδασμών. Επίσης μειώνεται ο θόρυβος που παράγει η προπέλα λόγω απότομων αλλαγών στην ταχύτητα περιστροφής αλλά και στις διαφορετικές κινήσεις του οχήματος.

Επιπροσθέτως, ομαδοποίηση μπορεί να γίνει και με τον αριθμό των λεπίδων που έχει η κάθε προπέλα. Υπάρχουν προπέλες που έχουν δύο λεπίδες, όπου χρησιμοποιούνται κυρίως σε μοτέρ με μεγάλη δύναμη, προπέλες με τρεις λεπίδες αλλά ακόμη και με τέσσερις λεπίδες.

Τέλος υπάρχουν κι άλλα ήδη προπελών συμπεριλαμβανομένου αυτών που έχουν αναδιπλούμενες λεπίδες και άλλα.



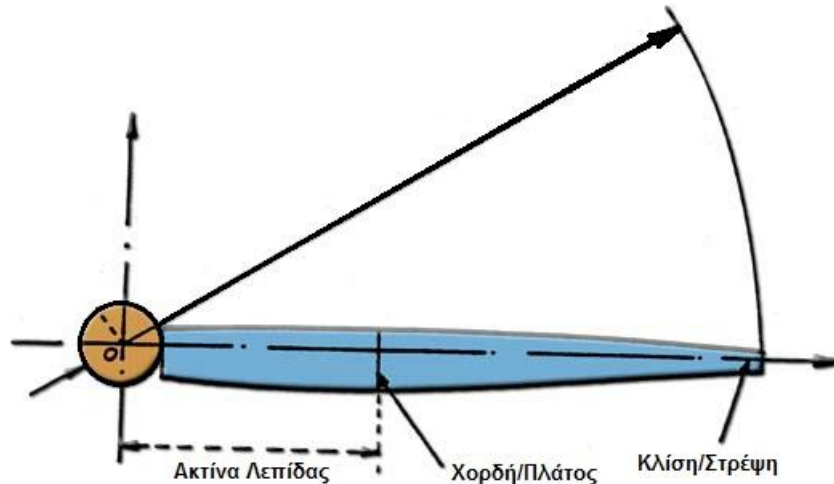
Εικόνα 30: Ανακλιόμενες προπέλες



Εικόνα 31: Προπέλες με τρία πτερύγια

➤ **Γεωμετρία προπελών:**

Ενώ κάποιος επιλέγει συνήθως μια προπέλα βασιζόμενος απλά στην διάμετρο και την κλίση της, η γεωμετρία μιας προπέλας ορίζεται πλήρως τόσο από την διάμετρο της και στρέψη της, όσο και από την χορδή και την αεροτομή της. Η στρέψη είναι η κλίση της λεπίδας σε σχέση με το επίπεδο περιστροφής, η χορδή είναι το πλάτος της λεπίδας και η αεροτομή, το πάχος της λεπίδας σε οποιοδήποτε σημείο κατά το μήκος της.



Εικόνα 32: Διατομή προπέλας

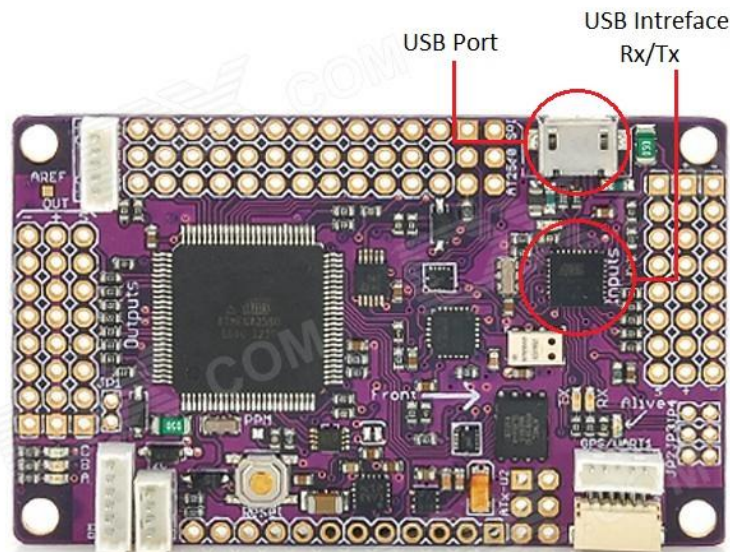
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΝΣΥΡΜΑΤΗ - ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ARDUPILOT ΜΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, ήρθε η ώρα να εξηγήσουμε τον τρόπο σύνδεσης του μικροελεγκτή μας (ArduPilot)ο οποίος, όπως αναφέραμε σε προηγούμενα κεφάλαια, βασίζεται πάνω στο ArduinoMega.

Όλες οι εκδόσεις Arduino έχουν τουλάχιστον μια θύρα επικοινωνίας η οποία είναι σειριακή και είναι συνήθως γνωστή ως UART (UniversalAsynchronousReceiver-Transmitter). (Περαιτέρω ανάλυση, βλέπε παρακάτω)

Για την επικοινωνία αυτή χρησιμοποιούνται δύο Pin τα οποία στέλνουν το ψηφιακό σήμα (0-1). Το pin0 χρησιμοποιείται για Λήψη (Receiving – Rx) και το pin1 για Αποστολή (Transmitting – Tx) δεδομένων αντίστοιχα.



Εικόνα 33: Είσοδος UART

5.1 U.A.R.T - Universal Asynchronous Receiver-Transmitter.

Στα ελληνικά θα μπορούσε κανείς να το αναφέρει ως Καθολικός Ασύγχρονος Πομποδέκτης. Πιο συγκεκριμένα θα μπορούσαμε να το περιγράψουμε ως ένα κομμάτι υπολογιστή το οποίο είναι υπεύθυνο για την ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία και στην οποία καθορίζει τον τύπο των δεδομένων και τις ταχύτητες μετάδοσης. Τα ηλεκτρικά σήματα καθώς και οι μέθοδοι οι οποίοι χρησιμοποιούνται, επεξεργάζονται από ένα εξωτερικό κύκλωμα το οποίο βρίσκεται εκτός συσκευής UART. Τις περισσότερες φορές το UART είναι ένα αυτόνομο, ξεχωριστό κύκλωμα το οποίο όπως αναφέραμε χρησιμοποιείται για την σειριακή επικοινωνία ενός υπολογιστή ή μιας περιφερειακής συσκευής, η οποία είναι συνδεδεμένη σε μια θύρα σειριακής επικοινωνίας.

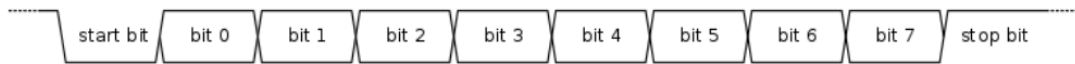
5.2 Τρόπος Λειτουργίας.

Ο τρόπος λειτουργίας φαντάζει περίπλοκος, στην πραγματικότητα όμως είναι κάθε άλλο παρά απλός. Στην ασύγχρονη επικοινωνία, ο πομποδέκτης οργανώνει τα δεδομένα σε bytes και τα στέλνει με μια συγκεκριμένη ακολουθία bits. Από την άλλη πλευρά υπάρχει μια δεύτερη συσκευή UART οι οποία με την σειρά της συγκεντρώνει όλα τα bits που έστειλε η πρώτη και τα ανασυνθέτει σε ολοκληρωμένα bytes. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως κάθε συσκευή UART περιέχει έναν καταχωρητή ολίσθησης, ο οποίος είναι ο κύριος 'πρωταγωνιστής' είτε για την υλοποίηση μιας σειριακής επικοινωνίας είτε για την υλοποίηση μιας παράλληλης επικοινωνίας. Επιπροσθέτως πρέπει να σημειωθεί πως το κόστος μιας σειριακής επικοινωνίας, όπου τα bits αποστέλλονται μέσω ενός φυσικού καλωδίου, είναι πολύ μικρότερο από το να γίνει η χρήση της παράλληλης επικοινωνίας όπου σε αυτή την περίπτωση θα χρειαζόμασταν παραπάνω από ένα καλώδιο.

Αν αναρωτηθούμε για το πως πραγματικά αποστέλλονται τα δεδομένα πάνω από το φυσικό μέσο, όπως το καλώδιο, αρκεί να φέρουμε στο μυαλό μας τον τρόπο λειτουργίας των τηλεγραφημάτων ή των σημάτων MORS. Η κατάσταση ηρεμίας, δηλαδή η κατάσταση στην οποία δεν αποστέλλονται δεδομένα χαρακτηρίζεται από την συνεχόμενη τάση που διαρρέεται το μέσο. Με πιο απλά λόγια όταν δεν αποστέλλουμε δεδομένα, έχουμε συνεχόμενα τάση στο καλώδιο,

δηλαδή συνεχόμενο λογικό '1'. Αυτό συμβαίνει διότι, έτσι μπορούν οι συσκευές UART να καταλάβουν αν ο αγωγός έχει υποστεί κάποια ζημιά ή όχι.

Η αποστολή ενός χαρακτήρα περιγράφεται πάντα από την εξής ακολουθία δεδομένων. Αρχικά αποστέλλεται ένα αρχικό bit '0', ακολουθούμενο από μια σειρά bitδεδομένων, κάποιων bitισοτιμίας και στο τέλος, ενός ή περισσοτέρων bitτερματισμού.



Εικόνα 34: Ρυθμός μετάδοσης UART

Το αρχικό bit '0' που αποστέλλεται, δίνει σήμα στον δέκτη ότι στην συνέχεια θα ακολουθήσει η αποστολή του νέου χαρακτήρα. Τα επόμενα πέντε (5) έως εννέα (9) bit, ανάλογα από τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται, συνθέτουν τον επόμενο χαρακτήρα. Τέλος για την τερματισμό της αποστολής, αποστέλλονται δύο (2) bitλογικού '1' τα οποία δίνουν το σήμα στον δέκτη ότι η αποστολή του χαρακτήρα έχει ολοκληρωθεί. Με αυτό τον τρόπο λοιπόν έχουμε σίγουρα δύο αλλαγές κατάστασης για την αποστολή ενός χαρακτήρα. Σε περίπτωση που κάποιος δέκτης του συστήματος UART ανιχνεύσει λογικό '0', για περισσότερο από έναν χρόνο αποστολής χαρακτήρα τότε, το φυσικό μας μέσο, δηλαδή το καλώδιο ή ο αγωγός, έχει υποστεί κάποια ζημιά κι έχει διακοπεί η επικοινωνία μεταξύ των δύο συστημάτων UART.



Εικόνα 35: Πακέτο δεδομένων UART

Δεν πρέπει να ξεχάσουμε να αναφέρουμε πως για την επιτυχημένη επικοινωνία και των δύο συσκευών UART θα πρέπει να επιλεχθεί η ταχύτητα με την οποία τα δύο συστήματα αυτά θα επικοινωνούν. Η ταχύτητα ή καλύτερα ο όρος που

περιγράφει την ταχύτητα επικοινωνίας ή ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας, ονομάζεται BaudRate.

5.3 BaudRate.

Το BaudRate καθορίζει τον ρυθμό με τον οποίο τα δεδομένα αποστέλλονται πάνω σε μια σειριακή επικοινωνία. Συνήθως το μέγεθος αυτό εκφράζεται σε bits ανά δευτερόλεπτο (Αγγλ.: bits-per-second, συντ.: bps). Μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή, με τη μόνη προϋπόθεση ότι και από τις δύο πλευρές χρησιμοποιείται ο ίδιος ρυθμός μετάδοσης. Οι πιο διαδεδομένοι ρυθμοί μετάδοσης baudrate είναι, 1200, 2400, 4800, 19200, 38400, 57600 και 115200 με τον πιο σύνηθες τον 9600bps.

Δυστυχώς δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μεγαλύτερο baudrate από 115200 bps. Λόγω των περιορισμών στο hardware των μικροελεγκτών, επιλέγουμε την παραπάνω τιμή ως μέγιστη διότι αν ξεπερασθεί, θα παρατηρήσουμε σχεδόν ακαριαία ότι θα αρχίσουμε να έχουμε απώλεια δεδομένων και σφάλματα.

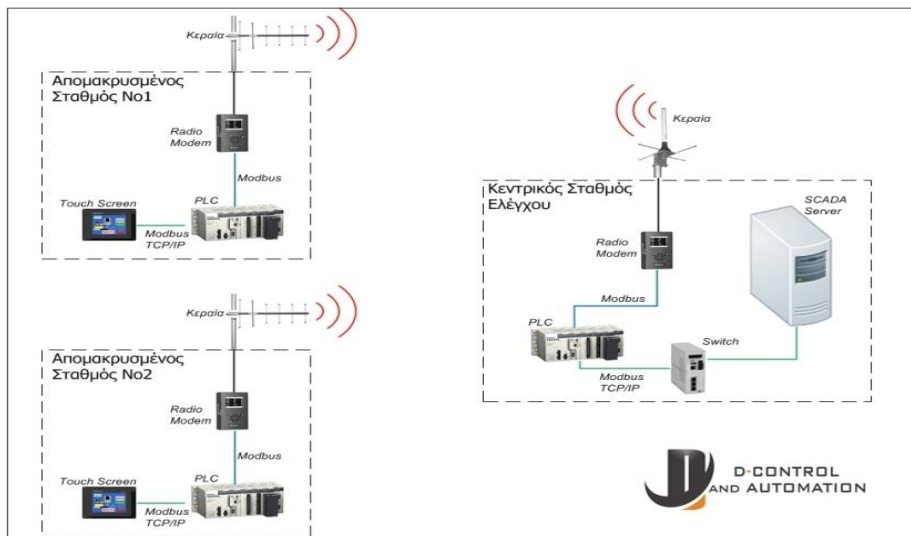
5.4 Ασύρματη Επικοινωνία – Τηλεμετρία.

Όλα τα παραπάνω ισχύουν μόνο στην περίπτωση που το Quadcopter είναι συνδεδεμένο ενσύρματα με τον υπολογιστή. Τι γίνεται στην περίπτωση που θέλουμε να παρακολουθήσουμε διάφορες μεταβλητές ή να αλλάξουμε επί τόπου διάφορες ρυθμίσεις του μικροελεγκτή την ώρα που βρίσκεται στον αέρα; Γι' αυτή την περίπτωση η λύση είναι η τηλεμετρία.

Τηλεμετρία είναι ένα αυτόματο σύστημα το οποίο καταγράφει και μεταδίδει δεδομένα από ένα απομακρυσμένο ή μη προσβάσιμο σημείο, σε ένα υπολογιστικό σύστημα (και αντίστροφα), το οποίο βρίσκεται σε διαφορετική τοποθεσία. Τα δεδομένα αυτά συνήθως αποστέλλονται για την ανάλυση τους ή για την παρακολούθησή τους. Ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να σταλεί αυτή η πληροφορία/δεδομένο ποικίλει και συνήθως εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή που θα την χρησιμοποιήσει. Για παράδειγμα, τα δεδομένα τηλεμετρίας μπορούν να σταλούν είτε με ραδιοκύματα, υπέρυθρες, δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM, δορυφορικό σήμα είτε ακόμη και με καλώδιο. Επίσης πρέπει να αναφερθεί

ότι η τηλεμετρία δε χρησιμοποιείται στην μετεωρολογία, σεισμολογία, ιατρική, αθλήματα κ.α.

Ένα παράδειγμα χρήσης της τηλεμετρίας στον καθημερινό μας κόσμο είναι η παρακολούθηση των ανεμογεννητριών, η παρακολούθηση των φαναριών σε μια διασταύρωση ή ακόμα και η παρακολούθηση ενός μετεωρολογικού σταθμού, ο οποίος μπορεί να βρίσκεται εκατοντάδες ή ακόμη και χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά.



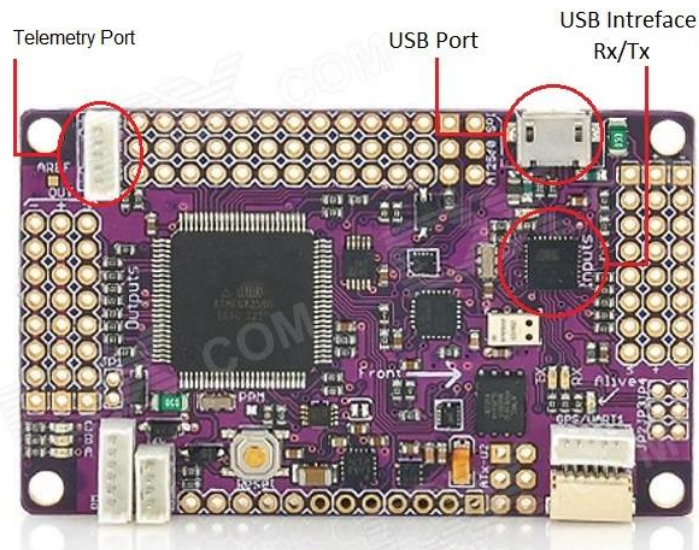
Εικόνα 36: Τυπικό δίκτυο τηλεμετρίας

Ο τρόπος για να υλοποιηθεί κάτι τέτοιο είναι αρκετά απλός. Στην δική μας περίπτωση αρκεί μόνο να χρησιμοποιηθούν δύο πομποδέκτες οι οποίοι θα βρίσκονται και στις δύο πλευρές.

Πιο συγκεκριμένα, η λειτουργία τους είναι αρκετά απλή. Όπως αναφέραμε παραπάνω, για να επικοινωνήσει ο μικροελεγκτής μας με τον υπολογιστή αρκεί να τα συνδέσουμε με ένα καλώδιο και το πρωτόκολλο UART είναι υπεύθυνο για την μεταξύ τους επικοινωνία. Ακριβώς το ίδιο συμβαίνει και με τη χρήση της τηλεμετρίας, με μόνη διαφορά ότι αυτό γίνεται ασύρματα. Οι δύο πομποδέκτες είναι εξοπλισμένοι με έναν ADC (Analog-Digital Converter), καθώς κι έναν DAC (Digital-Analog Converter). Αυτό συμβαίνει διότι το πρωτόκολλο UART χρησιμοποιεί ψηφιακό σήμα, ενώ η μετάδοση του σήματος από το τετρακόπτερο στον υπολογιστή και αντίστροφα γίνεται αναλογικά με τη χρήση ραδιοκυμάτων (RF). Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιούμε την μπάντα των

433MHz, διότι η μπάντα των 900MHz είναι απαγορευμένη καθώς χρησιμοποιείται από τις εταιρίες τηλεπικοινωνιών σε όλη την Ευρώπη.

Πάνω στον μικροελεγκτή, υπάρχει υποδοχή για τον πομποδέκτη της τηλεμετρίας, όπου συνδέεται απευθείας πάνω στην έξοδο του UART.



Εικόνα 37: Θύρα τηλεμετρίας

Εκεί ακριβώς συνδέεται ο ένας πομποδέκτης, ενώ ο δεύτερος συνδέεται μέσω USB σε οποιαδήποτε θύρα ενός υπολογιστή. Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνονται ακριβώς και οι δύο πομποδέκτες που χρησιμοποιήσαμε.



Εικόνα 38: Πομποδέκτης τηλεμετρίας

Έτσι με αυτό τον

τρόπο καταφέρνουμε

να συλλέξουμε όλες εκείνες τις πληροφορίες που μας είναι άκρως απαραίτητες κατά την διάρκεια της πτήσης,

όπως για παράδειγμα τα αποθέματα της μπαταρίας, το ύψος που βρίσκεται το τετρακόπτερο, την θέση του στον χάρτη καθώς κι άλλα πολλά.

Επίσης, με τη χρήση της τηλεμετρίας μπορούμε να ενεργοποιήσουμε την πλήρη, αυτόνομη πτήση μέσω του προγράμματος MissionPlanner, που θα εξηγήσουμε στο επόμενο κεφάλαιο, εν ολίγοις θα αναφέρουμε πως με την τηλεμετρία μπορούμε να ορίσουμε -επεξεργαστούμε ένα σχέδιο πτήσης και να το περάσουμε στη μνήμη του μικροελεγκτή, ενώ το Quadcopter βρίσκεται ήδη σε πτήση. Τέλος, δεν πρέπει να ξεχάσουμε να αναφέρουμε πως η Τηλεμετρία είναι από τα πιο σημαντικά συστήματα που εξοπλίζεται το Quadcopter καθώς επιτυγχάνεται ο έλεγχος του από μεγάλη απόσταση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

MISSION PLANNER

6.1 Περιγραφή Mission Planner.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο θα περιγράψουμε και θ' αναλύσουμε το πρόγραμμα με το οποίο ρυθμίζουμε και παρακολουθούμε την λειτουργία του Quadcopter, επίγεια αλλά και στον αέρα, κατά την πτήση του.

Με το MissionPlanner έχουμε έναν επίγειο σταθμό ελέγχου για το Quadcopter. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα εργαλείο για την αρχική διαμόρφωση του ελεγκτή πτήσης καθώς και για τον πλήρη έλεγχο της αυτόνομης πτήσης του Quadcopter. Οι λειτουργίες που υποστηρίζει είναι πάρα πολλές, μερικές από αυτές, τις οποίες και χρησιμοποιήσαμε, είναι οι εξής:

- Φόρτωση του προγράμματος (Αγγλ.: Firmware) στον ελεγκτή πτήσης.
- Η ρύθμιση και η επεξεργασία διάφορων ρυθμίσεων για την καλύτερη και πιο ομαλή πτήση (π.χ. μέγιστη ταχύτητα κινητήρων, αρχικοποίηση μέγιστου ύψους, ρυθμίσεις PID κ.ά.).
- Πλήρη αυτόνομη πτήση με σημεία στο χάρτη (Αγγλ.: Waypoints).
- Με την χρήση της τηλεμετρίας (όπως προαναφέραμε) μπορούμε να ελέγξουμε ανά πάσα στιγμή διάφορες σημαντικές πληροφορίες για το Quadcopter (όπως την μπαταρία, θέση, ταχύτητα κ.ά.).

Το MissionPlanner είναι ένα δωρεάν πρόγραμμα, ανοικτού κώδικα και γι' αυτό το χρησιμοποιήσαμε κι εμείς στην πτυχιακή μας εργασία. Στις παρακάτω παραγράφους θα αναλύσουμε το πως διαμορφώνουμε τον ελεγκτή μας καθώς και τον τρόπο με τον οποίο χειριζόμαστε το πρόγραμμα.

6.2 Ρύθμιση της σύνδεσης του Ελεγκτή Πτήσης.

Αρχικά η πρώτη κίνηση που πρέπει να γίνει είναι η εγκατάσταση του προγράμματος στον ελεγκτή πτήσης καθώς και η αρχικοποίηση κάποιων στοιχείων όπως η πυξίδα το GPS κ.α. Για να γίνει αυτό συνδέουμε στον υπολογιστή μας μέσω θύρας USB τον ελεγκτή.



Εικόνα 39: Υποδοχή USB ελεγκτή πτήσης

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ο μικροελεγκτής μας βασίζεται πάνω στην πλατφόρμα Arduino. Για τον λόγο αυτό με την πρώτη σύνδεση του στον υπολογιστή μας εγκαθίστανται και οι αντίστοιχοι drivers ώστε να μπορεί ο υπολογιστής να αναγνωρίσει τον ελεγκτή.

Στην συνέχεια ανοίγουμε το πρόγραμμα MissionPlanner το οποίο έχουμε ήδη εγκαταστήσει νωρίτερα, στην τελευταία έκδοση που υπάρχει.

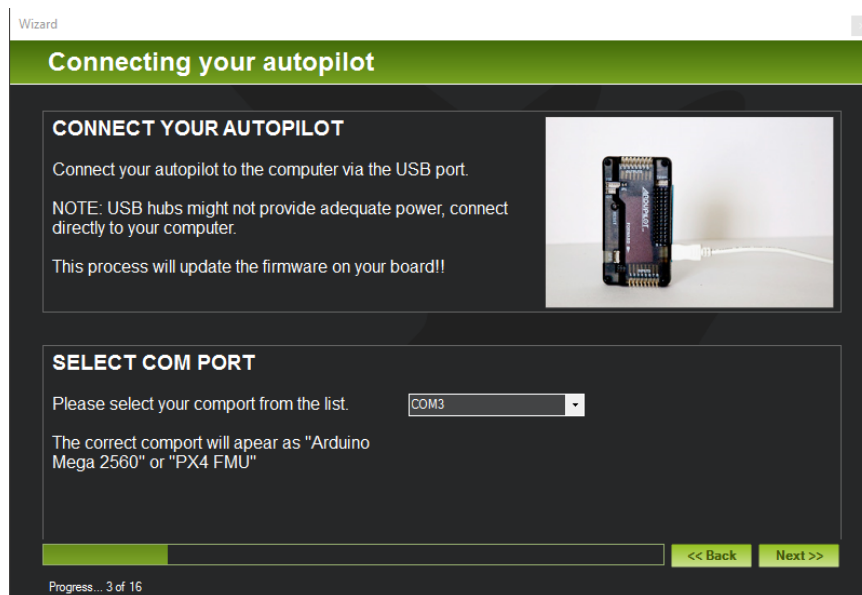
Ανοίγοντας το πρόγραμμα με συνδεδεμένο τον ελεγκτή, θα μας εμφανιστεί η παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 40: Αρχική οθόνη Mission Planner

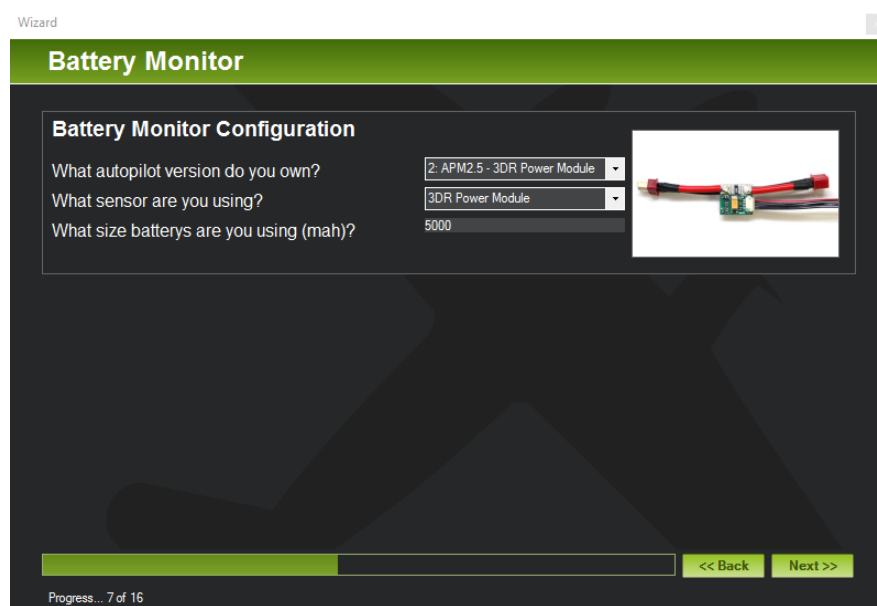
Από την εικόνα μπορούμε να καταλάβουμε πως το MissionPlanner μπορεί να υποστηρίξει κι άλλα ήδη οχημάτων, από αεροπλάνα μέχρι και αυτοκίνητα αλλά κι ελικόπτερα. Στην δική μας περίπτωση επιλέγουμε το Multirotor καθώς το Quadcopter ανήκει σε αυτή την κατηγορία.

Έπειτα επιλέγουμε τον τύπο του Quadcopter που έχουμε κατασκευάσει. Στην δική μας περίπτωση χρησιμοποιούμε τέσσερα (4) μοτέρ και σε διάταξη Χ, οπότε επιλέγουμε την δεύτερη επιλογή από την προηγούμενη εικόνα. Καθώς κάνουμε την επιλογή μας στο επόμενο βήμα, μας ζητάτε να συνδέσουμε τον ελεγκτή, όπως κι έχουμε ήδη κάνει από την αρχή. Επιλέγουμε την πόρτα στην οποία έχει συνδεθεί ο ελεγκτής (π.χ. COM3) και τέλος αρχίζει η εγκατάσταση του προγράμματος (Firmware) στον ελεγκτή μας. (Βλέπε παρακάτω εικόνα.)



Εικόνα 41: Αρχική οθόνη Mission Planner

Μόλις τελειώσει η διαδικασία, έχει τελειώσει σχεδόν και η εγκατάσταση του προγράμματος στον ελεγκτή, το μόνο που μένει είναι να γίνει η βαθμονόμηση (Αγγλ.: Calibration) της πυξίδας, του GPS, της τηλεκατεύθυνσης καθώς και η ενεργοποίηση της παρακολούθησης της μπαταρίας.

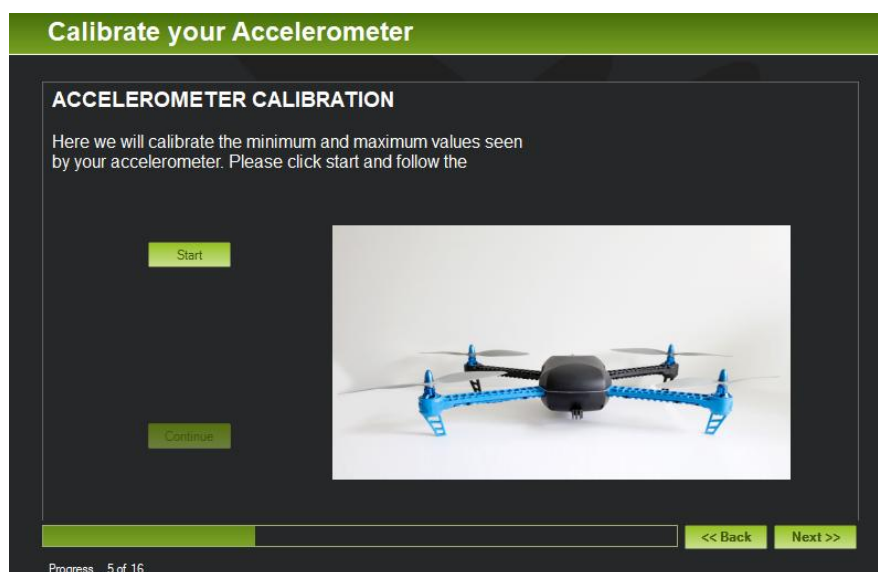


Εικόνα 42: Αρχική οθόνη Mission Planner

6.2.1 Βαθμονόμηση του Επιταχυνσιόμετρου -Accelerometer.

Για να γίνει η αρχικοποίηση αρκεί αν τοποθετήσουμε το Quadcopter σε οριζόντια θέση χωρίς κλίσεις. Μόλις γίνει αυτό πατώντας το κουμπί “Start” αρχίζει η βαθμονόμηση του επιταχυνσιόμετρου. Εν συνεχεία το πρόγραμμα μας ενημερώνει να γυρίσουμε το Quadcopter σε κάθε πλευρά του και να πατήσουμε “Continue”.

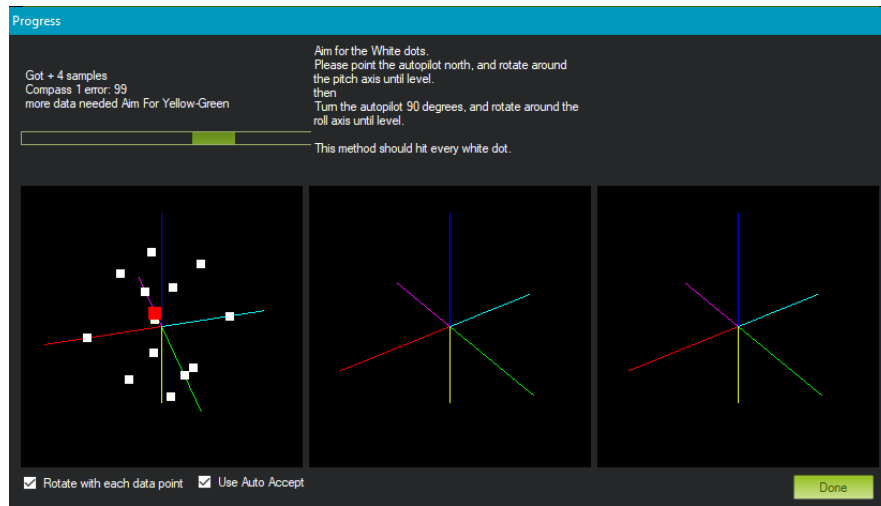
Όταν τελειώσει η διαδικασία της βαθμονόμησης θα μας εμφανίσει το μήνυμα “Succeeded”.



Εικόνα 43: Βαθμονόμηση Επιταχυνσιόμετρου

6.2.2 Βαθμονόμηση της πυξίδας - Compass.

Απαραίτητο βήμα για την ορθή πτήση του Quadcopter, είναι η βαθμονόμηση της πυξίδας.



Εικόνα 44: Βαθμονόμηση πυξίδας

Περιστρέφοντας το Quadcopter κυκλικά, το πρόγραμμα θα βαθμονομήσει την πυξίδα και για τους τρεις (3) άξονες. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία της βαθμονόμησης θα μας εμφανιστεί το μήνυμα “Succeeded”.

6.2.3: Βαθμονόμηση της Τηλεκατεύθυνσης.

Στο σημείο αυτό πρέπει να βαθμονομήσουμε την τηλεκατεύθυνση ώστε να αναγνωρίζει το πρόγραμμα αλλά και το Quadcopter τις μέγιστες τιμές τις τηλεκατεύθυνσης. Η διαδικασία είναι φοβερά απλή. Επιλέγουμε το Radio Calibration από το Initial Setup TAB. Έπειτα πατώντας το κουμπί “Calibrate Radio”, αρχίζουμε και πηγαίνομε όλους τους διακόπτες της τηλεκατεύθυνσης στα ανώτατα και κατώτατα στάδια.



Εικόνα 45: Βαθμονόμηση τηλεκατεύθυνσης

Με την ολοκλήρωση της εγκατάστασης του προγράμματος στον ελεγκτή, πλέον το πρόγραμμα αλλάζει μορφή και μας παρουσιάζονται όλες εκείνες οι καρτέλες που μας εξυπηρετούν για την ορθή και ασφαλή πτήση του Quadcopter.

Στις επόμενες παραγράφους θα αναλύσουμε κάθε μια καρτέλα όσον αφορά την χρησιμότητά και τις λειτουργίες της.

6.3 Οθόνη Δεδομένων Πτήσης - Flightdata.

Στην καρτέλα αυτή (βλέπε παρακάτω εικόνα) υπάρχουν όλες οι πληροφορίες που μας δίνει το Quadcopter μέσω της τηλεμετρίας.

Για παράδειγμα:

- Την ακριβή θέση του στον χάρτη.
- Σε τι ύψος βρίσκεται την δεδομένη στιγμή. [Altitude (m)]
- Την ταχύτητα με την οποία πετάει αυτή την δεδομένη στιγμή. [Ground speed (m/s)].
- Τις μοίρες τις πορείας του σε σχέση με τον βορρά.
- Την απόσταση του από τον επίγειο σταθμό μας, δηλαδή το Laptop μας. (DistToMAV).
- Πληροφορίες για την δρομολογημένη πτήση (Αν υπάρχει).
- Το επόμενο σημείο από το οποίο θα περάσει το Quadcopter (Αν υπάρχει δρομολογημένη πτήση).

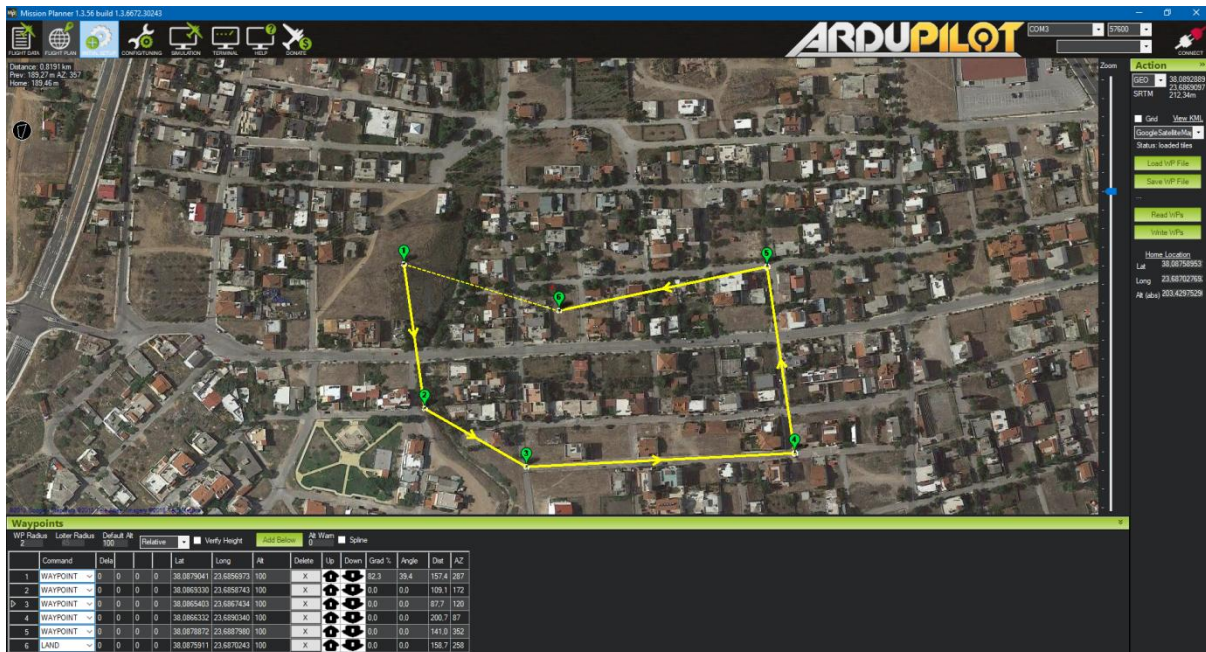


Εικόνα 46: Οθόνη δεδομένων πτήσης

6.4 Οθόνη Προγράμματος Πτήσης.

Στην καρτέλα αυτή υπάρχουν όλες οι λειτουργίες οι οποίες χρησιμοποιούνται για να ορίσουμε στο Quadcopter, ένα σχέδιο πτήσης.

Το να ορίσουμε ένα σχέδιο πτήσης είναι αρκετά απλό και βασίζεται στην θεωρία των Waypoints, αρκεί απλά να επιλέξουμε με το ποντίκι πάνω στον χάρτη τα σημεία από τα οποία θα περάσει το Quadcopter. (Βλέπε παρακάτω εικόνα)



Εικόνα 47: Οθόνη προγράμματος πτήσης

Το πρόγραμμα MissionPlannerόπως αναφέραμε και προηγουμένως χρησιμοποιεί τους χάρτες του GoogleMaps. Επίσης έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει κι άλλους χάρτες. Για παράδειγμα κάποιες από τις διαθέσιμες επιλογές είναι:

- OpenStreetMap.
- OpenCycleMap.
- Bing Map.
- Bing Satellite Map.
- Near Map.
- Ovi Map.

Καθώς έχουμε ορίσει τα σημεία που θα προσπελάσει το Quadcopterέχουμε σχεδόν ολοκληρώσει και το πλάνο πτήσης. Εδώ αξίζει να σημειωθεί πως και τα Waypoints έχουν ιδιότητες. Μπορούμε να ορίσουμε το πρώτο σημείο για παράδειγμα σαν σημείο απογείωσης, το δεύτερο σημείο σαν απλό σημείο προσπέλασης, το τρίτο σαν σημείο προσγείωσης κ.ο.κ.

Παρακάτω θα εξηγήσουμε αναλυτικά τις ιδιότητες των Waypoints.

Waypoints															
WP Radius	Loiter Radius	Default Alt	Absolute		Verify Height	Add Below	Alt Warn	Spline							
2	85	100					0								
	Command	speed m/s	speed m/s					Delete	Up	Down	Grad %	Angle	Dist	AZ	
1	TAKEOFF	0	0	0	0	38,0873468	23,6841363	100	X	⬆️	⬆️	0,0	0,0	150,0	246
2	WAYPOINT	0	0	0	0	38,0867472	23,6840665	100	X	⬆️	⬆️	0,0	0,0	192,1	228
3	DELAY	0	0	0	0	38,0863756	23,6852628	100	X	⬆️	⬆️	0,0	0,0	112,6	112
4	DO_CHANGE_SPEED	0	0	0	0	38,0864854	23,6864215	100	X	⬆️	⬆️	0,0	0,0	208,2	98
5	RETURN_TO_LAUNCH	0	0	0	0	38,0876296	23,6863947	100	X	⬆️	⬆️	0,0	0,0	127,3	359

Εικόνα 48: Διαμόρφωση WayPoints

- Command: με την επιλογή αυτή ορίζουμε τον χαρακτήρα του Waypoint, αν θα είναι για παράδειγμα σημείο έναρξης/απογείωσης, σημείο τερματισμού/προσγείωσης, αν θα πραγματοποιήσει κάποια ενέργεια όπως μια καθυστέρηση ή να αλλάξει ταχύτητα κλπ.
- Speedm/s: ορίζουμε την ταχύτητα του Quadcopter από Waypointσε Waypoint.
- Delete: διαγράφουμε το συγκεκριμένο Waypoint.
- Up/Down: αλλάζουμε την σειρά του Waypoint.
- Grad %: πόσο επί τις εκατό κλίση ώστε να πάρει ύψος το Quadcopter (μπορεί να είναι θετική ή αρνητική).
- Angle: ορίζουμε την κλίση με την οποία πετάει το Quadcopter(μπορεί να είναι θετική ή αρνητική).

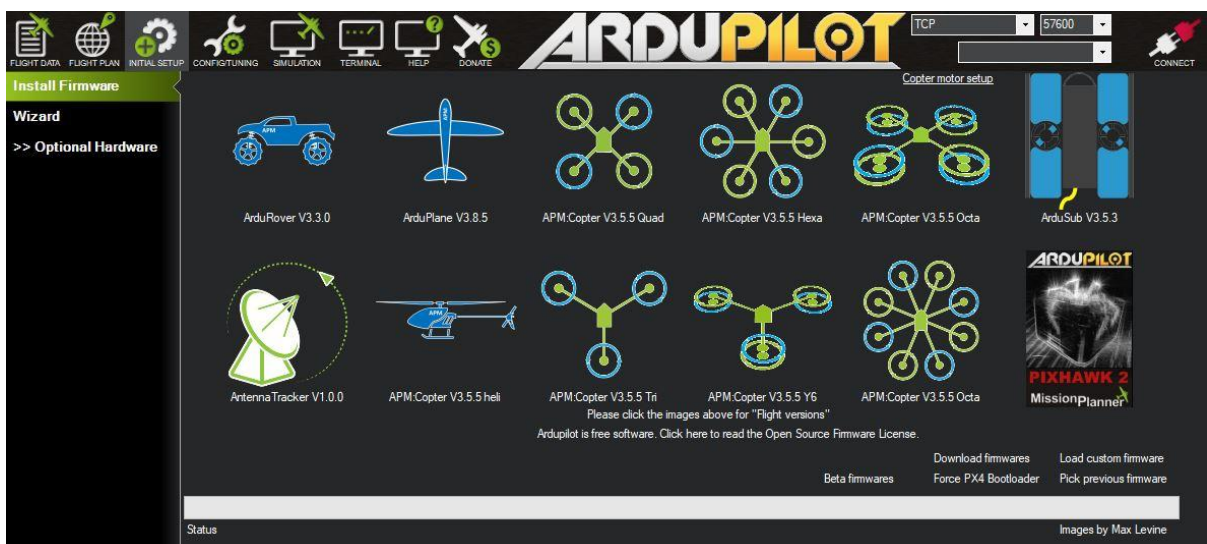
- Distance: η απόσταση από Waypoint σε Waypoint.

Τέλος από την δεξιά στήλη μπορούμε να επιλέξουμε τον χάρτη που θέλουμε να παρουσιάζεται καθώς και να φορτώσουμε στον ελεγκτή μας, κάποιο ήδη υπάρχον σχέδιο πτήσης ή να γράψουμε το ήδη υπάρχον σε κάποιο αρχείο και να το αποθηκεύσουμε στον υπολογιστή μας για μελλοντική χρήση.

6.5 Αρχική Ρύθμιση - Initial Setup.

Η καρτέλα αυτή περιέχει 3 κατηγορίες:

- Εγκατάσταση προγράμματος (Install Firmware): Με την επιλογή αυτή μπορούμε να εγκαταστήσουμε το πρόγραμμα στον ελεγκτή μας επιλέγοντας το τύπο του οχήματος μας.



Εικόνα 49: Οθόνη αρχικής ρύθμισης

- Βοηθός Εγκατάστασης (Wizard): Όπως αναφέραμε προηγουμένως η επιλογή αυτή μας βοηθάει στην βαθμονόμηση της πυξίδας, του GPS, της τηλεκατεύθυνσης καθώς και η ενεργοποίηση της παρακολούθησης της μπαταρίας.

- Προαιρετικές Ρυθμίσεις (OptionalHardware): Τελευταία επιλογή, μας επιτρέπει να ρυθμίσουμε εξωτερικό υλικό το οποίο έχει να κάνει με τα I/O του ελεγκτή. Για παράδειγμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε

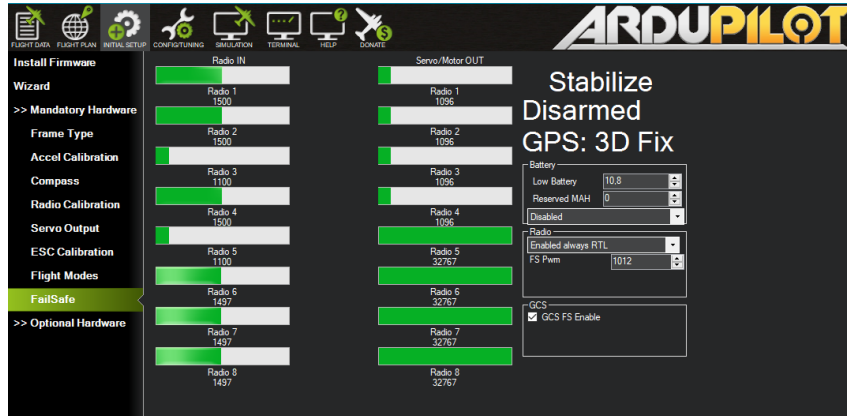


Εικόνα 50: Οθόνη αρχικής ρύθμισης

Bluetooth module για την αποστολή πληροφοριών τηλεμετρίας, καθώς και να επιλέξουμε κάποιο διαφορετικό GPS module κ.α.

6.5.1 Ρύθμιση Fail Safe.

Η πιο σημαντική λειτουργία του Quadcopter μας είναι η ρύθμιση του FailSafe. Τι γίνεται σε περίπτωση που το Quadcopter χάσει την επικοινωνία με την τηλεκατεύθυνση ή ακόμη χειρότερα τι γίνεται σε περίπτωση που τελειώσει η μπαταρία; Το FailSafe είναι ο μηχανισμός που αποτρέπει την εμφάνιση τέτοιων σημαντικών προβλημάτων. Στην περίπτωση που χαθεί η επικοινωνία του Quadcopter με την τηλεκατεύθυνση ενεργοποιείται ο μηχανισμός αυτός και μας δίνει την επιλογή είτε να γυρίσει μόνο του το Quadcopter στο σημείο απ' όπου απογειώθηκε, είτε να προσγειωθεί την δεδομένη στιγμή. Αντίστοιχα αν αντιληφθεί το Quadcopter ότι η μπαταρία έχει φτάσει σε κρίσιμο σημείο, τότε με τον ίδιο τρόπο ενεργοποιείται πάλι ο μηχανισμός αυτός κι επιτρέπει στο Quadcopter να γυρίσει στο σημείο απογείωσης ή να προσγειωθεί.

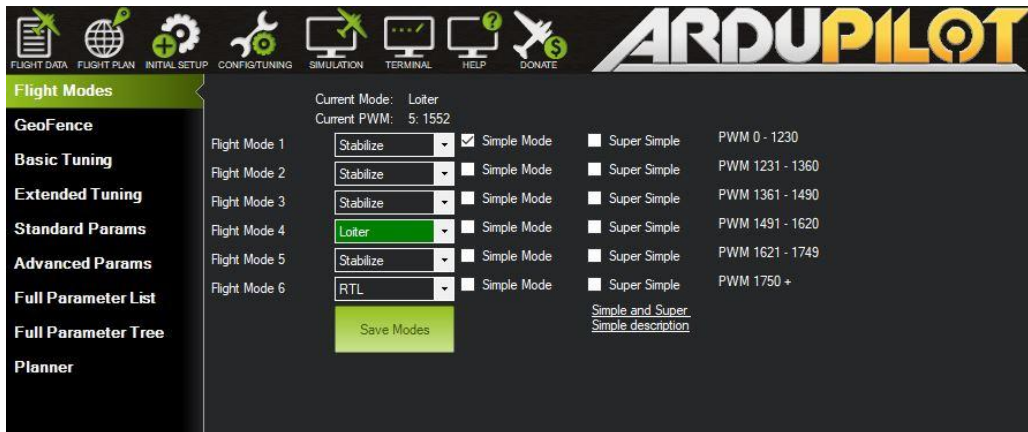


Εικόνα 51 Ρύθμιση Fail Safe

6.6 Διαμόρφωση και Ρυθμίσεις - Config/Tuning.

Στην καρτέλα αυτή βρίσκονται όλες οι ρυθμίσεις που έχουν να κάνουν με το πρόγραμμα MissionPlanner, διάφορες επιμέρους ρυθμίσεις που έχουν να κάνουν με τους ελεγκτές PID του Quadcopter, καθώς και ρυθμίσεις διαφόρων εντολών που δέχεται ο ελεγκτής.

6.6.1 Τρόποι Πτήσεων - FlightModes.



Εικόνα 52: Ρύθμιση τρόπου πτήσης

Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί το Quadcopterna πετάξει είναι είκοσι (20) από τους οποίους οι πέντε (5) είναι οι πιο συνηθισμένοι. Υπάρχουν επιλογές οι οποίες υποστηρίζουν διάφορους τρόπους σταθεροποίησης κατά την πτήση, αυτόνομη πτήση κ.ά., οι οποίοι θα αναπτυχθούν παρακάτω.

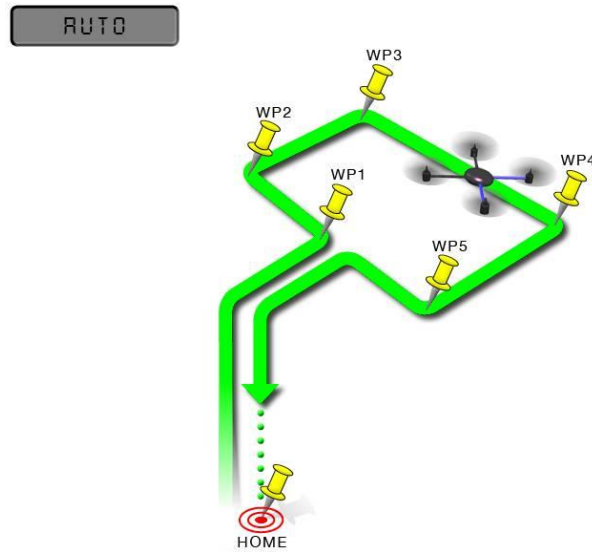
Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και από την παραπάνω εικόνα, ο ελεγκτής μας μπορεί να δεχτεί μέχρι 6 διαφορετικούς τρόπους πτήσης. Η επιλογή γίνεται από την τηλεκατεύθυνση μας, χρησιμοποιώντας ένας διακόπτη τριών θέσεων (FMOD, 0-2) καθώς κι έναν διακόπτη δύο θέσεων (RUD0, 0-1). Αυτό συμβαίνει διότι δεν υπάρχει επιλογέας με έξι θέσεις, οπότε δουλεύει με τον εξής τρόπο: όταν ο διακόπτης RUD0 βρίσκεται στην θέση μηδέν (0), ο επιλογέας FMOD επιλέγει μεταξύ των FlightMode 1,4 & 6, ενώ όταν είναι στην θέση ένα (1), ο επιλογέας FMOD επιλέγει μεταξύ των FlightMode 2,3 & 5.

Εμείς χρησιμοποιούμε τους τρεις που φαίνονται και στην παραπάνω εικόνα (Stabilize, Loiter, RTL).

- Stabilize: Ο τρόπος αυτός επιτρέπει στον χρήστη να χειριστεί το Quadcopter πλήρως χειροκίνητα, αλλά με την εξής βοήθεια, σταθεροποιεί από μόνο του τους άξονες Roll και Pitch.
- Loiter: Ο τρόπος αυτός προσπαθεί αυτόματα να διατηρήσει την παρούσα θέση του στον αέρα. Ο χρήστης μπορεί να επέμβει σε αυτό με τα χειριστήρια και να το κατευθύνει όπου εκείνος θέλει, με την διαφορά ότι μόλις αφήσει τα χειριστήρια, το Quadcopter θα σταθεροποιηθεί στην συγκεκριμένη θέση.
- RTL: Ο τρόπος αυτός (Return to Launch), χρησιμοποιείται μόνο σε περίπτωση που δεν θέλουμε να επαναφέρουμε χειροκίνητα στην θέση από την οποία ξεκίνησε για πρώτη φορά την πτήση του το Quadcopter. Μόλις επιλεγεί από την τηλεκατεύθυνση, το Quadcopter γυρνά στην αρχική του θέση, όπου κι αν αυτό βρίσκεται.

Οι δύο τελευταίες επιλογές πτήσεις χρειάζονται απαραίτητα την συνδρομή του GPS καθώς κλειδώνουν την θέση του Quadcopter την δεδομένη στιγμή.

- AUTO: Ο τρόπος αυτός μας δίνει την επιλογή της αυτόνομης πτήσης, εφόσον έχουμε ορίσει τα σημεία (WayPoints) στην καρτέλα FlightPlan. Με την ενεργοποίηση αυτού του τρόπου το Quadcopter αρχίζει και ακολουθεί το σχέδιο πτήσης που υπάρχει στην μνήμη του, χωρίς ο χρήστης να χρειάζεται να παρέμβει στα χειριστήρια της τηλεκατεύθυνσης.



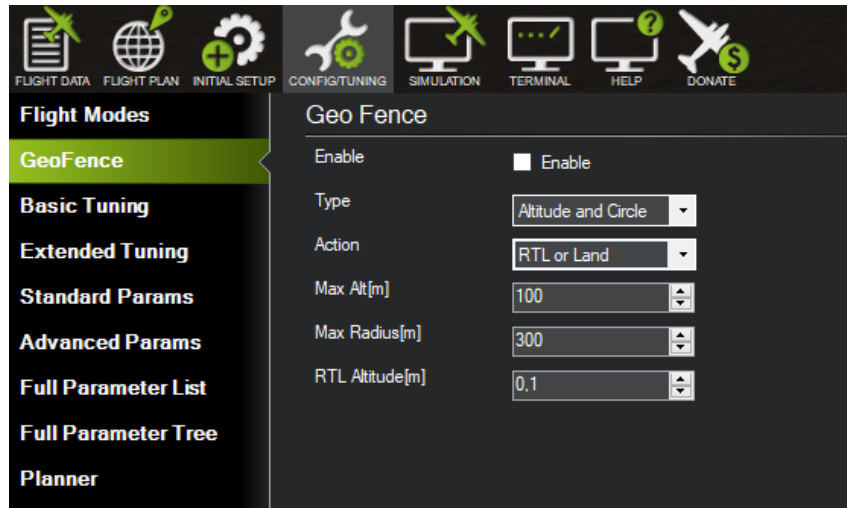
Εικόνα 56: Διαδικασία RTL

6.6.2 Γεω-Φράκτης - GeoFence.

Από τις πιο σημαντικές λειτουργίες είναι η χρήση του Γεω-Φράκτη. Με την λειτουργία αυτή, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να χειρίζεται το Quadcopter μέσα σε έναν εικονικό φράκτη, τον οποίο δεν μπορεί να ξεπεράσει, να πετάξει εκτός αυτού δηλαδή.



Εικόνα 24: Απεικόνιση Γεω-Φράκτη



Εικόνα 57: Ρυθμίσεις Γεω-Φράκτη

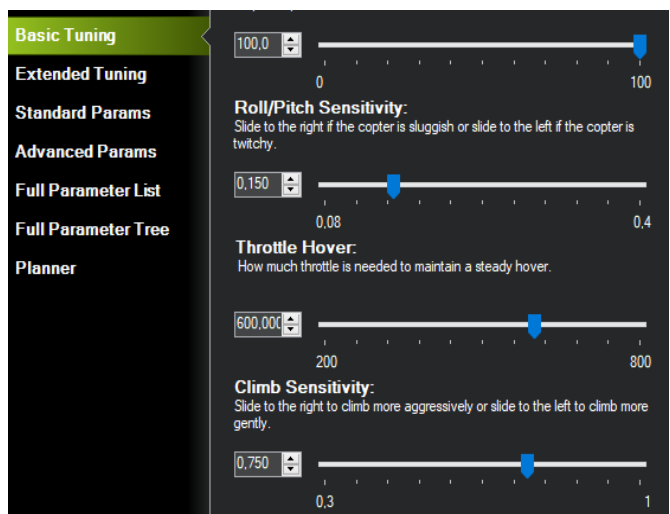
Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την λειτουργία αυτή είναι οι εξής:

- Type: ορίζει το πως περιγράφεται ο εικονικός φράκτης, αν θα έχει ύψος και πλάτος δηλαδή.
- Action: ορίζει τι γίνεται στην περίπτωση που το Quadcopter βρεθεί εκτός ορίων του εικονικού φράκτη.
- Max. Alt. (m) & Max. Radius: ορίζει το μέγεθος του εικονικού φράκτη.
- RTL Altitude (m): Ορίζει το ύψος που θα φτάσει το Quadcopter πριν αρχίσει την πορεία του για την επιστροφή στην αρχική του θέση.

6.6.3 Βασική/Εκτεταμένη Ρύθμιση - Basic/Extended Tuning.

Η λειτουργία αυτή μας επιτρέπει να παραμετροποιήσουμε όλες την μεταβλητές των PIDελεγκτών. Συνήθως οι αρχικές τιμές των PID είναι και οι καταλληλότερες για την πιο ομαλή πτήση του Quadcopter. Αρκετές είναι όμως και οι περιπτώσεις που χρειάζεται να ρυθμιστούν ώστε το Quadcopter να κινείται πιο γραμμικά ή ακόμη και πιο κοφτά, απότομα.

Οι PIDελεγκτές ελέγχουν τις λειτουργίες Roll, Pitch και



Εικόνα 58: Οθόνη βασικών ρυθμίσεων

Yaw.Ανάλογα με τις τιμές που έχουμε δώσει στους ελεγκτές PID, αλλάζει και ο τρόπος που αντιλαμβάνεται τις μεταβολές στους άξονες Roll, Pitch και Yaw.

6.6.4 Πλήρης Λίστα Παραμέτρων - Full Parameter List.

Command	Value	Units	Options	Desc	Fav
ACRO_BAL_PITCH	1		0.3	rate at which pitch angle returns to level in acro mode. A higher value causes the vehicle to return to level faster.	<input type="checkbox"/>
ACRO_BAL_ROLL	1		0.3	rate at which roll angle returns to level in acro mode. A higher value causes the vehicle to return to level faster.	<input type="checkbox"/>
ACRO_EXPO	0.3			Converts pilot roll and pitch into a desired rate of rotation in ACRO and SPORT mode. Higher values mean faster rate of rotation.	<input type="checkbox"/>
ACRO_RP_P	4.5		1 10	Converts pilot roll and pitch into a desired rate of rotation in ACRO, Stabilite and SPORT modes. Higher values mean faster rate of rotation.	<input type="checkbox"/>
ACRO_TRAINER	2		0:Disabled 1:Leveling 2:Leveling and Limited	Type of trainer used in acro mode	<input type="checkbox"/>
ACRO_YAW_P	4.5		1 10	Converts pilot yaw input into a desired rate of rotation in ACRO, Stabilite and SPORT modes. Higher values mean faster rate of rotation.	<input type="checkbox"/>
AHR5_COMP_BETA	0.1		0.001 0.5	This controls the time constant for the cross-over frequency used to fuse AHR5 (airspeed and heading) and GPS data to estimate ground velocity. Time constant is 0.1 seconds. A larger time constant will use GPS data less and a small time constant will use air data less.	<input type="checkbox"/>
AHR5_GPS_GAIN	1		0.0 1.0	This controls how much to use the GPS to correct the attitude. This should never be set to zero for a plane as it would result in the plane losing control in turns. For a plane please use the default value of 1.0.	<input type="checkbox"/>
AHR5_GPS_MINSATS	6		0 10	Minimum number of satellites visible to use GPS for velocity based corrections attitude correction. This defaults to 6, which is about the point at which the velocity numbers from a GPS become too unreliable for accurate correction of the accelerometers.	<input type="checkbox"/>
AHR5_GPS_USE	1		0:Disabled 1:Enabled	This controls whether to use dead reckoning or GPS based navigation. If set to 0 then the GPS won't be used for navigation, and only dead reckoning will be used. A value of zero should never be used for normal flight.	<input type="checkbox"/>
AHR5_ORIENTATION	0		0:None 1:Yaw45 2:Yaw90 3:Yaw135 4:Yaw180 5:Yaw225 6:Yaw270 7:Yaw315 8:Roll180 9:Roll180Yaw45 10:Roll180Yaw90 11:Roll180Yaw135 12:Pitch180 13:Roll180Yaw225 14:Roll180Yaw270 15:Roll180Yaw315 16:Roll90 17:Roll90Yaw45 18:Roll90Yaw90 19:Roll90Yaw135 20:Roll270 21:Roll270Yaw45 22:Roll270Yaw90 23:Roll270Yaw135 24:Pitch90 25:Pitch270 26:Pitch180Yaw90 27:Pitch180Yaw270 28:Roll90Pitch90 29:Roll180Pitch90 30:Roll270Pitch90 31:Roll90Pitch180 32:Roll270Pitch180 33:Roll90Pitch270 34:Roll180Pitch270 35:Roll270Pitch270 36:Roll90Pitch180Yaw90 37:Roll90Yaw270	Overall board orientation relative to the standard orientation for the board type. This rotates the IMU and compass readings to allow the board to be oriented in your vehicle at any 90 or 45 degree angle. This option takes affect on next boot. After changing you will need to re-level your vehicle.	<input type="checkbox"/>
AHR5_RP_P	0.1		0.1 0.4	This controls how fast the accelerometers correct the attitude	<input type="checkbox"/>
AHR5_TRIM_X	-0.02218906	Rad/s	-0.1745 +0.1745	Compensates for the roll angle difference between the control board and the sensor. Positive values will roll the vehicle right.	<input type="checkbox"/>

Εικόνα 59: Πλήρης λίστα παραμέτρων

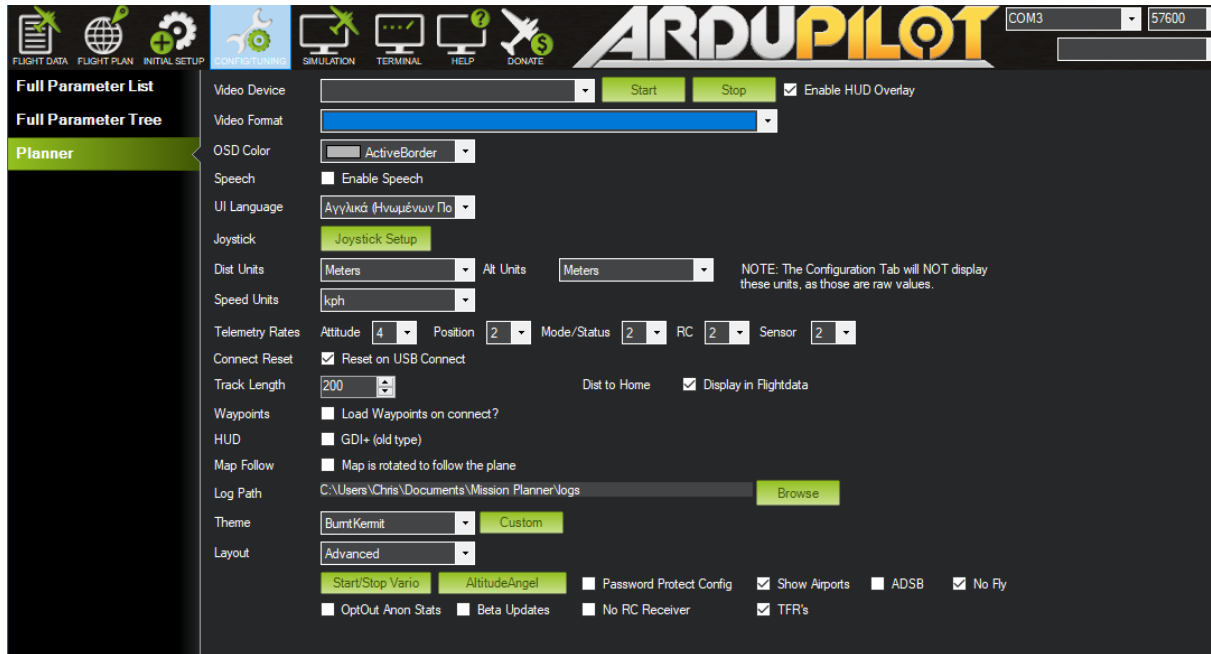
Είναι μια πλήρης λίστα όλων των μεταβλητών που μπορούν να παραμετροποιηθούν, τα οποία φυσικά επηρεάζουν την λειτουργία του Quadcopter. Οι μεταβλητές αποθηκεύονται στην εσωτερική μνήμη του ελεγκτή και είναι προσβάσιμες είτε μέσω της τηλεμετρίας είτε με σύνδεση μέσω καλωδίου USB με τον υπολογιστή.

Από τις πιο βασικότερες μεταβλητές είναι οι εξής:

- **RTL_ALT:** Είναι το ελάχιστο ύψος στο οποίο θα ανέβει ή θα κατέβει το Quadcopter πριν εκτελέσει την κίνηση για την επιστροφή στην αρχική του θέση.
- **RTL_SPEED:** Είναι η ταχύτητα που θα αποκτήσει για την επιστροφή στην αρχική του θέση.
- **FS_GCS_ENABLE:** Ελέγχει τότε θα ενεργοποιηθεί το FailSafe.
- **MAG_ENABLE:** Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την πυξίδα.
- **LAND_SPEED:** Η τιμή της ταχύτητας κατά την προσγείωση.
- **FLTMODE1-6:** Ορίζει τον τρόπο πτήσης ανά επιλογή.
- **FLTMODE_CH:** Ορίζει το κανάλι της τηλεκατεύθυνσης που επιλέγει το FlightMode.

- FRAME_TYPE: Ορίζει σε τι μορφή θα πετάει το Quadcopter.

6.6.5 Ρυθμίσεις του προγράμματος MissionPlanner.



Εικόνα 60: Ρυθμίσεις προγράμματος Mission Planner

Στην τελευταία αυτή επιλογή έχουμε συγκεντρωμένες όλες τις ρυθμίσεις που αφορούν το πρόγραμμα MissionPlanner. Για παράδειγμα μπορούμε να επιλέξουμε την γλώσσα απεικόνισης, σε τι μονάδα μέτρησης θα μετρούνται μεγέθη όπως η ταχύτητα (μίλια/ώρα ή χιλιόμετρα/ώρα), απόσταση (Πόδια ή Μέτρα), ύψος (Πόδια ή Μέτρα), Επίσης μας δίνεται η δυνατότητα, αν έχει εγκατασταθεί κάμερα στο Quadcopter, να καταγράψουμε στον υπολογιστή το τι βλέπει η κάμερα και που θα το αποθηκεύει.

6.7 Προσομοιωτής - Simulation.

Στην καρτέλα αυτή μας δίνεται η δυνατότητα να προσομοιώσουμε μια πτήση του Quadcopter, χωρίς να το χρησιμοποιήσουμε.

Λειτουργεί ακριβώς όπως και στην πραγματικότητα, με την διαφορά ότι πρέπει να επιλέξουμε εμείς το υποτιθέμενο σημείο απογείωσης. Το σχέδιο πτήσης δημιουργείται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που θα δημιουργούταν στην

πραγματικότητα. Πηγαίνοντας στην καρτέλα FlightPlan, φτιάχνουμε ένα σχέδιο πτήσης και το φορτώνουμε στην μνήμη του εικονικού Quadcopter που έχουμε δημιουργήσει. Έπειτα γυρνώντας πίσω στην καρτέλα του προσομοιωτή επιλέγουμε να ξεκινήσει η προσομοίωση.

Αυτό μπορεί να γίνει για να μειώσουμε τις υλικές ζημιές που μπορεί να προκύψουν σε περίπτωση ατυχήματος. Επίσης είναι ο πιο εύκολος τρόπος να ελεγχθούν οι ρυθμίσεις που έχει το Quadcopter μας, ελαχιστοποιώντας τον κάθε κίνδυνο.



Εικόνα 61: Οθόνη προσομοιωτή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, τόσο η μελέτη, όσο και η κατασκευή ενός Quadcopter είναι κάτι απαιτητικό το οποίο χρειάζεται χρόνο να κατανοηθεί σαν αντικείμενο και να φτάσει στην τελική του μορφή. Για να μπορέσουμε να το κατανοήσουμε πλήρως χρειάστηκαν νέες γνώσεις οι οποίες ήταν άκρως απαραίτητες για να μπορέσει να υλοποιηθεί η κατασκευή.

Σε τελικό βαθμό θα μπορούσαμε να πούμε πως:

- Το θεωρητικό μοντέλο αναπτύχθηκε με στόχο την περισσότερο ρεαλιστική προσέγγιση, σε σχέση με το πραγματικό, καθώς ήταν πρακτικά αδύνατο να αναλυθεί.
- Η ανάλυση όλων ηλεκτρονικών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν αναπτύχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνουν κατανοητά χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις.
- Ο έλεγχος των ηλεκτρικών μοτέρ έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργούν όσο το δυνατόν οικονομικότερα, χωρίς περίσσιες δαπάνες σε ενέργεια, καθώς οι PIDελεγκτές χρησιμοποιούσαν τις αρχικές ρυθμίσεις. Λόγω αυτών το Quadcopter φτάνει τις επιθυμητές ταχύτητες χωρίς κόπο και με γνώμονα την πιο ασφαλή και σταθερή πτήση.

7.1 Μελλοντικές Αναβαθμίσεις.

Στην παρούσα πτυχιακή αναπτύχθηκαν όλα εκείνα τα στάδια καθώς κι όλο το θεωρητικό κομμάτι ώστε γίνει δυνατή η κατασκευή ενός Quadcopter από το σημείο μηδέν. Φυσικά όμως τίποτα δεν σταματάει στα όρια που έχει σταματήσει η εργασία αυτή.

Ο κλάδος των Quadcopter και των Drone είναι απεριόριστος και το τεχνολογικό υπόβαθρο για την ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών πολύ μεγάλο.

Επόμενη κίνηση μας θα είναι να αναπτυχθεί ένα πραγματικό μοντέλο του Quadcopter με πραγματικές μετρήσεις.

Επίσης σημαντική εξέλιξη, αυτής της εργασίας και της κατασκευής, θα είναι η προσθήκη κάμερας η οποία θα μας μεταφέρει την εικόνα κατευθείαν στον επίγειο σταθμό. Όπως καταλαβαίνετε είναι πολύ δύσκολο να χειριστούμε το Quadcopter σε απόσταση μεγαλύτερη των 50 μέτρων, καθώς πλέον γίνεται πολύ δύσκολα ορατό.



Εικόνα 62:Quadcopter με κάμερα

Με αφορμή την αναφορά στην χρήση της κάμερας θα πρέπει να αναφερθεί και η δυνατότητα ότι το project αυτό μπορεί να πάει ένα βήμα παραπέρα και να αναπτυχθεί μια κατασκευή η οποία με την χρήση της τεχνολογίας των Quadcopter και την μετάδοση της εικόνας απομακρυσμένα, μια εφαρμογή η οποία θα μπορεί να αναγνωρίζει πιθανές πυρκαγιές σε δασικές περιοχές και περιοχές στις οποίες υπάρχει μεγάλη πιθανότητα πυρκαγιών.

7.2 Βιβλιογραφία – Σχετικά Link.

Τέλος στις παρακάτω σειρές θα βρείτε όλα τα χρήσιμα Link που χρησιμοποιήσαμε για να βρούμε όλες εκείνες τις πληροφορίες που χρειάστηκαν για την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Γενικές Πληροφορίες.

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Ardupilot>
- <http://ardupilot.org/copter/docs/common-mpm25-and-26-overview.html>

Τροφοδοσία.

- <http://ardupilot.org/copter/docs/common-powering-the-mpm2.html>

Σύνδεση.

- <http://ardupilot.org/copter/docs/connecting-the-mpm2.html>

Πυξίδα - Ublox GPS/Compass.

- https://el.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System

Επιταχυνσιόμετρο – Accelerometer.

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer>
- <https://www.dimensionengineering.com/info/accelerometers>

Γυροσκόπιο – Gyroscope.

- <https://el.wikipedia.org/wiki/Γυροσκόπιο>
- <https://learn.sparkfun.com/tutorials/gyroscope>
- <http://www.livescience.com/40103-accelerometer-vs-gyroscope.html>

Βαρόμετρο – Barometer.

- <http://www.takktile.com/main:tech>
- https://el.wikipedia.org/wiki/Υδραργυρικό_βαρόμετρο
- https://el.wikipedia.org/wiki/Μεταλλικό_βαρόμετρο
- https://el.wikipedia.org/wiki/Ατμοσφαιρική_πίεση

Ηλεκτρικά Μοτέρ - Brushed - Brushless DC motor.

- <http://www.rcmod.gr/2013/09/brushed-brushless.html>
- <http://www.learnengineering.org/2014/10/Brushless-DC-motor.html>

- https://en.wikipedia.org/wiki/Brushless_DC_electric_motor
- http://radiocontrol.wikia.com/wiki/Brushless_motor
- <http://www.dynetic.com/brushless%20vs%20brushed.htm>
- http://www.microchip.com/stellent/groups/SiteComm_sg/documents/DeviceDoc/en543041.pdf
- <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/mar/an-introduction-to-brushless-dc-motor-control>

Αισθητήρες Hall.

- <http://www.bars3pro.gr/autoscope/eenchos-exartematon/aistheteres-theses-tachytetas-hall>

Ηλεκτρονικοί Ρυθμιστές Ταχύτητας - ESC'S.

- https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_speed_control

Προπέλες.

- <http://wiki.theuavguide.com/wiki/Propeller>

Πρωτόκολλο UART.

- https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver-transmitter

Σειριακή επικοινωνία με Arduino.

- <https://www.arduino.cc/en/Reference/Serial>

Ασύρματη επικοινωνία με Arduino.

- <http://www.instructables.com/id/Arduino-Wireless-Serial-Communication/>

Τηλεμετρία.

- <https://stackify.com/telemetry-tutorial/>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Telemetry>

Πρόγραμμα Mission Planner.

- <http://ardupilot.org/planner/>
- <http://ardupilot.org/planner/docs/common-connect-mission-planner-autopilot.html>

Τηλεκατεύθυνση - Flight Modes.

- <https://diydrones.com/forum/topics/how-to-6-flight-modes-in-apm-2-5-using-a-devo-10>

APM 2.5 SOURCE CODE.

- <https://github.com/ArduPilot/ardupilot/tree/master/ArduCopter>

