



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Ηλεκτρονικών Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών

Διπλωματική Εργασία

Ανάπτυξη Εφαρμογής σε Ενσωματωμένα Συστήματα για Εναέρια Μη Επανδρωμένα Οχήματα



Σαράντης Κυρίτσης

Επιτροπή αξιολόγησης

Αναπληρωτής Καθηγητής Ιωάννης Παπαευσταθίου (επιβλέπων)

Καθηγητής Απόστολος Δόλλας

Επίκουρος Καθηγητής Παναγιώτης Παρτσινέβελος (Σχολή Μηχ.Ο.Π.)

Χανιά, Δεκέμβριος 2014

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	6
1. Σκοπός της εργασίας	8
2. Εισαγωγή	12
2.1 Ιστορική αναδρομή	12
2.2 Τμήματα Μη Επανδρωμένου Ιπτάμενου Οχήματος.....	14
1 Όχημα ή Πλατφόρμα.....	15
2 Ωφέλιμο φορτίο	16
3 Σταθμός ελέγχου εδάφους (Ground Control Station GCS)	16
3. Ενσωματωμένα συστήματα	18
3.1 Εισαγωγικά για τα ενσωματωμένα συστήματα.....	18
3.2 Χαρακτηριστικά των ενσωματωμένων συστημάτων	19
3.3 Αξιοπιστία και τεχνικές διασφάλισης της στα ενσωματωμένα συστήματα	20
3.4 Χρήσεις και εφαρμογές των ενσωματωμένων συστημάτων	21
3.5 Κατανεμημένα ενσωματωμένα συστήματα και Υβριδικά Ενσωματωμένα Συστήματα.....	23
3.6 Πιλότοι (Flight Controllers) και συντονιστές (Embedded GCS).....	24
4. Αρχιτεκτονική πρωτότυπου UAV	26

4.1	Υλικό (κατασκευαστικό κομμάτι)	26
4.2	Υλικό (ηλεκτρονικό κομμάτι).....	28
1	Πιλότοι: Στο κομμάτι αυτό θα περιγραφούν τα ενσωματωμένα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν ως πιλότοι των αεροσκαφών.	28
2	Συντονιστές: Στο κομμάτι αυτό θα περιγραφούν τα ενσωματωμένα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του συστήματος επεξεργασίας, επικοινωνίας και επεξεργασίας δεδομένων.	28
4.3	Λογισμικό	29
1	Πιλότοι.....	29
2	Συντονιστές.....	29
4.4	Αρχιτεκτονική	30
4.5	Ανάλυση του πρωτοκόλλου MavLink.....	33
1	Mavlink Protocol.....	33
2	MAVLink Waypoint Protocol	35
5.	Πειραματική αξιολόγηση	41
5.1	RC override: Πρώτη Προσέγγιση	41
5.2	GPS controlled Flight	42
5.3	Σύνθετες δοκιμές και Failsafe	43
6.	Προβλήματα – Προτάσεις	48
6.1	Στόχος-Σκοπός-Μεθοδολογία	48
6.2	Προβλήματα κατά την υλοποίηση	49
1	Τροποποίηση κίνησης αεροσκάφους	50
2	Συμβατότητα Arduino - MegaPirateNG	51
6.3	Συμπεράσματα	53
6.4	Προτάσεις.....	54
	Βιβλιογραφία	56
	Παράρτημα A: Embedded Systems and Flight Control technical Specifications	57
	Flight Controllers	57
	Embedded Systems	60

UAV positional synergy using Wi-Fi RSSI	65
---	----

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση του μηχανικού περιστεριού του Αρχύτα (πηγή: http://media-cache-ak2.pinimg.com/550x/17/14/9c/17149c89772273da39ab5bd5f7a7d730.jpg)	12
Εικόνα 2: 300 εμπορικές εφαρμογές των μη επανδρωμένων οχημάτων (πηγή: http://www.uxvuniversity.com/wp-content/uploads/2014/05/comads.png).....	14
Εικόνα 3: Απεικόνιση του ενός από τα 2 πανομοιότυπα τετρακόπτερα που αναπτύχθηκαν	27
Εικόνα 4: Απεικόνιση εξακοπτέρου με βάση πλαστικό και μεταλλικό πλαίσιο	27
Εικόνα 5: Σύστημα 1: Πιλότος-Συντονιστής	32
Εικόνα 6: Σύστημα 2 και 3: Επικοινωνία Συντονιστή-Βάσης και επικοινωνία Πολυκοπτήρων (Συντονιστή-Συντονιστή)	33
Εικόνα 7: Waypoints Αρχικού σχεδίου πτήσης.....	44
Εικόνα 8: Σχηματική απεικόνιση των Waypoints του αρχικού σχεδίου πτήσης	44
Εικόνα 9: Απεικόνιση στον χάρτη των Waypoints του αρχικού σχεδίου πτήσης.....	45
Εικόνα 10: Waypoints σχεδίου πτήσης μετά τις αλλαγές κατά την πτήση.....	45
Εικόνα 11: Σχηματική απεικόνιση των Waypoints του σχεδίου πτήσης μετά τις αλλαγές κατά την πτήση	46
Εικόνα 12: Απεικόνιση στον χάρτη των Waypoints του σχεδίου πτήσης μετά τις αλλαγές κατά την πτήση.....	46
Εικόνα 13: Οι τιμές των παραμέτρων του cross-compiled mission planner του συντονιστή σε περίπτωση χρήσης εξωτερικού μετρητή τάσης.....	52

Περίληψη

Την τελευταία δεκαετία η ανάπτυξη μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων (UAV - Unmanned Airborne Vehicles) για εμπορικές εφαρμογές γνωρίζει ιδιαίτερη άνθηση με αποτέλεσμα να υπάρχει σημαντικός αριθμός εταιρειών που κατασκευάζουν τέτοια οχήματα, ακόμα μεγαλύτερος αριθμός μεταπωλητών και φυσικά πλήθος χρηστών.

Η βελτιστοποίηση της απόδοσης εφαρμογής τέτοιων συστημάτων μπορεί να επέλθει μέσω βελτίωσης κατασκευαστικών (π.χ. αυτονομία, είδος, βάρος αισθητήρων) χαρακτηριστικών ή/και της αύξησης της ακρίβειας των παραγόμενων προϊόντων ή/και της ελαχιστοποίησης του χρόνου δημιουργίας των προϊόντων αυτών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία προτείνει, και επιβεβαιώνει πειραματικά μέσω της κατασκευής πρωτότυπου μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος χαμηλού κόστους, αρχιτεκτονική αισθητήρων και ενσωματωμένων υπολογιστικών συστημάτων (embedded systems). Η αρχιτεκτονική αυτή επιτρέπει τον απομακρυσμένο έλεγχο του οχήματος χωρίς να απαιτείται οπτική επαφή ή καθοδήγηση μέσω ραδιοπομπού. Παράλληλα, η εφαρμογή της σε σμήνος UAV παρέχει τη δυνατότητα ανταλλαγής κρίσιμων πληροφοριών μεταξύ τους με αποτέλεσμα την επίτευξη συγκεκριμένων σεναρίων πτήσης, αποφυγής εμποδίων. Τέλος, μέσω του προτεινόμενου συστήματος παρέχεται η δυνατότητα πραγματοποίησης επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων κατά τη διάρκεια της πτήσης.

Για την υλοποίηση της εργασίας απαιτήθηκε η εμβάθυνση σε αντικείμενα διαφορετικών επιστημονικών θεματικών πεδίων όπως είναι τα ενσωματωμένα συστήματα, τα συστήματα πλοήγησης, οι τηλεπικοινωνίες, λογισμικό διαχείρισης, επεξεργασίας και ανάλυσης οπτικών δεδομένων, μηχανολογικές κατασκευές, κ.ά.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την διπλωματική αυτή εργασία καταδεικνύουν την απαίτηση για συνεργασία επιστημόνων διαφορετικών ειδικοτήτων για την κατασκευή καινοτόμου μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος χαμηλού κόστους, που θα προσφέρει αυξημένες επιχειρησιακές δυνατότητες με μείωση του χρόνου εξαγωγής των αποτελεσμάτων επεξεργασίας, του κόστους κατασκευής του αλλά και της αύξησης του βαθμού αυτοματοποίησης του συνόλου των απαιτούμενων διαδικασιών.

1. Σκοπός της εργασίας

Την τελευταία δεκαετία η ανάπτυξη μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων (UAV - Unmanned Airborne Vehicles) για εμπορικές εφαρμογές γνωρίζει ιδιαίτερη άνθηση με αποτέλεσμα να υπάρχει σημαντικός αριθμός κατασκευαστικών λύσεων και εφαρμογών.

Η βελτιστοποίηση της απόδοσης εφαρμογής τέτοιων συστημάτων μπορεί να επέλθει μέσω βελτίωσης κατασκευαστικών (π.χ. αυτονομία, είδος, βάρος αισθητήρων) χαρακτηριστικών ή/και της αύξησης της ακρίβειας των παραγόμενων προϊόντων ή/και της ελαχιστοποίησης του χρόνου δημιουργίας των προϊόντων αυτών.

Το κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με την επιχειρησιακή λειτουργία μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων. Τα προβλήματα εντοπίζονται κυρίως στην εξάρτηση των οχημάτων αυτών από σταθμό βάσης και στον περιορισμό που υπάρχει σήμερα για την ανάγκη ύπαρξης οπτικής επαφής μεταξύ σταθμού βάσης-οχήματος προκειμένου η πτήση να πραγματοποιείται με ασφάλεια. Επίσης, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια, στα περισσότερα εμπορικά συστήματα, ο χρήστης των μη επανδρωμένων οχημάτων δεν μπορεί να έχει άμεση εικόνα της ποιότητας των δεδομένων ή/και της περιοχής κάλυψης με αποτέλεσμα να απαιτείται η επανάληψη διαδοχικών πτήσεων ώστε να καλυφθεί με επαρκή και αξιόπιστο τρόπο η περιοχή ενδιαφέροντος. Συστήματα που παρέχουν τις ανωτέρω δυνατότητες έχουν ιδιαίτερα υψηλό κόστος κτήσης με αποτέλεσμα να μην είναι συμφέρουσα η προμήθειά τους για εκπόνηση εργασιών μικρής ή/και μεσαίας κλίμακας.

Επομένως, **κύριος στόχος** της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η διερεύνηση και υλοποίηση καινοτόμων προσεγγίσεων σχετικών με την επικοινωνία και αυτονομία πρωτότυπων, χαμηλού κόστους, μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων (UAV) με σκοπό την ελαχιστοποίηση της εξάρτησης ενός UAV από το χρήστη. Το γεγονός αυτό θα συμβάλει στην αυτονομία των οχημάτων αυτών καθώς θα υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης αναπροσαρμογής του σχεδίου πτήσης ανάλογα με τα αποτελέσματα της επεξεργασίας που θα λαμβάνει χώρα επί του οχήματος. Εκτός της μείωσης του χρόνου εκτέλεσης συγκεκριμένων εφαρμογών θα καταστεί εφικτή η κάλυψη, με ασφάλεια, πολύ μεγαλύτερων περιοχών καθώς θα είναι δυνατή η δημιουργία σμήνους αυτόνομων UAV που θα μπορούν να επιδρούν μεταξύ τους προς όφελος του χρόνου και του συνολικού κόστους της εκάστοτε εφαρμογής.

Για την επίτευξη του ανωτέρω γενικού στόχου υλοποιήθηκαν οι εξής επιμέρους στόχοι:

- Στόχος 1: Ενσωμάτωση, στο όχημα, του σταθμού βάσης
- Στόχος 2: Πλοήγηση οχήματος χωρίς οπτική επαφή
- Στόχος 3: Συντονισμός σμήνους UAV

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται αναλυτικά η παρούσα κατάσταση της γνώσης (state-of-the-art) και ο τρόπος με τον οποίο η εργασία αυτή συμβάλλει στην αντιμετώπιση προβλημάτων και ελλείψεων που έχουν παρατηρηθεί αναφορικά με τη λειτουργία μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων.

- **Στόχος 1: Ενσωμάτωση, στο όχημα, του σταθμού βάσης**

Ο σταθμός βάσης αποτελεί τη «καρδιά» ενός μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος καθώς αποτελεί το τμήμα εκείνο ελέγχει τη πτήση και τη γενικότερη κατάσταση του οχήματος. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάστηκε η δυνατότητα αντικατάστασης του σταθμού βάσης και των λειτουργιών που αυτός προσφέρει από ενσωματωμένο σύστημα (embedded system) το οποίο θα βρίσκεται επί του οχήματος. Σημειώνεται, πως η στόχευση είναι τα UAV που μπορούν να φέρουν εξοπλισμό μέχρι 3-4Kgr και έχουν αυτονομία πτήσης 20-60 min δηλαδή αυτά που ανήκουν στη κατηγορία των micro-UAV.

Η χρησιμοποίηση ενσωματωμένων συστημάτων για τον έλεγχο των UAV αποτελεί μια σχετικά νέα προσέγγιση και κατά την έρευνα που πραγματοποιήθηκε δεν βρέθηκαν παρά λίγες αναφορές για την αντικατάσταση του σταθμού βάσης με ενσωματωμένο σύστημα. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εργασίες των ([Damilano et al, 2013](#); [Vissiere and Petit, 2008](#); [Guillaume, 2006](#)) οι οποίες όμως και διαφοροποιούνται σε σχέση με την προσέγγιση που ακολουθήθηκε στη παρούσα εργασία. Στην πρώτη εργασία, γίνεται μια προσπάθεια για χρήση ενός σταθμού βάσης πάνω σε ενσωματωμένο σύστημα. Συγχρόνως, το ενσωματωμένο σύστημα που χρησιμοποιείται εμπεριέχει και την λειτουργία του πιλότου. Στην δεύτερη εργασία, ένα ενσωματωμένο σύστημα, αναλαμβάνει αποκλειστικά και μόνο το να αντικαταστήσει τις ήδη υπάρχουσες επιλογές που υπάρχουν στην κατηγορία των πιλότων, χωρίς όμως να του δίνονται περαιτέρω λειτουργίες και δυνατότητες. Η ίδια ακριβώς προσέγγιση με την δεύτερη εργασία, παρατηρείται και στην τρίτη εργασία. Από την μελέτη σχετικών εργασιών, καθίσταται λοιπόν σαφές, πως υπάρχει μια ανάγκη ενσωμάτωσης ενός πλήρους σταθμού ελέγχου βάσης πάνω στο όχημα. Παράλληλα, ανοίγεται και ο δρόμος με την ενσωμάτωση αυτή, για δημιουργία πολλών τέτοιων

ανεξάρτητων αεροσκαφών, τα οποία θα έχουν την δυνατότητα επικοινωνίας και αυτοσυντονισμού.

Αναμενόμενο αποτέλεσμα της συγκεκριμένης δράσης είναι η ανεξαρτητοποίηση/αυτονομία και αυτοδιαχείριση των UAV καθώς θα μπορούν με την χρήση κατάλληλων αισθητήρων να προσαρμόζουν αυτόματα την πορεία τους, ώστε να υλοποιήσουν με ταχύτητα και ακρίβεια την αποστολή που τους έχει ανατεθεί από τον χρήστη.

Λεπτομέρειες για τα ενσωματωμένα συστήματα παρέχονται στο Κεφάλαιο 3 ενώ η προσέγγιση που ακολουθήθηκε σχεδιαστικά, περιγράφεται στο Κεφάλαιο 4.

- **Στόχος 2: Πλοήγηση χωρίς οπτική επαφή**

Η πλοήγηση των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων γίνεται είτε με τη χρήση προκαθορισμένου σχεδίου πτήσης το οποίο αποστέλλεται στην αρχή της αποστολής από τον επίγειο σταθμό βάσης είτε με τη χρήση τηλεκατεύθυνσης μέσω χειριστηρίου.

Σήμερα, στην αγορά διατίθεται ευρύ φάσμα χειριστηρίων τα οποία και διαφοροποιούνται ανάλογα με την εμβέλεια που παρέχουν η οποία και είναι άμεσα συνυφασμένη με την δυνατότητα οπτικής επαφής, το εύρος φάσματος (από 2.4-5.8 GHz) του εκπεμπόμενου σήματος και άλλες επικουρικές λειτουργίες που μπορεί να προσφέρουν.

Από την προηγούμενη Δράση ο επίγειος σταθμός βάσης έχει ενσωματωθεί στο όχημα επομένως αντικείμενο της παρούσας Δράσης είναι η στα πλαίσια της παρούσας Δράσης εξετάστηκαν τρόποι κατάργησης του χειριστηρίου δηλαδή της υποχρεωτικής ύπαρξης σήματος RSSI (τηλεκατεύθυνσης) του οχήματος από το χρήστη χωρίς ωστόσο να επηρεάζεται αρνητικά η ασφάλεια της πτήσης.

- **Στόχος 3: Συντονισμός σμήνους UAV**

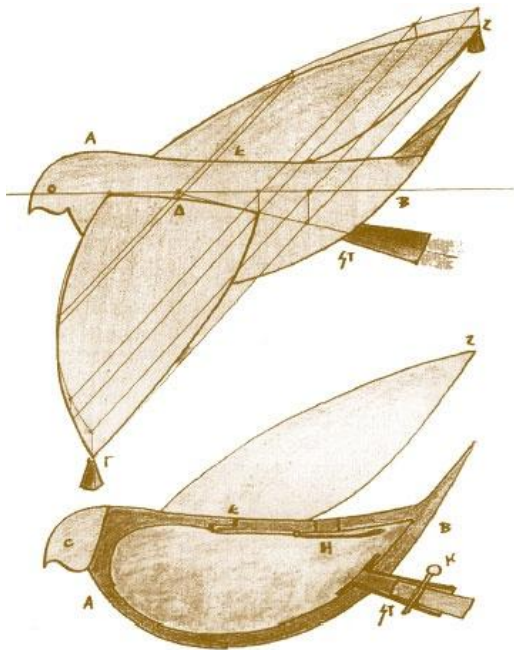
Στην περίπτωση ύπαρξη αριθμού UAV (σμήνος) για την κάλυψη μιας περιοχής ενδιαφέροντος και δεδομένης της ύπαρξης σταθμού βάσης επί του κάθε οχήματος έπεται ότι κάθε UAV θα μπορεί να επικοινωνεί κατά τη διάρκεια της πτήσης με τα υπόλοιπα οχήματα ώστε να συντονίζονται αυτόματα και το σχέδιο πτήσης του καθενός να εξαρτάται από το σχέδιο πτήσης του άλλου. Για παράδειγμα, σε περίπτωση αδυναμίας ενός οχήματος να ολοκληρώσει την αποστολή του (π.χ. χαμηλή ενεργειακή στάθμη) τότε ο συντονιστής του σμήνους μπορεί να οδηγήσει το όχημα αυτό στη βάση για ανεφοδιασμό και ταυτόχρονα να τροποποιήσει το σχέδιο πτήσης των υπολοίπων μελών του σμήνους ώστε η περιοχή ευθύνης του «προβληματικού» UAV να καλυφθεί από τα υπόλοιπα μέλη.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται συνοπτικά μια ιστορική αναδρομή στα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα καθώς και περιγραφή των κύριων τμημάτων ενός UAV. Το Κεφάλαιο 3 παρουσιάζει τα ενσωματωμένα συστήματα και τα συστήματα πλοήγησης που έχουν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές UAV. Η αρχιτεκτονική του συστήματος και ο τρόπος διεπαφής και επικοινωνίας μεταξύ συντονιστή και πιλότου δίδονται στο Κεφάλαιο 4 ενώ στο Κεφάλαιο 5 περιγράφονται οι πειραματικές διαδικασίες που υλοποιήθηκαν για τον έλεγχο και τη βαθμονόμηση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής. Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 αναλύονται τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την εκτέλεση της εργασίας, οι τρόποι αντιμετώπισής τους καθώς επίσης δίνονται και προτάσεις για τη μελλοντική επέκταση της εργασίας.

2. Εισαγωγή

2.1 Ιστορική αναδρομή

Το πρώτο μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα μπορεί να θεωρηθεί ότι δημιουργήθηκε το 425 π.Χ. από τον Αρχύτα ο οποίος και κατασκεύασε ένα μηχανικό περιστέρι, που μπορούσε να πετάξει τα φτερά του παίρνοντας ενέργεια από ένα μηχανισμό στο στομάχι του (Εικόνα 1). Αυτή πιστεύεται ότι είναι η πρώτη τεχνητή, αυτοπρωθούμενη ιπτάμενη μηχανή που χρησιμοποιούσε νερό και ατμό για την παραγωγή ενέργειας (Valavanis & Kontitsis, 2007; Φλιούκα Π., 2013).



Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση του μηχανικού περιστεριού του Αρχύτα (πηγή: <http://media-cache-ak2.pinimg.com/550x/17/14/9c/17149c89772273da39ab5bd5f7a7d730.jpg>)

Έκτοτε, και με το πέρασμα των αιώνων, έχουν αναφερθεί και άλλες προσπάθειες όπως χαρακτηριστικά των Leonardo Da Vinci -1843, Horatio Philips -1840, Ponton d' Amecourt - 1860 (Φλιούκα Π., 2013).

Όπως συμβαίνει και με διάφορα άλλα τεχνολογικά επιτεύγματα, η δημιουργία των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων χρηματοδοτήθηκε από στρατιωτικές υπηρεσίες, ανά τον κόσμο, καθώς προσέφεραν έναν ασφαλή τρόπο συλλογής πληροφοριών ή/και ρίψης όπλων στους αντιπάλους τους. Έτσι, οι πρώτες προσπάθειες αναφέρονται ήδη από το Α' Παγκόσμιο Πόλεμο δηλαδή σχεδόν 100 χρόνια πριν, με τους Βρετανούς και τους Αμερικανούς να πραγματοποιούν σχετικές δοκιμές το 1917 αλλά δεν χρησιμοποιήθηκαν σε εμπόλεμη κατάσταση λόγω της λήξης του Α' Παγκοσμίου Πολέμου το 1918 (Keane J.F. & Carr S.S, 2013). Η ιστορική αναδρομή χρήσης μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων για πολεμικές εφαρμογές δεν είναι αντικείμενο της παρούσας εργασίας και δεν θα παρουσιαστεί στη συνέχεια αλλά προτείνεται η εργασία των Keane & Carr, 2013 όπου γίνεται λεπτομερής περιγραφή της εφαρμογής των συστημάτων αυτών κατά τη διάρκεια των μεγαλύτερων πολεμικών εχθροπραξιών του τελευταίου αιώνα.

Ο Α' Παγκόσμιος Πόλεμος είχε καταδείξει τα οφέλη της εναέριας έρευνας και απεικόνισης (με επανδρωμένα αεροσκάφη) και έτσι η λήψη αεροφωτογραφιών για τη χαρτογράφηση μεγάλων περιοχών και η ανάπτυξη της τεχνικής των εναέριας φωτογραμμετρίας χρονολογούνται από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Η αεροφωτογράφιση με χρήση μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων ακολουθεί τις εξελίξεις σε δύο κλάδους: του κατασκευαστικού και του εξοπλισμού. Το ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να φέρει ένα UAV και αντίστοιχα τα χαρακτηριστικά (βάρος, ακρίβεια, κτλ) της φωτομηχανής.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις σε όλους τους κλάδους που εμπλέκονται στην επιτυχή χρησιμοποίηση UAV (όχημα, συστήματα ναυσιπλοΐας, επικοινωνιών, αισθητήρες, κ.ά.) την τελευταία εικοσαετία έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πολυάριθμων, μη στρατιωτικών, εφαρμογών (Εικόνα 2) με αποτέλεσμα ο συνολικός παγκόσμιος τζίρος (στρατιωτικές και εμπορικές εφαρμογές) του τομέα των μη επανδρωμένων οχημάτων να ανέρχεται σε 5400 εκατομμύρια ευρώ το 2013 με εκτίμηση αύξησης σε 6350 εκατομμύρια ευρώ το 2018 (Colomina & Molina, 2014).

• Precision Agriculture	• Cinematography	• Entomology	• Medical Supply Deliver	• Urban Planning	• Biological Agent Det.	• Soil Volumetrics	• Taco Copter
• Cell Tower Inspect	• Pollution Monitoring	• Forest Inspection	• Chimney Inspection	• Culture Preservation	• Event Security	• Change Detection	• Burnito Bomber
• Airborne Wind Turbine	• Hydrologic Modeling	• Fisheries Management	• Air Pollution Reduction	• Petroglyph Preservation	• Port Security	• Defibrillator Delivery	• Beer Delivery
• Cloud Seeding	• Geomorphic Model	• Wildlife Conservation	• Motion Pictures	• Oil Discovery	• Pirating	• UAV Tracking	• Flower Delivery
• Plant Water Content	• Flood Risk Assess	• Wildlife Inventory	• Audio Drones	• Quake Fault Discovery	• Avalanche Rescue	• Environment Assessment	• Hunting
• Plant Disease Detect	• Law Enforcement	• Mineral Exploration	• Aerial Photography	• Traffic Flow Analysis	• Customs & Border	• Equipment Inventory	• Fishing
• Weed Mapping	• Pollution Monitor	• Forest Fire Surveillance	• Flotation Aid Drop	• Crop Pests Detection	• Atmospheric Profile	• Gas Plant Inspection	• Load Transportation
• Invasive Plants	• Photogrammetry	• Volcano Monitoring	• Count Sheep	• Journalism	• Hurricane Generis	• Pressure Tanks	• Conflict Monitor
• Insect Attack Warning	• Tidal Zone Modeling	• Forest Fire Mapping	• Iceberg Monitoring	• Crop Pests Detection	• Package Delivery	• Grass Dry Matter Measure	• Alzheimer Search
• Vegetation Identification	• Solar Panel Inspect	• Aerial Mapping	• Real Estate Marketing	• Roof Inspection	• Seismology	• Boating Drone	• Play Music
• Selective Harvesting	• Anti-Piracy	• Oil Spill Tracking	• Crop Dusting	• Wind Turbine Gearbox Insp	• Bank Erosion	• FEMA	• Whale Watching
• Canopy Management	• Algae Proliferation	• Avalanche Prevention	• Mining Volumes	• Cartography	• Pharmacy Delivery	• Volcanic Ash Measure	• Code of Conduct
• Herd Tracking	• Rail Track Bed Inspect	• Ice Pack Monitoring	• Water Trough Leakage	• Debrisator Delivery	• Airborne Pathogen	• Drop Sniffing	• Tomado Prediction
• Telecommunications	• Ocean Research	• Poaching Patrol	• Surveillance	• Insect Detection	• Ecology Research	• Explosives Detection	• Weather Modification
• High Altitude Imagery	• Saltwater Infiltration	• Landfill Monitoring	• Earthquake Prediction	• Power Line Inspect	• Tourist Guide	• VIP Monitoring	• Invisible UAV
• Maritime Surveillance	• Landmark Inspection	• Public Safety	• Wildlife Research	• Tsunami Detection	• Lighting Area	• SWAT	• Airborne Internet
• Media	• Illegal Ship Barge Venting	• Firefighting	• Archaeology	• Locust Monitoring	• Radiation Cleanup	• Emergency Response Team	• Aerial Advertising
• Traffic Monitoring	• Emergency Com	• Golf Resort Market	• Food Delivery	• Gunshot Triangulation	• Fire Investigation	• Terrorist Attack	• Aerial Sports
• Disaster Management	• Terrain Mapping	• Search and Rescue	• Strip Mining	• Oil Rig Inspection	• UAV Sensor Research	• Heat Loss	• Three D Printed
• Real Estate Photography	• Sand Bank Shift	• Training	• Cloud Seeding	• Sinkhole Forecast	• Water Tower Inspect	• Cooling Tower Inspect	• Pseudo-Satellite
• Meteorology	• Hydrometric Mapping	• Pipeline Inspection	• Stadium Events	• Anti-Looting Control	• Antenna Pattern Measure	• Human Trafficking Control	• Power by the Hour
• Hurricane Monitoring	• Traffic Accident Analysis	• Power Restoration	• Newspaper Delivery	• Landslide Prediction	• Crime Forensics	• Airborne WiFi	• Multi-Modal UAV
• Cryospheric Research	• Highway Design	• Fire Prevention	• Instant Consumer Grat	• Gamer Drones	• Forest Fire Retardant	• Planetary Radiation	• Dronestagram
• Bridge Inspection	• FedEx Unmanned Cargo	• Wind Turbine Blade	• Advertising	• Criminal Car Tracking	• Coast Guard	• River Re-naturalization	• Fixed Wing VTOL
• Transmission Line Inspect	• Instant Consumer Grat	• River Discharge	• Coastline Surveillance	• Tsunami Debris	• Railroad Monitor	• Merchant Marine	• Simulated Weather
• HAZMAT Inspection	• Prevent Extinction	• Marine Sanctuary	• Pavement Roughness	• GIS Data Capture	• Follow Kid to Bus Stop	• Army Corps of Engineers	• Drone Art
• Emergency Medical Supply	• Ant-Whaling	• River Discharge	• Insurance Claim Appraisal	• Tour Guide	• Pizza Delivery	• Dept. of Transportation	• Pocket Drone
• Aerial Surveying	• Aerial Biology	• Ship Collision	• Concert Security	• Cell Tower LOS	• Document Delivery	• Environmental Protection	• Location Scouting
• Damage Assessment	• Flood Warning	• Maritime Mammals	• Sports Video	• Forest Management	• Textbook Delivery	• National Guard	• Protection
• Insurance Claim Appraisal	• Fireworks Dropping	• Alligator Patrol	• Runway Inspection	• Cloud Properties	• Snake Sampling	• Drug Enforcement Agency	• Audio Surveillance
• Virtual Tours	• Mosquito Breed Detect	• Flying Spotlights	• Coffee Harvest	• Plant Phenotyping	• Insect Shoot Down	• State Department	• Find Parking
• Shark Watch	• Crime Scene Photography	• Cruise Ship Cam	• Shark Warming	• Biotelemetry	• Paparazzi Drones	• FBI	• Home Security
• Shark Warming	• Feral Hog Fighting	• Climate Monitoring	• Shark Repelling	• Climate Monitoring	• Classroom Finder	• Bureau of Land Mgt	• Weather Measurement
• Shark Repelling				• Dam Inspection	• Kid Monitor	• Department of Energy	• One Step Processing
				• Predator Control		• Soil Moisture Level	• Autonomous Soaring
							• Wing Flapping
							• Tethered Power
							• Nuclear Inspection

Εικόνα 2: 300 εμπορικές εφαρμογές των μη επανδρωμένων οχημάτων (πηγή: <http://www.uvxuniversity.com/wp-content/uploads/2014/05/comads.png>).

Από το παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως ο τομέας αυτός έχει σημαντικές προοπτικές ανάπτυξης και αυτός είναι άλλωστε ο λόγος που οι επιστημονικές δημοσιεύσεις για εμπορικές/πολιτικές εφαρμογές των UAV, αυξήθηκαν από 55 σε 247 την περίοδο 2005-2013, ενώ την ίδια περίοδο υπήρξε και διπλασιασμός (38 το 2005 και 78 το 2013) των δημοσιεύσεων που αφορούν ερευνητικά μη επανδρωμένα ιπτάμενα συστήματα (Colomina & Molina, 2014).

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η σχεδίαση της αρχιτεκτονικής ενός πρωτότυπου μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος που θα χαρακτηρίζεται από το χαμηλό του κόστος και το οποίο θα αξιοποιεί ενσωματωμένα υπολογιστικά συστήματα (embedded systems) ώστε 1) να είναι εφικτός ο απομακρυσμένος έλεγχος του οχήματος χωρίς την απαίτηση οπτικής επαφής ή ύπαρξης ραδιοπομπού, και 2) να επιτυγχάνονται συγκεκριμένα σενάρια πτήσεων και αυτοματοποιημένη αλληλεπίδραση μεταξύ των ανεξάρτητων μονάδων σμήνους τέτοιων οχημάτων.

2.2 Τμήματα Μη Επανδρωμένου Ιπτάμενου Οχήματος

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα δομικά κομμάτια με βάση τα οποία δημιουργούμε ένα μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα. Σκοπός μας είναι, ως το τέλος του κεφαλαίου, να έχει γίνει κατανοητή σε πρώτη φάση η δομή ενός αεροσκάφους. Έπειτα στο κεφάλαιο 4, θα

μιλήσουμε για το πώς τα δομικά μέρη που αναφέρουμε εδώ συνδυάζονται και επικοινωνούν, ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Επιγραμματικά λοιπόν, τα δομικά στοιχεία που συνθέτουν ένα UAV είναι: το όχημα ή πλατφόρμα (Vehicle or Platform), το ωφέλιμο φορτίο (payload) και ο σταθμός ελέγχου εδάφους (Ground Control Station GCS).

1 Όχημα ή Πλατφόρμα

Ως όχημα ή πλατφόρμα, ορίζουμε το κομμάτι του μη επανδρωμένου οχήματος, το οποίο αποτελεί τον κύριο κορμό του σώματος του αεροσκάφους. Το όχημα λοιπόν, αποτελείται από:

- Το πλαίσιο του οχήματος
- Το σύστημα προώθησης
- Τον υπολογιστή ελέγχου πτήσης (πιλότος)
- Το σύστημα ακρίβειας πλοήγησης
- Συστήματα ελέγχου και αποφυγής

Συγκεκριμένα στην δική μας πλατφόρμα, προστίθεται και ένα ακόμα ενσωματωμένο σύστημα, το οποίο ονομάζουμε συντονιστή, και θα περιγραφεί εκτενέστερα στην συνέχεια (κεφάλαιο 2.3) η χρήση του συστήματος αυτού.

Το όχημα λοιπόν, είναι το μέσο με το οποίο μεταφέρουμε το ωφέλιμο φορτίο στον «προορισμό» που επιτάσσει η κάθε αποστολή. Τα UAVs μπορούν να πετάξουν σε κάθε ύψος, γι' αυτό και το σύστημα προώθησης πρέπει να είναι σχεδιασμένο με βάση τις ανάγκες της εκάστοτε αποστολής. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες επιλέγονται για αθόρυβες αποστολές, ενώ για αποστολές μεγάλης απόστασης και υψομέτρου χρησιμοποιούνται κινητήρες τύπου jet.

Ο υπολογιστή ελέγχου πτήσης (πιλότος) διαβεβαιώνει πως το UAV θα ακολουθήσει το προδιαγεγραμμένο σχέδιο πτήσης, ή όποιες τυχόν αλλαγές προκύψουν σε αυτό, μετά από ενημέρωση από τον σταθμό βάσης. Επίσης φροντίζει ώστε, εκτός από τα προαναφερθέντα,

να εκπληρωθεί η αποστολή με τις λιγότερες ενεργειακές απώλειες για το σκάφος, καθώς και να αποφευχθούν τυχόν συγκρούσεις με εμπόδια ή άλλα ιπτάμενα αντικείμενα.

2 Ωφέλιμο φορτίο

Ως ωφέλιμο φορτίο ορίζουμε τον εξοπλισμό που φέρει το όχημα μας, και είναι άμεσα συνδεδεμένο με το είδος και της απαιτήσεις της κάθε αποστολής. Αυτό σημαίνει πως αλλάζοντας το ωφέλιμο φορτίο, αλλάζουμε και το είδος της χρήσης του αεροσκάφους μας. Εδώ, λοιπόν, βλέπουμε ένα μεγάλο πλεονέκτημα των μη επανδρωμένων οχημάτων, το οποίο είναι η διαδικασία επαναχρησιμοποίησης των ίδιων αεροσκαφών με μικρές αλλαγές για την επίτευξη διαφορετικών ειδών αποστολών. Ενδεικτικά ακολουθούν παραδείγματα ωφέλιμου φορτίου που χρησιμοποιείται σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη:

- Ηλεκτρο-οπτικά συστήματα αίσθησης και σαρωτές
- Υπέρυθρα συστήματα
- Ραντάρ
- Αναλώσιμο φορτίο (πυρομαχικά, φωτοβολίδες, κ.λπ.)
- Αισθητήρες περιβάλλοντος

Από τα παραπάνω ωφέλιμα φορτία, μπορούν να υπάρχουν παραπάνω από ένα πάνω σε ένα αεροσκάφος για κάποια αποστολή. Σχετικά με τα πυρομαχικά, να σημειωθεί πως η μεταφορά τους με UAVs είναι παράνομη στην Ευρώπη και την Αμερική.

Ο σκοπός των UAVs είναι να συλλέγουν και να διαμοιράζουν δεδομένα σε περιοχές που είναι συνήθως απρόσιτες λόγω θέσης ή λόγω συνθηκών στους ανθρώπους. Το ωφέλιμο φορτίο αποτελεί ίσως το σημαντικότερο κομμάτι του αεροσκάφους καθώς αυτό είναι που καθορίζει την χρηστική του αξία και την αποδοτικότητά του. Το όχημα λοιπόν είναι απλά το μέσο να μετακινήσουμε το ωφέλιμο φορτίο το οποίο είναι το κομμάτι που επιτυγχάνει αποστολές.

3 Σταθμός ελέγχου εδάφους (Ground Control Station GCS)

Ο σταθμός ελέγχου εδάφους (GCS) θα μπορούσαμε να πούμε πως είναι το κέντρο επιχειρήσεων για τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Σε ένα GCS βλέπουμε επιγραμματικά

- Ενδείξεις σχετικά με την κατάσταση της πτήσης του αεροσκάφους (avionics)
- Συστήματα Πλοήγησης
- Ενδείξεις σχετικές με την υγεία του συστήματος και σχετικά προγνωστικά
- Εικόνες και γραφική απεικόνιση της θέσης στον χάρτη
- Συστήματα ασφαλούς επικοινωνίας
- Συστήματα επεξεργασίας δεδομένων

Για την επίτευξη των παραπάνω, ένας GCS πρέπει να διατηρεί ασφαλή επικοινωνία τόσο με το όχημα όσο και με τα τοπικά και διεθνή μέσα διαχείρισης εναέριας κίνησης.

Στην δική μας εφαρμογή, κάναμε μια προσπάθεια ενσωμάτωσης του σταθμού βάσης πάνω το όχημα (όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2.1). Έτσι λοιπόν δημιουργήσαμε ένα ολοκληρωμένο αυτοδιαχειριζόμενο σύστημα το οποίο έχει την δυνατότητα εσωτερικής λήψης αποφάσεων και αυτοσυντονισμού ενός σμήνους με βάση κάποιες κατευθυντήριες γραμμές που του έχουν δοθεί. Να σημειωθεί βέβαια, πως το σύστημα είναι έτσι κατασκευασμένο ώστε να μπορεί ανά πάσα στιγμή να περάσει σε συμβατική λειτουργία, δηλαδή επικοινωνώντας με έναν συμβατικό σταθμό βάσης όπως αυτός που αναλύσαμε πριν.

3. Ενσωματωμένα συστήματα

3.1 Εισαγωγικά για τα ενσωματωμένα συστήματα

Ένα **ενσωματωμένο σύστημα** είναι ένα υπολογιστικό σύστημα με ειδική λειτουργικότητα το οποίο είναι κομμάτι ενός μεγαλύτερου μηχανικού ή ηλεκτρικού συστήματος, συχνά με περιορισμούς σε υπολογισμούς πραγματικού χρόνου. Είναι ενσωματωμένο ως τμήμα μιας πλήρους διάταξης που συχνά περιλαμβάνει κομμάτια υλικού και μηχανικά μέρη. Τα ενσωματωμένα συστήματα ελέγχουν μια μεγάλη γκάμα συσκευών που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα.

Οι ιδιότητες οι οποίες χαρακτηρίζουν τους ενσωματωμένους υπολογιστές, σε σύγκριση με τους υπολογιστές γενικής χρήσης είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, το μικρό μέγεθος, το μεγάλο εύρος σχετικά με τις συνθήκες λειτουργίας τους και το χαμηλό κόστος αγοράς ανά μονάδα υλικού. Φυσικά, αυτό έχει το τίμημα των περιορισμένων πόρων επεξεργασίας, πράγμα το οποίο καθιστά τα ενσωματωμένα συστήματα αρκετά πιο δύσκολα στον προγραμματισμό τους αλλά και την επικοινωνία με περιφερειακά.

Τα σύγχρονα ενσωματωμένα συστήματα συχνά βασίζονται σε μικροελεγκτές (πχ. επεξεργαστές με ενσωματωμένη μνήμη ή διασυνδέσεις με περιφερειακά), αλλά και απλοί μικροεπεξεργαστές (χρήση εξωτερικών τσιπ μνήμης και κυκλώματα περιφερειακής διασύνδεσης) εξακολουθούν να είναι ακόμα κοινοί, ειδικά σε πιο πολύπλοκα συστήματα. Σε κάθε περίπτωση, ο επεξεργαστής (ες) που χρησιμοποιείται μπορεί να από γενικού σκοπού μέχρι πολύ εξειδικευμένος σε συγκεκριμένη κατηγορία υπολογισμών, ή ακόμα και ειδικά σχεδιασμένος για την εφαρμογή την οποία πραγματεύεται. Μια κοινή κατηγορία επεξεργαστών εξειδικευμένης χρήσης είναι οι επεξεργαστές ψηφιακού σήματος (DSP).

Το βασικό χαρακτηριστικό, ωστόσο, το σύστημα να είναι προσανατολισμένο στο να εκτελεί και να διαχειρίζεται μια πολύ συγκεκριμένη εργασία. Αφού το ενσωματωμένο σύστημα είναι αφιερωμένο σε συγκεκριμένες εργασίες, ο μηχανικός σχεδιασμού μπορεί να κάνει βελτιστοποίηση, ώστε να μειώσει το μέγεθος και το κόστος του προϊόντος και να αυξήσει την αξιοπιστία και την απόδοση. Ορισμένα ενσωματωμένα συστήματα είναι μαζικής παραγωγής, και επωφελούνται από τις ανωτέρω βελτιστοποιήσεις που έχουν να κάνουν με τον προσανατολισμό στον σχεδιασμό του ενσωματωμένου.

Από άποψη μεγέθους, τα ενσωματωμένα συστήματα κυμαίνονται από φορητές συσκευές όπως τα ψηφιακά ρολόγια και τα MP3 players, μέχρι μεγάλες σταθερές εγκαταστάσεις όπως τα φανάρια, οι ελεγκτές του εργοστασίων, και σε μεγάλο βαθμό πολύπλοκα συστήματα, όπως τα υβριδικά οχήματα, τα MRI, και ηλεκτρονικά συστήματα αεροσκαφών. Η πολυπλοκότητα των συστημάτων κυμαίνεται από χαμηλή, με ένα μόνο ολοκληρωμένο μικροελεγκτή, έως πολύ υψηλή με πολλαπλές μονάδες, περιφερειακά και δίκτυα τα οποία βρίσκονται τοποθετημένα μέσα σε ένα μεγάλο σασί ή περίβλημα.

3.2 Χαρακτηριστικά των ενσωματωμένων συστημάτων

Τα ενσωματωμένα συστήματα είναι σχεδιασμένα για να κάνουν κάποια συγκεκριμένη εργασία, σε αντίθεση με έναν υπολογιστή γενικής χρήσης, ο οποίος μπορεί να εκτελεί πολλαπλά καθήκοντα. Ορισμένα έχουν επίσης περιορισμούς απόδοσης σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου που πρέπει να πληρούνται, για λόγους όπως η ασφάλεια και χρησιμότητα. Άλλα μπορεί να έχουν μικρές απαιτήσεις ή να μην απαιτούν υψηλές επιδόσεις, επιτρέποντας στο υλικό του συστήματος να μπορεί να απλουστευθεί, ώστε να μειωθεί το κόστος.

Τα ενσωματωμένα συστήματα δεν είναι πάντα αυτόνομες συσκευές. Πολλά από τα ενσωματωμένα συστήματα αποτελούνται από μικρά, υπολογιστικά μέρη μέσα σε μια μεγαλύτερη συσκευή που εξυπηρετεί ένα γενικότερο σκοπό. Για παράδειγμα, το Gibson Guitar ρομπότ διαθέτει ένα ενσωματωμένο σύστημα για το συντονισμό των χορδών, αλλά ο γενικός στόχος του ρομπότ κιθάρα είναι, φυσικά, να παίζει μουσική. Επίσης, ένα ενσωματωμένο σύστημα σε ένα αυτοκίνητο παρέχει μια συγκεκριμένη λειτουργία, ως υποσύστημα του ίδιου του αυτοκινήτου.

Οι εντολές του προγράμματος που γράφονται για τα ενσωματωμένα συστήματα αναφέρονται ως firmware, και αποθηκεύονται σε μνήμη μόνο για ανάγνωση ή μνήμη Flash. Τρέχουν με περιορισμένους πόρους του υλικού του υπολογιστή: μικρή μνήμη, μικρό ή ανύπαρκτο πληκτρολόγιο ή οθόνη.

3.3 Αξιοπιστία και τεχνικές διασφάλισης της στα ενσωματωμένα συστήματα

Τα ενσωματωμένα συστήματα συχνά ανήκουν σε μηχανές που αναμένεται να λειτουργούν συνεχώς για χρόνια χωρίς λάθη, και σε ορισμένες περιπτώσεις να μπορούν να κάνουν την ανάνηψη του συστήματος αυτόνομα σε περίπτωση που προκληθεί κάποιο σφάλμα. Ως εκ τούτου, το λογισμικό συνήθως αναπτύσσεται και δοκιμάζεται πιο προσεκτικά από ότι για τους προσωπικούς υπολογιστές, και τα αναξιόπιστα μηχανικά κινούμενα μέρη, όπως σκληροί δίσκοι, διακόπτες ή κουμπιά αποφεύγονται. Ειδικά θέματα αξιοπιστίας μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Το σύστημα δεν μπορεί με ασφάλεια να κλείσει για επισκευή, ή είναι πάρα πολύ απρόσιτο για την επισκευή. Τέτοια παραδείγματα περιλαμβάνουν τα διαστημικά συστήματα, υποθαλάσσια καλώδια, φάρους πλοήγησης, και αυτοκίνητα.
- Το σύστημα πρέπει να διατηρείται σε λειτουργία για λόγους ασφαλείας. Το να ανασταλεί η λειτουργία του συστήματος είναι λιγότερο ανεκτό. Συχνά αντίγραφα ασφαλείας δημιουργούνται από έναν χειριστή. Παραδείγματα περιλαμβάνουν την πλοήγηση των αεροσκαφών, τα συστήματα ελέγχου αντιδραστήρων, τους ελέγχους σε εργοστάσια χημικών που είναι κρίσιμοι για την ασφάλεια, τα σήματα του τρένου.
- Το σύστημα θα δημιουργήσει ζημία μεγάλων χρηματικών ποσών αν κλείσει: διαχείριση δικτύων τηλεφωνίας, έλεγχος παραγωγής σε εργοστάσιο, έλεγχος σε γέφυρες και ασανσέρ, τη μεταφορά κεφαλαίων και την διαχείριση της αγοράς, αυτοματοποιημένες πωλήσεις και την αυτόματη τεχνική εξυπηρέτηση.

Μια ποικιλία από τεχνικές που χρησιμοποιούνται, μερικές φορές σε συνδυασμό, για την ανάκτηση από σφάλματα, και για σφάλματα λογισμικού, όπως διαρροές μνήμης , καθώς επίσης και για μικρά προβλήματα στο υλικό:

- Watchdog Timer που επανεκινεί τον υπολογιστή, εκτός εάν το λογισμικό ενημερώνει περιοδικά τον φύλακα
- υποσυστήματα με για εναλλαγή με το κύριο σύστημα, ώστε να μεταφερθεί προσωρινά η λειτουργία εκεί αν δημιουργηθεί πρόβλημα στο κύριο σύστημα

- λογισμικό για “limp mode” που παρέχει λειτουργία έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση προβλήματος
- Σχεδιάζοντας με Trusted Computing Base (TCB) αρχιτεκτονική, εξασφαλίζεται ένα εξαιρετικά ασφαλές και αξιόπιστο περιβάλλον λειτουργίας για το σύστημα
- Ένα Hypervisor σχεδιασμένο για ενσωματωμένα συστήματα, είναι σε θέση να παρέχει ασφαλή ενθυλάκωση για κάθε συστατικό του υποσυστήματος, έτσι ώστε ένα προβληματικό κομμάτι του λογισμικού να μην μπορεί να παρέμβει στην λειτουργία άλλων υποσυστημάτων, ή στο λειτουργικό κομμάτι του συστήματος. Αυτή η ενθυλάκωση συγκρατεί τον πολλαπλασιασμό των βλαβών από το ένα υποσύστημα στο άλλο, και την βελτίωση της αξιοπιστίας. Αυτό μπορεί επίσης να επιτρέψει σε ένα υποσύστημα να κλείσει αυτόματα και να επανεκκινήσει στην περίπτωση ανίχνευσης σφαλμάτων.

3.4 Χρήσεις και εφαρμογές των ενσωματωμένων συστημάτων

Τα ενσωματωμένα συστήματα βρίσκονται σε μια πληθώρα εφαρμογών γύρω μας, όπως σε καταναλωτικά προϊόντα, στην βιομηχανία, στην αυτοκινητοβιομηχανία, καθώς και σε ιατρικές, εμπορικές και στρατιωτικές εφαρμογές.

Τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα χρησιμοποιούν πολλά ενσωματωμένα συστήματα από τηλεφωνικούς διακόπτες για το δίκτυο μέχρι τις συσκευές κινητής τηλεφωνίας. Η δικτύωση των υπολογιστών χρησιμοποιεί ειδικούς δρομολογητές και γέφυρες δικτύου για την διανομή των δεδομένων.

Οι ηλεκτρονικές συσκευές που απευθύνονται σε καταναλωτές περιλαμβάνουν προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (PDA), MP3 players , κινητά τηλέφωνα, κονσόλες βιντεοπαιχνιδιών, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές , συσκευές αναπαραγωγής DVD , δέκτες GPS, και εκτυπωτές . Οικιακές συσκευές, όπως φούρνοι μικροκυμάτων , πλυντήρια ρούχων και πιάτων , περιλαμβάνουν ενσωματωμένα συστήματα για την παροχή ευελιξίας, αποτελεσματικότητας και έξτρα χαρακτηριστικών. Σύνθετα HVAC συστήματα χρησιμοποιούν δικτυωμένους θερμοστάτες για παροχή μεγαλύτερης ακρίβειας και αποτελεσματικότητας στον έλεγχο της θερμοκρασίας που μπορεί να αλλάξει με την ώρα της ημέρας και την εποχή. Οι οικιακοί αυτοματισμοί χρησιμοποιούν ενσύρματη και ασύρματη δικτύωση για τον έλεγχο των φώτων, το κλίμα, την ασφάλεια, εφαρμογές ήχου / εικόνας,

την επιτήρηση του χώρου, κλπ. Όλα τα ανωτέρω παραδείγματα χρησιμοποιούν ενσωματωμένες συσκευές για την ανίχνευση και τον έλεγχο.

Τα συστήματα μεταφοράς, από αεροπλάνα μέχρι αυτοκίνητα, χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο τα ενσωματωμένα συστήματα. Νέα αεροπλάνα περιέχουν προηγμένα ηλεκτρονικά συστήματα, όπως τα συστήματα αυτόματης καθοδήγησης και δέκτες GPS που έχουν επίσης σημαντικές απαιτήσεις σε ασφάλεια. Διάφοροι ηλεκτρικοί κινητήρες – κινητήρες επαγωγής και κινητήρες συνεχούς ρεύματος - χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς / ηλεκτρονικούς ελεγκτές για τον κινητήρα. Τα αυτοκίνητα, τα ηλεκτρικά οχήματα, και τα υβριδικά οχήματα χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο τα ενσωματωμένα συστήματα για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας και τη μείωση της ρύπανσης. Άλλα συστήματα ασφαλείας αυτοκινήτων περιλαμβάνουν το σύστημα αντιεμπλοκής κατά την πέδηση (ABS), το Ηλεκτρονικό Σύστημα Ελέγχου Ευστάθειας (ESC / ESP), το σύστημα ελέγχου πρόσφυσης (TCS) και την αυτόματη τετρακίνηση.

Ο Ιατρικός εξοπλισμός χρησιμοποιεί ενσωματωμένα συστήματα για την παρακολούθηση των ζωτικών σημείων, ηλεκτρονικά στηθοσκόπια για την ενίσχυση των ήχων, και διάφορες τεχνικές ιατρικής απεικόνισης (PET , SPECT , CT , MRI) για μη επεμβατική διάγνωση. Τα ενσωματωμένα συστήματα εντός του ιατρικού εξοπλισμού συχνά τροφοδοτούνται από βιομηχανικούς υπολογιστές. Τα ενσωματωμένα συστήματα που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές, την πυρασφάλεια, την ασφάλεια γενικότερα, τις ιατρικές εφαρμογές και τα συστήματα που είναι κρίσιμα για την διαβίωση, είναι αρκετά πιο αξιόπιστα, καθώς λόγω του γεγονότος ότι είναι αυτόνομα δεν μπορούν το ίδιο εύκολα να προσβληθούν από ιούς και κακόβουλο λογισμικό. Για την πυρασφάλεια, τα συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν για να έχουν μεγαλύτερη ικανότητα στο να διαχειριστούν υψηλότερες θερμοκρασίες και να συνεχίσουν να λειτουργούν. Σε θέματα σχετικά με την ασφάλεια, τα ενσωματωμένα συστήματα μπορεί να είναι αυτόνομα και να είναι σε θέση να λειτουργήσουν με κομμένο το ηλεκτρικό ρεύμα και τα συστήματα επικοινωνίας.

Μια νέα κατηγορία μικροσκοπικών ασύρματων συσκευών που ονομάζεται motes κερδίζει γρήγορα σε δημοτικότητα καθώς το πεδίο της ασύρματης δικτύωσης αισθητήρων αυξάνεται. Η ασύρματη δικτύωση αισθητήρων, WSN, κάνει χρήση της μικροτεχνίας που κατέστη δυνατή με την προηγμένη σχεδίαση IC ώστε να συνδεθούν πλήρη ασύρματα υποσυστήματα με εξελιγμένους αισθητήρες, επιτρέποντας στους ανθρώπους και τις εταιρείες να μετρούν μια μεγάλη γκάμα πραγμάτων στον φυσικό κόσμο και να ενεργούν με βάση αυτές τις πληροφορίες μέσω των πληροφορικών συστημάτων για την

παρακολούθηση και τον έλεγχο. Αυτά τα motes είναι εντελώς αυτόνομα, και συνήθως τροφοδοτούνται από μια πηγή της μπαταρίας για χρόνια προτού να χρειαστεί να αλλαχτούν ή να φορτιστούν οι μπαταρίες.

Τα ενσωματωμένα Wi-Fi περιφερειακά παρέχουν ένα απλό τρόπο για ασύρματη ενεργοποίηση σε κάθε συσκευή που επικοινωνεί μέσω σειριακής θύρας.

3.5 Κατανεμημένα ενσωματωμένα συστήματα και Υβριδικά Ενσωματωμένα Συστήματα

Καθώς οι υπολογιστικές απαιτήσεις αυξάνονται και η πολυπλοκότητα των εφαρμογών που περιλαμβάνουν ενσωματωμένα συστήματα ανεβαίνει, εγείρεται η ανάγκη για την αύξηση των δυνατοτήτων των ενσωματωμένων συστημάτων. Το πρόβλημα όμως που συναντάται, είναι πως παρόλο που οι απαιτήσεις μας ανεβαίνουν, οι δυνατότητές μας, σχετικά με τους επεξεργαστές των ενσωματωμένων συστημάτων φαίνεται να περιορίζονται αρκετά. Έτσι, διακρίνονται δύο τάσεις για την αύξηση της απόδοσης των συστημάτων μας: τα κατανεμημένα συστήματα και τα υβριδικά συστήματα.

- **Κατανεμημένα Συστήματα**

Ως κατανεμημένο σύστημα ορίζουμε το σύστημα το οποίο κάνει κατανομή των εργασιών, για την διεκπεραίωση ενός έργου, σε παραπάνω από ένα ενσωματωμένα συστήματα. Η τάση για κατανεμημένα συστήματα, δεν είναι νέα. Σαν ιδέα πρώτα υλοποιήθηκε σε κατανεμημένα δίκτυα συμβατικών υπολογιστών. Στα ενσωματωμένα συστήματα, αν και η υλοποίηση ενός κατανεμημένου δικτύου είναι αρκετά πιο δύσκολη, η συγκεκριμένη προσέγγιση φαίνεται να δίνει νέα δυναμική στην υπολογιστική ισχύ. Τα ενσωματωμένα συστήματα πλέον λειτουργούν σαν ένα δίκτυο το οποίο έχει την συνδυαστική ισχύ των επιμέρους κομματιών που το αποτελούν.

- **Υβριδικά Συστήματα**

Στα υβριδικά συστήματα μιλάμε για ετερογένεια σχετικά με τις μονάδες επεξεργασίας. Η πιο συνήθης διάταξη είναι εκείνη που συνδυάζει την χρήση μια CPU με μία ή παραπάνω GPUs. Σε αυτή την περίπτωση, ο μηχανικός που ασχολείται με την ανάπτυξη της εφαρμογής, οφείλει να διακρίνει την εφαρμογή σε διαφορετικά κομμάτια τα οποία θα

αναπτυχθούν με διαφορετικό τρόπο ώστε να μπορέσουν να “τρέξουν” στις διαφορετικές επεξεργαστικές μονάδες.

- **Συνδυαστικά Συστήματα**

Τέλος, μπορεί να υπάρξει συνδυασμός των δύο σε περιπτώσεις που απαιτείται αρκετά μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ ή το επιτάσσει η σχεδίαση ή η ιδιομορφία της συγκεκριμένης εφαρμογής.

3.6 Πιλότοι (Flight Controllers) και συντονιστές (Embedded GCS)

Τα ενσωματωμένα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την υλοποίηση, χωρίζονται σε δύο ομάδες, ανάλογα με την χρήση τους.

Αρχικά έχουμε τους πιλότους. Οι πιλότοι είναι υπεύθυνοι για την τήρηση του σχεδίου πτήσης όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Παράλληλα, φέρουν ευθύνη για την ποιότητα της πτήσης. Πιο συγκεκριμένα, είναι εκείνο το κομμάτι τους συστήματος που εγγυάται την σταθερότητα της πτήσης, την τήρηση των ενδιάμεσων σταθμών, την ρύθμιση του ύψους του σκάφους, την διαδικασία αυτόματης απογείωσης και προσγείωσης και τέλος την αποστολή στοιχείων για το αεροσκάφος και δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από την πτήση, προς την βάση.

Έπειτα έχουμε τους συντονιστές. Οι συντονιστές, έρχονται να αντικαταστήσουν τον παραδοσιακό σταθμό βάσης, καθώς βρίσκονται πάνω στο αεροσκάφος. Κύρια αρμοδιότητα των συντονιστών, είναι να αναπροσαρμόζουν την αποστολή την οποία ακολουθεί ο πιλότος, με βάση ερεθίσματα τα οποία δέχονται είτε από περιφερειακές συσκευές, είτε από εξωτερικούς χρήστες, είτε από άλλους συντονιστές, είτε από τον ίδιο τον πιλότο. Με αυτή την τεχνική, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα σμήνος από UAVs, τα οποία χρησιμοποιώντας intra-net μπορούν να αυτοσυντονιστούν επικοινωνώντας και τελικά να φέρουν εις πέρας αρκετά πολύπλοκες αποστολές, χωρίς την ενδιάμεση παρεμβολή κάποιου παραδοσιακού GCS, για επαναπροσδιορισμό και διορθώσεις κατά την πρόοδο της αποστολής.

Πιο συγκεκριμένα για τους πιλότους και συντονιστές που επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε
θα μιλήσουμε στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

4. Αρχιτεκτονική πρωτότυπου UAV

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναλύσουμε τα επιμέρους στοιχεία του συστήματος καθώς και την διασύνδεση αυτών. Για την καλύτερη κατανόηση της συγκεκριμένης ενότητας, τα επιμέρους στοιχεία χωρίστηκαν σε δύο κεφάλαια αφιερωμένα στο υλικό που χρησιμοποιήθηκε (κατασκευαστικό κομμάτι και ηλεκτρονικό κομμάτι) και ένα κεφάλαιο αφιερωμένο στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τους πιλότους και τους συντονιστές. Στο τέταρτο υπό κεφάλαιο, θα μιλήσουμε για την κεντρική ιδέα της σχεδίασης και για το πώς τα κομμάτια που αναφέρθηκαν στα κεφάλαια 4.1-4.3 αλληλοεπιδρούν για να παράγουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τέλος στο 4.5 θα μιλήσουμε για τα επιμέρους εργαλεία τα οποία αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για να πραγματοποιηθεί η σύνθεση που αναφέρεται στο 4.4.

4.1 Υλικό (κατασκευαστικό κομμάτι)

Επιγραμματικά, κατασκευάστηκαν 2 διαφορετικοί τύποι πολυκοπτέρων.

- Δύο τετρακόπτερα από αφρώδες υλικό για διάφορες δοκιμές, τα οποία επιλέχθηκαν λόγω της ανθεκτικότητάς τους, του χαμηλού τους κόστους και του χαμηλού τους βάρους.
- Ένα εξακόπτερο με βάση πλαστικό και μεταλλικό πλαίσιο. Για εξωτερικές δοκιμές. Αυτό είναι και το πρώτο πρωτότυπο που κατασκευάστηκε.
- Ένα εξακόπτερο με βάση ανθρακονημάτινο πλαίσιο. Για εξωτερικές δοκιμές. Ανθεκτικότερο από το πρώτο εξακόπτερο και πιο αξιόπιστο.

Τα δομικά στοιχεία των πολυκοπτέρων, ανεξαρτήτως πλαισίου είναι:

- Σκελετός τετρακοπτέρου ή εξακοπτέρου (Frame)
- Ηλεκτρικοί τριφασικοί κινητήρες (Brushless Motor)
- Ηλεκτρονικοί τριφασικοί ελεγκτές ταχύτητας (Electronic Brushless Speed Control)

- Μπαταρίες Λιθίου Πολυμερούς (Lipo Batteries)
- Τηλεχειριστήριο τηλεκατεύθυνσης (Radio Control Transmitter)
- Καλώδια, μικροϋλικά

Τα παραπάνω δομικά στοιχεία συντέθηκαν και δημιούργησαν τα οχήματα τα οποία αναφέραμε παραπάνω και παρουσιάζονται στην συνέχεια.



Εικόνα 3: Απεικόνιση του ενός από τα 2 πανομοιότυπα τετρακόπτερα που αναπτύχθηκαν



Εικόνα 4: Απεικόνιση εξακοπτέρου με βάση πλαστικό και μεταλλικό πλαίσιο

Απεικόνιση εξακοπτέρου με βάση ανθρακονημάτινο πλαίσιο

4.2 Υλικό (ηλεκτρονικό κομμάτι)

Στο ηλεκτρονικό κομμάτι, το υλικό μας χωρίζεται σε 2 κατηγορίες: στους πιλότους και στους συντονιστές.

1 Πιλότοι: Στο κομμάτι αυτό θα περιγραφούν τα ενσωματωμένα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν ως πιλότοι των αεροσκαφών.

Όλοι οι πιλότοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι βασισμένοι σε arduino. Επιγραμματικά χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω πιλότοι (τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, αναλύονται στο Appendix A) :

- ArduPilotMega (APM) 2.5
- ArduPilotMega (APM) 2.6
- Pixhawk (PX4)
- HobbyKing MultiWii AllInOne (HK MultiWii AIO)
- HobbyKing PRO Flight Controller (HK PRO Flight Controller /w MTK GPS Module)

Βλέπουμε πως χρησιμοποιήθηκε μια πληθώρα πιλότων. Σκοπός της επιλογής αυτής είναι να καταστεί σαφές πως η σχεδίαση είναι ανεξάρτητη της πλατφόρμας που χρησιμοποιούμε (platform independent). Επίσης φαίνεται πως μπορούμε ανεξαρτήτως κόστους, με την συγκεκριμένη υλοποίηση, να έχουμε έναν αξιόπιστο πιλότο.

2 Συντονιστές: Στο κομμάτι αυτό θα περιγραφούν τα ενσωματωμένα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του συστήματος επεξεργασίας, επικοινωνίας και επεξεργασίας δεδομένων.

Για το κομμάτι των συντονιστών, χρησιμοποιήθηκαν τρία ενσωματωμένα συστήματα (τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, αναλύονται στο Appendix A):

- Gumstix Overo Fire
- Raspberry Pi Model B
- Odroid XU-Lite

Χρησιμοποιήθηκε λοιπόν μια πληθώρα ενσωματωμένων συστημάτων, ξανά, ώστε να δείξουμε πως η εφαρμογή μας και από την πλευρά του συντονιστή είναι ανεξάρτητη του υλικού μας. Επίσης, λόγω των διαφορετικών δυνατοτήτων σε κάθε ένα από αυτά τα ενσωματωμένα μπορούμε, ανάλογα με το είδος της αποστολής, να θυσιάσουμε αυτονομία για επιδόσεις και το αντίθετο.

4.3 Λογισμικό

Στο κομμάτι του λογισμικού, η ανάπτυξη χωρίστηκε σε κομμάτια αντίστοιχα με αυτά του υλικού. Έτσι και εδώ θα μιλήσουμε για πιλότους και συντονιστές.

1 Πιλότοι

Για τον προγραμματισμό των πιλότων χρησιμοποιήθηκαν arduino sketches. Για τα arpm 2.5, arpm 2.6 και Pixhawk PX4, χρησιμοποιήθηκε το ArduCopter κομμάτι του ArduPilot Opensource Project. Για τα HK Multiwii AIO και HK PRO Flight Controller, βασιστήκαμε στο κομμάτι του MegaPirateNG open project. Βέβαια, λόγω των ιδιοτεροτήτων των συγκεκριμένων συσκευών (χαμηλό κόστος, άρα και σχετικά μειωμένη αξιοπιστία) χρειάστηκε μεγάλη μελέτη στο να προσδιοριστούν σωστά τα όρια λειτουργίας και ασφαλείας των επιμέρους αισθητήρων που τα αποτελούν, ώστε ο προγραμματισμός τους να γίνει όσο γίνεται πιο αποδοτικός και πιο κοντά ποιοτικά στις ακριβότερες λύσεις που αναφέραμε στην αρχή.

2 Συντονιστές

Για τον προγραμματισμό των συντονιστών, χρησιμοποιήθηκαν (όσον αφορά το λειτουργικό) διαφορετικές διανομές του Embedded Linux. Για το Odroid XU χρησιμοποιήθηκε η διανομή Ubuntu Linux 14.04, για το Raspberry Pi το Raspbian, ενώ για το Overo Fire χρησιμοποιήθηκε το Gumstix Desktop Image. Σε όλες τις εκδόσεις που χρησιμοποιήθηκαν, προτιμήθηκε η ύπαρξη X11 server για την διαχείριση γραφικού περιβάλλοντος ώστε να μπορούμε μέσω forwarding να έχουμε και γραφική εικόνα για το κομμάτι των γραφικών διεργασιών που τυχόν να τρέχουν στο σύστημά μας. Πάνω στο λειτουργικό μας έγινε cross-compile η γραφική εφαρμογή του APM Planner, ενώ έγινε και σχεδίαση πρωτότυπου κώδικα για την επικοινωνία και ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ συντονιστή-πιλότου. Το κομμάτι της ανταλλαγής μηνυμάτων βασίστηκε στο πρωτόκολλο επικοινωνίας mavlink (κεφάλαιο 4.5). Η ανάπτυξη έγινε σε γλώσσα python και αυτό μας δίνει ακόμα μεγαλύτερη ανεξαρτησία στην επιλογή πλατφόρμας λόγω των χαρακτηριστικών της python. Τέλος, στους συντονιστές αναπτύχθηκε κομμάτι για τον χειρισμό εξωτερικών εντολών και ερεθισμάτων από περιφερειακά, ώστε να μπορούν να επαναπροσδιορίσουν την διαδρομή του πιλότου με τον οποίο επικοινωνούν. Ειδικά για την περίπτωση του συντονιστή σμήνους, αναπτύχθηκε εφαρμογή η οποία του επιτρέπει την αποστολή και λήψη μηνυμάτων από το υπόλοιπο σμήνος. Τα μηνύματα αυτά μπορεί να είναι σχετικά με την πρόοδο της αποστολής, την κατάσταση των επιμέρους οχημάτων, τον επαναπροσδιορισμό της αποστολής, ακόμα και την ματαίωση της.

4.4 Αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική του συστήματος βασίζεται σε μια απλή κεντρική ιδέα. Έχουμε λοιπόν, έναν πιλότο συνδεδεμένο με έναν συντονιστή σε κάθε αεροσκάφος. Τα δύο εξαρτήματα αυτά συνεργάζονται επικοινωνώντας μεταξύ τους μέσω usb θύρας. Κάθε ένα από τα δύο αυτά εξαρτήματα έχει ένα ξεχωριστό σύνολο καθηκόντων.

Ο πιλότος, είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία με τους κινητήρες, την χειροκίνητη τηλεκατεύθυνση και την διαχείριση της σταθερότητας της πτήσης. Πιο συγκεκριμένα, με ένα σύνολο από αισθητήρες, ο πιλότος καταλαβαίνει την κατάσταση του αεροσκάφους και φροντίζει για την σταθερότητα της πτήσης και την εκτέλεση των σεναρίων πτήσης τα οποία δέχεται μέσω του συντονιστή ή της χειροκίνητης τηλεκατεύθυνσης.

Ο συντονιστής, αναλαμβάνει την επικοινωνία με τον πιλότο, την βάση και τους τυχόν άλλους συντονιστές του σμήνους μας.

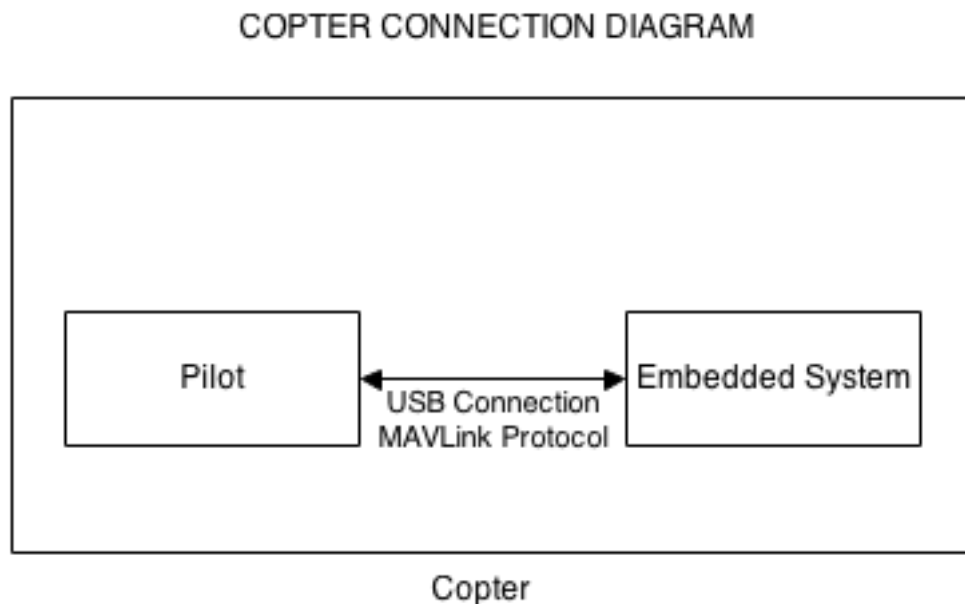
Η επικοινωνία με την βάση επιτυγχάνεται είτε με την ασύρματη wifi επικοινωνία στην περίπτωση που η απόσταση μας το επιτρέπει, είτε απομακρυσμένα μέσω 3G δικτύου. Ενώ η επικοινωνία με την βάση δεν είναι απαραίτητη, μας δίνει παραπάνω έλεγχο πάνω στα αεροσκάφη του σμήνους. Μέσω της βάσης μπορούμε να έχουμε πληροφορίες για κάθε αεροσκάφος χωριστά, καθώς και για την πρόοδο της τρέχουσας αποστολής. Επίσης, μπορούμε ανά πάσα στιγμή να επεμβούμε με μια ενημέρωση του σχεδίου πτήσης, κάποια ειδική εντολή, επιστροφή ενός ή πολλών αεροσκαφών, ακόμα και πλήρη ματαίωση της αποστολής.

Η επικοινωνία με το σμήνος, επιτυγχάνεται μέσω ενός κοινού ασύρματου wifi δικτύου. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και 3G επικοινωνία, αλλά αυτό θα κάνει το σμήνος μας να αποκρίνεται πολύ πιο αργά σε αλλαγές. Ένας από τους συντονιστές αναλαμβάνει τον ρόλο του αρχηγού του σμήνους και συντονίζει την τρέχουσα αποστολή. Η επικοινωνία με το σμήνος έχει κυρίως να κάνει με ανταλλαγή πληροφοριών. Οι πληροφορίες αυτές, μπορεί να είναι σχετικές με:

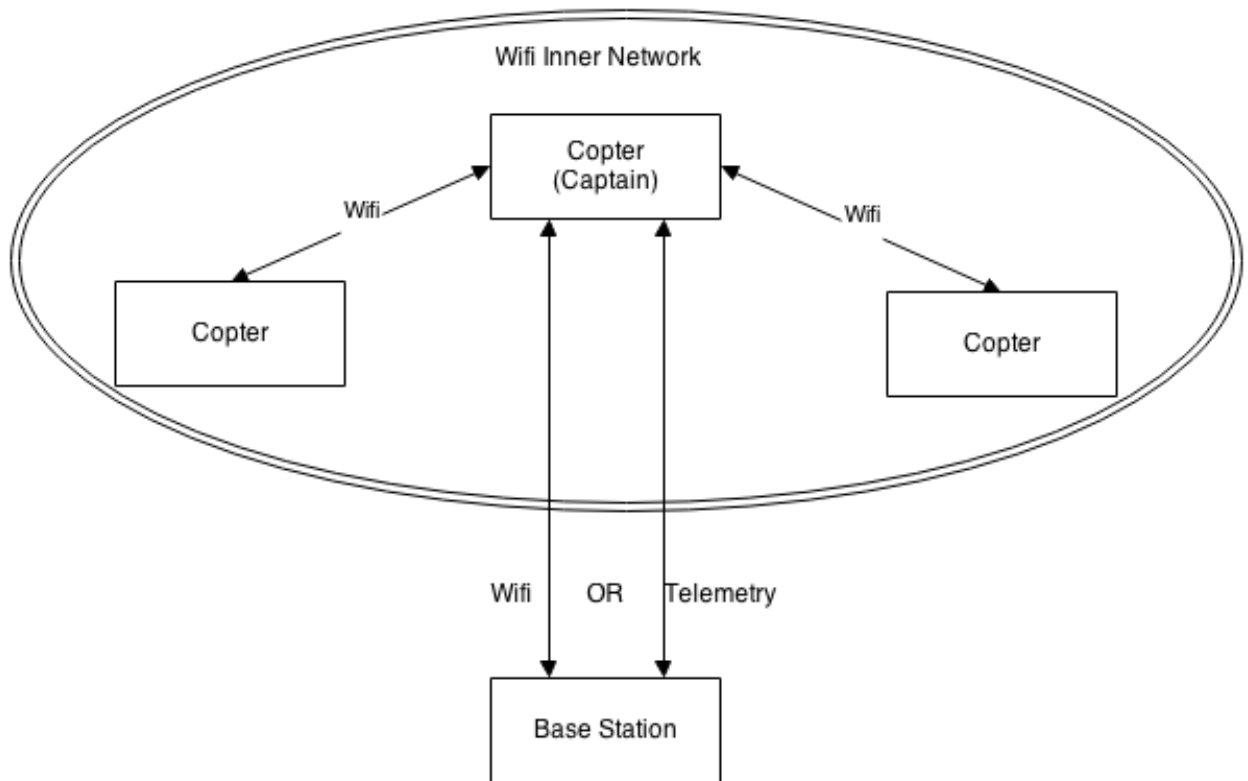
- Κατάσταση αεροσκάφους: όπου ο συντονιστής ενημερώνεται για την κατάσταση των άλλων αεροσκαφών του σμήνους, ή κάποιου σκάφους συγκεκριμένα.
- Κατάσταση αποστολής: Ο συντονιστής ενημερώνεται για την θέση των αεροσκαφών, καθώς και για το στάδιο της αποστολής στο οποίο βρίσκονται
- Ενημέρωση πορείας: Ο συντονιστής αποστέλλει εντολές στα μέλη του σμήνους σχετικά με την αλλαγή της πορείας τους.
- Επιστροφή στην Βάση: Ενημέρωση του σμήνους για ματαίωση αποστολής και επιστροφή στην βάση.
- Άμεση προσγείωση: Σε περίπτωση που προκληθεί κάποια βλάβη η οποία αποτρέπει ένα αεροσκάφος ή το σμήνος να επιστρέψει στην βάση, ο συντονιστής ζητά την άμεση προσγείωση του προβληματικού σκάφους ή ολόκληρου του σμήνους.

Παράλληλα, ο συντονιστής δίνει εντολές προς τον πιλότο με τον οποίο επικοινωνεί. Οι εντολές αυτές μπορεί να είναι είτε εντολές τις οποίες δέχτηκε από τον σταθμό βάσης, είτε εντολές τις οποίες δέχθηκε από κάποιον άλλο συντονιστή, είτε τέλος εντολές τις οποίες θεωρεί πως πρέπει να εκτελεσθούν για την περάτωση της αποστολής (π.χ. αποφυγή σύγκρουσης). Η φύση της ίδιας της εντολής ποικίλει ανάλογα με τον τύπο της. Μπορεί να είναι είτε άμεση αλλαγή της ταχύτητας των κινητήρων, είτε επίτευξη μιας κίνησης, είτε προσθήκη ενός νέου ενδιάμεσου σταθμού (waypoint) στο σχέδιο πτήσης της αποστολής μας. Τέλος αρμοδιότητα του πιλότου είναι η ανάκτηση δεδομένων από την ίδια την πτήση κατά την διάρκειά της, καθώς και η σε πραγματικό χρόνο επεξεργασία των δεδομένων αυτών. (Η χρήση αυτής της δυνατότητας απόκτησης και επεξεργασίας πληροφοριών, φαίνεται σε σχετική εργασία του κ.Αθανασίου Βασίλη, στην οποία βλέπουμε την ανάκτηση εικόνων και την επεξεργασία τους, με σκοπό την δημιουργία 3-διάστατου ανάγλυφου του εδάφους.)

Σχεδιαστικά λοιπόν βλέπουμε πως το σύστημά μας, αποτελείται από 3 μικρότερα υποσυστήματα.



Εικόνα 5: Σύστημα 1: Πιλότος-Συντονιστής



Εικόνα 6: Σύστημα 2 και 3: Επικοινωνία Συντονιστή-Βάσης και επικοινωνία Πολυκοπτήρων (Συντονιστή-Συντονιστή)

Σημαντικό ρόλο, στην εφαρμογή μας, παίζει ένας συντονιστής, ο οποίος αναλαμβάνει τον ρόλο του αρχηγού του σμήνους. Πιο συγκεκριμένα, εκείνος είναι ο συντονιστής που επωμίζεται κυρίως το βάρος της επικοινωνίας με την βάση και την επιμέρους επικοινωνία μεταξύ των μελών του σμήνους.

4.5 Ανάλυση του πρωτοκόλλου *MavLink*

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε την καρδιά της επικοινωνίας μεταξύ πιλότου και συντονιστή, το πρωτόκολλο *Mavlink*.

1 Mavlink Protocol

Βασική θέση στην υλοποίηση της αρχιτεκτονικής μας κατέχει το πρωτόκολλο mavlink. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι αυτό που είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία μέσω της usb θύρας μεταξύ του πιλότου και του συντονιστή μας.

- Τι είναι το Mavlink Protocol;

Το MAVLink ή αλλιώς Micro Air Vehicle Link είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας για μικρά μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Έχει σχεδιαστεί ως μια βιβλιοθήκη μόνο με κεφαλίδα του μηνύματος παράταξης. Χρησιμοποιείται κυρίως για την επικοινωνία μεταξύ ενός επίγειου σταθμού ελέγχου και ενός μη επανδρωμένου οχήματος, καθώς και στην ενδοεπικοινωνία των υποσυστημάτων του οχήματος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση του προσανατολισμού του οχήματος, τη θέση του GPS και την ταχύτητα. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την λήψη εντολών πλοήγησης (είτε απλές κινήσεις είτε συντεταγμένες σημείου σε χάρτη).

Δομή Πακέτου

Field name	Index (Bytes)	Purpose
Start-of-frame	0	Denotes the start of frame transmission (v1.0: 0xFE)
Pay-load-length	1	length of payload
Packet sequence	2	Each component counts up his send sequence. Allows to detect packet loss
System ID	3	Identification of the SENDING system. Allows to differentiate different systems on the same network.
Component ID	4	Identification of the SENDING component. Allows to differentiate different components of the same system, e.g. the IMU and the autopilot.
Message ID	5	Identification of the message - the id defines what the payload “means” and how it should be correctly decoded.

Payload	6 to (n+6)	The data into the message, depends on the message id.
CRC	(n+7) to (n+8)	Check-sum of the entire packet, excluding the packet start sign (LSB to MSB)

- Το πεδίο CRC

Για να διασφαλιστεί η ακεραιότητα του μηνύματος ένα CRC υπολογίζεται για κάθε μήνυμα στα τελευταία δύο bytes . Μια άλλη λειτουργία του πεδίου CRC είναι να εξασφαλιστεί ότι ο αποστολέας και ο παραλήπτης συμφωνούν και οι δύο στο μήνυμα που μεταφέρεται. Υπολογίζεται χρησιμοποιώντας έναν ITU X.25 / SAE AS - 4 κατακερματισμό των byte στο πακέτο, εκτός από την ένδειξη Start- of- Frame (έτσι, 6+n+1 είναι τα bytes που αξιολογούνται, η επιπλέον +1 είναι η αρχική τιμή).

Επιπλέον, μια τιμή σπόρος(αρχική τιμή) επισυνάπτεται στο τέλος των δεδομένων κατά τον υπολογισμό του CRC. Ο σπόρος παράγεται με κάθε νέο μήνυμα του πρωτοκόλλου, και κατακερματίζεται με παρόμοιο τρόπο όπως κάθε πακέτο με βάση τις προδιαγραφές μηνύματος. Συστήματα που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο MAVLink μπορεί να χρησιμοποιούν μια προϋπολογισμένη συστοιχία για το σκοπό αυτό.

Ο αλγόριθμος CRC του MAVLink έχει υλοποιηθεί σε πολλές γλώσσες, όπως η Python και Java.

- Μηνύματα MAVLink

Το φορτίο από τα πακέτα που περιγράφονται παραπάνω είναι MAVLink μηνύματα. Κάθε μήνυμα είναι αναγνωρίσιμο από το πεδίο ID στο πακέτο, και το ωφέλιμο φορτίο περιέχει τα δεδομένα από το μήνυμα. Ένα έγγραφο XML στην πηγή MAVlink έχει τον ορισμό των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα σε αυτό το ωφέλιμο φορτίο.

2 MAVLink Waypoint Protocol

Το MAVLink Waypoint Protocol περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο waypoints αποστέλλονται και να διαβάζονται από ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος. Ο στόχος είναι να εξασφαλιστεί μια σταθερή κατάσταση μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη, στην προκειμένη μεταξύ πιλότου και συντονιστή.

- Επικοινωνία και μηχανή καταστάσεων

Το πρωτόκολλο αποτελείται από διαφορετικούς τύπους συναλλαγών. Κάθε συναλλαγή ολοκληρώνεται με επιτυχία ή αποτυγχάνει με έναν τρόπο που η προηγούμενη κατάσταση του καταλόγου των σημείων αναφοράς (Waypoint) από την πλευρά του παραλήπτη παραμένει αμετάβλητη. Μια συναλλαγή μπορεί να ξεκινήσει με ένα συγκεκριμένο μήνυμα μόνο όταν δεν υπάρχει άλλη συναλλαγή ενεργή μεταξύ των δύο μερών της επικοινωνίας. Αυτό σημαίνει ότι για να ξεκινήσει μια συναλλαγή και τα δύο μέρη της επικοινωνίας πρέπει να είναι σε κατάσταση IDLE. Για να ξεκινήσει μια συναλλαγή, αλλάζει την κατάσταση μιας απλής μηχανής τυχαίων καταστάσεων. Με αυτόν τον τρόπο το πρωτόκολλο μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα .

Μετά από κάθε απεσταλμένο μήνυμα που περιμένει απάντηση, ο αποστολέας ξεκινά ένα χρονόμετρο. Εάν δεν ληφθεί απάντηση μέχρι να περάσει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το μήνυμα αποστέλλεται ξανά. Η νέα αποστολή επαναλαμβάνεται πολλές φορές, αν δεν υπάρξει καμία απάντηση μετά την τελευταία επανάληψη της προσπάθειας και λήξει ο προκαθορισμένος χρόνος αναμονής, η συναλλαγή θεωρείται αποτυχημένη. Ο μηχανισμός επαναποστολής θεωρεί ότι όλα τα εξαρτήματα πρέπει να είναι σε θέση να χειριστούν διπλότυπα μηνύματα.

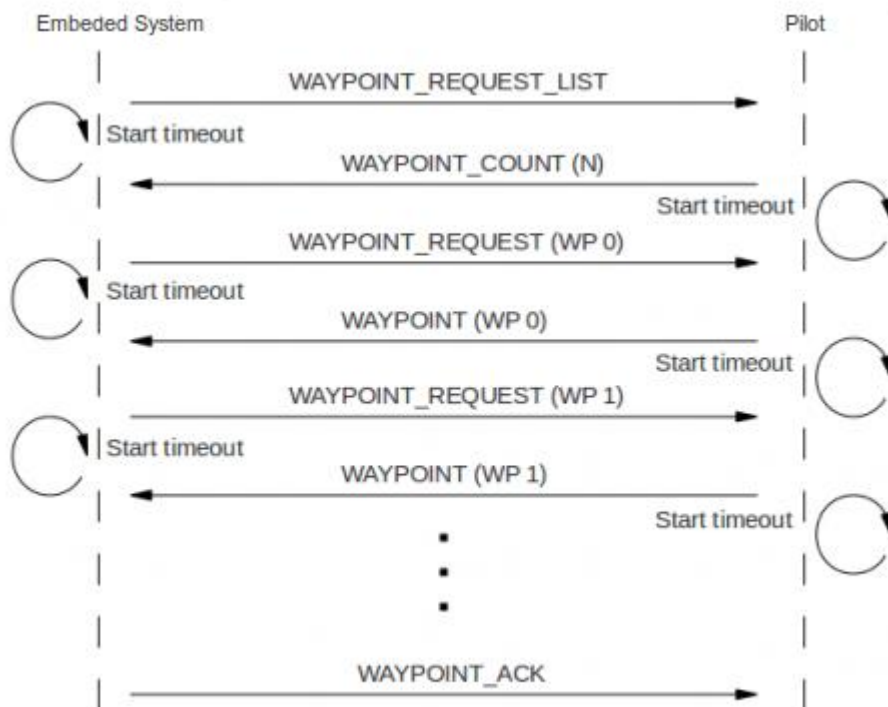
- Ανάγνωση Λίστας σημείων αναφοράς

Για να ανακτηθεί μια λίστα από όλα τα σημεία από έναν πιλότο αποστέλλεται ένα μήνυμα WAYPOINT_REQUEST_LIST από τον συντονιστή προς τον πιλότο. Ο παραλήπτης πιλότος απαντά με ένα μήνυμα WAYPOINT_COUNT δηλώνοντας τον αριθμό των σημείων αναφοράς στον κατάλογο του.

Ο αιτών συντονιστής θα ζητήσει τώρα κάθε σημείο διαδρομής ξεκινώντας με τον αύξοντα αριθμό 0, στέλνοντας ένα μήνυμα WAYPOINT_REQUEST και ο παραλήπτης πιλότος

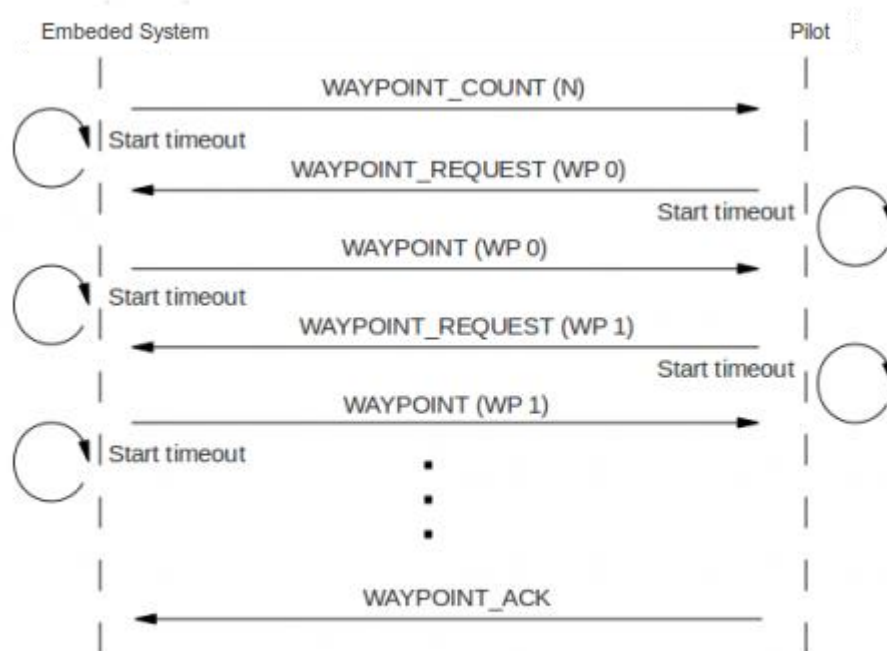
απαντά σε κάθε αίτημα με ένα αντίστοιχο μήνυμα WAYPOINT που περιέχει τα δεδομένα του σημείου αναφοράς.

Όταν το τελευταίο σημείο αναφοράς ληφθεί με επιτυχία ο συντονιστής στέλνει ένα μήνυμα WAYPOINT_ACK στον πιλότο. Αυτό ολοκληρώνει την τρέχουσα συναλλαγή. Παρατηρήστε ότι ο πιλότος πρέπει να δέχεται WAYPOINT_REQUEST μηνύματα για το τελευταίο σημείο μέχρι να πάρει WAYPOINT_ACK ή ένα άλλο μήνυμα που ξεκινά μια διαφορετική συναλλαγή αλλιώς έχουμε λήξη του προ επιλεγμένου χρόνου αναμονής (time out).



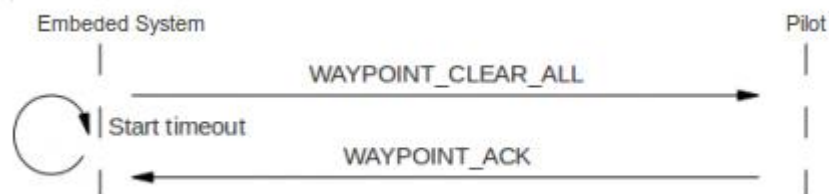
- Εγγραφή στην Λίστα σημείων αναφοράς

Εάν ένας συντονιστής λαμβάνει μηνύματα WAYPOINT χωρίς να εξελίσσεται κάποια συναλλαγή απαντά με ένα μήνυμα WAYPOINT_ACK.



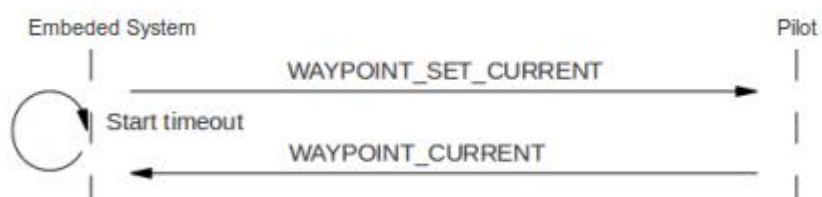
- Καθαρισμός της λίστας σημείων αναφοράς

Για να καθαριστεί ο κατάλογος σημείων αναφοράς ενός πιλότου, αποστέλλουμε ένα μήνυμα `WAYPOINT_CLEAR_ALL` από τον συντονιστή . Αφού εκκαθαριστεί ο κατάλογος σημείων αναφοράς ο πιλότος απαντά στον συντονιστή με ένα μήνυμα `WAYPOINT_ACK` .



- Αλλαγή τρέχοντος σημείου αναφοράς

Για να οριστεί ένα νέο τρέχον ενεργό σημείο αναφοράς για έναν πιλότο, αποστέλλουμε ένα μήνυμα `WAYPOINT_SET_CURRENT` από τον συντονιστή . Αφού αλλάξει το τρέχον σημείο αναφοράς του πιλότου, απαντά με ένα μήνυμα `WAYPOINT_CURRENT` (με το νέο τρέχοντα αριθμό σημείου) στον συντονιστή.



- Άφιξη σε σημείο αναφοράς

Εάν ένας πιλότος ανιχνεύσει την άφιξη του αεροσκάφους σε ένα σημείο αναφοράς, μεταδίδει ένα μήνυμα `WAYPOINT_REACHED`. Δεδομένου ότι αυτή είναι μια εκπομπή προς όλους (broadcast) δεν δέχεται κάποιο ACK μήνυμα ως απάντηση, πράγμα το οποίο σημαίνει

ότι δεν υπάρχει καμία εγγύηση για την λήψη του συγκεκριμένου μηνύματος από τον συντονιστή.

- Επιλογή επόμενου σημείου αναφοράς

Εάν ένας πιλότος επιλέξει ένα σημείο αναφοράς ως νέο του προορισμό, μεταδίδει ένα μήνυμα WAYPOINT_CURRENT. Δεδομένου ότι αυτή είναι μια εκπομπή προς όλους (broadcast) δεν δέχεται κάποιο ACK μήνυμα ως απάντηση, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι δεν υπάρχει καμία εγγύηση για την λήψη του συγκεκριμένου μηνύματος από τον συντονιστή. Συνιστάται το μήνυμα αυτό να σταλεί δύο φορές με μια μικρή ενδιάμεση χρονική καθυστέρηση για να αυξηθεί η πιθανότητα να φτάσει σε όλους τους δέκτες.

Παρατήρηση: Για την Άφιξη σε σημείο αναφοράς και την Επιλογή επόμενου σημείου αναφοράς στην δική μας εφαρμογή δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμη η επανάληψη της αποστολής καθώς όλοι οι δέκτες-συντονιστές βρίσκονται συνδεδεμένοι με τους πιλότους σειριακά μέσω θύρας usb, πράγμα το οποίο ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες να μην ληφθεί κάποιο μήνυμα από τον συντονιστή μας.

5. Πειραματική αξιολόγηση

5.1 *RC override: Πρώτη Προσέγγιση*

Η αρχική σκέψη ήταν το σύστημα μας να αγνοεί πλήρως τις πληροφορίες που λαμβάνει από το gps, και να αλλάζει την πορεία του κάνοντας αλλαγές απευθείας τις τιμές στα κανάλια εισόδου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα της αλλαγή της κατεύθυνσης του αεροσκάφους. Επηρεάζοντας λοιπόν τα rc channels, μπορούμε άμεσα να πούμε στο όχημα να εκτελέσει αλλαγή είτε στο throttle, είτε στο yaw, είτε στο pitch, και γενικότερα να επηρεάσουμε την συμπεριφορά του με τον ίδιο τρόπο που θα γινόταν από το χειριστήριο. Το εν λόγω εγχείρημα πραγματοποιήθηκε σε μια σειρά δοκιμών σε εσωτερικό χώρο. Τα αποτελέσματα όμως, δεν ήταν αυτά που θα θέλαμε από άποψη ακρίβειας. Πιο συγκεκριμένα, ενώ μπορούμε να αλλάξουμε την κίνηση του αεροσκάφους, παρουσιάστηκαν δύο μεγάλα μειονεκτήματα. Αρχικά, οι αλλαγές που έπρεπε να κάνουμε δεν μπορούσαν να αυτοματοποιηθούν για παραπάνω από έναν πιλότους, ακόμα και αν αυτοί τοποθετούνταν στο ίδιο όχημα. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε φορά που κάναμε calibrate τον πιλότο, έπρεπε να εξετασθούν προσεκτικά οι τιμές των rc channels και μετά από σειρές δοκιμών να προσδιοριστεί ξανά από την αρχή ο ρυθμός μεταβολής τους, για να επιτύχουμε κάποια συγκεκριμένη κίνηση. Το δεύτερο πρόβλημα το οποίο εντοπίστηκε είναι πως για να κάνουμε μια κίνηση με μεγάλη ακρίβεια, έπρεπε να θυσιάσουμε μεγάλη υπολογιστική ισχύ από μεριάς συντονιστή για να ελέγχουμε συνεχώς τους αισθητήρες του πιλότου οι οποίοι μας πληροφορούν για το ύψος, την κλίση, την επιτάχυνση (σε 3 άξονες) καθώς και την ταχύτητα του αεροσκάφους. Το μόνο πείραμα το οποίο έγινε με αυτή την μέθοδο πλοήγησης, ήταν ένα πείραμα το οποίο έλαβε χώρα σε εξωτερικό χώρο και είχε ως στόχο την αποφυγή εμποδίων τα οποία ήταν εξοπλισμένα με ασύρματους πομπούς και εντοπίζονταν μέσω της ισχύος του σήματος που εξέπεμπαν. Το συγκεκριμένο πείραμα, κατέληξε στην δημοσίευση η οποία παρατίθεται παρακάτω.

[UAV positional synergy using Wi-Fi RSSI](#)

Συμπερασματικά, αν και η συγκεκριμένη προσέγγιση έφερε τα επιθυμητά αποτελέσματα σε ελεγχόμενο περιβάλλον, λόγω της πολυπλοκότητας της και του προβλήματος στην μεταφερισιμότητα δε δοκιμάστηκε σε εξωτερικές πτήσεις.

5.2 GPS controlled Flight

Για να πετάξουμε σε εξωτερικό χώρο λοιπόν, καταλήξαμε στο να χρησιμοποιήσουμε την λύση του gps. Με αυτό τον τρόπο, μεταφέρουμε το πρόβλημα σταθερότητας της πτήσης στον πιλότο, και αφήνουμε στον συντονιστή την διαχείριση της αποστολής. Για την εκτέλεση αυτών των δοκιμών, επιλέχθηκε αρχικά η δοκιμή των επιμέρους συστημάτων χωριστά, για να διασφαλιστεί όσο το δυνατόν καλύτερα η ακεραιότητα του εξοπλισμού. Έτσι τα επιμέρους τμήματα που δοκιμάστηκαν είναι:

- Ανάλυση Σχεδίου Πτήσης Από τον Πιλότο

Σε αυτού του είδους τις δοκιμές φορτώνουμε στον πιλότο σχέδια πτήσης από την βάση, απογειώναμε το αεροσκάφος χειροκίνητα, και στην συνέχεια αλλάζαμε το είδος πτήσης σε αυτόματη πλοήγηση. Με αυτό τον τρόπο λοιπόν, είδαμε τον πιλότο να αναλαμβάνει ένα σχέδιο πτήσης ενώ ήδη βρίσκεται στον αέρα, να το φέρει εις πέρας. Μετά το τέλος της αποστολής, γυρνούσαμε ξανά σε χειροκίνητη λειτουργία και προσγειώναμε το αεροσκάφος χειροκίνητα.

- Αυτόματη Προσγείωση

Σε αυτή την κατηγορία δοκιμών, απογειώναμε χειροκίνητα το αεροσκάφος, και στην συνέχεια του δίνουμε μια εντολή προσγείωσης στο τρέχον σημείο. Με αυτό τον τρόπο βλέπαμε το επόμενο βήμα για την ανάληψη αποστολής, το οποίο αποτελεί την προσγείωση του αεροσκάφους.

- Επιστροφή στην βάση και προσγείωση

Μετά τις επιτυχείς δοκιμές ανάληψης σχεδίου πτήσης και προσγείωσης, το επόμενο βήμα ήταν να απογειώσουμε τον πιλότο, να τον απομακρύνουμε από το σημείο εκκίνησης της πτήσης, και να του δώσουμε εντολή για επιστροφή στο σημείο εκκίνησης και αυτόματη προσγείωση.

- Αυτόματη απογείωση, εκτέλεση σχεδίου πτήσης, επιστροφή στην βάση και προσγείωση

Μετά τις προηγούμενες δοκιμές, είμασταν πλέον σίγουροι για την δυνατότητά μας να φέρουμε το αεροσκάφος πίσω στην βάση όταν χρειαστεί, ακόμα και να το απογειώσουμε αναγκαστικά όπου βρισκόταν αν χρειαζόταν. Έτσι κατασκευάστηκαν σχέδια πτήσης σε περιοχές εντός του χώρου του πολυτεχνείου, τα οποία αποτελούνται από αυτόματη απογείωση, εκτέλεση αποστολής περνώντας από 3 σημεία, και είτε επιστροφή στην βάση και προσγείωση, είτε προσγείωση στο τελευταίο σημείο της αποστολής.

Μετά τις τελευταίες δοκιμές, είδαμε πως η λειτουργία του πιλότου είναι πλήρης και χωρίς προβλήματα, οπότε και προχωρήσαμε σε δοκιμές σχετικές με τους συντονιστές.

- Επικοινωνία συντονιστή-πιλότου

Σε αυτές τις δοκιμές χρησιμοποιήθηκε κομμάτι της γνώσης που αποκτήθηκε από τις δοκιμές του κομματιού 5.1, με μια βασική αλλαγή. Πλέον, αντί να επηρεάζουμε τα rc channels, στέλναμε κατευθείαν σημεία με συντεταγμένες gps τα οποία αναλαμβάνονταν σαν αποστολές από τον πιλότο. Αρχικά η αποστολή γινόταν σημείο-σημείο. Στην συνέχεια στέλνονταν ολόκληρες αποστολές μαζί με οδηγίες απογείωσης και προσγείωσης.

- Επικοινωνία συντονιστή-σταθμού βάσης

Για να μπορέσουν να γίνουν πτήσεις με τον συντονιστή, έπρεπε να έχουμε έλεγχο της κατάστασης μέσω ενός κεντρικού σταθμού βάσης. Έτσι μέσα στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με βάση τις οποίες είδαμε την επικοινωνία σταθμού-συντονιστή. Στις δοκιμές αυτές, κάναμε αλλαγή του σχεδίου πτήσης μετά την απογείωση, σενάρια άμεσης προσγείωσης, καθώς και σενάρια επιστροφής στην βάση.

- Επικοινωνία συντονιστή-συντονιστή

Σε αυτές τις δοκιμές, αποστέλλαμε σχέδια πτήσης από έναν συντονιστή σε έναν άλλο, και παρατηρούσαμε τις αλλαγές των σχεδίων πτήσης που «έβλεπε» ο πιλότος που ήταν συνδεδεμένος με τον δέκτη συντονιστή μας.

5.3 Σύνθετες δοκιμές και Failsafe

Μετά το πέρας των αρχικών δοκιμών, εκτελέστηκαν δοκιμές οι οποίες συνδύαζαν όλα τα επιμέρους σενάρια που αναφέρθηκαν.

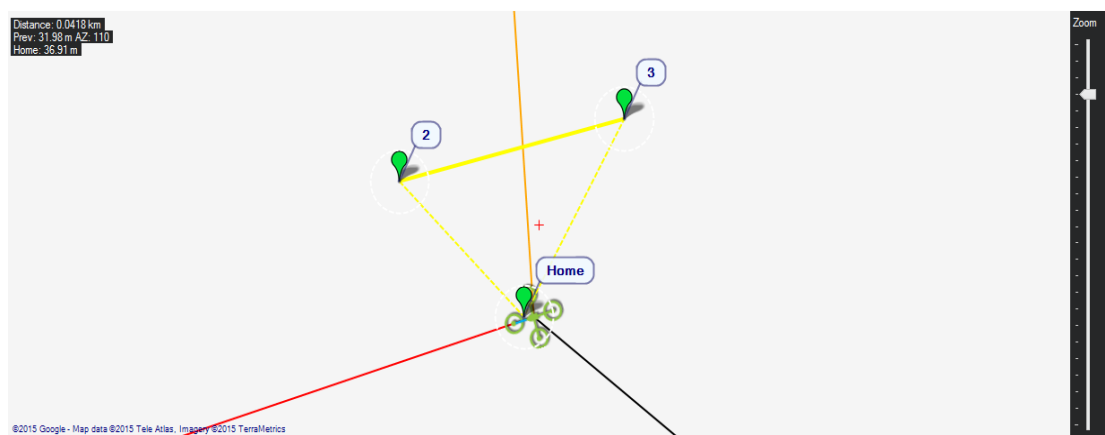
Η πιο σημαντική ίσως δοκιμή, είναι εκείνη της πλήρους αλλαγής σχεδίου πτήσης, ενώ το αεροσκάφος βρίσκεται ήδη στον αέρα. Στην συγκεκριμένη δοκιμή ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία.

Αρχικά, δώσαμε ένα πρώτο σχέδιο πτήσης στον πιλότο:

Waypoints														
WP Radius		Loiter Radius		Default Alt		<input type="checkbox"/> Verify Height		Add Below		Alt Warn		<input type="checkbox"/> Spline		
2		#5		5						0				
	Command	P1	P2	P3	P4	Lat	Lon	Alt	Delete	Up	Down	Grad %	Dist	AZ
1	TAKEOFF	0	0	0	0	0	0	5	X			0	0	0
2	WAYPOINT	0	0	0	0	35.531284	24.069258	5	X			41.9	11.9	315
3	WAYPOINT	0	0	0	0	35.531319	24.069426	5	X			0.0	15.7	76
4	RETURN_T...	0	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0

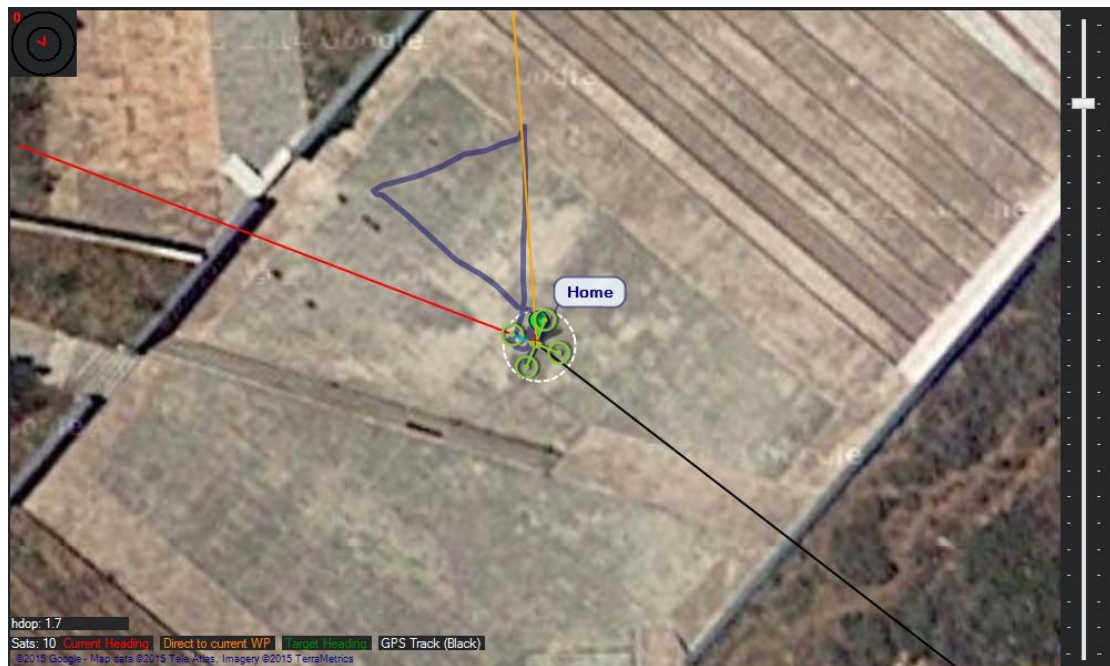
Εικόνα 7: Waypoints Αρχικού σχεδίου πτήσης

Το οποίο σχηματικά πάνω σε χάρτη, φαίνεται ως εξής:



Εικόνα 8: Σχηματική απεικόνιση των Waypoints του αρχικού σχεδίου πτήσης

Εκτελέσαμε το συγκεκριμένο σχέδιο πτήσης, και καταγράψαμε σε χάρτη τα αποτελέσματα της πτήσης. Η πτήση παρουσιάζεται όπως καταγράφηκε στο επόμενο γράφημα:



Εικόνα 9: Απεικόνιση στον χάρτη των Waypoints του αρχικού σχεδίου πτήσης

Έπειτα, εκτελούμε το ίδιο σενάριο πτήσης με την εξής παρέμβαση. Κατά την διάρκεια που το αεροσκάφος κατευθύνεται από το waypoint 2 προς το waypoint 3, δέχεται 1 μήνυμα αλλαγής του σχεδίου πτήσης. Πιο συγκεκριμένα δέχεται ένα μήνυμα το οποίο προσθέτει ένα ακόμα waypoint μετά το waypoint 3 και πριν την επιστροφή στην βάση για προσγείωση. Το μήνυμα αυτό στάλθηκε προς τον συντονιστή από σταθμό βάσης. Δεδομένου όμως πως η επικοινωνία με τον σταθμό βάσης, λειτουργεί με το ίδιο ακριβώς πρωτόκολλο που λειτουργεί και η επικοινωνία μεταξύ συντονιστών, το συγκεκριμένο μήνυμα θα μπορούσε να έχει σταλεί από έναν άλλο συντονιστή. Έτσι, το σχέδιο πτήσης το οποίο διαβάζει ο πιλότος καταλήγει σε αυτό:

Waypoints

WP Radius2

Loiter Radius45

Default Alt5

☐ Verify Height

Add Below

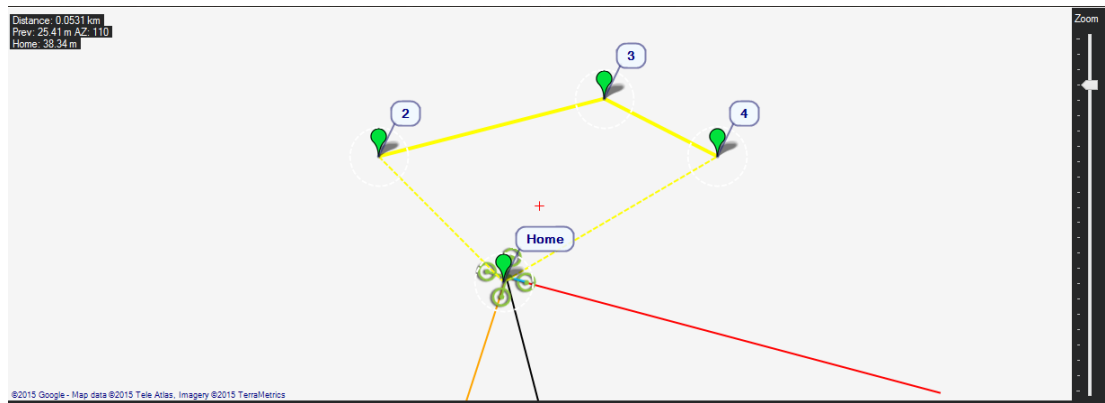
Alt Warn0

☐ Spline

	Command	P1	P2	P3	P4	Lat	Lon	Alt	Delete	Up	Down	Grad %	Dist	AZ
▶ 1	TAKEOFF ▾	0	0	0	0	0	0	5	X			0	0	0
2	WAYPOINT ▾	0	0	0	0	35.531284	24.069258	5	X			41.9	11.9	315
3	WAYPOINT ▾	0	0	0	0	35.531319	24.069426	5	X			0.0	15.7	76
4	WAYPOINT ▾	0	0	0	0	35.531284	24.069511	100	X			1102.1	8.6	117
5	RETURN_T... ▾	0	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0

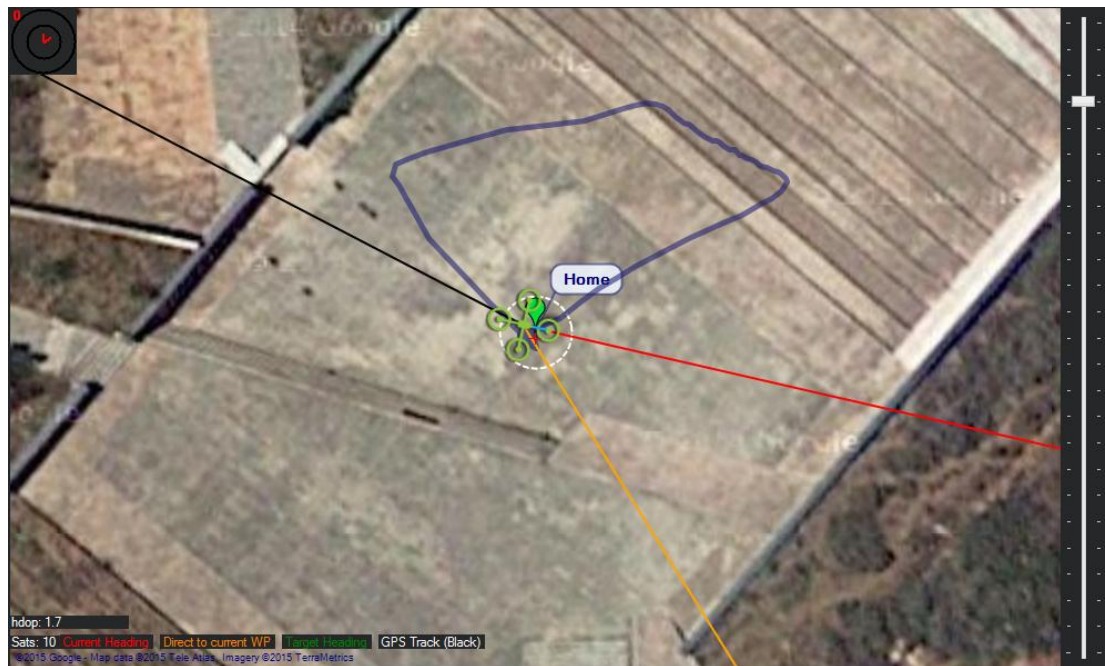
Εικόνα 10: Waypoints σχεδίου πτήσης μετά τις αλλαγές κατά την πτήση

Και γραφικά αποτυπώνεται όπως εικονίζεται παρακάτω:



Εικόνα 11: Σχηματική απεικόνιση των Waypoints του σχεδίου πτήσης μετά τις αλλαγές κατά την πτήση

Έτσι λοιπόν, το αποτύπωμα της πτήσης το οποίο εκτελέστηκε από τον πιλότο και καταγράφηκε, αποτυπώνεται σε χάρτη ως εξής:



Εικόνα 12: Απεικόνιση στον χάρτη των Waypoints του σχεδίου πτήσης μετά τις αλλαγές κατά την πτήση

Σε αυτή την τελική δοκιμή λοιπόν, βλέπουμε ένα σενάριο το οποίο χρησιμοποιεί σχεδόν όλες τις δυνατότητες του συστήματος μας.

Παρά το γεγονός ότι η συγκεκριμένη δοκιμή πέτυχε τον σκοπό της, παρατηρήθηκε ότι δεν λαμβάναμε υπόψιν κινδύνους οι οποίοι είτε είχαν να κάνουν με την ενέργεια (εξάντληση μπαταρίας εν ώρα πτήσης) είτε με την τηλεκατεύθυνση (βλάβη στην τηλεκατεύθυνση η οποία άλλαξε την πτήση από αυτόματη σε χειροκίνητη και κατέληξε σε πτώση του

αεροσκάφους). Εκεί κατέστη σαφές πως πρέπει να δημιουργηθεί μια σειρά από εντολές, οι οποίες θα προσπαθούν να προλάβουν προβλήματα τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφή του αεροσκάφους. Αρχικά δόθηκε προτεραιότητα στις εντολές του συντονιστή, έναντι της τηλεκατεύθυνσης. Στην συνέχεια, μετρώντας την τάση της μπαταρίας και προσδιορίζοντας όρια λειτουργίας, δόθηκε εντολή στον πιλότο η οποία τον αναγκάζει να γυρίσει στην βάση αν η μπαταρία πέσει κάτω από μια συγκεκριμένη τάση (πρώτο κατώφλι). Αν κατά την διάρκεια επιστροφής στην βάση η μπαταρία πέσει ακόμα πιο χαμηλά (δεύτερο κατώφλι) τότε ο πιλότος σταματάει την επιστροφή στην βάση και προσγειώνεται στο σημείο που βρίσκεται εκείνη την στιγμή. Επίσης, για να έχουμε πάντα έλεγχο της κατάστασης, υπάρχει διαθέσιμη επιλογή που επιστρέφει το αεροσκάφος στην βάση και το προσγειώνει, αν χαθεί η επικοινωνία με την τηλεκατεύθυνση, τον σταθμό βάσης ή τον συντονιστή. Τέλος, αν χαθεί η επικοινωνία με δορυφόρους gps, ο πιλότος ξεκινά να προσγειώνει το σκάφος στην τρέχουσα θέση. Επίσης πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για αναγκαστική προσγείωση (αν και ακούσια). Στην περίπτωση που η μπαταρία πέσει τόσο χαμηλά ώστε δεν μπορεί να τους συντηρήσει όλους, αρχίζουν να κλείνουν διαδοχικά. Η μόνη εμπειρία στο συγκεκριμένο θέμα ήταν με τα τετρακόπτερα, στα οποία παρατηρήθηκε πως «χάνοντας» έναν κινητήρα μπορούν να προσγειωθούν χωρίς υλικές ζημιές. Δυστυχώς τα αποτελέσματα δεν μπόρεσαν να επαληθευθούν στα εξακόπτερα.

6. Προβλήματα – Προτάσεις

6.1 Στόχος-Σκοπός-Μεθοδολογία

Η έρευνα και υλοποίηση καινοτόμων προσεγγίσεων σχετικών με την επικοινωνία και αυτονομία μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η εξάρτησή του από το χρήστη αποτελούσε τον κύριο στόχο της διπλωματικής εργασίας.

Για την επίτευξη του γενικού αυτού στόχου, τέθηκαν επιμέρους στόχοι (objectives) για τη μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί. Συγκεκριμένα, η εργασία κλήθηκε αρχικά να απαντήσει στα εξής ερωτήματα:

1. Είναι δυνατή η κατάργηση του επίγειου σταθμού βάσης και η ενσωμάτωσή του επί του οχήματος;

Για την απάντηση στην πρώτη ερώτηση την ενσωμάτωση δηλαδή στο όχημα του σταθμού βάσης (Σκοπός 1) η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν:

- Ενσωμάτωση του περιβάλλοντος του προγραμματιστή πτήσης (mission planner) σε ενσωματωμένο σύστημα με βάση το embedded linux,
 - Υλοποίηση σε Python του πρωτοκόλλου Mavlink το οποίο επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ πιλότου και συντονιστή,
 - Εδραίωση της επικοινωνίας πιλότου - συντονιστή
 - Αντιστοίχιση των εντολών του Mavlink σε λειτουργίες του πιλότου που σχετίζονται με την κίνηση του αεροσκάφους.
2. Είναι δυνατή η κατάργηση της απαίτησης ύπαρξης σήματος τηλεκατεύθυνσης μέσω χειριστηρίου και η πλοήγηση του οχήματος χωρίς οπτική επαφή;

Η επίτευξη του ελέγχου του οχήματος χωρίς τηλεκατεύθυνση και επομένως χωρίς να απαιτείται η οπτική επαφή με το αεροσκάφος (Σκοπός 2) πραγματοποιήθηκε εκτελώντας τα ακόλουθα βήματα:

- Δημιουργία κώδικα στο λειτουργικό του πιλότου το οποίο επεμβαίνει τις γενικές οδηγίες του πιλότου και παρακάμπτει , όταν ενεργοποιηθεί, τους ελέγχους που

κάνει ο πιλότος σχετικά με την ισχύ σήματος και την επαφή πομπού-δέκτη του χειριστηρίου,

- Εφαρμογή, στον συντονιστή, πρωτοκόλλων επικοινωνίας με το Διαδίκτυο (π.χ. Wi-Fi, 3G) ώστε η πρόσβαση στο όχημα να γίνεται χωρίς να είναι απαραίτητη η κοινή τοπική ζεύξη μεταξύ συντονιστή και επίγειου σταθμού βάσης,
- Έλεγχος και επιβεβαίωση της πλήρους ενσωματωμένης επαφής με το μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα.

Κατά την πορεία υλοποίησης της εργασίας και δεδομένου ότι τα αρχικά δεδομένα ήταν αρκούτως ικανοποιητικά, αποφασίστηκε να απαντηθεί και ένα επιπλέον ερώτημα:

3. Μπορεί η προτεινόμενη αρχιτεκτονική να χρησιμοποιηθεί για τον αποτελεσματικότερο συντονισμό σμήνους οχημάτων;

Ο συντονισμός σμήνους οχημάτων (ιπτάμενων και μη) αποτελεί αναδυόμενο αντικείμενο έρευνας και στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας διερευνήθηκε εάν η χρησιμοποίηση ενσωματωμένων καταναμετημένων συστημάτων μπορεί να αποδειχθεί αποτελεσματική στην αυτοματοποιημένη τροποποίηση των σχεδίων πτήσης και συνεπώς στον αποτελεσματικότερο συντονισμό του σμήνους (Σκοπός 3). Υλοποιήθηκαν οι εξής ενέργειες:

- Εγκατάσταση τοπικού δικτύου ασύρματης ζεύξης μεταξύ των συντονιστών προκειμένου να καταστεί δυνατή η ανταλλαγή σημαντικών πληροφοριών που αφορούν είτε οδηγίες για την αλλαγή της πτήσης είτε μεταφορά δεδομένων προς επεξεργασία και αποστολή στον επίγειο σταθμό βάσης (εάν υπάρχει),
- Χρησιμοποίηση του πρωτοκόλλου ssh καθώς με αυτό διασφαλίζεται, στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό, η ασφαλής επικοινωνία και μεταφορά δεδομένων μεταξύ συσκευών με χρήση κοινού δικτύου.

6.2 Προβλήματα κατά την υλοποίηση

Η επιλογή της αρχιτεκτονικής που οδήγησε τελικά στην επίτευξη των κύριων σκοπών της εργασίας δεν ήταν μια απλή διαδικασία αλλά χρειάζεται να γίνει αρκετές φορές ο επαναπροσδιορισμός της και εξαρχής σχεδίαση των τμημάτων hardware και λογισμικού

του συστήματος. Ιδιαίτερη δυσκολία προκάλεσε η εύρεση του τρόπου επίτευξης της αλλαγής της κίνησης του οχήματος ενώ κατέστη επίσης απαραίτητη η αντιμετώπιση ασυμβατότητας μεταξύ στοιχείων hardware και software του συστήματος.

1 Τροποποίηση κίνησης αεροσκάφους

Για την τροποποίηση της κίνησης του αεροσκάφους αρχικά εξετάστηκε η άμεση επιρροή, από τον συντονιστή, του ρεύματος που διέρχεται της εξόδου και οδεύει προς τα μοτέρ. Η διαδικασία αυτή δεν έδωσε κανένα αποτέλεσμα και κρίθηκε ανεπαρκής.

Στη συνέχεια ακολουθήθηκε διαφορετική προσέγγιση. Συγκριμένα, η ιδέα ήταν να γίνει προσομοίωση, από τον συντονιστή, των σημάτων που στέλνονται από το χειριστήριο δηλαδή να επηρεάζεται η είσοδος. Η λύση αυτή είχε καλύτερα αποτελέσματα καθώς επιτεύχθηκε πλήρης έλεγχος του οχήματος. Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή εμφάνισε και μειονεκτήματα τα οποία σχετίζονταν κυρίως με την "προσαρμοστικότητα" αλλά και την επίδρασή της σε υπολογιστική ισχύ. Αναλυτικότερα, για κάθε πιλότο απαιτείται να γίνεται διαφορετική πειραματική μελέτη των τιμών που δέχεται στην είσοδο και με βάση αυτές να προσαρμοστεί ανάλογα ο χειρισμός του οχήματος. Επίσης, σχετικά με την υπολογιστική ισχύ, για να είναι αποτελεσματικός ο χειρισμός από την συγκεκριμένη μέθοδο, πρέπει να γίνονται πολλές μικρές διορθώσεις και έλεγχοι των επιμέρους αισθητήρων.

Η τρίτη λύση που εξετάστηκε και τελικά ενσωματώθηκε στην τελική αρχιτεκτονική ήταν η ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης της πλοήγησης με χρήση ενδιάμεσων σημείων (waypoints) στους πιλότους. Ο εντοπισμός της θέσης του οχήματος γίνεται χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες που δίνει το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού (GPS-Global Positioning System) ενώ η κατεύθυνση που πρέπει να ακολουθήσει το όχημα καθορίζεται με βάση την πυξίδα. Και αυτή η λύση παρουσίασε διάφορα προβλήματα κατά την υλοποίησή της:

- Η πυξίδα πρέπει να ρυθμιστεί με τέτοιο τρόπο ώστε τα εξαγόμενα δεδομένα να είναι συμβατά με αυτά που παρέχονται από το σύστημα GPS,
- Οι πιλότοι που ήταν διαθέσιμοι δεν υποστηρίζουν το σενάριο κίνησης του οχήματος με αποστολή waypoints και πραγματοποίησης της πτήσης με βάση αυτά τα ενδιάμεσα σημεία ενώ δεν υποστήριζαν και το πρωτόκολλο επικοινωνίας Mavlink. Επίσης, το firmware που είχαν (MultiWii) δεν υποστήριζε automatic flight mode,

- Οι πιλότοι δεν είχαν προδιαγραφές (documentation) αναφορικά με το είδος του βαρομέτρου που φέρουν, τις πυξίδες που χρησιμοποιούν, πως είναι αυτά συνδεδεμένα μεταξύ τους, κτλ.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων δημιουργήθηκε κώδικας με βάση το MegaPirateNG open source project προκειμένου να είναι δυνατή η υποστήριξη του automatic flight mode. Ο κώδικας αυτός δημιουργήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η παραμετροποίησή του με βάση κάποια βασικά στοιχεία ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιοδήποτε πιλότο. Η απουσία τεκμηρίωσης των προδιαγραφών των διαθέσιμων πιλότων αντιμετωπίστηκε με πειραματική επιβεβαίωση και έλεγχο (pin by pin) του πιλότου και παράλληλη συγγραφή του κώδικα.

Ωστόσο, η δημιουργία κώδικα με βάση το MegaPirateNG δημιούργησε νέο πρόβλημα καθώς δεν ήταν συμβατό με την πλατφόρμα Arduino.

2 Συμβατότητα Arduino – MegaPirateNG

Η ασυμβατότητα Arduino - MegaPirateNG οδήγησε στη δημιουργία σφαλμάτων λάθους (error messages) είτε κατά τη δημιουργία του εκτελέσιμου κώδικα είτε όταν αυτός έπρεπε να μεταφορτωθεί στη συσκευή (Arduino).

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού χρησιμοποιήθηκε η έκδοση Arduino 1.0.3 για λόγους συμβατότητας με τις βιβλιοθήκες που χρησιμοποιούνται από το MegaPirateNG. Ωστόσο, η συγκεκριμένη έκδοση διαφέρει από την επίσημη έκδοση και προκειμένου να καταστεί δυνατή η παραγωγή εκτελέσιμου κώδικα και μεταφόρτωσή του στη συσκευή έπρεπε να αντικατασταθεί το αρχείο pde.jar.

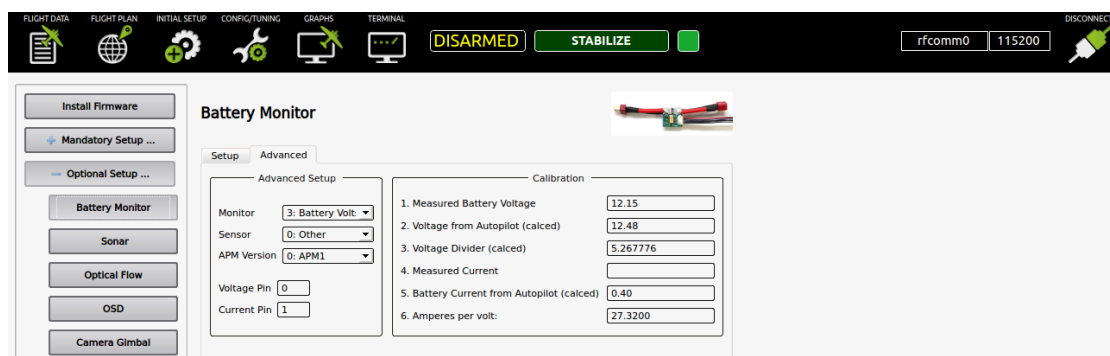
Έτσι, δημιουργήθηκε ένα νέο αρχείο, με το ίδιο όνομα, το οποίο πλέον παρέχει οδηγίες σύνδεσης για επιπλέον βιβλιοθήκες και αναγνώρισης του MegaPirateNG ως επίσημης πλατφόρμας του Arduino framework. Ουσιαστικά δηλαδή παραμετροποιήθηκε η πλατφόρμα Arduino ώστε να δουλεύει με τις διαθέσιμες συσκευές και κώδικα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Επίσης, η έκδοση 1.0.3 του Arduino παρουσιάζει πρόβλημα και πολλές φορές αδυνατεί να ολοκληρώσει την εγκατάσταση του νέου λογισμικού. Η επίλυση του προβλήματος αυτού

έγινε με αντικατάσταση της γραμμής `#define BOOTLOADER_BUGFIX "234fs34567hf"` που υπάρχει στο αρχείο `APM_Config.h` σε `#define BOOTLOADER_BUGFIX "234fs345hsf3"`.

Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητη η παροχή οδηγιών σε πιθανούς μελλοντικούς χρήστες του συστήματος σε αντικείμενα που αντιμετωπίστηκαν στην εργασία αυτή και άπτονται του λογισμικού και της πλατφόρμας που υλοποιήθηκε:

1. **Εξωτερική πυξίδα.** Στην περίπτωση χρήσης εξωτερικής πυξίδας, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο αρχείο `libraries\AP_InertialSensor\AP_InertialSensor_MPU6000_I2C.cpp`. Στο αρχείο αυτό, πρέπει η γραμμή `// #define DISABLE_INTERNAL_MAG`, να μην είναι σε κατάσταση σχολίου, ώστε να γίνει χρήση της εξωτερικής πυξίδας που το σύστημα διαθέτει αντί για την εσωτερική,
2. **Εξωτερικός μετρητής τάσης μπαταρίας.** Εάν χρησιμοποιηθεί εξωτερικός μετρητής τάσης για την μπαταρία, τότε ο μετρητής αυτός συνδέεται στο pin A1 και στη συνέχεια, παραμετροποιείται το cross-compiled Mission Planner του συντονιστή όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 13. Οι τιμές των παραμέτρων του cross-compiled mission planner του συντονιστή σε περίπτωση χρήσης εξωτερικού μετρητή τάσης.

3. **Τηλεκατεύθυνση.** Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο είδος και την συνδεσμολογία της τηλεκατεύθυνσης, αν και όταν αυτή χρησιμοποιείται. Εδώ, υπάρχουν 2 επιλογές: το Serial PPM και το Regular PWM. Στην περίπτωση του Serial PPM το σήμα του χειριστηρίου τοποθετείται στο pin A8, ενώ στην περίπτωση του Regular PWM τα σήματα του χειριστηρίου τοποθετούνται στα pins A8-A15. Για την επιλογή του Regular PWM είδους εισόδου, χρειάζεται να αλλαχθεί η γραμμή `#define SERIAL_PPM SERIAL_PPM_ENABLED` σε `#define SERIAL_PPM`

SERIAL_PPM_DISABLED' στο αρχείο 'libraries\AP_HAL_MPNG\RCInput_MPNG.cpp'. Στο ίδιο αρχείο, πρέπει επίσης να προσδιοριστεί η σειρά των καναλιών εισόδου, με βάση το είδος και την μορφή του πιλότου. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός πιλότου με μορφή MultiWii, η γραμμή '#define RC_MAPPING RC_MAP_STANDARD' αλλάζει σε '#define RC_MAPPING RC_MAP_STANDARD'. Οι διαθέσιμες επιλογές οι οποίες παρέχονται, είναι οι :

- RC_MAP_STANDARD 1,
- RC_MAP_GRAUPNER 2,
- RC_MAP_HITEC 3,
- RC_MAP_MULTIWII 4,
- RC_MAP_JR 5

Οι επιλογές αυτές καθορίστηκαν από τις διαθέσιμες μορφές πιλότων οι οποίοι ερευνήθηκαν κατά τον προσδιορισμό των απαιτήσεων του συστήματος.

4. Κατά το τελευταίο στάδιο πριν το ιπτάμενο όχημα είναι έτοιμο να δεχθεί εντολές για έναρξη της πτήσης παρατηρήθηκε πως πρέπει πρώτα να έχουν προσδιοριστεί με μεγάλη ακρίβεια τα όρια της πυξίδας, καθώς αν ο πιλότος αντιλαμβάνεται μεγάλες αλλαγές, ενώ βρίσκεται σε στάση, θεωρεί πως η πτήση είναι μη ασφαλής και δεν επιτρέπει στο όχημα να οπλίσει.

6.3 Συμπεράσματα

Τα κυριότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την πραγματοποίηση της εργασίας αυτής είναι τα εξής:

- ✓ η αντικατάσταση του επίγειου σταθμού βάσης με ενσωματωμένο σύστημα που θα βρίσκεται επί του μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος αποτελεί μια τεχνικά εφικτή και οικονομική εναλλακτική,
- ✓ η αντικατάσταση του χειριστηρίου και της τηλεκατεύθυνσης διατηρώντας όμως τα ίδια επίπεδα ασφαλείας για την πτήση, μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση της αποτελεσματικότητάς της πτήσης καθώς αυξάνεται η απόσταση μεταξύ χρήστη-ιπτάμενου οχήματος,
- ✓ η τοποθέτηση ενσωματωμένων συστημάτων επί του ιπτάμενου οχήματος ανέδειξε τη δυνατότητα καλύτερου συντονισμού μεταξύ των μελών σμήνους τέτοιων

οχημάτων μέσω της ενίσχυσης της αυτονομίας και αυτοματοποίησης της διαδικασίας λήψης αποφάσεων,

- ✓ η συνεργασία για την κατανομή εργασίας αλλά και της επεξεργασίας των δεδομένων μεταξύ των ενσωματωμένων συστημάτων που υπάρχουν σε κάθε μέλος σμήνους ιπτάμενων οχημάτων συνιστά ένα κατανεμημένο ενσωματωμένο σύστημα το οποίο και έχει χρήζει περαιτέρω διερεύνησης για την βελτιστοποίηση της απόδοσής του σε εφαρμογές UAV,
- ✓ η γνώση προγραμματισμού και η διερεύνηση διαφόρων εναλλακτικών λύσεων καθιστά εφικτή την αντικατάσταση τμημάτων του συστήματος ενός UAV με εξοπλισμό χαμηλού κόστους (και ποιότητας) και επομένως την συνολική δημιουργία μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος ιδιαιτέρως χαμηλού κόστους. Ενδεικτικά αναφέρεται η περίπτωση του πιλότου που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία και είχε κόστος ~35-40€ σε αντιπαραβολή με άλλους πιλότους το κόστος των οποίων υπερβαίνει τα 200€.
- ✓ ο πειραματικός έλεγχος, σε πραγματικές συνθήκες, καινοτόμων συστημάτων πραγματικού χρόνου που σχετίζονται με τη λειτουργία UAV πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας ιδιαίτερη μέριμνα για την ασφάλεια του ιπτάμενου οχήματος και να έχουν ληφθεί οι απαραίτητες δικλείδες ασφαλείας ώστε να αντιμετωπιστεί κάθε πιθανή παρέκκλιση από το επιθυμητό σχέδιο πτήσης όσο και εάν αυτό πιθανώς προκαλεί χρονικές καθυστερήσεις στην πραγματοποίηση των σχετικών δοκιμών,
- ✓ η χρησιμοποίηση του υφιστάμενου, χαμηλού κόστους εξοπλισμού ανέδειξε τις δυνατότητες που μπορεί να έχουν συστήματα που συνδυάζουν την τεχνογνωσία σε ενσωματωμένα συστήματα με τη τεχνολογία των συστημάτων μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων και τις πολυ-θεματικές εφαρμογές που αυτά μπορούν να έχουν.

6.4 Προτάσεις

Η διπλωματική εργασία απάντησε στα σημαντικά ερωτήματα που είχαν τεθεί εξ αρχής αλλά και σε νέα που δημιουργήθηκαν κατά την υλοποίησή της. Η εμπειρία που αποκομίστηκε κατά την εκπόνηση της εργασίας αλλά και το τελικό αποτέλεσμα αυτής μπορεί να

χρησιμοποιηθεί ως βάση για τη συνέχιση της έρευνας σε διάφορους τομείς όπως ενδεικτικά:

- ✓ περαιτέρω αξιοποίηση και έλεγχος των ενσωματωμένων κατανεμημένων συστημάτων σε εφαρμογές μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων,
- ✓ πειραματική επιβεβαίωση της αρχιτεκτονικής που υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας διαφορετικούς συνδυασμούς εξοπλισμού,
- ✓ αυτοματοποίηση του επανασχεδιασμού του σχεδίου πτήσης σμήνους UAV ώστε όταν ένα βγαίνει εκτός λειτουργίας τότε τα υπόλοιπα όχι μόνο να εκπληρώνουν την προκαθορισμένη από αυτό πορεία του αλλά και γίνεται αυτόματος έλεγχος του συνόλου της περιοχής μελέτης και επανακαθορισμός της βέλτιστης δυνατής πορείας του κάθε ιπτάμενου οχήματος ,
- ✓ αυτοσυντονιζόμενη χαρτογράφηση περιοχής από σμήνος ιπτάμενων οχημάτων,
- ✓ έλεγχος της αξιοπιστίας αυτόματου συντονισμού του σμήνους σε εφαρμογές έρευνας και διάσωσης, αποφυγής συγκρούσεων, κτλ.

Βιβλιογραφία

Φλιούκα Παρασκευή, "Τηλεκατευθυνόμενα μη επανδρωμένα συστήματα λήψης εικόνων για τη θεματική και μετρητική τεκμηρίωση του αστικού και περιαστικού χώρου", Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης, <http://invenio.lib.auth.gr/record/133566/files/FLIOUKAee.pdf?version=1>.

Colomina I., and Molina, P., "Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, pp 79-97, 2014.

Keane J.F. & Carr S.S, "*A brief history of early unmanned aircraft*", John Hopkins APL Technical Digest, Volume 32, Number 2, 2013

Valavanis K.P., and M. Kontitsis, "*A Historical perspective on unmanned aerial vehicles*", *Advances in Unmanned Aerial Vehicles: State of the Art and the Road to Autonomy, Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering*, Editor: K.P. Valavanis, Volume 33, 2007, pp. 15-46.

Παράρτημα A: Embedded Systems and Flight Control technical Specifications

Flight Controllers

- **APM 2.5:**

<ul style="list-style-type: none">• Arduino Compatible
<ul style="list-style-type: none">• Includes 3-axis gyro, accelerometer and magnetometer, along with a high-performance barometer
<ul style="list-style-type: none">• Onboard 4 MegaByte Data flash chip for automatic data logging
<ul style="list-style-type: none">• Digital compass powered by Honeywell's HMC5883L-TR chip, now included on the main board.
<ul style="list-style-type: none">• External GPS module uBlox LEA-6H module
<ul style="list-style-type: none">• It use Invensense's 6 DoF Accelerometer/Gyro MPU-6000.
<ul style="list-style-type: none">• Barometric pressure sensor upgraded to MS5611-01BA03, from Measurement Specialties.
<ul style="list-style-type: none">• Atmel's ATMEGA2560 and ATMEGA32U-2 chips for processing and usb functions respectively.

- **APM 2.6:**

<ul style="list-style-type: none">• Arduino Compatible
<ul style="list-style-type: none">• Includes 3-axis gyro, accelerometer and magnetometer, along with a high-performance barometer
<ul style="list-style-type: none">• Onboard 4 MegaByte Data flash chip for automatic data logging
<ul style="list-style-type: none">• External GPS module uBlox LEA-6H module with external compass
<ul style="list-style-type: none">• It use Invensense's 6 DoF Accelerometer/Gyro MPU-6000.

<ul style="list-style-type: none"> • Barometric pressure sensor upgraded to MS5611-01BA03, from Measurement Specialties.
<ul style="list-style-type: none"> • Atmel's ATMEGA2560 and ATMEGA32U-2 chips for processing and usb functions respectively.

- **Pixhawk(PX4):**

<ul style="list-style-type: none"> • Advanced 32 bit ARM Cortex® M4 Processor running NuttX RTOS
<ul style="list-style-type: none"> • 14 PWM/servo outputs (8 with failsafe and manual override, 6 auxiliary, high-power compatible)
<ul style="list-style-type: none"> • Abundant connectivity options for additional peripherals (UART, I²C, CAN)
<ul style="list-style-type: none"> • Integrated backup system for in-flight recovery and manual override with dedicated processor and stand-alone power supply
<ul style="list-style-type: none"> • Backup system integrates mixing, providing consistent autopilot and manual override mixing modes
<ul style="list-style-type: none"> • Redundant power supply inputs and automatic failover
<ul style="list-style-type: none"> • External safety button for easy motor activation
<ul style="list-style-type: none"> • Multicolor LED indicator
<ul style="list-style-type: none"> • High-power, multi-tone piezo audio indicator
<ul style="list-style-type: none"> • microSD card for long-time high-rate logging

- **HK MultiWii AIO:**

<ul style="list-style-type: none"> • Supported MegaPirateNG and MultiWii firmware
<ul style="list-style-type: none"> • Up to 8-axis motor output
<ul style="list-style-type: none"> • 8 input channels for standard receiver
<ul style="list-style-type: none"> • 4 serial ports for debug/Bluetooth Module/OSD/GPS/telemetry

• 2 servos output for PITCH and ROLL gimbal system
• 1 servo output to trigger a camera button
• 6 Analog output for extend device
• A I2C port for extend sensor or device
• Separate 3.3V and 5V LDO voltage regulator
• ATmega 2560 Microcontroller
• MPU6050 6 axis gyro/accel with Motion Processing Unit
• HMC5883L 3-axis digital magnetometer
• MS5611-01BA01 highprecision altimeter
• FT232RQ USB-UART chip and Micro USB receptacle
• On board logic level converter

• **HK PRO Flight Controller /w MTK GPS Module:**

• SMD component design with Atmega2560	• Based on MediaTek Single Chip Architecture
• ITG3205 Triple Axis Gyro	• L1 Frequency, C/A code, 66 channels
• BMA180 Accelerometer	• High Sensitivity, Up to -165dBm tracking, providing superior urban performance
• BMP085 Barometer	• DGPS(WAAS, EGNOS, MSAS) support (optional by firmware)
• HMC5883L Magnetometer	• USB/UART Interface

<ul style="list-style-type: none"> • Servo output for camera pitch and roll control 	<ul style="list-style-type: none"> • Supports AGPS function (Offline mode: EPO valid up to 14 days)
<ul style="list-style-type: none"> • Supports direct connection of GPS module 	
<ul style="list-style-type: none"> • On-board USB connection for programming 	

Embedded Systems

- **Overo Fire**

Architecture	
Product Family	Overo
Central Processing Unit	Texas Instruments OMAP3530 @ 600 MHz
Processor Architecture	ARM Cortex-A8
Digital Signal Processor	Texas Instruments C64x Fixed Point DSP @ 660 - 800 MHz
Memory	
RAM	512MB DDR SDRAM
Storage	512MB NAND Flash Memory

Graphics	
Graphics Acceleration	PowerVR SGX530 with OpenGL
Connectivity	
Camera	27-Pin Connector
Storage	microSD Card Slot
Breakout	2x70-Pin AVX Connectors
Power	
PMIC	Texas Instruments TPS65950
Power Input	3.3 – 4.2 V DC
Physical Specifications	
Dimensions	58mmx17mmx4.2mm
Weight	5.6g
Commercial Temperature Rating	0°C – 75°C
RoHS Compliant	Yes

- **Raspberry Pi(Model B)**

Memory	
RAM	512MB
Connections	

USB	2xUSB 2 ports
Network	Ethernet port
Audio	3.5mm jack
Display 1	HDMI
Display 2	Composite Video
Architecture	
Processor	Broadcom BCM2835
This contains an ARM1176JZFS (ARM11 using an ARMv6-architecture core) with floating point, running at 700Mhz, and a Videocore 4 GPU.	
GPU	
Capable of BluRay quality playback, using H.264 at 40MBits/s.	
Has a fast 3D core accessed using the supplied OpenGL ES2.0 and OpenVG libraries.	
Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode.	
Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24 GFLOPs of general purpose compute and features a bunch of texture filtering and DMA infrastructure.	
Operating Temperature Range	

Limiting Components	The LAN9512 (USB and Ethernet IC) is specified as 0°C to 70°C (the commercial temperature range part is used on the RPi – part number is "LAN9512-JZX", not "LAN9512i-JZX" indicating industrial temperature range)
---------------------	---

- **Odroid+XU Lite**

Architecture	
CPU	Samsung Exynos5 Octa : Cortex™-A15 and Cortex™-A7 big.LITTLE processor
PMIC	MAX77802 10 high-efficiency Buck regulators and 32 LDOs. Contact Maxim for more information
HSIC Ethernet	LAN9730 HSIC USB 2.0 to 10/100 Ethernet controller with HP Auto-MDIX from SMSC/Microchip
HSIC USB 2.0 Hub	USB3503A Integrated USB 2.0-compatible hub / HSIC upstream port from SMSC/Microchip
USB Load Switch	RTL9715EGBR is 90mΩ, 1.1A High-Side Power Switch for USB from Richtek
Audio Codec	MAX98090 is a full-featured and high performance audio CODEC from Maxim
Power protector	MAX14572 is a Reversevoltage, Overvoltage and Overcurrent Protector from Maxim
Connections	

LED indicator	Tri-color RGB LED to display the status of operating system
LCD interface	MIPI DSI and Touch screen I2C ports (IPEX-40PIN)
HDMI connector	Standard Micro-HDMI, supports up to 1920 x 1080 resolution
IO Ports	USB 3.0 Host x 1, USB 2.0 Host x 4, USB 3.0 OTG x 1, PWM for Cooler Ethernet RJ-45, Headphone Jack, 30Pin : GPIO/IRQ/SPI/ADC
Memory	
RAM	2GByte LPDDR3
Storage slot	Micro-SD slot, eMMC 4.5 module connector
Power	
DC Input	5V / 4A input, Plug specification is inner diameter 2.1mm and outer diameter 5.5mm

UAV positional synergy using Wi-Fi RSSI

Panagiotis Partsinevelos^{*a}, Ioannis Agadakos^b, Nikolas Agadakos^b, Sarantis Kyritsis^b,
Panagiotis Zervos^a, Vasilis Athanasiou^b, Manolis Perakakis^b

^{*a}Technical University of Crete, School of Mineral Resources Engineering, 73100, Chania, Greece, tel: +030 2821037676, Email: ppartsinevelos@isc.tuc.gr

^bSchool of Electronics & Computer Engineering, Technical University of Crete, Chania, Greece

KEY WORDS: UAVs, position accuracy, sensors, communication

ABSTRACT: A plethora of geospatial and geoscience applications for data collection are nowadays aided by the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) under various types and configurations. In this study, we examine a collaborative framework under which, a swarm of UAVs communicate to perform combined missions. Possible synergetic tasks include different sensor combinations or stereoscopic baseline optimization, in order to retain the best possible geometry when acquiring overlapping images. Thus, relative position, or distance between the UAVs, becomes crucial in order to avoid collisions, since standard single GPS systems fail to provide the required precision. Towards this requirement, several potential solutions can be addressed including various sensors such as sonars, GPS, altimeters and communication standards such as Wi-Fi, 3G and Bluetooth. UAVs can be equipped with combinations of the above mentioned communication and sensor chips to ensure that they will maintain proper distance.

Our proposed distance estimator exploits a natural signal byproduct, that is, the Received Signal Strength Indication estimation of the Wi-Fi. Testing is essential for outdoor and indoor formations and various environmental conditions, since RSSI is

highly sensitive. Demonstration setting included a dipole static Wi-Fi antenna, and a single custom made quad-copter approaching the antenna and automatically backing up when the signal reached a pre-defined threshold.

The outcome of this synergetic process is multiple, since an improvement in positioning accuracy would provide better navigation. Furthermore, compared to a single UAV, two parallel to the flight path overlapping acquisitions in various baselines, can be transmitted in real time (if corresponding errors are low) to a 3D visualization system with minimal computational cost. Preliminary results and experimentations in static, controlled and dynamic environments show a relative accuracy of less than a meter.

UAV POSITIONAL SYNERGY USING WI-FI RSSI

Panagiotis Partsinevelos^a, Ioannis Agadakos^b, Nikolas Agadakos^b, Sarantis Kyritsis^b, Panagiotis Zervos^a, Vasilis Atha

^aTechnical University of Crete, School of Mineral Resources Engineering, 73100, Chania, Greece, tel: +030 2821037676, Email: ppartsinevelos@isc.tuc.gr

^bSchool of Electronics & Computer Engineering, Technical University of Crete, Chania, Greece

INTRODUCTION

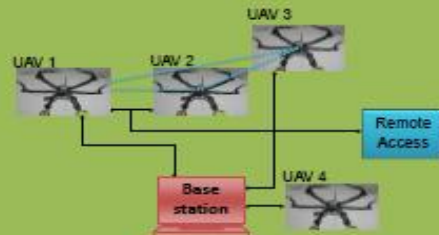
A plethora of geospatial applications for data collection are nowadays aided by the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) under various types and configurations.

Possible collaborative tasks under which, a swarm of UAVs communicate to perform combined missions include different sensor combinations or stereoscopic baseline optimization. Thus, relative positioning becomes crucial in order to avoid collisions, since standard single GPS systems fail to provide the required precision. Towards this requirement, several potential solutions have been addressed including various sensors such as sonars, GPS, altimeters, etc.

Our proposed distance estimator exploits a natural signal byproduct, that is, the Received Signal Strength Indication estimation of the Wi-Fi communication. Preliminary results and experimentations in static, controlled and dynamic environments are presented.

OVERALL ARCHITECTURE

The system scenario comprises of several UAVs that need to cooperate in order to conform to a given mission. Intercommunication along with communication to the base and remote stations is maintained through Wi-Fi, 3G and Bluetooth standards.



The basic idea is to take advantage of the functioning communication feeds that are already present to the system and achieve collision avoidance and relative positioning.

RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATOR

The Received Signal Strength Indicator (RSSI) is an aggregate measure of the amplitude of the received signal in a wireless system. It is referred to as an indicator due to the many factors affecting it: thermal noise, channel fading, attenuation, etc.

The emitted radiation pattern of a specific antenna is governed by its structure. A dipole antenna, was used in the scope of this work. The common dipole has a radiation pattern of a sphere around its length, uniformly distributing its power. As radiation is distributed towards all directions, these signals have multiple paths to reach the receiver.

CASE SCENARIO

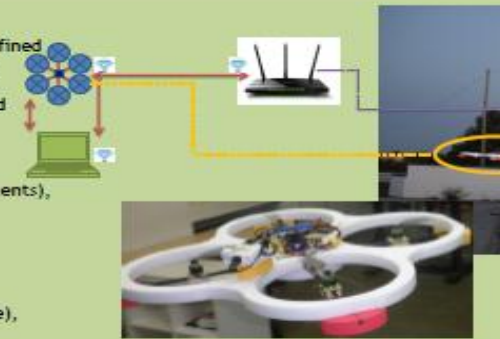
The quadcopter approaches the targeted Wi-Fi transmitter with a pre-defined step while the RSSI is estimated. When the RSSI reaches a specific energy threshold, our quadcopter is ordered to back away from the transmitter, assuming that it has approached the target and needs to step back to avoid collision.

Equipment

- APM 2.6 (Arduino Embedded system as a Hardware Component),
- Raspberry pi (Embedded microprocessor for navigation and rssi measurements),
- USB wifi module,
- 3DR uBlox GPS with Compass.

Development

- Creation of C code for measuring rssi strength in real time,
- Cross-compilation of the above code for R-pi,
- Mavproxy tests for navigation purposes. (Mostly pitch-elevator and throttle),
- Bash script connecting the rssi measurements and Mavlink navigation.



Controlled - Indoor testing (video sequence)



Indoor Signal strength was subject to noise from the environment (other signals, bulk items, etc.)

Outdoor testing (video sequence)



Outdoor UAV navigation was subject to strong wind and thus its recursive direction was titled

DISCUSSION

The physical space between the transmitter and receiver (channel) can affect the signal strength.

The transmitted signal is affected by various factors, that all act in combination to affect the view of the signal. The RSSI is a measure of the signal strength, knowing which factor affects the signal, one can extend, extensive and perform better.

There are numerous techniques to improve the wireless channel such as MIMO, but the nature of the channel results in the absence of a perfect solution.

The height difference between the transmitter and receiver can lead to severe attenuation.

- The RSSI in general is a measure of the signal strength.
- The overall strength of the signal is a measure of the signal strength.
- Indoor testing was subject to noise from the environment (other signals, bulk items, etc.)

- Outdoor testing was subject to strong wind and thus its recursive direction was titled

- Results are promising and show a threshold of less than 100 dBm.

O. G. Adewumi, "A comparison of indoor and outdoor signal strength in WSN," in *International Conference on Wireless and Mobile Computing, Communications, and Applications*, pp. 1-6, 2010.

L. Barnes, M. Fields, and K. V. Sreenivas, "Utilizing elliptical surfaces and line-of-sight systems, man, and cybernetics," in *Proceedings of the 2004 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 1-6, 2004.

D. Tse and Pramod Viswanath, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, 2005.

