



# Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών

Πτυχιακή–Διπλωματική Εργασία

---

## Κατασκευή μη επανδρωμένου αεροσκάφους με την πλακέτα STM32 DIY Drone with STM32

Όνομα

Σφακιανάκης Νικόλαος

A.M.

71346680

Εξάμηνο

13ο

Αθήνα

Νοέμβριος 2021

Έγκριση ανάληψης Διπλωματικής Εργασίας από την Συνέλευση του Τμήματος

Αθήνα Ιούλιος 2021

Κατασκευή μη επανδρωμένου αεροσκάφους με την πλακέτα STM32

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Επώνυμο	Όνομα	Βαθμίδα/Ιδιότητα	Ψηφιακή Υπογραφή
Βογιατζής	Ιωάννης		
Γιαννακόπουλος	Παναγιώτης		
Φατούρος	Σταύρος		

## Δήλωση Συγγραφέα Πτυχιακής/Διπλωματικής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σφακιανάκης Νικόλαος του Χρήστου, με αριθμό μητρώου 71346680 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

**Σφακιανάκης Νικόλαος**

(Υπογραφή)



Ονοματεπώνυμο /Ιδιότητα

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της Διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Ιωάννη Βογιατζή για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας το θέμα της εργασίας και τον κύριο Δημήτρη Ψιλιά για την αμέριστη βοήθεια του, οποιαδήποτε στιγμή την είχα ανάγκη. Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω όλα τα άτομα που ήταν κοντά μου από την πρώτη στιγμή. Όλο αυτό το διάστημα υλοποίησης της εργασίας μου, έμαθα πολλά και αποκόμισα γνώσεις που σίγουρα θα φανούν χρήσιμες στο μέλλον.

## Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή γίνεται λόγος για την κατασκευή ενός τετρακόπτερου από το μηδέν, με βασικό πυρήνα την πλακέτα STM32. Σε πρώτη φάση γίνεται μια εισαγωγή στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη και στην έννοια του ορισμού UAVs. Ακολουθεί μια αναδρομή στο παρελθόν με τα σημαντικότερα ιστορικά γεγονότα σε σχέση με το πως ξεκίνησε η ιδέα των μη επανδρωμένων και πως έχει εξελιχθεί μέχρι και σήμερα. Εν συνεχεία αναλύονται κάποια από τα πεδία εφαρμογής και ο τρόπος λειτουργίας των drones. Φυσικά υπάρχει ξεχωριστό κεφάλαιο για το STM32 που αποτελεί και την βασική ιδέα της πτυχιακής. Φτάνοντας στα τελευταία κεφάλαια αναλύονται όλα εκείνα τα βήματα που είναι απαραίτητα για το software και hardware κομμάτι του τετρακόπτερου. Επίσης, παρέχεται ένα μικρό φωτογραφικό υλικό από όλη την διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής και μερικά χρήσιμα συμπεράσματα.

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή .....	8
1.1 Ορισμός-Λεπτομέρειες .....	8
2. Ιστορική Αναδρομή .....	10
3. Πεδία εφαρμογών .....	13
3.1 Εκτίμηση βλαβών και επιπτώσεων - Χαρτογράφηση .....	14
3.2 Δασικές Πυρκαγιές .....	14
3.3 Ασφάλεια .....	15
3.4 Υγεία .....	16
4. Αρχές Λειτουργίας .....	17
4.1 Αρχές πτητικής λειτουργίας τετρακόπτερου .....	17
4.2 Άξονες Περιστροφής .....	19
4.3 Pitch .....	20
4.4 Yaw .....	20
4.5 Roll .....	20
5. STM32 .....	20
5.1 Blue Pill .....	21
6. Αισθητήρες .....	25
6.1 Γυροσκόπιο .....	25
6.2 Βαρόμετρο .....	25
6.3 GPS .....	26
7. Hardware .....	27
7.1 Frame (Πλαίσιο) .....	27
7.2 Κινητήρας .....	28
7.3 Έλικες-Προπέλες .....	29
7.4 ESCs .....	30
7.5 Πομπός Δέκτης (Remote Controller) .....	31
7.6 Μπαταρία .....	33
8. Flight Controller .....	35
9. Εισαγωγή Λογισμικού (Firmware) .....	36
9.1 Ardupilot .....	37
9.2 LibrePilot .....	37
9.3 BetaFlight .....	38
10. Διαδικασία κατασκευής .....	39
1. ΠΛΑΙΣΙΟ (FRAME) .....	39
2. ESC (Electric Speed Controller) .....	40

<b>3. ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ (Motor)</b> .....	42
<b>4. ΠΡΟΠΕΛΕΣ</b> .....	43
<b>5. ΜΠΑΤΑΡΙΑ</b> .....	44
<b>6. ΠΟΜΠΟΣ – ΔΕΚΤΗΣ (TRANSMITTER - RECEIVER)</b> .....	46
<b>7. ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΠΤΗΣΗΣ (FLIGHT CONTROLLER)</b> .....	48
<b>11. Επιλογή λογισμικού</b> .....	51
<b>Βήμα 1<sup>ο</sup></b> .....	51
<b>Βήμα 2<sup>ο</sup></b> .....	52
<b>Βήμα 3<sup>ο</sup></b> .....	53
<b>Βήμα 4<sup>ο</sup></b> .....	53
<b>Βήμα 5<sup>ο</sup></b> .....	54
<b>Βήμα 6<sup>ο</sup></b> .....	55
<b>Βήμα 7<sup>ο</sup></b> .....	56
<b>12. Κόστος κατασκευής</b> .....	57
<b>Τεχνικές δυσκολίες – Προβληματισμοί</b> .....	59
<b>Συμπεράσματα</b> .....	60
<b>Φωτογραφικό Υλικό</b> .....	61
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	64

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

## 1. Εισαγωγή

Η ακόλουθη πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τον ρόλο και την κατασκευή των μη επανδρωμένων αεροσκαφών ή αλλιώς Drones. Η ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας είχε στόχο αρχικά την εξυπηρέτηση στρατιωκών αναγκών, ενώ πλέον έχει μετατραπεί και σε ένα εμπορικό προϊόν τόσο για επαγγελματική όσο και για ερασιτεχνική χρήση. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAVs) αποτελούν μια καινοτομία, προσφέροντας υψηλή ανάλυση και χαρτογράφηση, επιτήρηση μεγάλων και δυσπρόσιτων χώρων, δημιουργία χωρικών βάσεων δεδομένων, με χαμηλό κόστος και με ελάχιστο πιθανό κίνδυνο. Ενώ ταυτοχρόνως χαρίζουν μοναδικές κινηματογραφικές λήψεις, αναβαθμίζουν την ποιότητα περιεχομένου σε διάφορα μέσα ενημέρωσης και ψυχαγωγίας.

### 1.1 Ορισμός-Λεπτομέρειες

Μη επανδρωμένο αεροσκάφος ονομάζεται κάθε αεροσκάφος που ελέγχεται είτε από ένα αυτόνομο σύστημα πλοήγησης, είτε μέσω τηλεκατεύθυνσης, χωρίς την φυσική παρουσία πιλότου. Ο όρος αυτός προέρχεται από τον αγγλικό όρο Unmanned Aerial Vehicles (UAV) ή Unmanned Aerial System (UAS). Ωστόσο, συχνά χρησιμοποιείται ο όρος Drones για την αναφορά του αεροσκάφους. Τα UAVs ανάλογα με την δομή, την χρήση και φυσικά το σύστημα ελέγχου τους χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες: Τα UAVs σταθερής πτέρυγας, τα οποία μοιάζουν αρκετά με αεροπλάνο. Οι πτέρυγες συμβάλλουν στην απογείωση τους με την χρήση του ανέμου δίνοντας μεγάλη ευελιξία στον χειριστή. Λόγω της δομής τους επιτυγχάνεται η μεταφορά μεγάλου εξοπλισμού και για αρκετά μακρινές αποστάσεις. Μειονέκτημα αποτελεί η αδυναμία σταθερής πτήσης και η έλλειψη ακρίβειας θέσης.





*Εικόνα 1 UAV σταθερής πτέρυγας*

Τα UAVs με περιστρεφόμενους έλικες, τα οποία έχουν κοινά χαρακτηριστικά με ελικόπτερα. Τα Drones αυτά χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα τον αριθμό των ελίκων που διαθέτουν, σε τρικόπτερα, τετρακόπτερα, εξακόπτερα ακόμη και οκτακόπτερα. Οι έλικες αυτοί είναι τοποθετημένοι περιμετρικά από το κύριο σκελετό του drone. Αξίζει να αναφερθεί, ότι έχουν μικρό όγκο προσφέροντας μεγάλη ευελιξία στον χρήστη, ο οποίος κατέχει έτσι τον απόλυτο έλεγχο χωρίς την ανάγκη ύπαρξης συγκεκριμένων δεξιοτήτων. Έπιπλέον, μπορούν και απογειώνονται πιο εύκολα από τα UAVs σταθερής πτέρυγας, λόγω των περιστρεφόμενων ελίκων. Μειονέκτημα αυτών είναι η αυτονομία της μπαταρίας, που συνήθως στα εμπορικά drones διαρκεί από 20 μέχρι και 30 λεπτά, ενώ στα στρατιωτικά μπορεί να φτάσει ακόμη και στα 40 λεπτά. Φυσικά λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας, χρόνο με το χρόνο το μειονέκτημα αυτό όλο και μειώνεται.



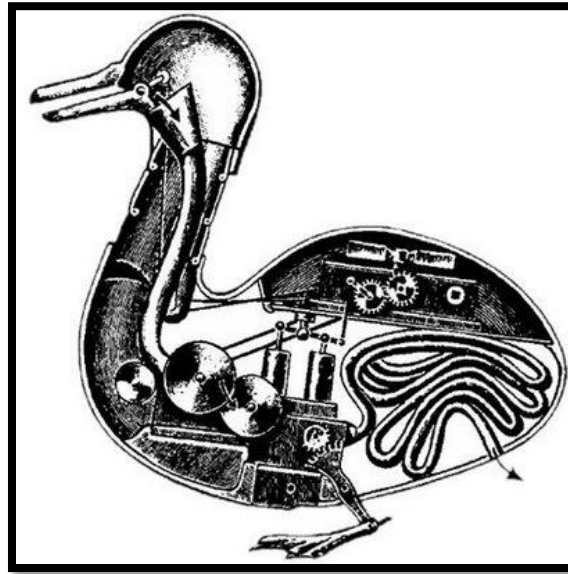
*Εικόνα 2 UAV με περιστρεφόμενες έλικες*

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### 2. Ιστορική Αναδρομή

Η ιδέα ανάπτυξης αυτόνομων ιπτάμενων μηχανών, ξεκίνησε περίπου το 400 π.Χ. στην Ελλάδα και στην Κίνα. Δημιουργοί της ιδέας αυτής ήταν ο Έλληνας φιλόσοφος Πυθαγόρας και ο μαθηματικός Αρχύτας από τον Τάραντα.

Το 425π.Χ. ο μαθηματικός Αρχύτας κατασκεύασε το πρώτο μηχανικό πουλί το οποίο και ονόμασε περιστέρι. Ήταν φτιαγμένο από ξύλο και είχε τοποθετημένο στο στομάχι του ένα μηχανισμό που μπορούσε να πετάξει.



*Εικόνα 3 Το πρώτο UAV, Αρχύτας από τον Τάραντα*

Την περίοδο αυτή η Κίνα κάνει τις πρώτες προσπάθειες για κάθετες πτήσεις, κατασκευάζοντας χαρταετούς και μπαλόνια, τα οποία πετούσαν με την χρήση ζεστού αέρα. Ο λόγος δημιουργίας των παραπάνω ήταν κυρίως στρατιωτικός.

Ο Λεονάρντο Ντα Βίντσι, το 1483, βασισμένος στην βίδα νερού κατασκεύασε αεροσκάφη ικανά να πετάξουν χρησιμοποιώντας την κάθετη δύναμη, τα οποία θεωρήθηκαν από πολλούς ο πρόγονος των σημερινών ελικοπτέρων. Παρότι, τα αεροσκάφη αυτά στηρίζονταν στην αρχή της αεροδυναμικής, δεν διέθεταν την κατάλληλη πηγή ενέργειας για να απογειωθούν.

Λίγο αργότερα το 1754 ο Μηχαήλ Λομονόσοφ σχεδίασε μια αξονική πτερωτή και το 1783 ο Λανουά κατασκεύασε μια προπέλα με βάση την κινεζική ιδέα.

Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως όμοια με άλλα τεχνολογικά επιτεύγματα έτσι και τα Drones έχουν στρατιωτικές ρίζες. Η πρώτη καταγεγραμμένη χρήση ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους χρονολογείται στις 22 Αυγούστου του 1849, σε μια μάχη όπου οι Αυστριακοί επιτέθηκαν στην Βενετία με μη επανδρωμένα αερόστατα, τα οποία μετέφεραν μεγάλες ποσότητες εκρηκτικών. Αν και η πλειονότητα αυτών έφεραν τα επιθυμητά αποτελέσματα βομβαρδίζοντας την Δημοκρατία της Βενετίας, κάποια άλλα λόγω των ανέμων επέστρεψαν πίσω στις Αυστριακές γραμμές.

Η κατασκευή των πρώτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών χρονολογείται στις αρχές της δεκατίας του 1900, και πιο συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια του Α' Παγκοσμίου Πολέμου. Πρωτοπόρο χρησιμοποιώντας τεχνικές ραδιοελέγχου, ήταν το Ruston Proctor Aerial Target του 1916.



*Εικόνα 4 Ruston Proctor Aerial Target*

Το Νοέμβριο του 1917 το Automatic Airplane απογειώθηκε για λογαριασμό των ΗΠΑ γεγονός που οδήγησε το στρατό να κατασκευάσει το πρώτο αεροπλάνο διπλής όψης γνωστό και ως Bug Kettering. Αν και η επαναστατική τεχνολογία που έφερε το Bug ήταν επιτυχημένη, δεν ήταν έτοιμο την περίοδο του πολέμου.

Μετά τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο έγινε η εκτόξευση των πρώτων πυραύλων. Μεταξύ αυτών, το Larynx, ένας κατευθυνόμενος πύραυλος που μπορούσε να εκτοξευθεί από το πολεμικό πλοίο με την χρήση αυτόματου πιλότου. Δοκιμάστηκε από το Βασιλικό Ναυτικό την περίοδο 1927 και 1929. Το 1931 αναπτύχθηκε από τους Βρετανούς το ραδιοελεγχόμενο αεροσκάφος στόχου 'Fairey Queen', κατασκευάζοντας ένα μικρό σύνολο τριών αεροσκαφών στόχου 'DH.82B' Queen Bee. Το 1936 χρησιμοποιείται ο όρος "drone" για να περιγράψει τα ραδιοελεγχόμενα αεροσκάφη στόχους.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας των Drones συνεχίζεται κατά την διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, όταν ο Ρέτζιναλτ Ντένι κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπήρχε μεγάλη ζήτηση ραδιοελεγχόμενων αεροσκαφών χαμηλού κόστους, τα οποία θα ήταν χρήσιμα για την εκπαίδευση οπλιτών αντieroπορικών πυρών. Έτσι, το 1935 παρουσίασε ένα πρωτότυπο drone στόχο, με την ονομασία RP-1. Φυσικά και ο Ντένι δεν αρκέστηκε μόνο στο RP-1 και παρουσίασε μια σειρά τροποποιημένων αεροσκαφών RP-3 και RP-4. Περίπου 15.000 αεροσκάφη Radioplane OQ-2 πουλήθηκαν στο στρατό κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Την ίδια χρονική περίοδο, εμφανίζεται και το πρώτο όπλο με σύστημα τηλεχειρισμού το Fritz X το οποίο αποτέλεσε και το πρόγονο των σύγχρονων αντιτορπιλικών πυραύλων.

Μια από τις σημαντικότερες καινοτομίες όσον αναφορά την στρατιωτική χρήση των Drones είναι η εμφάνιση του MQ-1 Predator το 1995. Το Predator παρείχε την δυνατότητα ελέγχου



εξ' αποστάσεως από δορυφορικό αναμεταδότη, ενώ έφτανε μέχρι και 460 μίλια μακριά από το σταθμό εκτόξευσης για έως και 14 ώρες συνεχόμενα.

Λίγα χρόνια αργότερα, η FFA εξέδωσε τις πρώτες εμπορικές άδειες χρήσης Drone τόσο για καταναλωτές όσο και για επαγγελματίες. Πιο συγκεκριμένα, το 2010 η γαλλική εταιρεία Parrot κυκλοφορεί το Parrot AR Drone, το πρώτο Drone που μπορούσε να ελέγχεται από ένα smartphone μέσω Wi-Fi, αυτό είχε ως συνέπεια την τεράστια εξέλιξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Φτάνοντας πλέον στο σήμερα, είναι μία από τις πληρέστερες τεχνολογίες, που κερδίζουν την αποδοχή του κόσμου, αυξάνοντας διαρκώς την ζήτηση. Ηγέτης της αγοράς αποτελεί η κινεζική εταιρία DJI, η οποία κάνει θραύση στο τομέα αυτό, με Drones ικανά να παρέχουν σε επαγγελματίες και μη, καταγραφή υψηλής ανάλυσης, μεγάλη αυτονομία μπαταρίας, μεγάλο εύρος ζώνης και φυσικά άνεση και ευελιξία στο τρόπο χειρισμού.



*Εικόνα 5 Parrot AR Drone*

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### 3. Πεδία εφαρμογών

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια, έχοντας τεράστιες δυνατότητες και πολλαπλά πεδία εφαρμογής στον τομέα της ασφάλειας, της διαχείρισης καταστροφών, της έρευνας και διάσωσης, και άλλων σημαντικών λειτουργιών. Γι' αυτό άλλωστε υπάρχει και ραγδαία αύξηση στη χρήση των

Drones από διάφορους φορείς, επιχειρήσεις, οργανισμούς κλπ. Οι πολλές δυνατότητες που έχουν, όπως η αντοχή σε ακραίες καιρικές και γεωγραφικές συνθήκες, η συλλογή δεδομένων, το προσιτό κόστος, η αποδοτικότητα, αποτελούν τους κυριότερους λόγους απήχησης.

### 3.1 Εκτίμηση βλαβών και επιπτώσεων - Χαρτογράφηση

Σημαντικότερη εργασία που επιτελείται με τη χρήση των Drones είναι η εναέρια επιτήρηση μεγάλων και δυσπρόσιτων για τον άνθρωπο περιοχών καθώς και η εναέρια χαρτογράφηση, με τη δημιουργία χαρτών υψηλής ανάλυσης για τις πληγείσες, από διάφορες φυσικές και μη καταστροφές, περιοχές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να γίνουν κατανοητές οι επιπτώσεις καταστροφής στις περιοχές αυτές, προκειμένου να γίνουν άμεσα οι όποιες ενέργειες αποκατάστασής τους.

Πιο συγκεκριμένα τα drones παρέχουν:

- Επιλογή κατάλληλων και ασφαλών χώρων για τη στέγαση των πληγέντων
- Παράδοση προμηθειών πρώτης ανάγκης και όχι μόνο
- Επιτήρηση περιοχών που εκκενώθηκαν προκειμένου να διασφαλιστεί η αποφυγή ληλασιών

Με την χρήση των παραπάνω οι φορείς που έχουν αναλάβει την διαχείριση των πληγέντων περιοχών, θα μπορούν να καθορίσουν την έκταση της καταστροφής, εντοπίζοντας τις βλάβες και αξιολογώντας τον εκτιμώμενο χρόνο αποκατάστασής τους. Το διαθέσιμο φωτογραφικό υλικό, θα αξιοποιηθεί για κρατικές επιχορηγήσεις ανακατασκευής κατεστραμμένων περιοχών και εκτιμήσεις χρηματικών αποζημιώσεων. Βεβαίως, το πιο σημαντικό είναι και η διάσωση ανθρώπινων ζωών.

### 3.2 Δασικές Πυρκαγιές

Σημαντικό ρόλο έχουν και στην αντιμετώπιση δασικών πυρκαγιών, τόσο στην ανίχνευση και εντοπισμό της πυρκαγιάς όσο και στην παρακολούθηση και τον έλεγχο των αναζωπυρώσεων. Κάθε χρόνο σε όλες τις χώρες του πλανήτη, προκαλούνται τεράστιες δασικές καταστροφές από πυρκαγιές, η άμεση αντιμετώπιση των οποίων αποτελεί ζωτικής σημασίας. Οι πυροσβέστες δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν την κατάσταση αυτή μόνοι τους, αλλά με τα Drones να επεμβαίνουν δυναμικά παρέχοντας ενημέρωση και πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξη της πυρκαγιάς. Πιο συγκεκριμένα εξάγονται πληροφορίες για το σχήμα και τη θέση μετώπου πυρκαγιάς, τον ρυθμό που εξαπλώνεται και το μέγιστο ύψος της φλόγας.



*Εικόνα 6 Drones αντιμετώπιση με τις φλόγες*

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει μεγάλες προσπάθειες υποστήριξης πυροπροστασίας με την χρήση των Drones. Πιο συγκριμένα οι Kontitsis et al. (2004) σχεδίασαν ένα drone ενσωματώνοντας αισθητήρες με υπέρυθρη όραση και γενετικό αλγόριθμο για την ανίχνευση δασικών πυρκαγιών εκπέμποντας σήμα συναγερμού. Φυσικά, πολλοί φορείς έχουν αναλάβει να αναπτύξουν παρόμοια projects που εξελίσσονται χρόνο με το χρόνο αντιμετωπίζοντας αποτελεσματικότερα και πιο έγκυρα πυρκαγιές μεγάλης έκτασης.

### 3.3 Ασφάλεια

Μπορεί όταν ακούμε την λέξη Drone να μας έρχονται στο μυαλό εικόνες και πλάνα από όμορφα μέρη, όμως σίγουρα τα Drones μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά ακόμη και στον τομέα της ασφάλειας. Συγκεκριμένα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην επιτήρηση οδικού δικτύου κυκλοφορίας οχημάτων, στην πρόληψη της εγκληματικότητας, στην επιτήρηση θαλάσσιων περιοχών προστατεύοντας θάλασσες και ακτές. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν και μεταδίδουν ζωντανή εικόνα σε δύσβατες περιοχές και με επικίνδυνες καιρικές συνθήκες εκμηδενίζοντας τις πιθανότητες απώλειας ανθρώπινης ζωής, με το ελάχιστο πάντα δυνατό κόστος (αν αναλογιστεί κανείς το πιθανό κόστος με τα συμβατικά μέσα έρευνας όπως τα ελικόπτερα).





*Εικόνα 7 Τα Drones επιτηρούν δυσπρόσιτα μέρη*

### 3.4 Υγεία

Η εξέλιξη και η ανάπτυξη αυτής της καινοτόμας τεχνολογίας δεν θα μπορούσε να μην συμβάλλει και στην διάσωση ανθρώπινων ζωών. Μόνο για το έτος 2018 τουλάχιστον 65 άνθρωποι σώθηκαν από σίγουρο θάνατο, ενώ ο αριθμός αυτός ολοένα και αυξάνεται χρόνο με τον χρόνο όπως αναφέρει η εταιρία DJI. Κοντά στο 2019, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η διάσωση τεσσάρων ατόμων σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις ανεβάζοντας τον συνολικό αριθμό των ατόμων που διασώθηκαν στους 133.

Τα Drones δεν βοηθούν μόνο στην διάσωση ανθρώπων, αλλά προστατεύουν και ένα σύνολο ατόμων που επεμβαίνουν σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως είναι οι πυροσβέστες, αστυνομικοί, εθελοντές. Ένα περιστατικό που αξίζει να σημειωθεί, έλαβε χώρα στην επαρχία Οντάριο του Καναδά, όταν μια μηχανή χιονιού που κινούνταν πάνω από μια λίμνη έπεσε στον πάγο κατά τη διάρκεια της καταιγίδας. Η νοσοκομειακή υπηρεσία Renfrew County ανέπτυξε τότε ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος και ανακάλυψε ότι η μηχανή αυτή είχε εξαφανιστεί κάτω από τον πάγο, επιβεβαιώνοντας στο πλήρωμα ότι η αποστολή αυτή θα μπορούσε να περιμένει μέχρι οι καιρικές συνθήκες να το επιτρέψουν. Ο επικεφαλής της παραϊατρικής υπηρεσίας είχε δηλώσει πως πίστευε ακράδαντα ότι το μη επανδρωμένο είχε αποτρέψει περαιτέρω τραυματισμούς ή πιθανούς θανάτους.



Αν και τα Drones έχουν σώσει πολλές ανθρώπινες ζωές, πολλά απ’ αυτά τα περιστατικά δεν αναφέρονται από τα μέσα ενημέρωσης. Με τα Drones να εξελίσσονται όλο και περισσότερο, την ζήτηση να μεγαλώνει συνεχώς, ποιος ξέρει πόσες ακόμα ζωές θα σώσουν στο μέλλον.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### 4. Αρχές Λειτουργίας

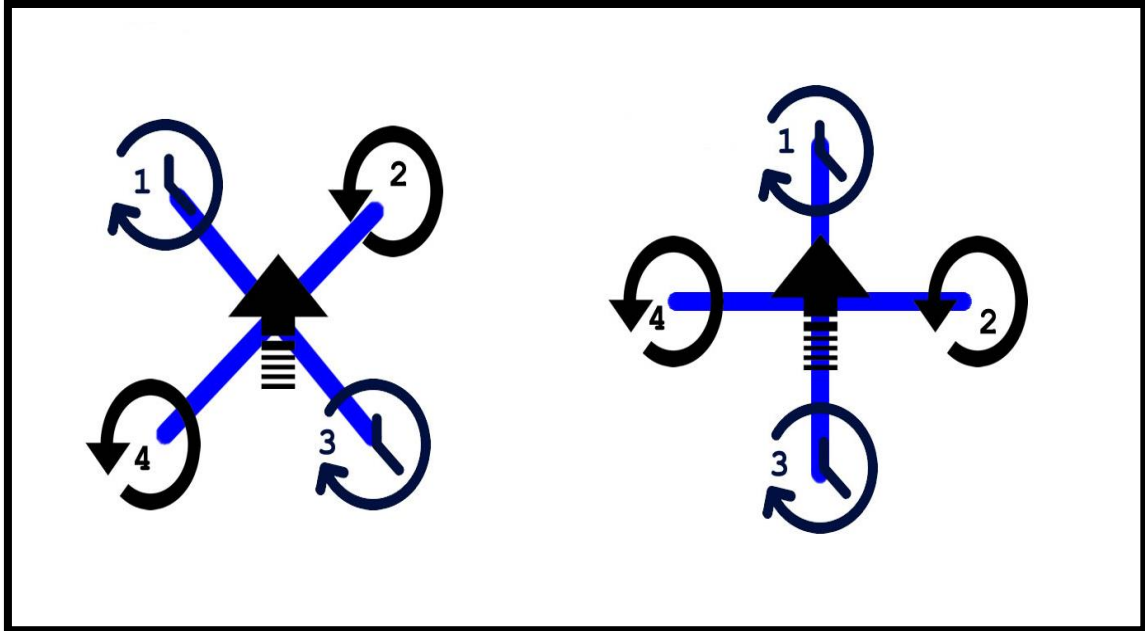
Όπως είναι γνωστό, τα Drones και όλα τα ιπτάμενα μέσα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η παραγωγή της άντωσης. Διακρίνονται σε αεροσκάφη σταθερών πτερυγίων και αεροσκάφη περιστρεφόμενων στροφειών (με τα οποία ασχολούμαστε). Τα Drones με τέσσερις έλικες (τετρακόπτερα) είναι και αυτά που έχουν κατακλύσει την αγορά. Τα τετρακόπτερα είναι αρκετά εύκολο να πετάξουν προς οποιαδήποτε κατεύθυνση καθώς και να αιωρούνται με ακρίβεια και σταθερότητα χάρη στον εξελιγμένο ηλεκτρονικό εξοπλισμό που διαθέτουν. Μια σημαντική διαφορά από τα ελικόπτερα, είναι ότι οι έλικες τους δεν είναι στροφεία, δηλαδή δεν μπορούν να αλλάξουν την γωνία περιστροφής και έτσι οι αλλαγές γίνονται μόνο με την διαφοροποίηση στην ταχύτητα των κινητήρων.

#### 4.1 Αρχές πτητικής λειτουργίας τετρακόπτερου

Τα τετρακόπτερα αποτελούνται από τέσσερα στροφεία (ρότορες) τοποθετημένους σε ίσες αποστάσεις και συμμετρικά κατανεμημένα από το κέντρο μάζας του. Ο έλεγχος πραγματοποιείται με αλλαγή ταχύτητας του κάθε έλικα, οι οποίοι λειτουργούν με κίνηση από ισάριθμα ηλεκτρικά μοτέρ. Ο έλεγχος ενός τετρακόπτερου είναι αρκετά εύκολος, καθώς η κίνηση του δεν εξαρτάται από γυροσκοπικά φαινόμενα, αφού τα δύο στροφεία στρέφονται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού (δεξιόστροφα), ενώ τα άλλα δύο στρέφονται αντίθετα (αριστερόστροφα). Ανάλογα με την κατεύθυνση πτήσης έχουμε και δύο σχηματισμούς-διατάξεις, την διάταξη ‘+’ και την διάταξη ‘X’ όπως φαίνεται και στο σχήμα.

Και στις δύο διατάξεις οι κινητήρες 1 και 3 περιστρέφονται δεξιόστροφα, ενώ οι άλλοι δύο κινητήρες 2 και 4 περιστρέφονται αριστερόστροφα. Οι έλικες 1 και 3 έχουν αντίθετη κλίση από τους έλικες 2 και 4, αφενός για να δίνουν ώθηση προς την ίδια κατεύθυνση και αφετέρου για να αναιρούν τυχόν γυροσκοπικά φαινόμενα. Όταν αλλάζει η ταχύτητα

αλλάζουν και οι δυνάμεις ώθησης με αποτέλεσμα την παραγωγή κίνησης, ενώ αυξάνοντας ή μειώνοντας την ταχύτητα όλων των κινητήρων το τετρακόπτερο κινείται κάθετα.

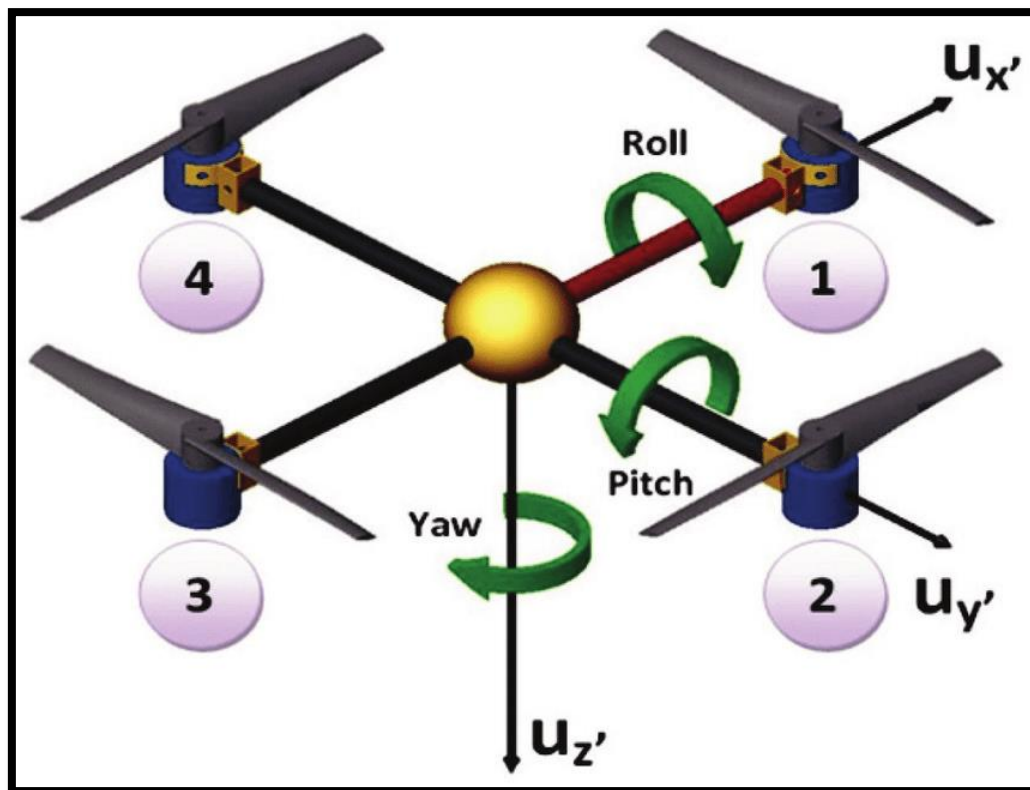


Εικόνα 8 Διάταξη 'X' και '+'

Ένα τετρακόπτερο μπορεί να κινηθεί σε 3 βασικές κατευθύνσεις, εμπρός-πίσω, δεξιά-αριστερά, πάνω-κάτω. Πιο συγκεκριμένα, στην διάταξη 'X' που φαίνεται παραπάνω, όταν δίνεται η εντολή για κίνηση προς τα εμπρός, η ταχύτητα των κινητήρων 1 και 2 μειώνεται ενώ αντίθετα η ταχύτητα των κινητήρων 3 και 4 αυξάνεται. Επιπλέον, για την κίνηση προς τα δεξιά, πραγματοποιείται αύξηση ταχύτητας στους κινητήρες 1 και 4 και μείωση στους κινητήρες 2 και 3, ενώ το ακριβώς αντίθετο γίνεται για την κίνηση προς τα αριστερά. Ακόμη, για την περιστροφή προς τα δεξιά γύρω από τον κάθετο άξονα αυξάνεται η ταχύτητα του αριστερού εμπρός και του δεξιού πίσω, οι κινητήρες δηλαδή 1 και 3 και μειώνεται η ταχύτητα των κινητήρων 2 και 4. Τέλος για την άνοδο του τετρακόπτερου, αυξάνεται η ταχύτητα όλων των κινητήρων ενώ για την κάθοδο μειώνεται η ταχύτητα των τεσσάρων κινητήρων. Στην διάταξη '+' δεν έχουμε σημαντικές αλλαγές όσον αφορά την ταχύτητα των μοτέρ. Πιο συγκεκριμένα, για την εμπρόσθια κίνηση αυξάνεται η ταχύτητα του κινητήρα 4 και μειώνεται η ταχύτητα του κινητήρα 2 διατηρώντας πάντα την ταχύτητα των υπολοίπων σταθερή. Για την κίνηση προς τα δεξιά, μειώνεται η ταχύτητα του δεξιού κινητήρα 3 και αυξάνεται η ταχύτητα του κινητήρα 1. Τέλος, για την περιστροφή γύρω από τον κάθετο άξονα προς τα δεξιά αυξάνεται η ταχύτητα του αριστερού και δεξιού κινητήρα 1 και 3, ενώ μειώνεται η ταχύτητα των άλλων δύο κινητήρων 2 και 4.

## 4.2 Άξονες Περιστροφής

Πολλά οχήματα στο έδαφος, όπως το αυτοκίνητο, το φορτηγό, η μηχανή, ή κάποια άλλα στην επιφάνεια του νερού, όπως το πλοίο και η βάρκα, ταξιδεύουν γενικά σε δύο μόνο διαστάσεις, ευθεία και επίπεδη. Ωστόσο, στα αεροσκάφη, διαστημόπλοια και υποβρύχια υπάρχει και μία τρίτη διάσταση, αυτή του βάθους. Εκεί τα πράγματα γίνονται πιο περίπλοκα καθώς μπαίνουν στην εξίσωση οι άξονες περιστροφής. Ένας άξονας μπορεί να θεωρηθεί ως μια πραγματική ή φανταστική γραμμή γύρω από την οποία ένα αντικείμενο, όπως ένα αεροσκάφος, μπορεί να περιστραφεί. Η γη είναι ένα ιδανικό παράδειγμα περιστροφής γύρω από άξονα. Οι κύριοι άξονες ή αλλιώς άξονες περιστροφής είναι γνωστοί ως Pitch (πλευρικός άξονας), Roll (διαμήκης άξονας) και Yaw (κάθετος άξονας).



Εικόνα 9 Άξονες Περιστροφής

### 4.3 Pitch

Είναι η κίνηση του τετρακόπτερου που επιτυγχάνεται, είτε προς τα εμπρός, είτε προς τα πίσω. Το Forward Pitch, όπως ονομάζεται, επιτυγχάνεται μετακινώντας το μοχλό του γκαζιού (throttle) προς τα εμπρός, το οποίο κάνει το Drone να γέρνει και να κινείται μπροστά και μακριά από τον εκάστοτε χειριστή. Το Backward Pitch επιτυγχάνεται μετακινώντας το μοχλό του γκαζιού προς τα πίσω.

### 4.4 Yaw

Είναι η περιστροφή της κεφαλής του τετρακόπτερου, είτε προς τα δεξιά, είτε προς τα αριστερά. Πρόκειται για την βασικότερη κίνηση με την οποία το Drone μπορεί να κάνει το λεγόμενο spin. Στα περισσότερα επιτυγχάνεται συνήθως μετακινώντας τον αριστερό μοχλό γκαζιού, είτε προς τα αριστερά, είτε προς τα δεξιά.

### 4.5 Roll

Συχνά υπάρχει μια σύγχυση μεταξύ του Roll και του Yaw. Το Roll κάνει το τετρακόπτερο να πετάξει πλάγια, είτε προς τα αριστερά είτε προς τα δεξιά. Συνήθως η κίνηση αυτή ελέγχεται από το δεξί μοχλό γκαζιού.

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

### 5. STM32

Το STM32 είναι μια οικογένεια ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, με 32-bit μικροελεγκτές, κατασκευασμένα από την STMicroelectronics. Τα STM32 chip ομαδοποιούνται σε σχετικές σειρές, πάντα όμως με τον ίδιο πυρήνα επεξεργαστή (ARM 32 bit), όπως οι Cortex-M33F, Cortex-M7F, Cortex-M4F, Cortex-M3, Cortex-M0+ ή Cortex-M0. Κάθε μικροελεγκτής αποτελείται από τον πυρήνα του επεξεργαστή, την στατική μνήμη RAM, την μνήμη flash, τη διεπαφή εντοπισμού σφαλμάτων και διάφορα περιφερειακά.

Η οικογένεια STM32 αποτελείται από πολλούς διαφορετικούς μικροελεγκτές. Γι' αυτό και η επιλογή ενός είναι δύσκολη για έναν αρχάριο που θέλει να ασχοληθεί. Βέβαια, οι περισσότεροι μικροελεγκτές διαθέτουν κοινά χαρακτηριστικά, που είναι αρκετά σημαντικά στην χρήση τους. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες για κάποιους που θέλουν να ξεκινήσουν να ασχολούνται με STM32, η σειρά STM32F1 και η σειρά STM32F4. Και οι δύο υπάρχουν εδώ και αρκετό καιρό, ενώ ακόμη παραμένουν δημοφιλείς στους «χομπίστες». Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει αρκετό διαθέσιμο υλικό πάνω στο οποίο μπορούν να δουλέψουν. Επίσης, οι συσκευές της σειράς STM32F1 δεν είναι τόσο περίπλοκες. Τα περισσότερα STM32 κυκλώματα έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν με όσο το δυνατόν λιγότερα εξαρτήματα. Πλεονέκτημα αποτελεί η τιμή τους, μιας και το κόστος τους κρατείται σε λογικά πλαίσια, ενώ προσφέρουν ευελιξία χωρίς να περιορίζουν τον χρήστη με κανένα τρόπο. Υπάρχουν επίσης STM32 που διαθέτουν επιπλέον εξαρτήματα όπως LED, αισθητήρες και μνήμες. Τα περισσότερα Pin, αν όχι όλα είναι κατασκευασμένα με την μορφή κεφαλίδων (ποδιών) για ευκολότερη σύνδεση-πρόσβαση. Ακόμη, υπάρχει ένα ειδικό pin για την εντόπιση σφαλμάτων. Αν και δεν είναι τόσο δημοφιλή όσο τα Arduino, η αγορά τους ειδικότερα από από άλλες χώρες φαντάζει εύκολη υπόθεση. Τόσο το Ebay όσο και το AliExpress διαθέτουν πληθώρα τέτοιων πλακετών και σε προσιτές τιμές. Τα πιο γνωστά είναι το Blue Pill με το οποίο θα ασχοληθούμε αργότερα και το Black Pill, το οποίο αποτελεί βελτιωμένη έκδοση του Blue Pill.

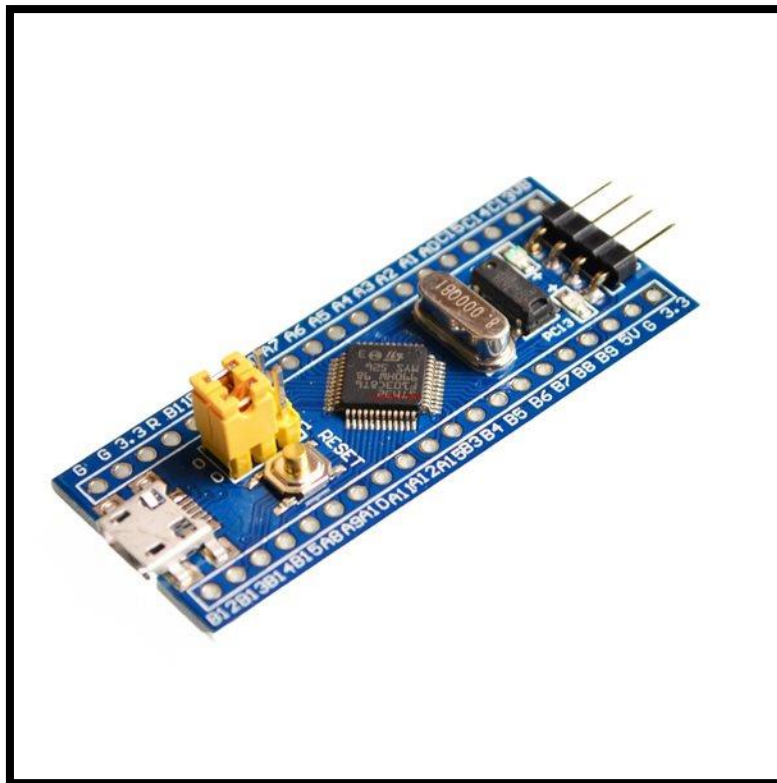
Ένας σημαντικός και συνήθως δύσκολος τομέας, είναι εκείνος του προγραμματισμού. Οι περισσότερες πλατφόρμες προσφέρουν εκτός από το δικό τους IDE, το δικό τους API για τον έλεγχο της συσκευής. Υπάρχουν δύο διαθέσιμες πλατφόρμες για μικροελεγκτές STM32. Η πρώτη είναι το STM32duino. Αυτή η πλατφόρμα υλοποιεί το γνωστό Arduino API για μικροελεγκτές STM32. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με το Arduino IDE. Η δεύτερη είναι η Arm Mbed. Αυτή η πλατφόρμα δεν υποστηρίζει μόνο μικροελεγκτές STM32. Υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα συσκευών από διαφορετικούς μικροελεγκτές.

## 5.1 Blue Pill

Το Blue Pill είναι γνωστό και ως STM32F103C8T6 και αποτελεί μακράν το πιο δημοφιλές όσον αφορά την κατηγορία STM32. Σε αντίθεση με το Arduino, το STM32 δυστυχώς δεν έχει πολλά ψευδώνυμα, στα οποία αναφέρεται ο αριθμός των εξαρτημάτων που διαθέτει, μιας και ο αριθμός αυτός λέει πολλά για το τσιπ. Το Blue Pill διαθέτει την αρχιτεκτονική Cortex-M, μ' έναν από τους πιο δυνατούς και γρήγορους επεξεργαστές στην κατηγορία αυτή. Διαθέτει υποστήριξη Arduino, που σημαίνει ότι μπορεί να προγραμματιστεί χρησιμοποιώντας το Arduino IDE. Το μόνο σίγουρο είναι ότι κάποιος που θέλει να ασχοληθεί, θα εντυπωσιαστεί από τις επιδόσεις του.

	Blue Pill	Arduino Uno
Clock Speed	72 MHz	16 MHz
Program Memory	128 KB	32 KB
RAM	20 KB	2 KB
Serial	3	1
I2C	2	1
SPI	2	1

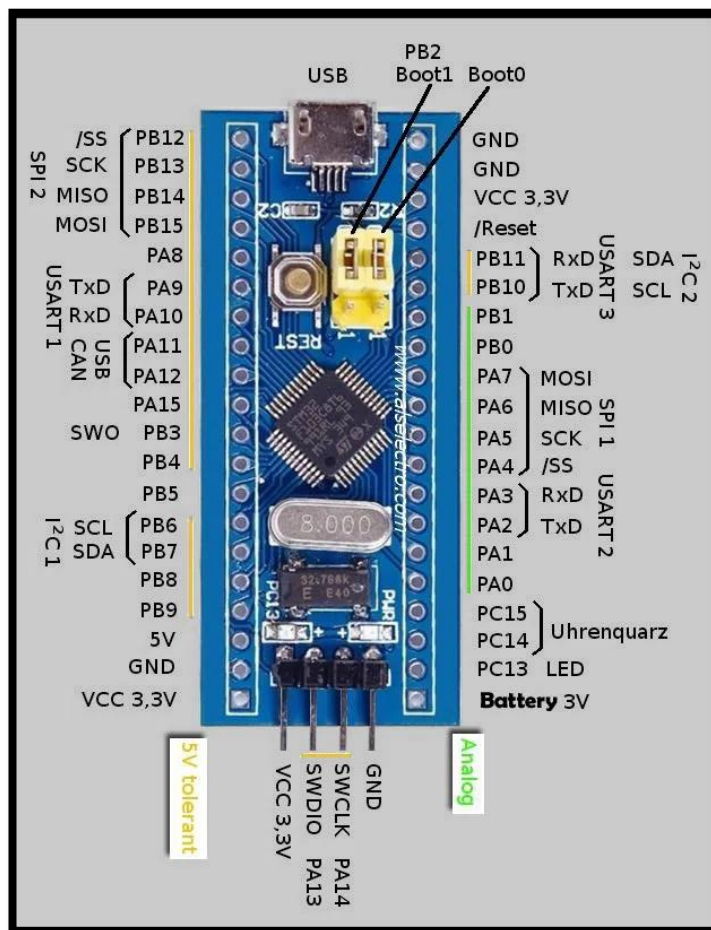
Όπως φαίνεται παραπάνω είναι πολύ γρηγορότερο και αποτελεσματικότερο σε κάθε κατηγορία σε σχέση με το Arduino Uno. Είναι η ιδανική επιλογή για κάποιον που θέλει γρήγορες αποδόσεις και γνωρίζει καλά το Arduino IDE. Η γλώσσα που χρησιμοποιείται είναι η C/C++. Το τσιπ διαθέτει προεγκατεστημένο πρόγραμμα εκκίνησης για να είναι πραγματικά εύκολο, ενώ ακόμη συνδέεται μέσω USB. Διαθέτει υποδοχή micro USB, boot jumpers, power led, κρύσταλλο 8 megahertz, κρυστάλλινο ταλαντωτή 32.768 Khz και debug pins σειριακής επικοινωνίας. Ο μικροελεγκτής αυτός έχει χωρητικότητα 128 KB, ram 20 KB και ταχύτητα επεξεργαστή 72 megabytes.



Εικόνα 10 STM32F103C8T6



Με δύο μεθόδους μπορούμε να ανεβάσουμε τον κώδικα Arduino στο μπλε χάπι stm32. Το ένα είναι μέσω του UART. Υπάρχουν συνολικά 3 θύρες UART. Το UART1 είναι διαθέσιμο στις ακίδες PA9 και PA10. Το UART2 είναι διαθέσιμο στις ακίδες PA2 και PA3. Το UART3 είναι διαθέσιμο σε PB11 και PB10. Έτσι, από αυτές τις τρεις θύρες UART θα χρησιμοποιούμε μόνο τη θύρα UART1. Το UART1 είναι σε θέση να φορτώσει το κώδικα μέσω σειριακής επικοινωνίας, για αυτό χρειάζεστε μονάδα USB σε TTL ή αλλιώς μια σειριακή FTDI πλακέτα.



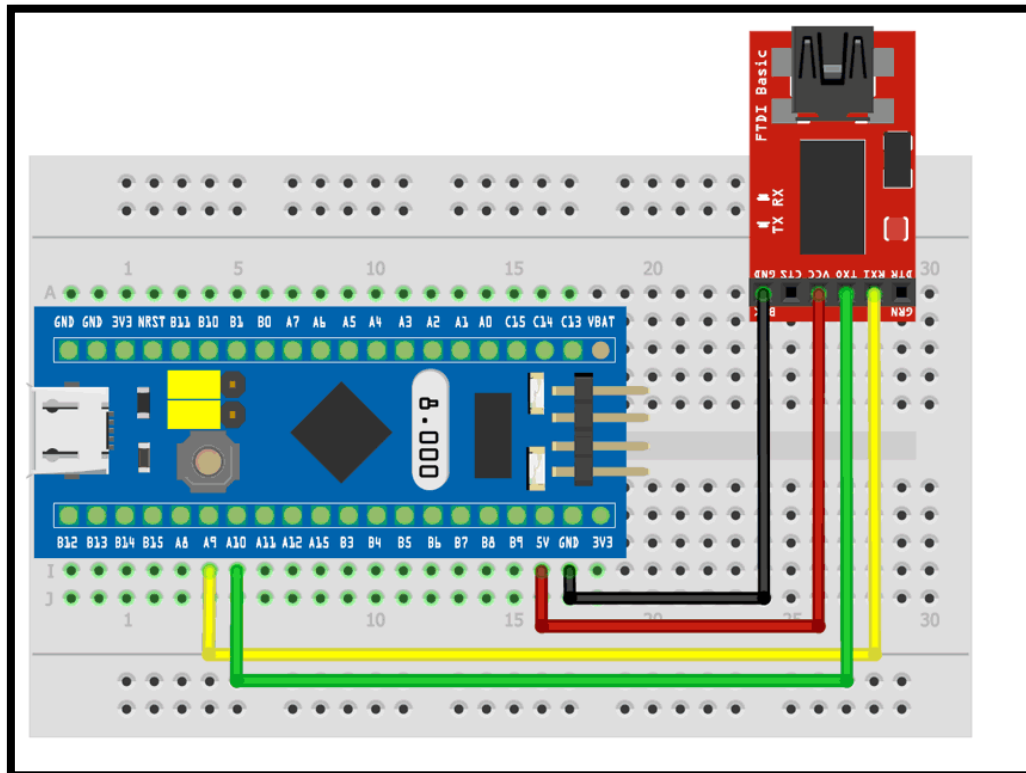
Εικόνα 11 STM32F103C8T6 pins

Σαν αρχάριος, προκειμένου να γίνει κατανοητή η λειτουργία του Blue Pill, χρησιμοποίησα το FTDI για να προγραμματίσω και συγκεκριμένα ξεκίνησα με ένα απλό παράδειγμα κάνοντας blink (αναβοσβήνει το led) το STM.

Για να προγραμματίσουμε το Blue Pill απευθείας μέσω θύρας USB, πρέπει πρώτα να αναβοσβήσουμε τον φορτωτή εκκίνησης, Maple, στο MCU. Για να γίνει αυτό, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε FTDI πλακέτα. Αυτή η πλακέτα είναι συνδεδεμένη με τον pin Rx και Tx του STM32 όπως φαίνεται παρακάτω.

Το Vcc της πλακέτας FTDI είναι συνδεδεμένο με το pin 5V που είναι η τροφοδοσία της πλακέτας. Η γείωση συνδέεται με το GND του STM32. Το pin Rx και Tx της πλακέτας FTDI συνδέεται με τον ακροδέκτη A9 και A10 του STM32 αντίστοιχα.

Ο A9 είναι ο ακροδέκτης Tx του STM32 και ο A10 είναι ο ακροδέκτης Rx. Βεβαίως, πρέπει πρώτα να μετακινηθεί το jumper στο boot 1 (λειτουργία προγραμματισμού) κατά την μεταφόρτωση του κώδικα. Μόλις το πρόγραμμα φορτωθεί και το boot loader αναβοσβήνει, τότε μετακινούμε το jumper στο boot 0 όπου και λειτουργεί κανονικά το πρόγραμμα.



Εικόνα 12 STM32F103C8T6 συνδεδεμένο με FTDI



## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

### 6. Αισθητήρες

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια παρουσίαση βασικών αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στα drones. Κάποιοι από τους βασικότερους τύπους αισθητήρων είναι το επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο, μαγνητόμετρο, βαρόμετρο, αισθητήρας GPS, αισθητήρας απόστασης.

#### 6.1 Γυροσκόπιο

Το γυροσκόπιο είναι μια συσκευή που χρησιμοποιεί τη βαρύτητα της Γης για να καθορίσει τον προσανατολισμό. Ανιχνεύει την γωνιακή ταχύτητα που είναι η μεταβολή της γωνίας περιστροφής στην μονάδα του χρόνου. Η γωνιακή ταχύτητα μετριέται σε deg/sec (μοίρες ανά δευτερόλεπτο). Υπάρχουν διάφοροι τύποι γυροσκοπίου όπως τα περιστροφικά και τα οπτικά γυροσκόπια. Ο σχεδιασμός τους αποτελείται από έναν ελεύθερα περιστρεφόμενο δίσκο που ονομάζεται ρότορας, τοποθετημένος σε έναν άξονα περιστροφής στο κέντρο ενός μεγαλύτερου και πιο σταθερού τροχού. Καθώς ο άξονας περιστρέφεται, ο ρότορας παραμένει ακίνητος για να υποδείξει την κεντρική βαρυτική έλξη, και ποια κατεύθυνση είναι κάτω. Χρησιμοποιώντας τις βασικές αρχές της γωνιακής ορμής, το γυροσκόπιο βοηθά στον προσδιορισμό του προσανατολισμού.

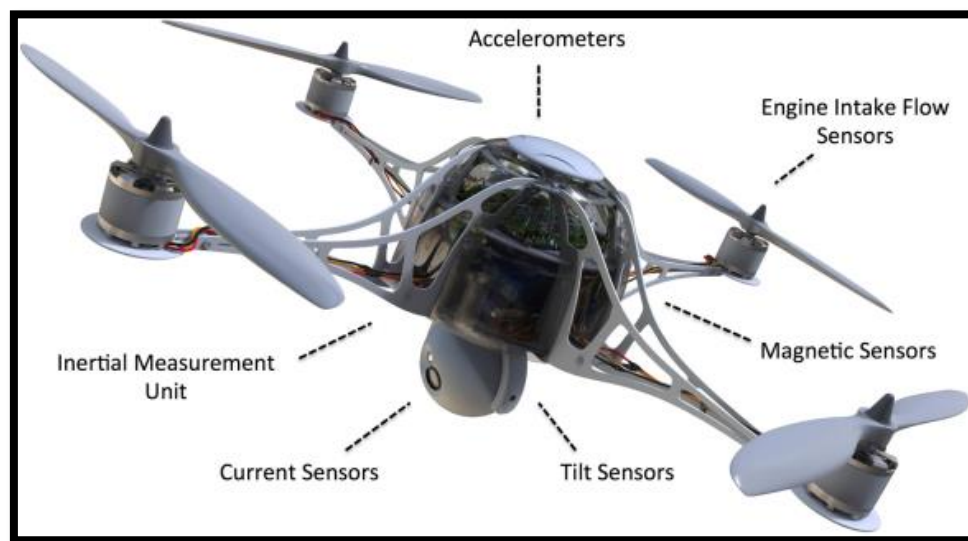
Διατίθενται γυροσκόπια που μπορούν να μετρήσουν την ταχύτητα περιστροφής σε 1, 2 ή 3 κατευθύνσεις. Τα γυροσκόπια 3 αξόνων εφαρμόζονται συχνά με επιταχυνσιόμετρο 3 αξόνων για να παρέχουν ένα πλήρες σύστημα παρακολούθησης κίνησης.

#### 6.2 Βαρόμετρο

Το βαρόμετρο είναι ένα ειδικό όργανο μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης ή βαρυτικής πίεσης. Σε ένα drone, το βαρόμετρο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και τον προσδιορισμό του ύψους πτήσης ανιχνεύοντας την αλλαγή της ατμοσφαιρικής πίεσης. Επιπλέον, το βαρόμετρο επιτρέπει σε έναν χειριστή να διατηρεί σε σταθερό ύψος το drone κατά την διάρκεια της πτήσης.

### 6.3 GPS

Αυτός ο τύπος αισθητήρα χρησιμοποιεί δορυφόρο που εκτοξεύτηκε γύρω από τη Γη για να καθορίσει συγκεκριμένες γεωγραφικές τοποθεσίες. Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) χρησιμοποιούν αισθητήρες GPS για τον προσδιορισμό της γεωγραφικής θέσης του εκάστοτε drone χωρίς την παρουσία πιλότου. Μπορεί επίσης να επιστρέψει στην αρχική του θέση με τη χρήση αισθητήρα GPS.



*Εικόνα 13 Βασικοί αισθητήρες σε ένα Drone*

## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>

### 7. Hardware

#### 7.1 Frame (Πλαίσιο)

Ένα frame θα λέγαμε ότι μοιάζει σαν μια «πανοπλία» που προστατεύει όλα τα ευαίσθητα ηλεκτρικά εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται ένα τετρακόπτερο. Είναι πολύ σημαντικό το πλαίσιο να είναι όσο τον δυνατόν πιο στιβαρό και ανθεκτικό και να ανταποκρίνεται στις ανάγκες του χειριστή όσον αναφορά την εμπειρία της πτήσης.

Το πλαίσιο ενός τετρακόπτερου διαθέτει τέσσερις βραχίονες πάνω στους οποίους είναι τοποθετημένοι οι κινητήρες με τους έλικες. Ανάλογα με την απόσταση από τον έναν κινητήρα στον άλλον μπορούμε να ομαδοποιήσουμε τα frames. Ένα πλαίσιο που έχει μέγεθος μικρότερο από 150 mm ανήκει στην κατηγορία micro. Επιπλέον, ένα πλαίσιο με μέγεθος μεγαλύτερο από 150 mm από κινητήρα σε κινητήρα ανήκει στην κατηγορία mini. Η πλειοψηφία αυτών των πλαισίων είναι κατασκευασμένα από ίνες άνθρακα. Η δημοτικότητα της ίνας άνθρακα ως υλικό πλαισίου οφείλεται στο χαμηλό βάρος και την υψηλή αντοχή της. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι ίνες άνθρακα είναι ένα ηλεκτρικά αγώγιμο υλικό. Εκτός από ανθρακονήματα, το επόμενο πιο δημοφιλές υλικό πλαισίου είναι το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας ή HDPE. Υπάρχουν πολλά πλαίσια που χρησιμοποιούν συνδυασμό ινών άνθρακα και άλλου υλικού όπως αλουμίνιο.



*Εικόνα 14 Πλαίσιο (frame) τετρακόπτερου*

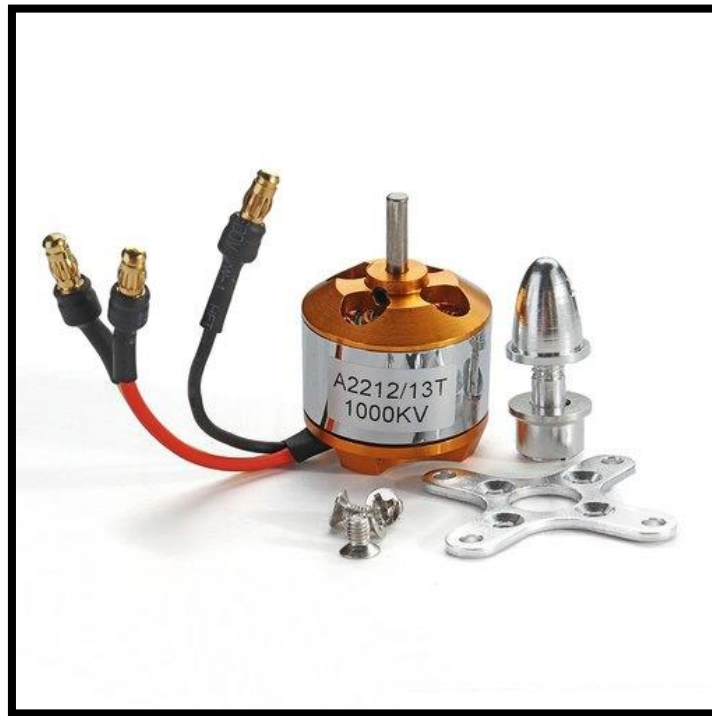
## 7.2 Κινητήρας

Η βέλτιστη επιλογή κινητήρων και ESC προσφέρει, σταθερότητα και ακρίβεια καθώς και μεγαλύτερους χρόνους πτήσης. Ένας κορυφαίος κινητήρας Drone θα είναι πιο αθόρυβος, θα έχει καλύτερο σύστημα ψύξης και θα διαρκεί περισσότερο. Οι κινητήρες μη επανδρωμένων αεροσκαφών μαζί με τους ηλεκτρονικούς ελεγκτές ταχύτητας και τους έλικες είναι στοιχεία ζωτικής σημασίας για ένα Drone όσον αναφορά την ασφαλή πτήση του.

Η επιλογή ενός κινητήρα έχει τεράστια σημασία όσον αναφορά την πτήση ενός Drone. Οι παραλλαγές στην κατασκευή του έχουν σαν αποτέλεσμα σημαντικές επιπτώσεις αναφορικά με το βάρος, την απόκριση καθώς και την συνολική ισχύ του τετρακόπτερου. Η βασική ιδέα πίσω από την λειτουργία των κινητήρων είναι ο ηλεκτρομαγνητισμός. Με την χρήση ηλεκτρομαγνήτη η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική. Όταν ένας ηλεκτρομαγνήτης φορτίζεται ηλεκτρικά, παράγεται ένα μαγνητικό πεδίο. Αυτό το προσωρινό μαγνητικό πεδίο αλληλεπιδρά με αυτό των μόνιμων μαγνητών που βρίσκονται μέσα στον κινητήρα. Ο συνδυασμός έλξης και απώθησης του ηλεκτρομαγνήτη ή των μόνιμων μαγνητών μεταφράζεται σε περιστροφική κίνηση του άξονα του κινητήρα.

Οι κινητήρες έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουν μικρό βάρος, να είναι ισχυροί και αποδοτικοί χρησιμοποιώντας όσο το δυνατόν λιγότερη ισχύ από την μπαταρία. Όσο πιο ενεργειακά αποδοτικός είναι ο κινητήρας, τόσο αυξάνεται ο χρόνος πτήσης. Επίσης, ένας κινητήρας θα πρέπει να ανταπεξέρχεται στις διάφορες καιρικές συνθήκες και στους πιθανούς κραδασμούς. Πολύ σημαντικό κομμάτι είναι αποτροπή συσσώρευσης θερμότητας γεγονός που θα βλάψει όλη την καλωδίωση γύρω από τα ESC. Πολλοί κινητήρες μη επανδρωμένων αεροσκαφών έχουν σχεδιαστεί με χρήση φυγοκεντρικού συστήματος ψύξης, μαζί με πτερύγια ψύξης.

Ένας κινητήρας θα πρέπει επίσης να είναι αδιάβροχος και να προστατεύεται από τυχόν σκόνη ή συντρίμια.



*Εικόνα 15 Κινητήρας τετρακόπτερου*

### 7.3 Έλικες-Προπέλες

Οι έλικες χρησιμοποιούνται για να ωθήσουν το drone προς τα εμπρός στέλνοντας μια μάζα αέρα πίσω του. Ουσιαστικά αυτό που επιτυγχάνεται είναι να τραβά τον αέρα μέσα του και να τον σπρώχνει προς τα έξω. Κάπως έτσι το drone κινείται κατακόρυφα σπρώχνοντας όλο τον αέρα προς τα κάτω του. Σε όποια κατεύθυνση το τετράπτερο θέλει να πετάξει, ο αέρας πρέπει να τραβηχτεί μέσα από τις έλικες και να ωθηθεί προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Έλικες υψηλής ποιότητας χρησιμοποιούν ένα υλικό που ονομάζεται Ultra Carbon Pro για μέγιστη αντοχή και ακαμψία. Πολλοί έλικες της T-Motor είναι κατασκευασμένοι από CF+Epoxy. Το CF είναι ίνα άνθρακα και η εποξική ρητίνη είναι η προστατευτική επίστρωση. Οι έλικες έρχονται σε διάφορα μεγέθη είτε πρόκειται για τετρακόπτερα, είτε για drones με πολλαπλούς κινητήρες ή για αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας. Οι λεπίδες του έλικα είναι στερεωμένες υπό γωνία προς τον άξονα. Η γωνία της λεπίδας, το συνολικό μέγεθος και σχήμα της επηρεάζουν την ώθηση, μαζί με την ταχύτητα του κινητήρα του drone.



*Εικόνα 16 Έλικας τετρακόπτερου*

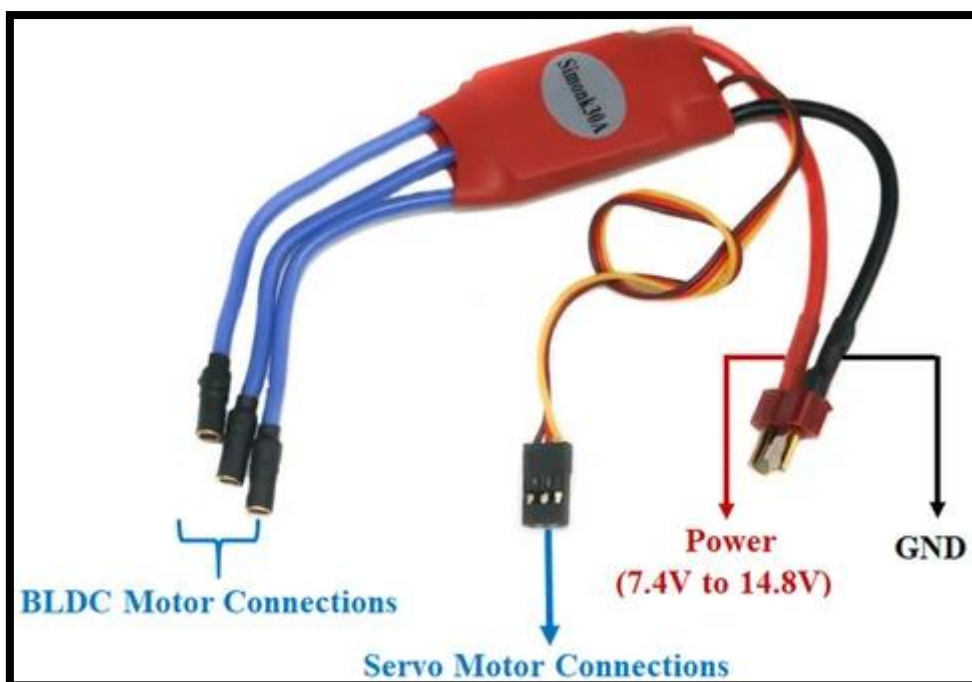
#### 7.4 ESCs

Ένας ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας ή ESC είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα, το οποίο ελέγχει και ρυθμίζει την ταχύτητα, την επιτάχυνση και την επιβράδυνση των κινητήρων του drone. Πολλά ESC παρέχουν επίσης αναστροφή του κινητήρα και δυναμικό φρενάρισμα. Τα πιο πρόσφατα ESC υψηλής τεχνολογίας σε τετρακόπτερα χρησιμοποιούν αλγόριθμους FOC (Field-Oriented Control) για περισσότερη απόκριση και έλεγχο ακριβείας του κινητήρα. Ο πομπός στέλνει σήματα δεδομένων στον flight controller (αναλυτική περιγραφή στο Κεφ 8), ο οποίος προωθεί το σήμα στο ESC και στη συνέχεια στον κινητήρα του drone.

Γενικά, τα παρακάτω καλώδια αποτελούν μέρος της διαμόρφωσης του κινητήρα ESC και drone.

- Σύνδεση ESC στο κινητήρα (3 καλώδια που έχουν διάφορα χρώματα)
- Καλώδια κινητήρα σε σύνδεση με τα καλώδια ESC (3 καλώδια σε κόκκινο, κίτρινο και μαύρο)
- Καλώδια σύνδεσης τροφοδοσίας (1 κόκκινο και 1 μαύρο)
- Σύνδεση στον ελεγκτή πτήσης (ασπρόμαυρο καλώδιο)

Ένα ESC παρακολουθεί την τάση, το ρεύμα, τη θερμοκρασία, την υγρασία του εσωτερικού και άλλες κρίσιμες παραμέτρους σε πραγματικό χρόνο. Αποτρέπει το drone να υπερβεί την τάση, το ρεύμα, την υπερθέρμανση και τα εσωτερικά βραχυκυκλώματα. Ο κινητήρας προστατεύεται επίσης από το μπλοκάρισμα και τη διακοπή φάσης. Αυτό το σύστημα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο παρέχει ολοκληρωμένη προστασία και μειώνει τις απώλειες που προκαλούνται από δυσλειτουργίες. Ένας ανθεκτικός και ειδικός σχεδιασμός κυκλώματος εμποδίζει τους σπινθήρες όταν συνδέονται με μπαταρίες, αυξάνοντας την αντοχή του καλωδίου και μειώνοντας το χρόνο και το κόστος συντήρησης.



Εικόνα 17 ESC τετρακόπτερου

## 7.5 Πομπός Δέκτης (Remote Controller)

Ένας ελεγκτής drone λειτουργεί στέλνοντας σήμα από το τηλεχειριστήριο στο ίδιο το drone. Τα ραδιοσήματα στέλνονται από τον πομπό και λαμβάνονται από τον δέκτη του drone. Οι περισσότεροι από τους ελεγκτές αυτούς δεν έχουν οθόνες προσαρτημένες στο χειριστήριο του drone.

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τρόποι για να μετακινηθεί ένα drone. Οι τρεις αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο και πρόκειται για το Roll, Pitch και Yaw. Ενώ υπάρχει και το Throttle όπου ουσιαστικά, γίνεται έλεγχος της ποσότητας ισχύος που αποστέλλεται στο drone γεγονός που το κάνει να πηγαίνει πιο γρήγορα ή πιο αργά.





*Εικόνα 18 Πομπός και δέκτης (FlySky FS-16)*

Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ένα χειριστήριο είναι σχετικά απλός. Όσο περισσότερη πίεση ασκείται στον μοχλό, τόσο περισσότερη δύναμη μεταδίδεται στο drone προς την κατεύθυνση αυτή. Βέβαια, κάθε χειριστήριο είναι διαφορετικό, και όση εμπειρία και αν υπάρχει σίγουρα χρειάζεται αρκετός χρόνος προσαρμογής.

Αναφορικά με τους μοχλούς, ο δεξιός μοχλός είναι υπεύθυνος για το Roll & Pitch, επιτρέπει δηλαδή τη μετακίνηση του drone δεξιά/αριστερά καθώς και εμπρός/πίσω. Ο αριστερός μοχλός είναι υπεύθυνος για το Yaw & Throttle ρυθμίζοντας το ύψος στο οποίο θα πετάει το drone περιστρέφοντάς το δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα. Επιπλέον, υπάρχουν αρκετά buttons, καθένα απ'τα οποία επιτελεί διαφορετική λειτουργία.

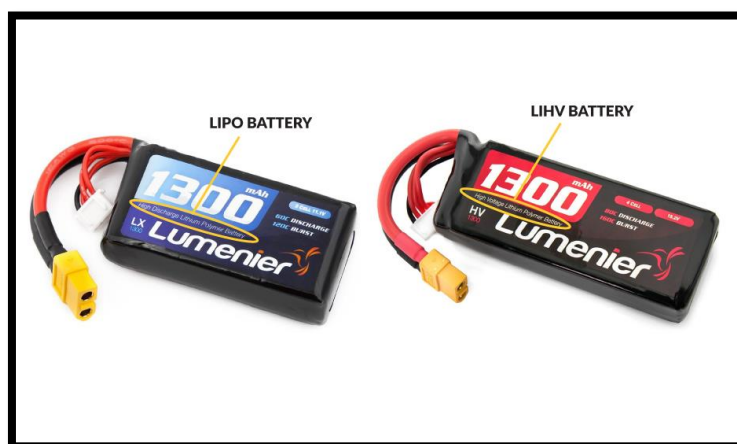
Ο δέκτης σε drone είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που χρησιμοποιεί ενσωματωμένες κεραίες για να λαμβάνει σήματα ραδιοφώνου από τον πομπό. Βέβαια, ένας δέκτης δεν λαμβάνει μόνο σήματα, αλλά τα μετατρέπει σε παλμούς εναλλασσόμενου ρεύματος. Στην συνέχεια, οι πληροφορίες αυτές, αποστέλλονται στον Flight Controller ο οποίος θέτει το drone σε λειτουργία όπως υποδεικνύουν τα αρχικά ραδιοσήματα.



## 7.6 Μπαταρία

Η μπαταρία ενός τετρακόπτερου αποτελεί ένα θεμελιώδες στοιχείο, όπου θα πρέπει να γίνει προσεκτική επιλογή για να επιτευχθεί η ιδανική ισορροπία μεταξύ απόδοσης και χρόνου πτήσης. Οι μπαταρίες λιθίου είναι η πιο συνηθισμένη κατηγορία μπαταριών που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των τετρακόπτερων λόγω της υψηλής πυκνότητας ενέργειας και των υψηλών δυνατοτήτων εκφόρτισης.

Οι μπαταρίες λιθίου χωρίζονται σε δύο μικρότερες κατηγορίες: Lithium polymer (LiPO) και lithium polymer high voltage (LiHV). Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο είναι μια LiPO κυψέλη έχει τάση 4,2 V όταν είναι πλήρως φορτισμένη ενώ μια κυψέλη LiHV έχει τάση 4,35 V. Όσον αναφορά την απόδοση των δύο, μια μπαταρία LiHV παρέχει περισσότερη ισχύ αλλά πέφτει απότομα η τάση όταν αποφορτιστεί, ενώ μια μπαταρία LiPO έχει γραμμική εκφόρτιση κάνοντας πιο εύκολο τον υπολογισμό του υπολειπόμενου χρόνου πτήσης.



*Εικόνα 19 LiPO και LiHV μπαταρία*

Υψηλότερη τάση μπαταρίας επιτρέπει μεγαλύτερη ισχύ στο τετρακόπτερο χωρίς να αυξάνει το ρεύμα ή την ισχύ του ενισχυτή. Μια τυπική κυψέλη πολυμερούς λιθίου έχει ονομαστική τάση (αποθήκευσης) 3,7 V, επομένως για να αυξήσει την ισχύ που μπορεί να προσφέρει ένα μόνο πακέτο LiPO, αυτές οι κυψέλες ομαδοποιούνται σε σειρά (που σημαίνει ότι η γείωση/αρνητικός αγωγός από την πρώτη κυψέλη συνδέεται με το θετικό μόλυβδο της επόμενης κυψέλης, σχηματίζοντας μια αλυσίδα μεμονωμένων κυψελών) για να αυξήσει τη συνολική τάση της μπαταρίας. Τα πακέτα LiPO πωλούνται συνήθως σε διαφορετικά μοντέλα όπως 1S, 2S, 3S, 4S, 5S ή 6S όπου το ψηφίο που ακολουθείται από το «S» αντιπροσωπεύει τον αριθμό των κελιών στο συγκεκριμένο πακέτο. Όσο περισσότερες κυψέλες ομαδοποιούνται, τόσο περισσότερη τάση θα έχει η συνολική μπαταρία. Η τάση της μπαταρίας είναι σημαντική καθώς επηρεάζει τη μέγιστη ταχύτητα του κινητήρα ενός τετρακόπτερου.

Ο κίνδυνος των μπαταριών LiPO είναι κάτι που πολλοί υποτιμούν, αλλά δεν πρέπει να αγνοηθεί. Οι μπαταρίες λιθίου αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας σε ένα μικρό προφίλ και είναι περιστασιακά επιρρεπείς σε ανάφλεξη. Αυτό είναι ένα σπάνιο σενάριο και είναι πιθανότερο να συμβεί κατά τη φόρτιση, την αποφόρτιση ή εάν μια μπαταρία καταστραφεί. Ανεξάρτητα από τις πιθανότητες, μια ανάφλεξη της μπαταρίας LiPO μπορεί να οδηγήσει σε καύση σπιτιών, αυτοτραυματισμό ή ζημιά στον εξοπλισμό. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο για όλους τους πιλότους να αποθηκεύουν και να φορτίζουν ιδανικά τις μπαταρίες λιθίου των τετρακοπτέρων τους σε πυρίμαχη θήκη ή σε κουτί LiPO.



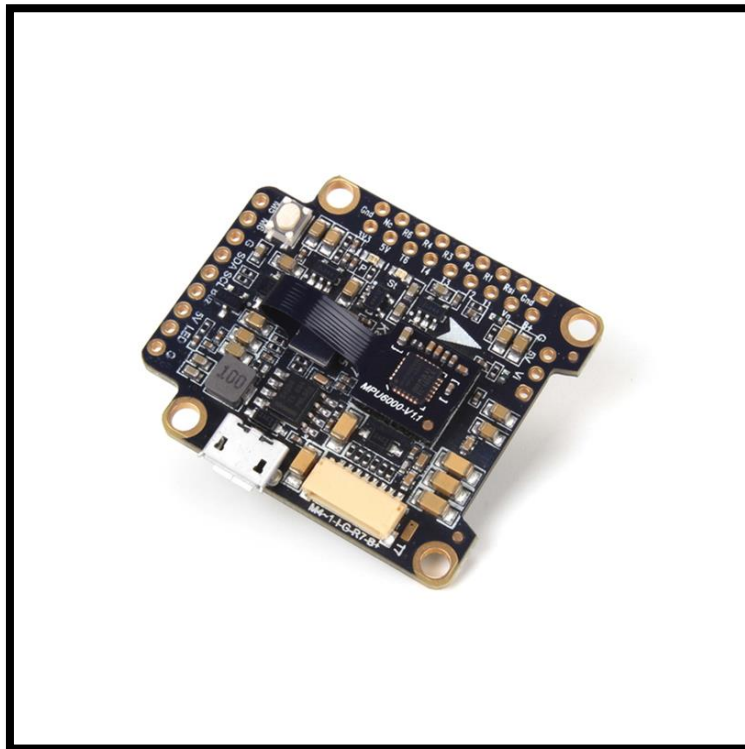
*Εικόνα 20 Πυρίμαχη θήκη μπαταρίας LiPO*

## Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup>

### 8. Flight Controller

Ο ελεγκτής πτήσης (γνωστός και ως FC) είναι ο εγκέφαλος ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Πρόκειται για έναν πίνακα κυκλωμάτων με μια σειρά αισθητήρων που ανιχνεύουν την κίνηση του drone, καθώς και εντολές του χρήστη. Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα, ελέγχει στη συνέχεια την ταχύτητα των κινητήρων για να κάνει το drone να κινηθεί σύμφωνα με τις οδηγίες που έλαβε.

Σχεδόν όλοι οι ελεγκτές πτήσης διαθέτουν κάποιους βασικούς αισθητήρες όπως Gyro (Γυροσκόπιο) και Acc (Επιταχυνσιόμετρο). Ορισμένοι FC περιλαμβάνουν προηγμένους αισθητήρες όπως βαρόμετρο (αισθητήρες βαρομετρικής πίεσης) και μαγνητόμετρο (πυξίδα). Το FC είναι επίσης ένας κόμβος για άλλα περιφερειακά, όπως GPS, LED, αισθητήρα Sonar κ.λπ. Οι ελεγκτές πτήσης σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη εξελίσσονται ραγδαία, καθώς γίνονται μικρότεροι, ενσωματώνονται περισσότερες δυνατότητες και χρησιμοποιούν καλύτερους επεξεργαστές.



Εικόνα 21 Ελεγκτής πτήσης STM32F745

Οι ελεγκτές πτήσης εξελίσσονται συνεχώς με τους επεξεργαστές τους να γίνονται ταχύτεροι προκειμένου να συμβαδίζουν με τα εξελισσόμενα λογισμικά. Συνήθως περιλαμβάνουν το μοντέλο του κύριου μικροεπεξεργαστή (ένα ηλεκτρονικό σύστημα STM, μικροεπεξεργαστή 32-bit), καθώς αυτό δίνει στον πιλότο μια βασική ιδέα για τις δυνατότητες των ελεγκτών πτήσης. Τα πιο κοινά μοντέλα μικροεπεξεργαστών που χρησιμοποιούνται είναι τα τσιπ STM32 F1, F3, F4 και F7. Ουσιαστικά, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός μετά το «F», τόσο πιο γρήγορος θα είναι ο μικροεπεξεργαστής και τόσο περισσότερη αποδοτικότητα θα έχει. Για οποιονδήποτε πιλότο αγοράζει ελεγκτή πτήσης, συνιστάται προς το παρόν να αγοράσει F4 ή F7, καθώς είναι αρκετά γρήγορο για να τρέξει τα πιο πρόσφατα firmware που υπάρχουν διαθέσιμα. Δυστυχώς, η F1 καθίσταται πολύ αργή για να τρέξει τα πιο πρόσφατα firmware και δεν συνιστάται στην αγορά, καθώς σύντομα δεν θα υποστηρίζεται. Οι ελεγκτές πτήσης F3 μπορούν προς το παρόν να εκτελέσουν τα πιο πρόσφατα firmware των ελεγκτών πτήσης, αν και ο μικροεπεξεργαστής είναι πιο αργός από έναν F4 ή F7 κατά την ανάγνωση και την απόκριση στις εισόδους του αισθητήρα. Αυτός ο χρόνος ανάγνωσης και απόκρισης είναι αντίστοιχα γνωστός ως συχνότητα γυροσκοπικής ενημέρωσης και συχνότητα βρόχου PID.

## Κεφάλαιο 9<sup>ο</sup>

### 9. Εισαγωγή Λογισμικού (Firmware)

Το Firmware αποτελεί το λογισμικό που βρίσκεται στην καρδιά του drone. Ελέγχει τα πάντα, από την πτήση του τετρακόπτερου μέχρι και την διαχείριση της μπαταρίας. Επομένως, το να είναι ενημερωμένο το λογισμικό αποτελεί προαπαιτούμενο για μεγαλύτερη ασφάλεια και αξιοπιστία. Χαρακτηριστικό είναι ότι ένα μη ενημερωμένο λογισμικό δεν επιτρέπει την πτήση ενός drone πολλές φορές. Οι ενημερώσεις συχνά διορθώνουν σφάλματα στους αλγόριθμους σταθεροποίησης πτήσεων και τη διαχείριση της μπαταρίας που θα μπορούσαν εύκολα να προκαλέσουν την πτώση του drone από τον ουρανό.

Υπάρχουν πολλά προγράμματα ελέγχου πτήσης διαθέσιμα τα οποία ο καθένας μπορεί να αποκτήσει (δωρεάν). Το καθένα συνήθως επικεντρώνεται σε κάποιο συγκεκριμένο υλικό, τεχνολογία ή σκοπό. Παρακάτω υπάρχει μια λίστα με τα διαθέσιμα λογισμικά που θα βοηθήσει πολύ κάποιον που δεν ξέρει τι να διαλέξει.

## 9.1 Ardupilot

Το Ardupilot είναι ίσως το δημοφιλέστερο λογισμικό αυτόματου πιλότου με drone. Το λογισμικό αυτό μπορεί να ελέγξει σχεδόν οποιοδήποτε όχημα, από μη επανδρωμένα σταθερής πτέρυγας μέχρι τετρακόπτερα και άλλα υβριδικά εδάφους και σκάφη. Το Firmware χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες. Ardupilot για αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας - Arducopter για πολλαπλούς κινητήρες και ελικόπτερα - Arduover για επίγεια οχήματα.



*Εικόνα 22 Ardupilot*

Πρόκειται για ένα πλήρες εξοπλισμένο σύστημα με 3D πλοήγηση και ένα ευρύ φάσμα υλικού και λογισμικού. Ακόμη διαθέτει την μεγαλύτερη κοινότητα προγραμματισμών, κάνοντάς το ιδιαίτερα αξιόπιστο στο ευρύ κοινό.

## 9.2 LibrePilot

Το Libre Pilot στοχεύει να είναι ένας αυτόματος πιλότος πτήσης υποστηρίζοντας αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας και πολλαπλών κινητήρων. Διαθέτει ένα εξαιρετικό GUI και το firmware αποτελεί ιδανικό για να δουλεύεις και να κάνεις χρήση αυτού. Μειονέκτημα είναι οι μειωμένες δυνατότητες σε σχέση με το ArduPilot και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν είναι τόσο δημοφιλές. Κατ'επέκταση υπάρχουν λιγότεροι διαθέσιμοι προγραμματιστές στην κοινότητα αυτή.



*Εικόνα 23 LibrePilot*

Το LibrePilot αποτελεί εξαιρετική επιλογή για κάποιον που θέλει να τρέξει μια ισχυρή και φθηνή πλατφόρμα αυτόματου πιλότου.

### 9.3 BetaFlight

Το BetaFlight είναι προς το παρόν το πιο δημοφιλές FPV firmware και θεωρείται ότι βρίσκεται στην αιχμή των ελεγκτών πτήσης. Χρησιμοποιείται κυρίως για τετρακόπτερα, έχει όμως υποστήριξη και για σταθερά πτερύγια. Οι προγραμματιστές BetaFlight επικεντρώνονται στο να έχουν τη μέγιστη ταχύτητα και απόδοση από τον ελεγκτή πτήσης και το τετρακόπτερό, με πράγματα όπως η ανάγνωση δεδομένων αισθητήρα στα 32 KHz και η αποστολή ενημερώσεων στον κινητήρα το ίδιο. Το BetaFlight μπορεί να μην μπορεί να πετάξει το drone για εσάς, αλλά θα δίνει την καλύτερη αίσθηση και απόδοση όσον αναφορά τις πτήσεις τετρακόπτερων.



*Εικόνα 24 BetaFlight*

Τη δεδομένη χρονική στιγμή αποτελεί ίσως το κορυφαίο firmware όσον αναφορά τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Υποστηρίζει ένα πλήθος ελεγκτών πτήσης και διαθέτει μια εντυπωσιακή λίστα συμβατότητας με προηγμένες λειτουργίες όπως έλεγχος OSD.

## Κεφάλαιο 10<sup>ο</sup>

### 10. Διαδικασία κατασκευής

Το κομμάτι της κατασκευής αποτελεί την σημαντικότερη διεργασία υλοποίησης αυτού του project. Ήταν αρκετά χρονοβόρα διαδικασία, χρειάστηκε να υλοποιήσω δύο και τρεις φορές το τετρακόπτερο απ' την αρχή μιας και όταν μιλάμε για hardware τίποτα δεν είναι δεδομένο ότι θα δουλεύει με τον σωστό τρόπο. Για να μπορεί ένα τετρακόπτερο να είναι στιβαρό και αποτελεσματικό σε δύσκολες και μη καιρικές συνθήκες, θα πρέπει να επιλέγονται και τα ανάλογα υλικά. Παρακάτω γίνεται αναλυτική περιγραφή των υλικών-εξαρτημάτων που επέλεξα και του τρόπου με τον οποίο τα συναρμολόγησα.

### ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

#### 1. ΠΛΑΙΣΙΟ (FRAME)

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, το πλαίσιο αποτελεί την «ασπίδα» όλων των εξαρτημάτων. Πρόκειται για μια στιβαρή κατασκευή, ανθεκτική σε πτώσεις και με το κατάλληλο βάρος για απογείωση. Διαθέτει όλα τα εξαρτήματα που χρειάζεται ένα τετρακόπτερο και το μέγεθος του είναι ανάλογο της κατηγορίας στην οποία βρίσκεται. Στο εμπόριο υπάρχουν αρκετά frames, αξιόπιστα και συνήθως σε καλές τιμές. Βέβαια, αν κάποιος το επιθυμεί, μπορεί να κατασκευάσει ένα πλαίσιο από μέταλλο, πλαστικό ή ακόμα και ξύλο. Στη περίπτωση μου, προτίμησα να αγοράσω ένα, προκειμένου να υπάρχει μεγαλύτερη ασφάλεια και αξιοπιστία. Πιο συγκεκριμένα το πλαίσιο που επέλεξα είναι το F450 drone chassis μεγέθους 450 mm.





*Εικόνα 25 F450 drone chassis*

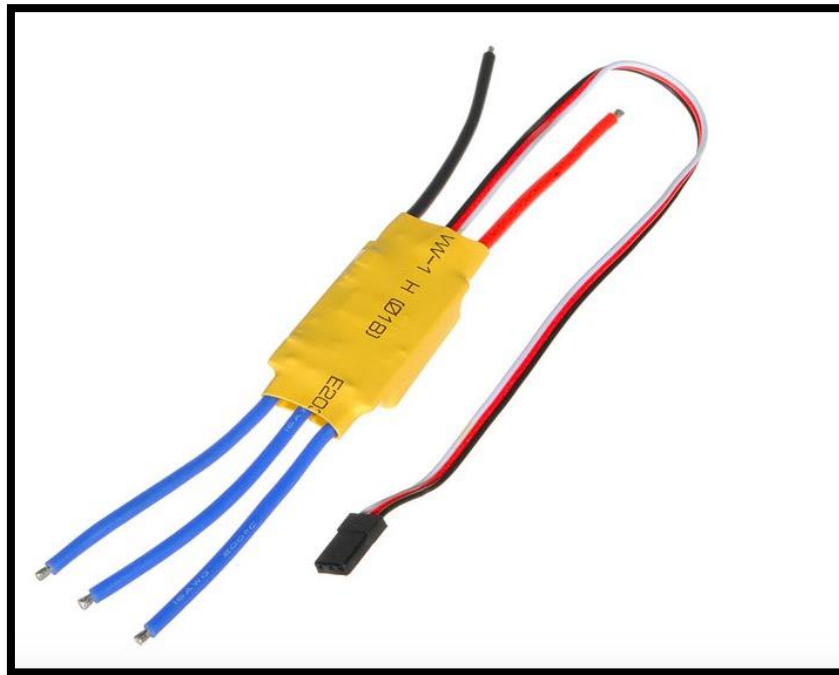
Είναι κατασκευασμένο από εξαιρετικά υλικά, πιο συγκεκριμένα από ίνες γυαλιού και από νάιλον πολυαμιδίου. Διαθέτει ολοκληρωμένες συνδέσεις PCB για άμεση συγκόλληση των ESC και της μπαταρίας πραγματοποιώντας γρήγορα και αποτελεσματικά όλες τις καλωδιώσεις. Οι βραχίονες είναι χρωματιστοί έτσι ώστε να διατηρείται ο προσανατολισμός κατά την διάρκεια της πτήσης. Ακόμη, η τοποθέτηση της κάμερας είναι αρκετά εύκολη ενώ συνολικά το πλαίσιο είναι σταθερό σε πτώση και πρόσκρουση.

Αξίζει να αναφέρω πως η συσκευασία διέθεται όλες τις απαραίτητες βίδες-εργαλεία και η συναρμολόγηση ήταν κάτι παραπάνω από άνετη. Τέλος, όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, στις άκρες των βραχιόνων μπορούν να τοποθετηθούν τα μοτέρ, στο κεντρικό μέρος της βάσης τοποθετείται ο fly controller και ακριβώς από κάτω υπάρχει ειδική υποδοχή για την μπαταρία.

## 2. ESC (Electric Speed Controller)

Πριν αναφερθώ στην επιλογή των των ESC, είναι πολύ σημαντικό πρώτα να ελέγχουμε κατά πόσο είναι συμβατά με τα μοτέρ που θα τοποθετήσουμε στο τετρακόπτερο. Στην δική μου περίπτωση επιλέχθηκε το Motor ESC 30A Brushless.





*Εικόνα 26 30A Brushless Motor ESC For Airplane Quadcopter*

### Χαρακτηριστικά

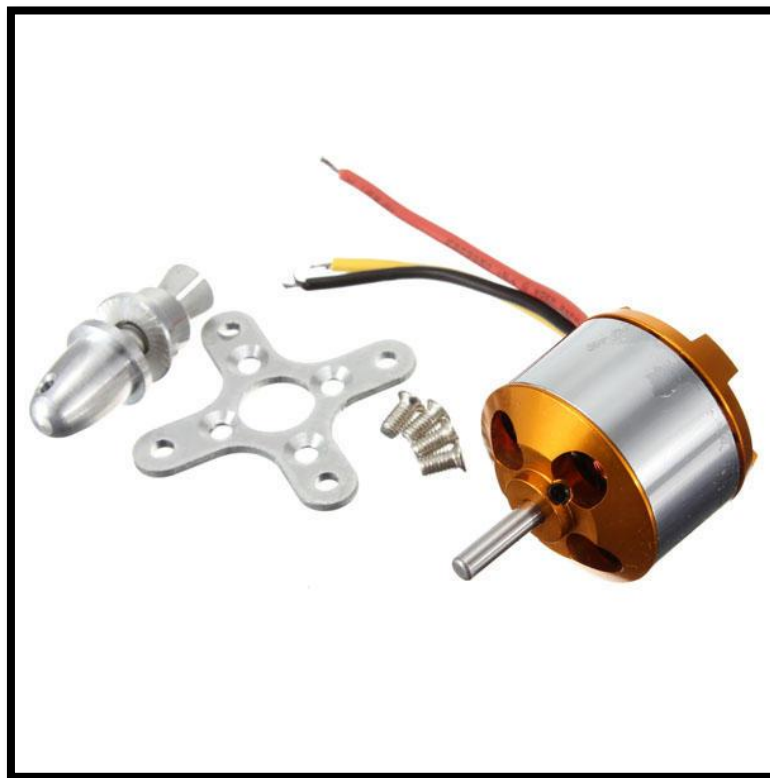
<b>Βάρος</b>	25g
<b>Διαστάσεις</b>	45 x 24 x 11mm
<b>Τροφοδοσία</b>	5.6V - 16.8V (Li-Poly, OR Ni-MH /Ni-Cd battery)
<b>BEC</b>	2A
<b>Ένταση ρεύματος</b>	30A(Μέγιστο 40A λιγότερο από 10sec)

Αξίζει να αναφέρουμε ότι ανεξάρτητα από τη θέση του γκαζιού ο κινητήρας δεν θα ξεκινήσει αμέσως, προσφέροντας μεγαλύτερη ασφάλεια. Όσον αναφορά την τοποθέτηση του Esc πάνω στο frame, τα μόνα καλώδια που χρησιμοποίησα σε αυτή την φάση ήταν το κόκκινο και το μαύρο τα οποία τα κόλλησα με το κολλητήρι αντίστοιχα στο + και – του PCB. Επιπροσθέτως, για καλύτερη στήριξη πάνω στο frame χρησιμοποίησα tire up (δεματικά).

### 3. ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ (Motor)

Η επιλογή ενός κινητήρα για ένα συγκεκριμένο τετρακόπτερο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και κυρίως από το βάρος του drone. Ένας κινητήρας θα πρέπει να μπορεί να παράγει αρκετή ώθηση για να εξουδετερώσει το συνολικό βάρος του τετρακόπτερου και να επιτυγχάνεται η απογείωση. Η ροπή ενός κινητήρα αντιπροσωπεύει την ικανότητα του να αλλάζει ταχύτητα από την μια στιγμή στην άλλη. Σε περιπτώσεις με μεγαλύτερες προπέλες απαιτούνται και κινητήρες υψηλότερης ροπής αντλώντας και περισσότερο ρεύμα συγκριτικά με κινητήρες χαμηλότερης ροπής. Σε μεγαλύτερα τετρακόπτερα χρησιμοποιούνται brushless motors, δηλαδή κινητήρες χωρίς ψύξη. Αυτό σημαίνει πρακτικά ότι μπορούν να φέρουν επιπλέον βάρος λόγω και των πρόσθετων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Οι κινητήρες χωρίς ψύξη απαιτούν ηλεκτρονικό ελεγκτή ταχύτητας (ESC) για τον οποίο αναφέρθηκα παραπάνω.

Για το τετρακόπτερο προτίμησα BM930kV XXD Brushless (χωρίς ψύξη) Motor 930kV.



*Εικόνα 27 BM930kV XXD Brushless Motor 930kV*

## Χαρακτηριστικά

Βάρος	65g
Διαστάσεις	27.8*27mm
Μέγιστη απόδοση	80%
KV	1000
Ένταση ρεύματος	12A/60s
Συμβατές προπέλες(μέγεθος)	1047,1060,9050

Για το τετρακόπτερο χρειάστηκα 4 κινητήρες όπως αντίστοιχα και 4 ESCs. Κάθε κινητήρας τοποθετείται εύκολα στο άκρο του βραχίονα με τις διαθέσιμες βίδες που βρίσκονται στο πακέτο. Επιπλέον, κάθε κινητήρας αποτελείται από τρία καλώδια (μαύρο, κόκκινο και κίτρινο) τα οποία συνδέονται με τα τρία καλώδια του κάθε ESC. Ανάλογα με την φορά που θέλουμε να περιστρέφονται οι προπέλες γίνεται και η σύνδεση των καλωδίων. Για να γίνει πιο αντιληπτό, το τετρακόπτερο είναι κατασκευασμένο με την διάταξη «X» που σημαίνει ότι ο επάνω αριστερός κινητήρας δουλεύει δεξιόστροφα και ο επάνω δεξιός κινητήρας δουλεύει αριστερόστροφα. Προκειμένου να επιτευχθεί η λειτουργία αυτή, αρκεί να γίνει ανάποδα η σύνδεση των καλωδίων για τους δύο αυτούς κινητήρες. Αντιστοίχως το ίδιο ισχύει και για τα υπόλοιπα μοτέρ. Η τοποθέτηση τόσο των ESC όσο και των κινητήρων ήταν αρκετά εύκολη.

### 4. ΠΡΟΠΕΛΕΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τις υποδείξεις του κατασκευαστή, ένα από τα προτεινόμενα μεγέθη του έλικα ήταν το 1045. Οι έλικες χορηγήθηκαν από την σχολή ενώ αργότερα αγόρασα επιπλέον λόγω της φθοράς που υπήρχε από τις πτώσεις. Όπως ήδη είναι γνωστό, τα δύο μοτέρ περιστρέφονται δεξιόστροφα και τα άλλα δύο αριστερόστροφα. Αντίστοιχα επιλέγονται και οι προπέλες, 2 CW (δεξιά φορά ρολογιού) και 2 CCW (αριστερή φορά).



*Εικόνα 28 1045 έλικες*

## 5. ΜΠΑΤΑΡΙΑ

Όπως γνωρίζουμε, τα drones που υπάρχουν στην αγορά λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια, που αυτό σημαίνει μπαταρία. Το πρόβλημα με τις μπαταρίες είναι ότι έχουν μεγάλο βάρος, πρέπει πάντοτε να είναι φορτισμένες για καλύτερες αποδόσεις και συνήθως έχουν μεγάλο κόστος. Μειονέκτημα αποτελεί η διάρκεια που έχουν ανάλογα πάντα και με την χωρητικότητά τους. Είναι σημαντικό πριν επιλέξουμε την μπαταρία για το τετρακόπτερό μας, να λάβουμε υπόψιν κάποιες σημαντικές παραμέτρους:

- Η μπαταρία θα πρέπει να είναι τύπου LiPo (περισσότερες πληροφορίες σε προηγούμενο κεφάλαιο)
- Η χωρητικότητα της μπαταρίας. Όσο μεγαλύτερο είναι το drone τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να είναι και η διαθέσιμη χωρητικότητα. Το drone θα πρέπει να μπορεί να πετάξει για τουλάχιστον 15 λεπτά.
- Το βύσμα της μπαταρίας θα πρέπει να είναι συμβατό με εκείνο του πλαισίου. Συνήθως κατά την αγορά της μπαταρίας επιλέγεται και το αντίστοιχο βύσμα που είναι συμβατό με εκείνη και τοποθετείται στο PCB του frame.
- Το κόστος της μπαταρίας που είναι μέρος του budget που διαθέτει κάποιος για ένα τετρακόπτερο

Με βάση λοιπόν όλα τα παραπάνω και κυρίως με τις διαθέσιμες μπαταρίες που υπήρχαν στην αγορά κατέληξα στην Gens ace 3300mAh 11.1V Lipo Battery Pack.



Εικόνα 29 Gens ace 3300mAh 11.1V LiPo Battery Pack

### Χαρακτηριστικά

Βάρος	297,2g
Διαστάσεις	135*42*25 mm
Χωρητικότητα	3300mAh
Ποσοστό εκφόρτισης	25C
Ένταση ρεύματος	3S (11.1V)
Τύπος σύνδεσης	XT90

Να σημειώσω ότι κατά την αγορά της μπαταρίας, επιλέχτηκε και το συμβατό με εκείνη βύσμα(XT90) το οποίο κόλλησα στην πλακέτα του frame, το κόκκινο καλώδιο στο + και το μαύρο στο -.

## 6. ΠΟΜΠΟΣ – ΔΕΚΤΗΣ (TRANSMITTER - RECEIVER)

Αναφορικά με το πομποδέκτη τα πράγματα είναι απλά και δεν χρειάζεται να εστιάσουμε σε πολλές παραμέτρους προκειμένου να κάνουμε την βέλτιστη δυνατή επιλογή. Κάθε radio transmitter μεταδίδει εντολές μέσω των καναλιών. Κάθε κανάλι είναι μια μεμονωμένη ενέργεια που αποστέλλεται στο fly controller. Το Throttle, Yaw, Pitch και Roll είναι οι τέσσερις βασικές είσοδοι που απαιτούνται για τον έλεγχο του τετρακόπτερου. Κάθε ένα από αυτά χρησιμοποιεί ένα κανάλι, οπότε και χρειάζονται τουλάχιστον τέσσερα κανάλια. Επιπροσθέτως, κάθε διακόπτης ή κουμπί χρησιμοποιεί ένα κανάλι για να αποστείλει τις πληροφορίες. Με βάση όλων αυτών συνιστάται ένα σύστημα με τουλάχιστον 6 κανάλια (είναι και το φθηνότερο) για να μπορεί ένα drone να πετάξει. Στην αγορά υπάρχουν και συσκευές με 6-10 κανάλια τα οποία είναι πιο ακριβά προσφέροντας ωστόσο περισσότερες λειτουργίες όπως είναι η αυτόματη προσγείωση κτλ. Με βάση λοιπόν το εύρος των καναλιών που ήθελα να έχει ένας πομποδέκτης καθώς και το διαθέσιμο budget, επέλεξα το FlySky FS-i6X 10CH 2.4GHz μαζί με το οποίο βρίσκεται και το receiver FS-iA6B.



*Εικόνα 30 FlySky FS-i6X 10CH 2.4GHz -receiver FS-iA6B*

Στη συσκευασία φυσικά υπάρχει ο πομπός και ο δέκτης, ένα καλώδιο και το εγχειρίδιο χρήσης. Ο πομπός για να λειτουργήσει χρειάζεται 4 μπαταρίες AA ενώ ο δέκτης παίρνει τροφοδοσία από τον fly controller (αναλυτικότερη περιγραφή σύνδεσης του θα γίνει στην επόμενη ενότητα). Πολύ σημαντικό κομμάτι που πρέπει να προσέξει ο καθένας πριν χρησιμοποιήσει το πομπό είναι το bind (σύνδεση) με το δέκτη. Για να γίνει αυτό, τοποθετούμε το bind plug που υπάρχει στην συσκευασία στο vcc & ground του receiver, το τροφοδοτούμε (το λαμπάκι αρχίζει να αναβοσβήνει πολύ γρήγορα). Εν συνεχεία, πατάμε παρατεταμένα το κουμπί bind που υπάρχει στο transmitter και μετά ανοίγουμε το Power button. Με αυτόν τον τρόπο θα δούμε επιπλέον πληροφορίες στην οθόνη του πομπού ολοκληρώνοντας την μεταξύ τους σύνδεση.

## Χαρακτηριστικά

### FS-i6X

Βάρος	392g
Επαναφορτιζόμενο	Όχι
Κανάλια	6-10(default 6)
Εύρος ζώνης	500KHz
Διαστάσεις	174x89x190mm
Χρώμα	Μαύρο

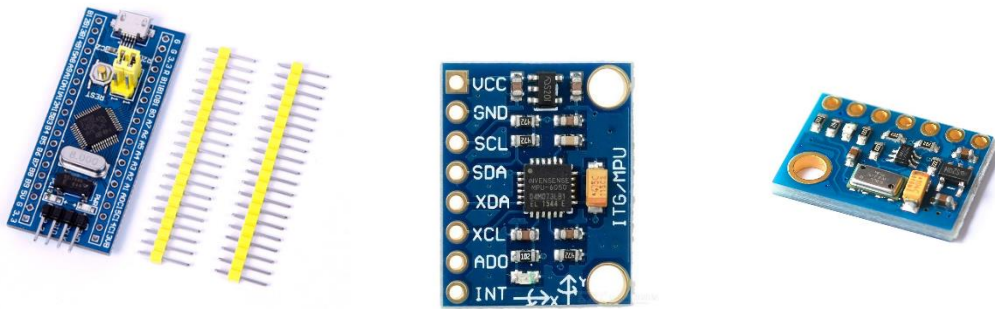
### FS-iA6B

Βάρος	17.6g
i-BUS Port	Ναι
Κανάλια	10
Εύρος ζώνης	500KHz
Διαστάσεις	50.6*34.9*14.9mm
Χρώμα	Μαύρο



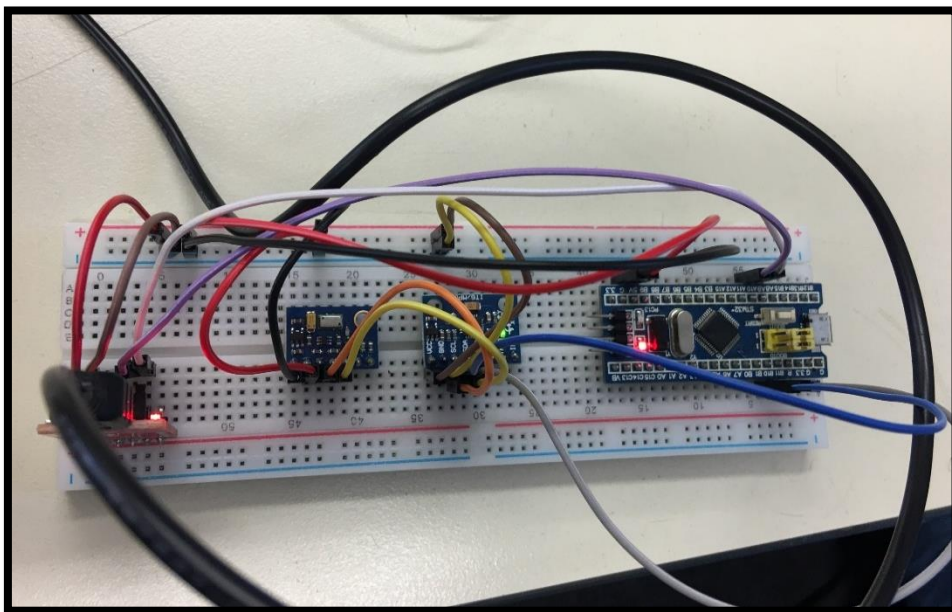
## 7. ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΠΤΗΣΗΣ (FLIGHT CONTROLLER)

Στο κομμάτι του flight controller δεν έχω να προσθέσω πολλά μιας και αναφέρθηκα εκτενώς σε παραπάνω κεφάλαιο. Ο ελεγκτής πτήσης αποτελείται από τον STM32F103C8T6 και από δύο ακόμη σένσορες, ένα γυροσκόπιο-επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων MPU6050 και το βαρόμετρο GY-63 MS5611.



*Εικόνα 31 STM32F103C8T6- MPU6050- GY-63 MS5611*

Όλα τα παραπάνω τοποθετήθηκαν σε ένα breadboard με αρσενικού-θυληκού τύπου καλώδια.

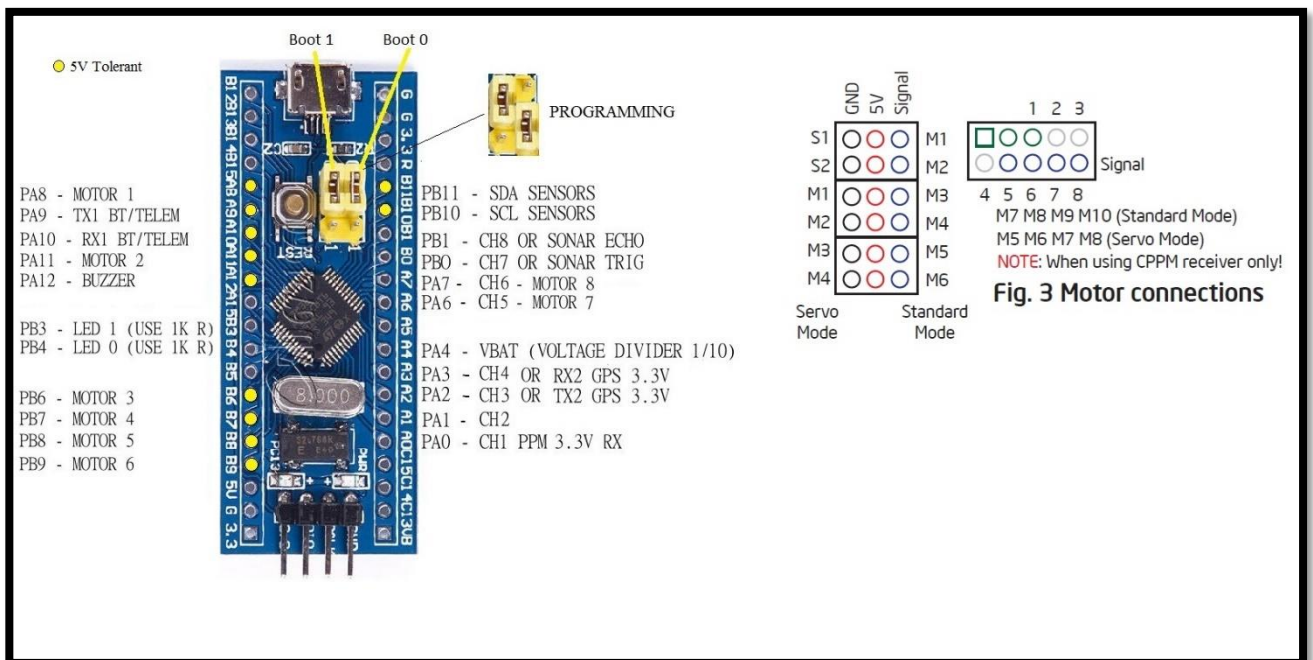


*Εικόνα 32 Flight Controller*



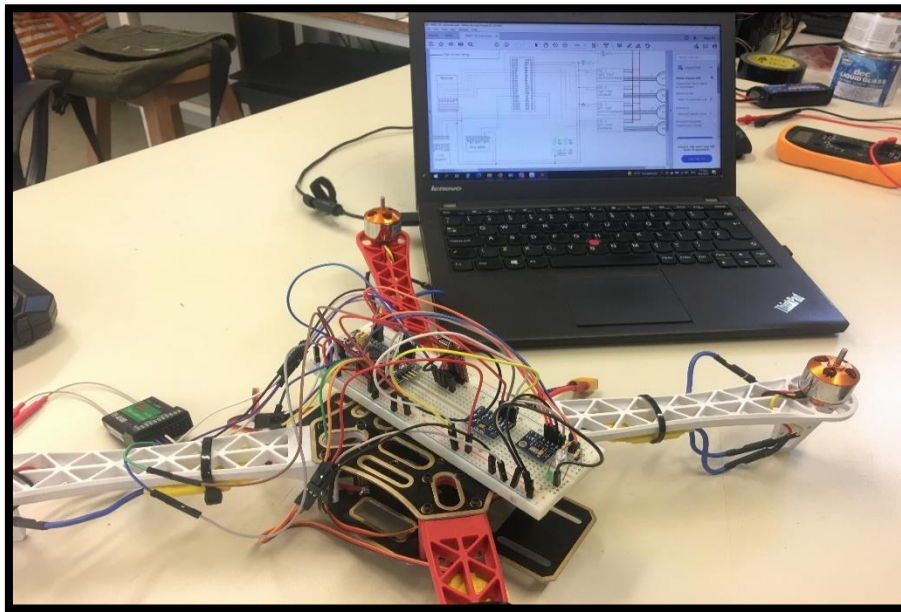
Όπως φαίνεται και στην εικόνα (κάτω αριστερά) είναι τοποθετημένο ένα FTDI chip και πιο συγκεκριμένα το FT232R. Σκοπός του chip αυτού είναι η μεταφορά δεδομένων μέσω σειριακής σύνδεσης. Έτσι μπορεί και προγραμματίζεται το STM32 με τον τρόπο που ο καθένας επιλέγει. Η σύνδεση όλων των εξαρτημάτων μόνο τυχαία δεν είναι. Ο flight controller που φαίνεται και στην εικόνα βασίζεται ουσιαστικά στον Naze32 flight controller και στο firmware που εκείνος χρησιμοποιεί. Πιο συγκεκριμένα το Naze32 είναι ένας μικρός ελεγκτής πτήσης (36x36mm) που βασίζεται σε επεξεργαστή STM32 32-bit που λειτουργεί στα 72 MHz.

Με γνώμονα όλα τα παραπάνω και προχωρώντας στη φάση συναρμολόγησης του τετρακόπτερου, η συνδεσμολογία όλων των εξαρτημάτων βασίζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 33 Συνδεσμολογία όλων των εξαρτημάτων

Η εικόνα αυτή αναπαριστά με τον καλύτερο δυνατό τρόπο όλα τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει κανείς προκειμένου να υλοποιηθεί με επιτυχία το τετρακόπτερο. Ξεκινώντας με το flight controller που ήταν και η αρχή του drone μιας και έπρεπε να το προγραμματίσω, συνέχισα με το frame που ήταν εύκολο στην συναρμολόγηση, ακολούθησε η τοποθέτηση των esc και των μοτέρ και στο τέλος σύνδεσα και το receiver για να μπορώ να ρυθμίσω το transmitter.



*Εικόνα 34 Το τετρακόπτερο συναρμολογημένο*

Το τετρακόπτερο είναι συναρμολογημένο και έτοιμο για να ρυθμιστεί ο flight controller. Στο σημείο αυτό δεν είναι απαραίτητη η τοποθέτηση της μπαταρίας. Ο flight controller συνδέεται στον υπολογιστή μέσω της θύρας usb και ανάλογα με το πρόγραμμα που θα επιλεγεί ξεκινάει το set up. Πριν προχωρήσω στο κομμάτι του προγραμματισμού, θα αναφέρω ότι μου πήρε αρκετό καιρό μέχρι να επιλέξω το λογισμικό που θα δουλέψω το οποίο τελικώς είναι το BetaFlight. Μια καλή συμβουλή είναι όταν συναρμολογούμε όλα τα εξαρτήματα και το τετρακόπτερο είναι έτοιμο, να τοποθετούμε την μπαταρία για να διαπιστώσουμε αν όλα τα μοτέρ δουλεύουν (ακούγεται ένας χαρακτηριστικός ήχος) και με ένα πολύμετρο ελέγχουμε αν περνάει ρεύμα από όλα τα ESC, ελέγχοντας τυχόν βραχυκυκλώματα.

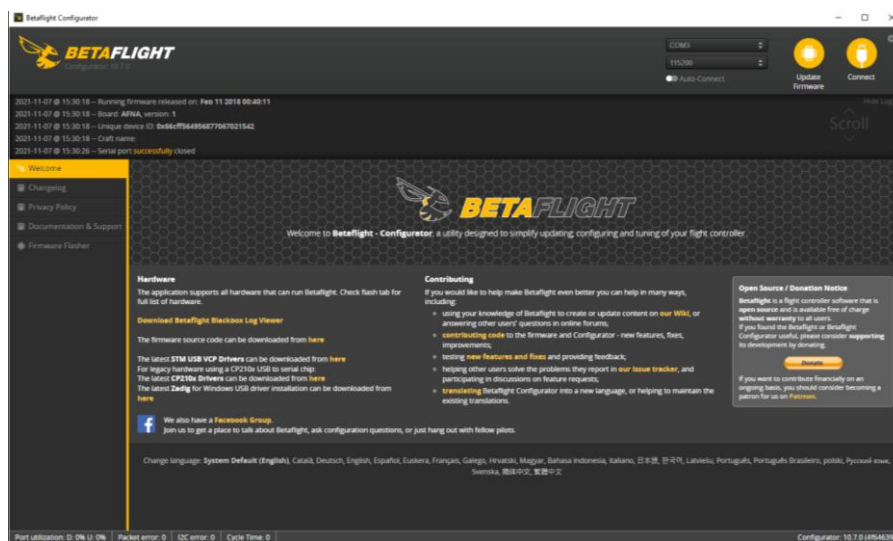
## Κεφάλαιο 11<sup>ο</sup>

### 11. Επιλογή λογισμικού

Το set up του flight controller αποτελεί και το τελευταίο στάδιο υλοποίησης του τετρακόπτερο. Αφότου εκτέλεσα με επιτυχία όλα τα βήματα για την κατασκευή του drone και επέλυσα ό,τι τυχόν προβλήματα προέκυψαν, ξεκίνησα να προγραμματίζω τον ελεγκτή πτήσης. Αναζητώντας την ιδανική πλατφόρμα για το τετρακόπτερο κατέληξα στο BetaFlight, ένα εύχρηστο και φιλικό λογισμικό για όλους τους χρήστες, ιδανικό για αρχάριους χρήστες. Στο διαδίκτυο υπάρχουν αρκετοί οδηγοί εγκατάστασής του, είναι δωρεάν και μέσα σε ελάχιστο χρόνο μπορεί ο καθένας να το λειτουργεί. Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα βήματα που ακολούθησα προκειμένου να κάνω το καλύτερο δυνατό set up.

#### Βήμα 1<sup>ο</sup>

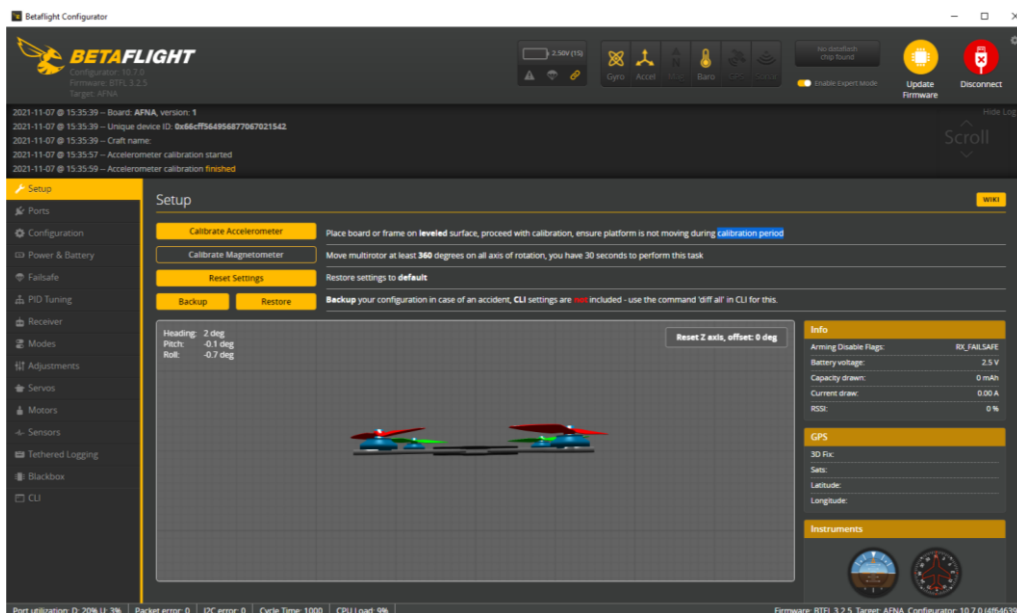
Σε πρώτη φάση πριν ξεκινήσω να ρυθμίζω τον ελεγκτή πτήσης, στο BetaFlight κάνω upload το λογισμικό που θέλω να χρησιμοποιήσω που δεν είναι άλλο από ένα Naze32.hex αρχείο.



Όπως φαίνεται και στην εικόνα πάνω δεξιά υπάρχει η επιλογή Update Firmware με την οποία έκανα εισαγωγή του hex αρχείου.

## Βήμα 2<sup>ο</sup>

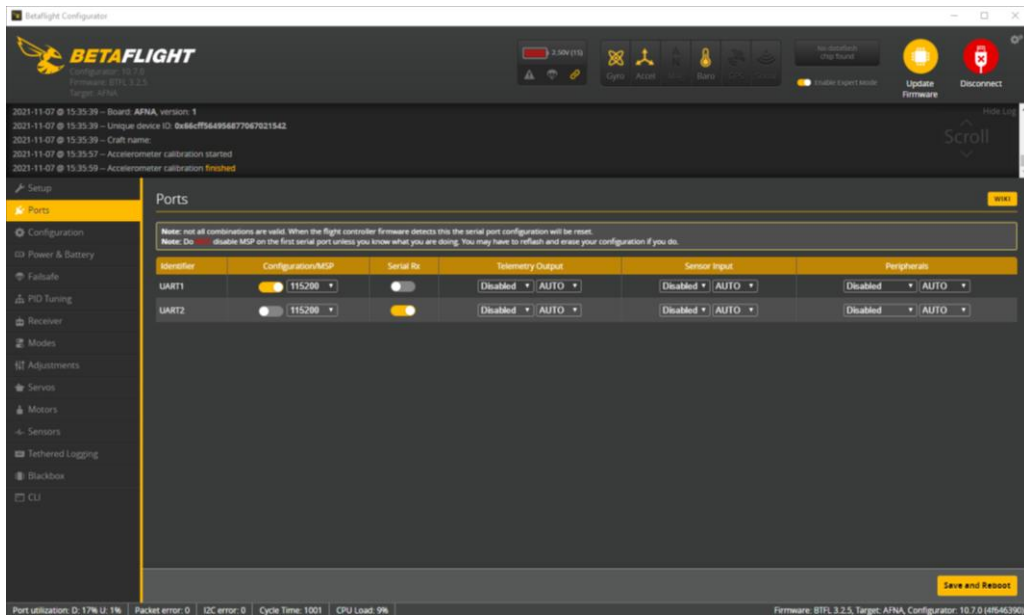
Εφόσον έχω επιλέξει το αρχείο που θέλω και αφότου βεβαιωθώ ότι έχει βρει την πόρτα σύνδεσης (COM3 στην περίπτωση αυτή) κάνω connect.



Στο πάνω σημείο το BetaFlight μας παρουσιάζει όλους τους αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι και μας δίνει την επιλογή να ενεργοποιήσουμε το Expert Mode. Αριστερά υπάρχει το μενού με όλες τις επιλογές και στο κέντρο γίνονται οι εκάστοτε ρυθμίσεις. Ξεκινάω με την πρώτη καρτέλα που είναι το set up και κάνω calibrate το αξελερόμετρο. Για να γίνει σωστά θα πρέπει το τετρακόπτερο να παραμείνει ακίνητο για λίγα δευτερόλεπτα. Όπως φαίνεται το BetaFlight αναπαριστά σε 3D το τετρακόπτερο προκειμένου να διαπιστωθεί αν όντως έχει γίνει σωστά το calibration.

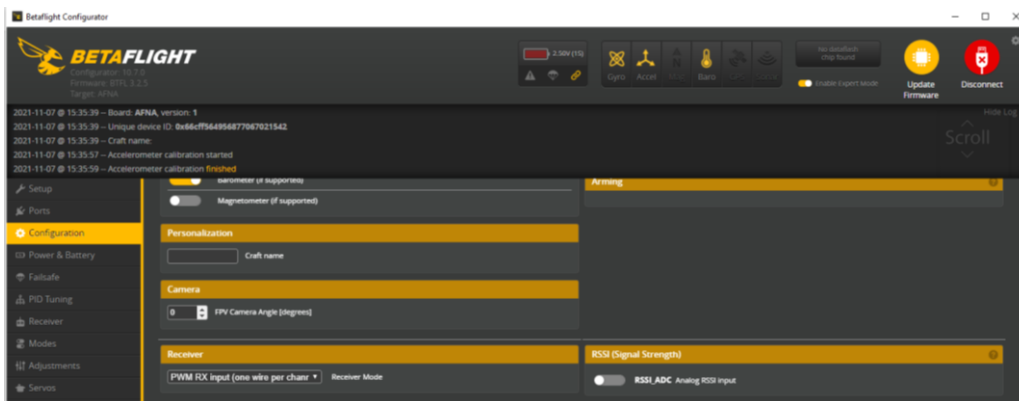
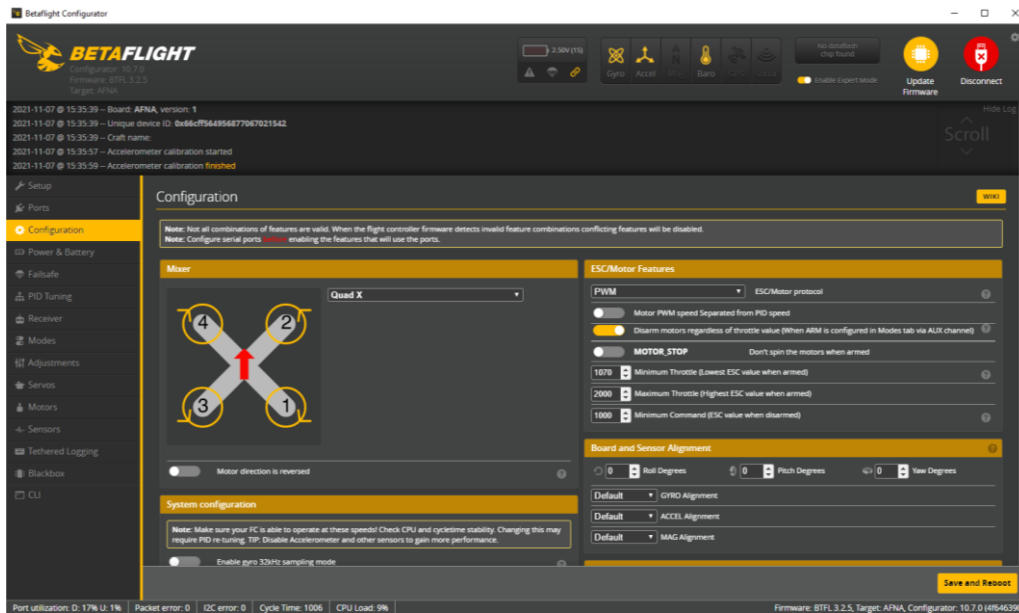
### Βήμα 3<sup>ο</sup>

Στην καρτέλα Ports το μόνο που χρειάζεται είναι να ενεργοποιησω είναι το Serial Rx στο UART2. Αυτό επιτυγχάνει την επικοινωνία του πομπού με το δέκτη. Σε αυτή την καρτέλα μπορούν να γίνουν κι άλλες ρυθμίσεις όπως αυτή της κάμερας, αν και στο συγκεκριμένο τετρακόπτερο δεν έχει τοποθετηθεί κάποιο οπτικό μέσο.



### Βήμα 4<sup>ο</sup>

Προχωρώντας στην καρτέλα Configuration επιλέγω το Quad X που είναι η διάταξη 'X' με δύο εμπρός και δύο πίσω κινητήρες. Ο μπροστά αριστερά (4) και ο πίσω δεξιά (1) κινούνται δεξιόστροφα ενώ οι υπόλοιποι δύο αριστερόστροφα.



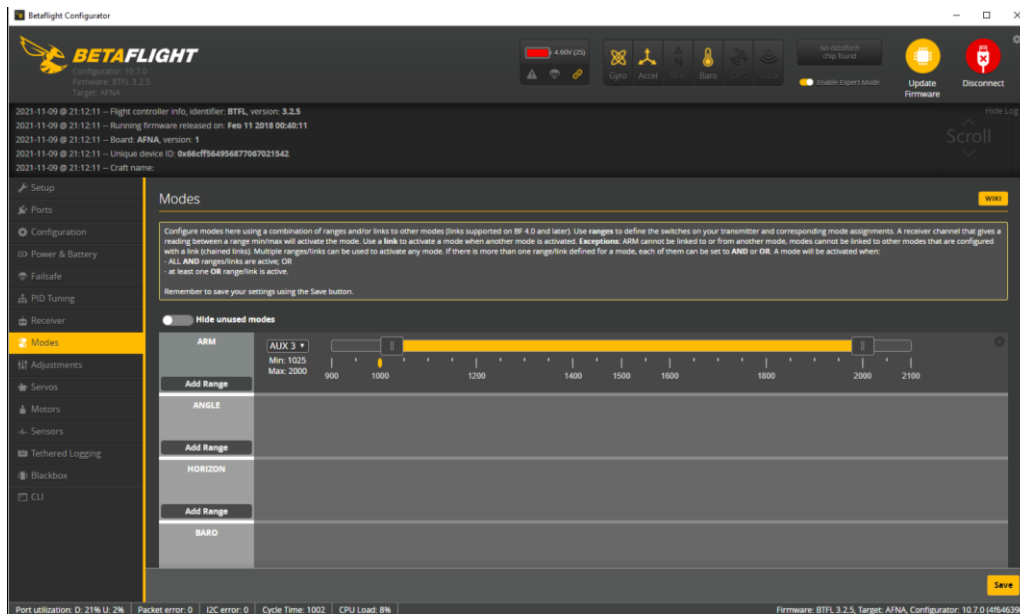
Όσον αναφορά την τηλεκατεύθυνση, στο πεδίο του Receiver επιλέγω PWM RX input επειδή χρησιμοποιώ ένα καλώδιο για κάθε κανάλι.

## Βήμα 5<sup>ο</sup>

Επόμενο βήμα έχει να κάνει με το arm (ενεργοποίηση) των κινητήρων. Πιο συγκεκριμένα, στο Models επιλέγω το AUX 3 (κανάλι 7 στο transmitter, 3<sup>ος</sup> κατά σειρά διακόπτης). Ο διακόπτης αυτός κατά κάποιον τρόπο «ξεκλειδώνει» τους κινητήρες. Ίσως ένα από τα σημαντικότερα βήματα όσον αναφορά την απογείωση του drone όπου χωρίς αυτό κανένα μοτέρ δεν μπορεί να λειτουργεί.



Είναι σημαντικό πριν ενεργοποιηθεί ο διακόπτης, ο μοχλός του γκαζιού πρέπει να έχει την λιγότερη δυνατή τιμή, ειδάλως δεν θα γίνει το arm. Το εύρος τιμών που χρησιμοποιήσα ήταν 1000-2000, χωρίς να σημαίνει ότι δεν δουλεύει και με άλλες τιμές.



## Βήμα 6°

Πριν προχωρήσω στις ρυθμίσεις που χρειάστηκαν γι' αυτό το βήμα θα κάνω μια μικρή παρένθεση στο receiver και στα κανάλια. Για να μπορεί να είναι λειτουργικό ένα τετρακόπτερο χρειάζεται 4 κανάλια για τις βασικές κατευθύνσεις και τουλάχιστον 1 κανάλι για το arm των κινητήρων. Στο τετρακόπτερο υπάρχει η δυνατότητα 7 καναλιών με προοπτική τα 2 από αυτά να χρησιμοποιούνται για το auto landing (αυτόματη προσγείωση) και το land in air (σταθερή αιώρηση).

Στο channel Map επέλεξα το FrSky μιας και χρησιμοποιώ το αντίστοιχο μοντέλο στο πομπό. Το AETR1234 υποδηλώνει τα εξής:

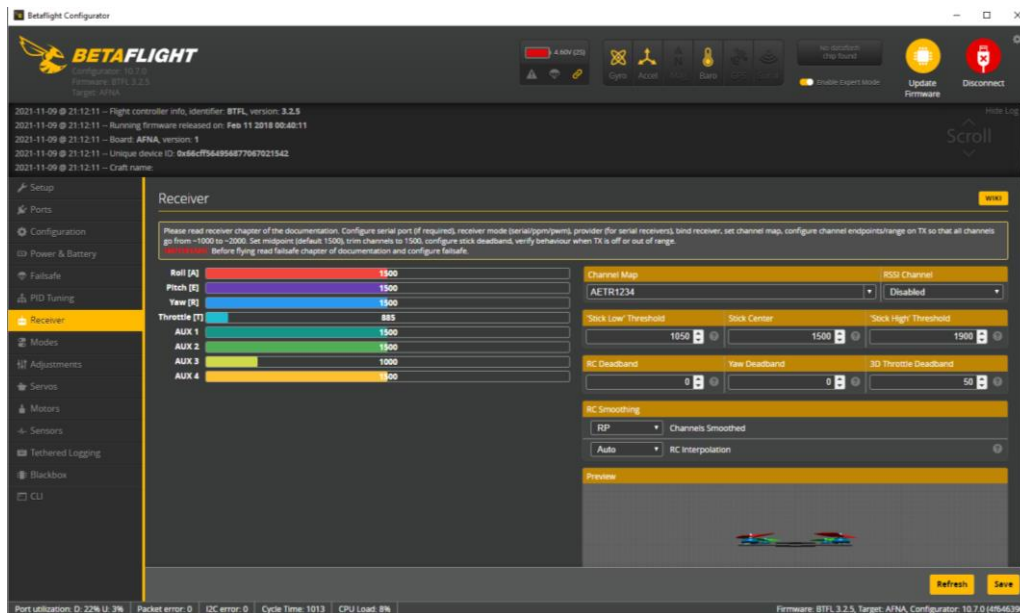
A (Roll) → channel 1 (δεξής μοχλός οριζόντια κίνηση)

E (Pitch) → channel 2 (δεξής μοχλός κάθετη κίνηση)

T (Throttle) → channel 3 (αριστερός μοχλός κάθετη κίνηση)

R (Yaw) → channel 4 (αριστερός μοχλός οριζόντια κίνηση)

Το AUX 1 & AUX 2 είναι οι δύο αριστεροί μοχλοί στο transmitter (channel 5 & channel 6). Κουνώντας τους μοχλούς μεταβάλλονται και οι τιμές στα πεδία με την τιμή 1000 να είναι η χαμηλότερη και την τιμή 2000 να είναι η μέγιστη δυνατή. Για κάθε ρύθμιση που υλοποιώ, κάνω και το αντίστοιχο save.

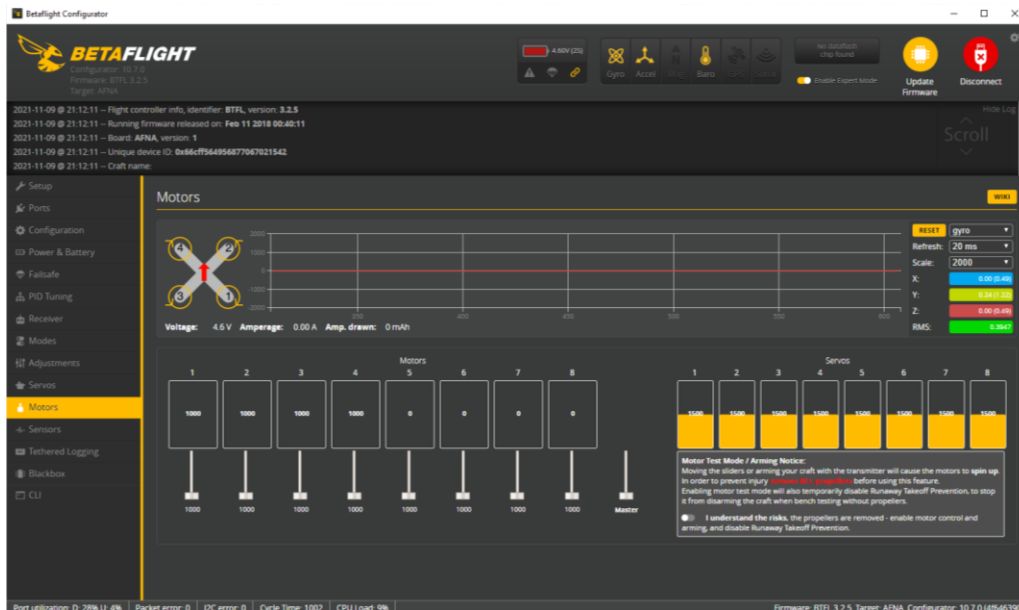


## Βήμα 7<sup>ο</sup>

Στο τελευταίο βήμα δεν γίνεται κάποια ρύθμιση απλώς παίρνω χρήσιμες πληροφορίες για το τετρακόπτερο. Πιο συγκεκριμένα, στο πεδίο Models ελέγγω αν όλοι οι κινητήρες λειτουργούν, είτε ο καθένας ξεχωριστά, είτε όλοι μαζί.

**\*ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Βεβαιωνόμαστε πάντα ότι κανένας έλικας δεν είναι τοποθετημένος στο τετρακόπτερο πριν προβούμε σε αυτό το βήμα.





## Κεφάλαιο 12<sup>ο</sup>

### 12. Κόστος κατασκευής

Το κόστος κατασκευής κάθε τετρακοπτέρου ποικίλλει ανάλογα με τα εξαρτήματα που έχει ο καθένας στην διάθεση του, το οικονομικό όριο που έχει θέσει εξαρχής καθώς και από τα καταστήματα (φυσικά ή online) που έχει επιλέξει. Είναι σημαντικό να μην γίνονται εκπτώσεις στην ποιότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το κόστος του εκάστοτε υλικού καθώς και το συνολικό πόσο που χρειάστηκε να δαπανήσω για το τετρακόπτερο. Συμπεριλαμβάνονται κάποια εργαλεία που χρειάστηκαν στην κατασκευή.

ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ
ΠΛΑΙΣΙΟ (FRAME)	1 τεμάχιο	16,99€
STM32 BLUE PILL	2 τεμάχια	14,83€ / 7,50€
FTDI	1 τεμάχιο	3,70€
ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΟ (MPU 6050)	1 τεμάχιο	4,90€
ΒΑΡΟΜΕΤΡΟ	2 τεμάχια	2*9,60€
ΜΠΑΤΑΡΙΑ LIPO	1 τεμάχιο	35,34€
FLYSKY I6X	1 τεμάχιο	79,89€
MOTEP	4 τεμάχια	4*9,92€
ΈΛΙΚΕΣ	2 + 2 τεμάχια	7,32€ / 3,81€
ESCS	5 τεμάχια	5*9,90€
XT60 BATTERY CONNECTOR	1 τεμάχιο	2,99€
ΚΑΛΑΙ	1 τεμάχιο	5,46€
ΚΑΛΩΔΙΑ	1 πακέτο	3,50€
ΠΟΛΥΜΕΤΡΟ	1 τεμάχιο	9,99€

Συνολικό κόστος: 304,60€

Στο κόστος περιλαμβάνεται μόνο η καθαρή αξία των προϊόντων και όχι τα μεταφορικά έξοδα. Τα μεταφορικά έξοδα ήταν περίπου στα 16,66€ καθώς τα περισσότερα εξαρτήματα αγοράστηκαν από φυσικά καταστήματα. Ακόμη, το κολλητήριο και το breadboard τα είχα εξαρχής οπότε και δεν χρειάστηκε να τα αγοράσω.

## Κεφάλαιο 13<sup>ο</sup>

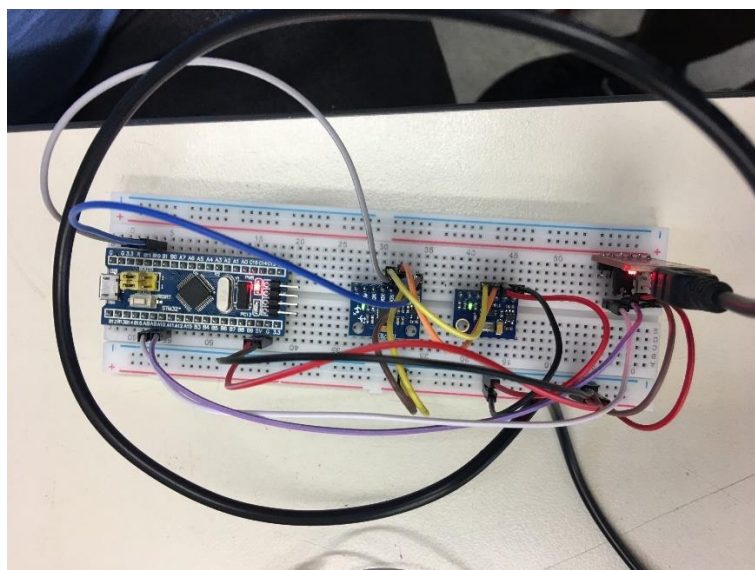
### Τεχνικές δυσκολίες – Προβληματισμοί

Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό κανένα project δεν υλοποιείται με ευκολία, υπάρχουν προβλήματα επιλύσιμα ή μη στα οποία πρέπει να ανταποκριθεί ο καθένας. Έτσι και στην δική μου πτυχιακή χρειάστηκε να αντιμετωπίσω κάθε δυσκολία για να προχωρήσω στο επόμενο βήμα. Αρχικά υπήρχε μεγάλος προβληματισμός σχετικά με τον προγραμματισμό του FC που θα επέλεγα. Αν και ακολούθησα στην αρχή την διαδικασία ενός τετρακόπτερου που είχε υλοποιήσει ο Joop Brokking, σύντομα κατάλαβα ότι υπήρχαν διάφορα τεχνικά προβλήματα που δεν μπορούσα να επιλύσω χάνοντας αρκετό χρόνο. Εν τέλει, κατέληξα στο BetaFlight και το Naze32. Ακόμη, ένα λάθος συνδεσμολογίας στο ένα από τα 4 ESC είχε σαν αποτέλεσμα να μην λειτουργεί το συγκεκριμένο μοτέρ και να δημιουργήσει πρόβλημα στο PCB του frame. Ακολούθησαν αρκετές δοκιμές στην προσπάθεια απογείωσης του τετρακόπτερου όπως και αρκετές πτώσεις. Συνέπεια αυτών ήταν ένας σπασμένος έλικας και κάποια εξωτερικά σημάδια. Επιπροσθέτως, ο περιορισμένος όγκος αποθέματος των εξαρτημάτων καθυστέρησε χρονικά την έναρξη υλοποίησης του τετρακόπτερου. Τέλος, προτείνεται αν και εφόσον το budget το επιτρέπει, κάποια δυσεύρετα εξαρτήματα να αγοράζονται εις διπλούν, καθώς στην δική μου περίπτωση δύο πλακέτες STM32 ήταν ελλατωματικές.

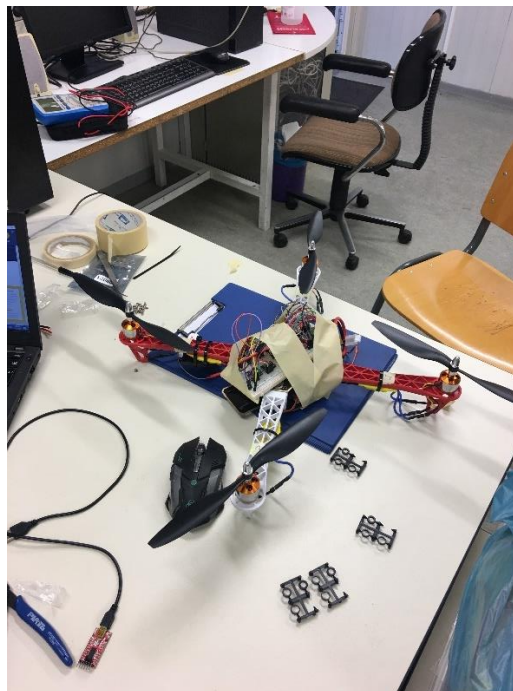
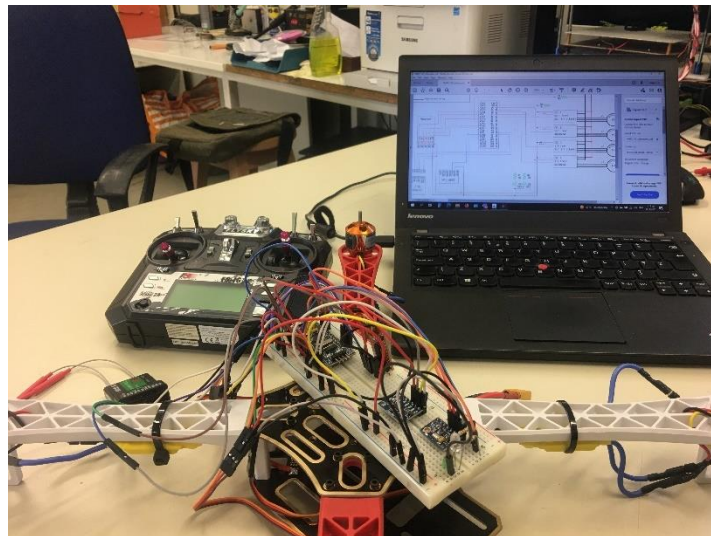
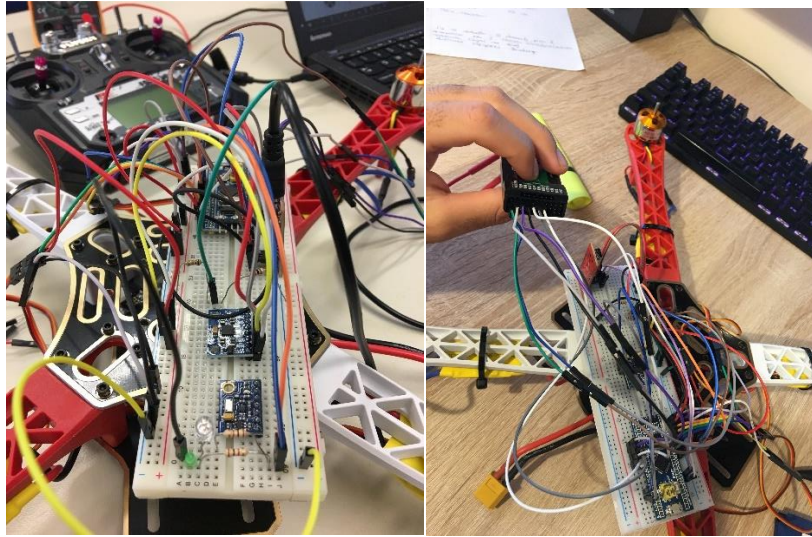
## Συμπεράσματα

Παρά τις δυσκολίες που προέκυψαν στην υλοποίηση του τετρακόπτερου, αξίζει και με το παραπάνω να ασχοληθεί κανείς με ένα τέτοιο project. Σίγουρα απαιτεί αρκετό χρόνο (πόσο μάλλον για έναν νέο στο αντικείμενο) και πολύ διάβασμα, όμως το αποτέλεσμα είναι η μεγαλύτερη ανταμοιβή. Πλέον η υλοποίηση απλών μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι ένας τομέας με μεγάλη εξέλιξη. Η χρήση των Drones έχει συμβάλει σημαντικά στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Ο κόσμος ανταποκρίνεται όλο και περισσότερο με αποτέλεσμα στο διαδίκτυο και γενικά στην αγορά να κυκλοφορούν όλο και περισσότερα σχέδια και υλικά που κάνουν την κατασκευή τους πιο εύκολη.

## Φωτογραφικό Υλικό









## Βιβλιογραφία

Σοφία, Ι. Α. (2019) Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (drones) στη ζωή μας, στην πολεμική αεροπορία και στην έννομη τάξη

Prisacariu, V. (2017) THE HISTORY AND THE EVOLUTION OF UAVs FROM THE BEGINNING TILL THE 70s

Drone Photography (2020) Η εξέλιξη των Drone

Καραμάνου, Α. (2017) Η εφαρμογή των Drones στη Διαχείριση των Καταστροφών

Smart Technologies (2021) Τα Drones στο πεδίο εφαρμογών της Ασφάλειας

Drdrone.ca (2018) HOW DRONES ARE SAVING LIVES

Drone.Net.GR (2018) Βασικές Αρχές Αεροδυναμικής των πολυκόπτερων (Drones).

Corrigan, F. (2020) How A Quadcopter Works Along With Propellers And Motors

Emissary Drones (2017) What is Pitch Roll and Yaw

Teel, J. Introduction to Programming STM32 ARM Cortex-M 32-bit Microcontrollers

Fahad, E. (2021) STM32 Blue Pill Arduino IDE Getting Started Tutorial, STM32 Boards

Aswinth, R. (2018) Programming STM32F103C8 Board using USB Port

Corrigan, F. (2020) Drone Gyro Stabilization, IMU And Flight Controllers Explained

getFPV (2019) All About Multirotor Drone FPV Frames

Corrigan, F. (2020) Best Drone Motors And How Drone Motors, ESCs, Propulsion Systems Work

getFPV (2019) All About Multirotor Drone Batteries

All About Multirotor Drone Radio Transmitters and Receivers