

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



Ανάπτυξη Συστήματος Σύζευξης  
Drone-Rover για Αυτόνομη Μεταφορά σε  
Συνεργατικές Αποστολές  
Περιβαλλοντικής Παρακολούθησης

Κωνσταντίνος Χόκιας

Εξεταστική Επιτροπή

Αναπληρωτής Καθηγητής Μιχαήλ Γ. Λαγουδάκης (ΗΜΜΥ)

Καθηγητής Κωνσταντίνος Καλαϊτζάκης (ΗΜΜΥ)

Αναπληρωτής Καθηγητής Παναγιώτης Παρτσινέβελος (ΜΗΧΟΠ)

Χανιά, Οκτώβριος 2018



TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE, GREECE  
SCHOOL OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

# Development of a Drone-Rover Docking System for Autonomous Transportation in Collaborative Environmental Monitoring Missions



Konstantinos Chokias

Thesis Committee

Associate Professor Michail G. Lagoudakis (ECE)

Professor Konstantinos Kalaitsakis (ECE)

Associate Professor Panagiotis Partsinevelos (MRE)

Chania, October 2018



## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αυτόνομη σύζευξη, αποσύζευξη και μεταφορά ενός μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος από ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα. Σε μια εποχή όπου το εύρος χρήσης των μη επανδρωμένων οχημάτων έχει διευρυνθεί, το αποτέλεσμα της εργασίας θα μπορούσε ενσωματωθεί σε ένα μεγάλο αριθμό αυτόνομων συνεργατικών αποστολών ρομποτικών ομάδων. Με αυτόν τον τρόπο το μη επανδρωμένο επίγειο όχημα θα έχει την δυνατότητα να αποκτά πρόσβαση σε περιοχές δυσπρόσιτες, όπου σε διαφορετική περίπτωση θα χρινόταν απαραίτητη η φυσική παρουσία του ανθρώπου για την εκτέλεση της μεταφοράς. Κάποια ενδεικτικά παραδείγματα είναι οι περιπτώσεις όπου χρειάζεται πρόσβαση σε τάρτασα κτιρίου ή σε επικίνδυνες περιοχές.

Η αρχική προσέγγιση των δυο αυτόνομων συστημάτων γίνεται με την βοήθεια του συστήματος GNSS το οποίο όμως έχει περιορισμένη ακρίβεια της τάξης των 3–5 μέτρων. Για την επίτευξη της αυτόνομης σύζευξης δημιουργήθηκαν οι κατάλληλοι αλγόριθμοι που επιτρέπουν την οπτική αναγνώριση του εναέριου οχήματος από το επίγειο μέσω κάμερας, την αυτόνομη προσέγγιση με μεγάλη ακρίβεια του επίγειου οχήματος στη βάση του εναέριου καθώς και την ασφάλιση και απασφάλιση σε αυτή. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον και τα εργαλεία του ROS (Robot Operating System) δίνοντας την δυνατότητα αξιόπιστου συγχρονισμού και επεκτασιμότητας.

Για την υλοποίηση, αρχικά κατασκευάστηκε πρωτότυπη βάση, η οποία τοποθετήθηκε στο κάτω μέρος ενός εναέριου οχήματος καθώς επίσης τροποποιήθηκε ένα εξάτροχο επίγειο όχημα για την επίτευξη της σύζευξης. Εν συνεχεία, υλοποιήθηκε αμφίδρομη επικοινωνία τόσο των ενσωματωμένων συστημάτων όσο και των ελεγκτών πτήσης και κίνησης που βρίσκονται σε κάθε όχημα ξεχωριστά. Η δημιουργία της βάσης καθώς και όλων των απαραίτητων στοιχείων έγινε μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης. Για την επιβεβαίωση της σωστής λειτουργίας και της αξιοπιστίας του συστήματος πραγματοποιήθηκαν δοκιμές τόσο σε εσωτερικές όσο και σε εξωτερικές συνθήκες που έδειξαν την ρεαλιστικότητα της πρότασης.



## Abstract

The subject of this thesis focuses on the autonomous coupling, decoupling as well as transfer of an unmanned ground vehicle by an unmanned aerial vehicle. At a time when the use of unmanned vehicles has expanded, the result of this thesis could be incorporated into a large number of autonomous collaborative missions. By extent, unmanned ground vehicles will have the ability to enter inaccessible areas, where under different circumstances, the physical presence of a man would be necessary to carry out the transfer. Some indicative examples could be cases where access to terraces of buildings or hazardous areas is needed.

The initial approach of the two autonomous systems is managed with the help of the GNSS system which, however, bears a limited accuracy of 3 to 5 meters. In order to achieve the autonomous coupling, appropriate algorithms were developed, allowing not only the visual recognition of the aerial by the ground vehicle via cameras but also the autonomous as well as high-precision approach of the ground vehicle to the mounting base, along with its secure locking and release from it. For this purpose ROS (Robot Operating System) environment and tools were used , thus enabling reliable synchronization and expandability.

For the implementation, a prototype mounting base was constructed, which was placed at the bottom of an aerial vehicle, while also a six-wheeled ground vehicle was modified in order for the coupling to be achieved. Then, a two-way communication was realized between both the embedded systems and the flight and motion controllers on each vehicle. The mounting base as well as all the necessary components were created through 3D printing. In order to validate the system's proper operation and reliability, tests were conducted both in indoor and in outdoor conditions, which proved the feasibility of the proposal.



## Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον κ. Λαγουδάκη, ο οποίος υπήρξε πολύτιμος αρωγός για την διεκπεραίωση της εργασίας και διαφώτιζε υπομονετικά τυχόν πρακτικές και θεωρητικές μου απορίες καθώς και τον κ. Παρτσινέβελο για τις συμβουλές και την ολοκληρωμένη καθοδήγηση κατά την πορεία της έρευνας και πραγματοποίησης της εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε όλα τα παιδιά της ομάδας SenseLab, και συγκεκριμένα στον συμφοιτητή μου Άγγελο Αντωνόπουλο για την άψογη συνεργασία που είχαμε και την βοήθεια που μου προσέφερε και να τους ευχαριστήσω για τις όμορφες και δύσκολες στιγμές που μοιραστήκαμε μέχρι να αποπερατωθεί η παρούσα εργασία.

Ιδιαίτερως, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον φίλο και συνάδελφο Γεώργιο Μπολωνάκη για την υπομονή που έδειξε σε όλα τα στάδια των διπλωματικών μας εργασιών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου, οι οποίοι έχουν σταθεί άξιοι συμπαραστάτες τόσα χρόνια στα ακαδημαϊκά και επαγγελματικά μου βήματα στηρίζοντας και ενισχύοντάς με, με τα απαραίτητα εφόδια.



# Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1.1	Η συνεισφορά της διπλωματικής	1
1.2	Διάρθρωση	2
<b>2</b>	<b>Θεωρητικό Υπόβαθρο</b>	<b>3</b>
2.1	Robot Operating System(ROS)	3
2.1.1	Επιπρόσθετα Πακέτα Ανοιχτού Κώδικα	4
2.1.2	ROS visualization(RVIZ)	5
2.2	Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα	5
2.3	Μη επανδρωμένα επίγεια οχήματα	6
<b>3</b>	<b>Σκοπός της εργασίας</b>	<b>9</b>
3.1	Σύστημα σύζευξης μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος - μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος	9
3.1.1	Κατασκευή βάσης	10
3.1.2	Αυτόνομη προσέγγιση του μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος στο μη επανδρωμένο εναέριο όχημα	10
3.1.3	Επικοινωνία των δύο οχημάτων	10
3.2	Παρόμοιες εργασίες	11
3.2.1	Προσγείωση του εναέριου οχήματος στο επίγειο όχημα και μεταφορά απο αυτό	11
3.2.2	Πρόσδεση του επίγειου οχήματος στο εναέριο όχημα	11
3.2.3	Συnergατικές αποστολές επίγειων και εναέριων οχημάτων	12
3.3	Εφαρμογές	12
3.3.1	Γεωργία ακριβείας	12
3.3.2	Ανάλυση επικινδυνότητας πληγέντων περιοχών	13

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

<b>4 Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε</b>	<b>15</b>
4.1 Το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα . . . . .	16
4.1.1 Κατασκευή βάσης . . . . .	16
4.1.2 Κατασκευή πλαισίων για τις εικόνες αναγνώρισης . . . . .	18
4.1.3 Ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου . . . . .	18
4.1.4 Κόμβοι ελέγχου καταστάσεων . . . . .	20
4.2 Το μη επανδρωμένο επίγειο όχημα . . . . .	20
4.3 Αλγόριθμος εύρεσης μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος . . . . .	22
4.4 Αλγόριθμος ασφάλισης μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος στην βάση . . . . .	23
4.5 Αλγόριθμος απασφάλισης μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος στην βάση . . . . .	23
4.6 MAVROS . . . . .	26
4.7 Συλλογή δεδομένων αισθητήρων . . . . .	26
4.8 PXT Γραφή . . . . .	28
<b>5 Αποτελέσματα</b>	<b>31</b>
5.1 Προσεγγίσεις του επίγειου οχήματος . . . . .	32
5.2 Ενεργοί κόμβοι . . . . .	32
5.3 Τελική Μεταφορά . . . . .	33
<b>6 Συμπεράσματα</b>	<b>35</b>
6.1 Συμπεράσματα . . . . .	35
6.2 Μελλοντικές επεκτάσεις . . . . .	36
6.2.1 Αναβάθμιση εξοπλισμού . . . . .	36
6.2.2 Πιθανές αποστολές . . . . .	36
6.2.3 Δυνατότητα αλληλομεταφοράς . . . . .	37
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>40</b>

# Κατάλογος Σχημάτων

2.1	DJI Matrice 600 Pro Heavy Lift Drone . . . . .	5
2.2	<a href="https://www.clearpathrobotics.com/">https://www.clearpathrobotics.com/</a> . . . . .	6
3.1	Προσέγγιση από το πανεπιστήμιο του waterloo στον Καναδά . . . . .	11
3.2	Προσέγγιση της στρατιωτικής ομάδας roboteam . . . . .	12
3.3	Προσέγγιση ομάδας Yonsei του πανεπιστημίου της Κορέας . . . . .	13
4.1	Σχέδια βάσης μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος . . . . .	17
4.2	Σχέδια πλαισίων για τις εικόνες αναγνώριση(βάση, πίσω, αριστερά-δεξιά) .	18
4.3	Τελική μορφή βάσης εναέριου οχήματος . . . . .	19
4.4	Κόμβος εναέριου οχήματος . . . . .	20
4.5	Τελική μορφή μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος . . . . .	21
4.6	Πυραμίδα πρόσδεσης μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος στο εναέριο . . .	22
4.7	Βάση στύριξης πυραμίδας . . . . .	22
4.8	Πιθανή απόκλιση από τα σημεία συνάντησης . . . . .	23
4.9	Διάγραμμα καταστάσεων για το στάδιο της προσέγγισης . . . . .	24
4.10	Διάγραμμα καταστάσεων για το στάδιο της σύζευξης . . . . .	25
4.11	Διάγραμμα καταστάσεων για το στάδιο της σύζευξης . . . . .	27
4.12	Όλοι οι κόμβοι σε χρήση με τα μηνύματα τους . . . . .	28
4.13	Τελική μορφή επίγειου οχήματος . . . . .	29
5.1	Συνεργασία επίγειου και εναέριου οχήματος σε εξωτερικό περιβάλλον . . .	31
5.2	Προσέγγιση απο τα αριστερά . . . . .	32
5.3	Προσέγγιση απο τα δεξιά . . . . .	33
5.4	Προσέγγιση απο το πίσω μέρος του UAV . . . . .	33
5.5	Κόμβοι αποστολής . . . . .	34

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

---

5.6 Μεταφορά του UGV απο το UAV . . . . .	34
---	----

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Στην σύγχρονη εποχή, η χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων έχει ευρύτατες εφαρμογές, όπως αποστολές αναζήτησης και διάσωσης, περιβαλλοντολογικές καταγραφές, επιτήρηση εγκαταστάσεων, συστηματικές μετρήσεις, κ.α. Στο πλαίσιο αυτό αναπτύσσεται παράλληλα και η μελέτη και η έρευνα συνεργατικών ρομποτικών αποστολών, στις οποίες εμπλέκονται πολλά ρομποτικά οχήματα διαφορετικής φύσεως (επίγεια, εναέρια, υποβρύχια) και δυνατοτήτων (πλήθος και είδος αισθητήρων, τρόποι μετακίνησης). Τέτοιου είδους μελέτες και έρευνες ενισχύονται επίσης από την ανάπτυξη ανοικτών πλαισίων λογισμικού που επιτρέπουν την επικοινωνία και διαλειτουργικότητα πολλών διαφορετικών ρομποτικών συστημάτων, αλλά και τον διαμοιρασμό και επαναχρησιμοποίηση βιβλιοθηκών λογισμικού για συγκεκριμένη λειτουργικότητα.

### 1.1 Η συνεισφορά της διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την αυτόνομη συνεργασία μεταξύ δύο μη επανδρωμένων οχημάτων, ενός εναέριου και ενός επίγειου. Συγκεκριμένα, ασχολείται κυρίως με τη μεταφορά του επίγειου οχήματος από το εναέριο, μια διαδικασία η οποία κρίνεται πολύτιμη σε περιπτώσεις διεξαγωγής συνεργατικών πτήσεων και αποστολών. Το αίτημα επίλυσης του συγκεκριμένου ζητήματος προήλθε από την ανάγκη εκτέλεσης μεταφορών σε περιοχές όπου η φυσική παρουσία του ανθρώπου θα κρίνονταν επικίνδυνη ή ακόμα και αδύνατη εξαιτίας φυσικών εμποδίων και της διαμόρφωσης του εδάφους.

Για την επίτευξη αυτού του σκοπού χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον και τα εργαλεία ενός meta-os συστήματος, συγκεκριμένα του ROS (Robot Operating System) [1], δίνοντας

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

την δυνατότητα αξιόπιστου συγχρονισμού και μεγάλης επεκτασιμότητας. Επιπροσθέτως είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα και η χρήση του συνεισφέρει στην κοινότητα ανοιχτού κώδικα.

Η προτεινόμενη προσέγγιση θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο αριθμό αποστολών, όπως για παράδειγμα την περιβαλλοντολογική συλλογή δεδομένων σε απομακρυσμένες δύσβατες περιοχές ταυτόχρονα σε αέρα και σε έδαφος. Ακόμα θα μπορούσε να εφαρμοστεί στον έλεγχο επικινδυνότητας σε περιοχές με μεγάλο ρίσκο φυσικής παρουσίας του ανθρώπου όπως μια διαρροή σε πυρηνικό εργοστάσιο. Επιπλέον μια πολύ χρήσιμη εφαρμογή είναι η μελέτη της ταχύτητας ανέμου στην βάση και τη κορυφή των ανεμογεννητριών σε ένα αιολικό πάρκο.

Το τελικό αποτέλεσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ένα πρώτο βήμα για την ρεαλιστική χρήση συγχρόνως των εναέριων και των επίγειων μέσων καθώς και για την χρήση σε μεγάλο αριθμό επίγειων μέσων με έναν μεταφορέα.

### 1.2 Διάρθρωση

Στο Κεφάλαιο 2 περιέχεται το θεωρητικό υπόβαθρο για την κατανόηση εννοιών που θα αναφερθούν στη συνέχεια. Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται η ανάλυση του σκοπού της διπλωματικής εργασίας καθώς η αναφορά σε παρόμοιες εργασίες που έχουν γίνει στο παρελθόν. Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται εκτενώς η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την επίλυση του προβλήματος. Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά την ολοκλήρωση της εργασίας. Τέλος το Κεφάλαιο 6 περιλαμβάνει τα συμπεράσματα που προέκυψαν καθώς και μελλοντικές βελτιώσεις που θα μπορούσαν να γίνουν στο μέλλον.

# Κεφάλαιο 2

## Θεωρητικό Υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται κάποιες έννοιες για την αρτιότερη κατανόηση της διπλωματικής εργασίας.

### 2.1 Robot Operating System(ROS)

Το ROS (Robot Operating System) [1] είναι ένα μεταλειτουργικό σύστημα, δηλαδή δεν παρέχει μόνο τις τυπικές υπηρεσίες λειτουργικού ενός συστήματος, αλλά και λειτουργίες υψηλού επιπέδου (ασύγχρονες και σύγχρονες κλήσεις, κεντρικές βάσεις δεδομένων και συστήματα διαμόρφωσης λογισμικού για ρομποτικές εφαρμογές κ.λπ.). Έχει ευρεία εφαρμογή και αποδοχή στο χώρο της ρομποτικής καθώς αποτελεί ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα (open source).

Πρόκειται για μια συλλογή εργαλείων λογισμικού και βιβλιοθηκών που χρησιμοποιούνται από προγραμματιστές ρομπότ για την ανάπτυξη εφαρμογών. Το ROS δεν είναι συνηθισμένο λειτουργικό σύστημα, αλλά χρησιμοποιεί το περιβάλλον χρήστη του βασικού λειτουργικού συστήματος, το σύστημα αρχείων, το σύστημα διαχείρισης εργασιών και τα βοηθητικά εργαλεία προγραμματισμού. Το πιο διαδεδομένο βασικό λειτουργικό σύστημα για το ROS είναι το Linux, ενώ έπεται το MacOS. Προσφέρει την υπηρεσία επικοινωνίας μεταξύ εργασιών που εκτελούνται για τη λειτουργία του ρομπότ με τη χρήση μηνυμάτων (Publish/Subscribe), η οποία επιτρέπει την επικοινωνία των διεργασιών (nodes) μέσω των θεμάτων εργασιών (topics). Το κάθε θέμα έχει συγκεκριμένο τύπο, ανάλογα με το είδος της εργασίας και του μηνύματος.

Η διαχείριση των εργασιών και των θεμάτων εργασιών γίνεται από το ROS Master, το

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

---

κεντρικό σύστημα, το οποίο επιτρέπει στις διεργασίες να επικοινωνούν μεταξύ τους, μέσω μηνυμάτων.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του ROS είναι η δυνατότητα επιλογής γλώσσας προγραμματισμού, για την ανάπτυξη του πηγαίου κώδικα. Οι διαθέσιμες γλώσσες προγραμματισμού είναι οι C++, Python και Lisp, ενώ υπάρχουν πειραματικές βιβλιοθήκες σε Java και Lua. Επίσης, καθώς η δημιουργία πηγαίου κώδικα για ρομποτικές εφαρμογές μπορεί να γίνει αρκετά δύσκολη, η χρήση ήδη υπαρχόντων πακέτων, που προσφέρει η κοινότητα του ROS διευκολύνει πολύ τη διαδικασία.

### 2.1.1 Επιπρόσθετα Πακέτα Ανοιχτού Κώδικα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το ROS επιτρέπει τη χρήση διαφόρων πακέτων ανοιχτού κώδικα για ρομποτικές εφαρμογές. Τα πακέτα είναι βιβλιοθήκες (libraries), αρχεία κώδικα (scripts), αρχεία παραμετροποίησης (configuration files) και άλλα. Σε περιπτώσεις εμπορικών εφαρμογών ο χρήστης είναι υποχρεωμένος να πάρει έγκριση από τον αντίστοιχο δημιουργό του κάθε πακέτου. Χάρη σε αυτά τα πακέτα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διάφορα εργαλεία, χωρίς να συντάξουμε όλον τον κώδικα από την αρχή. Η δομή του ROS απαρτίζεται από πακέτα. Όλα αυτά βοηθούν ώστε να δημιουργηθούν οι επεκτάσεις (plugins), που μας δίνουν διάφορες δυνατότητες και εργαλεία. Τα ήδη υπάρχοντα πακέτα μπορούμε να τα βρούμε στα αποθετήρια (repositories), που είναι διαδικτυακοί χώροι αποθήκευσης. Σαφώς είναι ελεύθερη η δημιουργία εκ νέου πακέτων ή η πρόταση για βελτίωση των υπαρχόντων.

Ένα πακέτο ROS έχει την παρακάτω δομή:

**include** : Στο φάκελο αυτό περιέχονται header files όταν το πακέτο περιγράφεται σε γλώσσα C++. Τα αρχεία αυτά περιγράφουν τις επεκτάσεις(πλυγινς) κώδικα που χρειάστηκαν για τις λειτουργίες του ρομπότ.

**src** : Στο φάκελο αυτό περιέχονται αρχεία .py , όταν το πακέτο περιγράφεται σε γλώσσα Python .

**msg** : Ο φάκελος αυτός περιέχει μηνύματα που χρειάζονται για τη δημοσίευση (publish) από το ROS σε κάποιο θέμα μιας ενεργής διεργασίας.

**scripts** : Στα αρχεία αυτά περιγράφονται οι λειτουργίες των διαφόρων διεργασιών που χρειάστηκαν για τον έλεγχο του οχήματος.

## 2.2 Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα

---

`package.xml` : Το αρχείο αυτο πρέπει να περιλαμβάνεται σε οποιοδήποτε πακέτο. Αυτό το αρχείο ορίζει ιδιότητες σχετικά με το πακέτο, όπως το όνομα του πακέτου, η έκδοση, οι συγγραφείς και οι εξαρτήσεις (dependencies) .

`CMakeLists.txt` : Κάθε πακέτο πρέπει να περιέχει ένα ή περισσότερα αρχεία `CMakeLists.txt`. Περιγράφουν τον τρόπο κατασκευής του πακέτου και το σημείο εγκατάστασής του.

### 2.1.2 ROS visualization(RVIZ)

Σημαντικό εργαλείο του ROS που χρησιμοποιήθηκε επανειλημμένα στην παρούσα εργασία είναι το RVIZ. Πρόκειται για ένα γραφικό περιβάλλον απεικόνισης τόσο εικόνων, ar-tag, βίντεο απο τη κάμερα και άλλων αναπαράστασεων σκηνής, όσο και τροχιών κίνησης του ρομπότ και μετασχηματισμών μεταξύ συστημάτων συντεταγμένων. Μέσω του RVIZ, είναι δυνατή η ανά πάσα στιγμή γραφική απεικόνιση της κατάστασης του συστήματος, η παρακολούθηση της κίνησης ενός ρομπότ και των δεδομένων που παρατηρούνται από τους αισθητήρες του.

## 2.2 Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα



Σχήμα 2.1: DJI Matrice 600 Pro Heavy Lift Drone

Ως μη επανδρωμένα εναέριο οχήματα UAV (Unmanned Aerial Vehicles) ή UAS (Unmanned Aerial Systems), ορίζονται τα κάθε είδους ιπτάμενα οχήματα που δεν έχουν χειριστή στην άτρακτό τους, αλλά πραγματοποιούν πτήσεις είτε αυτόνομα είτε μέσω τηλεκατεύθυνσης. Οι προαναφερθείσες ονομασίες αναφέρονται στους ορισμούς που κατά καιρούς έχουν

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

---

δοθεί για την περιγραφή αυτών των οχημάτων. Ο όρος UAV περιγράφει μόνο το χωρίς χειριστή εναέριο όχημα. Ο όρος UAS περιλαμβάνει όλες τις συσκευές, το προσωπικό και τις διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούνται προκειμένου το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα να θεωρείται ως ολοκληρωμένο σύστημα. Τέλος, ο όρος RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) καθιερώθηκε σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία και με την ανάγκη όλες οι πτήσεις μη επανδρωμένων αεροσκαφών να έχουν τουλάχιστον έναν επιβλέποντα πιλότο στο έδαφος. Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα συνήθως έχουν τη μορφή μικρού αεροπλάνου ή ελικοπτέρου με έναν ή περισσότερους κινητήρες και έλικες συντονισμένους για πλήρως ελεγχόμενη πτήση από ειδικό πρόγραμμα ή χειριστήριο εδάφους. Ένα παράδειγμα μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος είναι το Matrice 600 της εταιρίας DJI το οποίο παρατίθεται στο Σχήμα 2.1

### 2.3 Μη επανδρωμένα επίγεια οχήματα



Σχήμα 2.2: <https://www.clearpathrobotics.com/>

Με τον όρο μη επανδρωμένα επίγεια οχήματα UGV (Unmanned Ground Vehicles) εννοούμε τα οχήματα τα οποία κινούνται στο έδαφος χωρίς να χειρίζονται άμεσα από ανθρώπινο παράγοντα. Τα UGVs χρησιμοποιούνται σε πληθώρα περιπτώσεων όπου ο άνθρωπος είναι δύσκολο ή επικίνδυνο να συμμετάσχει. Ο χειρισμός του χωρίζεται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία, τα οχήματα χρησιμοποιούν ένα πλήθος αισθητήρων για την κίνησή τους στον χώρο, καθιστώντας τα αυτόνομα. Στην δεύτερη κατηγορία ο χειρισμός γίνεται με την βοήθεια ενός χειριστή μέσω ραδιοκυμάτων ή ακόμα και δικτυακά. Υπάρχει μεγάλο πλήθος εφαρμογών που χρησιμοποιούνται τα UGVs. Κάποια ενδεικτικά παραδείγματα είναι τα μη επανδρωμένα οχήματα που χρησιμοποιεί η εταιρία Amazon για την μεταφορά εμπορευμάτων στις αποθήκες της, τα τετράποδα μη επανδρωμένα επίγεια οχήματα της εταιρία Boston Dynamics για στρατιωτική υποστήριξη. Τέλος υπάρχει και η κλασική μορφή τετράτροχων

## 2.3 Μη επανδρωμένα επίγεια οχήματα

---

οχημάτων που βρίσκουν πολλές εφαρμογές σε αποστολές περιβαλλοντολογικού ενδιαφέροντος. Ένα παράδειγμα μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος είναι το τετράτροχο οχήμα της Clearpath Robotics το οποίο παρατίθεται στο Σχήμα [2.2](#).

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

---

# Κεφάλαιο 3

## Σκοπός της εργασίας

### 3.1 Σύστημα σύζευξης μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος - μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος

Τα μη επανδρωμένα επίγεια οχήματα (UGVs) παρόλο που έχουν την δυνατότητα να είναι αρκετά ευέλικτα, αντιμετωπίζουν εμπόδια, τα οποία δεν μπορούν να διαχειριστούν, όπως σκάλες, περιφράξεις και άλλα. Σε μια εποχή που η χρήση των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) έχει διαδοθεί σε πολλές περιοχές καθώς και το γεγονός ότι το ωφέλιμο φορτίο τους έχει αυξηθεί σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό, θα μπορούσε να είναι μια πρακτική λύση για την μεταφορά του UGV. Κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία ενός αξιόπιστου συστήματος σύζευξης για τη στήριξη του UGV στο UAV αλλά και η υλοποίηση της αυτόνομης προσέγγισης του UGV στην βάση διευρύνοντας με τον τρόπο αυτό το πεδίο χρήσης του συστήματος [2]. Ένα από τα κύρια ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν είναι ποιος θα κατέχει την θέση του μεταφορέα και ποιος θα μεταφέρεται. Εδώ συναντάμε αρκετές υλοποιήσεις με το UGV να είναι αυτό που μεταφέρει το UAV, αλλά ελάχιστες για το αντίστροφο. Αυτό οφείλεται κυρίως στην μεγάλη κατανάλωση ενέργειας που απαιτεί το UAV σε σύγκριση με το UGV, ένα πρόβλημα, το οποίο γίνεται αμελητέο με την σημερινή αυτονομία των UAV και για χρήση της διαδικασίας μεταφοράς μόνο σε περιπτώσεις που το εμπόδιο δεν μπορεί να προσπελαστεί από το έδαφος.Εύκολα μπορεί να παρατηρηθεί πως το κύριο πρόβλημα χωρίζεται σε επιμέρους υποπροβλήματα με τα κυριότερα να είναι:

### 3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

---

- Κατασκευή βάσης στήριξης του UGV στο UAV
- Αυτόνομη προσέγγιση του UGV στο UAV και με μεγάλη ακρίβεια
- Επικοινωνία των δύο οχημάτων

#### 3.1.1 Κατασκευή βάσης

Η κατασκευή της βάσης είναι το βασικό πρόβλημα, καθώς η πρόσδεση του UGV θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή και ασφάλεια ώστε να είμαστε σε θέση να αποτρέψουμε οποιαδήποτε πτώση ή φθορά του συστήματος, έχοντας υπόψη ότι πρόκειται για εξοπλισμό μεγάλης αξίας. Επιπλέον, το σύστημα των δύο οχημάτων θα πρέπει να έχει σταθερό κέντρο βάρους κατά τη διάρκεια της πτήσης, έτσι ώστε να μην επηρεάζεται η ορθή λειτουργία του γυροσκοπίου και κατ'επέκταση να πραγματοποιηθεί μία ομαλή αυτόνομη πτήση. Τέλος, απαραίτητη κρίνεται η μετατροπή του ήδη υπάρχοντος επίγειου οχήματος, ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η ομαλή σύνδεση με τη βάση, καθώς επίσης και η ίδια η βάση οφείλει να σχεδιαστεί και να τροποποιηθεί προκειμένου να είναι απόλυτα συμβατή με το διαθέσιμο εναέριο όχημα [3].

#### 3.1.2 Αυτόνομη προσέγγιση του μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος στο μη επανδρωμένο εναέριο όχημα

Κορμός της εργασίας είναι η λειτουργία της αυτόνομης σύζευξης και αποσύζευξης με δεδομένο ότι, οποιοδήποτε λάθος θα οδηγούσε σε μη ολοκλήρωση της σύζευξης. Με αυτό το δεδομένο, η προσέγγιση του μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη ακρίβεια και πάντα με την σωστή φορά εισόδου. Η πρώτη προσέγγιση των δυο αυτόνομων συστημάτων γίνεται με την βοήθεια του συστήματος GNSS το οποίο όμως έχει περιορισμένη ακρίβεια της τάξης των 3 - 5 μέτρων. Αυτό οδηγεί στην ανάγκη δημιουργίας κατάλληλων αλγορίθμων που θα επιτρέπουν την οπτική αναγνώριση του ενός οχήματος από το άλλο ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη ακρίβεια [4].

#### 3.1.3 Επικοινωνία των δύο οχημάτων

Δεν μπορούμε να ορίσουμε αυτόνομες συνεργατικές πτήσεις χωρίς την μεταξύ τους επικοινωνία άμεσα ή έμμεσα με μεσολάβηση του σταθμού βάσης. Έτσι η απευθείας επικοινωνία

των δυο υποσυστημάτων (UAV - UGV) καθίσταται αναγκαία, ενώ παράλληλα πρέπει να γίνει μελέτη για την δυνατότητα επικοινωνίας όχι μόνο των ενσωματωμένων συστημάτων των δυο οχημάτων, αλλά και της δυνατότητας ταυτόχρονης επικοινωνίας και των δύο ελεγκτών πλοήγησης που υπάρχουν στα δύο μη επανδρωμένα οχήματα [5].

## 3.2 Παρόμοιες εργασίες

Όπως έχει προαναφερθεί υπάρχουν αρκετές προσεγγίσεις με το UAV να προσγειώνεται πάνω στο UGV αλλά πολύ λίγες για το αντίστροφο.

### 3.2.1 Προσγείωση του εναέριου οχήματος στο επίγειο όχημα και μεταφορά από αυτό

Το πανεπιστήμιο του **Waterloo** [6] στον Καναδά έχει αναπτύξει μια πλατφόρμα προσγείωσης του UAV πάνω σε ένα UGV (Σχήμα 3.1) δίνοντας επιπροσθέτως την δυνατότητα φόρτισης του UAV από την μπαταρία του UGV.



Σχήμα 3.1: Προσέγγιση από το πανεπιστήμιο του waterloo στον Καναδά

### 3.2.2 Πρόσδεση του επίγειου οχήματος στο εναέριο όχημα

Η αμερικανική ομάδα απόστρατων στρατιωτικών **Roboteam** [7] έχει δημιουργήσει ένα σύστημα παρόμοιο με αυτό που περιγράφεται στην παρούσα διπλωματική (Σχήμα 3.2) δεδομένης όμως της στρατιωτικής φύσης της ομάδας, δεν είναι ανοιχτό στο ευρύ κοινό το πώς

### 3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

---

γίνεται η σύνδεση των δύο οχημάτων καθώς και το πότε σταματάει η χρήση του τηλεχειριστηρίου, που χρησιμοποιούν για την υπόλοιπη αποστολή, και ξεκινάει η προσέγγιση.



Σχήμα 3.2: Προσέγγιση της στρατιωτικής ομάδας roboteam

#### 3.2.3 Συνεργατικές αποστολές επίγειων και εναέριων οχημάτων

Ένα σύστημα που επιτρέπει εναέρια και επίγεια οχήματα να συνεργάζονται χωρίς την ανάγκη σήματος GPS ή ακριβών αισθητήρων αναπτύχθηκε από την ομάδα **Yonsei** [8] του πανεπιστημίου της Κορέας. Το σύστημα επιτέλει στο κεντρικό επίγειο όχημα(καθοδηγητής) την προσγείωση σε αυτό των εναέριων οχημάτων.

### 3.3 Εφαρμογές

Οι εφαρμογές όπως έχουμε ήδη αναφέρει είναι πολλές, καθώς συνδυάζεται η χρήση δύο διαφορετικών τύπων μη επανδρωμένων οχημάτων, του εναέριου και του επίγειου, δίνοντας μας ένα μεγάλο εύρος χρήσης. Πιο συγκεκριμένα παραθέτουμε ορισμένες εφαρμογές:

#### 3.3.1 Γεωργία ακριβείας

Ένα συχνό πρόβλημα του τόπου καταγωγής μου (την Κρήτη) είναι πως οι αγρότες έχουν στην κατοχή τους αγροτεμάχια διαφόρων μεγεθών διάσπαρτα σε κοντινές περιοχές μεταξύ



Σχήμα 3.3: Προσέγγιση ομάδας Yonsei του πανεπιστημίου της Κορέας

τους. Μια μελέτη της ποιότητας του εδάφους και του αέρα ταυτόχρονα και σε πολλά διαφορετικά σημεία θα είχε ένα αποτρεπτικό κόστος για τους ιδιοκτήτες, καθώς είναι αναγκαία η επανάληψη της μέτρησης ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να μπορεί να δημιουργηθεί ένα ιστορικό για το κάθε αγροτεμάχιο ξεχωριστά. Μια προτεινόμενη λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η τοποθέτηση αισθητήρων για αέρα και έδαφος σε κάθε επιμέρους αγροτεμάχιο ή η τοποθέτηση των αισθητήρων στα μη επανδρωμένα οχήματα, η δημιουργία των αποστολών και η επανάληψη της μέτρησης όποτε ο αγρότης ή ο υπεύθυνος γεωπόνος το κρίνει αναγκαίο.

#### 3.3.2 Ανάλυση επικινδυνότητας πληγέντων περιοχών

Ένα ακόμα σενάριο χρήσης του συστήματος, που προτείνεται, είναι σε περιπτώσεις αναγκαίου έλεγχου ποιότητας αέρα και εδάφους σε περιοχές που επλήγησαν από κάποιο συμβάν, όπως για παράδειγμα μια διαρροή σε πυρηνικό εργοστάσιο. Σε ένα τέτοιο σενάριο η φυσική παρουσία ανθρώπου κρίνεται ιδιαίτερα επικίνδυνη χωρίς τον κατάλληλο εξοπλισμό. Επομένως, η τοποθέτηση των κατάλληλων αισθητηρίων οργάνων και η δημιουργία της εξειδικευμένης αποστολής θα μπορούσε να είναι μια λύση για να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος των ζητούμενων τιμών.

### 3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

---

## Κεφάλαιο 4

# Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε

Για την καλύτερη ανάλυση της λύσης που ακολουθήθηκε η διαδικασία χωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα προσέγγισης. Έτσι δημιουργήθηκαν οι εξής ενότητες:

- Το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα και οι μετατροπές που χρειάστηκαν:
  - Κατασκευή της βάσης
  - Κατασκευή πλαισίων για τα ar tag
  - Ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου
  - Κόμβοι ελέγχου καταστάσεων
- Το μη επανδρωμένο επίγειο όχημα και οι μετατροπές που χρειάστηκαν:
  - Κατασκευή βραχίονα
  - Ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου
  - Κόμβοι ελέγχου καταστάσεων
- Αλγόριθμος εύρεσης μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος
- Αλγόριθμος ασφάλισης μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος στην βάση
- Αλγόριθμος απασφάλισης μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος στην βάση
- Συλλογή δεδομένων αισθητήρων

## 4. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ

---

### 4.1 Το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα

Στην διάθεση μας υπήρχε το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα τύπου εξακόπτερο, με πιλότο Pixhawk και ωφέλιμο φορτίο  $\cong 4$  κιλά. Για να μπορέσει να υλοποιηθεί η εργασία θα χρειαστεί να προστεθεί μια βάση για την στήριξη του μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος, βάσεις για τις εικόνες αναγνώρισης (ar-tags), ένα ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου καθώς και κάποιοι δοκιμαστικοί αισθητήρες για την δημιουργία του προτύπου επικοινωνίας.

#### 4.1.1 Κατασκευή βάσης

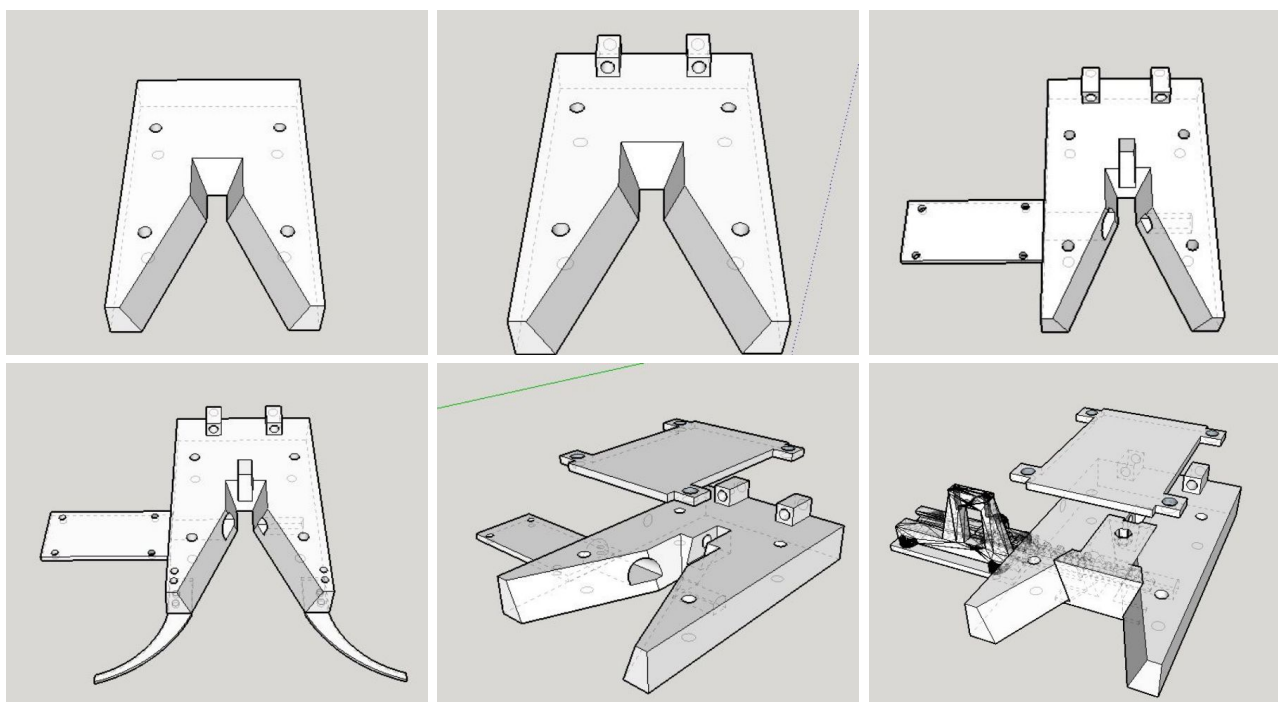
Η βάση είναι ένα σημαντικό στοιχείο της εργασίας και αυτό γιατί θα πρέπει να τηρεί όλες τις δικλίδες ασφαλείας για την αποφυγή ατυχήματος κατά την πτήση καθώς μια πτώση του οχήματος δεν θα οδηγούσε μόνο στην καταστροφή του εξοπλισμού αλλά και στην περίπτωση τραυματισμού κάποιου ανθρώπου που θα βρισχεται κάτω από το εναέριο όχημα την στιγμή του ατυχήματος. Ένα άλλο βασικό στοιχείο είναι ότι θα πρέπει να είναι απόλυτα κεντραρισμένο το όχημα ως προς το κέντρο βάρους του μη επανδρωμένου και να μην υπάρχει αλλαγή της θέσης του κατά την πτήση και κατά το διάστημα των πιθανών ελιγμών του εναέριου οχήματος π.χ. σε περίπτωση ριπής ανέμου. Με βάση τα προηγούμενα και με την χρήση τρισδιάστατης εκτύπωσης δημιουργήθηκαν αρκετά πρωτότυπα για την επιλογή της βάσης. Τα κύρια χαρακτηριστικά της βάσης είναι:

- Σύνδεση σε 4 σημεία πάνω στο κεντρικό μέρος του εναέριου οχήματος με μεταλλική ράβδο 5 χιλιοστών
- Δημιουργία οπής εισόδου σε σχήμα V
- Δημιουργία οπής συγκράτησης σε σχήμα ανάποδης πυραμίδας για την αποφυγή της περιστροφής του οχήματος
- Κινητό μέρος για την ασφάλιση και την απασφάλιση του οχήματος
- Θέση για βάση της εικόνας αναγνώρισης(ar-tag)
- Προεκτάσεις διόρθωσης πορείας του επίγειου οχήματος

Στο σχήμα 4.1 Παρατίθενται τα στάδια δημιουργίας του τρισδιάστατου σχήματος της βάσης

Τα αρχικά σχέδια μετατράπηκαν αρκετές φορές μέχρι την επίτευξη του τελικού σχεδίου. Κάποια από τα προβλήματα τα οποία με παραμετροποιήσεις της βάσης λύθηκαν ήταν το

#### 4.1 Το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα



Σχήμα 4.1: Σχέδια βάσης μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος

μέγεθος της οπής συγκράτησης του οχήματός και του σχήματος της. Σε αυτό το σημείο έπρεπε να βρεθεί το κατάλληλο μέγεθος έτσι ώστε να υπάρχει ασφάλεια σύνδεσης. Με τις συγκεκριμένες διαστάσεις δεν υπάρχει κανένα περιθώριο απώλειας του οχήματος κατά την πτήση. Ακόμα το σχήμα της οπής συγκράτησης ήταν ένα σημείο στο οποίο δόθηκε πολύ μεγάλη βαρύτητα. Στην αρχή δοκιμάστηκε σφαιρική οπή συγκράτησης με την οποία επιτεύχθηκε ευκολότερη είσοδος του οχήματος όμως κατά την πτήση έδινε το περιθώριο περιστροφής του οχήματος, κάτι το οποίο δεν ήταν επιθυμητό όπως έχει αναφερθεί παραπάνω. Εν συνεχεία μετατράπηκε σε οπή συγκράτησης για υποδοχή βραχίονα σχήματος T. Το σχήμα σταματούσε την περιστροφή του οχήματος όμως η κατανομή του βάρους του επίγειου οχήματος δεν ήταν ομοιόμορφη στο οριζόντιο τμήμα του. Έτσι οδηγηθήκαμε στην μετατροπή του σχήματος σε ανάποδη πυραμίδα επιλύοντας με αυτόν τον τρόπο και το πρόβλημα της σταθερότητας του οχήματος αλλά και της σωστής κατανομής του βάρους ενώ ακόμα η διαδικασία της σύζευξης μπορούσε να ολοκληρωθεί με επιτυχία.

Βασικό στοιχείο που προστέθηκε μετά από δοκιμές που έγιναν ήταν η τοποθέτηση κινούμενης ράβδου για την ασφάλιση της πυραμίδας μετά την είσοδο. Σε αυτό το σημείο έγιναν πολλές δοκιμές για την εύρεση του κατάλληλου μηχανισμού ασφάλισης. Το τελικό σχέδιο

## 4. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ

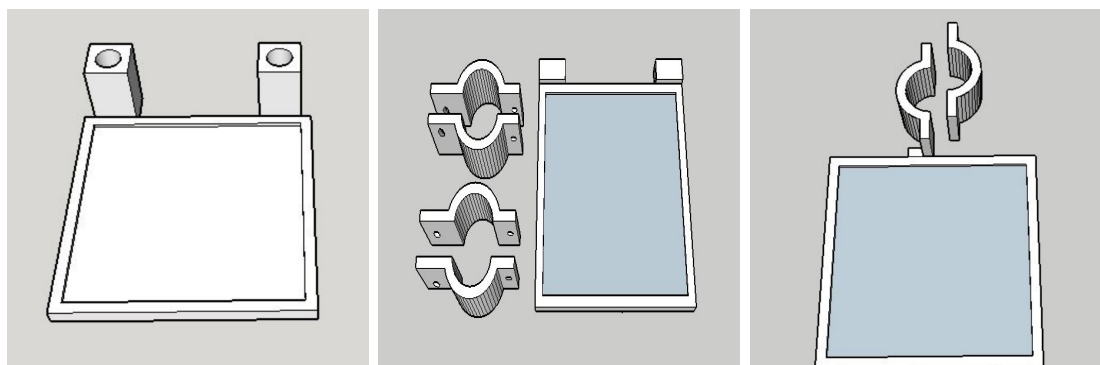
---

να είναι μια τραπεζοειδής ράβδος κινούμενη μέσω ενός σερβοκινητήρα τοποθετημένου στο αριστερό μέρος της κεντρικής βάσης.

Τέλος αναγκαία κρίθηκε η προσθήκη μιας ακόμα εικόνας αναγνώρισης στο πίσω μέρος της βάσης για την καλύτερη είσοδο και έξοδο του οχήματος η οποία θα αναλυθεί εκτενέστερα στην συνέχεια [9].

### 4.1.2 Κατασκευή πλαισίων για τις εικόνες αναγνώρισης

Για την οπτική αναγνώριση του εναέριου οχήματος από το επίγειο αλλά και για την εκτίμηση της απόστασης από αυτό επιλέξαμε να τοποθετηθούν τέσσερις εικόνες τύπου ar\_tag στις θέσεις δεξιά,αριστερά και πίσω από το επίγειο όχημα καθώς και πίσω από την βάση. Οι εικόνες αυτές θα βοηθήσουν για την εκτίμηση της απόστασης αλλά αυτό θα επεξηγηθεί παρακάτω. Κύρια χαρακτηριστικά της είναι το κατάλληλο μέγεθος για την τοποθέτηση εικόνων για αναγνώριση από απόσταση 5 μέτρων καθώς ακόμα η δημιουργία σφινγκτήρων συγκράτησης του πλαισίου, για την αποφυγή περιστροφής τους, καθώς βρίσκονται κάτω από τους έλικες και μια περιστροφή του θα οδηγούσε σε βλάβη του εκάστοτε έλικα. Στο Σχήμα 4.2 παρατίθενται τα τελικά σχέδια των πλαισίων για την βάση, το πίσω μέρος και τις δύο πλευρές.



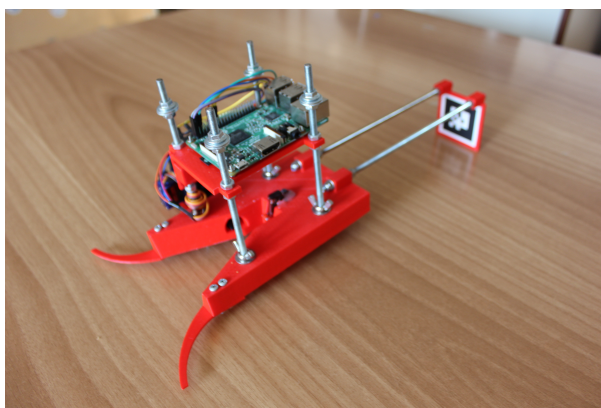
Σχήμα 4.2: Σχέδια πλαισίων για τις εικόνες αναγνώρισης(βάση, πίσω, αριστερά-δεξιά)

### 4.1.3 Ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου

Το ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου του μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος επιλέχθηκε μετά από έρευνα και αρκετές δοκιμές σε άλλες πλατφόρμες να είναι ένα Raspberry PI 3B

## 4.1 Το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα

με εγκατεστημένο λειτουργικό σύστημα Raspbian και το ROS. Ο ρόλος του συγκεκριμένου ενσωματωμένου συστήματος είναι να ελέγχει, μέσω των σημάτων έλεγχου που είναι συνδεδεμένα πάνω στις GPIO, την σωστή είσοδο του οχήματος, το κλείδωμα της βάσης καθώς και την ανάγνωση των τιμών των αισθητήρων. Εκτός από αυτά όμως η επιλογή του Raspberry για το συγκεκριμένο ενσωματωμένο έγινε για την επικοινωνία μέσω ROS με τον `master_node` που είναι στο ενσωματωμένο του επίγειου οχήματος. Η άλλη πλατφόρμα που δοκιμάστηκε ήταν ο μικροελεγκτής Arduino UNO rev 3.0. Στην περίπτωση αυτή για την επικοινωνία τοποθετήθηκε πάνω σε αυτό bluetooth και επιτεύχθηκε η επικοινωνία με το UGV του με το ενσωματωμένο του επίγειου οχήματος. Διαπιστώθηκε όμως ότι η έλλειψη του ROS περιορίζει την επεκτασιμότητα του συστήματος. Έτσι στην συνέχεια τοποθετήθηκε ένα Raspberry pi zero το οποίο ήταν ικανό να ανταπεξέλθει σε όλες τις απαιτήσεις που είχαμε σε επεξεργαστική ισχύ, όμως η εγκατάσταση του ROS δεν μπόρεσε να ολοκληρωθεί με επιτυχία, καθώς δεν υπήρχε επαρκής υποστήριξη από την κοινότητα για το συγκεκριμένο ενσωματωμένο σύστημα. Έτσι οδηγηθήκαμε στην τοποθέτηση του Raspberry pi 3b, το οποίο μας παρέχει δυνατότητα επικοινωνίας των δύο ενσωματωμένων δικτυακά μέσω wifi, καθώς επίσης και την επεκτασιμότητα της παρούσας υλοποίησης με τοποθέτηση κάμερας και στο εναέριο όχημα για εφαρμογές που απαιτούν επεξεργασία εικόνας. Στο Σχήμα 4.3 παρατίθεται η τελική μορφή της βάσης με τοποθετημένο το ενσωματωμένο σύστημα και όλες τις απαραίτητες συνδέσεις.

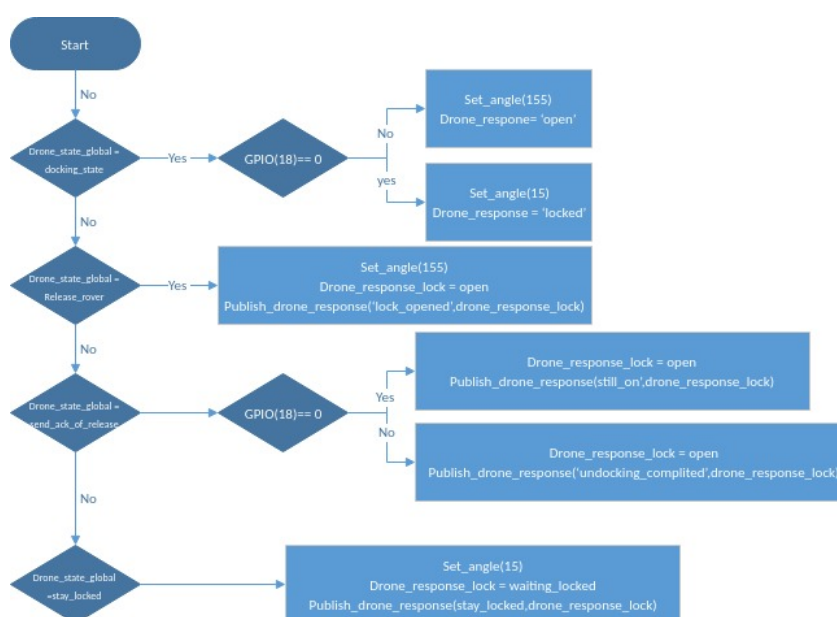


Σχήμα 4.3: Τελική μορφή βάσης εναέριου οχήματος

## 4. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ

### 4.1.4 Κόμβοι ελέγχου καταστάσεων

Στο ενσωματωμένο σύστημα που βρίσκεται πάνω στο εναέριο όχημα και μέσω του ROS τρέχει ο κόμβος ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο της ομαλής επίτευξης της σύζευξης και αποσύζευξης μέσω του διακόπτη ορίου (limit switch), της κίνησης του σερβοκινητήρα καθώς και της λήψης των τιμών των αισθητήρων που μπορούν να τοποθετηθούν σε αυτό. Για την καλύτερη κατανόηση παρατίθεται το διάγραμμα ροής του κόμβου στο Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4: Κόμβος εναέριου οχήματος

Στο Σχήμα 4.5 φαίνεται το τελικό μη επανδρωμένο εναέριο όχημα

## 4.2 Το μη επανδρωμένο επίγειο όχημα

Για τη διεξαγωγή της εργασίας χρειάστηκε η χρήση ενός επίγειου οχήματος και αυτό ήταν ένα 6-τροχο όχημα μικρού μεγέθους (δύο κιλών) το οποίο κατασκευάστηκε στο πλαίσιο της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας του συναδέλφου Γεωργίου Μπολωνάκη. Το όχημα αυτό έχει την δυνατότητα ελέγχου της κίνησης του και ήδη εγκατεστημένο το ROS. Χρειάστηκαν όμως κάποιες προσαρμογές όπως η προσθήκη USB κάμερας τύπου webcam ανάλυσης 720p η δημιουργία μιας βάσης πρόσδεσης με το UAV και τέλος η δημιουργία

## 4.2 Το μη επανδρωμένο επίγειο όχημα



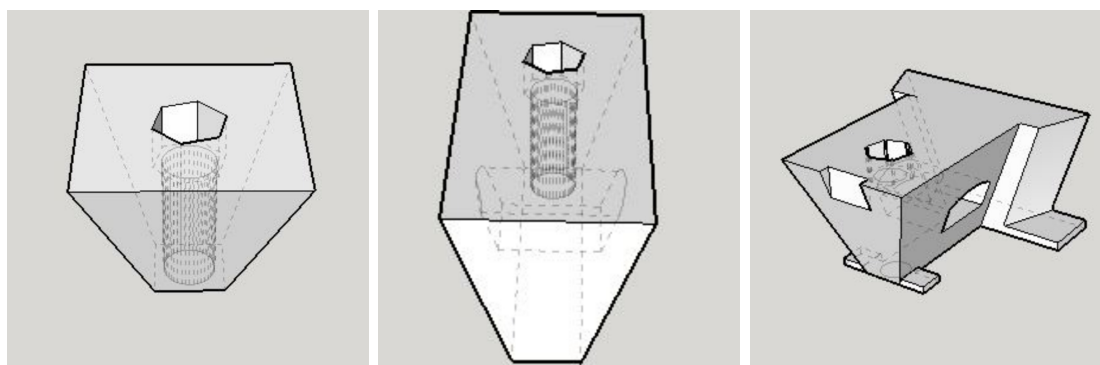
Σχήμα 4.5: Τελική μορφή μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος

καταλλήλων κόμβων ελέγχου για την αποστολή εύρεσης του UAV καθώς το επίγειο όχημα επωμίζεται τον ρόλο του συντονιστή για την αποστολή.

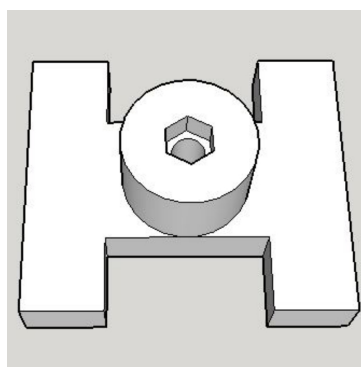
Το σχήμα της βάσης στήριξης επιλέχθηκε μετά από πολλές δοκιμές να είναι μια ανάποδη πυραμίδα γιατί εκμεταλλεύεται το βάρος του UGV για την ασφάλιση και αποτρέπει την δυνατότητα περιστροφής του κατά την πτήση. Σε αυτό έπρεπε να προστεθεί μια οπή για να μπαίνει το κινούμενο μέρος της βάσης του UAV για την πλήρη ασφάλιση. Τα δοκιμαστικά σχέδια που δημιουργήθηκαν έδειξαν ότι ο σχεδιασμός αυτός ήταν ο πιο αποδοτικός και στο θέμα της ασφάλειας αλλά και σε ένα πολύ κομβικό σημείο που είναι η ομαλή είσοδος και έξοδος του UGV καθιστώντας εφικτή την αυτόνομη αποστολή. Στο Σχήμα 4.6 φαίνονται κάποιες ενδεικτικές μετατροπές της πυραμίδας πρόσδεσης ενώ στο Σχήμα 4.7 φαίνεται η βάση η οποία συνδέεται με το επίγειο όχημα και με μία ράβδο 5 χιλιοστών επεκτείνει το ύψος της πυραμίδας πρόσδεσης.

#### 4. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ

---



Σχήμα 4.6: Πυραμίδα πρόσδεσης μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος στο εναέριο



Σχήμα 4.7: Βάση στύριξης πυραμίδας

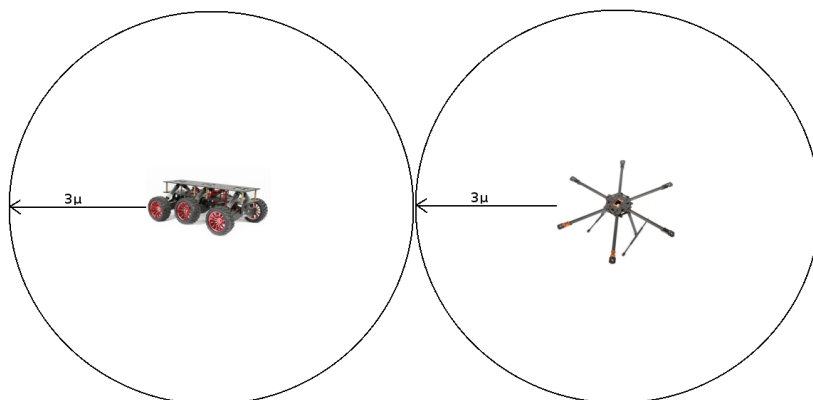
### 4.3 Αλγόριθμος εύρεσης μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος

Το πρόβλημα της σύζευξης ξεκινάει από το γεγονός ότι το ραντεβού των δύο μη επανδρωμένων οχημάτων γίνεται μέσω δύο σημείων GNSS ένα για το UAV και ένα για το UGV. Τα δύο αυτά σημεία μπορούν να έχουν από μόνα τους απόκλιση περίπου 3 μέτρα (Σχήμα 4.8) από το αρχικό σημείο συνάντησης που τους είχε δοθεί, λόγω της ποιότητας του δέκτη GNSS που έχουν. Έτσι χρειάζεται ένας αλγόριθμος εύρεσης του drone από το rover μέσω εικόνας. Ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε έχει ως αποτέλεσμα το UGV να έρθει ακριβώς πίσω από το UAV, σε οπτική επαφή με το ar-tag που βρίσκεται πίσω από την βάση και να στείλει το σήμα ελέγχου για την εκκίνηση της τελικής φάσης της πρόσδεσης.

Για την καλύτερη κατανόηση του αλγορίθμου αυτού παρατίθεται το διάγραμμα καταστάσεων που ακολουθεί ο αλγόριθμος στο Σχήμα 4.9.

#### 4.4 Αλγόριθμος ασφάλισης μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος στην βάση

---



Σχήμα 4.8: Πιθανή απόκλιση από τα σημεία συνάντησης

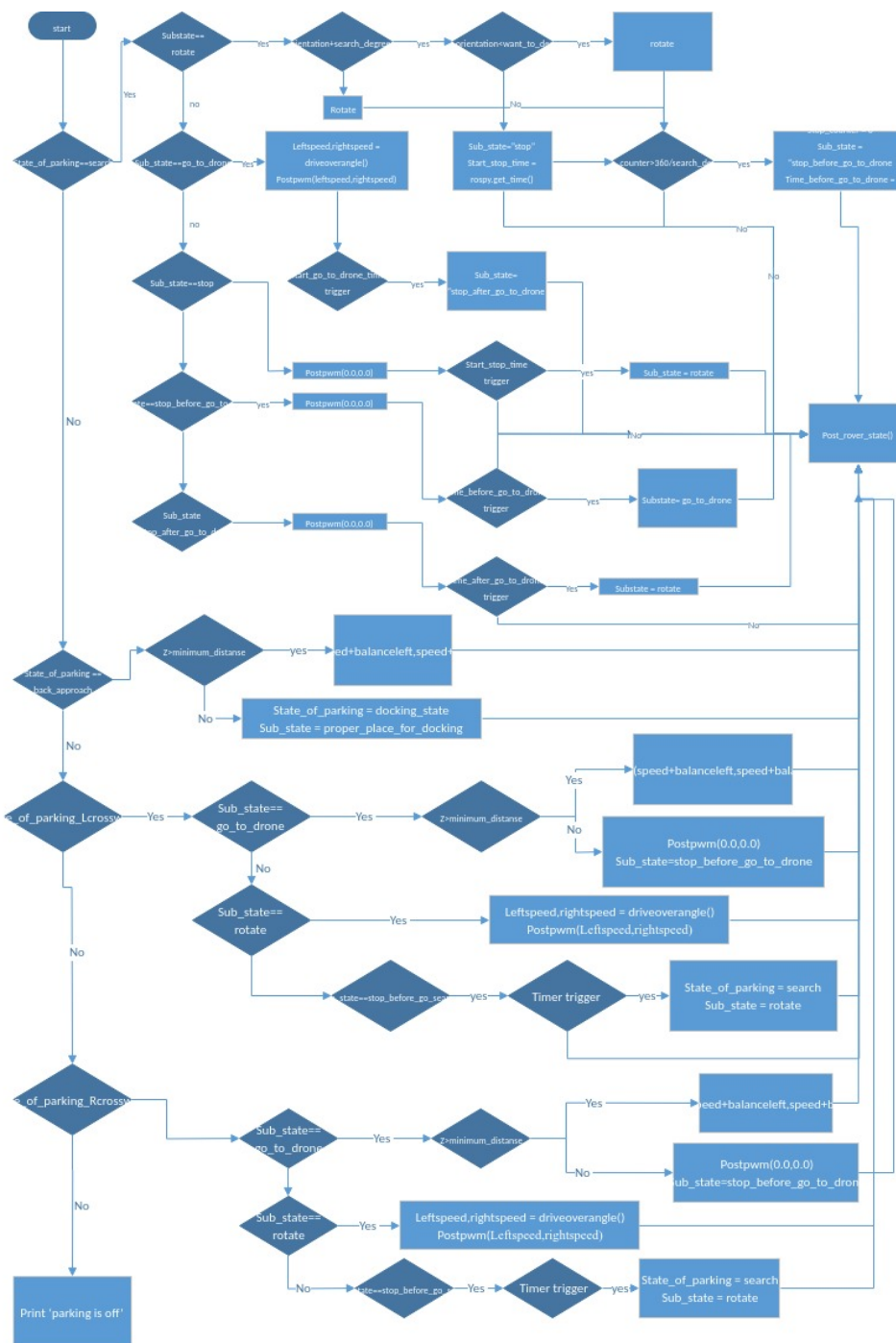
#### 4.4 Αλγόριθμος ασφάλισης μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος στην βάση

Για την ασφάλιση του UGV ελέγχεται σε όλη τη διάρκεια της διαδικασίας η απόκλιση στον χάρη για διόρθωση πορείας και περιμένει μέχρι ο διακόπτης που έχει τοποθετηθεί να δώσει επιβεβαίωση ότι το όχημα έχει εισέλθει σωστά. Ο διακόπτης αυτός είναι τοποθετημένος μέσα στη βάση και το σήμα δίνεται στο raspberry του UAV ενώ στην συνέχεια μεταφέρεται ως μήνυμα στο συντονιστή δηλαδή στο raspberry του UGV. Σε περίπτωση που αργήσει να γίνει αυτή η διαδικασία για οποιοδήποτε λόγο, όπως σε περίπτωση κολλημάτος της πυραμίδας στην βάση, το όχημα πάει πάλι προς τα πίσω και ξαναδοκιμάζει την προσέγγιση στη βάση. Σε όλες τις δοκιμές που έγιναν πολύ λίγες φορές χρειάστηκε να ξανακάνει την προσέγγιση το όχημα και αυτό λόγω των διορθώσεων που γίνονται ταυτόχρονα με την προσέγγιση. Στο Σχήμα 4.11 παρατίθεται το διάγραμμα καταστάσεων της σύζευξης.

#### 4.5 Αλγόριθμος απασφάλισης μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος στην βάση

Στην διαδικασία της απασφάλισης υπάρχει η περίπτωση η πυραμίδα και η βάση να είναι σφηνωμένες μετά από την πτήση, για αυτόν τον λόγο έγινε η πρόβλεψη όταν γίνεται η προσγείωση του UAV η πυραμίδα να μην είναι σε επαφή με την βάση άρα το βάρος πάλι να χρησιμοποιείται

#### 4. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ



Σχήμα 4.9: Διάγραμμα καταστάσεων για το στάδιο της προσέγγισης

## 4.5 Αλγόριθμος απασφάλισης μη επανδρωμένου επίγειου οχήματος στην βάση



Σχήμα 4.10: Διάγραμμα καταστάσεων για το στάδιο της σύζευξης

## 4. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ

---

σαν δικλίδα ασφαλείας για την επιτυχία της διαδικασίας αυτής. Ο αλγόριθμος απασφάλιση ελέγχει τον ίδιο διακόπτη με την διαδικασία ασφάλισης σε αυτή τη περίπτωση όμως αν αργεί να ολοκληρωθεί η διαδικασία σταματάει και ξεκινάει διαδοχικά τους κινητήρες κίνησης. Και πάλι φαινόμενα τέτοιας δυσλειτουργίας ήταν ελάχιστα γιατί η ώθηση από την προσγείωση ήταν αρκετή. Στο σχήμα [4.11](#)

### 4.6 MAVROS

Το πακέτο MAVROS είναι ένα βοηθητικό πακέτο που επιτρέπει την επικοινωνία ενός ενσωματωμένου συστήματος με το πιλότο του μη επανδρωμένου οχήματος. Το συγκεκριμένο πακέτο παρέχει την δυνατότητα μετατροπής του πρωτοκόλλου επικοινωνίας MAVLink σε ROS μηνύματα. Στην περίπτωση μας όμως χρειάστηκε η μετατροπή του υπάρχοντος πακέτου ώστε να μπορεί να επικοινωνήσει το σύστημα μας ταυτόχρονα και με τους δύο ελεγκτές πτήσης, δηλαδή και με του UGV και με του UAV . Συγκεκριμένα μετά από αρκετή έρευνα και προσπάθειες τροποποιήθηκε το αρχείο CmakeLists.txt ώστε να επιτρέπει την ταυτόχρονη δημιουργία δύο συνδέσεων, μια για το UGV και μια για το UAV. Επίσης ακόμα δημιουργήθηκε αντίγραφο του αρχείου mavros\_node.cpp με όνομα mavros\_drone.cpp και mavros\_rover.cpp. Έτσι επιτεύχθηκε η ταυτόχρονη επικοινωνία και με τους δύο ελεγκτές πτήσης δίνοντας μας όλες τις πληροφορίες που έχει ο εκάστοτε ελεγκτής πτήσης όπως στίγμα GNSS , τιμή πυξίδας, κατάσταση μπαταρίας αλλά και την δυνατότητα αποστολής στιγμάτων για την αυτόνομη πλοήγηση του εναέριου οχήματος (waypoints). Σε αυτό το σημείο παρατηρήθηκε έλλειψη γνώσης από την κοινότητα του ROS γεγονός που δείχνει κενά στις συνεργατικές αποστολές χωρίς επίγειο σταθμό βάσης.

### 4.7 Συλλογή δεδομένων αισθητήρων

Όπως έχει προαναφερθεί υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης αισθητήρων διάφορων τύπων και στο εναέριο αλλά και στο επίγειο όχημα δίνοντας την δυνατότητα συνεργατικών αποστολών περιβαλλοντολογικής μελέτης. Στο πλαίσιο των πειραματισμών που έγιναν τοποθετήθηκαν αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας και στα δύο οχήματα και έγινε μελέτη των δύο αυτών τιμών στον αέρα σε διαφορετικά υψόμετρα και στο έδαφος σε διαφορετικά σημεία ενδιαφέροντος.

## 4.7 Συλλογή δεδομένων αισθητήρων



Σχήμα 4.11: Διάγραμμα καταστάσεων για το στάδιο της σύζευξης





Σχήμα 4.13: Τελική μορφή επίγειου οχήματος

#### 4. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ

---

# Κεφάλαιο 5

## Αποτελέσματα

Για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας έγιναν δοκιμές τόσο σε εσωτερικό όσο και σε εξωτερικό περιβάλλον. Στο εσωτερικό περιβάλλον λόγω έλλειψης του σήματος GNSS δοκιμάστηκε μόνο το τελευταίο στάδιο της σύζευξης, η αποσύζευξη, η σωστή επικοινωνία των ενσωματωμένων συστημάτων αλλά και των ελεγκτών πτήσης ενώ τέλος δοκιμάστηκαν και οι διάφορων τύπων αισθητήρες που τοποθετήθηκαν πάνω στο εναέριο και στο επίγειο όχημα. Στο εξωτερικό περιβάλλον δοκιμάστηκε η πλήρης αποστολή και με τα δύο οχήματα (Σχήμα 5.1) και παρατηρήθηκε μέσω των μηνυμάτων ο σωστός συγχρονισμός αλλά και η επικοινωνία από απόσταση.



Σχήμα 5.1: Συνεργασία επίγειου και εναέριου οχήματος σε εξωτερικό περιβάλλον

## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

---

### 5.1 Προσεγγίσεις του επίγειου οχήματος

Όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4, το επίγειο όχημα προσεγγίζοντας το εναέριο όχημα μπορεί να το δει είτε από πίσω είτε από δεξιά είτε από αριστερά και με περιστροφική διερεύνηση του χώρου να επιτύχει οπτική αναγνώριση του αντίστοιχου ar-tag. Σε περίπτωση που ανιχνευτεί η πίσω όψη του UAV(είσοδος του UGV) ξεκινάει με μικρές διορθώσεις η προσέγγιση μέχρι το σημείο που θα βρεθεί το ar-tag της βάσης όπου εκεί θα ολοκληρωθεί η διαδικασία της σύζευξης. Σε περίπτωση που αναγνωριστεί κάποιο από τα πλευρικά ar-tag τότε το όχημα θα μετατοπιστεί μέχρι ένα σημείο προς ar-tag ενώ στην συνέχεια θα κάνει περιστροφή 45 μοίρες και μετατόπιση μέχρι να βρεθεί στο πίσω μέρος της βάσης και στη συνέχεια κάνει προσέγγιση του εναέριου οχήματος από πίσω για είσοδο. Στα Σχήματα 5.2 5.3 5.4 φαίνεται η προσέγγιση από αριστερά, δεξιά και πίσω αντίστοιχα.

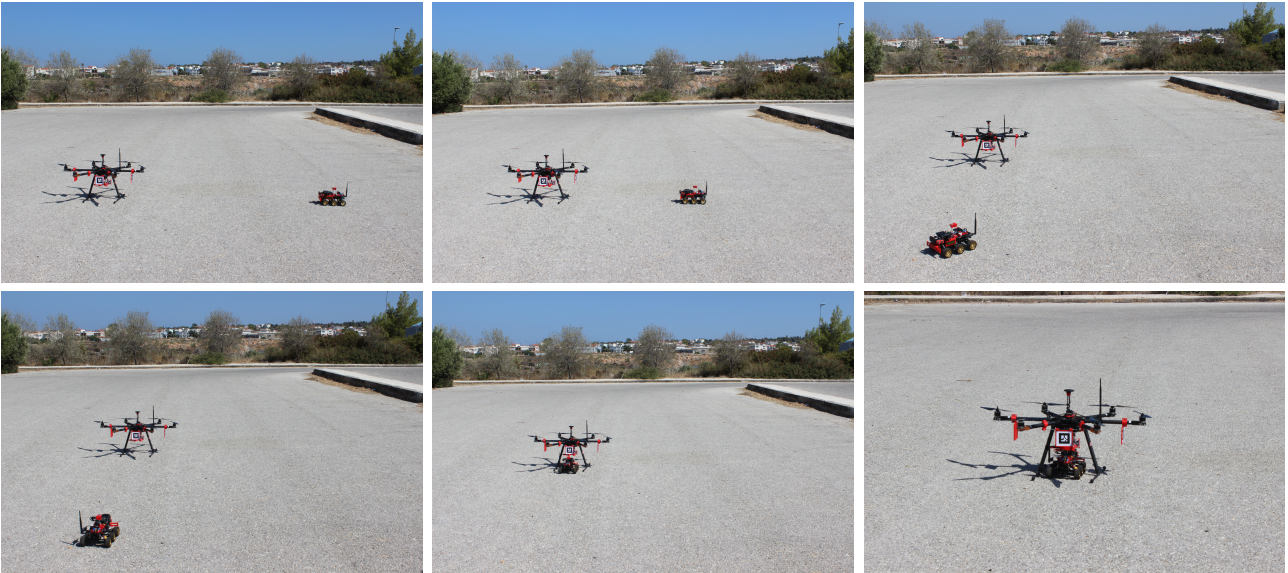


Σχήμα 5.2: Προσέγγιση απο τα αριστερά

### 5.2 Ενεργοί κόμβοι

Στη διάρκεια μιας προσέγγισης, παράλληλα έχουμε την δυνατότητα να παρακολουθούμε όλους τους κόμβους καθώς και τα μηνύματα που παράγονται για να βεβαιωθούμε ότι όλα κυλούν ομαλά. Στο Σχήμα 5.5 φαίνεται ένα screenshot από κάποιους βασικούς κόμβους του ROS που είναι σε χρήση.

### 5.3 Τελική Μεταφορά



Σχήμα 5.3: Προσέγγιση απο τα δεξιά



Σχήμα 5.4: Προσέγγιση απο το πίσω μέρος του UAV

### 5.3 Τελική Μεταφορά

Μετά τον έλεγχο σωστής συνδεσμολογίας και ασφάλισης όλων των αποσπασμένων μερών και των δύο οχημάτων πραγματοποιήθηκε πτήση μεταφοράς του επίγειου οχήματος από το εναέριο με θεαματικά αποτελέσματα. Το εναέριο όχημα ήταν πολύ σταθερό και η προσθήκη του επίγειου οχήματος δεν επηρέασε καθόλου την πτήση δεδομένου ότι παραμείναμε σε ασφαλή επίπεδα από το όριο του ωφέλιμου φορτίου. Η πτήση διήρκεσε 10 λεπτά και από τον έλεγχο του αρχείου σφαλμάτων του ελεγκτή πτήσης δεν παρατηρήθηκαν ανησυχητικά δεδομένα. Τέλος, στο [5.6 Σχήμα](#) παρατίθεται μια φωτογραφία από την αερομεταφορά του UGV από το UAV.



# Κεφάλαιο 6

## Συμπεράσματα

### 6.1 Συμπεράσματα

Η εκπόνηση της εργασίας ολοκληρώθηκε με επιτυχία σε σχέση με τον αρχικό στόχο. Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία συμπεραίνουμε ότι δεν αποτελεί ένα απλό proof of concept άλλα μια πλήρη και ρεαλιστική επίλυση του προβλήματος. Τα αποτελέσματα ήταν θεαματικά και δίνουν την δυνατότητα και σε επόμενους φοιτητές να εμπνευστούν και να χρησιμοποιήσουν το υλοποιημένο σύστημα και να δημιουργήσουν λύσεις για ένα μεγάλο αριθμό αποστολών. Η πλατφόρμα θα παραμείνει στο Εργαστήριο Γεωδαισίας και Γεωπληροφορικής του Πολυτεχνείου Κρήτης και μπορεί να αποτελέσει σημείο αναφοράς για περαιτέρω εξέλιξη και εφαρμογές άλλων δραστηριοτήτων στα αντικείμενα Μηχανικών. Τα κύρια συμπεράσματα που βγήκαν είναι αρχικά η χρησιμότητα του ROS και το πόσα πολλά εργαλεία διαθέτει για την επίλυση κάθε προβλήματος ενώ το γεγονός ότι η διπλωματική εργασία έγινε σε πλήρως ρεαλιστικές συνθήκες και όχι σε προσομοίωση έδωσε πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Για παράδειγμα η χρήση του οχήματος σε εσωτερικό και σε εξωτερικό χώρο ήθελε διαφορετικές παραμετροποιήσεις και αυτό γιατί η πρόσφυση των ελαστικών σε πάτωμα και σε δρόμο δεν είναι η ίδια. Έκτος από το ROS έγινε χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης και αντιμετωπίσαμε και εκεί πολλά προβλήματα όχι μόνο στο σχεδιαστικό μέρος αλλά και στην εύρεση βέλτιστης σχεδίασης που να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις μας. Λόγω του ρεαλισμού και της ιδιαιτερότητας του ανοικτού προβλήματος που αντιμετωπίσαμε, οι πιθανές κατευθύνσεις αναζήτησης λύσεων ήταν εξαιρετικά πολυπληθείς και ποικίλλες. Έτσι και σε συνδυασμό με την δυνατότητα να εκτυπώνουμε εξαρτήματα κατά περίπτωση, ακολουθήσαμε διαδοχικά βελτιστοποιημένες σχεδιάσεις με πάρα πολλές εκδοχές τους.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

### 6.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Οι βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν είναι αρκετές και χωρίζονται σε εργασίες που αφορούν τόσο στις αποστολές όσο και στον εξοπλισμό.

#### 6.2.1 Αναβάθμιση εξοπλισμού

Η κύρια αναβάθμιση που χρειάζεται το UGV είναι ένα σύστημα οδομετρίας. Κρίσιμο σημείο σε όλη την διπλωματική εργασία ήταν ότι δεν υπήρχε ενσωματωμένη οδομετρία δημιουργώντας έτσι πολλές ελλείψεις στο θέμα του εντοπισμού θέσης (localization) του οχήματος. Αυτό συνέβη γιατί δεν είχαμε πραγματικά δεδομένα για την μετατόπιση του οχήματος κάτι που οδήγησε στο να δωθεί μεγάλη έμφαση στην οπτική επαφή ανά πάσα στιγμή με κάποιο από τα τέσσερα ar-tags του UAV. Εν συνεχεία η αλλαγή της υπάρχουσας κάμερας του UGV με μια κάμερα ευρυγώνιου φακού θα μπορούσε να βοηθήσει στην ευκολότερη εύρεση του UAV όμως θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι η επεξεργασία εικόνας τότε θα είναι πολύ εντονότερη και ήδη το raspberry pi δουλεύει στα όρια του. Τέλος θα μπορούσε να μπει η κάμερα πάνω σε μια περιστρεφόμενη βάση δίνοντας έτσι την δυνατότητα περιστροφής μόνο της κάμερας και όχι ολόκληρου του UGV κερδίζοντας έτσι μεγαλύτερη ακρίβεια στην παρακολούθηση των ar-tags .

#### 6.2.2 Πιθανές αποστολές

Οι αποστολές που μπορούν να γίνουν όπως έχουμε επισημάνει είναι αρκετές. Κάποια από αυτές θα μπορούσε να είναι η μεταφορά του UGV σε ταράτσες κατοικιών για την χαρτογράφησή τους. Με αυτόν τον τρόπο η μεταφορά του οχήματος αποκτά μεγάλη σημασία καθώς σε αντίθετη περίπτωση θα έπρεπε κάποιος άνθρωπος να κάνει τις μεταφορές αυτές, κάτι αποτρεπτικό σε μια μεγάλη πόλη. Ακόμα μια άλλη πρόταση είναι η τροποποίηση των υπάρχοντων μέσων και η μετατροπή τους για συνεργατικές αποστολές μεταξύ UGV και UAV (μη επανδρωμένο υποθαλάσσιο όχημα) ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα με πολλαπλές χρήσεις και αυτό. Τέλος ακόμα και η προσθήκη ανεμόμετρου στα δυο οχήματα, για την μέτρηση του αέρα ταυτόχρονα στην κορυφή και στη βάση μιας ανεμογεννήτριας και η επανάληψη της διαδικασίας σε ένα μεγάλο αιολικό πάρκο για όλες τις ανεμογεννήτριες είναι από μόνο του κάτι πολύ χρήσιμο στον τομέα των εναλλακτικών πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα στο τομέα των ανεμογεννητριών.

### 6.2.3 Δυνατότητα αλληλομεταφοράς

Μελλοντικά, θα μπορούσε να γίνει μετατροπή του υπάρχοντος εξοπλισμού, για προσθήκη δυνατότητας μεταφοράς και του εναέριου οχήματος από το επίγειο. Η μετατροπή αυτή θα έδινε επιπλέον λειτουργίες στο παρών σύστημα. Κάποιες από αυτές, θα μπορούσαν να είναι η μεταφορά του εναέριου οχήματος για εξοικονόμηση ενέργειας καθώς τα επίγεια οχήματα καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια. Ενώ ακόμα θα μπορούσε το επίγειο όχημα να μεταφέρει το εναέριο σε περιοχές μη προσβάσιμες από αυτό όπως το εσωτερικό ενός αγωγού ύδρευσης.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

# Βιβλιογραφία

- [1] RobotOperatingSystem: Introduction. <https://wiki.ros.org/ROS/Introduction> 1(1) (2 2018) 1 introduction. 1, 3
- [2] Kalakrishnan, M., Chitta, S., Theodorou, E., Pastor, P., Schaal, S.: STOMP: Stochastic Trajectory Optimization for Motion Planning. In: International Conference on Robotics and Automation. (2011) 9
- [3] Roalter, L., Moller, A., Diewald, S., Kranz, M.: Developing intelligent environments: A development tool chain for creation, testing and simulation of smart and intelligent environments. In: Intelligent Environments (IE), 2011 7th International Conference on 10
- [4] Mason, J., Marthi, B.: An object-based semantic world model for long-term change detection and semantic querying. In: IEEE RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. (2012) 10
- [5] Hornung, A., Phillips, M., Jones, E.G., Bennewitz, M., Likhachev, M., Chitta, S.: Navigation in three-dimensional cluttered environments for mobile manipulation. In: Proc.of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) 11
- [6] Waslander, S.L.: Unmanned aerial and ground vehicle teams: Recent work and open problems. <https://pdfs.semanticscholar.org/8767/6f2ab67876ca9612c7e74f3997640e78fdf8.pdf> 1(1) (9 2013) 1 Electronics Letters. 11
- [7] Eshel, T.: Roboteam demonstrates the rooster drone-robot. [http://defense-update.com/20170221\\_rooster-robot.html](http://defense-update.com/20170221_rooster-robot.html) 1(1) (2 2017) 1 defenseupdate. 11

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [8] Kim, J.H.: Ugv for automatic landing of drone. <https://phys.org/news/2014-09-air-ground-based-robot-vehicles.html> **1**(1) (2 2014) 1 Robots Insider. 12
- [9] Rich, C., Ponsler, B., Holroyd, A., Sidner, C.L.: Recognizing engagement in human-robot interaction. In: Human Robot-Interaction. (2010) 18