



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Διπλωματική Εργασία**  
**Ανάπτυξη και Έλεγχος Τετρακόπτερου**



**Φοιτητής: Σταύρος Σερέμελης**

**ΑΜ:46198**

**Επιβλέπων: Διονύσης Κανδρής, Καθηγητής**

**ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2022**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING**

**Diploma Thesis**  
**Development and Control of a Quadcopter**




**Student: Stavros Seremelis**

**Registration Number: 46198**

**Supervisor: Dionisis Kandris, Professor**

**ATHENS, MARCH 2022**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Διονύσης Κανδρής Καθηγητής	Αλέξανδρος Αλεξανδρίδης, Καθηγητής	Γιώργος Πάτσης, Καθηγητής
  (Υπογραφή)	  (Υπογραφή)	  (Υπογραφή)

**Copyright** © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**Σταύρος Σερέμελης, Μάρτιος, 2022**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

### **ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ**

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπόγραφα ότι η παρούσα εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα αποκλειστικά και ότι είμαι ο αποκλειστικός συγγραφέας του κειμένου της.

Η εργασία μου δεν προσβάλλει οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας ή προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής ή λογοκλοπής.

Κάθε βοήθεια που έλαβα για την ολοκλήρωση της εργασίας είναι αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στο κείμενό της. Ειδικότερα, έχω αναφέρει ευδιάκριτα μέσα στο κείμενο και με την κατάλληλη παραπομπή όλες τις πηγές δεδομένων, κώδικα προγραμματισμού Η/Υ, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών που χρησιμοποιήθηκαν, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης, και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Επιπλέον, όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης κατά τα διεθνή πρότυπα.

Τέλος δηλώνω ενυπόγραφα ότι αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της είναι προϊόν λογοκλοπής.

Μάρτιος 2022



Σταύρος Σερέμελης

## Περίληψη

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αναλύονται οι διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν από το εκπονούντα της για τη σχεδίαση και την ανάπτυξη ενός τετρακόπτερου. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στο δυναμικό μοντέλο του τετρακόπτερου, τα δομικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής του, και τις διαδικασίες ελέγχου της πτητικής λειτουργίας του.

Λέξεις-κλειδιά: Μη-επανδρωμένο αεροσκάφος, τετρακόπτερο

## Abstract

In the context of this dissertation, the procedures that were used by its author, in order to design and develop a quadcopter, are analyzed. Particular reference is made to the dynamic model of the quadcopter, the structural elements of its architecture, and the control procedures of its flight operation.

Keywords: unmanned aircraft (UAV), quadcopter

## Οργανόγραμμα Διπλωματικής Εργασίας

### Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Το αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός ιπτάμενου μη επανδρωμένου αεροσκάφους (quadcopter), το οποίο έχει τη δυνατότητα πλοήγησης με τηλεκατεύθυνση.

### Σκοπός και στόχοι

Αυτή η διπλωματική εργασία αποσκοπεί αφενός μεν στη σχεδίαση και ανάπτυξη ενός εργαστηριακού τετρακόπτερου αφετέρου δε στην επίτευξη του ελέγχου της πτητικής λειτουργίας του συγκεκριμένου συστήματος.

### Μεθοδολογία

Για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε ενδελεχής μελέτη των τετρακόπτερων από τη διερεύνηση του θεωρητικού πλαισίου που τα διέπει έως και τη σχεδίαση, τη μοντελοποίηση, την προσομοίωση και την τελική ανάπτυξη ενός συστήματος αυτού του τύπου και τον έλεγχο της πτητικής λειτουργίας του.

### Καινοτομία

Το σύστημα τετρακόπτερου που αποτελεί το αποτέλεσμα του έργου που εκπονήθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, σχεδιάστηκε για να επιτρέπει πτήσεις τόσο σε εσωτερικούς όσο και εξωτερικούς χώρους, λαμβάνοντας υπόψη ως σημαντική παράμετρο του σχεδιασμού την ασφάλεια των χρηστών και των παρακείμενων ατόμων. Για την ικανοποίηση αυτού του κριτηρίου, το σύστημα σχεδιάστηκε προκειμένου να είναι ταυτόχρονα γρήγορο, στιβαρό, και αξιόπιστο.

### Δομή

Σε αυτή την εργασία στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα τετρακόπτερα, το θεωρητικό μοντέλο, τα δομικά στοιχεία, τον προγραμματισμό και τις και ασύρματες επικοινωνίες τους, την ιστορική αναδρομή τους, τις εφαρμογές τους.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη σχεδίαση και την κατασκευή του τετρακόπτερου. Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφεται οι διαδικασίες που αφορούν στον προγραμματισμό τους συγκεκριμένου συστήματος. Τέλος, στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο συνοψίζεται το έργο που εκπονήθηκε, αναλύονται τα προβλήματα που προέκυψαν και η αντιμετώπισή τους, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που απορρέουν από αυτό και καταγράφονται προτάσεις για μελλοντική εξέλιξή του.

## Περιεχόμενα

<b>Περίληψη.....</b>	<b>1</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>1</b>
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας .....	2
Σκοπός και στόχοι.....	2
Μεθοδολογία .....	2
Καινοτομία .....	2
Δομή .....	2
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Θεωρητικό Μέρος.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Ορισμοί.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Τα τετρακόπτερα.....</b>	<b>7</b>
1.3.1. Ιστορική αναδρομή .....	7
1.3.1.1. Πρωτοπόροι.....	8
1.3.1.2. Μεταπολεμική εποχή .....	8
1.3.1.3. Τρέχουσες εξελίξεις.....	9
1.3.1.4. Μικρού μεγέθους τετρακόπτερα .....	9
1.3.2. Το θεωρητικό μοντέλο .....	10
1.3.2.1 Αρχές σχεδιασμού.....	10
1.3.2.2. Ροπή .....	10
1.3.2.3. Κατάσταση δακτυλίου δίνης.....	11
1.3.2.4. Μηχανική δομή .....	11
1.3.2.5. Ομοαξονικοί ρότορες .....	11
1.3.2.6. Λειτουργίες .....	12
<b>1.4 Εφαρμογές τετρακόπτερων .....</b>	<b>12</b>
1.4.1. Υπηρεσίες ασφάλειας και διάσωσης.....	12
1.4.2. Εμπορική χρήση και αεροφωτογράφιση .....	12
1.4.3. Παιχνίδια επαυξημένης πραγματικότητας .....	13
1.4.4. Η μελλοντική εξέλιξη των τετρακόπτερων .....	13
1.4.4.1. Επίλυση προβλημάτων κίνησης .....	13
1.4.4.2. Παράδοση τροφίμων και φαρμάκων .....	13
1.4.4.3. Προστασία Περιβάλλοντος.....	14
1.4.4.4. Ερευνητικό Εργαλείο .....	14
<b>1.5 Τα δομικά στοιχεία ενός τετρακόπτερου .....</b>	<b>14</b>

1.5.1 Μέγεθος .....	16
1.5.2 Αριθμός λεπίδων .....	16
1.5.3 Υλικό .....	16
1.5.3.1. Οι κινητήρες .....	16
1.5.3.2. Ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας .....	17
1.5.3.3. Ελεγκτής πτήσης .....	19
<b>1.6 Έλεγχος και ασύρματες επικοινωνίες των τετρακόπτερων .....</b>	<b>19</b>
1.6.1. Έλεγχος .....	19
1.6.2. Ασύρματες επικοινωνίες των τετρακόπτερων .....	20
1.6.2.1. Ενότητες επικοινωνίας .....	20
1.6.2.2. Ο αποδοτικός σχεδιασμός κεραιών .....	21
1.6.2.3. Τεχνολογίες δικτύωσης για το σύστημα επικοινωνιών .....	22
1.6.2.4. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων .....	23
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> Κατασκευή του τετρακόπτερου .....</b>	<b>25</b>
2.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου .....	25
2.2 Υλικά .....	25
2.3 Πλαίσιο .....	25
2.4 Ελεγκτής Πτήσης και Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας (Μέρος 1) .....	26
2.5 Κινητήρες και Προπέλες .....	28
2.6 Ελεγκτής Πτήσης και Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας (Μέρος 2) .....	32
2.7 Τηλεκατεύθυνση και κεραία τηλεκατεύθυνσης .....	33
2.8 Έλικες .....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> (Προγραμματισμός και σύνδεση τετρακόπτερου) .....</b>	<b>37</b>
3.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου .....	37
3.2 Προετοιμασία σύνδεσης τηλεκατεύθυνσης με τετρακόπτερο .....	37
3.3 Σύνδεση τηλεκατεύθυνσης με κεραία τηλεκατεύθυνσης .....	39
3.4 Σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή και προγραμματισμός .....	41
3.4.1. Βασικές ρυθμίσεις (Configuration/Receiver tab) .....	42
3.4.2. Ρύθμιση μοχλών .....	43
3.4.3. Ρύθμιση κατεύθυνσης μοτέρ .....	45
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....</b>	<b>46</b>
4.2 Σύνοψη Διπλωματικής Εργασίας .....	46
4.3 Προβλήματα και Αντιμετώπισή τους .....	46



<b>4.4 Συμπεράσματα-Παρατηρήσεις.....</b>	<b>49</b>
<b>4.5 Προτάσεις Μελλοντικής Εξέλιξης.....</b>	<b>49</b>
<b>5. Βιβλιογραφία .....</b>	<b>52</b>

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Θεωρητικό Μέρος

### 1.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου

Στο πρώτο κεφάλαιο αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο αυτής της εργασίας που αναφέρεται στα τετρακόπτερα.

### 1.2 Ορισμοί

Ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα ( UAV ) είναι ένα αεροσκάφος χωρίς ανθρώπινο χειριστή επί του σκάφους. Η πτήση τους μπορεί να λειτουργεί με διάφορους βαθμούς αυτονομίας : είτε υπό τηλεχειρισμό από ανθρώπινο χειριστή είτε αυτόνομα από ενσωματωμένους υπολογιστές που αναφέρονται ως αυτόματος πιλότος ( ICAO,2016). Ένα UAV ορίζεται ως "μηχανοκίνητο, εναέριο όχημα που δεν μεταφέρει ανθρώπινο χειριστή, χρησιμοποιεί αεροδυναμικές δυνάμεις για να παρέχει ανύψωση οχήματος, μπορεί να πετάξει αυτόνομα ή να πλοηγηθεί εξ αποστάσεως, μπορεί να είναι δαπανηρό ή ανακτήσιμο και μπορεί να φέρει θανατηφόρο ή μη θανατηφόρο ωφέλιμο φορτίο" (ICAO, 2016).

Ο όρος drone ή αλλιώς τετρακόπτερο που χρησιμοποιείται ευρύτερα από το κοινό, επινοήθηκε σε σχέση με τις αρχές της εξ αποστάσεως πτήσης στόχου με αεροσκάφη που χρησιμοποιούνται για την πρακτική βολής των όπλων ενός θωρηκτού, και ο όρος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά με τη δεκαετία του 1920 Fairey Queen και 1930 de Havilland Queen Bee -σκοπευτικού αεροσκάφους.

Η λέξη drone είναι αγγλική και σημαίνει βόμβος ή βούισμα, το βασικό χαρακτηριστικό των κηφήνων (αρσενικές μέλισσες). Η επίσημη ονομασία τους είναι στα ελληνικά ΣμηΕΑ (Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών) και είναι πολύ πιο σύνθετες και εξελιγμένες συσκευές από τα τηλεκατευθυνόμενα διότι ενσωματώνουν πολύ εξελιγμένες τεχνολογίες πτήσης και ελέγχου. Ουσιαστικά είναι αεροσκάφη που ελέγχονται από απόσταση αλλά μπορούν να πετάξουν και αυτόνομα με τη βοήθεια αισθητήρων και GPS που διαθέτουν.

Σε σύγκριση με αεροσκάφη πληρώματος, τα τετρακόπτερα αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για αποστολές πολύ «βαρετές, βρώμικες ή επικίνδυνες» (Tice, 1991) για τον άνθρωπο. Ενώ τα drone προήλθαν κυρίως από στρατιωτικές εφαρμογές, πλέον έχουν αναπτυχθεί και βρίσκουν θέση σε περιοχές όπως η αεροφωτογράφιση , η παράδοση προϊόντων , η γεωργία , η αστυνόμευση και επιτήρηση, οι επιθεωρήσεις υποδομής, στις επιστήμες, στο λαθρεμπόριο, και τους αγώνες drone ( Koraran, et al., 2019).

Οι όροι αυτόνομο drone και UAV χρησιμοποιούνται κατά λάθος εναλλακτικά. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι πολλά UAV είναι αυτοματοποιημένα, δηλαδή πραγματοποιούν αυτοματοποιημένες αποστολές, αλλά εξακολουθούν να βασίζονται σε ανθρώπινους χειριστές. Ωστόσο, ένα αυτόνομο drone είναι "UAV" που μπορεί να λειτουργήσει χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Με άλλα λόγια, τα αυτόνομα αεροσκάφη απογειώνονται, πραγματοποιούν αποστολές και προσγειώνονται εντελώς αυτόνομα. Έτσι, ένα αυτόνομο drone είναι ένας τύπος UAV, αλλά ένα UAV δεν είναι απαραίτητα αυτόνομο drone (Taylor, 2020).

Καθώς τα αυτόνομα drone δεν δοκιμάζονται από ανθρώπους, ένα σύστημα ελέγχου εδάφους ή ένα λογισμικό διαχείρισης επικοινωνιών, παίζει σημαντικό ρόλο στις λειτουργίες τους. Εκτός από το λογισμικό, τα drones χρησιμοποιούν επίσης μια σειρά από προηγμένες

τεχνολογίες που τους επιτρέπουν να εκτελούν τις αποστολές τους χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, όπως υπολογιστικό νέφος, όραση υπολογιστή, τεχνητή νοημοσύνη, μηχανική μάθηση, βαθιά μάθηση και θερμικούς αισθητήρες (Drone Industry Insights, 2018).

Τα τελευταία χρόνια, αυτόνομα τετρακόπτερα έχουν αρχίσει να μετατρέπουν διάφορες εμπορικές βιομηχανίες, δεδομένου ότι μπορεί να πετάξουν πέρα από την οπτική γραμμή της όρασης (BVLOS) , ενώ η μεγιστοποίηση της παραγωγής, μείωση του κόστους και των κινδύνων, εξασφαλίζουν την ασφάλεια χώρου, την ασφάλεια και την κανονιστική συμμόρφωση, και προστασία του ανθρώπινου δυναμικού σε περιόδους πανδημίας. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για αποστολές που σχετίζονται με τους καταναλωτές, όπως παράδοση πακέτων, όπως αποδεικνύεται από την Amazon Prime Air , και για κρίσιμες παραδόσεις προμηθειών υγείας. Το Drone-in-a-Box (DIB) είναι ένα αυτόνομο drone που αναπτύσσεται για τη διεξαγωγή μιας προγραμματισμένης λίστας αποστολών σε διάφορες περιοχές και επιστρέφει σε ένα αυτόνομο κιβώτιο προσγείωσης που λειτουργεί επίσης ως βάση φόρτισης του drone ( Peck, 2020).

Σύμφωνα με νέους κανονισμούς που τέθηκαν σε ισχύ την 1η Ιουνίου 2019, ο όρος RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) υιοθετήθηκε από την καναδική κυβέρνηση για να σημαίνει "ένα σύνολο διαμορφώσιμων στοιχείων που αποτελούνται από ένα απομακρυσμένο πιλότο αεροσκάφους, τον σταθμό ελέγχου του, την εντολή και τον έλεγχο συνδέσμου και άλλα στοιχεία συστήματος που απαιτούνται κατά τη λειτουργία πτήσης ". Η σχέση των UAV με αεροσκάφη τηλεχειριζόμενου μοντέλου είναι ασαφής. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη ενδέχεται να περιλαμβάνουν ή όχι μοντέλα αεροσκαφών. Ορισμένες δικαιοδοσίες βασίζονται στον ορισμό τους σε μέγεθος ή βάρος. Ωστόσο, η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας των ΗΠΑ ορίζει οποιοδήποτε μη επανδρωμένο ιπτάμενο σκάφος ως UAV ανεξάρτητα από το μέγεθος. Για ψυχαγωγικές χρήσεις, ένα drone είναι ένα πρότυπο αεροσκάφος που διαθέτει βίντεο πρώτου προσώπου, αυτόνομες δυνατότητες ή και τα δύο (Erezuma, 2015).

## 1.3 Τα τετρακόπτερα

### 1.3.1. Ιστορική αναδρομή

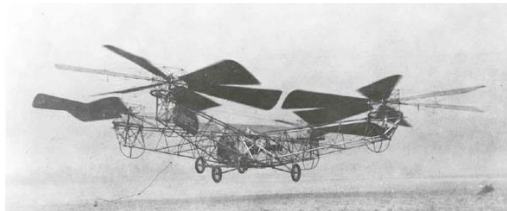
Στρατιωτικοί σε διάφορες χώρες χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά drone για τον πόλεμο. Ο αυστριακός στρατός ανέπτυξε για πρώτη φορά αυτές τις συσκευές για σκοπούς μάχης. Το 1849, οι Αυστριακοί επιτέθηκαν για πρώτη φορά στη Βενετία και την Ιταλία, με μη επανδρωμένα αερόστατα γεμάτα εκρηκτικά. Μερικά από αυτά λειτούργησαν, ενώ ο άνεμος έριξε τα υπόλοιπα πίσω στην αυστριακή επικράτεια. Αν και δεν είναι τόσο τεχνολογικά υγιές όσο τα σημερινά τετρακόπτερα, έδειξαν αρκετές δυνατότητες. Τα αεροπλάνα χωρίς πιλότους εμφανίστηκαν μετά τον 1ο Παγκόσμιο Πόλεμο. Το αυτοματοποιημένο αεροπλάνο Hewitt Sperry, που αναπτύχθηκε από τον Elmer Sperry της εταιρείας Sperry Gyroscope, ήταν η πρώτη έκδοση της σημερινής εναέριας τορπίλης.

Ο αμερικανικός στρατός σύντομα μετέτρεψε τα αεροπλάνα Standard E-1 σε drone. Ένα από αυτά, ο λάρυγγας (Larynx UAV), ήταν ένα μικρό μη επανδρωμένο αεροσκάφος που μπορούσε να πετάξει μετά την εκτόξευσή του από ένα πολεμικό πλοίο. Άλλα αυτοματοποιημένα αεροσκάφη, που αναπτύχθηκαν από τον αμερικανικό και βρετανικό στρατό, ακολούθησαν σύντομα. Το πρώτο τετρακόπτερο μαζικής παραγωγής ήταν δημιούργημα του Reginald Denny, ενός επιτυχημένου ηθοποιού του Χόλιγουντ. Ο ίδιος

συνέχισε το ενδιαφέρον του για τετρακόπτερα και δημιούργησε τις βιομηχανίες Reginald Denny. Η εταιρεία παρήγαγε το ‘ραδιοφωνικό αεροπλάνο’, το οποίο ενίσχυσε τον αμερικανικό στρατό στον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο. Ο στρατός των ΗΠΑ πειραματίστηκε με αυτά τα drone και δημιούργησε μια ποικιλία εναέριων τορπιλών. Αυτά τα αεροσκάφη ήταν επίσης ικανά να συλλέγουν ραδιενεργά δεδομένα (Quadcopter Arena, 2018).

### 1.3.1.1. Πρωτοπόροι

Το πρώτο βαρύτερο αεροδυναμικό αεροπλάνο που απογειώθηκε κατακόρυφα ήταν ένα ελικόπτερο με τέσσερις ρότορες που σχεδιάστηκε από τον Louis Breguet. Δοκιμάστηκε μόνο σε προσδεμένη πτήση και σε υψόμετρο λίγων ποδιών. Το 1908 αναφέρθηκε ότι είχε πετάξει πολλές φορές, αν και οι πληροφορίες που διαθέτουμε είναι λίγες (Anderson, 1997). Ο Etienne Oehmichen πειραματίστηκε με περιστροφικά σχέδια τη δεκαετία του 1920. Μεταξύ των σχεδίων που δοκίμασε, το ελικόπτερο No.2 το οποίο είχε τέσσερις ρότορες και οκτώ έλικες οι οποίοι κινούνται με έναν μόνο κινητήρα. Το Oehmichen No.2 χρησιμοποίησε ένα πλαίσιο από χαλύβδινο σωλήνα, με ρότορες δύο λεπίδων στα άκρα των τεσσάρων βραχιόνων. Η γωνία αυτών των λεπίδων μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την παραμόρφωση. Πέντε από τις προπέλες, περιστρέφοντας στο οριζόντιο επίπεδο, σταθεροποιώντας το μηχάνημα πλευρικά. Μια άλλη έλικα τοποθετήθηκε στη μύτη για οδήγηση. Το υπόλοιπο ζεύγος προπελών λειτούργησε ως εμπρόσθια πρόωση. Το αεροσκάφος παρουσίασε σημαντικό βαθμό σταθερότητας και αύξηση της ακρίβειας ελέγχου και πραγματοποίησε πάνω από χίλιες δοκιμαστικές πτήσεις στα μέσα της δεκαετίας του 1920. Μέχρι το 1923 μπόρεσε να παραμείνει στον αέρα για αρκετά λεπτά κάθε φορά, και στις 14 Απριλίου, το 1924 καθιέρωσε το πρώτο ρεκόρ απόστασης FAI για ελικόπτερα 360 μέτρων (390 yd). Έδειξε την ικανότητα ολοκλήρωσης μιας κυκλικής πορείας και αργότερα, ολοκλήρωσε την πρώτη πτήση κλειστού κυκλώματος 1 χιλιομέτρου (0,62 mi) με ένα rotorcraft.



Εικόνα 1 Ελικόπτερο de Bothezat , φωτογραφία του 1923

Ο Δρ George de Bothezat και ο Ivan Jerome ανέπτυξαν το ελικόπτερο de Bothezat (Εικόνα 1), με ρότορε έξι λεπίδων στο άκρο μιας δομής σχήματος Χ. Χρησιμοποίησαν δύο μικρές έλικες με μεταβλητό βήμα για τον έλεγχο ώσης και εκτροπής. Το όχημα χρησιμοποιούσε συλλογικό έλεγχο βημάτων. Κατασκευάστηκε από την US Air Service και έκανε την πρώτη της πτήση τον Οκτώβριο του 1922. Περίπου εκατό πτήσεις πραγματοποιήθηκαν μέχρι το τέλος του 1923. Η υψηλότερη που έφτασε ποτέ ήταν περίπου πέντε μέτρα (16 ft 5 in). Παρόλο που αποδείχθηκε πρόσφορο, ήταν μηχανικά περίπλοκο και επιρρεπές σε προβλήματα αξιοπιστίας. Ο πιλοτικός φόρτος εργασίας ήταν πολύ υψηλός κατά τη διάρκεια της αιώρησης για να επιχειρήσει πλευρική κίνηση.

### 1.3.1.2. Μεταπολεμική εποχή

Το Convertawings Model A Quadrotor προοριζόταν να είναι το πρωτότυπο μιας σειράς πολύ μεγαλύτερων πολιτικών και στρατιωτικών ελικοπτέρων. Ο σχεδιασμός περιείχε δύο

κινητήρες που κινούν τέσσερις ρότορες μέσω ενός συστήματος ιμάντα. Δεν χρειαζόταν ρότορας ουράς και επιτεύχθηκε έλεγχος μεταβάλλοντας την ώθηση μεταξύ των στροφείων. Πέταξε πολλές φορές από το 1956 και απέδειξε την τετραπλή σχεδίαση και ήταν επίσης το πρώτο τετράτροχο ελικόπτερο που επέδειξε επιτυχημένη πτήση προς τα εμπρός. Λόγω έλλειψης παραγγελιών για εμπορικές ή στρατιωτικές εκδόσεις, το έργο τερματίστηκε. Το Convertawings πρότεινε ένα μοντέλο E που θα είχε μέγιστο βάρος 42.000 lb (19 t) με ωφέλιμο φορτίο 10.900 lb (4.9 t), πάνω από 300 μίλια και έως και 173 mph (278 km / h). Ο φτερωτός ρότορας Hanson Elastic Articulated (EA) αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1960 στο Lockheed California από τον Thomas F. Hanson, ο οποίος είχε προηγουμένως εργαστεί στο Convertawings στο σύστημα σχεδίασης και ελέγχου τετραγωνικού ρότορα.

Το Curtiss-Wright VZ-7 του 1958 ήταν ένα αεροσκάφος VTOL που σχεδιάστηκε από τον Curtiss-Wright σε διαγωνισμό για το «ιπτάμενο τζιπ (flying jeep)» της Διοίκησης Στρατιωτικών Μεταφορών και Έρευνας των ΗΠΑ. Το VZ-7 δοκιμάστηκε αλλάζοντας την ώθηση καθενός από τους τέσσερις αγωγούς ανεμιστήρα. Το Piasecki PA-97 ήταν μια πρόταση για ένα μεγάλο υβριδικό αεροσκάφος στο οποίο τέσσερις άξονες ελικοπτέρων συνδυάστηκαν με ένα ελαφρύτερο αεροσκάφος τη δεκαετία του 1980 ( Inan, & Kiris, 2007).

### 1.3.1.3. Τρέχουσες εξελίξεις

Η ιδέα του Bell Boeing Quad TiltRotor προχωρά περαιτέρω στην ιδέα του τετρακόπτερου συνδυάζοντάς την με την ιδέα ενός ανακλινόμενου ρότορα (tilt rotor) για μια προτεινόμενη στρατιωτική μεταφορά μεγέθους C-130. Η Airbus αναπτύσσει ένα quadcopter με μπαταρία για να λειτουργεί ως αστικό αεροπορικό ταξί, αρχικά με έναν πιλότο αλλά πιθανώς αυτόνομο στο μέλλον.

### 1.3.1.4. Μικρού μεγέθους τετρακόπτερα

Τις τελευταίες δεκαετίες, η διάταξη τετρακόπτερου έχει γίνει δημοφιλής για μικρού μεγέθους τετρακόπτερα. Η ανάγκη για αεροσκάφη με μεγαλύτερη ευελιξία και ικανότητα αιώρησης οδήγησε σε αύξηση της έρευνας για τα drone. Ο σχεδιασμός με τέσσερις ρότορες επιτρέπει στα τετρακόπτερα να είναι σχετικά απλά στο σχεδιασμό αλλά εξαιρετικά αξιόπιστα και ευέλικτα. Η έρευνα συνεχίζει να αυξάνει τις ικανότητες των τετρακοπτέρων, σημειώνοντας πρόοδο στην επικοινωνία πολλαπλών τεχνών, την εξερεύνηση του περιβάλλοντος και την ευελιξία. Εάν αυτές οι αναπτυσσόμενες ιδιότητες μπορούν να συνδυαστούν, τα τετρακόπτερα θα είναι ικανά να προχωρήσουν σε αυτόνομες αποστολές που προς το παρόν δεν είναι δυνατές με άλλα οχήματα ( Villbrandt, 2010).

Γύρω στο 2005 έως το 2010, οι εξελίξεις στα ηλεκτρονικά επέτρεψαν την παραγωγή φτηνών ελαφρών ελεγκτών πτήσης, επιταχυνσιόμετρων ( IMU ), παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης και καμερών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η διαμόρφωση τετρακόπτερου να γίνει δημοφιλής για μικρότερα τέτοιου είδους εναέρια οχήματα. Με το μικρό τους μέγεθος και την ευελιξία τους, αυτά τα τετρακόπτερα μπορούν να μεταφερθούν σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους ( Büchi, 2011).

Τα τετρακόπτερα είναι φθηνότερα και πιο ανθεκτικά από τα συμβατικά ελικόπτερα λόγω της μηχανικής τους απλότητας. ( Pounds, et al., 2006). Οι μικρότερες λεπίδες τους είναι επίσης πλεονεκτικές επειδή διαθέτουν λιγότερη κινητική ενέργεια, μειώνοντας την ικανότητά τους να προκαλέσουν ζημιές. Για τα τετρακόπτερα μικρής κλίμακας, αυτό καθιστά τα οχήματα ασφαλέστερα για κοντινή αλληλεπίδραση. Είναι επίσης δυνατή η τοποθέτηση τετρακόπτερων με προστατευτικά που περικλείουν τους ρότορες, μειώνοντας περαιτέρω την πιθανότητα

πρόκλησης ζημιών. Ωστόσο, καθώς αυξάνεται το μέγεθος, τα τετρακόπτερα αναπτύσσουν μειονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά ελικόπτερα. Η αύξηση του μεγέθους της λεπίδας αυξάνει την ορμή τους. Αυτό σημαίνει ότι οι αλλαγές στην ταχύτητα της λεπίδας διαρκούν περισσότερο, πράγμα που επηρεάζει αρνητικά τον έλεγχο. Τα ελικόπτερα δεν αντιμετωπίζουν αυτό το πρόβλημα καθώς η αύξηση του μεγέθους του δίσκου του ρότορα δεν επηρεάζει σημαντικά την ικανότητα ελέγχου του βήματος της λεπίδας. Λόγω της ευκολίας κατασκευής και ελέγχου τους, τα τετρακόπτερα είναι δημοφιλή ως ερασιτεχνικά μοντέλα αεροσκαφών (MAKE, 2011).

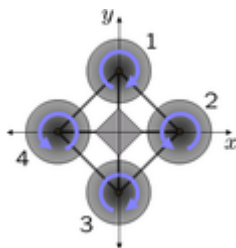
### 1.3.2. Το θεωρητικό μοντέλο

#### 1.3.2.1 Αρχές σχεδιασμού

Κάθε ρότορας παράγει τόσο ανύψωση όσο και ροπή γύρω από το κέντρο περιστροφής του, καθώς και αντίσταση αντίθετη προς την κατεύθυνση πτήσης του οχήματος. Τα τετρακόπτερα έχουν γενικά δύο ρότορες που περιστρέφονται δεξιόστροφα (CW) και δύο αριστερόστροφα (CCW). Ο έλεγχος πτήσης παρέχεται από ανεξάρτητη παραλλαγή της ταχύτητας και συνεπώς ανύψωσης και ροπής κάθε ρότορα. Το κυκλικό βήμα ελέγχεται μεταβάλλοντας το καθαρό κέντρο ώσης, ενώ το διάκενο ελέγχεται μεταβάλλοντας την καθαρή ροπή (Stafford, 2014). Σε αντίθεση με τα συμβατικά ελικόπτερα, τα τετρακόπτερα συνήθως δεν έχουν έλεγχο κυκλικού βήματος, στο οποίο η γωνία των λεπίδων ποικίλλει δυναμικά καθώς περιστρέφονται γύρω από την πλήμνη του ρότορα. Στις πρώτες μέρες της πτήσης, τα quadcopters (που τότε αναφέρονται είτε ως «quadrotors» είτε απλά ως «ελικόπτερα») θεωρήθηκαν ως πιθανή λύση σε ορισμένα από τα επίμονα προβλήματα των πτήσεων. Τα ζητήματα ελέγχου που προκαλούνται από ροπή (καθώς και τα ζητήματα απόδοσης που προέρχονται από τον ρότορα της ουράς, το οποίο δεν δημιουργεί κανένα χρήσιμη ανύψωση) μπορούν να εξαλειφθούν με αντίστροφη περιστροφή και οι σχετικά μικροί έλικες είναι πολύ πιο εύκολο να κατασκευαστούν. Ορισμένα επανδρωμένα σχέδια εμφανίστηκαν τη δεκαετία του 1920 και του 1930. Αυτά τα οχήματα ήταν από τα πρώτα επιτυχημένα οχήματα απογείωσης και προσγείωσης (VTOL) (Leishman, 2000). Ωστόσο, τα πρώιμα πρωτότυπα υπέφεραν από κακή απόδοση, και τα μεταγενέστερα πρωτότυπα απαιτούσαν πολύ πιλοτικό φόρτο εργασίας, λόγω της κακής αύξησης της σταθερότητας και της περιορισμένης εξουσίας ελέγχου (Anderson, 1997).

#### 1.3.2.2. Ροπή

Εάν και οι τέσσερις ρότορες περιστρέφονται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα, με δύο περιστρεφόμενες δεξιόστροφα και δύο αριστερόστροφα, η καθαρή ροπή γύρω από τον άξονα εκτροπής είναι μηδέν, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχει ανάγκη για έναν ρότορα ουράς όπως στα συμβατικά ελικόπτερα. Το βουητό προκαλείται από την ανισοροπία στις αεροδυναμικές δυνάμεις (δηλαδή, αντισταθμίζοντας τις σωρευτικές εντολές ώθησης μεταξύ των αντιστρέψιμων ζευγών λεπίδων).



Σχηματική ροπή αντίδρασης σε κάθε κινητήρα αεροσκάφους quadcopter, λόγω περιστροφικών στροφών. Οι ρότορες 1 και 3 περιστρέφονται σε μία κατεύθυνση, ενώ οι ρότορες 2 και 4 περιστρέφονται στην αντίθετη κατεύθυνση, αποδίδοντας αντίθετες ροπές για έλεγχο.



Ένα τετρακόπτερο αιωρείται ή ρυθμίζει το ύψος του εφαρμόζοντας ίση ώθηση και στους τέσσερις ρότορες.



Ένα τετρακόπτερο προσαρμόζει την εκτροπή εφαρμόζοντας περισσότερη ώθηση προς μία κατεύθυνση.



Ένας τετρακόπτερο ρυθμίζει το βήμα εφαρμόζοντας περισσότερη ώθηση σε έναν ρότορα (ή δύο παρακείμενους ρότορες) και λιγότερη ώθηση στον διαμετρικά αντίθετο ρότορα.

### 1.3.2.3. Κατάσταση δακτυλίου δίνης

Όλα τα quadcopters υπόκεινται σε κανονική αεροδυναμική στροφών, συμπεριλαμβανομένης της κατάστασης στροβίλου.

### 1.3.2.4. Μηχανική δομή

Τα κύρια μηχανικά εξαρτήματα είναι ένας άξονας ή πλαίσιο, οι τέσσερις ρότορες (είτε σταθερού βήματος είτε μεταβλητού βήματος) και οι κινητήρες. Για βέλτιστες επιδόσεις και απλούστερους αλγόριθμους ελέγχου, οι κινητήρες και οι έλικες είναι ίσοι ( Uriah ,2010).

### 1.3.2.5. Ομοαξονικοί ρότορες

Προκειμένου να επιτραπεί περισσότερη ισχύς και σταθερότητα σε μειωμένο βάρος, ένα τετρακόπτερο , όπως οποιοδήποτε άλλος πολυκινητήρας μπορεί να χρησιμοποιήσει

μια ομοαξονική διάταξη ρότορα . Σε αυτήν την περίπτωση, κάθε βραχίονας έχει δύο κινητήρες που λειτουργούν σε αντίθετες κατευθύνσεις (ένας προς τα πάνω και ένας προς τα κάτω).

### **1.3.2.6. Λειτουργίες**

#### **Αυτόνομη πτήση**

Η διαμόρφωση ενός τετρακόπτερου είναι σχετικά απλή στον προγραμματισμό για αυτόνομη πτήση. Αυτό επέτρεψε πειράματα με περίπλοκες λειτουργίες βασισμένη στη βασική ανίχνευση των γειτονικών τετρακοπτέρων.

#### **Αντοχή**

Ο μεγαλύτερος χρόνος πτήσης που επιτεύχθηκε από ένα τετρακόπτερο με μπαταρία ήταν 2 ώρες, 31 λεπτά και 30 δευτερόλεπτα. Το ρεκόρ ορίστηκε από τον Ferdinand Kickinger της Γερμανίας το 2016. Κατά τον καθορισμό του ρεκόρ, ο Kickinger χρησιμοποίησε μπαταρίες ιόντων λιθίου υψηλής χωρητικότητας και απογύμνωσε το αεροπλάσιο μη απαραίτητου βάρους για να μειώσει την κατανάλωση ισχύος και να επεκτείνει την αντοχή. Εναλλακτικές πηγές ενέργειας όπως κυψέλες καυσίμου υδρογόνου και υβριδικές γεννήτριες αερίου-ηλεκτρικής ενέργειας έχουν χρησιμοποιηθεί για να αυξήσουν δραματικά την αντοχή λόγω της αυξημένης ενεργειακής πυκνότητας τόσο υδρογόνου όσο και βενζίνης αντίστοιχα ( McNabb, 2018).

## **1.4 Εφαρμογές τετρακόπτερων**

### **1.4.1. Υπηρεσίες ασφάλειας και διάσωσης**

Στρατιωτικοί επιστήμονες σε διάφορες χώρες εφηύραν τετρακόπτερα για σκοπούς μάχης και αναγνώρισης. Εξακολουθούν να εξυπηρετούν αυτές τις λειτουργίες. Οι υπηρεσίες επιβολής του νόμου τα χρησιμοποιούν επίσης σε επιχειρήσεις αναζήτησης και διάσωσης. Αυτά τα μικρά εναέρια οχήματα έχουν την δυνατότητα ελέγχου, μέσω ειδικών καμερών, απρόσιτων περιοχών για την αναζήτηση επιζώντων από καταστροφές. Μέχρι τις 8 Μαρτίου 2022 824 άνθρωποι είχαν διασωθεί μέσω drones (DJI 2022). Οι υπηρεσίες ασφαλείας τα χρησιμοποιούν επίσης σε επιχειρήσεις αναζήτησης. Ένα από αυτά τα drone είναι το Aeryon Scout, που αναπτύχθηκε από την канаδική εταιρεία Aeryon Labs. Έχει βοηθήσει στην αποκάλυψη κυκλωμάτων διακίνησης ναρκωτικών στην Κεντρική Αμερική (Nice, 2004).

### **1.4.2. Εμπορική χρήση και αεροφωτογράφιση**

Οι ερασιτέχνες πιλότοι και οι λάτρεις του μοντελισμού αγαπούν τα τετρακόπτερα καθώς τα εκθαμβωτικά εναέρια κόλπα τους, δημιουργούν εξαιρετικά θέματα προς συζήτηση. Αυτές τις μέρες, πολλοί τα χρησιμοποιούν για τη λήψη αεροφωτογραφιών και βίντεο. Η τεχνολογία γυροσκοπίων τριών αξόνων σταθεροποιεί πολλά από τα πιο πρόσφατα τετρακόπτερα, επιτρέποντάς τους να τραβήξουν αυτές τις εικόνες χωρίς ένα ασταθές εφέ "jello". Οι ειδικοί πιλότοι θεωρούν τις κάμερες Go Pro ως τις καλύτερες για χρήση με τα τετρακόπτερα. Οι πιλότοι των τετρακόπτερων Walkera, Blade και DJI μπορούν να κάνουν χρήση των φωτογραφικών μηχανών Go Pro, του καναλιού Go Pro και της αντίστοιχης εφαρμογής στα έξυπνα τηλέφωνα. Μπορούν εύκολα να συνδέσουν αυτές τις κάμερες στα τετρακόπτερα τους για μαγνητοσκόπηση. Το DJI Phantom Vision 2 και το DJI Phantom 2 Vision Plus έχουν υπέροχες δυνατότητες μαγνητοσκόπησης. Οι σταθεροποιητές τριών αξόνων τους επιτρέπουν να τραβήξουν ομαλά βίντεο.



Το Blade 350 QX, επίσης, λειτουργεί καλά με μια κάμερα Go Pro. Αυτό το μικρό τετρακόπτερο, σε αντίθεση με άλλα, έχει λειτουργία για προηγμένες πτήσεις. Αυτή η ευκίνητη συσκευή λειτουργεί καλά με κάμερες Go Pro όπως την Go Pro Hero 3 και μπορεί να τραβήξει εικόνες από πολλές γωνίες. Η Walkera είναι μια άλλη εταιρεία που παράγει τετρακόπτερα που λειτουργούν παράλληλα με τις ίδιες κάμερες. Τα Walkera Scout X4 και X800 έχουν ήδη εξαιρετικές κάμερες, αλλά μπορούν να φέρουν την Go Pro Hero 3 για να τραβήξουν εξαιρετικές αεροφωτογραφίες (Finds, 2019).

### **1.4.3. Παιχνίδια επαυξημένης πραγματικότητας**

Εκτός από τη δυνατότητα χρήσης τους με κάμερες, οι πιλότοι μπορούν να παίξουν παιχνίδια επαυξημένης πραγματικότητας με τα τετρακόπτερα τους. Η επαυξημένη πραγματικότητα τους δίνει μια προοπτική του πραγματικού κόσμου, με μερικές συναρπαστικές βελτιώσεις. Η προσομοίωση του πραγματικού κόσμου κάνει τα παιχνίδια δελεαστικά για μεγαλύτερα παιδιά και εφήβους.

Το Mission Helicopter είναι ένα τέτοιο παιχνίδι. Οι πιλότοι πρέπει απλώς να σπρώξουν τα αντικείμενα μέσα από μαθήματα εμποδίων χωρίς να «ανατινάξουν» τα τετρακόπτερα τους. Ιδανικό για νεότερους παίκτες, τα γραφικά είναι εντυπωσιακά και τα χειριστήρια, εύχρηστα.

Το Helicopter Game είναι ένα άλλο παιχνίδι AR (Augmented Reality) που λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο. Οι πιλότοι πρέπει να μετακινούν αντικείμενα μέσα από πορεία εμποδίων χωρίς να ανεβάζουν τα τετρακόπτερα. Αυτό το παιχνίδι, ωστόσο, έχει πιο απρόβλεπτα στοιχεία ελέγχου. Οι έφηβοι και οι ενήλικες θα βρουν πρόκληση να μετακινούν αντικείμενα χωρίς να καταστρέφουν τα τετρακόπτερα (Finds, 2019).

Το D.R.O.N.E είναι ένα παιχνίδι δημιουργημένο για ηλεκτρονικό υπολογιστή και σκοπός του είναι η μάχη με τετρακόπτερα μεταξύ παικτών. Στο συγκεκριμένο παιχνίδι μπορείς να φτιάξεις το δικό σου drone, το δικό σου πεδίο μάχης όπως το θες αλλά και να ανταγωνιστείς παίκτες μέσω διαδικτύου.

### **1.4.4. Η μελλοντική εξέλιξη των τετρακόπτερων**

Τα τετρακόπτερα έχουν ήδη εκτεταμένες χρήσεις. Οι ερευνητές έχουν ήδη ανακαλύψει τρόπους να αυξήσουν τις δυνατότητές τους.

#### **1.4.4.1. Επίλυση προβλημάτων κίνησης**

Οι αθλητές και τα άτομα με ειδικές ανάγκες αντιμετωπίζουν συχνά προβλήματα με την κίνηση. Τα τετρακόπτερα μπορούν να βοηθήσουν στην ανακούφιση των προβλημάτων τους. Ο Raffaello D'Andrea, επιστήμονας στο ελβετικό πανεπιστήμιο ETH της Ζυρίχης, επέδειξε σε παρουσίαση που έκανε στη διοργάνωση Ted Global, πώς τα τετρακόπτερα μπορούν να ολοκληρώσουν δύσκολες, φυσικές εργασίες που δεν μπορούν οι άνθρωποι. Σε μια επίδειξη, εξισορρόπησε ένα ποτήρι γεμάτο νερό πάνω από σε ένα τετρακόπτερο. Η συσκευή πέταξε χωρίς να χύσει νερό από το ποτήρι. Η υψηλή ταχύτητα του τετρακόπτερου αναιρεί τις αεροδυναμικές δυνάμεις και τη βαρυτική έλξη του νερού. Τέτοια ευρήματα βοηθούν τους αθλητές, οι οποίοι μπορούν να αναπτύξουν μεγαλύτερες ταχύτητες και καλύτερη στάση του σώματος για να ξεπεράσουν προβλήματα με τη βαρύτητα και την αεροδυναμική.

#### **1.4.4.2. Παράδοση τροφίμων και φαρμάκων**

Το τετρακόπτερο, που είναι μικρό, μπορεί να φτάσει σε μέρη που δεν μπορούν οι άνθρωποι. Στο μέλλον, οι κοινοτικοί φορείς μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν για να

παραδώσουν τρόφιμα και φάρμακα σε απρόσιτες περιοχές όπου οι δρόμοι είναι πλήρως αποκομμένοι. Ο Ανδρέας Ραπτόπουλος, ερευνητής στο Matternet, εξήγησε πώς το τετρακόπτερο μπορεί να μεταφέρει περίπου 2 κιλά φαρμάκων σε αυτές τις περιοχές σε περίπου 15 λεπτά. Εισήγαγε το Matternet, ένα σύστημα ιπτάμενων οχημάτων και σταθμών προσγείωσης, που ελέγχεται από λογισμικό δρομολόγησης. Τα τετρακόπτερα μπορούν να πλοηγηθούν σε σταθμούς εδάφους, σε ασφαλείς περιοχές, για να παραδώσουν τρόφιμα και φάρμακα. Το λογισμικό δρομολόγησης τα καθοδηγεί σε αντίξοες καιρικές συνθήκες. Αυτό θα βοηθήσει τους ανθρώπους σε δυσπρόσιτες περιοχές να ανακάμψουν και να αναπτυχθούν (Raptopoulos, 2019).

#### **1.4.4.3. Προστασία Περιβάλλοντος**

Οι κυβερνήσεις και οι οργανισμοί προστασίας του περιβάλλοντος μπορούν να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες εναέριας απεικόνισης των τετρακόπτερων για τη διατήρηση του περιβάλλοντος. Ο οικολόγος Lian Pin Koh εξήγησε πώς τα τετρακόπτερα διατήρησης μπορούν να περάσουν από τοπία και να τραβήξουν εικόνες στο έδαφος χωρίς να προκαλέσουν ενόχληση. Σε θέση να συλλάβουν ενδιαιτήματα άγριας πανίδας σε απομακρυσμένες περιοχές, τα τετρακόπτερα διατήρησης συλλέγουν πληροφορίες που ενημερώνουν αυτές τις υπηρεσίες εάν η άγρια φύση απειλείται. Επίσης, μειώνουν δραστικά το κόστος συντήρησης (Nice, 2004).

#### **1.4.4.4. Ερευνητικό Εργαλείο**

Οι ερευνητές πανεπιστημίων, που εργάζονται σε διάφορους τομείς, χρησιμοποιούν το τετρακόπτερο ως ερευνητικό εργαλείο. Συγκεντρώνουν τις πληροφορίες που απαιτούνται για την εργασία στη ρομποτική, τον έλεγχο πτήσεων και τα συστήματα σε πραγματικό χρόνο. Τα τετρακόπτερα κατασκευάζονται σε κατάλληλες δοκιμαστικές πλατφόρμες, καθώς είναι σχετικά φθηνότερες και μικρότερες. Ο καθένας μπορεί να τα πετάξει, γεγονός που τα καθιστά βολικά εργαλεία για ερευνητές. Εκτός από αυτό, αυτές οι ανθεκτικές μικρές συσκευές μπορούν να επιβιώσουν σε σκληρά περιβάλλοντα. Μπορούν να πάνε σε επικίνδυνα μέρη για λογαριασμό ερευνητών. Αυτό βοηθά στην επίλυση πολλών δυσκολιών με κόστος και του εφοδιασμού.

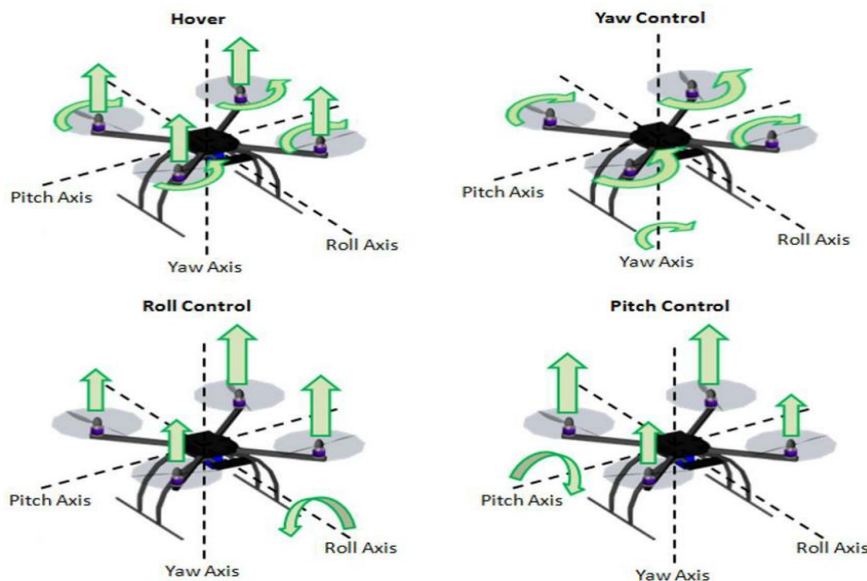
## **1.5 Τα δομικά στοιχεία ενός τετρακόπτερου**

Τα τετρακόπτερα σε διαφορετικές παραλλαγές αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της ανθρώπινης ζωής, είτε από την άποψη της ψυχαγωγίας, της παρακολούθησης ή στην βιομηχανία. Τα περισσότερα από αυτά βασίζονται σε εξειδικευμένες συσκευές και ελέγχονται από το χειριστή (Šustek, et al., 2015). Μπορεί να υπάρχει διαφορετική προσέγγιση για τον έλεγχο των τετρακόπτερων με βάση τους ίδιους τους μικροελεγκτές ή σε συνδυασμό με τον ελεγκτή πτήσης (Šustek, et al., 2015). Οι σημερινοί μικροελεγκτές μπορούν να διαχειριστούν πολύπλοκες εφαρμογές, λόγω της ταχείας αύξησης της απόδοσής τους (Asadi, et al., 2018). Μια μεγάλη ποικιλία κατασκευαστών δημιουργεί πολλούς τύπους μικροελεγκτών με διαφορετικούς επεξεργαστές, απόδοσης ή λογική τάσης (για παράδειγμα, το Arduino έχει λογική 5V και το Raspberry έχει λογική 3V) (Lobachev, & Cretu, 2016).

Αυτοί οι δύο τύποι μικροελεγκτών είναι οι πιο διάσημες παραλλαγές (Šustek, et al., 2017). Και τα δύο παρέχουν υψηλή απόδοση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές δύσκολες εφαρμογές αυτοματισμού. Η σημερινή γενιά των μικροελεγκτών Raspberry παρέχει αρκετές επιδόσεις για την αντικατάσταση του τυπικού υπολογιστή σε ορισμένες

οπτικοακουστικές εφαρμογές, αλλά κυρίως σε εφαρμογές ελέγχου . Εκτός από το arduino, μπορεί να προσφέρει την καλύτερη διεπαφή χρηστών, επειδή χρησιμοποιεί τη διανομή Linux (Raspbian, Ubuntu). Με τη χρήση της ασύρματης επέκτασης, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με μια απλή κεραία, η συσκευή γίνεται ένας σύνθετος σταθμός ελέγχου (Martinez, 2016).

Ο κύριος σκοπός των προωστήρων είναι η παραγωγή της ροπής και της ώθησης. Χάρη σε αυτούς είναι δυνατή για το τετρακόπτερο η πτήση και οι ελιγμοί. Η ώθηση της προπέλας μετράται σε γραμμάρια ή λίβρες και η ανοδική ώθηση, η οποία απαιτείται για να αιωρείται το τετρακόπτερο, πρέπει να είναι ίση με το βάρος του. Η ώθηση εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής και δυναμικής πτήσης του τετρακόπτερου. Όταν οι έλικες επιταχύνουν προς τα κάτω ή προς τα πάνω, δημιουργείται η ροπή. Προσδίδει την ικανότητα του να περιστρέφεται στον άξονα Z. Οι έλικες των τετρακόπτερων πολλαπλών επιπέδων δεν περιστρέφονται προς την ίδια κατεύθυνση, επειδή οι δυνάμεις περιστροφής πρέπει να εξαιρεθούν. Υπάρχουν δύο τύποι ελίκων. Ένα σύνολο ελίκων σχεδιάζεται για να περιστραφεί αριστερόστροφα και το δεύτερο σύνολο σχεδιάζεται για να περιστραφεί δεξιόστροφα. Εάν αλλάξει η τιμή περιστροφής ανά λεπτό (RPM) της ομάδας ελίκων, το τετρακόπτερο μπορεί να περιστραφεί στον άξονα Z (Drone Omega, 2020).



Εικόνα 2 Κατασκευή προωστήρα (Romodanovsky -Lodyzhensky , & Bleathwood ,2018).

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η πίσσα προπέλας, η οποία είναι μια θεωρητική απόσταση που η προπέλα θα κινηθεί μέσω του αέρα για κάθε περιστροφή της προπέλας. Στον πραγματικό κόσμο είναι η τιμή που επηρεάζεται από το υλικό των ελίκων, την πυκνότητα του αέρα και την αποτελεσματικότητα. Το τετρακόπτερο είναι ταχύτερο εάν η τιμή βήματος είναι υψηλότερη . Η επίδραση του βήματος προπέλας μπορεί να εξηγηθεί σε ένα παράδειγμα δύο ξύλινων βιδών. Η βίδα στη δεξιά πλευρά έχει υψηλότερη κλίση και η βίδα στην αριστερή πλευρά έχει χαμηλότερη κλίση. Εάν και οι δύο βίδες βιδωθούν από ένα κατσαβίδι, η σωστή βίδα θα βυθιστεί περισσότερο στο ξύλο. Στο τετρακόπτερο, η προπέλα με το υψηλότερο βήμα, χρειάζεται τη μισή περιστροφή για να διανύσει την ίδια απόσταση. Ο σχεδιασμός της προπέλας πρέπει να βρίσκεται εντός συγκεκριμένου εύρους γωνιών κλίσης για την παραγωγή της απαιτούμενης ώθησης (Drone Omega, 2020).

### 1.5.1 Μέγεθος

Οι μακρύτεροι έλικες μπορούν να παράγουν περισσότερη ώθηση με την ίδια ταχύτητα. Από την άλλη, η ροπή πρέπει να είναι υψηλότερη. Η μεγαλύτερη προπέλα δεν σημαίνει την υψηλότερη ταχύτητα του τετρακόπτερου, επειδή η ταχύτητα καθορίζεται κυρίως από την πίσσα προπέλας. Το μέγιστο μήκος μιας προπέλας εξαρτάται από το πλαίσιο του τετρακόπτερου. Ειδικότερα, παίρνοντας τη μικρότερη διάσταση του πλαισίου (μήκος ή πλάτος) και διαιρώντας το με το 2. Η επιλεγμένη προπέλα θα μπορούσε να είναι ελαφρώς μικρότερη για να παρέχει απόσταση περιστροφής μεταξύ των ελίκων. Υπάρχουν δύο χρησιμοποιημένες μορφές μεγέθους προωστήρων: LxPxB και LLPPxB, όπου το L είναι μήκος, το P αντιπροσωπεύει το πλάτος, και το B είναι αριθμός λεπίδων (Drone Omega, 2020).

### 1.5.2 Αριθμός λεπίδων

Ορισμένες λεπίδες επηρεάζουν την απόδοση των ελίκων και την παραγωγή ώθησης. Έλικες δύο λεπίδων είναι πιο αποτελεσματικές από τις έλικες τριών ή τεσσάρων λεπίδων, ωστόσο, παράγουν λιγότερη ώθηση.

### 1.5.3 Υλικό

Το υλικό έχει σημαντική επίδραση στην ακαμψία και την ανθεκτικότητα της προπέλας. Ένα από τα πιο χρησιμοποιούμενα υλικά είναι η πλαστική ένωση, η οποία είναι εύκαμπτη και κάμπτεται σε περιπτώσεις συντριβών. Από την άλλη, τα κύρια μειονεκτήματά του είναι οι δονήσεις, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση πτήσης του τετρακόπτερου σας. Το υλικό έχει επίσης επίδραση στο βάρος της προπέλας, η οποία είναι σημαντική για την απόδοση της πτήσης. Οι ελαφρύτεροι έλικες έχουν λιγότερη στιγμή αδράνειας που σημαίνει ότι ο κινητήρας χρειάζεται λιγότερη ροπή για να επιτύχει την ίδια ταχύτητα και η αλλαγή του είναι ταχύτερη, που οδηγεί σε καλύτερη απόκριση πτήσης. Το βάρος επηρεάζει επίσης τις δονήσεις της προπέλας που είναι σημαντικό να ελαχιστοποιηθούν. Μια ισορροπημένη προπέλα δεν έχει πολλές δονήσεις (Drone Omega, 2020).

#### 1.5.3.1. Οι κινητήρες

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες (BrushLess DC- BLDC) είναι ο πιο χρησιμοποιημένος τύπος κινητήρα στο τετρακόπτερο. Πρόκειται για κινητήρες με μόνιμο μαγνήτη, ο οποίος οδηγείται από συνεχές ρεύμα. Η μετακίνηση ελέγχεται ηλεκτρονικά, αντί για ένα μηχανικό σύστημα μετουσίωσης, από το μόνιμο στροφέα μαγνητών με μια ακολουθία σπειρωμάτων. Ο μόνιμος μαγνήτης περιστρέφεται και οι αγωγοί που μεταφέρουν ρεύμα είναι σταθεροί. Τα πηνία οπλισμού αλλάζουν από τρανζίστορ στη σωστή θέση ρότορα με τέτοιο τρόπο ώστε το πεδίο οπλισμού να βρίσκεται σε τετράπλευρο χώρο με τους πόλους του πεδίου του ρότορα. Οι περιστροφικούς κωδικοποιητές (αισθητήρες hall) χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση θέσης του ρότορα και τοποθετούνται γύρω από τον στάτορα. Η ανάδραση της θέσης του ρότορα από τον αισθητήρα βοηθά στον προσδιορισμό του πότε πρέπει να αλλάξει το ρεύμα οπλισμού. Η ηλεκτρονική κίνηση εξαλείφει τη διάταξη του μετατροπέα στους συμβατικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC). Με αυτή τη μετακίνηση επιτυγχάνεται πιο αξιόπιστη και αθόρυβη λειτουργία. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία φυσικών διαμορφώσεων, η οποία εξαρτάται από τις περιελίξεις του στάτορα. Οι περιελίξεις μπορούν να διαμορφωθούν ως μονοφασικοί, διφασικοί και τριφασικοί κινητήρες. Από την άλλη, οι πιο χρησιμοποιημένοι κινητήρες BLDC είναι τριφασικοί (Electrical Technology, 2018).

Η επιλογή των κινητήρων εξαρτάται από την απαιτούμενη ώθηση για να καταφέρει το τετρακόπτερο να απογειωθεί και να βρεθεί στον αέρα. Αυτή η ανάγκη επηρεάζεται από το

συνολικό βάρος και το μέγεθος πλαισίου του τετρακόπτερου. Μια σημαντική τιμή για τον κινητήρα είναι η αναλογία του βαθμού εμπιστοσύνης προς το βάρος (TWR), η οποία μπορεί να εκφραστεί με ισοδυναμία:  $TWR = T / W$  (1), όπου το T είναι ο βαθμός "εμπιστοσύνης" (Trust) και το W αντιπροσωπεύει το βάρος (Weight). Για να απογειωθεί το τετρακόπτερο, το TWR πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 1. Ωστόσο, η διατήρηση της σταθερής πτήσης είναι αρκετή τιμή ίση με 1. Η κλίση πτήσης του τετρακόπτερου κάνει το διάνυσμα βαθμού εμπιστοσύνης να έχει κατακόρυφα και οριζόντια στοιχεία. Αυτή η κλίση χρειάζεται TWR τουλάχιστον 1,3 για μέγιστη γωνία (περίπου 40 μοίρες στους άξονες x και y) . Σε γενικές γραμμές, το τετρακόπτερο θα πρέπει να παρέχει διπλάσια ώθηση από το βάρος του τετρακόπτερου. Εάν η ώθηση που παρέχεται από τους κινητήρες είναι μικρή, η απόδοση πτήσης θα είναι κακή. Εάν η απαιτούμενη τιμή TWR είναι 2 και υπάρχουν 4 κινητήρες, η ώθηση που πρέπει να παρέχει κάθε παρεχόμενος κινητήρας ισούται με το ήμισυ του βάρους του τετρακόπτερου. Το μέγεθος του κινητήρα BLDC υποδεικνύεται με 4ψήφιο αριθμό (μοτίβο XXYY). Όπου το XX αντιπροσωπεύει το πλάτος του στάτορα και το YY αντιπροσωπεύει το βάρος του στάτορα. Ο ψηλότερος στάτορας μπορεί να παρέχει περισσότερη ισχύ σε υψηλότερες στροφές. Από την άλλη, ο ευρύτερος στάτορας μπορεί να παρέχει περισσότερη ροπή σε χαμηλότερες στροφές . Η δεύτερη χρησιμοποιούμενη τιμή στους κινητήρες BLDC είναι μια προδιαγραφή κινητήρα kV (kiloVolt). Αυτός ο αριθμός είναι ένας αριθμός στροφών ανά λεπτό που ο κινητήρας θα γυρίσει όταν εφαρμόζεται ένα βολτ χωρίς φορτίο στον κινητήρα. Εάν η προπέλα είναι προσαρτημένη στον κινητήρα, θα υπάρξει μείωση του αριθμού των RPM λόγω της πρόσθετης αδράνειας της προπέλας και της αντίστασης του αέρα. Κινητήρες με προπέλες περιστροφής υψηλότερων kV πηγαίνουν γρηγορότερα. Ωστόσο, οι κινητήρες με χαμηλότερο kV παράγουν υψηλότερες ροπές. Αυτό οδηγεί στο συνδυασμό κινητήρων χαμηλής kV και μεγαλύτερων ελίκων ή κινητήρων υψηλών kV και μικρότερων ελίκων (Drone Omega, 2020).

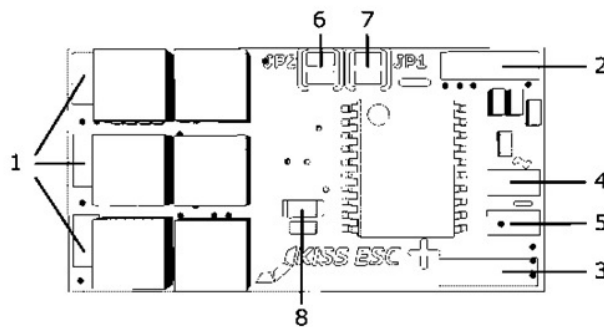
Η αποδοτικότητα ηλεκτρικών κινητήρων είναι η αναλογία μεταξύ της παραγωγής μηχανικής δύναμης και της ηλεκτρικής ισχύος. Η έξοδος μηχανικής ισχύος καθορίζεται από την απαιτούμενη ροπή και την ταχύτητα και η ηλεκτρική ισχύς καθορίζεται από την τάση και την παροχή ρεύματος. Η απόδοση του κινητήρα δεν είναι σταθερή πάνω από το προφίλ ώθησης. Για να επιτευχθεί υψηλότερη ώθηση, ο κινητήρας πρέπει να 'τραβήξει' μεγαλύτερο ρεύμα. Ο καλός συνδυασμός ενός κινητήρα τετρακόπτερου είναι η υψηλή εμπιστοσύνη σε συνδυασμό με την χαμηλή κατανάλωση ρεύματος. Οι αναποτελεσματικοί κινητήρες δημιουργούν μικρή εμπιστοσύνη ή χρειάζονται πάρα πολύ ρεύμα. Η τυπική απόδοση του κινητήρα τετρακόπτερου έχει τιμή 7. Η ροπή του κινητήρα καθορίζει πόσο γρήγορα ο κινητήρας μπορεί να μεταβάλει την ταχύτητα της προπέλας. Η ροπή του κινητήρα επηρεάζει επίσης την απόδοση πτήσης. Εάν η ροπή του κινητήρα είναι χαμηλή, το τετρακόπτερο μπορεί να έχει αργή απόκριση στις εντολές και η πτήση του μπορεί να είναι ασταθής. Είναι σημαντικό να βρεθεί μια καλή ισορροπία μεταξύ της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα και της ροπής του (Drone Omega, 2020).

### 1.5.3.2. Ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας

Ο ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας (**Electronic Speed Controller -ESC**) μπορεί να αλλάξει την ταχύτητα και τη φορά περιστροφής κινητήρων με το χειρισμό της τάσης που εφαρμόζεται σε αυτόν. Μπορεί επίσης να παρέχει ελεγχόμενη εκκίνηση των κινητήρων, αναστροφή της περιστροφής του κινητήρα ή προστασία αντίστροφης πολικότητας, σε περίπτωση σύνδεσης θετικής σε αρνητικές επαφές, προστασίας από σφάλματα κυκλώματος

βλάβης και παροχής άλλων διαφόρων χαρακτηριστικών, όπως ομαλές καμπύλες επιτάχυνσης, ρύθμιση τελικής ταχύτητας ή περιορισμός ρευμάτων (Mogensen, 2016). Το τρανζίστορ MOSFET χρησιμοποιείται ως διακόπτης αντί για έναν μηχανικό διακόπτη. Η ταχύτητα της μεταγωγής είναι γρήγορη και οι κινητήρες δεν μπορούν να την ανιχνεύσουν. Εάν υπάρχει συνδεδεμένη μπαταρία 24V, ο κινητήρας βλέπει την μπαταρία σαν 12V και πηγαίνει στη μισή ταχύτητα. Η ταχύτητα της μεταγωγής επηρεάζει επίσης την επαγωγή του κινητήρα, η οποία διατηρεί το ρεύμα του κινητήρα να ρέει συνεχώς.

Ο ESC χρησιμοποιείται συχνά σε ραδιοελεγχόμενα μοντέλα, ιδίως με κινητήρες BLDC, όπου παρέχει μια ηλεκτρονικά παραγόμενη πηγή χαμηλής τάσης ηλεκτρικής ενέργειας 3 φάσεων. Ο ελεγκτής έχει συνήθως 3 σύνολα καλωδίων. Το πρώτο καλώδιο συνδέεται με την κύρια μπαταρία του τετρακόπτερου. Το δεύτερο καλώδιο είναι ένα τυπικό καλώδιο το οποίο είναι συνδεδεμένο στο γκάζι του δέκτη και το τρίτο καλώδιο χρησιμοποιείται για τη τροφοδοσία του κινητήρα (ELPROCUS, 2018).



Εικόνα 3 Εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στον ESC

1. Τριφασικός κινητήρας DC χωρίς ψήκτρες (3-phase BrushLess DC motor)
2. Αρνητική (-) σύνδεση LiPo
3. Θετική (+) σύνδεση LiPo
4. Σήμα ή είσοδος του σήματος PWM
5. Αναφορά GND του σήματος PWM
6. Βραχυκυκλωτήρας συγκόλλησης, για την αλλαγή της κατεύθυνσης περιστροφής (CW/CCW)
7. Βραχυκυκλωτήρας συγκόλλησης, για τη διαφοροποίηση του τύπου του σήματος εισαγωγής PWM
8. Μπαταρία

Ο πιο χρησιμοποιημένος τύπος μπαταριών είναι οι μπαταρίες πολυμερούς λιθίου (LiPo), το οποίο χρησιμοποιούν smartphones, φορητοί υπολογιστές και tablet. Υπάρχουν δύο κύριες εναλλακτικές λύσεις για τις μπαταρίες LiPo, τις μπαταρίες υδριδίου μετάλλου νικελίου (NiMH) και καδμίου νικελίου (NiCd). Ωστόσο, οι μπαταρίες LiPo έχουν ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των μπαταριών NiMH ή NiCd. Οι μπαταρίες LiPo έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα, καλύτερη εκφόρτιση και είναι ελαφρύτερες. Υπάρχουν επίσης ορισμένα μειονεκτήματα, όπως μικρότερη διάρκεια ζωής (300-400 κύκλοι), η πιθανότητα ανάφλεξης (εάν υπάρχουν τρυπήματα) και οι ανάγκες πρόσθετης φροντίδας για την αποθήκευση, τη

φόρτιση ή την εκφόρτωση. Η ονομαστική τάση ενός κελιού LiPo είναι 3,7V. Για να διευκρινιστεί, η ονομαστική τάση είναι περίπου ο μέσος όρος της πλήρους φόρτισης των 4,2V/κελί και η ελάχιστη ασφαλής φόρτιση των 3,0 V/κελί. Ο αριθμός των κυψελών καθορίζει τη συνολική τάση της μπαταρίας. Η τάση της μπαταρίας καθορίζει την ταχύτητα περιστροφής της προπέλας, επειδή οι κινητήρες BLDC έχουν ονομαστική τιμή σχεδιασμένη σε kV, που αντιστοιχεί σε στροφές ανά λεπτό ανά βολτ. Η χωρητικότητα της μπαταρίας αντιπροσωπεύεται σε ώρες milliamper (mAh). Στην μπαταρία και μία άλλη τιμή, η βαθμολογία C. Η βαθμολογία C μιας μπαταρίας LiPo είναι ένα μέτρο σύγκρισης του ασφαλούς και συνεχούς ρεύματος της μέγιστης εκφόρτισης. Εάν η βαθμολογία C είναι χαμηλότερη από τις ανάγκες του τετρακόπτερου, η μπαταρία δεν θα είναι σε θέση να παραδώσει επαρκές ρεύμα στους κινητήρες (Drome Omega, 2020).

### 1.5.3.3. Ελεγκτής πτήσης

Ο ελεγκτής πτήσης είναι ο εγκέφαλος του τετρακόπτερου. Πρόκειται για μια πλακέτα κυκλώματος που χρησιμεύει ως βασικό αισθητήριο σύστημα που ανιχνεύει τον προσανατολισμό του τετρακόπτερου και λαμβάνει τις εντολές του χρήστη στους κινητήρες. Ως ελεγκτής πτήσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη ποικιλία συσκευών από τον εξειδικευμένο μικροελεγκτή έως τους καθολικούς μικροελεγκτές, όπως ένα Raspberry ή Arduino. Η επιλογή του ελεγκτή πτήσης εξαρτάται από τις απαιτούμενες ιδιότητες. Αυτοί οι ελεγκτές έχουν διαφορές στο υλικό, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις, χρησιμοποιεί διαφορετικό υλικό /λογισμικό, το οποίο μπορεί να ρυθμιστεί από τον ίδιο τον υπολογιστή, το smartphone και τον ραδιοελεγκτή. Οι ελεγκτές πτήσης χρησιμοποιούν μια σειριακή θύρα υλικού που επιτρέπει τη σύνδεση εξωτερικών συσκευών (τηλεμετρία, σειριακούς ραδιοφωνικούς δέκτες και έλεγχος VTX) στον ελεγκτή. Αυτή η θύρα είναι γνωστή ως UART (Καθολικός Ασύγχρονος Δέκτης/Πομπός) και σχηματίζεται από 2 ακίδες (RX για τη λήψη δεδομένων και TX για τη μετάδοση δεδομένων) (Liang, 2018).

## 1.6 Έλεγχος και ασύρματες επικοινωνίες των τετρακόπτερων

### 1.6.1. Έλεγχος

Έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι ελέγχου για τα τετρακόπτερα, τόσο για τη ρύθμιση όσο και για την παρακολούθηση της τροχιάς. Ο στόχος είναι να βρεθεί μια στρατηγική έλεγχου που επιτρέπει στις καταστάσεις ενός τετρακόπτερου να συγκλίνουν σε ένα αυθαίρετο σύνολο χρονικά διαφορετικών καταστάσεων αναφοράς με την πάροδο του χρόνου. Πολλά προηγούμενα έργα (Jategaonkar, 2006) έχουν αποδείξει ότι είναι δυνατό να ελεγχθεί το τετρακόπτερο χρησιμοποιώντας τεχνικές γραμμικού ελέγχου, γραμμικοποιώντας τη δυναμική γύρω από ένα σημείο λειτουργίας, που συνήθως επιλέγεται να είναι η αιώρηση. Ωστόσο, μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερο εύρος πτήσης και καλύτερη επίδοση με τη χρήση μη γραμμικού ελέγχου που εξετάζει μια γενικότερη μορφή δυναμικής του οχήματος σε όλες τις ζώνες πτήσης. Στο πλαίσιο αυτών των μη γραμμικών μεθόδων, έχει αποδειχθεί ότι η αντιστροφή (Bouabdallah & Siegwart, 2005), η συνάρτηση ολίσθησης και η γραμμικότητα της ανάδρασης είναι αποτελεσματικότερες για τον έλεγχο του τετρακόπτερου. Ειδικότερα, ο γραμμικός τρόπος ανάδρασης έχει δείξει σημαντικές βελτιώσεις για τα τετρακόπτερα. Μια πρόσφατη εργασία προτείνει μια δομή γραμμικής ανάδρασης που αποδομεί τη δυναμική του τετρακόπτερου σε έναν εσωτερικό βρόχο που περιέχει τη βάση και το ύψος του οχήματος και έναν εξωτερικό βρόχο που περιέχει τη θέση. Σε γενικές γραμμές, αυτές οι δομές έλεγχου παρουσιάζουν σημαντικές υποσχέσεις και διερευνώνται μαζί με γραμμικές μεθόδους όπως το LQR (Das, Subbarao, & Lewis, 2009).

Όλες οι τεχνικές ελέγχου που προτείνονται παραπάνω απαιτούν πλήρη γνώση του μοντέλου συστήματος και των παραμέτρων του μοντέλου, αλλά τα σφάλματα στις προσδιορισμένες τιμές των παραμέτρων μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική επιδείνωση της απόδοσης του ελεγκτή. Επιπλέον, οι μη τροποποιημένες διακυμάνσεις στις παραμέτρους του συστήματος (όπως η μάζα ή η αδράνεια) κατά τη διάρκεια της πτήσης μπορεί να προκαλέσουν σημαντικά σφάλματα σταθεροποίησης. Η ανάγκη για ένα ακριβές μη γραμμικό μοντέλο της δυναμικής τετρακόπτερου μπορεί να ξεπεραστεί με τη χρήση προσαρμοστικών μεθόδων που μπορούν να αντιδράσουν και να διορθώσουν σφάλματα στις εκτιμήσεις παραμέτρων μοντέλου, να τροποποιήσουν τις εκτιμήσεις παραμέτρων κατά την αλλαγή και επίσης να προσαρμοστούν σε εξωτερικές διαταραχές. Έχουν προταθεί γραμμικές προσαρμοστικές μέθοδοι, όπως ο προσαρμοστικός έλεγχος αναφοράς μοντέλου (MRAC) (Whitehead & Bieniawski, 2010). Ωστόσο, όσον αφορά τις περισσότερες γραμμικές μεθόδους, η τροχιά του τετρακόπτερου είναι περιορισμένη λόγω της γραμμικότητας. Οι Huang et al. (2010) προτείνουν μια προσαρμοστική μέθοδο backstepping, ενώ αυτή η προσέγγιση επεκτάθηκε για να συμπεριλαμβάνει τις παραμέτρους αδράνειας στο νόμο προσαρμογής από τους Zeng et al. (2011). Οι πρόσφατες εργασίες τετραγωνικού σχεδιασμού και κατασκευής χρησιμοποιούν έμμεσες προσαρμοστικές μεθόδους, όπως η μέθοδος των ελάχιστων τετραγώνων (για μάζα) που προτείνεται από τους Kumar et al. (2011). Ωστόσο, όλοι οι έμμεσοι μέθοδοι διορθώνουν σφάλματα παραμέτρων με βάση τη διαφορά μεταξύ των αναμενόμενων και των πραγματικών εκροών, αλλά δεν διορθώνουν ρητά τις παραμέτρους του μοντέλου (όπως γίνεται με άμεσες προσαρμοστικές μεθόδους). Οι άμεσοι μέθοδοι προσαρμογής προτάθηκαν αρχικά από τους Craig et al. (1987) για τους μηχανικούς χειριστές.

## 1.6.2. Ασύρματες επικοινωνίες των τετρακόπτερων

Για τη δημιουργία ενός κατάλληλου δικτύου επικοινωνίας, οι λειτουργικές μονάδες επικοινωνίας και τα πρωτόκολλα είναι υψίστης σημασίας. Διάφοροι μέθοδοι προτείνονται από την ερευνητική κοινότητα στην οποία εξετάστηκαν μερικοί κρίσιμοι παράγοντες, όπως ο σχεδιασμός κεραιών, η αρχιτεκτονική δικτύου και η πλατφόρμα διαχείρισης πόρων. Αυτή η ενότητα εξετάζει τις διάφορες επικοινωνίες, τα σχήματα δικτύωσης και αξιοποίηση του διαδικτύου των πραγμάτων σε διάφορες πτυχές της επικοινωνίας τετρακόπτερων.

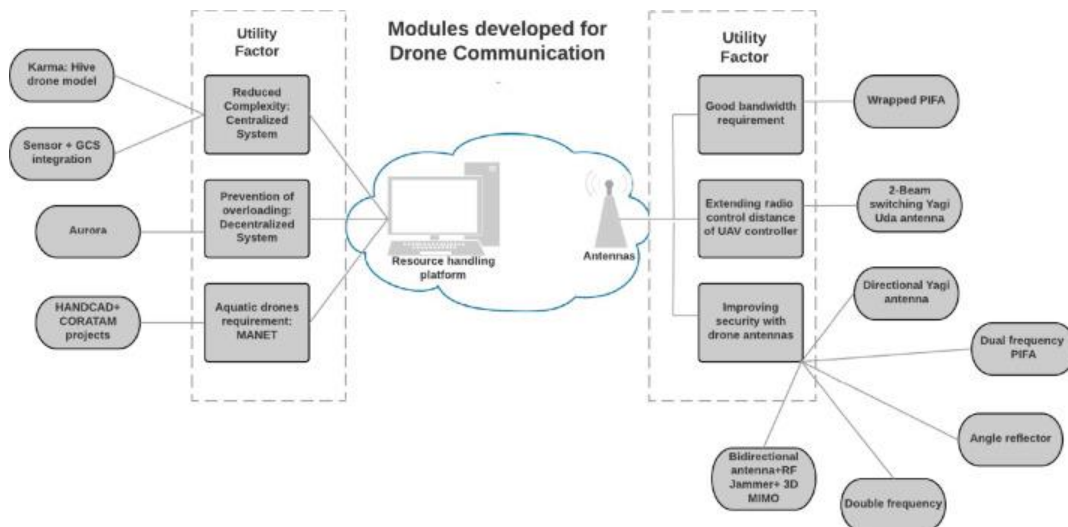
### 1.6.2.1. Ενότητες επικοινωνίας

Ένα σημαντικό μέρος των ερευνητικών εργασιών έχει αφιερωθεί στην ενίσχυση της τεχνολογίας επικοινωνιών. Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται ανασκόπηση των διαφόρων πτυχών της τεχνολογίας των επικοινωνιών και προτάσσονται καινοτόμες μέθοδοι βελτίωσης. Η ακρίβεια και η σταθερότητα είναι κρίσιμα κριτήρια απόδοσης στην επικοινωνία τετρακόπτερων. Οι υπάρχουσες ασύρματες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων των WiMAX, LTE και ZigBee, έχουν αναλυθεί από τους Hayat et al. (2016) σύμφωνα με αυτά τα κριτήρια. Οι Vahidi et al. (2018) χρησιμοποίησαν ορθογώνιο πολλαπλασιασμό συχνότητας πολλαπλών-OFDMs για να ανακατασκευάσουν τα ακριβή μεταδιδόμενα στοιχεία στο άκρο του δέκτη με μειωμένη εναέρια και υπολογιστική πολυπλοκότητα. Ωστόσο, η μεγιστοποίηση του ποσοστού αθροίσματος θα μπορούσε να αποτελέσει μια άλλη βάση για τη βελτίωση του συστήματος επικοινωνίας. Για πλατφόρμες μεγάλου υψομέτρου (HAPs), για το σταθμό εδάφους τετρακόπτερου έχει προταθεί σύστημα ευθυγράμμισης παρεμβολών από τους Sudheesh et al. (2018) στο οποίο η επικοινωνία υποβοηθείται με τη χρήση ημι-αμφίδρομης αναμετάδοσης. Αυτό το σύστημα βοηθά στην επίτευξη του μέγιστου DOF (βαθμοί ελευθερίας) και αθροίσματος, ειδικά όταν τα HAPs δεν διαθέτουν πληροφορίες κατάστασης καναλιού. Στη



χρήση του DOF για τον χαρακτηρισμό ενός καναλιού επικοινωνίας πρωτοστάτησαν οι Somaraju et al. (2010).

Ένα απλοποιημένο διάγραμμα των διαφόρων ενότητων επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα, όπου η ανάπτυξη κάθε μίας από τις ενότητες έχει σχεδιαστεί προσεκτικά με βάση ορισμένους παράγοντες για τη χρησιμότητά τους σε τετρακόπτερα, που ονομάζεται εδώ ως συντελεστής χρησιμότητας. Στη δεξιά πλευρά, παράγοντες χρησιμότητας όπως το καλό εύρος ζώνης, η επέκταση του ελέγχου ραδιοφώνου και η ασφάλεια της κεραίας ομαδοποιούνται. Η αποτελεσματικότητα όλων αυτών αντιστοιχεί στα χαρακτηριστικά της κεραίας. Πιο δεξιά, πολλά ερευνητικά αποτελέσματα και προϊόντα συνδέονται με τον συντελεστή χρησιμότητας. Η πλήρης διασύνδεση καταδεικνύει τη συσχέτιση διαφορετικών ενότητων μεταξύ τους και τον τρόπο με τον οποίο η ανάπτυξη κάθε ενότητας μπορεί να κατηγοριοποιηθεί με έναν συντελεστή χρησιμότητας και να σχετίζεται με τα συγκεκριμένα εξαρτήματα των τετρακόπτερων. Ομοίως, το αριστερό τμήμα του διαγράμματος περιγράφει τη σχέση των πλατφορμών ανάπτυξης όπως το "Κάρμα" (Hive Drone Model) ή τα εναλλακτικά ερευνητικά προϊόντα με έναν συγκεκριμένο συντελεστή χρησιμότητας και την κατηγοριοποίησή τους στις πλατφόρμες χειρισμού πόρων.



Εικόνα 4 Διαφορετικές ενότητες για το χειρισμό πόρων και κεραίων drone

### 1.6.2.2. Ο αποδοτικός σχεδιασμός κεραίων

Ο αποδοτικός σχεδιασμός κεραίων είναι ουσιαστικός για την ανταλλαγή σημάτων και την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των τετρακόπτερων. Το έργο του Zabihi (2017) έχει προτείνει ένα σχέδιο που μεγιστοποιεί την απόδοση κεραίων λαμβάνοντας υπόψη την απαίτηση εύρους ζώνης. Ο Ngamjanyarorn et al. (2017) πρότεινε την επέκταση της απόστασης ραδιοελέγχου ενός ελεγκτή τετρακόπτερου μέσω μιας κεραίας μεταγωγής δέσμης, κυκλικής διάταξης με τη χρήση κεραίας μεταγωγής δύο ακτινών Yagi- Uda σε συχνότητα λειτουργίας 2,4 GHz. Η κατευθυντική κεραία Yagi έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της ενίσχυσης ισχύος μιας συσκευής. Η μελέτη επικεντρώνεται στην πτυχή της ασφάλειας του LOS (Οπτικής γραμμής) και nLOS (μη οπτικής επαφής) σε σενάρια σφάλματος. Χρησιμοποιώντας συσκευές κεραίας όπως PIFA διπλής συχνότητας, κατευθυντικές κεραίες και γωνιακούς ανακλαστήρες για τη σχεδίαση ηλεκτρονικού φράχτη, το σύστημα είναι σε θέση να ανιχνεύσει εισβολή ερασιτεχνικών τετρακόπτερων. Στον τομέα της ασφάλειας, ο Multerer et al. (2017) χρησιμοποίησε παρεμβολέα RF με αμφίδρομη κεραία και ραντάρ 3D MIMO για προστασία επιτήρησης.

Η έρευνα για τις πλατφόρμες διαχείρισης πόρων βρίσκεται σε εξέλιξη για την ανάπτυξη λειτουργικών πλατφορμών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ερευνητές και προγραμματιστές για την εύκολη εκτέλεση εργασιών επεξεργασίας. Μια αποκεντρωμένη πλατφόρμα, η *Auroga*, έχει χρησιμοποιηθεί ως επίγειος σταθμός για την αποστολή σημάτων ελέγχου στους σερβοκινητήρες των οχημάτων. Αυτή η προσέγγιση απέτρεψε την υπερφόρτωση ενός υπολογιστή με την ενσωμάτωση δεδομένων πτήσης και σημάτων ελέγχου. Ωστόσο, στον τομέα της ρομποτικής σμήνους, ο έλεγχος πολλαπλών τετρακόπτερων θα μπορούσε να είναι πολύ απαιτητικός και απαιτεί ακριβή συγχρονισμό μεταξύ τους. Ο *Burkle et al. (2011)* πρότεινε μια πλατφόρμα για το σχηματισμό ενός σμήνους πολλαπλών τετρακόπτερων, με έναν γενικό επίγειο σταθμό αρμόδιο για την ενσωμάτωση διάφορων αισθητήρων. Τα τετρακόπτερα είχαν ενσωματωθεί σε ένα αρθρωτό δίκτυο αισθητήρων, που ελέγχεται από την GCS (σταθμός ελέγχου εδάφους). Η υποδομή επικοινωνίας σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας κανάλια εκπομπής, ελέγχου, δεδομένων και συνεργασίας, τα οποία παρείχαν συνδέσεις για επικοινωνία μεταξύ των τετρακόπτερων και του σταθμού ελέγχου εδάφους. Ο *Christensen et al. (2015)* παρουσίασε το ετερογενή Ad-hoc δίκτυο για το συντονισμό των υδρόβιων τετρακόπτερων (HANCAD) και τον έλεγχο των υδρόβιων τετρακόπτερων για θαλάσσια καθήκοντα (CORATAM), εστιάζοντας στον έλεγχο των σμηνών υδρόβιων τετρακόπτερων και στην επικοινωνία μεταξύ τους. Ένας από τους κύριους στόχους των έργων ήταν να καταστεί δυνατή η χρήση κινητών Ad-hoc δικτύων (MANETs) με υδρόβια drone χαμηλού κόστους. Ένα άλλο μοναδικό σύστημα, που ονομάζεται "Κάρμα", προτάθηκε από τον *Dantu et al. (2011)* και βασίστηκε σε ένα μοντέλο κυψέλης drone, το οποίο απλοποιεί την πολυπλοκότητα του υλικού και του λογισμικού των επιμέρους μικροαεροπορικών οχημάτων (MAV) μετακινώντας πλήρως την πολυπλοκότητα του συντονισμού σε έναν κεντρικό υπολογιστή, καθιστώντας έτσι την επικοινωνία πιο εφικτή και αποτελεσματική.

### 1.6.2.3. Τεχνολογίες δικτύωσης για το σύστημα επικοινωνιών

Σημαντικός όγκος ερευνητικών εργασιών επικεντρώθηκε σε διάφορες πτυχές των δικτύων επικοινωνίας των τετρακόπτερων, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της τεχνολογίας και την ενίσχυση των δικτύων. Ο *Rahman (2014)* επέλεξε την παγκόσμια διαλειτουργικότητα για το δίκτυο πρόσβασης μικροκυμάτων (WiMAX) το 2005, ως κατάλληλη τεχνολογία για τη μελέτη τεχνολογιών ασύρματων επικοινωνιών όπως το ZigBee, Wifi, Xbee και WiMAX, τα οποία βασίζονται σε τυποποιημένα κριτήρια δικτύου SHERPA. Ο *Li et al. (2016)* χρησιμοποίησε έναν προσαρμοστικό μπροστινό τομέα, βασισμένο σε αλγόριθμο δρομολόγησης (AFAR) για τα τετρακόπτερα χρησιμοποιώντας τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) για να μελετήσει τις πλημμύρες. Ο *Kitagawa et al. (2018)* στόχευε στην ανάπτυξη συστήματος δικτύωσης RMICN (Δρομολογητής Δικτύωσης με επίκεντρο την πληροφόρηση) ιδίως για τη διευκόλυνση της επικοινωνίας μεταξύ ασυνεχών δικτύων. Χρησιμοποίησε τον έλεγχο κίνησης των ιπτάμενων δρομολογητών και των κόμβων αναμετάδοσης για να βελτιώσει την ευελιξία και την αποδοτικότητα. Ο *Yoshikawa et al. (2017)* επικεντρώθηκε σε μια άλλη πτυχή της κατανομής πόρων, προσδιορίζοντας την καλύτερη ζώνη συχνότητας για μεμονωμένα τετρακόπτερα, ώστε να καταστεί δυνατή η χρήση της κύριας ζώνης επικοινωνίας, αποφεύγοντας ταυτόχρονα τις παρεμβολές. Μόλις προέκυψε η πιθανότητα διακοπής ρεύματος ενός ραντάρ και ενός τετρακόπτερου, ο *Yang* βελτίωσε περαιτέρω τη μέγιστη αναλογία, χρησιμοποιώντας την κύρια ζώνη σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των τετρακόπτερων, αυξάνοντας το μέγεθος της κύριας αποκλειστικής περιοχής.

Υψηλές παρεμβολές παρατηρήθηκαν στη μονάδα ραδιοελέγχου μόνο στην ασύρματη ζώνη των 2,4 GHz. Οι μελετημένες τεχνικές βελτιστοποίησης και τα πειραματικά αποτελέσματά των Fabra et al., (2017) κατέδειξαν την ασυμβατότητα των Wifi σε αυτή τη ζώνη λόγω του μεγάλου αριθμού συσκευών που χρησιμοποιούν ήδη σε αυτήν τη ζώνη. Ωστόσο, κατά τη δημιουργία ενός δικτύου σμήνους τετρακόπτερων, προτάθηκε μια αποτελεσματική λύση από τους Shrit et al. (2017) για να τα συγχρονίσουν στη θέση τους χρησιμοποιώντας μόνο Ad-hoc επικοινωνίες. Για τη λειτουργία ενός σμήνους, ένα τηλεκατευθυνόμενο αεροσκάφος πιλοτάρεται από έναν άνθρωπο, και τα άλλα τετρακόπτερα ακολουθούν αυτόνομα τον ηγέτη χρησιμοποιώντας το σήμα του Wifi. Οι εργασίες σμήνους άρχισαν πρόσφατα να κερδίζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για γενικές εφαρμογές. Υπήρξαν πολλές επιδείξεις σμήνων, αλλά, στις περισσότερες, ο βαθμός της αυτόνομης δραστηριότητας ήταν μικρός. Η τεχνολογία ρελέ FANET μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο τετρακόπτερων που αποσυνδέονται από το σύστημα ελέγχου εδάφους (GCS). Ένα σχέδιο "επιστροφής στη θέση του επόμενου τετρακόπτερου" είναι χρήσιμο για ανάκτηση τετρακόπτερων που αποσυνδέονται από γειτονικά drone. Εκτός αυτού, τα δίκτυα αυτοανάπτυξης έχουν διερευνηθεί από τους Uchida et al. (2014), όπου υλοποιείται ένα ανθεκτικό δίκτυο που αποτελείται από αυτόνομους κόμβους ασύρματης πτήσης (AFW) με δίκτυα ανοχής καθυστέρησης (DTN) και δίκτυα Never Die (NDN) για την αναζήτηση πιθανών ασύρματων σταθμών και την αποστολή μηνυμάτων σε απομονωμένες περιοχές.

#### 1.6.2.4. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

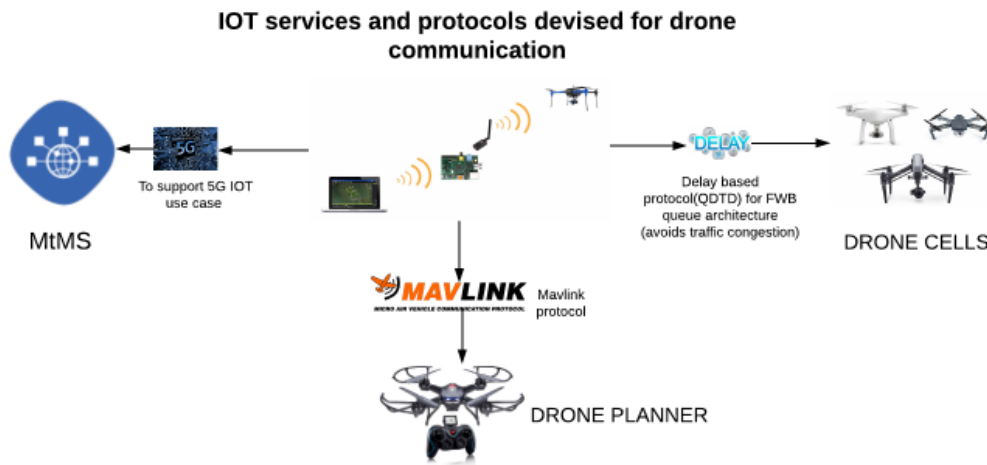
Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) είναι δίκτυα αποτελούμενα από ασύρματα συνδεδεμένους κόμβους τα οποία χάρις στις δυνατότητες αίσθησης, επεξεργασίας και επικοινωνίας τους, έχουν ένα συνεχώς διευρυνόμενο πλήθος εφαρμογών (Kandris et. al. 2020). Η συνδυασμένη χρήση των WSNs με drones επαυξάνει τις δυνατότητες τους που αμφότερα έχουν όταν χρησιμοποιούνται μεμονωμένα.

Οι Erdelj et al. (2017) έχουν δείξει ότι οι στατικές αναπτύξεις WSN γίνονται λιγότερο αποτελεσματικές με την πάροδο του χρόνου και τις καταστροφές που προκύπτουν. Έχουν διατυπωθεί συστάσεις για το WSN με βάση την προτεινόμενη ταξινόμηση τριών σταδίων διαχείρισης καταστροφών, δηλαδή την ετοιμότητα αντιμετώπισης καταστροφών, την αξιολόγησή τους, αλλά και την αντιμετώπιση και την ανάκαμψη αυτών.

Ένα σύστημα Ad-hoc δικτύου οχημάτων (VANET) που ονομάζεται υβριδικό Ad-hoc δίκτυο οχημάτων Vehicle-Drone (VDNet) επινοήθηκε από τους Wang et al. (2016), ο οποίος τα χρησιμοποίησε για την ενίσχυση της μετάδοσης δεδομένων μεταξύ οχημάτων αλλά και την αύξηση των επιδόσεων. Ο Li et al. (2015) πρότεινε ένα έξυπνο drone για μια αρχή δικτύων πρώτων ανταποκριτών (FirstNet). Χρησιμοποίησε ένα είδος επικοινωνίας πολλαπλών χροανών (D2D), η οποία αναμεταδίδει τη μετάδοση μεταξύ του σταθμού βάσης και των τερματικών συσκευών. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι ένα τετρακόπτερο είναι λειτουργικό μόνο εάν η απόσταση ή η απαιτούμενη ισχύς μετάδοσης υπερβαίνει ένα καθορισμένο όριο.

Από την άλλη λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων επεξεργασίας και της χαμηλής ενσωματωμένης αποθήκευσης, τα τετρακόπτερα δεν είναι σε θέση να εκτελέσουν υπολογιστικά απαιτητικές εφαρμογές. Η ενσωμάτωση των τετρακόπτερων με το Internet-of-Things (IoT) και το cloud computing οραματίζεται ως βιώσιμη λύση σε αυτή την αδυναμία (Zantalis et. al. 2019). Εναλλακτικά, υπηρεσία πολλαπλής διανομής τύπου

machine-type έχει προταθεί από τους Condoluci et al. (2016) για την ενεργοποίηση της ταυτόχρονης μετάδοσης δεδομένων σε συσκευές MTC. Η αρχιτεκτονική και οι διαδικασίες του έχουν σχεδιαστεί για να βελτιστοποιούν τον λανθάνοντα χρόνο και για να μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας. Διάφορα έγγραφα που διερευνούν τη χρήση του IoT σε ένα διατεματικό σύστημα έχουν αποφέρει σημαντικά αποτελέσματα. Ο Fotouhi et al. (2018) πειραματίστηκε με ένα εμπορικό τετρακόπτερο, το DJI Phantom, για να ενσωματώσει εφαρμογές IoT και αποκάλυψε ορισμένους βασικούς πρακτικούς παράγοντες ευελιξίας. Η εικόνα παρακάτω δείχνει μια τυπική ρύθμιση διαφορετικών εξαρτημάτων για ένα πλήρως λειτουργικό σύστημα τετρακόπτερου με το IoT να υποστηρίζει την επικοινωνία του. Οι συμβιβασμοί μεταξύ της ευελιξίας στροφής, της ταχύτητας πτήσης και της διάρκειας ζωής της μπαταρίας έχουν αναλυθεί με τη βοήθεια αυτών των παραγόντων και διαφόρων πειραμάτων. Οι Motlagh et al. (2016) διενήργησαν διεξοδική έρευνα σχετικά με την αρχιτεκτονική με βάση τις υπηρεσίες IoT. Επιπλέον, συζητήθηκαν φυσικές συγκρούσεις, επιλογή εξοπλισμού IoT, η τεχνολογία επικοινωνίας, η αποτελεσματική δικτύωση ενός τετρακόπτερου, καθώς και οι λειτουργικότητες τους. Επιπλέον, τα cloudlets και η υπολογιστική εκφόρτωση (CO) αποδείχθηκαν μία από τις καλύτερες λύσεις για αποδοτική πληροφορική κατά τη διατήρηση της ενέργειας.



Εικόνα 5 Ένα τυπικό σενάριο του Διαδικτύου ως μέσου επικοινωνίας drone.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> Κατασκευή του τετρακόπτερου

### 2.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η κατασκευή του τετρακόπτερου με την χρήση κατάλληλων εξαρτημάτων και υλικών.

### 2.2 Υλικά

Για τον σχεδιασμό του συγκεκριμένου τετρακόπτερου χρησιμοποιήθηκαν υλικά με βάση το κόστος και την χρήση την οποία προορίζεται.

Η επιλογή των εξαρτημάτων δεν ήταν εύκολη διότι υπάρχουν αμέτρητα κομμάτια και διαφορετικά μοντέλα στην αγορά.

Τελικά τα μέρη που χρησιμοποιήθηκαν είναι ένα πλαίσιο, οι κινητήρες, οι προπέλες, ένα ελεγκτής πτήσης (flight controller-fc)ο οποίο διαθέτει και ηλεκτρονικό ελεγκτή ταχύτητας (esc) μαζί, οι μπαταρίες, η κεραία τηλεκατεύθυνσης και η τηλεκατεύθυνση.

Για την υλοποίηση της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν ειδικά κατσαβίδια, κολλητήρι για τις συγκολλήσεις, θερμοσυστελλόμενα μονωτικά καλωδίων και ένα πολύμετρο για έλεγχο βραχυκυκλωμάτων.



Εικόνα 6 Drone Parts

### 2.3 Πλαίσιο

Το πλαίσιο είναι μια κατασκευή στην οποία συνδέονται όλα τα εξαρτήματα μαζί και έτσι θα πρέπει να είναι από στιβαρό υλικό που δεν σπάει και άκαμπτο. Διαθέτει 4τέσσερις βραχίονες στα άκρα για τους κινητήρες, μια κεντρική βάση για τον ελεγκτή πτήσης, μία βάση για την σταθεροποίηση της μπαταρίας και προαιρετικής κάμερας για την καταγραφή των πτήσεων και κατασκευασμένο από carbon υλικό για την ανθεκτικότητα.



Εικόνα 7 Frog V2 Lite Frame

Το πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε είναι το Frog V2 Lite 218 της εταιρίας TransTec με διάμετρο 218mm. Το συγκεκριμένο frame έχει βάρος 95gr που σημαίνει ότι θα γίνεται καλύτερη εξοικονόμηση μπαταρίας λόγω βάρους.

Η συναρμολόγηση του δεν ήταν δύσκολη, η εταιρία προσφέρει τις κατάλληλες οδηγίες για την σύνδεση των κομματιών.

Συνδέθηκαν όλα τα κομμάτια με βάση της οδηγίες, χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες αναφερόμενες βίδες.



Εικόνα 8 Συναρμολόγηση Πλαισίου

## 2.4 Ελεγκτής Πτήσης και Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας (Μέρος 1)

Ο ελεγκτής πτήσης που επιλέχθηκε είναι της εταιρίας Diatone ονομάζεται MAMBA F405 (F4 FLIGHT CONTROLLER & F40 40A 3-6S ESC Betaflight). Ο συγκεκριμένος ελεγκτής διαθέτει την κεντρική μονάδα και τον ηλεκτρονικό ελεγκτή ταχύτητας (Electronic Speed Controller –ESC) μαζί. Η συγκεκριμένη κεντρική μονάδα είναι από τις καλύτερες στην αγορά με εύκολες συνδέσεις και προγραμματισμό μέσω του προγράμματος Betaflight. Το κόστος του είναι σχετικά μικρό για αυτά που προσφέρει και δεν χρειάζεται επιπλέον αγορά ηλεκτρονικού ελεγκτή ταχύτητας.

Επιπλέον στην συσκευασία βρίσκονται όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα και καλώδια για τις συνδέσεις που χρειάστηκαν.

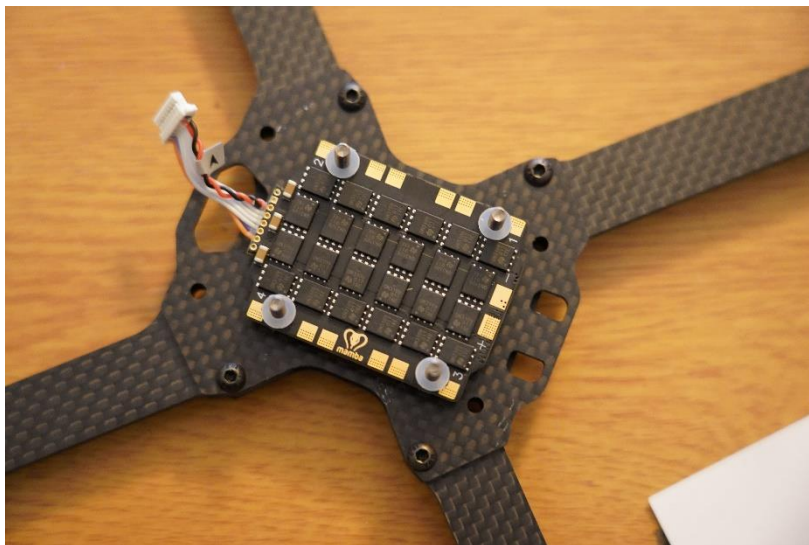


Εικόνα 9 Mamba F405 & ESC

Αρχικά γίνεται η ένωση της κεντρικής μονάδας και τοποθετείται στον σκελετό.

Το ESC είναι ένα απαραίτητο εξάρτημα για την σωστή λειτουργία των μοτέρ. Είναι ο ρυθμιστής του ρεύματος που αφήνει να περάσουν στα μοτέρ. Το συγκεκριμένο ESC είναι στα 40 A και έτσι γίνεται αντιληπτό τι μπαταρία θα επιλεγεί για να κυλάνε όλα ομαλά. Ρυθμίζει μέσω μικροελεγκτών Fets αν θα περνάει ρεύμα ή όχι στους κινητήρες ώστε να λειτουργούν.

Η τοποθέτηση του ESC έγινε αρκετά εύκολα με τις βίδες που υπήρχαν ήδη μέσα και τα ειδικά πλαστικά (bumpers) για την μείωση των κραδασμών όπως φαίνεται στην φωτογραφία.



Εικόνα 10 Τοποθέτηση ESC στο πλαίσιο

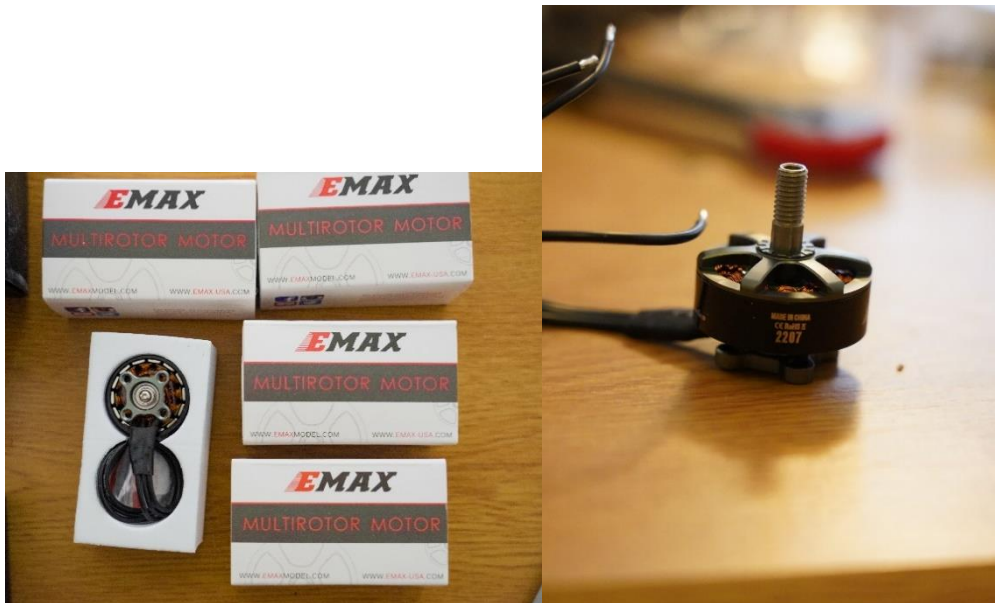
## 2.5 Κινητήρες και Προπέλες

Με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή για το συγκεκριμένο πλαίσιο έγινε αντιληπτό ότι οι συμβατοί κινητήρες είναι της σειράς 2205-2207 και από 2300KV έως 2700KV. Επιλέχθηκαν οι κινητήρες της εταιρίας EMAX με ονομασία Emax Eco Series 2207-2400KV Brushless Motors με διάμετρο 27.45mm και αριθμό κελιών 3-4s.

Τα πρώτα δύο νούμερα στο 2207 είναι η διάμετρο δηλαδή 22mm και τα άλλα δύο το ύψος του περιστρεφόμενου μέρους του κινητήρα 07mm.

Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των τεσσάρων κινητήρων:

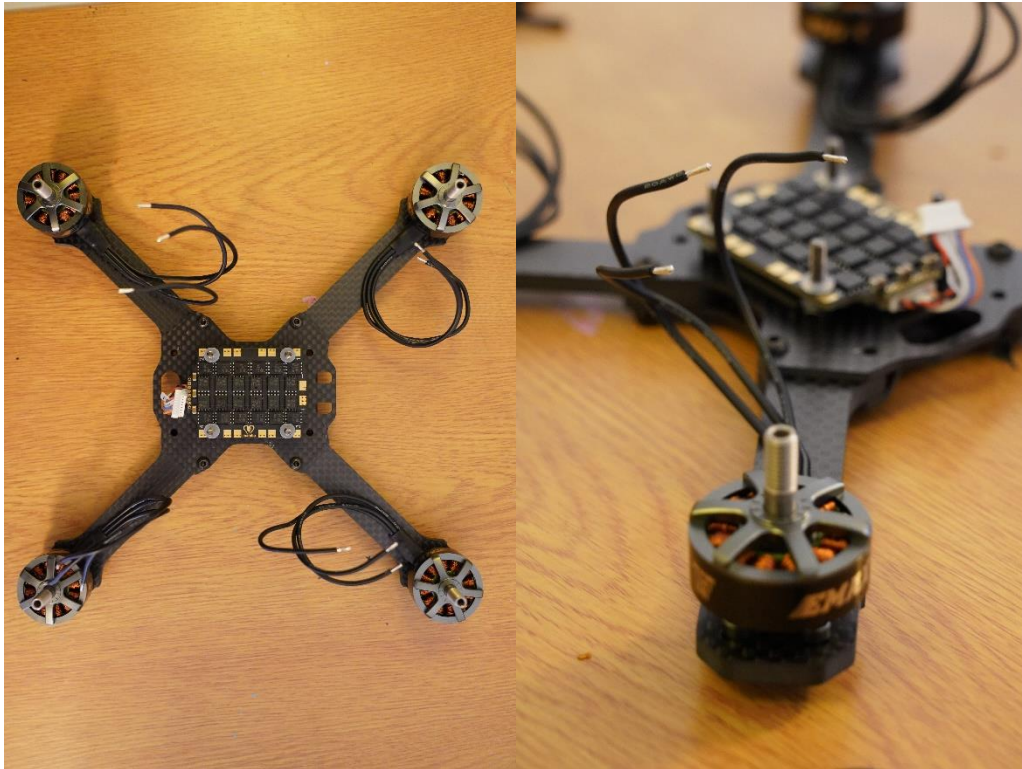
- Επωνυμία: Emax
- Όνομα στοιχείου: Κινητήρας χωρίς ψήκτρες ECO series 2207
- KV: 2400KV
- Μήκος: 32,6 mm
- Διάμετρος: 27,45 mm
- Αριθμός κελιών: 3-4s 2400KV
- Έλικα: 5 "- 5,5"
- Ελαφρύ: 31,5g (W / O Silicone Wire)
- Προσαρμογέας στήριξης: M5



Εικόνα 11 Κινητήρες

Τοποθετήθηκαν οι κινητήρες πάνω στο σκελετό με τα καλώδια της τροφοδοσίας τους να κοιτάνε προς το ESC για να είναι ευκολότερες οι κολλήσεις. Στην σημερινή εποχή δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα αν τα μοτέρ είναι δεξιόστροφα (cw) ή αριστερόστροφα (ccw) διότι αυτό ρυθμίζεται έπειτα μέσω του προγραμματισμού.

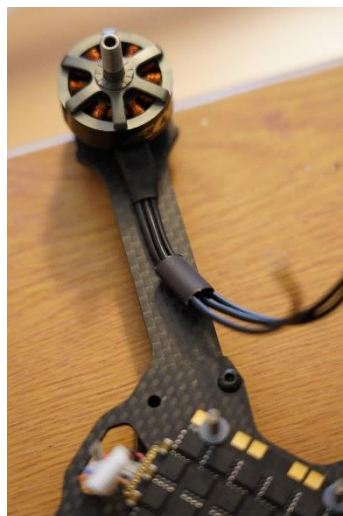




Εικόνα 12 Τοποθέτηση Κινητήρων πάνω Στο Πλαίσιο

Για την καλύτερη ταξινόμηση των καλωδίων χρησιμοποιήθηκαν κάποια θερμοσυστελλόμενα μονωτικά καλώδια.

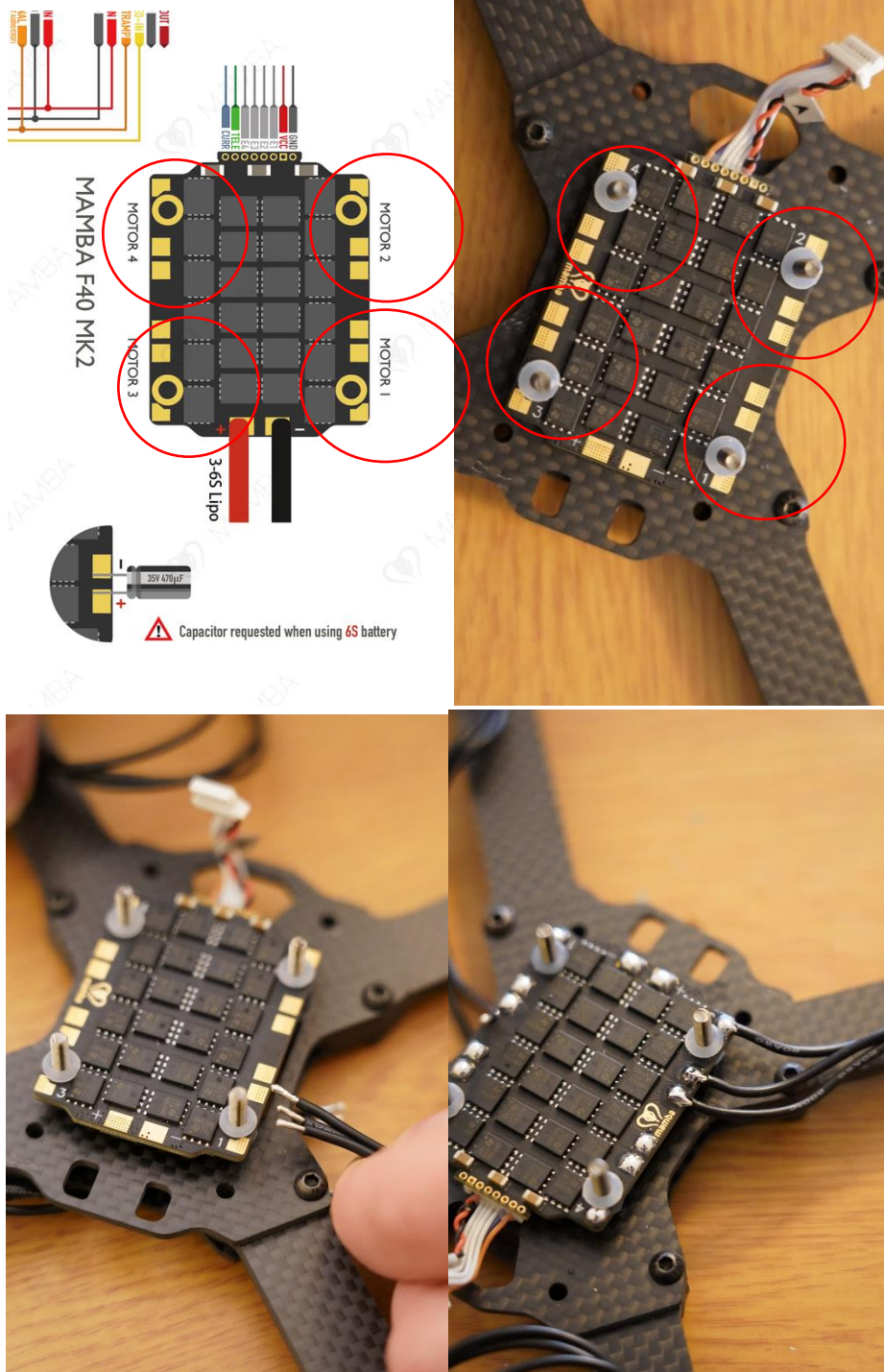
Έτσι επιτυγχάνεται η αποφυγή τυχόν κοψιμάτων από τους έλικες ή από πτώση του τετρακόπτερου.



Εικόνα 13 Θερμοσυστελλόμενα Μονωτικά στα Καλώδια

Το επόμενο βήμα της κατασκευής είναι η ορθή τοποθέτηση των καλωδίων των μοτέρ πάνω στην πλακέτα ESC.

Με βάση το manual του κατασκευαστή για το esc συγκολλήθηκαν τα καλώδια των κινητήρων με την πλακέτα όπως φαίνεται στις εικόνες.



Εικόνα 14 Συγκόλληση καλωδίων κινητήρα πάνω στο ESC

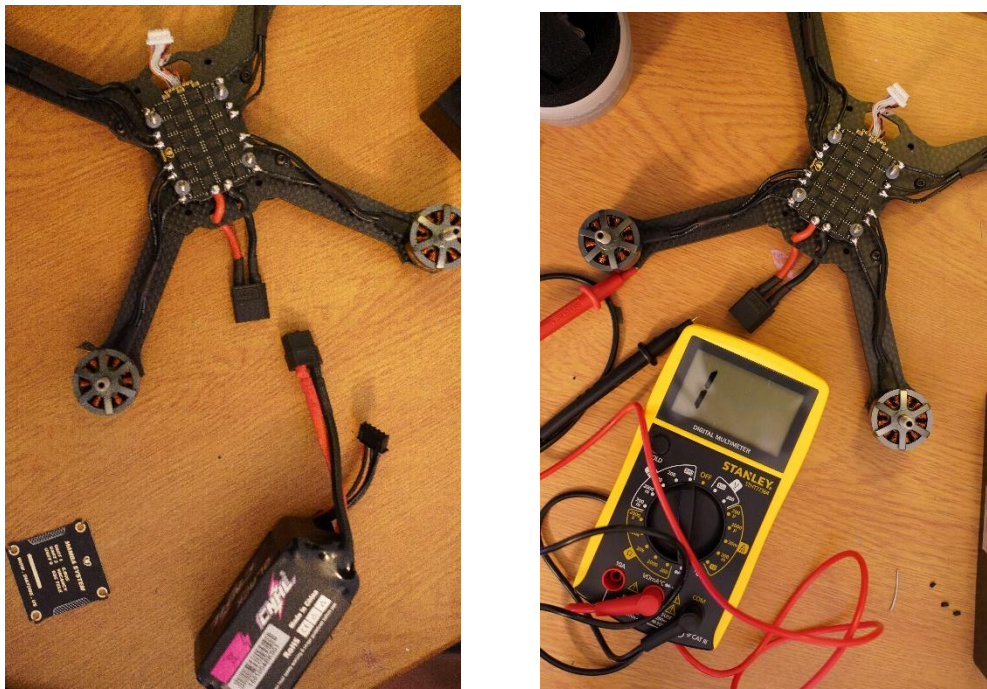
Η σειρά σύνδεσης δεν αποτελεί σημαντικό κριτήριο προς το παρόν διότι πραγματοποιούνται τροποποιήσεις μέσω του προγράμματος αργότερα.



Εικόνα 15 Το πλαίσιο με το ESC μετά τις κολλήσεις

Το επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση του βύσματος για την μπαταρία, του βύσματος XT-60 και ο έλεγχος για τυχόν βραχυκύκλωμα με τη χρήση πολύμετρου.

Η σύνδεση έγινε με τον κλασικό τρόπο του θετικού και του αρνητικού πόλου. Δεν υπήρξε κάποια ένδειξη για βραχυκύκλωμα.

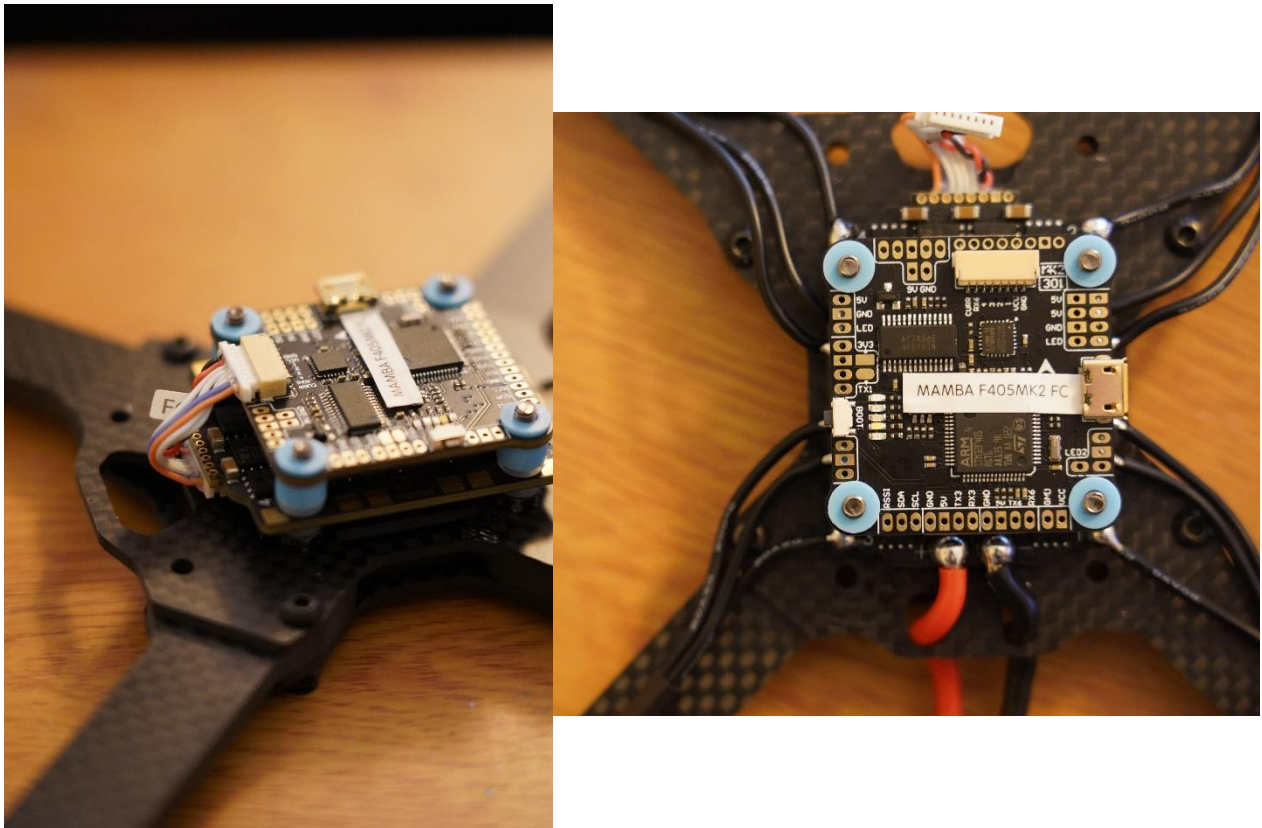


Εικόνα 16 Σύνδεση XT-60 και έλεγχος με πολύμετρο

## 2.6 Ελεγκτής Πτήσης και Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας (Μέρος 2)

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η κεντρική μονάδα Mamba που αγοράστηκε διαθέτει και τον ελεγκτή πτήσης και το ESC το οποίο συνδέθηκε προηγουμένως. Σε αυτό το βήμα τοποθετήθηκε πάνω από το ESC ο ελεγκτής όπως φαίνεται στις εικόνες παρακάτω με την χρήση των ειδικών βιδών και των bouncers που διαθέτει η συσκευασία.

Έπειτα συνδέθηκαν τα καλώδια του ESC με το ελεγκτή πτήσης για την επικοινωνία μεταξύ τους.

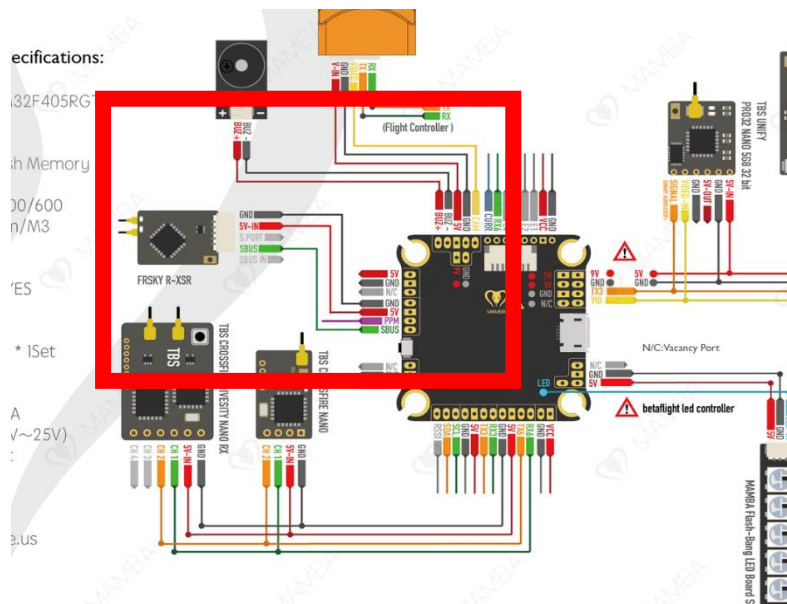
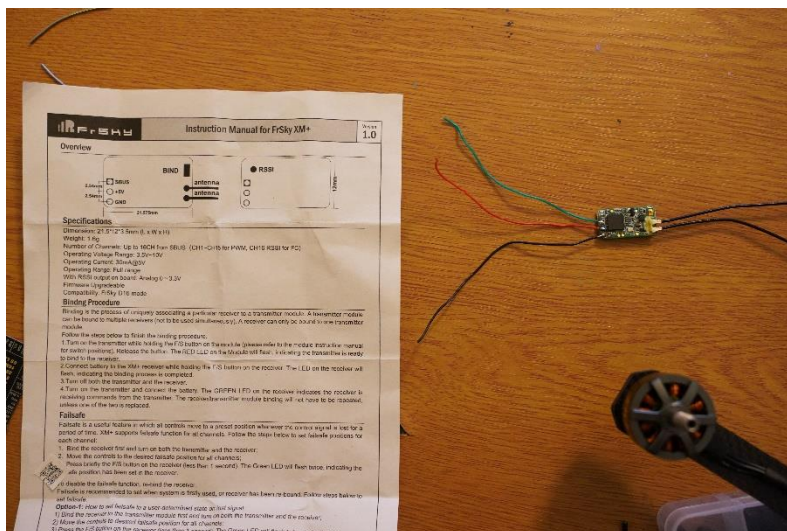


Εικόνα 17 Τοποθέτηση Flight Controller και σύνδεση με το ESC

Ο ελεγκτής πτήσης είναι μια πλακέτα η οποία διαθέτει γυροσκόπιο για αναγνώριση κλίσεων και κατεύθυνσης του τετρακόπτερου όπως και επιταχυνσιόμετρο για αναγνώριση δονήσεων και ταχύτητας. Ένας fc μπορεί να διαθέτει επίσης βαρόμετρο, gps και άλλα. Είναι απαραίτητο εξάρτημα για ένα τετρακόπτερο διότι μπορεί να δεχθεί και να επεξεργαστεί σήματα τα οποία δίνει ο χειριστής για την υλοποίηση εντολών.

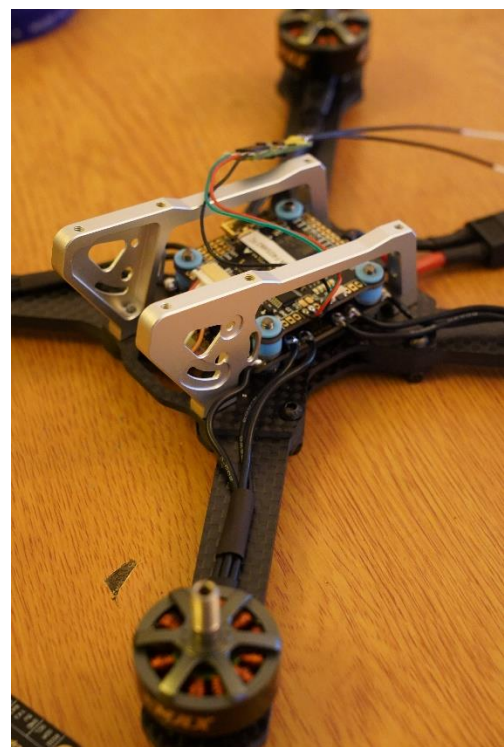
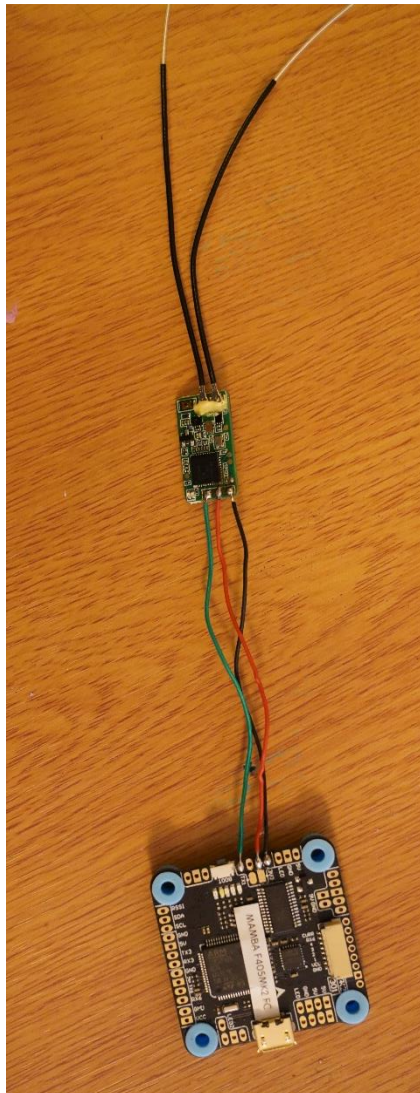
## 2.7 Τηλεκατεύθυνση και κεραία τηλεκατεύθυνσης

Για να επιτευχθεί η σύνδεση του τηλεχειριστηρίου με το τετρακόπτερο είναι απαραίτητη η σύνδεση πάνω στον ελεγκτή. Η κεραία που χρησιμοποιήθηκε είναι η Frsky XM+ Micro D16 16 καναλιών η οποία υποστηρίζει οποιοδήποτε χειριστήριο διαθέτει frsky. Για την επίτευξη αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι θύρες SBUS, 5V+ και GND της κεραίας και οι αντίστοιχες θύρες του fc. Για αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι οδηγίες της κεραίας και το manual του Mamba.



Εικόνα 18 Κεραία FrSky και manuals

Με όλα αυτά τα δεδομένα συγκολλήθηκε η κεραία πάνω στον ελεγκτή πτήσης και τοποθετήθηκαν τα πλαϊνά του πλαισίου τα οποία είναι για προστασία όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 19 Συγκόλληση κεραίας τηλεκατεύθυνσης

Το χειριστήριο που χρησιμοποιήθηκε είναι το FrSky Taranis X9 Lite 2.4GHz 24καναλιών και τα χαρακτηριστικά του είναι :

- Brand name: FrSky
- Item name: Taranis X9 Lite Transmitter
- Color: Blue, White, Black, Silver, Dark Blue
- Dimension: 184\*170\*101mm (L\*W\*H)
- Weight: 505g (without battery)
- Operating system: ErskyTX / OpenTX (Default: OpenTX)

- Number of channels: 24 channels
- Internal RF module: ISRM-N
- Operating voltage range: 6.0~8.4V
- Operating current: 190mA@7.4V
- Operating Temperature: -20°C ~ 60°C (-4°F ~ 140°F)
- Backlit LCD resolution: 128\*64
- Model memories: 60 models (expandable by Micro SD card)
- Smart Port, Micro SD card slot, Micro USB Port and DSC Port



Εικόνα 20 FrSky Taranis X9 Lite (Τηλεκατεύθυνση)

Το συγκεκριμένο χειριστήριο ανήκει στην πιο οικονομική σειρά της Taranis όμως διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά τα οποία είναι απαραίτητα για την υλοποίηση.

## 2.8 Έλικες

Οι έλικες που χρησιμοποιήθηκαν είναι της εταιρίας GemFan οι 51466-3 Hurricane με βάρος 4gr και μήκος 13cm. Το μέγεθος του έλικα μετρείται από άκρη σε άκρη. Το συγκεκριμένο μοντέλο επιλέχθηκε με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή των κινητήρων όπως φαίνεται στα χαρακτηριστικά και το μέγεθος του πλαισίου ώστε να μην χτυπάνε στο πλαίσιο.

Η σύνδεση τους γίνεται με απλή τοποθέτηση πάνω στο μοτέρ και από πάνω ένα παξιμάδι το οποίο ήταν στην συσκευασία. Όσο αυξάνεται το μέγεθος τόσο μεγαλύτερη κατανάλωση ρεύματος έχουμε, όμως αυξάνεται η ταχύτητα του τετρακόπτερου.



Εικόνα 21 Έλικες πάνω στο frame

Η σωστή διάταξη είναι οι δυο απέναντι έλικες να περιστρέφονται δεξιόστροφα και οι άλλοι δυο αριστερόστροφα, κάτι το οποίο δεν αποτελεί πρόβλημα προς το παρόν γιατί είναι κάτι το οποίο θα προγραμματιστεί αργότερα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> (Προγραμματισμός και σύνδεση τετρακόπτερου)

### 3.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η σύνδεση της τηλεκατεύθυνσης με το τετρακόπτερο και ο προγραμματισμός του μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή για την ορθή λειτουργία του. Σύνδεση μεταξύ χειριστηρίου και τετρακόπτερου είναι η λειτουργία κατά την οποία το τετρακόπτερο γνωρίζει ποιο χειριστήριο να "υπακούει".

### 3.2 Προετοιμασία σύνδεσης τηλεκατεύθυνσης με τετρακόπτερο

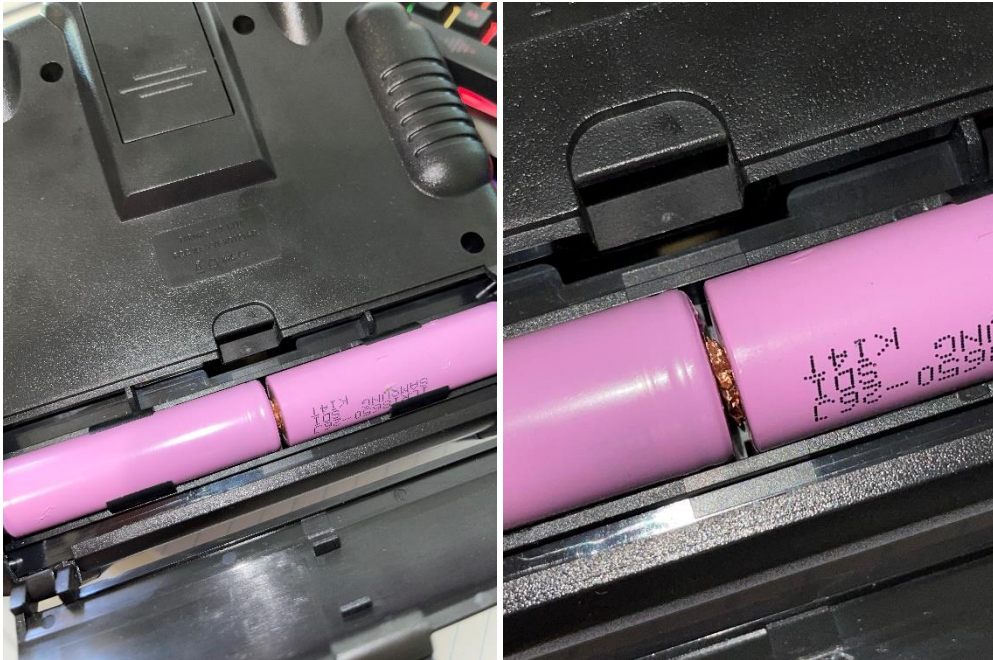
Η σύνδεση της τηλεκατεύθυνσης με το τετρακόπτερο επιτρέπει τον έλεγχο των κινήσεων του τετρακόπτερου όπως την κατεύθυνση, την δύναμη των μοτέρ αλλά και όλων των λειτουργιών που σχετίζονται με το UAV.

Τηλεχειριστήρια όπως το Taranis X9 Lite λαμβάνουν επαναφορτιζόμενες μπαταρίες 18650 όπως φαίνονται στην εικόνα 17.



Εικόνα 22 Μπαταρίες 18650

Σε αυτό το σημείο αντιμετωπίστηκε το πρόβλημα της μη επαφής των μπαταριών μεταξύ τους (λόγω της ιδιομορφίας τους) μέσα στο χειριστήριο και έτσι χρησιμοποιώντας το εσωτερικό ενός καλωδίου δημιουργήθηκε η παρακάτω επαφή έτσι ώστε οι μπαταρίες να κάνουν επαφή.



Εικόνα 23 Επαφή Μπαταριών 18650

Για να επιτευχθεί η σωστή σύζευξη της τηλεκατεύθυνσης με την κεραία τηλεκατεύθυνσης πρέπει το χειριστήριο να "τρέχει" την τελευταία έκδοση OPEN TX, το λογισμικό με το οποίο λειτουργεί, για να αποφευχθούν τυχόν bugs τα οποία υπάρχουν σε παλαιότερες εκδόσεις με τις οποίες έρχεται το χειριστήριο.

Στο κάτω μέρος του Taranis X9 υπάρχει μια υποδοχή για μια κάρτα μνήμης SD η οποία δίνεται μαζί στην συσκευασία. Από τον ιστότοπο <https://www.open-tx.org/> ελήφθη η τελευταία έκδοση του συγκεκριμένου χειριστηρίου και μέσω ενός ανάπτορα κάρτας μνήμης για υπολογιστή περάστηκαν τα αρχεία σε αυτή. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε η κάρτα μνήμης ξανά στο χειριστήριο.

Πατώντας δύο φορές το κεντρικό κουμπί του Taranis ενώ ταυτόχρονα πατάμε παρατεταμένα το κουμπί την δεύτερη φορά, το χειριστήριο ανοίγει και είναι έτοιμο για χρήση. Πατώντας παρατεταμένο το κουμπί menu και έπειτα το κουμπί page μεταφερόμαστε στην σελίδα SD-CARD όπου και επιλέχθηκε η λειτουργία firmware για να εγκατασταθεί το νεότερο λογισμικό.

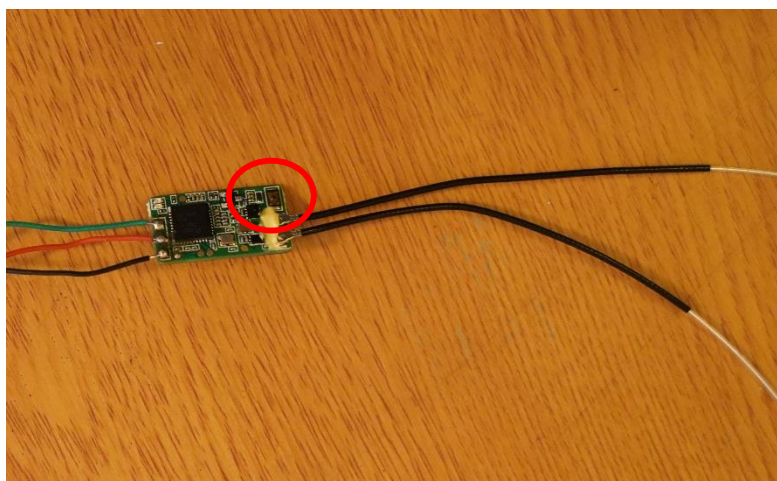


Εικόνα 24 Εγκατάσταση τελευταίου λογισμικού Open Tx στην τηλεκατεύθυνση

### 3.3 Σύνδεση τηλεκατεύθυνσης με κεραία τηλεκατεύθυνσης

Για την αποφυγή αναπάντεχων αποσυνδέσεων και μη ανταπόκρισης του τετρακόπτερου η σύνδεση της κεραίας είναι από τα πιο βασικά πράγματα που πρέπει να υλοποιηθούν.

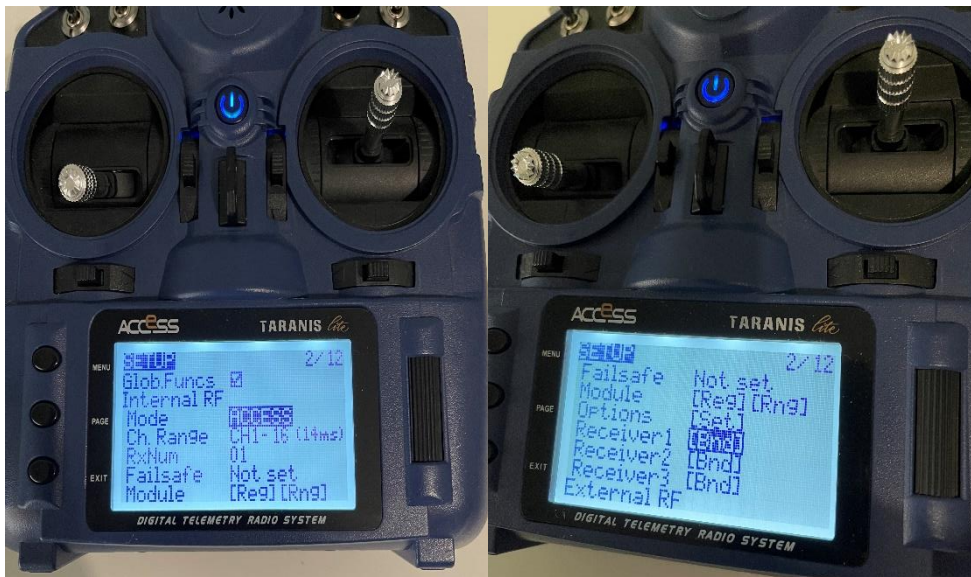
Για την ορθή σύνδεση πρέπει να πατηθεί το μικρό κουμπί της κεραίας παρατεταμένα ενώ ταυτόχρονα συνδέεται η μπαταρία στο τετρακόπτερο. Εφόσον έγινε σωστά αναβοσβήνουν δυο led στην κεραία ένα κόκκινο και ένα πράσινο που σημαίνει ότι η κεραία είναι έτοιμη για σύζευξη.



Εικόνα 25 Κουμπί σύζευξης κεραίας

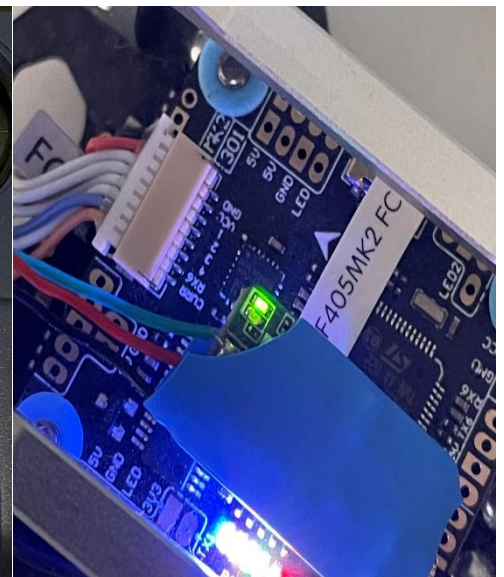
Ανοίγοντας το χειριστήριο και πατώντας το κουμπί menu μια φορά οδηγούμαστε στα μοντέλα, όπου μπορούν να δημιουργηθούν διαφορετικά για πολλαπλά τετρακόπτερα. Επιλέγοντας με την ροδέλα δεξιά το πρώτο μοντέλο εφόσον δεν έχει ξαναγίνει κάποια σύνδεση θα υλοποιηθεί εκεί η σύνδεση. Πατώντας το κουμπί page και έπειτα με την ροδέλα μετακινούμαστε στο πεδίο Internal RF όπου ρυθμίστηκε το mode και το ch. Range (channel Range) ώστε να μπορεί η κεραία να βρει το χειριστήριο. Έπειτα πατώντας το Reg στην κατηγορία module (εικόνα 21) ακούγεται ένας χαρακτηριστικός ήχος και τα led από την κεραία σταματάνε να αναβοσβήνουν που σημαίνει ότι έχει γίνει η καταγραφή της κεραίας στο συγκεκριμένο χειριστήριο.

Για την ολοκλήρωση της σύνδεσης και την αποφυγή συνδέσεων με άλλα χειριστήρια πρέπει να γίνει και η τελική σύνδεση με το Taranis. Βγάζοντας την μπαταρία από το τετρακόπτερο και επιλέγοντας στο χειριστήριο την επιλογή Bnd στην κατηγορία Receiver 1 (εικόνα 27), ένας χαρακτηριστικός ήχος ξεκινάει να ακούγεται. Συνδέοντας ξανά την μπαταρία χωρίς αυτή τη φορά να πραγματοποιείται πάτημα το κουμπί της κεραίας, γίνεται η σύνδεση και το led στην κεραία γίνεται πράσινο (εικόνα 28).



Εικόνα 26 Ρυθμίσεις για την καταγραφή της κεραίας

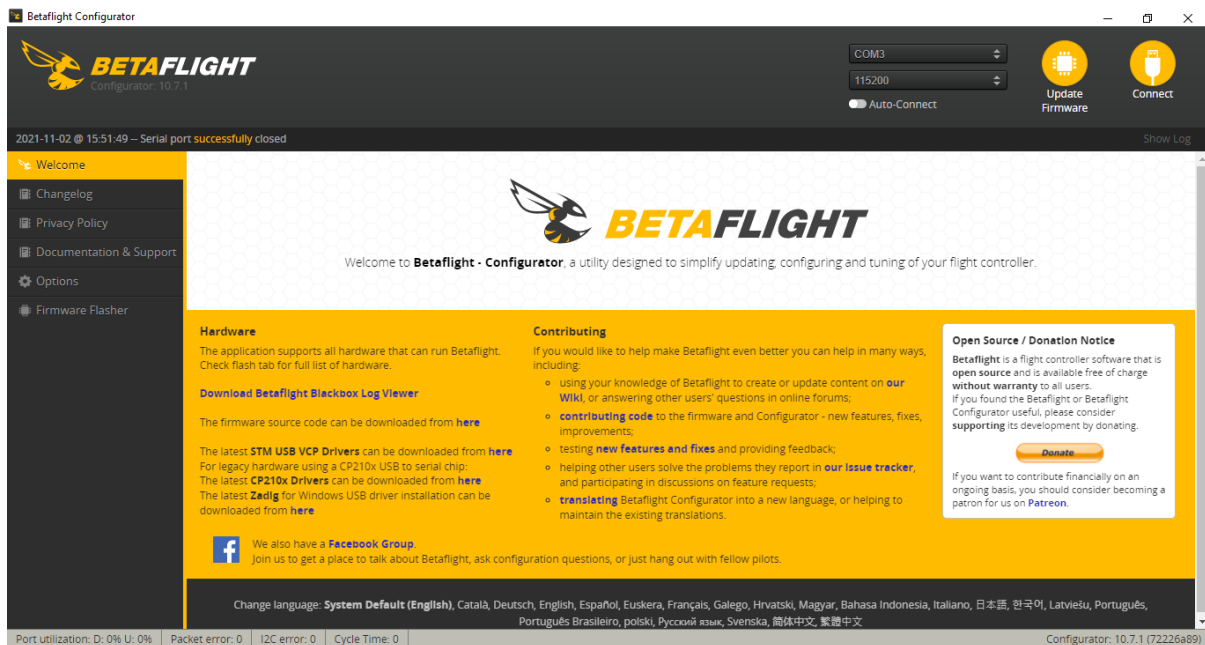
Εικόνα 27 Ρυθμίσεις για την σύνδεση της κεραίας



Εικόνα 28 Λευτ ορθής σύνδεσης κεραίας

### 3.4 Σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή και προγραμματισμός

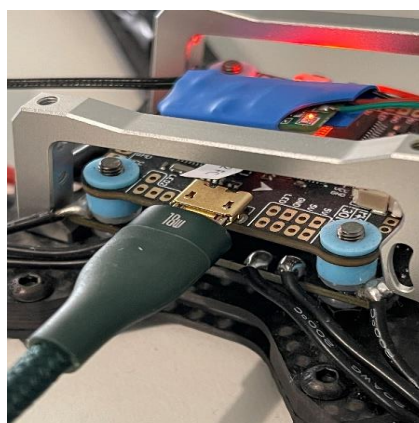
Για να επιτευχθεί η σωστή λειτουργία του τετρακόπτερου πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή με την βοήθεια του προγράμματος BetaFlight Configurator το οποίο συνεργάζεται με το συγκεκριμένο ελεγκτή πτήσης (flight controller) και esc αλλά και με τα περισσότερα της αγοράς. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι από τα πιο φιλικά προς τον χρήστη με πολλαπλές λειτουργίες και ικανότητες όσον αφορά τα τετρακόπτερα.



Εικόνα 29 BetaFlight Configurator Interface

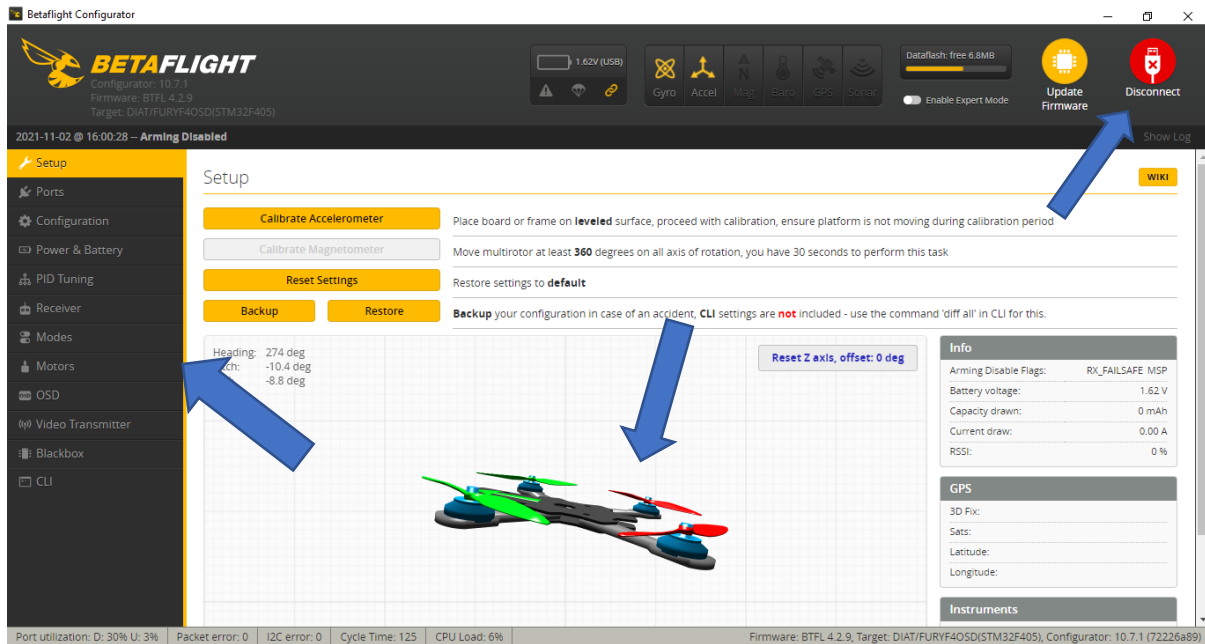
Αρχικά συνδέθηκε ο ελεγκτής πτήσης μέσω της θύρας micro usb στον υπολογιστή και αυτό έδωσε ρεύμα στον ελεγκτή πτήσης χωρίς τη χρήση της μπαταρίας.

Ανοίγοντας το BetaFlight και διαβάζοντας τις οδηγίες του προγράμματος, λήφθηκαν τα απαραίτητα tools για να καταφέρει το πρόγραμμα και ο Η/Υ να διαβάσουν τον τετρακόπτερο.



Εικόνα 30 Σύνδεση flight controller με Η/Υ μέσω usb

Εφόσον πραγματοποιήθηκαν με επιτυχία αυτά τα βήματα και πατώντας το κουμπί connect στο πρόγραμμα, ανοίγει η παρακάτω σελίδα με την 3D απεικόνιση του τετρακόπτερου και τις διάφορες επιλογές αριστερά.

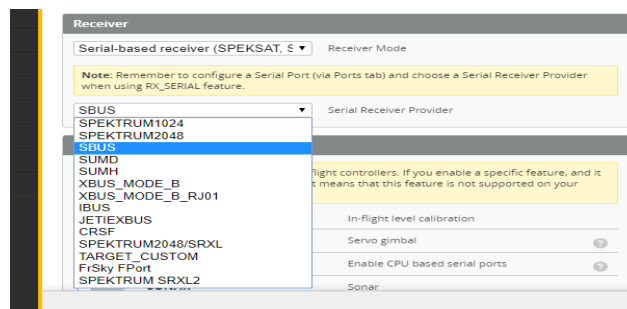


Εικόνα 31 Αρχική σελίδα σύνδεσης τετρακόπτερου με το BetaFlight

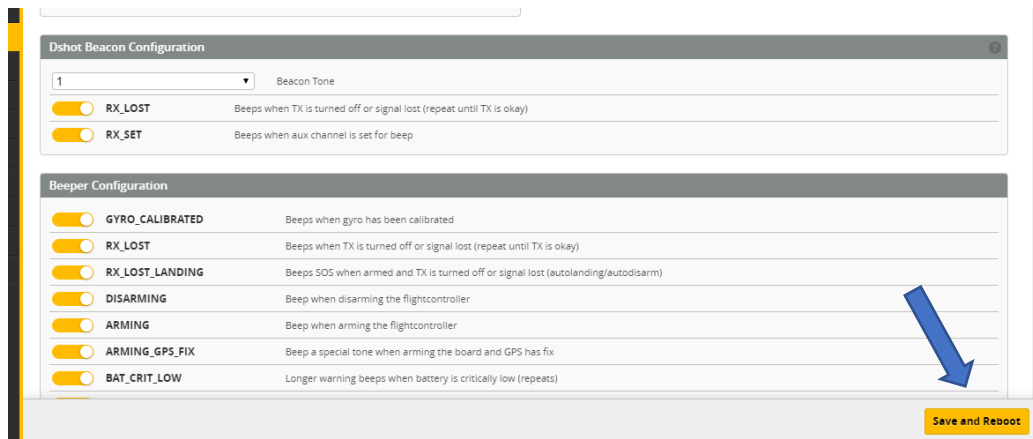
### 3.4.1. Βασικές ρυθμίσεις (Configuration/Receiver tab)

Το πρώτο βήμα είναι η βαθμονόμηση του επιταχυνσιόμετρου (accelerometer calibration) με το πάτημα του αντίστοιχου κουμπιού και αφήνοντας το πρόγραμμα να το κάνει αυτόματα και το τετρακόπτερο σε μία ευθεία επιφάνεια. Αυτό το βήμα θα χρειαστεί να γίνει μόνο μία φορά.

Στην ενότητα configuration ενεργοποιήθηκαν κάποιες λειτουργίες οι οποίες δεν είναι ενεργές όπως το rx\_lost και rx\_set όπου επιτρέπει στο τετρακόπτερο να κάνει έναν χαρακτηριστικό ήχο (beep), ο οποίος δημιουργείται από τα μοτέρ, όταν οπλίσει και όταν χάσει σήμα για να μπορεί ο χρήστης να το εντοπίσει σε περίπτωση πτώσης. Επιπλέον στην υποκατηγορία receiver επιλέχθηκε ο τύπος της κεραίας, στην περίπτωση μας SBUS (Εικόνα 32). Πραγματοποιήθηκε επανεκκίνηση με την εντολή save and reboot (Εικόνα 33) και επανασύνδεση για τον έλεγχο όλων των λειτουργιών, δηλαδή ότι είναι ενεργοποιημένες όπως επιλέχθηκαν.

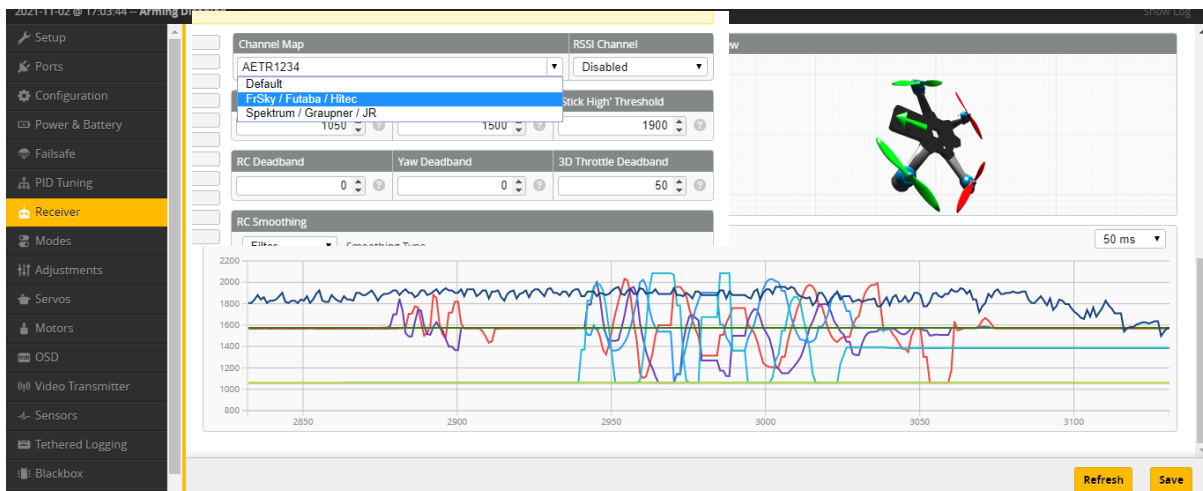


Εικόνα 262 Επιλογή SBUS-τύπος κεραίας



Εικόνα 33 Αποθήκευση και επανεκκίνηση

Έπειτα στην ενότητα Receiver και εφόσον η τηλεκατεύθυνση είναι ανοιχτή είναι εφικτό να γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις. Στο channel map επιλέχθηκε το FrSky, πραγματοποιήθηκε save και ελέγχθηκε ότι το τετρακόπτερο ανταποκρίνεται κανονικά.

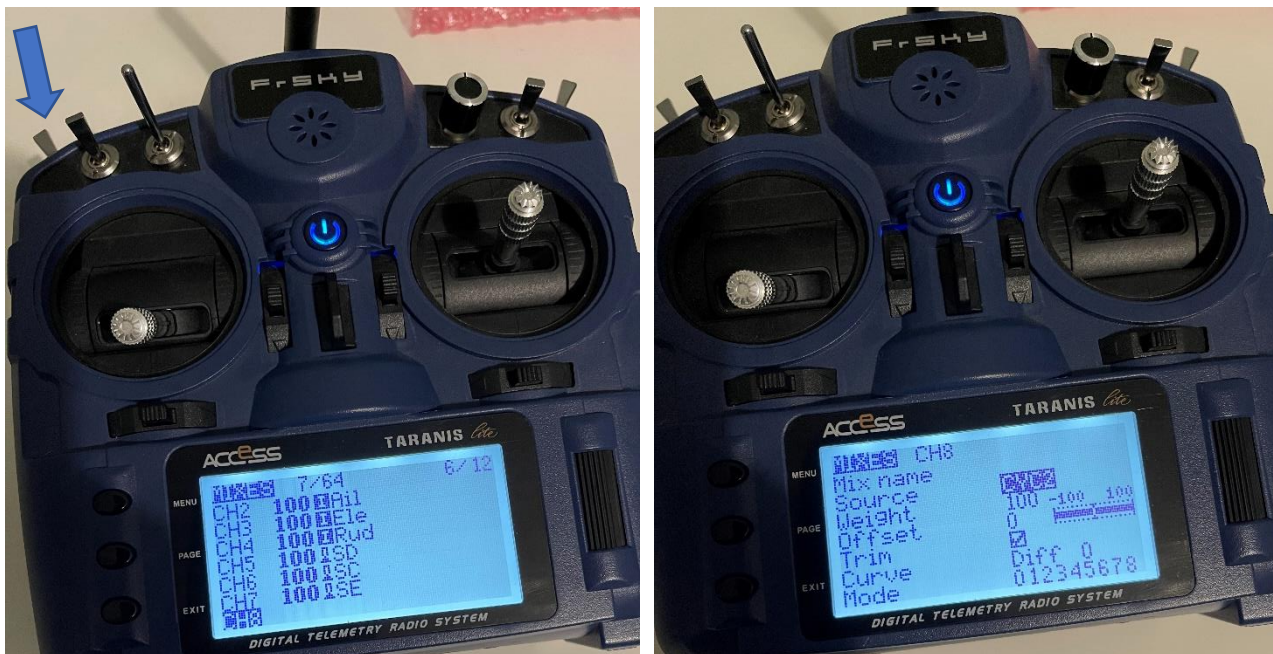


Εικόνα 274 Ενότητα Receiver

### 3.4.2. Ρύθμιση μοχλών

Εφόσον έγινε έλεγχος ότι όλοι οι μοχλοί ανταποκρίνονται και δίνουν σήμα, καθορίστηκαν οι λειτουργίες των μοχλών του χειριστηρίου για διάφορες χρήσεις, όπως την βασική λειτουργία του σπλισμού δηλαδή την εκκίνηση της περιστροφής των μοτέρ.

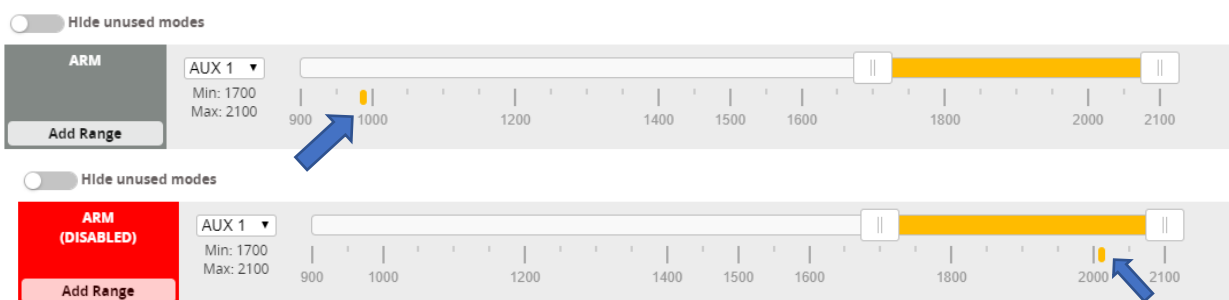
Στο χειριστήριο πατήθηκε το menu και έπειτα page μέχρι να εμφανιστεί η κατηγορία mixes (Εικόνα 35). Πηγαίνοντας σε ένα κενό channel και πατώντας την δεξιά ροδέλα μπορεί να γίνει η αναδιαμόρφωση του. Επιλέγοντας το source ορίζεται ποιο κουμπί ή μοχλός θα χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο channel το οποίο μέσα από το BetaFlight θα μπορεί να ορισθεί η λειτουργία του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ενεργοποιήθηκε ο μοχλός που φαίνεται στην εικόνα ώστε να προγραμματιστεί να είναι η εκκίνηση και το σβήσιμο των μοτέρ.



Εικόνα 35 Ενεργοποίηση μοχλών (mixes-aux)

Στο BetaFlight στην κατηγορία modes πηγαίνοντας στην πρώτη επιλογή ARM και επιλέγοντας αυτο το πρόγραμμα αυτόματα αναγνωρίζει το κουμπί όταν κουνηθεί από το χειριστήριο. Έτσι με την κίνηση του προηγούμενου μοχλού γίνεται η ανίχνευση και μετακινώντας την κίτρινη περιοχή δεξιά σημαίνει ότι σε αυτή την πλευρά του διακόπτη (έστω πάνω θέση) θα γίνεται η εκκίνηση των κινητήρων.

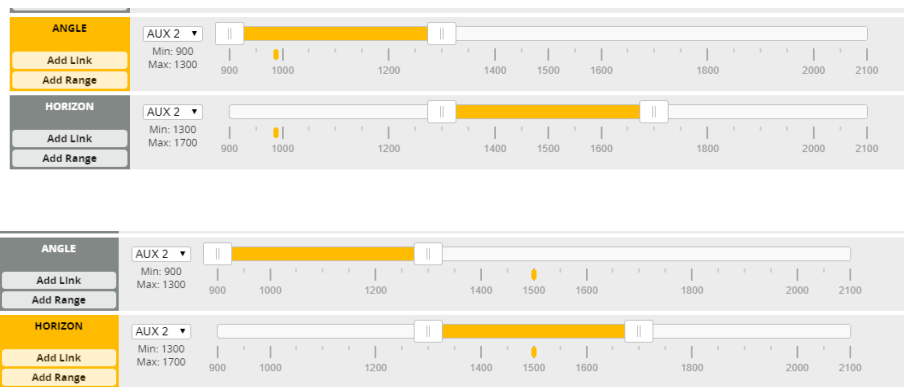
Εάν γίνει το ανάποδο δηλαδή η κίτρινη περιοχή βρίσκεται αριστερά τότε θα ενεργοποιούνται όταν ο μοχλός είναι στην άλλη θέση (έστω κάτω θέση μοχλού), αναλόγως τι βολεύει τον εκάστοτε χρήστη. Το κίτρινο σημάδι που δείχνουν τα βελάκια είναι η θέση του μοχλού.



Εικόνα 36 Πάνω θέση απόπλισης, κάτω θέση όπλισης (κίτρινη περιοχή όπου γίνεται η ενεργοποίηση)

Κατά τον ίδιο τρόπο με τα προηγούμενα βήματα μέσω του χειριστηρίου και του προγράμματος ενεργοποιείται μία ακόμα λειτουργία η οποία ονομάζεται Angle και Horizon. Οι λειτουργίες αυτές είναι παρόμοιες και επιτρέπουν στο drone να σταθεροποιείται στον ορίζοντα αυτόματα με την διαφορά ότι στο Horizon mode το τετρακόπτερο όταν διαβάσει τις ακραίες θέσεις των μοχλών τότε επιτρέπεται να κάνει περιστροφή γύρω από τον αξονά της σε αντίθεση με το Angle mode στο οποίο δεν πραγματοποιείται περιστροφή ακόμα και αν βρεθεί στις ακραίες θέσεις.





Εικόνα 37 Θέσεις για Angle και Horizon mode και μοχλός που τα ενεργοποιεί

### 3.4.3. Ρύθμιση κατεύθυνσης μοτέρ

Εφόσον ολοκληρώθηκαν τα παραπάνω βήματα, ρυθμίστηκε η κατεύθυνση των μοτερ ώστε αυτά να γυρνάνε προς την σωστή κατεύθυνση.

Αφού έχουν αφαιρεθεί οι προπέλες για την αποφυγή τυχόν ατυχημάτων στην κατηγορία motors ανεβάζοντας τον μοχλό master θα πρέπει οι κινητήρες να δίνουν τάση και να ξεκινάνε να γυρνάνε.

Με ένα κομμάτι χαρτί ελέγχθηκε εάν οι κινητήρες γυρνάνε προς την σωστή κατεύθυνση δηλαδή οι δυο απέναντι δεξιόστροφα και οι άλλοι διαμετρικά αριστερόστροφα.



Εικόνα 38 Έλεγχος λειτουργίας μοτέρ

Μέσα από το πρόγραμμα αποθηκεύτηκαν όλες οι ρυθμίσεις και έγινε επανεκκίνηση του τετρακόπτερου. Με αυτόν τον τρόπο όλες οι εντολές είναι αποθηκευμένες στην μητρική πλακέτα του τετρακόπτερου και έτσι το μη επανδρωμένο είναι έτοιμο για πτήση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΕΠΙΛΟΓΟΣ

### 4.1 Εισαγωγή κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο συνοψίζεται το έργο που εκπονήθηκε, αναλύονται τα προβλήματα που προέκυψαν και η αντιμετώπισή τους, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που απορρέουν από αυτό και καταγράφονται προτάσεις για μελλοντική εξέλιξή του..

### 4.2 Σύνοψη Διπλωματικής Εργασίας

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας στο πρώτο κεφάλαιο μελετήθηκε το θεωρητικό μέρος ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους (UAV) στο οποίο καλύφθηκαν τα επιμέρους κομμάτια της ιστορικής αναδρομής, του θεωρητικού του μοντέλου, των εφαρμογών του, των δομικών στοιχείων του αλλά και τον έλεγχο και τις ασύρματες επικοινωνίες του τετρακόπτερου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο μελετήθηκε το κατασκευαστικό κομμάτι του τετρακόπτερου όπου καλύφθηκαν τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και ο τρόπος σύνδεσης όλων αυτών μεταξύ τους για την τελική μορφή ενός λειτουργικού τετρακόπτερου.

Στο τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο μελετήθηκε ο προγραμματισμός του μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή αλλά και η σύνδεση των παρελκόμενων όπως είναι η τηλεκατεύθυνση, για την ομαλή λειτουργία του μη επανδρωμένου.

### 4.3 Προβλήματα και Αντιμετώπισή τους

Κατά την διάρκεια της διπλωματικής εμφανίστηκαν διάφορα προβλήματα τα οποία και έπρεπε να αντιμετωπιστούν για την διεξαγωγή του τελικού 'προϊόντος' που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το τετρακόπτερο.

Πρώτο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν η φόρτιση των μπαταριών τόσο του χειριστηρίου αλλά και του τετρακόπτερου. Για αυτό το λόγο χρειάστηκε η αγορά φορτιστή μπαταριών 18650 και φορτιστή για Li-Po μπαταρίες. Ο φορτιστής των 18650 είναι ένας κλασικός φορτιστής επαναφορτιζόμενων μπαταριών με επεκτάσιμες άκρες ώστε να χωράνε οι μπαταρίες και ο φορτιστής των Li-Po μπαταριών ειδικός φορτιστής ο οποίος λειτουργεί με βάση τα mAh της μπαταρίας, τα Volt και τα κελιά της για την φόρτιση της. Παρακάτω παρατίθεται ο φορτιστής αυτών των μπαταριών στον οποίο συνδέεται το βύσμα με τα 5pins αλλά και το XT-60 για την σωστή φόρτιση.



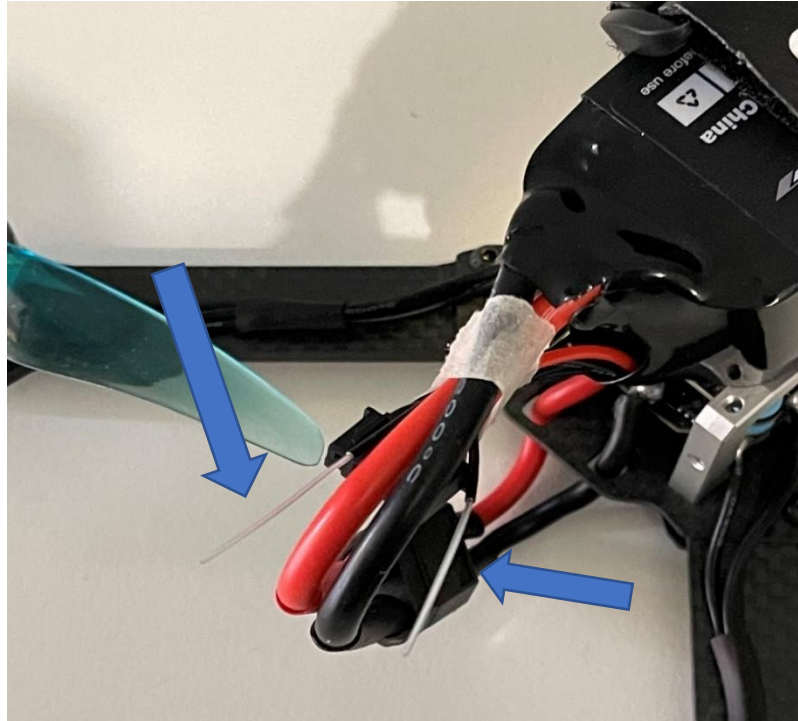
Εικόνα 39 Φορτιστής Li-Po μπαταριών

Το δεύτερο πρόβλημα που παρατηρήθηκε κατά την σύνδεση του χειριστήριου με το τετρακόπτερο ήταν η μη επαφή των μπαταριών 18650 μέσα στο χειριστήριο το οποίο και επιλύθηκε όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3 με την χρήση του εσωτερικού ενός καλωδίου για την επαφή τους.



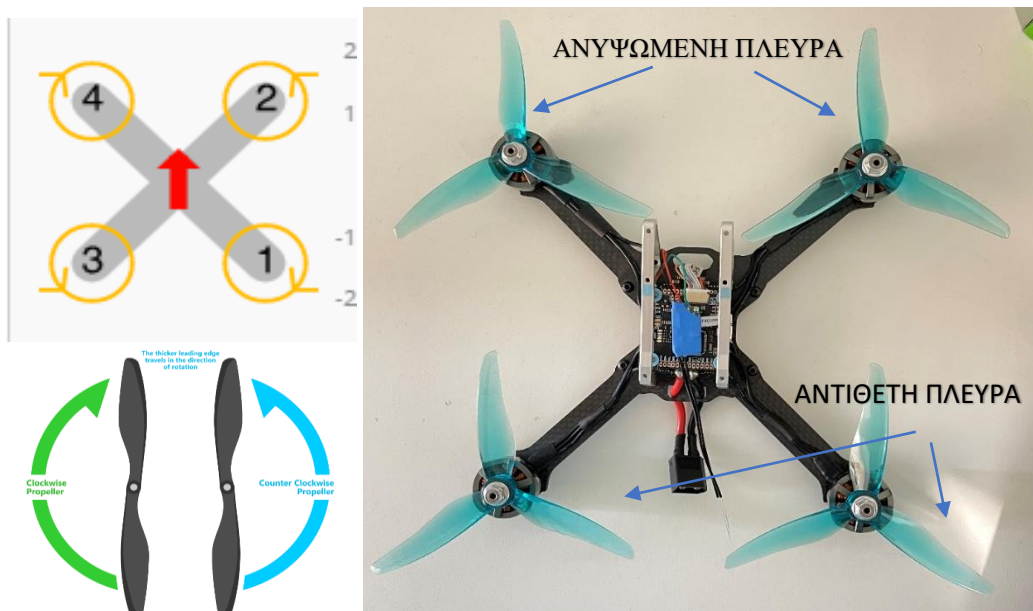
Εικόνα 40 Επαφή Μπαταριών 18650

Το τρίτο πρόβλημα προς επίλυση ήταν η εύκολη αποσύνδεση της κεραίας με το χειριστήριο λόγω κακού σήματος αλλά και φθηνής κεραίας με αποτέλεσμα το αυτόματο σβήσιμο των μοτέρ του τετρακόπτερου άρα και κίνδυνο να συμβεί στον αέρα η αποσύνδεση και να πέσει. Αυτό επιλύθηκε με την σύσφιξη και επανατοποθέτηση των κεραιών έτσι ώστε οι κεραίες να ανεβούν πιο ψηλά και το σήμα να μην χάνεται τόσο εύκολα.



Εικόνα 41 Επανατοποθέτηση κεραιών τετρακόπτερου

Τελευταίο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν η μη σωστή τοποθέτηση των ελίκων πάνω στο τετρακόπτερο με αποτέλεσμα το τετρακόπτερο να μην ανταποκρίνεται σωστά στις κατευθύνσεις και στην ώθηση ώστε να ανεβεί. Η σωστή τοποθέτηση των ελίκων έχει να κάνει με την περιστροφή των μοτέρ που έχει επιλεχθεί. Στην δικιά μας περίπτωση τα μοτέρ 1 και 4 περιστρέφονται δεξιόστροφα ενώ τα 2 και 3 αριστερόστροφα. Η συσκευασία των ελίκων περιέχει 2 έλικες για δεξιόστροφη περιστροφή και 2 για αριστερόστροφη. Έτσι οι έλικες που θα τοποθετηθούν στα μοτέρ 1 και 4 θα είναι οι δύο έλικες για δεξιόστροφη περιστροφή και στις θέσεις 2 και 3 για αριστερόστροφη. Είναι εφικτή η διάκριση των δεξιόστροφων και αριστερόστροφων ελίκων. Στην πρώτη περίπτωση παρατηρείται αν η ανυψωμένη πλευρά του έλικα είναι προσανατολισμένη προς τα δεξιά και στην δεύτερη το προς τα αριστερά όπως υποδεικνύεται και στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 42 Σωστή τοποθέτηση ελίκων με βάση την περιστροφή των μοτέρ

## 4.4 Συμπεράσματα-Παρατηρήσεις

Υλοποιώντας την συγκεκριμένη εργασία και κατά την διάρκεια της κατασκευής του τετρακόπτερου παρατηρήθηκε ότι ένα από τα δυσκολότερα κομμάτια είναι η επιλογή των σωστών υλικών, η σωστή τοποθέτηση τους και ο προγραμματισμός του τετρακόπτερου.

Τα σωστά υλικά είναι πάντα ένα από τα βασικότερα συστατικά για την ορθή υλοποίηση και τελικά την επιτυχή λειτουργία της κατασκευής. Για παράδειγμα επιλέγοντας ένα πλαίσιο λιγότερο ανθεκτικό, η πρώτη πτώση του τετρακόπτερου θα μπορούσε να αποβεί μοιραία.

Η μη ορθή συγκόλληση των υλικών και εξαρτημάτων πάνω στο μη επανδρωμένο, χωρίς την χρήση του εγχειριδίου χρήσης του εκάστοτε κατασκευαστή, επίσης θα οδηγούσε σε τέλμα και τελικά την κατασκευή του από την αρχή.

Ο προγραμματισμός του μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή χρειάζεται απόλυτη προσοχή και συνεχής έλεγχοι ώστε τελικά όλα τα εξαρτήματα να συνεργάζονται μεταξύ τους.

Πέραν όμως αυτών παρατηρήθηκε ότι πολύ μεγάλο ρόλο στην πτήση και σωστή λειτουργία συμμετέχουν αρκετοί παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες, η απομάκρυνση του τετρακόπτερου από το χειριστήριο αλλά και οι μη επαρκώς φορτισμένες μπαταρίες. Παραδείγματος χάρη εάν στο περιβάλλον όπου ο χρήστης κάνει πτήση υπάρχει δυνατός αέρας τότε η ευστάθεια του τετρακόπτερου μειώνεται και αυτό συνεπάγεται σε πιο εύκολη πτώση. Επίσης παρατηρήθηκε ότι όσο πιο μακριά βρίσκεται το τετρακόπτερο από το χειριστή ή εάν ανάμεσα στο χειριστήριο και το μη επανδρωμένο παρεμβάλλουν δέντρα ή κτήρια τόσο πιο εύκολο είναι να χαθεί το σήμα και το αεροσκάφος να πέσει.

Τέλος, με βάση την ολοκληρωμένη έρευνα που έγινε κατά την διάρκεια της εργασίας σε θεωρητικό βαθμό αλλά και σε πρακτικό διεξάγεται το συμπέρασμα ότι είναι ένα πολύ απαιτητικό αντικείμενο το οποίο χρειάζεται εξειδίκευση, αρκετές ώρες προσομοίωσης για την σωστή πτήση, γνώση των κανονισμών και νόμων των μη επανδρωμένων αεροσκαφών και πάνω από όλα την ασφάλεια και του χειριστή αλλά και των υπολοίπων.

## 4.5 Προτάσεις Μελλοντικής Εξέλιξης

Όπως σε κάθε αντικείμενο ενασχόλησης έτσι και εδώ υπάρχουν πρς για μελλοντικές βελτιώσεις και εξελίξεις.

Βασική βελτίωση με βάση αυτά που έχουν αναφερθεί είναι η αγορά και σύνδεση δυνατότερης κεραίας με μεγαλύτερη εμβέλεια για εξάλειψη τυχόν αποσυνδέσεων.

Άλλη μία από τις βελτιώσεις που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν είναι η ένταξη κάμερας στο μπροστινό μέρος του τετρακόπτερου σε συνδυασμό με γυαλιά. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται ένας βίντεο πομπός VTX με κάμερα να συνδεθεί στην μητρική του τετρακόπτερου και η αγορά γυαλιών συμβατά με τον συγκεκριμένο πομπό. Τα γυαλιά ή στα αγγλικά *frn goggle* (first person view) είναι απαραίτητα για μακρινές πτήσεις όπου δεν υπάρχει ορατότητα του τετρακόπτερου. Μέσα από αυτά ο χειριστής βλέπει σε πραγματικό χρόνο ότι 'βλέπει' και το τετρακόπτερο και έτσι μπορεί να αποφύγει εμπόδια και να κάνει ελιγμούς.



Εικόνα 42 Βιντεοπομπός VTX και γυαλιά πτήσης first person view

Επίσης, η ενσωμάτωση στο σύστημα φωτοβολταϊκού πάνελ για την ηλεκτροδότησή του με χρήση ηλιακής ενέργειας θα επιμήκυνε την ενεργειακή αυτονομία του συστήματος (Koukouvaos et. al. 2014).

Σε προγραμματιστικό επίπεδο οι επιλογές είναι πάρα πολλές αναλόγως τα εξαρτήματα όμως κάποιες βασικές λειτουργίες θα ήταν η ενεργοποίηση του turtle mode το οποίο χρειάζεται δυνατότερα μοτέρ και μεγαλύτερη μπαταρία, το οποίο επιτρέπει στο τετρακόπτερο όταν διαισθανθεί με τον αισθητήρα γυροσκόπιο ότι πέφτει να γυρίσει ανάποδα για μείωση των ζημιών. Επίσης οι επιλογές telemetry και osd με τις οποίες πολλά χαρακτηριστικά του τετρακόπτερου όπως voltage και υψόμετρο φαίνονται μέσα από τα γυαλιά πτήσης και στο χειριστήριο.

Επίσης, η χρήση αλγορίθμων ελέγχου μέσω εγκεφαλικών σημάτων μπορεί να καταστήσει δυνατό τον έλεγχο του drone ακόμα και από άτομα με αδυναμία χρήσης των άνω άκρων τους (Korovesis et. al. 2019).

Η διασύνδεση του συστήματος με συστήματα διαχείρισης εκτάκτων καταστάσεων, θα επιτρέψει στο drone να πληροφορείται για τις συνθήκες που επικρατούν στο ευρύτερο περιβάλλον του και να λαμβάνει κατάλληλες αποφάσεις (Pantazis et.al. 2011)

Υπό την ίδια λογική, το drone μπορεί να συνεργαστεί με αυτοματοποιημένα συστήματα προστασίας φορητών υπαρχόντων από κλοπή (Papadakis 2021), καθώς και να συλλειτουργήσει με ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Kandris et. al. 2020) και να ενσωματωθεί σε αναρίθμητες εφαρμογές του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) (Zantalis et. al. 2019).

Τέλος, σε στάδιο βιομηχανικής παραγωγής πλέον, με την ένταξη αισθητήρων και άλλων ελεγκτών είναι δυνατή η επικοινωνία, η παρακολούθηση και η ταυτόχρονη χρήση πολλαπλών μη επανδρωμένων μεταξύ τους (Chen et. al. 2020) ή ακόμα και η συνεργασία μη επανδρωμένων αεροσκαφών με επίγεια ρομπότ για την επίλυση διάφορων προβλημάτων (Ding et. al. 2021).

Συμπεραίνοντας, οι δυνατότητες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών στις μέρες είναι πάρα πολλές και συνεχώς εξελίσσονται. Από την απλή χρήση σε επίπεδο χόμπι για την καταγραφή φωτογραφιών και βίντεο μέχρι την βιομηχανική και επαγγελματική χρήση για διάσωση ανθρώπων, για αποστολή συντεταγμένων, παράδοση δεμάτων αλλά ακόμα και σε κατασκευαστικές και γεωργικές εργασίες.

## 5. Βιβλιογραφία

- Anderson, S.B. "Historical Overview of V / STOL Aircraft Technology". NASA Technical Memorandum 81280, 1997.
- Asadi, A. A. Bagheri, S. Imam , A. Jalayeri, E. Kinsner , W. and Sepehri. N. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. ,2016.
- Bouabdallah, S. Noth, A. and Siegwart. R. PID vs LQ control techniques applied to an indoor micro quadrotor. In International Conference on Intelligent Robots and Systems 2004, volume 3, pages 2451 – 2456 vol.3, 2004.
- Büchi, R. (2011). Fascination Quadcopter.
- Burkle, A. Segor, F. and Kollmann, M. "Towards autonomous micro uav swarms," Journal of intelligent & robotic systems, vol. 61, no. 1-4, pp. 339–353, 2011.
- Chen, W., Liu, J., Guo, H., & Kato, N. (2020). Toward robust and intelligent drone swarm: Challenges and future directions. *IEEE Network*, 34(4), 278-283.
- Christensen, A. L. Oliveira, S. Postolache, O. De Oliveira, M. J. Sargento, S. Santana, P. Nunes, L. Velez, F. J. Sebastiao, P. Costa et al., V. "Design of communication and control for swarms of aquatic surface drones." in ICAART (2), 2015, pp. 548–555.
- Condoluci, M. Araniti, G. Mahmoodi, T. and Dohler, M. "Enabling the iot machine age with 5g: Machine-type multicast services for innovative real-time applications," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 5555–5569, 2016.
- Craig, J.J. Hsu P., and Sastry S.S. Adaptive control of mechanical manipulators. *The International Journal of Robotics Research*, 6(2):16, 1987.
- Dantu, K. Kate, B. Waterman, J. Bailis, P. and Welsh, M. "Programming micro-aerial vehicle swarms with karma," in Proceedings of the 9th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems. ACM, 2011, pp. 121–134.
- Das, A. Subbarao, K. and Lewis. F. Dynamic inversion with zero-dynamics stabilisation for quadrotor control. *Control Theory & Applications, IET*, 3(3):303–314, 2009.
- Ding, Y., Xin, B., & Chen, J. (2021). A review of recent advances in coordination between unmanned aerial and ground vehicles. *Unmanned Systems*, 9(02), 97-117.
- DJI: <https://enterprise.dji.com/drone-rescue-map/> (accessed on 8<sup>th</sup> March 2022)
- Drone Industry Insights, 2018. The leading source for independent drone market intelligence, <https://droneii.com/> .
- Drone Omega, US, Arizona, 2018, Available from : [www.droneomega.com](http://www.droneomega.com).
- Electrical Technology, UK, Birmingham, Available from: <http://www.electricaltechnology.org/2016/05/bldcbrushless-dc-motor-construction-workingprinciple.html>, 2018.



ELPROCUS, What is Electronic Speed Control (ESC) & Its Working, 2018.

Erdelj, M. Natalizio, E. Chowdhury, K. R. and Akyildiz, I. F. “Help from the sky: Leveraging uavs for disaster management,” IEEE Pervasive Computing, no. 1, pp. 24–32, 2017.

Erezuma A. R. , Unmanned Aerial Vehicle, 2015.

Fabra, F. Calafate, C. T. Cano, J.-C. and Manzoni, P. “On the impact of inter-uav communications interference in the 2.4 ghz band,” in Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2017 13th International. IEEE, 2017, pp. 945–950.

Finds, S. Drones Have Saved Dozens Of Lives In Last Year, 2019.

Fotouhi, A. Ding, M. and Hassan, M. “Understanding autonomous drone maneuverability for internet of things applications,” in A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2017 IEEE 18th International Symposium on. IEEE, 2017, pp. 1–6.

Gablehouse C. "Helicopters and Autogiros", 1969.

Grand View Research Commercial drone market analysis by product (Fixed Wing, Rotary Blade, Nano, Hybrid), by application (agriculture, energy, government, media & entertainment) and segment forecasts to 2022 Jan., 2016.

Hayat, S. Yanmaz, E. and Muzaffar R., “Survey on unmanned aerial vehicle networks for civil applications: A communications viewpoint.” IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 18, no. 4, pp. 2624–2661, 2016.

Hobden. A. "Quadcopters: Yaw". hoverbear.org. 2017.

Huang, M. Xian, B. Diao, C. K. Yang, and Y. Feng. Adaptive tracking control of underactuated quadrotor unmanned aerial vehicles via backstepping. In American Control Conference (ACC), 2010, pages 2076 –2081, 30 2010-july 2 2010.

ICAO , Annual Report 2016 . The World of Air Transport in 2016,  
<https://www.icao.int/annual-report-2016/Pages/the-world-of-air-transport-in-2016.aspx>.

Inan, E., Kiris, A, (2007-01-20). The Seventh International Conference on Vibration Problems ICOVP 2005.

INDRA, European partnership to open cities’ airspace to drones for the first time, 2021,  
<https://www.indracompany.com/en/noticia/european-partnership-open-cities-airspace-drones-first-time>.

Jategaonkar. R.V. Flight vehicle system identification: a time domain methodology. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006.

Kampker A, Kreiskoether K, Wagner J, Fluchs S . Mobile assembly of electric vehicles: decentralized, low-invest and flexible. World academy of science, engineering and technology. Int J Mech Aerosp Ind Mech Manuf Eng, 2016, 10(12):1920–1926.

Kandris, D., Nakas, C., Vomvas, D., & Koulouras, G. (2020). Applications of wireless sensor networks: an up-to-date survey. Applied System Innovation, 3(1), 14.

Kitagawa, T. Ala, S. Eum, S. and Murata, M. “Mobilitycontrolled flying routers for information-centric networking,” in Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), 2018 15th IEEE Annual. IEEE, 2018, pp. 1–2.

Koparan, T. 2019. Examination of the dynamic software-supported learning environment in data analysis, International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 50(2), 277-291.

Korovesis, N., Kandris, D., Koulouras, G., & Alexandridis, A. (2019). Robot motion control via an EEG-based brain–computer interface by using neural networks and alpha brainwaves. *Electronics*, 8(12), 1387.

Koukouvaos, C., Kandris, D., & Samarakou, M. (2014). Computer-aided modelling and analysis of PV systems: a comparative study. *The Scientific World Journal*, 2014.

Leishman, J.G. (2000). Principles of Helicopter Aerodynamics. New York, NY: Cambridge University Press.

Li, W., Niu, Z., Chen, H. Y., Li, D., Wu, M. Q., and Zhao, W. (2016). Remote estimation of canopy height and aboveground biomass of maize using high-resolution stereo images from a low-cost unmanned aerial vehicle system. *Ecol. Indic.* 67, 637–648.

Li, X. Guo, D. Yin, H. and Wei, G. “Drone-assisted public safety wireless broadband network,” in Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), 2015 IEEE. IEEE, 2015, pp. 323–328.

Liang. O. US, Arizona, 2018.

Lobachev, I. E. Cretu Institute of Electrical and Electronics Engineers In c. ,2016.

Martinez, A.C. International Conference on Human Factors and System Interactions, 497 Springer Verlag. ,2016.

McNabb, Miriam US Manufacturer Harris Aerial Launches New Hybrid Gas Electric Drone. *Dronelife*, (February 2018).

Mellinger, D. Lindsey, Q. Shomin, M. and Kumar V. Design, modeling, estimation and control for aerial grasping and manipulation. In Intelligent Robots and Systems (IROS), 2011 IEEE/RSJ International Conference on, pages 2668 –2673, sept. 2011.

Mogensen , K. N. Analog Application Journal: Industrial ,2016

Motlagh, N. H. Taleb, T. and Arouk, O. “Low-altitude unmanned aerial vehicles-based internet of things services: Comprehensive survey and future perspectives,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 6, pp. 899– 922, 2016.

Multerer, T. Ganis, A. Prechtel, U. Miralles, E. Meusling, A. Mietzner, J. Vossiek, M. Loghi, M. and Ziegler, V. “Low-cost jamming system against small drones using a 3d mimo radar based tracking,” in Radar Conference (EURAD), 2017 European. IEEE, 2017, pp. 299–302.

Ngamjanyaporn, P. Kittiyapunya, C. and Krairiksh, M. “A switch-beam circular array antenna using pattern reconfigurable yagi-uda antenna for space communications,” in Antennas and Propagation (ISAP), 2017 International Symposium on. IEEE, 2017, pp. 1–2.

- Nice, E. B. Design of a four rotor hovering vehicle, 2004.
- Padfield Gareth D .Helicopter flight dynamics: the theory and application of flying qualities and simulation modeling. Blackwell Pub. Oxford, 2008.
- Pantazis, N. A., Nikolidakis, S. A., Kandris, D., & Vergados, D. D. (2011, September). An automated system for integrated service management in emergency situations. In *2011 15th Panhellenic Conference on Informatics* (pp. 154-157). IEEE.
- Papadakis, N., Koukoulas, N., Christakis, I., Stavrakas, I., & Kandris, D. (2021). An IoT-Based Participatory Antitheft System for Public Safety Enhancement in Smart Cities. *Smart Cities*, 4(2), 919-937.
- Peck, A. 2021. Beyond the Shadow: FTUAS Competition's Next Phase.
- Pereira AA, Espada JP, Crespo RG, Aguilar SR . Platform for controlling and getting data from network connected drones in indoor environments. *J Future Gen Comput Syst*, 2016, 92:656–662.
- Pounds, P. Mahony R. and Corke. P. Small-Scale Aeroelastic Rotor Simulation, De-sign and Fabrication. In *Proc. of Australasian Confer-ence on Robotics and Automation*, Sydney, Australia,2005.
- Quadcopter Arena, The history of drones and quadcopters, 2018.
- Rahman, M. A. “Enabling drone communications with wimax technology,” in *Information, Intelligence, Systems and Applications, IISA 2014, The 5th International Conference on*. IEEE, 2014, pp. 323–328.
- Raptopoulos , A. Drone Delivery Is One Step Closer To Reality, NATIONAL, 2019.
- Romodanovsky -Lodyzhensky , I. UK, Bleathwood , 2018.
- Schmid K, Hirschmiller H, Dömel A et al .View planning for multi-view stereo 3D reconstruction using an autonomous multicopter. *J Intell Robot Syst*, 2012, 65:309.
- Sharma, R. Kamble, S. Gunasekaran. A. Big gis analytics framework for agriculture supply chains: A literature review identifying the current trends and future perspectives *Computers and Electronics in Agriculture*, 155 (2018), pp. 103-120.
- Shrit, O. Martin, S. Agha, K. Al and Pujolle, G. “A new approach to realize drone swarm using ad-hoc network,” in *2017 16th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net)*. IEEE, 2017.
- Siebert S, Teizer J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an unmanned aerial vehicle (UAV) system. *J Autom Constr* , 2014, 41:1–4.
- Somaraju R. and Trumppf, J. “Degrees of freedom of a communication channel: using dof singular values,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 56, no. 4, pp. 1560–1573, 2010.
- Stafford, Jesse (Spring 2014). "How a Quadcopter works | Clay Allen". University of Alaska, Fairbanks.

- Sudheesh, P. Mozaffari, M. Magarini, M. Saad, W. and Muthuchidambaranathan P., “Sum-rate analysis for high altitude platform (hap) drones with tethered balloon relay,” IEEE Communications Letters, vol. 22, no. 6, 2018.
- Šustek, M. Marčaník, M. Úředníček, Z. WSEAS Transactions on Power Systems. 12: 201-209, 2017.
- Šustek, M. Opluštil, M. Úředníček, Z. 6th International Masaryk Conference for Ph.D students and young researcher. 6: 2248-2254, 2015.
- Taylor, J. W.R., 2020. Unmanned aerial vehicle military aircraft.
- Tice, B. P. 1991. Unmanned aerial vehicles: The force multiplier of the 1990s. Airpower Journal, 5(1), 41-55.
- Uchida, N. Kimura, M. Ishida, T. Shibata, Y. and Shiratori, N. “Evaluation of wireless network communication by autonomous flight wireless nodes for resilient networks,” in Network-Based Information Systems (NBiS), 2014 17th International Conference on. IEEE, 2014, pp. 180–185.
- Uriah (2010-04-13). "Wyvern Quadrotor Helicopter", 2010.
- Vahidi V. and Saberinia, E. “A low complexity and bandwidth efficient procedure for ofdm data reconstruction in dsc 5g networks,” in Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), 2018 15th IEEE Annual. IEEE, 2018, pp. 1–4.
- Villbrandt J. (2010). The Quadrotor’s Coming of Age.
- Wang, X. Fu L., Zhang, Y. Gan, X. and Wang, X. “Vdnet: an infrastructure-less uav-assisted sparse vanet system with vehicle location prediction,” Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 16, no. 17, pp. 2991–3003, 2016.
- Whitehead B. and Bieniawski. S. Model Reference Adaptive Control of a Quadrotor UAV. In Guidance Navigation and Control Conference 2010, Toronto, Ontario, Canada, 2010. AIAA.
- Wu, T. Yang, P. Yan, Y. Rao, X. Li, P. and Xu, W. “Orsca: Optimal route selection and communication association for drones in wsns,” in 2017 Fifth International Conference on Advanced Cloud and Big Data (CBD). IEEE, 2017, pp. 420–424.
- Yoshikawa, K. Yamashita, S. Yamamoto, K. Nishio, T. and Morikura, M. “Resource allocation for 3d drone networks sharing spectrum bands,” in Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), 2017 IEEE 86th. IEEE, 2017, pp. 1–5.
- Zabihi R. and Vaughan, R. G. “Monopole and conformal pifa for small cylindrical groundplane mounting,” in Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2017 IEEE International Symposium on. IEEE, 2017, pp. 1487–1488.
- Zantalis, F., Koulouras, G., Karabetsos, S., & Kandris, D. (2019). A review of machine learning and IoT in smart transportation. Future Internet, 11(4), 94.
- Zeng, W. Xian, B. Diao, C. Yin, Q. Li, H. and Yang Y.. Nonlinear adaptive regulation control of a quadrotor unmanned aerial vehicle. In Control Applications (CCA), 2011 IEEE International Conference on, pages 133–138, 2011.