

Ψηφιακή αεροστάθμη με την αναπτυξιακή πλατφόρμα Arduino

Στάθης Κασίρης

Εισαγωγή

Το αλφάδι ή με επιστημονικούς όρους η αεροστάθμη (spirit level) είναι ένα ειδικό τεχνικό όργανο με το οποίο ελέγχεται η οριζοντίωση ενός επιπέδου καθώς και η ακριβής κάθετη διάταξή του. Η αεροστάθμη αποτελείται από έναν γυάλινο ευθύ σωλήνα (tubular level) ή από μια γυάλινη κάψα (bull's eye level) δηλαδή από έναν γυάλινο σφαιρικό θάλαμο κομμένο στην μέση εντός του οποίου υπάρχει μια μικρή σχετικά φυσαλίδα αέρος ή μια ποσότητα μη αναμειγνυόμενου ρευστού. Στην περίπτωση του γυάλινου ευθύ σωλήνα αυτός τοποθετείται συνήθως μέσα σε έναν μεταλλικό κανόνα. Μάλιστα μέσα σε αυτόν τον μεταλλικό κανόνα τοποθετούνται τις περισσότερες φορές δυο ή τρεις τέτοιες αεροστάθμες σε διαφορετικές θέσεις και με διαφορετικό προσανατολισμό ως προς τον διαμήκη άξονα του κανόνα. Έτσι σε αυτές τις περιπτώσεις οι αεροστάθμες τοποθετούνται κάθετα ως προς τον κανόνα, παράλληλα ως προς τον κανόνα και σε γωνία 45 μοιρών ως προς αυτόν. Στην περίπτωση της γυάλινης κάψας αυτή προσαρμόζεται συνήθως μέσα σε μια πλαστική ή μεταλλική θήκη για την προστασία της.

Η αεροστάθμη εφευρέθηκε, στη σημερινή της μορφή, το 1660 ή το 1661 από τον Γάλλο συγγραφέα, φυσικό και χαρτογράφο Μ. Τεβενό (Melchisédech Thévenot) και χρησιμοποιείται ευρύτατα για αλφαδιασμούς τόσο σε οικοδομικές και άλλες τεχνικές δραστηριότητες όσο και ως φερόμενο εξάρτημα επιστημονικών, φωτογραφικών, κινηματογραφικών κ.λπ. συσκευών για την εξασφάλιση της απαιτούμενης οριζοντίωσής τους.

Στην παρούσα εργασία κατασκευάστηκε μια ψηφιακή αεροστάθμη για την τοποθέτηση ενός αντικειμένου πάνω σε ένα επίπεδο (επίπεδο αναφοράς) και υπό κλίση ως προς αυτό βρίσκοντας έτσι εφαρμογή σε πάρα πολλές χειρωνακτικές εργασίες.

Εργασία

Εξαρτήματα

Η ψηφιακή αεροστάθμη που κατασκευάστηκε στην παρούσα εργασία μπορεί να χωριστεί στο υποσύστημα που ευθύνεται για τη μέτρηση της γωνιακής ταχύτητας και της επιτάχυνσης αλλά και για την επεξεργασία αυτών των μετρήσεων με σκοπό τον υπολογισμό των τιμών της γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ της αεροστάθμης και του επιπέδου αναφοράς όταν η πρώτη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα Χ και γύρω από τον άξονα Υ και στο υποσύστημα που ευθύνεται για την απεικόνιση των παραπάνω τιμών σε μια οθόνη LCD προκειμένου ο χρήστης να έχει πρόσβαση σε αυτές. Φυσικά από τα παραπάνω υποσυστήματα δεν θα μπορούσε να λείπει και το υποσύστημα που ευθύνεται για την τροφοδοσία της ψηφιακής αεροστάθμης που όπως αναφέρεται και στην συνέχεια πρόκειται απλά για μια αλκαλική μπαταρία.

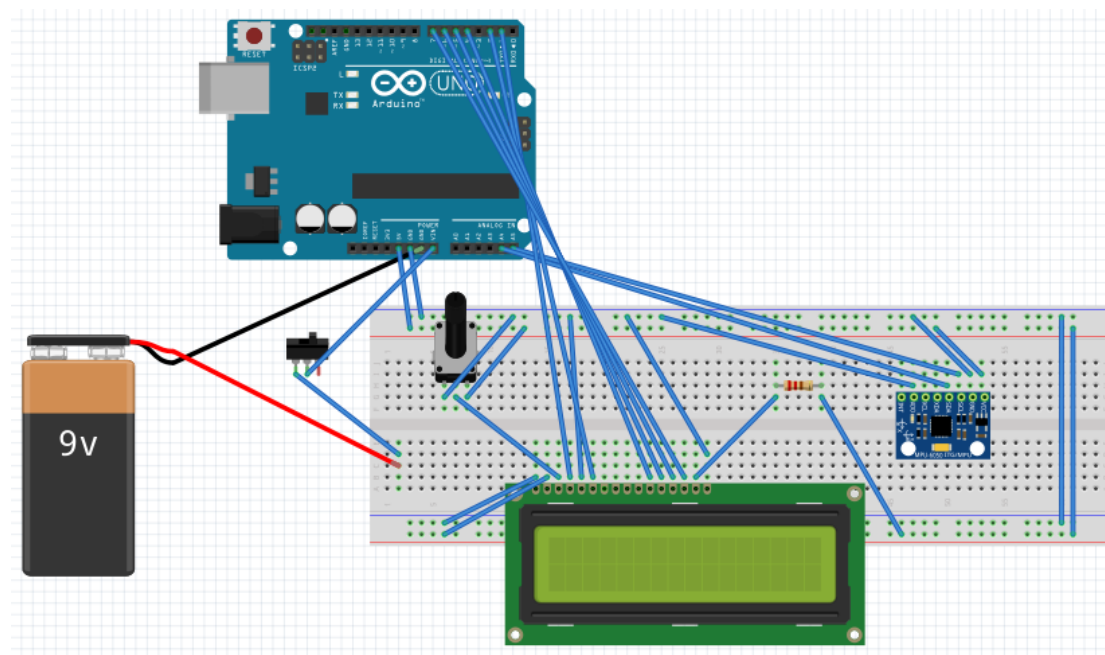
Έτσι για την κατασκευή της ψηφιακής αεροστάθμης χρησιμοποιήθηκε ένα γυροσκόπιο και ένα επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων, μια πλακέτα Arduino Uno Rev3, μια οθόνη LCD 16x2 και μια αλκαλική μπαταρία τάσης 9V. Για την ρύθμιση της αντίθεσης των χαρακτήρων που απεικονίζονται στην οθόνη LCD 16x2 με τον οπίσθιο φωτισμό της τελευταίας χρησιμοποιήθηκε ένα περιστροφικό ποτενσιόμετρο των 10kΩ ενώ για την προστασία του LED που παρέχει τον οπίσθιο φωτισμό της οθόνης χρησιμοποιήθηκε μια αντίσταση των 330Ω και ισχύος 1/4W. Για την ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση της ψηφιακής αεροστάθμης καθώς και για την τοποθέτηση της μπαταρίας τάσης 9V πάνω στην υπόλοιπη κατασκευή χρησιμοποιήθηκε μια θήκη με καλώδια και με διακόπτη ON-OFF.

Εκτός από τα παραπάνω ηλεκτρονικά εξαρτήματα χρησιμοποιήθηκε και μια θηλυκή πινοσειρά των 40pins, δυο αρσενικές πινοσειρές των 40pins, δυο διάτρητες πλακέτες δυο όψεων με διαστάσεις 60mm x 80mm x 1,6mm (μήκος x πλάτος x ύψος), πολύκλινα καλώδια συνολικής διατομής 22AWG σε διάφορα χρώματα (σε μαύρο, σε

κόκκινο, σε πράσινο και σε κίτρινο χρώμα), τέσσερις αποστάτες θηλυκό σε αρσενικό μήκους 20mm για βίδα M3, τέσσερις μηχανόβιδες M3 μήκους 10mm φρεζάτες, τέσσερις μηχανόβιδες M3 μήκους 6mm, τέσσερις αποστάτες θηλυκό σε θηλυκό μήκους 10mm για βίδα M3, οκτώ ροδέλες εξωτερικής διαμέτρου 7mm και πάχους 0,5mm για βίδα επίσης M3 και ένα εξάρτημα που δημιουργήθηκε με 3D εκτυπωτή.

Κύκλωμα

Το κύκλωμα της ψηφιακής αεροστάθμης υλοποιημένο στο πρόγραμμα Fritzing φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Κύκλωμα της ψηφιακής αεροστάθμης

Κατασκευή

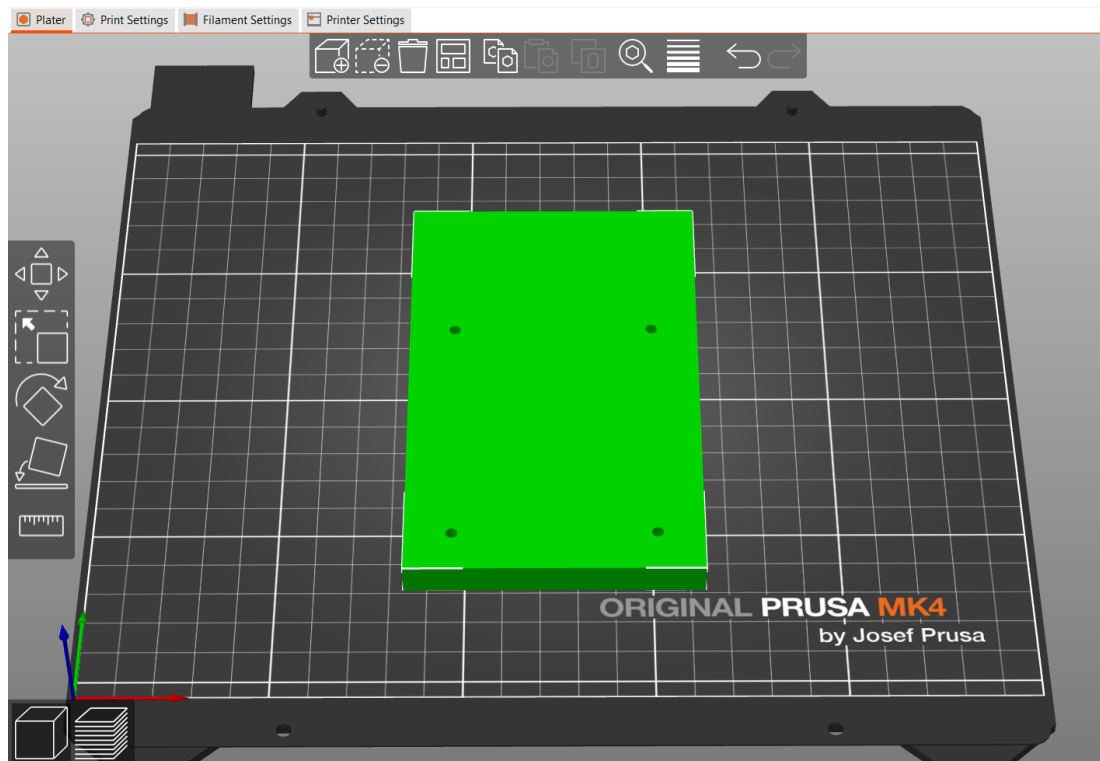
Μόλις αγοράστηκε η πλακέτα MPU6050 που ενσωματώνει το γυροσκόπιο και το επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων αλλά και η οθόνη LCD 16x2 το κάθε ένα από αυτά τα εξαρτήματα μελετήθηκε ξεχωριστά συνδέοντάς το με την πλακέτα Arduino Uno Rev3 μέσω ενός breadboard των 830 οπών και δημιουργώντας τον κατάλληλο κώδικα για την εκτέλεση βασικών λειτουργιών όπως τη μέτρηση της γωνιακής ταχύτητας και της επιτάχυνσης σε κάθε έναν από τους τρεις άξονες περιστροφής καθώς και την απεικόνιση απλών μηνυμάτων στην οθόνη LCD των 16 χαρακτήρων και των δυο γραμμών.

Στην συνέχεια η πλακέτα MPU6050 μελετήθηκε περαιτέρω προκειμένου μέσω αυτής αλλά και μέσω της πλακέτας Arduino Uno Rev3 να μπορέσει να ανακτηθεί η τιμή της γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ της πρώτης και του επιπέδου αναφοράς μετά από την περιστροφή της πλακέτας MPU6050 γύρω από τον άξονα X αλλά και η αντίστοιχη γωνία που σχηματίζεται μετά από την περιστροφή της ίδιας πλακέτας γύρω από τον άξονα Y. Μόλις δημιουργήθηκε ο κώδικας για τον υπολογισμό αυτών των τιμών η πλακέτα MPU6050, η οθόνη LCD 16x2, η πλακέτα Arduino Uno Rev3, το περιστροφικό ποτενσιόμετρο των 10kΩ και η αντίσταση των 330Ω και ισχύος 1/4W συνδέθηκαν μεταξύ τους έτσι ώστε στην συνέχεια να δημιουργηθεί ο κώδικας για την απεικόνιση αυτών των τιμών στην οθόνη LCD. Για την σύνδεση των παραπάνω ηλεκτρονικών εξαρτημάτων μεταξύ τους εκτός από το breadboard των 830 οπών χρησιμοποιήθηκε

και ένα δεύτερο breadboard των 400 οπών πάνω στο οποίο τοποθετήθηκε η πλακέτα MPU6050.

Υλοποιώντας το κύκλωμα της Εικόνας 1 με την βοήθεια των δυο breadboards που αναφέρθηκαν προηγουμένως και φορτώνοντας στην μνήμη του μικροελεγκτή που είναι ενσωματωμένος στην πλακέτα Arduino Uno Rev3 τον τελικό κώδικα που αντιστοιχεί στην κατασκευή της παρούσας εργασίας ελέγχθηκε αν η λειτουργία της ψηφιακής αεροστάθμης είναι η αναμενόμενη.

Έχοντας εξασφαλίσει την εύρυθμη λειτουργία της ψηφιακής αεροστάθμης έστω και αν αυτή είναι υλοποιημένη με την βοήθεια των δυο breadboards τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που την αποτελούν μπόρεσαν στην συνέχεια και τοποθετήθηκαν πάνω στις διάτρητες πλακέτες με στόχο την μόνιμη σύνδεση μεταξύ τους. Η υλοποίηση παρ' όλ' αυτά του κυκλώματος της Εικόνας 1 μέσω των δυο διάτρητων πλακετών δεν πραγματοποιήθηκε σε ένα μόνο στάδιο αλλά σε πολλά καθώς στην προκειμένη περίπτωση η μια διάτρητη πλακέτα τοποθετήθηκε πάνω στην άλλη και όλες μαζί πάνω στην πλακέτα Arduino Uno Rev3. Έτσι δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στο πώς θα μπορέσουν οι ακροδέκτες της πλακέτας MPU6050 καθώς και οι ακροδέκτες της οθόνης LCD 16x2 που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα της Εικόνας 1 να έχουν πρόσβαση στους ακροδέκτες της πλακέτας Arduino Uno Rev3 που χρησιμοποιούνται επίσης σε αυτό. Επίσης ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε και στο πως τα ηλεκτρονικά αυτά εξαρτήματα θα μπορέσουν να τοποθετηθούν πάνω στις διάτρητες πλακέτες έτσι ώστε κατά την υλοποίηση του κυκλώματος της Εικόνας 1 κανένα από τα καλώδια να μην χρειαστεί να περάσει πάνω από κάποιο άλλο καλώδιο. Αν και για τα παραπάνω δεν ήταν εύκολο να δοθεί γρήγορα μια απάντηση η τοποθέτηση της πλακέτας MPU6050 πάνω στην μια διάτρητη πλακέτα και η τοποθέτηση της οθόνης LCD 16x2, του περιστροφικού ποτενσιομέτρου των 10kΩ και της αντίστασης των 330Ω και ισχύος 1/4W στην άλλη διάτρητη πλακέτα ήταν σχεδόν μονόδρομος καθώς η συγκεκριμένη διάταξη αποτελεί ίσως την πιο λογική και εύκολα υλοποιήσιμη εναλλακτική. Η τελική λοιπόν κατασκευή της ψηφιακής αεροστάθμης αποτελείται από τρεις πλακέτες τοποθετημένες σε μορφή στοίβας δηλαδή η μια πάνω στην άλλη. Πιο συγκεκριμένα οι πλακέτες αυτές αλλά και η σειρά με την οποία είναι τοποθετημένες στην στοίβα ξεκινώντας από την πλακέτα που βρίσκεται πιο χαμηλά στην στοίβα μέχρι την πλακέτα που βρίσκεται στην κορυφή της στοίβας είναι η πλακέτα Arduino Uno Rev3, η διάτρητη πλακέτα που φέρει την πλακέτα MPU6050 και η διάτρητη πλακέτα που φέρει την οθόνη LCD 16x2 και τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που συνδέονται με αυτήν. Με αυτόν τον τρόπο αν και αυξάνεται η πολυπλοκότητα της κατασκευής αλλά και το πάχος της ψηφιακής αεροστάθμης μειώνεται η επιφάνεια που καταλαμβάνει η τελευταία στο επίπεδο ενώ ταυτόχρονα διευκολύνεται η μεταφορά της. Όσον αφορά την θήκη της μπαταρίας τάσης 9V αυτή τοποθετήθηκε δίπλα από την στοίβα των τριών πλακετών που αναφέρθηκε παραπάνω χρησιμοποιώντας ένα εξάρτημα που κατασκευάστηκε με την βοήθεια ενός 3D εκτυπωτή. Το συγκεκριμένο εξάρτημα όπως φαίνεται και από την Εικόνα 2 είναι στην ουσία μια βάση σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου και διαστάσεων 80mm x 135mm x 9mm πάνω στην οποία τοποθετήθηκε η στοίβα των τριών πλακετών καθώς και η θήκη της μπαταρίας τάσης 9V.



Εικόνα 2: Βάση της ψηφιακής αεροστάθμης

Οι οπές της βάσης που φαίνεται στην Εικόνα 2 δημιουργήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε αυτές να μπορούν να χρησιμοποιηθούν με φρεζάτες βίδες. Μέσω της συγκεκριμένης σχεδίασης η βάση της ψηφιακής αεροστάθμης είναι πάντα παράλληλη με το επίπεδο αναφοράς πάνω στο οποίο τοποθετείται κάτι που είναι απαραίτητο για την αντιστοίχιση στον κώδικα της ψηφιακής αεροστάθμης του επιπέδου αναφοράς με τις μηδέν μοίρες. Όσον αφορά το μήκος και το πλάτος της συγκεκριμένης βάσης αυτά ορίστηκαν σύμφωνα με το μήκος και το πλάτος της κάθε διάτρητης πλακέτας και της θήκης της μπαταρίας τάσης 9V. Αναλυτικά το μήκος της βάσης της ψηφιακής αεροστάθμης προέκυψε από το άθροισμα του μήκους της κάθε διάτρητης πλακέτας με ένα περιθώριο των 10mm πάνω και κάτω από αυτήν ενώ το πλάτος της συγκεκριμένης βάσης προέκυψε από το άθροισμα του πλάτους της κάθε διάτρητης πλακέτας με το πλάτος της θήκης της μπαταρίας τάσης 9V και με ένα περιθώριο των 10mm αριστερά και δεξιά από τα παραπάνω εξαρτήματα.

Μόλις δημιουργήθηκε η βάση της ψηφιακής αεροστάθμης και με δεδομένη την τοποθέτηση των διάτρητων πλακετών και της πλακέτας Arduino Uno Rev3 σε μορφή στοίβας μελετήθηκαν διάφοροι τρόποι με τους οποίους τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στις διάτρητες πλακέτες και να συνδεθούν μεταξύ τους. Μόλις βρέθηκε ο βέλτιστος τρόπος ξεκίνησε η προετοιμασία της διάτρητης πλακέτας που φέρει την πλακέτα MPU6050 έτσι ώστε στην συνέχεια να μπορέσει η συγκεκριμένη πλακέτα να συνδεθεί με την πλακέτα Arduino Uno Rev3. Έτσι στην διάτρητη πλακέτα που φέρει την πλακέτα MPU6050 δημιουργήθηκαν αρχικά οι οπές για την σύνδεση των κατάλληλων ακροδεκτών της πλακέτας Arduino Uno Rev3 με τους κατάλληλους ακροδέκτες της πλακέτας MPU6050 αλλά και με τους κατάλληλους ακροδέκτες των θηλυκών πινοσειρών που τοποθετήθηκαν σε επόμενο χρόνο πάνω στην διάτρητη πλακέτα για την τοποθέτηση της δεύτερης διάτρητης πλακέτας πάνω σε αυτήν καθώς και για την σύνδεση των κατάλληλων ακροδεκτών της πλακέτας Arduino Uno Rev3 με τους κατάλληλους ακροδέκτες της οθόνης LCD 16x2 και με τους κατάλληλους ακροδέκτες του περιστροφικού ποτενσιομέτρου των 10kΩ. Μετά από την δημιουργία των παραπάνω οπών στην ίδια διάτρητη πλακέτα δημιουργήθηκαν οι οπές

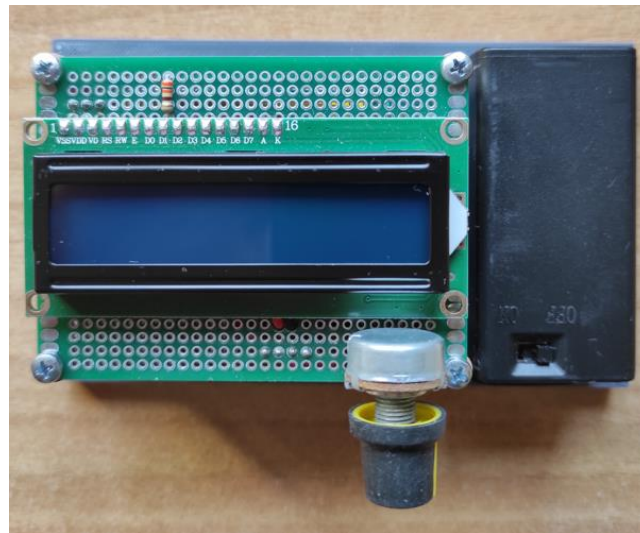
για την σύνδεση των καλωδίων της θήκης της μπαταρίας τάσης 9V με τους κατάλληλους ακροδέκτες της πλακέτας Arduino Uno Rev3. Αφού δημιουργήθηκαν και αυτές οι οπές δημιουργήθηκαν στην συνέχεια οι οπές που βρίσκονται στην κάθε γωνία της διάτρητης πλακέτας που φέρει την πλακέτα MPU6050 έτσι ώστε να μπορέσουν οι δυο διάτρητες πλακέτες να τοποθετηθούν η μια πάνω στην άλλη και οι δυο μαζί πάνω στην βάση της ψηφιακής αεροστάθμης. Μετά από την δημιουργία όλων των παραπάνω οπών πάνω στην διάτρητη πλακέτα που φέρει την πλακέτα MPU6050 τοποθετήθηκαν οι θηλυκές πινοσειρές. Έτσι αρχικά τοποθετήθηκαν οι θηλυκές πινοσειρές που αναφέρθηκαν παραπάνω και στην συνέχεια οι θηλυκές πινοσειρές για την καλύτερη στήριξη της διάτρητης πλακέτας που φέρει την οθόνη LCD 16x2 και τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που συνδέονται με αυτήν πάνω στην διάτρητη πλακέτα που φέρει την πλακέτα MPU6050. Μόλις οι θηλυκές αυτές πινοσειρές τοποθετήθηκαν πάνω στην διάτρητη πλακέτα που φέρει την πλακέτα MPU6050 πάνω σε αυτήν τοποθετήθηκαν στην συνέχεια οι αρσενικές πινοσειρές για την τοποθέτηση της διάτρητης πλακέτας πάνω στην πλακέτα Arduino Uno Rev3 αλλά και για την σύνδεση των κατάλληλων ακροδεκτών της τελευταίας με τους κατάλληλους ακροδέκτες των υπόλοιπων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων (της πλακέτας MPU6050 και των θηλυκών πινοσειρών). Μετά από την ολοκλήρωση της προετοιμασίας της διάτρητης πλακέτας που φέρει την πλακέτα MPU6050 ακολούθησε η τοποθέτηση της τελευταίας πάνω στην διάτρητη πλακέτα και η σύνδεση της πλακέτας MPU6050 με την πλακέτα Arduino Uno Rev3 σύμφωνα με το κύκλωμα της Εικόνας 1. Οι εργασίες στην διάτρητη πλακέτα που τοποθετήθηκε μεταξύ της πλακέτας Arduino Uno Rev3 και της δεύτερης διάτρητης πλακέτας ολοκληρώθηκαν συνδέοντας τους ψηφιακούς ακροδέκτες εισόδου/εξόδου D1, D2, D4, D5, D6 και D7 αλλά και τους ακροδέκτες VIN και GND της πλακέτας Arduino Uno Rev3 με τους κατάλληλους ακροδέκτες των θηλυκών πινοσειρών που είχαν προηγουμένως τοποθετηθεί πάνω στην διάτρητη πλακέτα.

Μόλις ολοκληρώθηκε η κατασκευή της διάτρητης πλακέτας που φέρει την πλακέτα MPU6050 ξεκίνησε η προετοιμασία της διάτρητης πλακέτας που φέρει την οθόνη LCD 16x2, το περιστροφικό ποτενσιόμετρο των 10kΩ και την αντίσταση των 330Ω και ισχύος 1/4W. Έτσι σε αυτήν την διάτρητη πλακέτα δημιουργήθηκαν οι οπές για την σύνδεση των κατάλληλων ακροδεκτών της οθόνης LCD 16x2 αλλά και του περιστροφικού ποτενσιομέτρου των 10kΩ με τους κατάλληλους ακροδέκτες των αρσενικών πινοσειρών που τοποθετήθηκαν σε επόμενο χρόνο πάνω στην διάτρητη πλακέτα αλλά και οι οπές που βρίσκονται στις γωνίες της διάτρητης πλακέτας προκειμένου αυτή να μπορέσει να τοποθετηθεί πάνω στην διάτρητη πλακέτα που φέρει την πλακέτα MPU6050. Στην συνέχεια πάνω στην διάτρητη πλακέτα που φέρει την οθόνη LCD 16x2 και τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που συνδέονται με αυτήν τοποθετήθηκαν οι αρσενικές πινοσειρές που αναφέρθηκαν παραπάνω τόσο για την σύνδεση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων της διάτρητης πλακέτας με την πλακέτα Arduino Uno Rev3 όσο και για την τοποθέτηση της διάτρητης πλακέτας πάνω στην διάτρητη πλακέτα που φέρει την πλακέτα MPU6050. Εκτός από αυτές τις αρσενικές πινοσειρές πάνω στην διάτρητη πλακέτα που τοποθετήθηκε στην κορυφή της στοίβας των τριών πλακετών τοποθετήθηκαν και δυο αρσενικές πινοσειρές με τρεις ακροδέκτες η κάθε μια για την εφαρμογή αυτών των ακροδεκτών στις αντίστοιχες θηλυκές πινοσειρές που τοποθετήθηκαν πάνω στην άλλη διάτρητη πλακέτα με απώτερο σκοπό την καλύτερη στήριξη της διάτρητης πλακέτας που τοποθετήθηκε στην κορυφή της στοίβας των τριών πλακετών πάνω στην διάτρητη πλακέτα που φέρει την πλακέτα MPU6050. Μόλις ολοκληρώθηκε και η προετοιμασία της δεύτερης διάτρητης πλακέτας η οθόνη LCD 16x2, η αντίσταση των 330Ω και ισχύος 1/4W και το περιστροφικό ποτενσιόμετρο των 10kΩ τοποθετήθηκαν πάνω σε αυτήν και στην συνέχεια σύμφωνα με το κύκλωμα της Εικόνας 1 τα ηλεκτρονικά αυτά εξαρτήματα συνδέθηκαν τόσο μεταξύ τους όσο και με τις κατάλληλες αρσενικές πινοσειρές που είχαν προηγουμένως τοποθετηθεί πάνω στην διάτρητη πλακέτα.

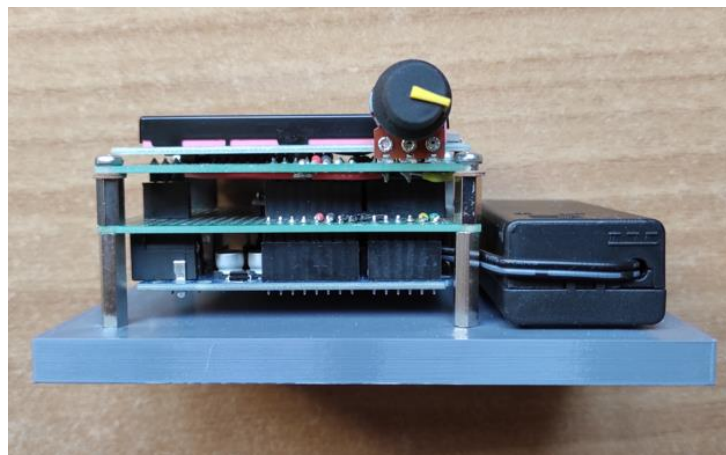
Μετά από την εκτέλεση των όσων αναφέρθηκαν προηγουμένως η κατασκευή της ψηφιακής αεροστάθμης είχε σχεδόν ολοκληρωθεί και το μόνο που εκκρεμούσε ήταν η

τοποθέτηση της στοίβας των τριών πλακετών καθώς και η τοποθέτηση της θήκης της μπαταρίας τάσης 9V πάνω στην βάση της ψηφιακής αεροστάθμης. Έτσι χρησιμοποιώντας τους τέσσερις αποστάτες θηλυκό σε αρσενικό και τις τέσσερις φρεζάτες βίδες και έχοντας από πριν περάσει μέσα από τις κατάλληλες οπές τα καλώδια της θήκης της μπαταρίας τάσης 9V η πλακέτα Arduino Uno Rev3 μαζί με την διάτρητη πλακέτα που φέρει την πλακέτα MPU6050 τοποθετήθηκαν πάνω στην βάση της ψηφιακής αεροστάθμης. Στην συνέχεια πάνω στην ίδια βάση τοποθετήθηκε το ένα κομμάτι της θήκης της μπαταρίας τάσης 9V και τα καλώδια που κρέμονται από αυτήν συνδέθηκαν με τους κατάλληλους ακροδέκτες της πλακέτας Arduino Uno Rev3. Για την τοποθέτηση της θήκης της μπαταρίας τάσης 9V πάνω στην βάση της ψηφιακής αεροστάθμης χρησιμοποιήθηκε μια κολλητική ταινία διπλής όψευς. Τέλος χρησιμοποιώντας τους τέσσερις αποστάτες θηλυκό σε θηλυκό, τις οκτώ ροδέλες και τις τέσσερις βίδες η διάτρητη πλακέτα που φέρει την οθόνη LCD 16x2, το περιστροφικό ποτενσιόμετρο των 10kΩ και την αντίσταση των 330Ω και ισχύος 1/4W τοποθετήθηκε πάνω στην διάτρητη πλακέτα που φέρει την πλακέτα MPU6050.

Η ψηφιακή αεροστάθμη που κατασκευάστηκε στην παρούσα εργασία φαίνεται στις Εικόνες που ακολουθούν.



Εικόνα 3: Πάνω όψη της ψηφιακής αεροστάθμης



Εικόνα 4: Μπροστινή όψη της ψηφιακής αεροστάθμης

Κώδικας

Ο κώδικας που δημιουργήθηκε για την απεικόνιση της γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ της ψηφιακής αεροστάθμης και του επιπέδου αναφοράς όταν η πρώτη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα X και η αντίστοιχη γωνία όταν αυτή περιστρέφεται γύρω από τον άξονα Y στην οθόνη LCD 16x2 στηρίζεται σε ένα complementary filter. Ένα τέτοιο φίλτρο χρησιμοποιείται ως μια γρήγορη και αποτελεσματική μέθοδος για την ανάμειξη των μετρήσεων από το επιταχυνσιόμετρο και από το γυροσκόπιο με στόχο την εκτίμηση του προσανατολισμού της ψηφιακής αεροστάθμης στον χώρο. Έτσι η γωνία που αντιστοιχεί στον κάθε άξονα περιστροφής προκύπτει κάθε φορά από το άθροισμα του γινομένου της τιμής της γωνίας που αντιστοιχεί στον ίδιο άξονα περιστροφής και προκύπτει από τον κάθε αισθητήρα και ενός αριθμού που ορίζει την επίδραση αυτής της τιμής και συνεπώς την επίδραση του αισθητήρα με τον οποίο συνδέεται στο τελικό αποτέλεσμα. Τα παραπάνω εκφράζονται μαθηματικά μέσω των Σχέσεων 1 και 2 με το angleX που φαίνεται στην Σχέση 1 να αντιστοιχεί στην τιμή της γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ της ψηφιακής αεροστάθμης και του επιπέδου αναφοράς όταν η πρώτη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα X και με το angleY που φαίνεται στην Σχέση 2 να αντιστοιχεί στην τιμή της γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ της ψηφιακής αεροστάθμης και του επιπέδου αναφοράς όταν η πρώτη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα Y.

$$\text{angleX} = 0.98 \cdot \text{gyroX} + 0.02 \cdot \text{accelX} \quad \text{Σχέση 1}$$

$$\text{angleY} = 0.98 \cdot \text{gyroY} + 0.02 \cdot \text{accelY} \quad \text{Σχέση 2}$$

Όπως φαίνεται και από τις Σχέσεις 1 και 2 η εφαρμογή ενός complementary filter όπως και αυτό της παρούσας εργασίας απαιτεί τον υπολογισμό της γωνίας που αντιστοιχεί στον άξονα περιστροφής X και της γωνίας που αντιστοιχεί στον άξονα περιστροφής Y μέσω των μετρήσεων από το γυροσκόπιο και στον υπολογισμό της γωνίας που αντιστοιχεί σε κάθε έναν από αυτούς τους άξονες μέσω των μετρήσεων από το επιταχυνσιόμετρο. Για την ακρίβεια ο υπολογισμός των τιμών των παραπάνω γωνιών (gyroX, gyroY, accelX και accelY) και άρα των τελικών γωνιών (angleX και angleY) επιτυγχάνεται μέσω των τιμών που προκύπτουν μετά από την εφαρμογή ενός φίλτρου μέσης τιμής (average filter) στις μετρήσεις που ανακτώνται από τον κάθε αισθητήρα δηλαδή μέσω των τιμών που προκύπτουν μετά από την αφαίρεση της μέσης τιμής 2000 μετρήσεων από την κάθε μέτρηση που σχετίζεται με αυτές.

Έτσι για τον υπολογισμό της γωνίας που αντιστοιχεί στον άξονα περιστροφής X και για τον υπολογισμό της γωνίας που αντιστοιχεί στον άξονα περιστροφής Y μέσω των τιμών που προκύπτουν μετά από την εφαρμογή του φίλτρου μέσης τιμής στις μετρήσεις από το γυροσκόπιο χρησιμοποιούνται οι Σχέσεις 3 και 4.

$$\text{gyroX} = \text{init_gyroX} + \text{gyro_diffX} \cdot \Delta T \quad \text{Σχέση 3}$$

$$\text{gyroY} = \text{init_gyroY} + \text{gyro_diffY} \cdot \Delta T \quad \text{Σχέση 4}$$

Όπως φαίνεται και από τις παραπάνω σχέσεις ο υπολογισμός της γωνίας που αντιστοιχεί στον κάθε άξονα περιστροφής στην περίπτωση που αξιοποιείται μόνο το γυροσκόπιο απαιτεί την χρήση ενός ολοκληρωτή. Στις Σχέσεις 3 και 4 το gyro_diffX και το gyro_diffY όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως αποτελεί την διαφορά της μέσης τιμής 2000 μετρήσεων από την μέτρηση που αντιστοιχεί στον άξονα περιστροφής X και την διαφορά της μέσης τιμής 2000 μετρήσεων από την μέτρηση που αντιστοιχεί στον άξονα περιστροφής Y αντίστοιχα και οι τιμές αυτές είναι εκφρασμένες σε deg/sec. Από την άλλη για τον υπολογισμό της γωνίας που αντιστοιχεί στον άξονα περιστροφής X και για τον υπολογισμό της γωνίας που αντιστοιχεί στον άξονα περιστροφής Y μέσω

των τιμών που προκύπτουν μετά από την εφαρμογή του φίλτρου μέσης τιμής στις μετρήσεις από το επιταχυνσιόμετρο χρησιμοποιούνται οι Σχέσεις 5 και 6.

$$\text{accelX} = \text{atan2}(\text{accel_diffY}, \text{accel_diffZ}) \cdot 57.29577951 \quad \text{Σχέση 5}$$

$$\text{accelY} = \text{atan2}\left(-\text{accel_diffX}, \sqrt{(\text{accel_diffY}^2 + \text{accel_diffZ}^2)}\right) \cdot 57.29577951 \quad \text{Σχέση 6}$$

Σε αντίθεση με τις τιμές gyro_diffX, gyro_diffY, accel_diffX και accel_diffY οι οποίες και προκύπτουν από την αφαίρεση της μέσης τιμής 2000 μετρήσεων από την μέτρηση που σχετίζεται με τις μετρήσεις από τις οποίες προέκυψε αυτή η μέση τιμή η τιμή accel_diffZ προκύπτει από την Σχέση 7.

$$\text{accel_diffZ} = (\text{accel_msrZ} - \text{accel_avgZ}) + 1 \quad \text{Σχέση 7}$$

Αν και οι τιμές των accel_diffX, accel_diffY και accel_diffZ πρόκειται για τις τιμές που προκύπτουν μετά από την εφαρμογή του φίλτρου μέσης τιμής στις μετρήσεις από το επιταχυνσιόμετρο οι τιμές αυτές προτού χρησιμοποιηθούν στις Σχέσεις 5 και 6 περνάνε από ένα χαμηλοπερατό φίλτρο όπως είναι το φίλτρο ενδιάμεσης τιμής (median filter). Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως ακόμα και με την παραμικρή δόνηση οι τιμές των accel_diffX, accel_diffY και accel_diffZ που υπολογίζονται μέσω των μετρήσεων από το επιταχυνσιόμετρο και μέσω των αντίστοιχων μέσων τιμών 2000 μετρήσεων εκφρασμένες σε g μεταβάλλονται συνεχώς με αποτέλεσμα η χρήση του φίλτρου ενδιάμεσης τιμής και η αξιοποίηση των τιμών που προκύπτουν από αυτό στις Σχέσεις 5 και 6 να είναι αναγκαία. Σε αντίθεση με το επιταχυνσιόμετρο το γυροσκόπιο δεν είναι τόσο ευαίσθητο στις δονήσεις και έτσι οι τιμές των gyro_diffX και gyro_diffY που υπολογίζονται με την βοήθεια των μετρήσεων από το γυροσκόπιο αλλά και με την βοήθεια των αντίστοιχων μέσων τιμών 2000 μετρήσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας στις Σχέσεις 3 και 4 χωρίς την χρήση ενός φίλτρου ενδιάμεσης τιμής. Παρόλ' αυτά λόγω της φύσης του ίδιου του ολοκληρωτή οι τιμές των γωνιών (gyroX και gyroY) που προκύπτουν από τους δυο ολοκληρωτές καθώς περνάει ο χρόνος αποκλίνουν από τις πραγματικές τιμές με αποτέλεσμα μετά από σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα οι τιμές αυτές να αυξάνονται σημαντικά. Έτσι αν και βραχυπρόθεσμα οι τιμές των γωνιών που προκύπτουν από τους δυο ολοκληρωτές είναι αρκετά ακριβείς οι τιμές αυτές κατά την διάρκεια λειτουργίας της ψηφιακής αεροστάθμης απομακρύνονται ολοένα και περισσότερο από τις πραγματικές κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τις αντίστοιχες τιμές των γωνιών (accelX και accelY) που προκύπτουν από τις Σχέσεις 5 και 6 μέσω των τιμών που προκύπτουν μετά από την εφαρμογή του φίλτρου ενδιάμεσης τιμής καθώς οι τιμές αυτές με την πάροδο του χρόνου δεν αποκλίνουν από τις πραγματικές. Αυτό όμως δεν σημαίνει πως είναι και αξιόπιστες καθώς ακόμα και με την εφαρμογή του φίλτρου ενδιάμεσης τιμής εκτός από τα προβλήματα που εισάγει το ίδιο το φίλτρο στο σύστημα το πρώτο δεν καταφέρνει να εξαλείψει πλήρως το πρόβλημα που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Συνδυάζοντας λοιπόν τις τιμές των γωνιών που προκύπτουν από τους δυο ολοκληρωτές με τις τιμές των γωνιών που προκύπτουν από τις Σχέσεις 5 και 6 κάνοντας χρήση ενός complementary filter το μειονέκτημα του ενός αισθητήρα ακυρώνεται από το πλεονέκτημα του άλλου και έτσι η τελική τιμή της γωνίας που αντιστοιχεί στον άξονα περιστροφής X και η τελική τιμή της γωνίας που αντιστοιχεί στον άξονα περιστροφής Y δεν αποκλίνουν κατά την διάρκεια λειτουργίας της ψηφιακής αεροστάθμης και δεν μεταπηδούν απότομα από την μια τιμή στην άλλη κάθε φορά που η τελευταία περιστρέφεται γύρω από κάποιον άξονα περιστροφής της.

Χρήση

Η ψηφιακή αεροστάθμη που κατασκευάστηκε στην παρούσα εργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε φορά που ο χρήστης επιθυμεί πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια (επίπεδο αναφοράς) να τοποθετήσει υπό κλίση κάποιο αντικείμενο.

Αυτό απαιτεί από τον χρήστη την τοποθέτηση αρχικά της ψηφιακής αεροστάθμης πάνω στο επίπεδο αναφοράς μέχρι η γωνία που αντιστοιχεί στον κάθε άξονα περιστροφής να μηδενιστεί (η ένδειξη της οθόνης LCD 16x2 να γίνει $x_a:0$ και $y_a:0$) και εν συνεχεία την μέτρηση της γωνίας μεταξύ του αντικειμένου και του επιπέδου αναφοράς με την βοήθεια της ψηφιακής αεροστάθμης και την επανατοποθέτηση του αντικειμένου υπό διαφορετική κλίση αν αυτό είναι απαραίτητο.