



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΕΡΟΠΛΑΝΟΥ ΚΑΘΕΤΗΣ ΑΠΟΓΕΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΔΡΑΓΚΙΝΗ ΜΙΧΑΗΛ 1465

Επιβλέπων :

ΑΣΗΜΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ/17 Ιουλ-24



HELLENIC DEMOCRACY
UNIVERSITY OF WESTERN MACEDONIA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL
& COMPUTER ENGINEERING

DESIGN AND CONSTRUCTION OF VERTICAL TAKEOFF AND LANDING AIRCRAFT

THESIS

DRAGKINIS MICHAIL 1465

SUPERVISOR:

ASIMOPOULOS NIKOLAOS

THESSALONIKI/17 Ιουλ-24



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο “ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΕΡΟΠΛΑΝΟΥ ΚΑΘΕΤΗΣ ΑΠΟΓΕΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ ” καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ. ΑΣΗΜΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. 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 τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) ΔΡΑΓΚΙΝΗΣ ΜΙΧΑΗΛ & ΑΣΗΜΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, 2024, ΚΟΖΑΝΗ

Copyright (C) _____, _____, _____

Υπογραφή Φοιτητή: _____

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη σχεδίαση, κατασκευή και αξιολόγηση ενός αεροσκάφους μινιατούρα, το οποίο κατασκευάστηκε με τη χρήση τρισδιάστατης εκτύπωσης και ελέγχεται μέσω προγραμματισμού σε γλώσσα Arduino.

Η χρήση τρισδιάστατης εκτύπωσης επιτρέπει την ακριβή κατασκευή σύνθετων εξαρτημάτων με υψηλή ακρίβεια και προσαρμοστικότητα. Παράλληλα, ο προγραμματισμός με Arduino προσφέρει δυνατότητες ευέλικτου και αποδοτικού ελέγχου των συστημάτων του αεροσκάφους επιτρέποντας την παραμετροποίηση όλων των μεταβλητών που συντελούν στην σταθεροποίηση και πτήση του αεροπλάνου.

Συγκεκριμένα, το αεροσκάφος μινιατούρα που κατασκευάστηκε είναι πιστή αντιγραφή του Osprey V-22 που αναπτύχθηκε για να καλύψει συγκεκριμένες στρατιωτικές ανάγκες, όπως: κάθετη απογείωση και προσγείωση (VTOL), μεταφορά προσωπικού και υλικών, ευελιξία και προσαρμοστικότητα καθιστώντας το ένα πολύτιμο εργαλείο για τις σύγχρονες στρατιωτικές επιχειρήσεις, συνδυάζοντας την ταχύτητα και την εμβέλεια ενός αεροσκάφους με την ευελιξία ενός ελικοπτέρου.

Μέσα από αυτή την εργασία, επιδιώκεται να αναδειχθούν οι προκλήσεις και οι δυνατότητες της κατασκευής αεροσκαφών μινιατούρων, καθώς και να προσφερθεί μια πρακτική προσέγγιση στον σχεδιασμό και τον έλεγχο τους.

Abstract

This thesis focuses on the design, construction, and evaluation of a miniature aircraft, which was built using 3D printing and is controlled through programming in Arduino.

The use of 3D printing allows for the precise construction of complex components with high accuracy and adaptability. At the same time, programming with Arduino provides flexible and efficient control capabilities for the aircraft's systems, enabling the customization of all variables that contribute to the stabilization and flight of the plane.

Specifically, the constructed miniature aircraft is a faithful replica of the Osprey V-22, developed to meet specific military needs such as Vertical Take-Off and Landing (VTOL), person and material transport, flexibility, and adaptability. This makes it a valuable tool for modern military operations, combining the speed and range of an airplane with the versatility of a helicopter.

Through this work, the challenges and potential of constructing miniature aircraft are highlighted, offering a practical approach to their design and control.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη στον καθηγητή μου κ. Ασημόπουλο Νικόλαο για την καθοδήγηση και την υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, νιώθω βαθιά ευγνωμοσύνη προς τον αδερφό μου, τους φίλους μου και την οικογένειά μου για την αδιάκοπη ενθάρρυνση και βοήθειά τους.

Δεν θα μπορούσα να είχα φτάσει ως εδώ χωρίς τη στήριξη και την αγάπη τους. Ευχαριστώ από καρδιάς όλους όσους με στήριξαν με οποιονδήποτε τρόπο στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.



Figure 1 Finished v-tol front face

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	9
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	11
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής	15
1.2 Οργάνωση του τόμου	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	16
2.1 Βασικές αρχές αεροδυναμικής	16
2.2 Ιστορία και εξέλιξη των μινιατούρων αεροσκαφών	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	18
3.1 Σχεδιαστική Φιλοσοφία και Προδιαγραφές	18
3.2 Ηλεκτρικοί Κινητήρες και Ηλεκτρονικά Μέρη	20
	23
3.3 Συνδεσμολογία Ηλεκτρονικών Εξαρτημάτων	24
3.4 Ανάλυση και Προσομοίωση	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	28
4.1 Εκτύπωση 3D	28
4.2 Συναρμολόγηση	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΛΟΠΟΤΗΣΗ	32
5.1 Προγραμματισμός της πλακέτας	32
5.2 Αλγόριθμοι και Ρουτίνες	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ	38
6.1 Πειραματικές Δοκιμές Πτήσης και Δυσκολίες	38
6.2 Αξιολόγηση Επιδόσεων	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΠΙΛΟΓΟΣ	40
7.1 Συμπεράσματα	40

7.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις	40
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	41
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	42
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ - ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ - ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	43



Figure 2 Finished v-tol side faced

Πρόλογος

Η αεροναυπηγική είναι ένας από τους τομείς της μηχανολογίας που παρουσιάζει συνεχή πρόοδο και καινοτομία, επηρεάζοντας σημαντικά διάφορους κλάδους της βιομηχανίας και της επιστήμης. Η κατασκευή αεροσκαφών, σε πραγματικό ή μινιατούρα μέγεθος, απαιτεί συνδυασμό τεχνογνωσίας από διάφορες ειδικότητες, όπως ο σχεδιασμός, η μηχανολογία, και η χρήση προηγμένων υλικών και τεχνολογιών. Οι μινιατούρες αεροπλάνων, αν και μικρότερης κλίμακας, αποτελούν σημαντικό εργαλείο στην κατανόηση της αεροδυναμικής και των κατασκευαστικών προκλήσεων που παρουσιάζουν τα κανονικού μεγέθους αεροσκάφη. Μέσα από τέτοια έργα, παρέχεται η δυνατότητα για την πρακτική εφαρμογή θεωρητικών γνώσεων, καθώς και για την ανάπτυξη και βελτίωση μεθόδων που μπορούν να αξιοποιηθούν σε πραγματικά αεροσκάφη.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Τα αεροπλάνα αποτελούν τη ραχοκοκαλιά των σύγχρονων μεταφορών, προσφέροντας ταχύτητα και ευκολία που ήταν αδιανόητες πριν από λίγες δεκαετίες. Από τη στιγμή που οι αδελφοί Ράιτ πραγματοποίησαν την πρώτη τους πτήση το 1903, η αεροπορική βιομηχανία έχει γνωρίσει τεράστια ανάπτυξη, αλλάζοντας ριζικά τον τρόπο με τον οποίο κινούνται άνθρωποι και αγαθά σε όλο τον κόσμο. Οι αεροπορικές μεταφορές έχουν διευκολύνει την παγκοσμιοποίηση, ενισχύοντας την οικονομική ανάπτυξη και την πολιτιστική ανταλλαγή. Τα αεροδρόμια έχουν γίνει κεντρικοί κόμβοι των διεθνών δικτύων, συνδέοντας απομακρυσμένες περιοχές και μειώνοντας τις αποστάσεις μεταξύ των χωρών. Επιπλέον, η αεροπορία διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, προσφέροντας ανθρωπιστική βοήθεια και διευκολύνοντας τις επιχειρήσεις διάσωσης. Στην εποχή μας, τα αεροπλάνα είναι αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής ζωής, συνεισφέροντας στη βελτίωση της ποιότητας ζωής και της ευημερίας των ανθρώπων παγκοσμίως. (Wikipedia.org 2017)

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα σχεδιάσουμε και θα κατασκευάσουμε μια μινιατούρα αεροπλάνου, εξετάζοντας κάθε στάδιο της διαδικασίας από τον αρχικό σχεδιασμό μέχρι την τελική συναρμολόγηση. Συγκεκριμένα, θα περιγράψουμε αναλυτικά τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε καθώς και τη διασύνδεση μεταξύ των επιμέρους τμημάτων του. Θα αναλυθούν τα υλικά και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και οι μέθοδοι κατασκευής που εφαρμόστηκαν. Επιπλέον, θα παρουσιαστούν οι προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του έργου και οι λύσεις που υιοθετήθηκαν για την επίλυσή τους. Στόχος της εργασίας είναι να αποδείξει την αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού και της κατασκευής της μινιατούρας αεροπλάνου, καθώς και να προσφέρει πολύτιμες γνώσεις και εμπειρίες για μελλοντικά παρόμοια έργα.

1.2 Οργάνωση του τόμου

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα αναφέρουμε χωρίζοντας σε κεφάλαια την πορεία υλοποίησης της ,από το αρχικό στάδιο μέχρι την κατασκευή της. Αναλυτικότερα στο θεωρητικό υπόβαθρο, αναλύονται οι βασικές αρχές της αεροδυναμικής που διέπουν την πτήση ενός αεροσκάφους, παρέχοντας ένα πλαίσιο για την κατανόηση των δυνάμεων που ασκούνται κατά την πτήση. Στη συνέχεια, η εργασία προχωρά στη φάση του σχεδιασμού, όπου αναλύεται η σχεδιαστική φιλοσοφία και οι αρχικές προδιαγραφές που ελήφθησαν υπόψη. Στο κομμάτι της κατασκευής, η εργασία περιγράφει τη διαδικασία εκτύπωσης 3D για την κατασκευή των επιμέρους εξαρτημάτων του αεροπλάνου, αναφέροντας τον τρόπο καθώς και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν. Ένα κρίσιμο στάδιο της εργασίας είναι ο προγραμματισμός της πλακέτας Arduino, όπου παρουσιάζεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την καθοδήγηση των πτητικών λειτουργιών του αεροσκάφους. Ακολουθούν οι πειραματικές δοκιμές πτήσης, όπου καταγράφεται η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα των δοκιμών. Η βιβλιογραφία στο τέλος περιέχει όλες τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό υπόβαθρο

Η κατασκευή και μελέτη μινιατούρων αεροπλάνων αποτελεί έναν από τους πιο ενδιαφέροντες και απαιτητικούς τομείς της αεροναυπηγικής. Θα εστιάσουμε στις βασικές αρχές της αεροδυναμικής των μινιατούρων αεροπλάνων, καθώς αυτές οι γνώσεις είναι θεμελιώδεις για την επιτυχή κατασκευή και λειτουργία ενός μικρού αεροσκάφους. Αυτή η προσέγγιση θα μας επιτρέψει να κατανοήσουμε πώς οι μινιατούρες αεροπλάνων έχουν εξελιχθεί σε ένα απαραίτητο εργαλείο για την αεροναυπηγική και πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων και τεχνολογιών στο μέλλον.

2.1 Βασικές αρχές αεροδυναμικής

Η αεροδυναμική είναι η μελέτη του τρόπου αλληλεπίδρασης των αερίων με κινούμενα σώματα. Η κατανόηση της αεροδυναμικής είναι απαραίτητη για τους πιλότους, καθώς οι αρχές της αεροδυναμικής επηρεάζουν άμεσα την απόδοση, τη σταθερότητα και τον έλεγχο ενός αεροσκάφους. Κατανοώντας πώς οι αλλαγές στο ύψος, η ταχύτητα και ο σχεδιασμός μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση ενός αεροσκάφους, οι πιλότοι μπορούν να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις για να εξασφαλίσουν ασφαλείς και αποτελεσματικές πτήσεις. (ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ 2015)

Οι βασικές αρχές της αεροδυναμικής περιστρέφονται γύρω από τις δυνάμεις που επιδρούν σε ένα αεροσκάφος κατά την πτήση. Αυτές οι δυνάμεις περιλαμβάνουν ανύψωση, βαρύτητα, ώθηση και έλξη.

Η ανύψωση είναι η ανοδική δύναμη που εξουδετερώνει τη δύναμη της βαρύτητας και επιτρέπει σε ένα αεροσκάφος να ανέβει στον αέρα. Η δημιουργία ανύψωσης είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που περιλαμβάνει το σχήμα των φτερών του αεροσκάφους, τη γωνία με την οποία τα φτερά συναντούν τον επερχόμενο αέρα (γωνία επίθεσης) και την ταχύτητα και την πυκνότητα του αέρα. Η βαρύτητα είναι η δύναμη που έλκει το αεροσκάφος προς τη γη. Για να διατηρήσει την πτήση σε επίπεδο, ένα αεροσκάφος πρέπει να παράγει αρκετή ανύψωση για να εξουδετερώσει τη δύναμη της βαρύτητας. Η ώθηση

είναι η δύναμη που ωθεί το αεροσκάφος προς τα εμπρός μέσω του αέρα. Συνήθως παράγεται από κινητήρες, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε κινητήρες τζετ είτε έλικες. (ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ 2015)

2.2 Ιστορία και εξέλιξη των μινιατούρων αεροσκαφών

Η ιστορία των μινιατούρων αεροπλάνων είναι πλούσια και γεμάτη από καινοτομίες και εξελίξεις που έχουν συμβάλει σημαντικά στην αεροναυπηγική. Από τα πρώτα πειραματικά μοντέλα του 19ου αιώνα μέχρι τα σύγχρονα, προηγμένης τεχνολογίας μοντέλα, οι μινιατούρες αεροπλάνων έχουν χρησιμοποιηθεί ως βασικό εργαλείο για την κατανόηση και τη βελτίωση των πραγματικών αεροσκαφών.

Στα αρχικά στάδια, οι μινιατούρες αεροπλάνων ήταν κυρίως ερευνητικά εργαλεία που επέτρεπαν στους επιστήμονες και τους μηχανικούς να δοκιμάζουν και να κατανοούν τις αεροδυναμικές αρχές σε μικρή κλίμακα. Με την πάροδο του χρόνου, η τεχνολογία και τα υλικά βελτιώθηκαν, επιτρέποντας τη δημιουργία πιο ακριβών και λειτουργικών μοντέλων.

Οι τομείς σχεδιασμού ενός αεροπλάνου στην πράξη μπορούν να κατανεμηθούν στις εξής κατηγορίες: αεροδυναμικός σχεδιασμός, δομικός σχεδιασμός, αναλύσεις ευστάθειας του αεροσκάφους και σχεδιασμός ηλεκτρονικών συστημάτων. Όπως και για κάθε αεροσκάφος ο σχεδιασμός ενός αεροπλάνου ακολουθεί ένα πρότυπο 3 φάσεων. Οι φάσεις αυτές αποτελούνται από τον πρώιμο (conceptual design), τον προκαταρκτικό (preliminary design) και λεπτομερή (detailed design) σχεδιασμό. (Δημήτριος 2018)

Σήμερα, οι μινιατούρες αεροπλάνων χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο για εκπαιδευτικούς σκοπούς όσο και για προχωρημένες έρευνες. Ενσωματώνοντας σύγχρονες τεχνολογίες όπως οι μικροεπεξεργαστές και τα προηγμένα συστήματα τηλεμετρίας, τα σύγχρονα μινιατούρα αεροσκάφη παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες και δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση των πραγματικών αεροσκαφών.

Κεφάλαιο 3: Σχεδιασμός

Η σχεδίαση ενός αεροπλάνου, είτε πρόκειται για ένα πλήρους μεγέθους εμπορικό αεροσκάφος είτε για μια μικροσκοπική μινιατούρα, απαιτεί έναν συνδυασμό επιστημονικής γνώσης, μηχανικής ακρίβειας και καλλιτεχνικής ευαισθησίας. Κάθε αεροσκάφος σχεδιάζεται με στόχο τη βέλτιστη αεροδυναμική απόδοση, την ασφάλεια και τη λειτουργικότητα. Οι κινητήρες, το σώμα και ηλεκτρονικά μέρη πρέπει να λειτουργούν αρμονικά, εξασφαλίζοντας σταθερότητα με στόχο μια επιτυχημένη πτήση. Για να επιτευχθεί αυτό, είναι απαραίτητη η ισορροπία του αεροπλάνου. Η κατανομή του βάρους, η τοποθέτηση των κινητήρων και η επιλογή κατάλληλων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων είναι κρίσιμα στοιχεία που επηρεάζουν την πτητική συμπεριφορά. Οι μηχανισμοί ελέγχου, όπως τα γρανάζια και οι σερβοκινητήρες, πρέπει να είναι άρτια συντονισμένοι ώστε να επιτρέπουν ακριβείς και ομαλές κινήσεις. (Nelson 1998)



Figure 3 Design of the miniature aircraft

3.1 Σχεδιαστική Φιλοσοφία και Προδιαγραφές

Ο έλεγχος κατά τη διάρκεια της πτήσης είναι περιορισμένος επειδή αυτό το αεροσκάφος έχει μόνο δύο κινητήρες. Είναι σαν να προσπαθείς να ισορροπήσεις πάνω σε ένα σκαμπό με δύο πόδια. Έτσι, για να ελέγξει το αεροσκάφος τον άξονα βύθισης κατά την αιώρηση, πρέπει να κινεί αυτούς τους κινητήρες μπρος-πίσω. Αυτό λειτουργεί δημιουργώντας μια απόκλιση μεταξύ της γραμμής ώσης και του κέντρου μάζας, προκαλώντας την περιστροφή του αεροσκάφους. Όσο πιο γρήγορα μπορεί να περιστραφεί αυτός ο κινητήρας, τόσο πιο άμεση θα είναι η απόκριση στον άξονα βύθισης και, επομένως, την που ελέγχεται από το γυροσκόπιο, το αεροσκάφος θα είναι πιο σταθερό.

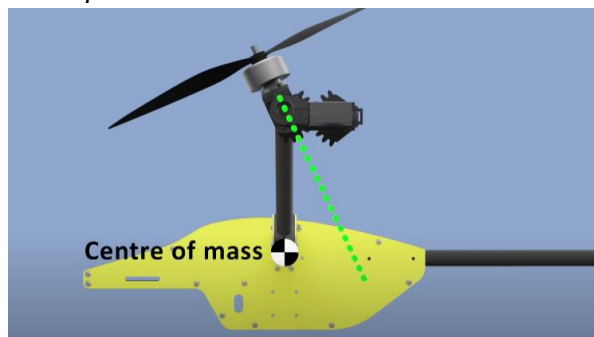


Figure 4 Rotate between the center of mass

Έτσι, αυτός ο μηχανισμός κλίσης είναι σχεδιασμένος να είναι όσο το δυνατόν πιο ελαφρύς, με το σερβομηχανισμό στερεωμένο στο τμήμα της πτέρυγας για να μειωθεί η μάζα του περιστρεφόμενου τμήματος, ελπίζοντας να γίνει όσο το δυνατόν πιο άμεση η απόκριση του μηχανισμού.

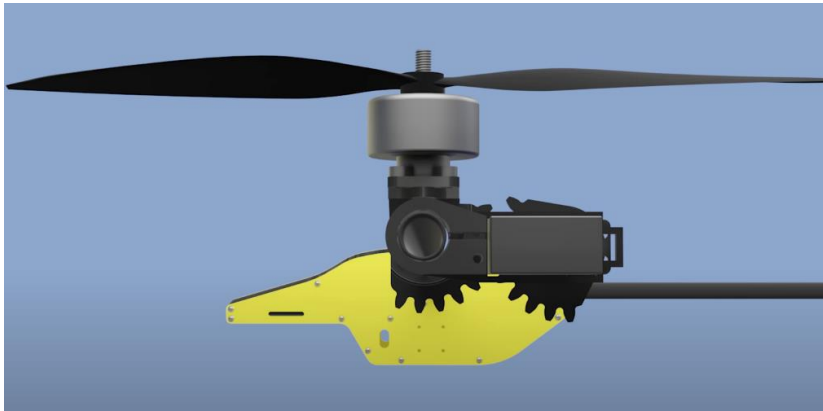


Figure 5 Rotation mechanism combined with gears

Τύπωσα σε 3D όλα τα εξαρτήματα του μηχανισμού κλίσης και κόλλησα μαζί μερικά από τα μέρη που δεν μπορούσαν να τυπωθούν ως ένα κομμάτι. Στη συνέχεια, ο κινητήρας μπορεί να στερεωθεί στη θέση του, όπως και ο σερβομηχανισμός στον οποίο μπορώ να προσαρμόσω έναν μεγάλο γρανάξι εκτυπωμένο σε 3D εκτυπωτή για τον έλεγχο της κλίσης. Αυτά τα δύο τμήματα στη συνέχεια κουμπώνουν μαζί και μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στον άξονα της πτέρυγας, σφίγγοντας το τμήμα της βάσης του σερβομηχανισμού με έναν κοχλία για να μην στρίβει. Και έτσι έχουμε έναν ελαφρύ και απλό μηχανισμό κλίσης του κινητήρα και τον κινητήρα.

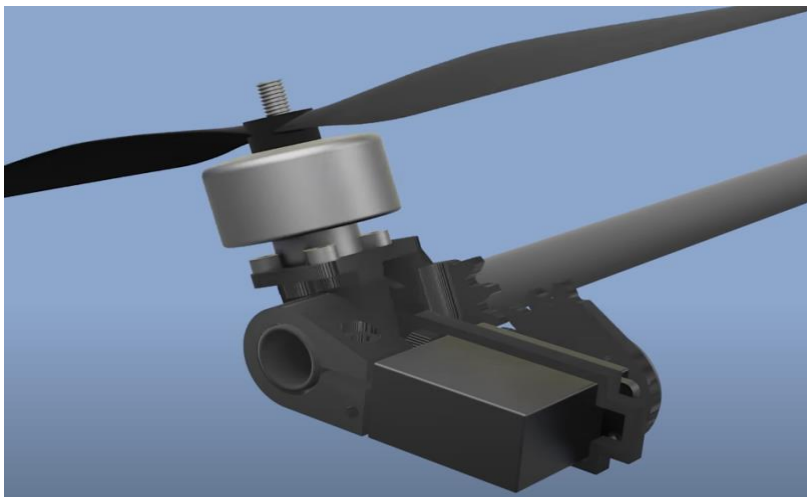


Figure 6 3D printed parts combined to assemble the rotating mechanism

Το μοντέλο που έχω σχεδιάσει έχει τα εξής σχεδιαστικά χαρακτηριστικά:

- Μήκος: 75 εκατοστά
- Ύψος: 11 εκατοστά
- Άνοιγμα φτερών: 60 εκατοστά
- Βάρος: 1,4 κιλά

Η άτρακτος είναι κατασκευασμένη από PLA (πλαστικό πολυλακτικό οξύ), ένα υλικό κατάλληλο για το αεροπλάνο λόγω της ελαφρότητας του

Τα φτερά είναι ενισχυμένα με αλουμινένιους σωλήνες, προσφέροντας ελαφρότητα και αντοχή.

Η κατασκευή έχει σχεδιαστεί με προδιαγραφές για χαμηλές ταχύτητες πτήσης, κάτι που καθιστά το μοντέλο ιδανικό για δοκιμές και πτήσεις σε μικρές αποστάσεις ή για ελιγμούς σε χαμηλότερες ταχύτητες.

3.2 Ηλεκτρικοί Κινητήρες και Ηλεκτρονικά Μέρη

Η επιλογή και εγκατάσταση των κινητήρων και των ηλεκτρονικών είναι καίριας σημασίας για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης και ασφάλειας ενός ηλεκτροκίνητου συστήματος.

- Ειδικότερα για την κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν 6 μπαταρίες Molicel INR-21700-P45B. Οι μπαταρίες αυτές παρέχουν την απαραίτητη ισχύ για τους κινητήρες και τα ηλεκτρονικά, διασφαλίζοντας την απαιτούμενη διάρκεια πτήσης και την απόδοση του drone. Η χωρητικότητα τους είναι 4500 mAh 16.2 Wh. Οι μπαταρίες συνδέονται μεταξύ τους με σειριακή συνδεσμολογία επειδή η συνολική τάση του συστήματος αυξάνεται, αλλά το συνολικό ρεύμα παραμένει το ίδιο με το ρεύμα μίας μπαταρίας.



Figure 7 Single cell of Molicel P45B



Figure 8 Battery pack connecting 6 single cell batteries

CELL CHARACTERISTICS

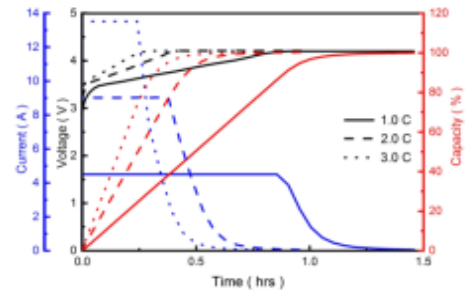
Capacity	Typical	4500 mAh 16.2 Wh
	Minimum	4300 mAh 15.5 Wh
Cell Voltage	Nominal	3.6 V
	Charge	4.2 V
	Discharge	2.5 V
Charge Current	Standard	4.5 A
	Maximum	13.5 A (70°C cut-off)
Charge Time	Standard	1.5 hr
Discharge Current	Continuous	45 A (80°C cut-off)
Temperature	Charge	0°C to 60°C
	Discharge	-40°C to 60°C
Energy Density	Volumetric	643 Wh/l
	Gravimetric	242 Wh/kg
Typical Impedance	AC (30%SOC)	7 mΩ
	DC (50%SOC)	15 mΩ

PHYSICAL CHARACTERISTICS

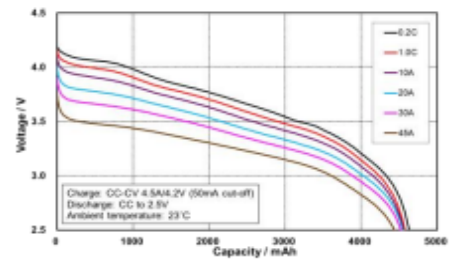


Shape	Cylindrical
Can	Steel
Diameter	21.55 mm (Max)
Height	70.15 mm (Max)
Weight	70 g (Max)

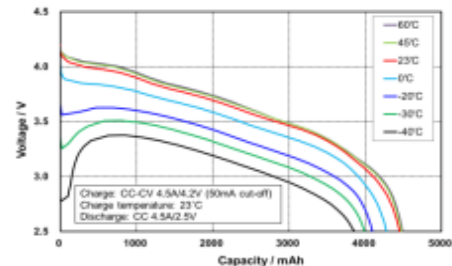
Charge Characteristics



Discharge Rate Characteristics



Discharge Temperature Characteristics



Cycle Characteristics

Figure 9 Molicel P45B data sheet

- Οι κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι Emax ECO II Series 2807 3-6S 1300KV Brushless Motor for RC Drone FPV Racing. Αυτοί οι κινητήρες είναι κατάλληλοι για racing drones, προσφέροντας υψηλή απόδοση και ταχύτητα.



Figure 11 Brushless motor
Emax Eco

ECOII 2807 1300KV

Motor type	The voltage (V)	Propeller	current (A)	thrust (g)	power (W)	efficiency (g/W)	speed (RPM)
ECOII-2807-1300KV	25.2	Gemfan7042 2-blade propeller	2.2	300	55.44	5.41	8440
	25.2		4	500	100.80	4.96	10550
	25.2		5.4	700	136.08	5.14	12370
	25.2		9.3	900	234.36	3.84	13960
	25.2		12.4	1100	312.48	3.52	15360
	25.2		47.9	2190	1207.08	1.81	Max

Figure 10 Emax Eco data sheet

- Το Ηλεκτρονικό Σύστημα Ελέγχου (ESC) που χρησιμοποιήθηκε είναι το BLHeli_32 3B 60A 4 IN 1 ESC. Το Κύριο Τσιπ Ελέγχου: AT32F421 με συχνότητα λειτουργίας έως 128MHz. Το ESC διαχειρίζεται την ισχύ που παρέχεται στον κινητήρα και επιτρέπει τον έλεγχο της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του κινητήρα.

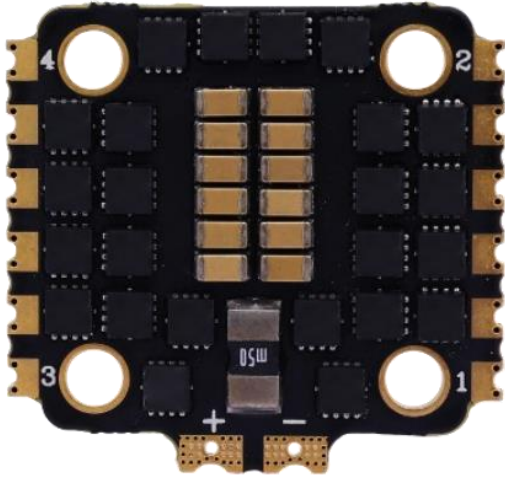


Figure 12 ESC BL_HELI

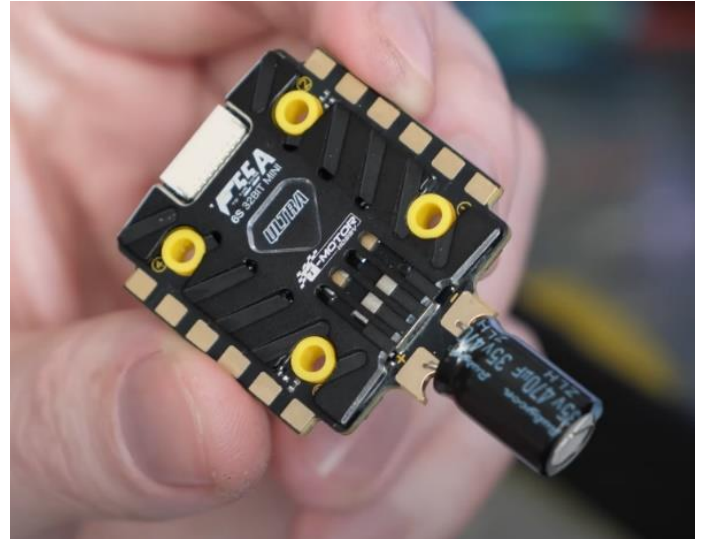


Figure 13 ESC BL_HELI with capacitor

- Χρησιμοποιήσαμε έναν προγραμματιζόμενο ελεγκτής για την πτήση. Η προγραμματιζόμενη πλακέτα στην οποία αναφέρεστε είναι η Teensy 4.0. Αυτή η πλακέτα χρησιμοποιείται συχνά για τον έλεγχο και τη σταθεροποίηση πτήσης, καθώς και για άλλες εφαρμογές που απαιτούν υψηλή επεξεργαστική ισχύ και ευελιξία.



Figure 14 Programmable board Teensy 4.0

- Παράλληλα , έγινε χρήση του Επιταχυνσιόμετρου & Γυροσκοπίου 3 Αξόνων IMU , το οποίο είναι ιδανικό για την παρακολούθηση της κίνησης και του προσανατολισμού. Συνδυάζοντας το με την Teensy 4.0, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα σύστημα που διαβάζει δεδομένα από το IMU και τα επεξεργάζεται για να ελέγχει έναν ελεγκτή πτήσης.

3.4 Ανάλυση και Προσομοίωση

Μπορεί να παρατηρήσετε ότι το αεροπλάνο δεν έχει επιφάνειες ελέγχου ή πηδάλια (flaps) και αυτό συμβαίνει επειδή προσπαθώ να ελέγξω το αεροσκάφος χρησιμοποιώντας μερικές διαφορετικές μεθόδους σταθεροποίησης. Ας δούμε λοιπόν πώς αυτό το αεροσκάφος θα ελέγχει τον εαυτό του τόσο κατά την αιώρηση όσο και κατά την προωθημένη πτήση, ξεκινώντας από τον άξονα βύθισης.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο έλεγχος του άξονα βύθισης κατά την αιώρηση λειτουργεί με την περιστροφή από τους κινητήρες μπρος-πίσω, και αυτό δούλεψε καλά από τις αρχικές δοκιμαστικές πτήσεις.

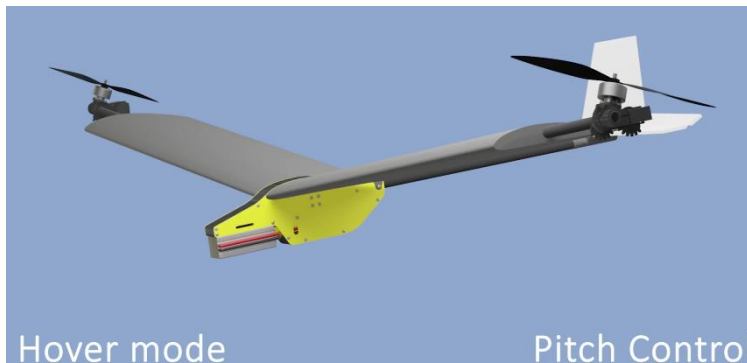


Figure 18 Pitch control while in Hover mode

Για τον έλεγχο της κλίσης, οι κινητήρες λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο όπως θα έκαναν σε ένα συμβατικό drone, όπου ο ένας επιταχύνει και ο άλλος επιβραδύνει, κάτι που είναι πολύ άμεσο χάρη στην τεχνολογία στους ελεγκτές κινητήρων drone.

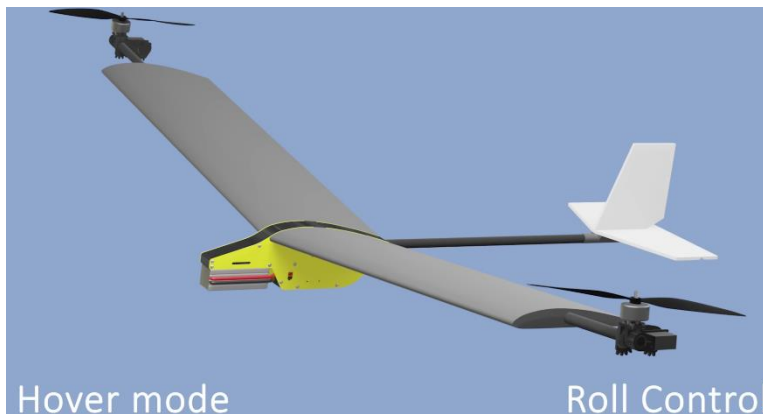


Figure 19 Roll control while in Hover mode

Για τον έλεγχο της διεύθυνσης, οι κλίσεις των κινητήρων χρησιμοποιούνται ξανά, αλλά αυτή τη φορά σε αντίθετες κατευθύνσεις, παράγοντας μια δύναμη προς τα εμπρός στη μία άκρη της πτέρυγας και μια δύναμη προς τα πίσω στην άλλη. Και όπως μπορείτε να φανταστείτε, ο συνδυασμός όλων αυτών των κινήσεων ταυτόχρονα είναι ο λόγος που απαιτείται ο ελεγκτής πτήσης.

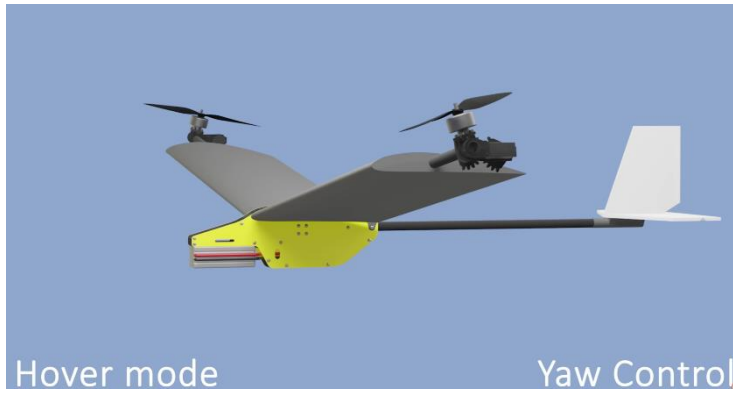


Figure 20 Yaw control while in Hover mode

Κατά τη μετάβαση στη λειτουργία πτήσης προς τα εμπρός (προωθημένη πτήση), οι κινήσεις ελέγχου σταδιακά αλλάζουν. Έτσι, για να κινηθεί το αεροσκάφος, οι κινητήρες είναι πλέον κλειδωμένοι στη θέση τους για να παράγουν μόνο ώθηση όπως θα έκανε σε ένα συμβατικό αεροπλάνο. Ωστόσο, σε αντίθεση με ένα συμβατικό αεροπλάνο, ο έλεγχος της κλίσης θα χρησιμοποιεί στην πραγματικότητα την κλίση των κινητήρων αντί για πηδάλια στις πτέρυγες. Αυτή είναι μια ασυνήθιστη μέθοδος ελέγχου της κλίσης ενός αεροσκάφους, αλλά θεωρητικά πρέπει να λειτουργεί και μπορεί να έχει κάποια πλεονεκτήματα, καθώς ο έλεγχος της κλίσης δεν σχετίζεται με τη ροή του επερχόμενου αέρα όπως θα ήταν αν είχε πηδάλια. Αυτό θα πρέπει να σημαίνει ότι το αεροσκάφος θα εξακολουθεί να έχει πλήρη έλεγχο της κλίσης του κατά τη διάρκεια μιας απώλειας στήριξης.

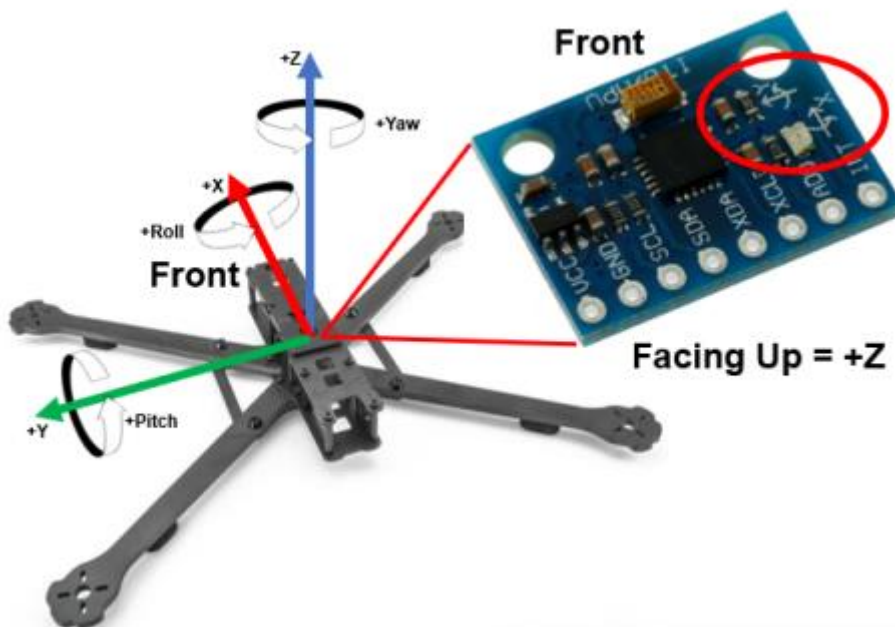


Figure 21 Mounting properly the IMU to the aircraft

Στη συνέχεια, για τον έλεγχο κατά την πτήση προς τα εμπρός, το αεροσκάφος θα χρησιμοποιεί διαφορετική ώθηση για να ωθεί το ένα άκρο της πτέρυγας προς τα εμπρός και το άλλο προς τα πίσω, καθώς δεν υπάρχει κινούμενη επιφάνεια ελέγχου.

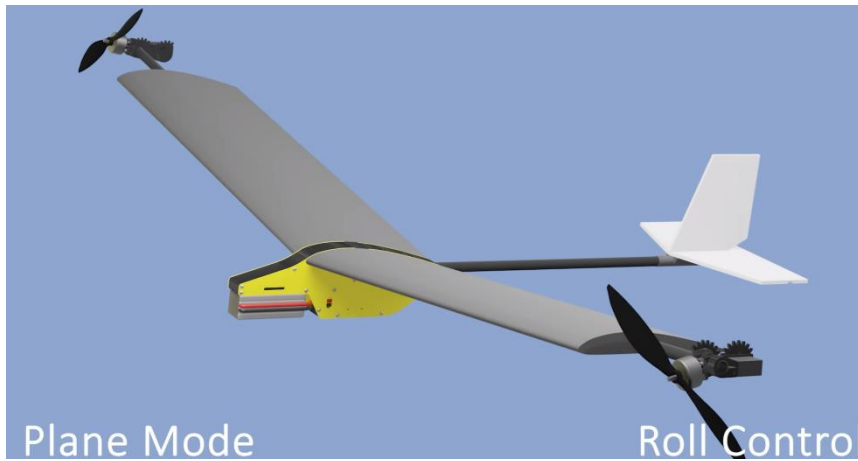


Figure 22 Roll control while in Plane mode

Αυτό σημαίνει ότι, θεωρητικά, μπορούμε να ελέγξουμε όλους τους άξονες του αεροσκάφους τόσο κατά την αιώρηση όσο και κατά την πτήση προς τα εμπρός με μόνο τέσσερα κινούμενα μέρη, συμπεριλαμβανομένων των κινητήρων, διατηρώντας το αεροσκάφος μηχανικά απλό και ελαφρύ.

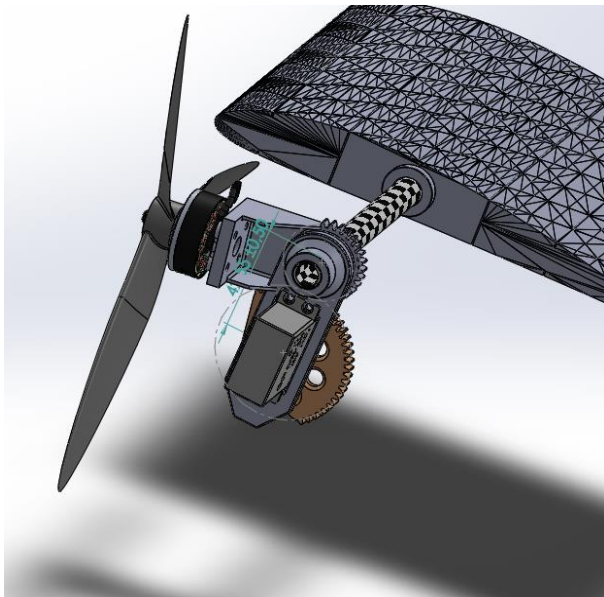


Figure 24 First design of tilting mechanism with gears

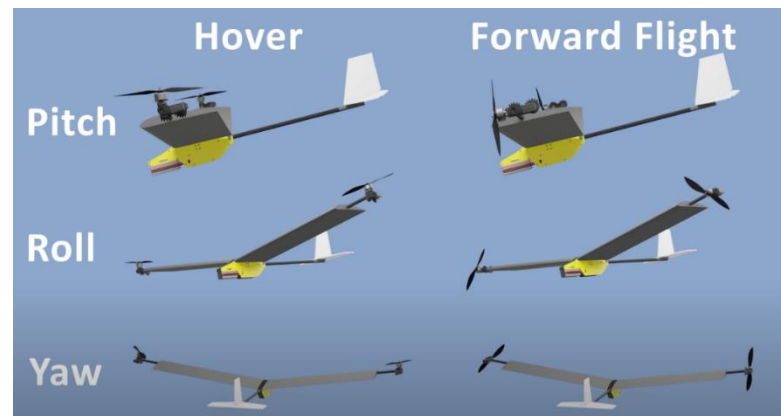


Figure 23 Pitch, Roll, Yaw while Hover and Forward flight

Κεφάλαιο 4: Κατασκευή

Η τεχνολογία 3D εκτύπωσης έχει φέρει επανάσταση στη διαδικασία κατασκευής μοντέλων και πρωτοτύπων, επιτρέποντας την υλοποίηση πολύπλοκων σχεδίων με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Η χρήση 3D εκτυπωμένων μερών στην κατασκευή ενός μινιατούρα αεροπλάνου προσφέρει πολυάριθμα οφέλη που ενισχύουν την ποιότητα και τη λειτουργικότητα του τελικού προϊόντος. Τα οφέλη της 3D εκτύπωσης καθιστούν δυνατή τη δημιουργία ενός μοντέλου που είναι όχι μόνο λειτουργικό αλλά και πρωτοποριακό.

4.1 Εκτύπωση 3D

Τα Οφέλη της 3D Εκτύπωσης στην Κατασκευή Μινιατούρα Αεροπλάνου είναι πολλαπλά :

- Η 3D εκτύπωση επιτρέπει την κατασκευή εξαρτημάτων με μεγάλη ακρίβεια και λεπτομέρεια. Οι σύνθετες γεωμετρίες και τα μικρά εξαρτήματα μπορούν να εκτυπωθούν με ακρίβεια χιλιοστού, εξασφαλίζοντας την άρτια συναρμολόγηση και την ακριβή λειτουργία του μινιατούρα αεροπλάνου.
- Η κατασκευή μερών με 3D εκτύπωση μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος και τον χρόνο παραγωγής. Δεν απαιτείται η χρήση δαπανηρών καλουπιών ή εργαλείων, ενώ η παραγωγή των μερών γίνεται ταχύτερα σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής.
- Τα 3D εκτυπωμένα μέρη μπορούν να σχεδιαστούν για να είναι ελαφρύτερα χωρίς να θυσιάζουν την αντοχή τους. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την αεροδυναμική απόδοση και τη συνολική ισορροπία του μινιατούρα αεροπλάνου.



Figure 25 3D printer Artillery

Για την κατασκευή του μινιατούρα αεροπλάνου, χρησιμοποιήθηκε ένας 3D εκτυπωτής Artillery Sidewinder X2, ο οποίος είναι γνωστός για την αξιοπιστία και την ακρίβεια του. Το υλικό εκτύπωσης είναι PLA. Το μοντέλο σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό Autodesk Fusion 360 όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το οποίο παρέχει ισχυρά εργαλεία για τη δημιουργία λεπτομερών και ακριβών τρισδιάστατων σχεδίων. Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού, τα αρχεία προετοιμάστηκαν για εκτύπωση χρησιμοποιώντας το PrusaSlicer.

Το PrusaSlicer είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται για την προετοιμασία τρισδιάστατων μοντέλων για εκτύπωση σε 3D εκτυπωτή. Λειτουργεί ως ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ του τρισδιάστατου σχεδιαστικού προγράμματος (όπως το Autodesk Fusion 360) και του 3D εκτυπωτή.

Το PrusaSlicer λαμβάνει τα τρισδιάστατα αρχεία σχεδιασμού (συνήθως σε μορφές AMF) και τα μετατρέπει σε G-code, το οποίο είναι η γλώσσα που καταλαβαίνει ο 3D εκτυπωτής για να εκτελέσει την εκτύπωση. Προσφέρει δυνατότητες ρύθμισης πολλών παραμέτρων εκτύπωσης, όπως το πάχος των στρώσεων, η ταχύτητα εκτύπωσης, η θερμοκρασία της μύτης και της πλατφόρμας, η πυκνότητα και το μοτίβο της υποστήριξης και της γέμισης.

Το λογισμικό μπορεί να δημιουργήσει αυτόματα ή χειροκίνητα υποστηρίξεις για τα τμήματα του μοντέλου που δεν μπορούν να εκτυπωθούν σωστά χωρίς στήριξη, διασφαλίζοντας έτσι ότι η εκτύπωση θα ολοκληρωθεί με επιτυχία.

Το PrusaSlicer προσφέρει προεπισκόπηση του πώς θα εκτυπωθεί το μοντέλο, επιτρέποντας στους χρήστες να δουν τις στρώσεις της εκτύπωσης και να κάνουν διορθώσεις πριν από την πραγματική εκτύπωση.

4.2 Συναρμολόγηση

Υλικά και Εξαρτήματα:

- Σώμα από σωλήνα αλουμινίου
- 3D εκτυπωμένα εξαρτήματα (ατράκτος, , γρναζια,)
- Δύο ηλεκτρικά μοτέρ
- Καλωδίωση για τα μοτέρ
- Προγραμματιζόμενη πλακέτα
- Δέκτης για χειριστήριο
- Μπαταρία
- Μικροεργαλεία (κατσαβίδι, βιδες κτλ.)



Figure 26 Assembling the motor in the servo mechanism

Βήμα 1: Προετοιμασία του Σώματος

Ξεκίνησα με τον σωλήνα αλουμινίου, ο οποίος θα αποτελέσει το κεντρικό σώμα του αεροπλάνου. Η επιλογή του αλουμινίου έγινε για να διασφαλιστεί η ελαφρότητα και η ανθεκτικότητα της κατασκευής.

Βήμα 2: Εκτύπωση των Εξαρτημάτων

Χρησιμοποίησα τον 3D εκτυπωτή για να δημιουργήσω τα εξαρτήματα που θα στερεωθούν στον σωλήνα αλουμινίου

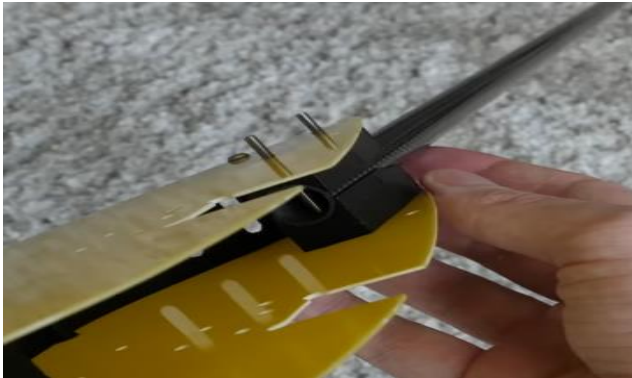


Figure 27 Connecting all the 3D printed parts to make the main body

Βήμα 3: Τοποθέτηση Μοτέρ

Στην άκρη κάθε φτερού τοποθέτησα από ένα ηλεκτρικό μοτέρ. Τα μοτέρ αυτά είναι υπεύθυνα για την κίνηση των φτερών και τη διασφάλιση της σταθερότητας κατά την πτήση.

Βήμα 4: Καλωδίωση

Πέρασα τα καλώδια των μοτέρ μέσα από τον σωλήνα αλουμινίου, ώστε να συνδεθούν με την προγραμματιζόμενη πλακέτα και τον δέκτη του χειριστηρίου. Η προσεκτική τοποθέτηση των καλωδίων μέσα στον σωλήνα βοηθά στη διατήρηση της αεροδυναμικής μορφής του αεροπλάνου και αποφεύγει τα εμπόδια.

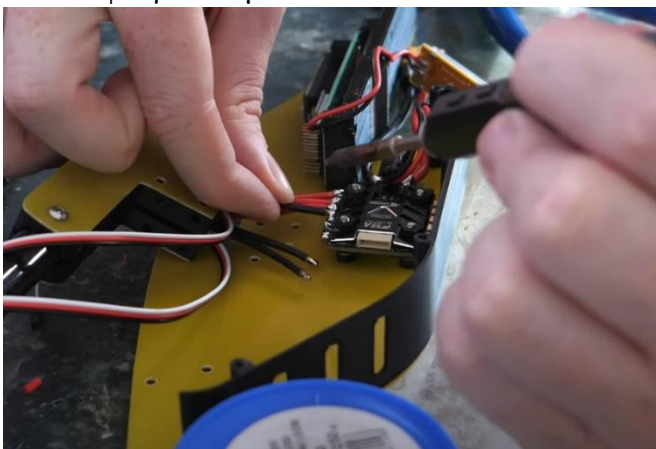


Figure 28 Soldering the designated pins together

Βήμα 5: Τοποθέτηση της Πλακέτας και του Δέκτη

Στερέωσα την προγραμματιζόμενη πλακέτα πάνω στο σώμα του αεροπλάνου, φροντίζοντας να έχει σταθερή τοποθέτηση για να αντέχει στις δονήσεις κατά την πτήση. Επίσης, συνέδεσα τις εξόδους του ESC στις εισόδους των κινητήρων, ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή για τις σωστές συνδέσεις.

Βήμα 6: Συναρμολόγηση της Άτρακτου

Η άτρακτος, η οποία εκτυπώθηκε με τον 3D εκτυπωτή, τοποθετήθηκε πάνω στο σωλήνα αλουμινίου και κολλήθηκε με ειδική κόλλα για πλαστικά και μέταλλα, εξασφαλίζοντας την ανθεκτικότητά της.

Βήμα 7: Τοποθέτηση Μπαταρίας

Τοποθέτησα την μπαταρία σε ειδικό θήκη πάνω στην άτρακτο, κοντά στην προγραμματιζόμενη πλακέτα, για να διασφαλιστεί η ομοιόμορφη κατανομή βάρους και η σταθερότητα.

Κεφάλαιο 5: Υλοποίηση

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το να παραμένει σταθερό το αεροπλάνο κατά την διάρκεια της πτήσης είναι εξαιρετικά σημαντικό. Όπως μπορείτε πιθανώς να φανταστείτε η ταχύτητα με την οποία πρέπει να λειτουργούν οι κινητήρες και οι μηχανισμοί κλίσης για να διατηρηθεί το αεροπλάνο σταθερό κατά τη διάρκεια μιας αιώρησης πρέπει να είναι αρκετά γρήγορη, έτσι με τον ίδιο τρόπο που το drone απαιτεί γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα για να υπολογίσει τις ταχύτητες του κινητήρα έτσι και το αεροπλανάκι τα χρειάζεται για την επίτευξη του ίδιου σκοπού. Αυτά τα εξαρτήματα είναι συσκευασμένα σε κάτι που ονομάζεται «ελεγκτής πτήσης» και παίρνει όλα τα δεδομένα από τους αισθητήρες και τα συνδυάζει με ένα σήμα ελέγχου για να υποδείξει στο drone να κινηθεί προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Δυστυχώς δεν υπάρχουν έτοιμες επιλογές για αυτόν τον τύπο αεροσκάφους κάθετης απογείωσης και προσγείωσης, οπότε θα χρειαστούμε κάτι πιο χειροποίητο.

5.1 Προγραμματισμός της πλακέτας

Τι ακριβώς κάνει ένας ελεγκτής πτήσης; Όποιος έχει κατασκευάσει ένα τηλεκατευθυνόμενο αεροσκάφος κατανοεί ότι ένας βασικός δέκτης στο όχημα χρησιμοποιείται για να δίνει εντολές στους κινητήρες και τα σέρβο, προκειμένου το αεροσκάφος να κάνει αυτό που θέλει ο πιλότος. Για κάτι που είναι παθητικά σταθερό, όπως ένα αεροπλάνο, αυτό είναι όλο που χρειάζεται για να πετάξει. Αλλά για κάτι ασταθές, όπως ένα αεροπλάνο με δύο κινούμενους έλικες, θα χρειαστούμε έναν ελεγκτή πτήσης. Ο ελεγκτής πτήσης παρεμβάλλεται ανάμεσα στον δέκτη και τους σερβοκινητήρες και εκτελεί κάποιον κώδικα για να σταθεροποιήσει τις εξόδους των σερβοκινητήρες.

Αυτό επιτρέπει στον πιλότο να δώσει εντολή για μια επιθυμητή γωνία ή ταχύτητα περιστροφής, και το όχημα θα εκτελέσει αυτή την εντολή.

Ας ρίξουμε λοιπόν μια γρήγορη ματιά στις διαδικασίες που απαιτούνται μέσα σε έναν βρόχο ελεγκτή πτήσης για να σταθεροποιηθεί ένα ασταθές όχημα.

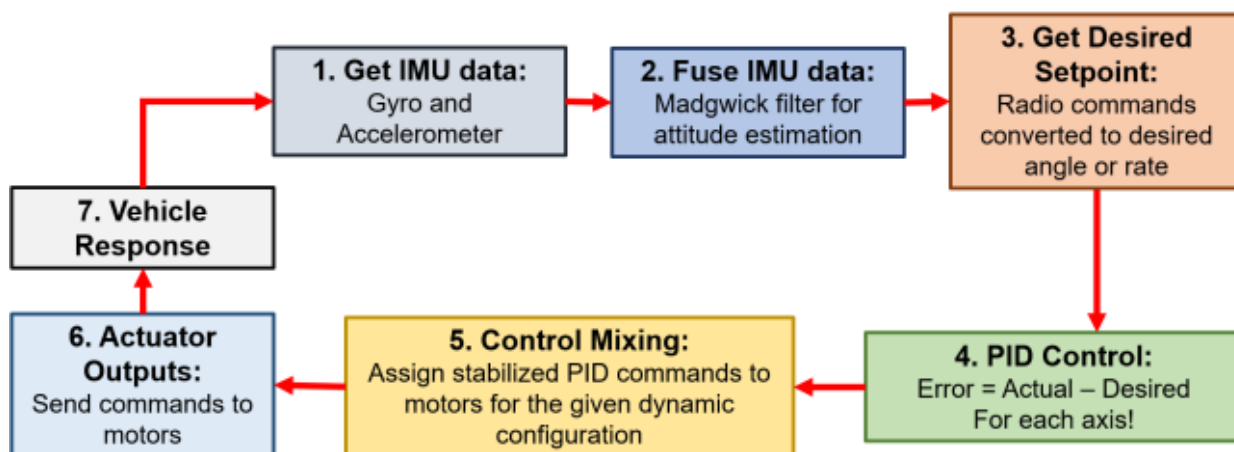


Figure 29: General overview of a flight control loop allowing stabilization of a small aerial vehicle.

Dreamflight VTOL: Το πρώτο πράγμα που πρέπει να συμβεί στον κώδικα είναι η ανάκτηση των δεδομένων από την IMU. Η IMU θα δώσει μετρήσεις των ρυθμών περιστροφής και επιτάχυνσης του οχήματος σε κάθε άξονα. Αυτά τα δεδομένα πρέπει να συνδυαστούν για να εκτιμηθεί με ακρίβεια ο απόλυτος προσανατολισμός ή οι γωνίες του σώματος στο χώρο.

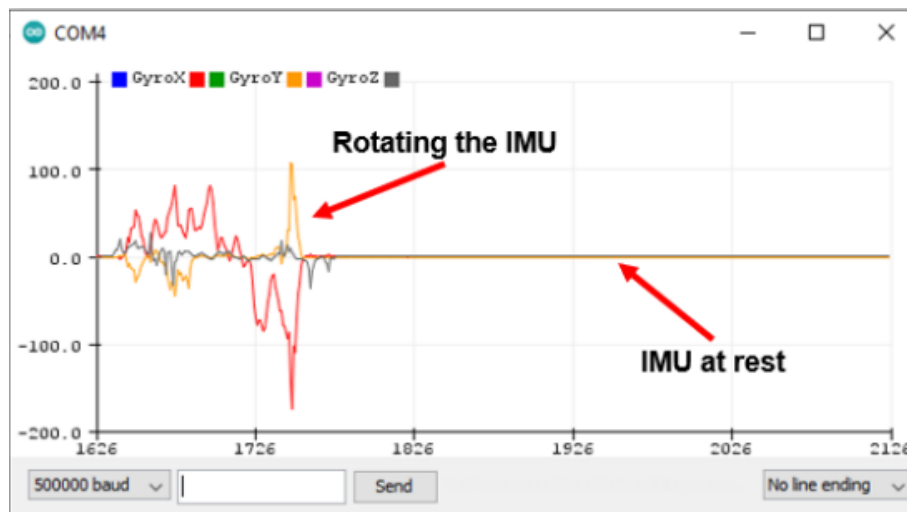


Figure 30: Arduino serial plotter showing proper IMU gyro data

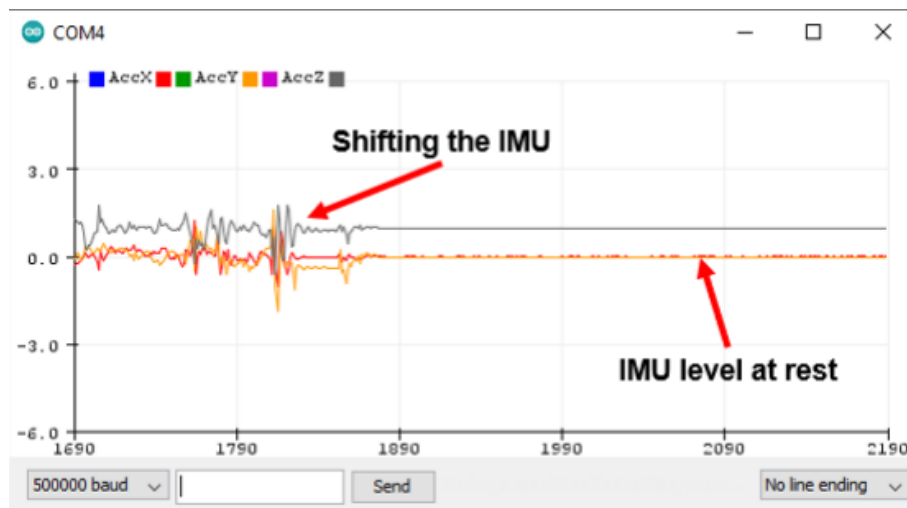


Figure 31 Arduino serial plotter showing proper IMU accelerometer data

Το Dreamflight χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο γνωστό ως φίλτρο Madgwick για να το πετύχει αυτό, παρέχοντας γωνίες κλίσης, ανύψωσης και περιστροφής στον ελεγκτή πτήσης ελαφρώς τροποποιημένες .

Το επόμενο βήμα είναι να ληφθεί το επιθυμητό σετ σημείου του οχήματος από τον δέκτη. Στον κώδικα, οι ακατέργαστες εντολές του δέκτη μετατρέπονται σε επιθυμητές γωνίες ή ταχύτητες περιστροφής για τους άξονες κλίσης, ανύψωσης και περιστροφής που θα θέλαμε να ακολουθήσει ο ελεγκτής πτήσης.

Στη συνέχεια, ένας ελεγκτής PID χρησιμοποιείται για να υπολογίσει μια σταθεροποιημένη έξοδο βάσει της μετρούμενης κατάστασης του ελεγκτή πτήσης και της επιθυμητής κατάστασης που παρέχεται από τον πιλότο. Μετά από αυτό, η σταθεροποιημένη έξοδος από τον ελεγκτή μπορεί να εκχωρηθεί στους σερβοκινητήρες.

Αυτή η διαδικασία αναφέρεται ως μίξη ελέγχου, όπου ένας κινητήρας ή ένα σέρβο ουσιαστικά καθοδηγείται πώς να αντιδράσει σε αλλαγές στον προσανατολισμό του οχήματος. Τέλος, αυτές οι εντολές αποστέλλονται στους ακροδέκτες εξόδου των ενεργοποιητών στον ελεγκτή πτήσης, οδηγώντας το όχημα να αντιδράσει. Επαναλαμβάνουμε αυτή τη διαδικασία πάνω από 2000 φορές το δευτερόλεπτο, δημιουργώντας έναν βρόχο ανάδρασης.

5.2 Αλγόριθμοι και Ρουτίνες

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το DreamFlight χρησιμοποιεί το περιβάλλον Arduino για να διευκολύνει την αλλαγή και την αποστολή κώδικα στον ελεγκτή πτήσης.

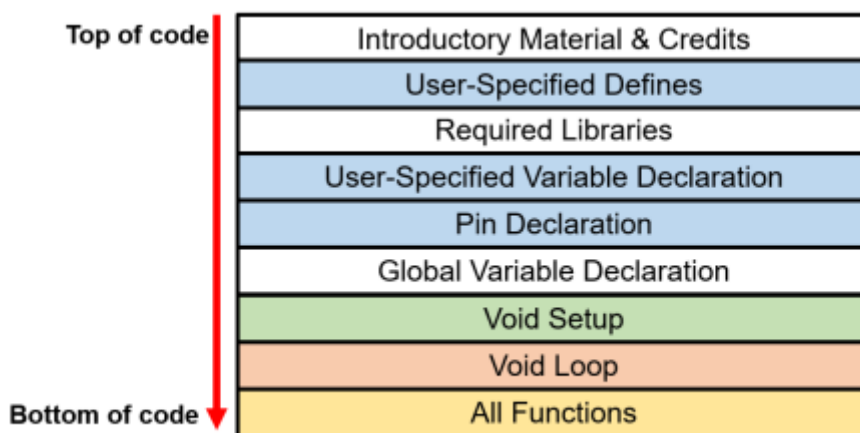


Figure 32: General contents in the main Arduino sketch

Στην αρχή του κώδικα υπάρχουν απλώς σχόλια και αναφορές, τα οποία δεν είναι πραγματικός κώδικας. Στη συνέχεια, υπάρχουν ορισμένες προκαθορισμένες εντολές (defines) που χρησιμοποιούνται για να καθορίσετε τον τύπο του δέκτη και της IMU που χρησιμοποιήθηκε.

Το επόμενο σημαντικό κομμάτι είναι η ενότητα δήλωσης μεταβλητών από τον χρήστη, όπου υπάρχουν πολλοί ρυθμιζόμενοι παράμετροι που αφορούν τα κέρδη του ελεγκτή. Μετά από αυτό, ορίζουμε όλες τις εισόδους και εξόδους των ακίδων για τον μικροελεγκτή στην ενότητα δήλωσης ακίδων. Στη συνέχεια, υπάρχει μια ενότητα για τη δήλωση των μεταβλητών, όπου δηλώνονται όλες οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στον κώδικα, πριν από τις ενότητες void setup και void loop του κώδικα.

Οι ενότητες «void setup» και «void loop» είναι όπου εκτελείται πραγματικά ο κώδικας. Στο τέλος, βρίσκονται όλες οι συναρτήσεις που καλούνται μέσα στις «void setup» και «void loop». Μια συνάρτηση μπορεί να θεωρηθεί ως ένα τμήμα κώδικα που, όταν καλείται, εκτελείται. Χρησιμοποιούνται για να χωρίσουν τον κώδικα σε μικρότερα, πιο συγκεκριμένα τμήματα.

Στην ενότητα των προκαθορισμένων ορισμών από τον χρήστη καθορίζεται ο τύπος του δέκτη και της IMU. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα να καθορίσουμε την ευαισθησία των μετρήσεων της

IMU. Οι μεταβλητές που ορίζονται από τον χρήστη είναι οι πιο σημαντικές για τη γενική ρύθμιση. Οι προεπιλεγμένες τιμές είναι συμβατές με το συγκεκριμένο αεροπλάνο.

VOID SETUP

Η συνάρτηση void setup του κώδικα εκτελείται μία φορά κατά την εκκίνηση και χρησιμοποιείται για τη σωστή επικοινωνία με τις ακίδες, τους αισθητήρες και το τηλεχειριστήριο. Επιπλέον, επιτρέπει την ενεργοποίηση ορισμένων χαρακτηριστικών ασφαλείας, όπως η λειτουργία failsafe, πριν από την ενεργοποίηση των ESCs σε προετοιμασία για τον «main loop» ελέγχου πτήσης.

Step	Function/Process	Description
1	Serial.begin()	Δημιουργία σειριακής σύνδεσης με τη θύρα USB του συστήματος
2	Initialize all pins	Οι ακίδες των κινητήρων και των σερβο ανατίθενται/συνδέονται στις καθορισμένες ακίδες από την ενότητα δήλωσης ακίδων
3	radioSetup()	Ενεργοποίηση επικοινωνίας με το τηλεχειριστήριο χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση radioComm
4	Failsafe setup	Ορισμός ασφαλών μεταβλητών σε προεπιλεγμένες τιμές πριν από την είσοδο στον κύριο βρόχο
5	IMUinit()	Ενεργοποίηση επικοινωνίας με το επιθυμητό IMU
6	calculate_IMU_error()	Απόκτηση σφάλματος από το γυροσκόπιο και επιταχυνσιόμετρο του IMU για εφαρμογή στο «main loop»
7	Arm servo/PWM channels	Γράψιμο χαμηλής τιμής σε σερβοκινητήρες χρησιμοποιώντας PWM
8	Arm OneShot125 channels	Γράψιμο χαμηλής τιμής στα ESCs χρησιμοποιώντας το OneShot125
9	calibrateAttitude()	Εύρεση τιμών IMU πριν από την είσοδο στο «main loop»

VOID LOOP (main loop)

Το τμήμα του κώδικα στη συνάρτηση void loop περιέχει τον κύριο κώδικα ελέγχου πτήσης, ο οποίος είναι χωρισμένος σε μερικές διαφορετικές συναρτήσεις. Αυτές οι συναρτήσεις καλούνται διαδοχικά σε κάθε βρόχο και η καθεμία εκτελεί μοναδικές εργασίες για την ολοκληρωμένη διαδικασία ελέγχου πτήσης.

Step	Function/Process	Description
1	Print Data	Πολλαπλές δηλώσεις εκτύπωσης που χρησιμοποιούνται για εντοπισμό σφαλμάτων· εκτυπώνει δεδομένα
2	getIMUdata()	Αποκτά δεδομένα από το γυροσκόπιο και το επιταχυνσιόμετρο της IMU και εφαρμόζει φίλτρα χαμηλής διέλευσης για να αφαιρέσει τον θόρυβο.
3	Madgwick()	Χρησιμοποιεί δεδομένα της IMU για να εκτιμήσει την συμπεριφορά του αεροπλάνου.
4	getDesState()	Μετατρέπει τις εντολές από το τηλεχειριστήριο σε τιμές βασισμένες σε όρια (μέγιστος ρυθμός ή μέγιστη γωνία στις μεταβλητές που ορίζονται από τον χρήστη).
5	Controller	Επιλογή controlANGLE() ελέγχου για την παραγωγή σταθεροποιημένων αξόνων βάσει της εκτιμώμενης γωνιακής ταχύτητας και της επιθυμητής κατάστασης. Οι συντελεστές ρυθμίζονται στις μεταβλητές που ορίζονται από τον χρήστη.
6	controlMixer()	Αναμιγνύει τις εξόδους των ελεγκτών PID σε κλιμακωτές εντολές για τους σερβοκινητήρες βάσει της δυναμικής διαμόρφωσης.
7	scaleCommands()	Κλιμακώνει τις εντολές των κινητήρων στο απαιτούμενο εύρος για εγγραφή στις καθορισμένες ακίδες.
8	throttleCut()	Ρυθμίζει άμεσα τις εντολές του κινητήρα σε χαμηλή/απενεργοποιημένη τιμή εάν είναι ενεργοποιημένη η λειτουργία αποκοπής του γκαζιού.
9	commandMotors(), Command servos	Στέλνει εντολές ESC στις ακίδες OneShot125 και εντολές στα σερβομηχανισμούς στις ακίδες PWM.
10	getCommands()	Αποκτά τις τρέχουσες εντολές του τηλεχειριστηρίου που θα χρησιμοποιηθούν στην επόμενη επανάληψη του βρόχου.
11	failsafe()	Ελέγχει εάν οι λαμβανόμενες εντολές του τηλεχειριστηρίου είναι έγκυρες και εφαρμόζει την κατάσταση ασφαλείας εάν δεν είναι.

12	loopRate()	Αναμονή στον κύριο βρόχο έως ότου επιτευχθεί η καθορισμένη συχνότητα βρόχου (2 kHz προεπιλογή)
----	------------	--

Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα και αξιολογηση

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, πραγματοποιήσαμε μια σειρά από δοκιμές για να αξιολογήσουμε την απόδοση του μινιατούρα αεροπλάνου. Τα αποτελέσματα στο τέλος των δοκιμών ήταν εντυπωσιακά και επιβεβαίωσαν τις αρχικές μας προσδοκίες. Βεβαία δεν έλειψαν και οι δυσκολίες που ήρθαμε αντιμέτωποι με αυτές.

6.1 Πειραματικές Δοκιμές Πτήσης και Δυσκολίες

Μερικά προβλήματα/δυσκολίες που εμφανίστηκαν σε όλη την διάρκεια αυτής της διπλωματικής αποτελούν τα εξής :

- Στο αρχικό στάδιο της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε μεγάλη ποσότητα πλαστικού εκτύπωσης PLA έχοντας σαν αποτέλεσμα να αυξηθεί το βάρος του αεροσκάφους και αυτό να δυσκολεύει καθ' όλη την διάρκεια της πτήσης. Ένα πολύ ελαφρύ σκάφος μπορεί να είναι ευάλωτο σε ζημιές, ενώ ένα πολύ βαρύ μπορεί να δυσκολεύεται να απογειωθεί.
- Ο σχεδιασμός και η ρύθμιση του συστήματος ελέγχου πτήσης για σταθερότητα είναι εξαιρετικά απαιτητικός καθώς απαιτεί μεγάλο συντονισμό των οργάνων. Υπήρξαν πολλές φορές που η μέτρηση της επιθυμητής θέσης ισορροπίας αναγνωρίζονταν λάθος οδηγώντας το αεροπλάνο σε πτήσης με μεγάλη αστάθεια.
- Ειδικά σε μικρές κατασκευές, η εύρεση κινητήρων και ηλεκτρονικών που να είναι αξιόπιστα και να αντέχουν τις απαιτήσεις της πτήσης μπορεί να είναι μεγάλη πρόκληση. Λόγο ελλατωματικών ανταλλακτικών σε δύο περιπτώσεις ,μια του ενός κινητήρα που σταμάτησε να λειτουργεί έπειτα από μια μέρα χρήσης και μίας μονάδας IMU που κατέγραφε εσφαλμένες μετρήσεις αναγκάστηκα να ξανά παραγγείλω τα συγκεκριμένα ανταλλακτικά κοστίζοντας πολύτιμο χρόνο και χρήμα.
- Έπειτα ένα ακόμα πρόβλημα που αντιμετώπισα ήταν στην εκτύπωση των 3D εκτυπωμένων μερών που ήθελαν πραγματική ακρίβεια τόσο του εκτυπωτή στην ρύθμιση τόσο και στην σχεδίαση του εξαρτήματος. Δεν είχα ξανά ασχοληθεί με τη συγκεκριμένη εκτύπωση και έγιναν πολλά λάθη και εκτυπώθηκαν πολλά ακατάλληλα σχέδια

Αντιμετωπίζοντας τις παραπάνω δυσκολίες θα μπορέσουμε να περάσουμε στις δοκιμαστικές πτήσεις

6.2 Αξιολόγηση Επιδόσεων

Μετά την ολοκλήρωση των δοκιμαστικών πτήσεων του αεροπλάνου μινιατούρα κάθετης απογείωσης και προσγείωσης, η αξιολόγηση των επιδόσεων ήταν θετική. Το αεροπλάνο ανταποκρίθηκε στις προδιαγραφές που είχαν τεθεί κατά τη σχεδίαση.

Σταθερότητα Πτήσης: Η αεροδυναμική σχεδίαση και η ισορροπημένη κατανομή βάρους του αεροπλάνου συνέβαλαν στη σταθερή πτήση του. Οι δοκιμές έδειξαν ότι το αεροπλάνο μπορεί να διατηρεί σταθερή πορεία χωρίς να επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως άνεμος ή αναταράξεις.

Ευελιξία και Κινητικότητα: Τα ηλεκτρικά μοτέρ στις άκρες των φτερών προσέφεραν άριστη κινητικότητα και ευελιξία. Το αεροπλάνο ανταποκρινόταν άμεσα στις εντολές του χειριστηρίου, επιτρέποντας ακριβείς και γρήγορες αλλαγές πορείας.

Αντοχή και Αξιοπιστία: Η χρήση αλουμινίου για το κεντρικό σώμα και η 3D εκτυπωμένη άτρακτος εξασφάλισαν την αντοχή της κατασκευής σε περίπτωση πτώσεων ή συγκρούσεων. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, το αεροπλάνο παρέμεινε άθικτο παρά τις επανειλημμένες προσγειώσεις και απογειώσεις.

Διάρκεια Πτήσης: Η ενεργειακή απόδοση των μοτέρ και η σωστή επιλογή μπαταρίας εξασφάλισαν μεγάλη διάρκεια πτήσης. Η μπαταρία άντεξε παρατεταμένη χρήση, επιτρέποντας δοκιμές μεγάλης διάρκειας χωρίς την ανάγκη για συχνή επαναφόρτιση.

Ακρίβεια Προγραμματισμού: Η προγραμματιζόμενη πλακέτα και ο δέκτης λειτούργησαν άψογα, παρέχοντας ακριβή έλεγχο όλων των λειτουργιών του αεροπλάνου. Η δυνατότητα προγραμματισμού προσέφερε ευελιξία στον πιλότο να προσαρμόσει τις παραμέτρους πτήσης ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες.

Κεφάλαιο 7: Επίλογος

Η κατασκευή και οι δοκιμές ενός μινιατούρα αεροπλάνου αποτέλεσαν μια πολύπλευρη πρόκληση, συνδυάζοντας θεωρητικές γνώσεις αεροδυναμικής, μηχανικής καθώς και χρήσης των κατάλληλων ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων.

7.1 Συμπεράσματα

Από την κατασκευή του μινιατούρα αεροπλάνου μάθαμε ότι η διαδικασία απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, ακριβή επιλογή υλικών και λεπτομέρεια στη συναρμολόγηση. Ανακαλύψαμε με ποιον τρόπο μπορεί ένα αεροπλάνο μινιατούρα να έχει σταθερότητα στην πτήση και πως μπορούμε να κάνουμε ένα σύνολο από μηχανικά και ηλεκτρολογικά μέρη να λειτουργούν αρμονικά. Συνολικά, η εμπειρία μας δίδαξε πώς να αντιμετωπίζουμε τεχνικές προκλήσεις και μας έδωσε πολύτιμες γνώσεις για τη βελτιστοποίηση μελλοντικών σχεδίων.

7.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Φυσικά και θα είμαι μεροληπτικός και θα πω ότι πετάει όπως αναμένεται. Αυτό το αεροπλάνο όμως έχει και τα μειονεκτήματά , όπως η έλλειψη πτερυγίων που καθιστά δύσκολη την επιβράδυνση όταν μεταβαίνει ξανά σε αιώρηση.

Η εκτεθειμένη μπαταρία που κρέμεται μπροστά ίσως δεν είναι η καλύτερη ιδέα σε περίπτωση σύγκρουσης. Έτσι, μπορεί στο μέλλον να κατασκευάσω ένα αεροδυναμικό κέλυφος γύρω από αυτήν. Επίσης, μπορεί να φαίνεται κακή ιδέα να υπάρχει μόνο μία κινούμενη επιφάνεια ελέγχου στο ύψος, καθώς σε περίπτωση βλάβης του κινητήρα το αεροπλάνο δεν θα μπορεί να στρίψει. Αλλά για να είμαι ειλικρινής, αν ο κινητήρας έπαυε να λειτουργεί κατά τη διάρκεια αιώρησης, το αεροπλάνο θα συντριβόταν ούτως ή άλλως, καθώς το συγκεκριμένο αεροπλάνο εξαρτάται εντελώς από τους κινητήρες τους.

Επίσης, επειδή κατασκευάστηκε από έναν αλουμινένιο σωλήνα, έχει αρκετό βάρος σε σύγκριση με έναν από ανθρακονήματα. Για να μειώσω το βάρος του αεροπλάνου, σκέφτομαι να αντικαταστήσω τον υπάρχοντα αλουμινένιο σωλήνα με έναν κατασκευασμένο από ανθρακονήματα. Η χρήση ανθρακονημάτων θα επιτρέψει την επίτευξη σημαντικής μείωσης του συνολικού βάρους της κατασκευής, καθώς είναι ένα υλικό πολύ ελαφρύτερο και ταυτόχρονα ανθεκτικό. Αυτό θα βελτιώσει την απόδοση και την αποδοτικότητα του αεροπλάνου, μειώνοντας παράλληλα την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και αυξάνοντας την εμβέλεια και την ταχύτητά του

Παραρτήματα

****Κώδικας Προγραμματισμού****: Ο πλήρης κώδικας που χρησιμοποιήθηκε βρίσκεται στον παρακάτω σύνδεσμο:

https://github.com/milliono/v22_vtol

Βιβλιογραφία

Αναφορά σε ιστοσελίδα:

Σε αυτό το έργο, χρησιμοποίησα κώδικα που είναι διαθέσιμος από το αποθετήριο dRehmFlight στο GitHub, το οποίο αναπτύχθηκε από τον χρήστη [nickrehm](#). Το έργο αυτό παρέχει ένα σύνολο εργαλείων και παραδειγμάτων για την ανάπτυξη αλγορίθμων ελέγχου για πτητικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την ανάπτυξη της παρούσας εφαρμογής/προγράμματος. <https://github.com/nickrehm/dRehmFlight>

Nelson, Dr. Robert C. *Flight Stability and Automatic Control*. Singapore, 1998.

Wikipedia.org. *Αεροπλάνο*. Ιανουάριος 2017.

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%80%CE%B%CE%AC%CE%BD%CE%BF>.

Δημήτριος, Μητρίδης. *Ανάπτυξη Εργαλείων Διαστασιολόγησης για τον Πρώιμο Σχεδιασμό και την Εσωτερική Διαμόρφωση μη-επανδρωμένων BWB*. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2018.

ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ, ΒΑΣΙΛΗΣ. *Συστήματα ελέγχου αεροσκάφους*. ΑΘΗΝΑ: kallipos, 2015.

Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια

Vertical Take-Off and Landing	VTOL,
Electronic Speed Controller	ESC
Inertial Measurement Unit	IMU