



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης αποστολών
για πολλαπλά μη επανδρωμένα εναέρια
αεροσκάφη με στόχο την συνεργατική κάλυψη
περιοχών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΠΑΥΛΟΥ ΚΑΠΟΥΤΣΗ

Επιβλέπων: Θεοδώρα Βαρβαρίγου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2020



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής

Ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης αποστολών
για πολλαπλά μη επανδρωμένα εναέρια
αεροσκάφη με στόχο την συνεργατική κάλυψη
περιοχών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΠΑΥΛΟΥ ΚΑΠΟΥΤΣΗ

Επιβλέπων: Θεοδώρα Βαρβαρίγου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 1η Ιουλίου 2020.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Θεοδώρα Βαρβαρίγου
Καθηγήτριας Ε.Μ.Π.

.....
Εμμανουήλ Βαρβαρίγος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Συμεών Παπαβασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2020

(Υπογραφή)

.....

ΠΑΥΛΟΣ ΚΑΠΟΤΤΣΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

© 2020 – All rights reserved



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής

Copyright ©–All rights reserved Πάυλος Καπούτσης, 2020.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

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

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια κα. Θεοδώρα Βαρβαρίγου για την υποστήριξη και καθοδήγηση που μου προσέφερε, καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω την διπλωματική μου στο συγκεκριμένο θέμα. Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνονται στον αδερφό μου Θανάση Καπούτση ο οποίος με την εμπειρία και τις συμβουλές του με βοήθησε να κατευθυνθώ στο συγκεκριμένο θέμα. Καταλήγοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τη Νικολέττα και τους φίλους που ήταν πάντα δίπλα μου και με υποστήριζαν.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια τα συστήματα μη επανδρωμένων εναέριων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον διαφόρων επιχειρηματικών τομέων, λειτουργώντας ως ένα ισχυρό εργαλείο για συλλογή δεδομένων. Οι τομείς που κάνουν ήδη χρήση των ΣμηΕΑ για τις εφαρμογές τους είναι: γεωργία ακριβείας, επιθεώρηση υποδομών, εξερεύνηση περιοχών, επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης. Σαν αποτέλεσμα της αυξανόμενης ζήτησης ΣμηΕΑ σε τέτοιες εφαρμογές, έχουν διατεθεί στο εμπόριο πολλά ΣμηΕΑ εξοπλισμένα με διάφορους αισθητήρες και δυνατότητες για επαγγελματική χρήση. Παράλληλα αναπτύσσεται και μια μεγάλη γκάμα από πλατφόρμες λογισμικού που αυτοματοποιούν την διαδικασία πτήσης, την συλλογή και την επεξεργασία των δεδομένων.

Η παρούσα διπλωματική παρουσιάζει ένα τέτοιο σύστημα για σχεδιασμό και εκτέλεση αποστολής πολλαπλών ΣμηΕΑ για κάλυψη περιοχής. Περιλαμβάνει ένα εύχρηστο και φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον, εφοδιασμένο με τα κατάλληλα σχεδιαστικά εργαλεία ώστε ο χρήστης να μπορεί να σχεδιάζει και να διαχειρίζεται τις αποστολές του. Χρησιμοποιεί αλγόριθμο για τον υπολογισμό μονοπατιών που πρέπει να διασχίσει κάθε ΣμηΕΑ καθώς και δυνατότητες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο της αποστολής. Για την αλληλεπίδραση με τα ΣμηΕΑ αναπτύχθηκε εφαρμογή mobile που κάνει χρήση του API των ΣμηΕΑ, ενώ η επικοινωνία των εφαρμογών mobile με το υπόλοιπο σύστημα υποστηρίζεται με έναν ενδιάμεσο Message Broker. Όσον αφορά τις τεχνολογίες που υιοθετήθηκαν, το backend σύστημα αναπτύχθηκε με το Spring framework για την γλώσσα Java, το frontend με την ReactJS βιβλιοθήκη, η εφαρμογή mobile είναι γραμμένη σε Java και ο Message Broker είναι ο Eclipse Mosquitto με messaging πρωτόκολλο το MQTT.

Λέξεις Κλειδιά

ΣμηΕΑ, κάλυψη περιοχών, Spring Framework, React, Eclipse Mosquitto, MQTT

Abstract

For the past few years UAVs have attracted the interest of many enterprise fields, becoming a powerful tool for professionals to acquire data in a fast and efficient way. Some of the fields that already exploit the use of UAVs for acquiring data are: precision agriculture, infrastructure inspection, exploration, search 'n' rescue and monitoring. As a result of this all the more growing interest on this direction, there are now available a lot of commercial UAVs, specialized for enterprise use. To cope with all these aerial devices, a range of software platforms that automate the procedure of flying, acquiring and processing data has been developed as well.

In this diploma, it is represented such a system for designing and executing a multi-UAV mission for area coverage. It includes a user-friendly interface with a set of tools that allows a user to design and manage the missions. It leverages an algorithm for path computations that each UAV should follow and provides real time monitoring. It is developed a mobile application for UAVs controlling and communicating, using their API. These mobile applications communicate with the rest system using a messaging mechanism via a message broker software. Regarding the technologies that have been used, backend system utilizes Spring framework for the Java ecosystem, frontend makes use of ReactJS library, mobile application is written in Java and the message broker that has been selected is Eclipse Mosquitto with MQTT message protocol.

Keywords

UAVs, area coverage, Spring Framework, React, Eclipse Mosquitto, MQTT

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	1
Περίληψη	3
Abstract	5
Περιεχόμενα	8
Κατάλογος Σχημάτων	10
1 Εισαγωγή	11
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής	11
1.2 Οργάνωση του τόμου	12
2 Θεωρητικό Υπόβαθρο	13
2.1 Εισαγωγή	13
2.2 Εύρεση μονοπατιών για κάλυψη περιοχών	13
2.2.1 Αλγόριθμος STC για ένα ρομπότ	13
2.2.2 Ακρίβεια κάλυψης	14
2.2.3 Βήματα αλγορίθμου	14
2.3 Η περίπτωση της κάλυψης με την συμμετοχή πολλών ρομπότ	17
2.4 Αλγόριθμος DARP	18
3 Τεχνολογικό Υπόβαθρο	21
3.1 Εισαγωγή	21
3.2 Frontend	21
3.2.1 Single Page Applications	21
3.2.2 ReactJS	22
3.2.3 Material Design	22
3.2.4 Google Maps	22
3.2.5 Websockets	22
3.3 Backend	23
3.3.1 Spring framework and Spring Boot	23

3.3.2	Διακομιστής (Server)	23
3.3.3	RESTful API	23
3.4	Ανάπτυξη βάσεων δεδομένων	24
3.5	Messaging	24
3.6	Mobile application	24
4	Αρχιτεκτονική Συστήματος	27
4.1	Εισαγωγή	27
4.2	Αρχιτεκτονική συστήματος	27
4.3	Περιγραφή μερών συστήματος	28
4.3.1	Web Client	28
4.3.2	Server	29
4.3.3	Database	29
4.3.4	Message Broker	29
4.3.5	Mobile Application	31
4.4	Λειτουργικές Απαιτήσεις Συστήματος	31
4.5	Μη Λειτουργικές Απαιτήσεις Συστήματος	32
5	Παρουσίαση εφαρμογής	35
5.1	Εισαγωγή	35
5.2	Παρουσίαση οθονών	36
6	Επίλογος	47
6.1	Μελλοντικοί στόχοι	47
	Βιβλιογραφία	50

Κατάλογος Σχημάτων

2.1	Αρχική περιοχή ενδιαφέροντος για κάλυψη	14
2.2	Διακριτοποίηση του χώρου σε κελιά	15
2.3	Μετατροπή κελιών σε κόμβους	15
2.4	Αφαίρεση κόμβων εμποδίων και προσθήκη ακμών	16
2.5	Εύρεση ελάχιστου συνδετικού δένδρου	16
2.6	Το ελάχιστο συνδετικό δέντρο σε σχέση με το αρχικό πλέγμα	17
2.7	Το τελικό μονοπάτι που πρέπει να ακολουθήσει το ρομπότ	17
2.8	Χωρισμός περιοχής από τον αλγόριθμο DARP για 4 ρομπότ	19
2.9	Μονοπάτια για 4 ρομπότ	19
4.1	Διάγραμμα αρχιτεκτονικής συστήματος	28
4.2	Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων	30
4.3	Εφαρμογή mobile για το ΣμηΕΑ	31
5.1	Οθόνη επιλογής project	36
5.2	Όνομα και ημερομηνία τροποποίησης project	37
5.3	Αναζήτηση project με βάση το όνομα	37
5.4	Κουμπί δημιουργίας νέου project	37
5.5	Κουμπί αναζήτησης τοποθεσίας στο χάρτη	37
5.6	Απεικόνιση τοποθεσίας ενεργών ΣμηΕΑ	38
5.7	Οθόνη σχεδίασης νέου project πολλαπλών ΣμηΕΑ	38
5.8	Σχεδίαση πολύγωνου ενδιαφέροντος (Region Of Interest)	39
5.9	Όνομα project και αποθήκευση	39
5.10	Εισαγωγή δύο περιοχών NO-FLY ZONE (σκούρο μαύρο)	40
5.11	Επιπλέον επιλογές ADVANCED	41
5.12	Μονοπάτια που υπολογίστηκαν από τον αλγόριθμο υπολογισμού μονοπατιών για κάθε ΣμηΕΑ	41
5.13	Μετάβαση στην εκκίνηση της αποστολής πολλαπλών ΣμηΕΑ μέσω του κου- μπιού NEXT	42
5.14	Οθόνη εκκίνησης αποστολής	42
5.15	Μενού επιλογής ΣμηΕΑ που θα λάβουν μέρος στην αποστολή	43

5.16 Παραμετροποίηση μοιρών κάμερας (Gimbal Pitch) και ταχύτητας (Speed) των ΣμηΕΑ της αποστολής	43
5.17 Αποστολή πολλαπλών ΣμηΕΑ σε εξέλιξη	44
5.18 Πληροφορίες πτήσης ΣμηΕΑ σε εξέλιξη	44
5.19 Ολοκλήρωση αποστολής	45
6.1 Φυτοϋγεία στην περιοχή ενδιαφέροντος	48
6.2 Αναπαράσταση 3D της περιοχής ενδιαφέροντος	48

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Με τον όρο ΣμηΕΑ UAV νοείται ένα αεροσκάφος χωρίς πιλότο το οποίο κινείται και δρά μέσω ενός συνδυασμού από τεχνολογίες όπως υπολογιστική όραση, τεχνητή νοημοσύνη, τεχνολογίες αποφυγής εμποδίων και άλλα.

Συνήθως πρέπει να υπάρχει κάποιος άνθρωπος που χειρίζεται το ΣμηΕΑ στο πεδίο δράσης του. Για την αποτελεσματικότερη κάλυψη περιοχών από ΣμηΕΑ γίνεται σαφές ότι πολλά ΣμηΕΑ θα μπορούσαν να συνεργαστούν προς το σκοπό αυτό και οι διαδρομές που θα ακολουθηθούν να έχουν προϋπολογιστεί μηχανικά χωρίς να χρειάζεται ανθρώπινη παρέμβαση στο χειρισμό τους κατά τη διάρκεια της πτήσης. Έχουν ήδη αναπτυχθεί συστήματα λογισμικού προς την κατεύθυνση αυτή, κυρίως με δυνατότητα για ένα ΣμηΕΑ.

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική αναφέρεται στην ανάπτυξη ενός συστήματος το οποίο παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να σχεδιάσει στο χάρτη και να εκτελέσει μια αποστολή πολλαπλών ΣμηΕΑ. Προς το σκοπό αυτό υλοποιήθηκε μια διεπαφή χρήστη ιστού (web user interface) που παρέχει τόσο το απαραίτητο περιβάλλον για τη διαχείριση αποστολών όσο και τη γεωγραφική τους απεικόνιση με τα κατάλληλα σχεδιαστικά εργαλεία.

Μια αποστολή πολλαπλών ΣμηΕΑ περιλαμβάνει τον αριθμό των ΣμηΕΑ που θα λάβουν μέρος, την περιοχή κάλυψης που σχεδιάζεται στο χάρτη καθώς και παραμετροποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών που απαιτούνται. Μετέπειτα υπολογίζονται τα μονοπάτια που θα πρέπει να ακολουθήσουν τα ΣμηΕΑ μέσω κατάλληλου αλγορίθμου κάλυψης της περιοχής και τέλος τα μονοπάτια αποστέλλονται στα ΣμηΕΑ για να ξεκινήσουν την κάλυψη.

Κατά την εκκίνηση της αποστολής κάλυψης της περιοχής, υπάρχει επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο τόσο των θέσεων των ΣμηΕΑ όσο και των εικόνων που καταγράφουν κατά τη διάρκεια της αποστολής.

Απώτερος στόχος της διπλωματικής αυτής και του εν λόγω συστήματος είναι η αυτοματοποίηση της διαδικασίας της κάλυψης περιοχών αξιοποιώντας την συλλογική εργασία των πολλαπλών ΣμηΕΑ, την παρακολούθηση της (monitoring) σε πραγματικό χρόνο καθώς και την συλλογή δεδομένων ενδιαφέροντος.

1.2 Οργάνωση του τόμου

Η διπλωματική εργασία είναι οργανωμένη σε έξι κεφάλαια. Η δομή τους είναι η εξής:

- Στο 2^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές θεωρητικές έννοιες που αφορούν τον αλγόριθμο υπολογισμού μονοπατιών. Θα αναλυθεί το πρόβλημα και πώς το αντιμετωπίζει ο αλγόριθμος που επιλέχτηκε σε διαδοχικά βήματα.
- Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν τόσο στην ανάπτυξη του backend όσο και στο frontend. Επίσης περιγράφεται ο μηχανισμός ανταλλαγής μηνυμάτων καθώς και σχετικές τεχνολογίες ιστού.
- Στο 4^ο Κεφάλαιο δίνεται η αρχιτεκτονική του συστήματος συνοδευόμενη με ανάλυση απαιτήσεων για το σύστημα που αναπτύχθηκε.
- Στο 5^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται το σύστημα από τη σκοπιά του χρήστη (User Interface).
- Στο 6^ο Κεφάλαιο αναφέρονται συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις του υπάρχοντος συστήματος.

Κεφάλαιο 2

Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Εισαγωγή

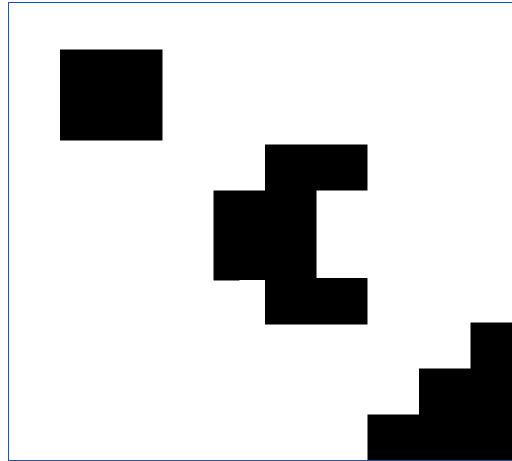
Ο σκοπός του κεφαλαίου είναι να εισάγει τον αναγνώστη στις βασικές θεωρητικές έννοιες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Το σύστημα διαχείρισης αποστολών που έχει αναπτυχθεί περιλαμβάνει τρία κύρια μέρη: τον σχεδιασμό της αποστολής στο χάρτη, τον υπολογισμό των μονοπατιών που θα πρέπει να καλύψει κάθε ΣμηΕΑ καθώς και την υποδομή για έναρξη της αποστολής και παρακολούθησής της σε πραγματικό χρόνο. Ο υπολογισμός των μονοπατιών δεδομένης μιας περιοχής κάλυψης για κάθε ΣμηΕΑ είναι από μόνο του ένα σύνθετο αλγοριθμικό πρόβλημα και έχει απασχολήσει έντονα την ακαδημαϊκή κοινότητα. Στη συνέχεια θα περιγραφεί το πρόβλημα καθώς και ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε.

2.2 Εύρεση μονοπατιών για κάλυψη περιοχών

Ένα από τα θεμελιώδη προβλήματα στο πεδίο της ρομποτικής και των αλγορίθμων είναι να προσδιοριστεί το βέλτιστο μονοπάτι που πρέπει να ακολουθήσει ένα ρομπότ προκειμένου να διασχίσει όλα τα σημεία μιας περιοχής ενδιαφέροντος αποφεύγοντας εν γένει κάποιες υποπεριοχές (εμπόδια). Ο όρος βέλτιστο μονοπάτι σημαίνει ένα μονοπάτι με την μικρότερη επανασεπισκεψιμότητα σημείων της περιοχής. Στη βιβλιογραφία το πρόβλημα είναι γνωστό σαν Coverage Path Planning (CPP) problem ή exhaustive geographical search ή sweeping κλπ. Γίνεται σαφές ότι το συγκεκριμένο πρόβλημα σχετίζεται άμεσα με διάφορες ρομποτικές εφαρμογές για σκούπερ ρομπότ (vacuum cleaning robots), μη-επανδρωμένα αεροσκάφη, αυτοματοποίηση αγροτικών διαδικασιών [3] αλλά και σε επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης (search and rescue operations) [8].

2.2.1 Αλγόριθμος STC για ένα ρομπότ

Ο αλγόριθμος που έχει διαδοθεί περισσότερο στον χώρο της έρευνας είναι ο spanning tree coverage (STC) [5, 4]. Θεωρείται ότι υπάρχει ένα ρομπότ το οποίο θέλει να εξερευνήσει μια περιοχή ενδιαφέροντος με τρεις περιοχές που αποτελούν εμπόδια (με μαύρο χρώμα) όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



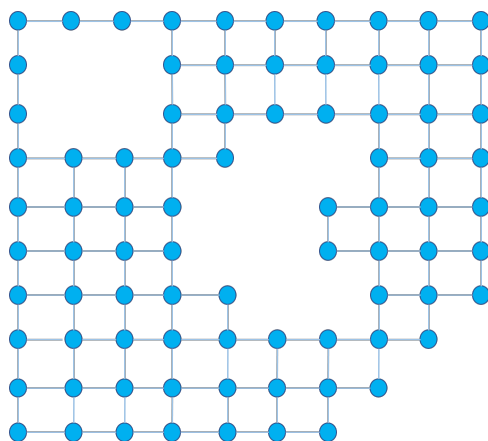
Σχήμα 2.1: Αρχική περιοχή ενδιαφέροντος για κάλυψη

2.2.2 Ακρίβεια κάλυψης

Με τον όρο *εξερευνήσει*, νοείται η ικανότητα ενός ρομπότ εξοπλισμένου με κάποιον αισθητήρα, να διασχίζει το χώρο λαμβάνοντας πληροφορίες ή δρώντας σε αυτόν ανάλογα την εκάστοτε εφαρμογή. Για παράδειγμα, σε μια εφαρμογή για ρομπότ σκούπες (vacuum cleaning robots), ένα ρομπότ θα πρέπει να διασχίσει την περιοχή ενδιαφέροντος με μονοπάτια που απέχουν όσο ακριβώς το εμβαδόν της σκούπας με σκοπό να ενεργήσει σε κάθε σημείο του χώρου. Αντίθετα, στην περίπτωση ενός μη-επανδρωμένου αεροσκάφους που βγάζει φωτογραφίες το έδαφος, η εξερεύνηση του χώρου είναι μεγαλύτερη από το εμβαδόν που καταλαμβάνει το μη-επανδρωμένο αεροσκάφος. Για αυτό το λόγο η αναπαράσταση της περιοχής που θα πρέπει να καλυφθεί από το ρομπότ μπορεί να θεωρηθεί σαν πλέγμα από ίσα κελιά με εμβαδό όσο και το μέγεθος που είναι ικανό να εξερευνήσει.

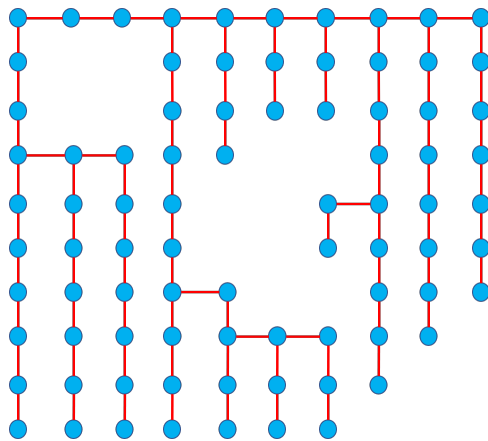
2.2.3 Βήματα αλγορίθμου

Το πρώτο βήμα του αλγορίθμου STC είναι να εφαρμοστεί η διακριτοποίηση του χώρου σε κελιά ανάλογα με την ακρίβεια κάλυψης που είναι επιθυμητή (Σχήμα 2.2).



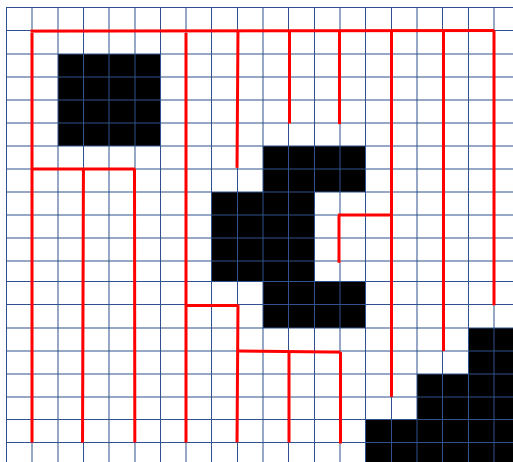
Σχήμα 2.4: Αφαίρεση κόμβων εμποδίων και προσθήκη ακμών

Σε αυτή το σημείο η αρχική περιοχή ενδιαφέροντος έχει μετασχηματιστεί σε ένα συνεκτικό γράφημα. Στο επόμενο βήμα εφαρμόζεται αλγόριθμος (Kruskal or Prim) [9] για εύρεση του ελάχιστου συνδετικού δένδρου (Minimum Spanning Tree). Το αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχήμα 2.5.



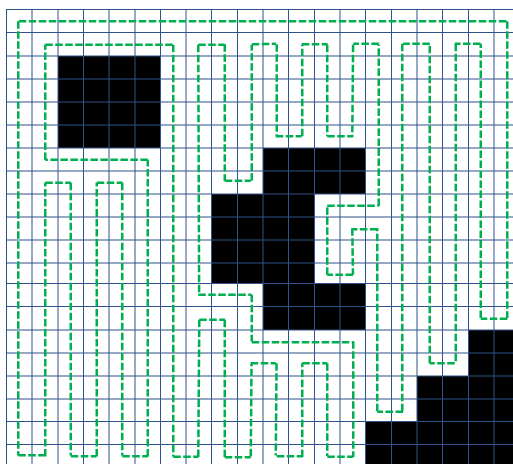
Σχήμα 2.5: Εύρεση ελάχιστου συνδετικού δένδρου

Το ελάχιστο συνδετικό γράφημα που προκύπτει έχει τις ελάχιστες ακμές που απαιτούνται έτσι ώστε το γράφημα να παραμένει συνεκτικό και θα αποτελέσει τον οδηγό για το μονοπάτι κάλυψης του ρομπότ (Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Το ελάχιστο συνδετικό δέντρο σε σχέση με το αρχικό πλέγμα

Το τελικό μονοπάτι που πρέπει να ακολουθήσει το ρομπότ (Σχήμα 2.7) είναι επί της ουσίας το περίγραμμα των κελιών γύρω από το ελάχιστο συνδετικό δέντρο που έχει υπολογιστεί.



Σχήμα 2.7: Το τελικό μονοπάτι που πρέπει να ακολουθήσει το ρομπότ

Ο αλγόριθμος spanning tree coverage (STC) μπορεί να δώσει σε γραμμικό χρόνο ένα μονοπάτι κάλυψης χωρίς επαναεπισκεψιμότητα των κελιών. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του αλγορίθμου STC είναι ότι μπορεί να υπολογίσει μονοπάτι κάλυψης από οποιοδήποτε αρχικό κελί καταλήγοντας μετά το πέρας της αποστολής στο ίδιο αρχικό κελί, ιδιότητα που είναι ιδιαίτερα επιθυμητή σε πραγματικές εφαρμογές κάλυψης.

2.3 Η περίπτωση της κάλυψης με την συμμετοχή πολλών ρομπότ

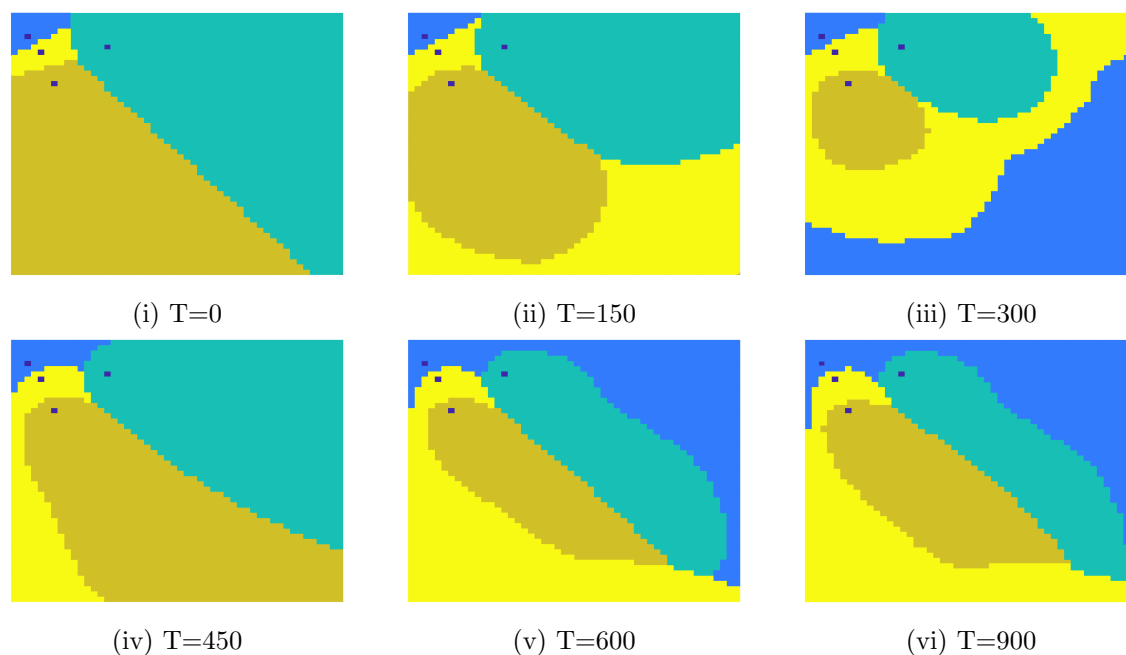
Στην περίπτωση των πολλών ρομπότ το πρόβλημα μετασχηματίζεται στο multi-CPP (mCPP problem). Οι απαιτήσεις για την επίλυση του mCPP στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής περιλαμβάνουν:

- Πλήρη κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος
- Ελάχιστη επαναεπισκεψιμότητα των ρομπότ στα κελιά του πλέγματος της περιοχής ενδιαφέροντος
- Κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος στον λιγότερο δυνατό χρόνο με την συνεργατική κάλυψη όλων των διαθέσιμων ρομπότ
- Συμπερίληψη των αρχικών θέσεων των ρομπότ στον υπολογισμό των μονοπατιών τους

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι κάλυψης για το multi-CPP με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα σε ποια χαρακτηριστικά του προβλήματος δίνεται βαρύτητα. Για παράδειγμα στο άρθρο [1] έχει παρουσιαστεί ένας ευρυστικός αλγόριθμος πολυωνυμικού χρόνου, που όμως δεν λαμβάνει υπόψιν τις αρχικές θέσεις των ρομπότ και άρα δεν παρέχει καμία εγγύηση για την κάλυψη στον λιγότερο δυνατό χρόνο. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την κάλυψη της περιοχής με πολλαπλά ΣμηΕΑ είναι ο DARP [6] ο οποίος ικανοποιεί όλες τις παραπάνω απαιτήσεις και έχει προσεγγιστικά πολυωνυμικό χρόνο εκτέλεσης σε λογικά στιγμιότυπα εισόδου.

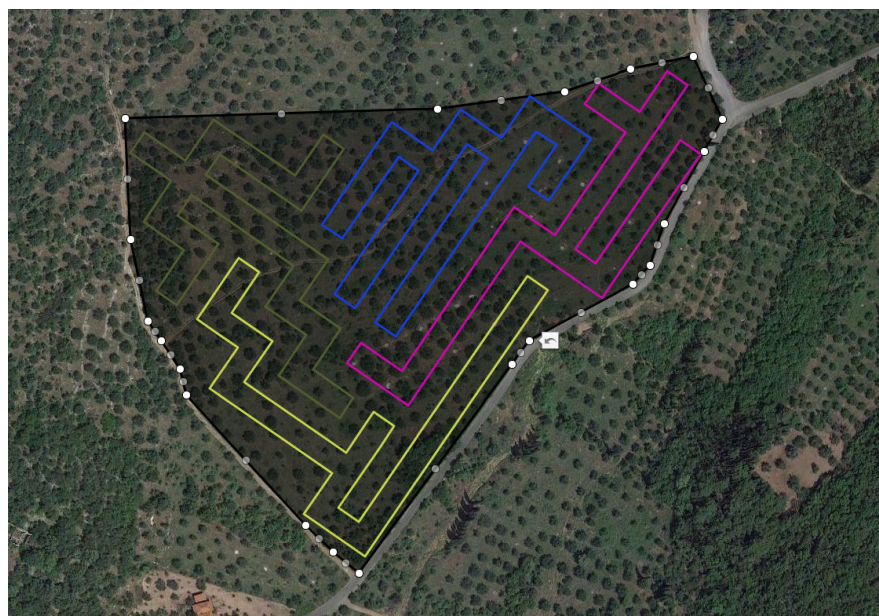
2.4 Αλγόριθμος DARP

Ο αλγόριθμος DARP κατασκευάζει τα βέλτιστα μονοπάτια που πρέπει να καλύψει η ομάδα των ρομπότ με σκοπό την βέλτιστη συνεργατική κάλυψη της αρχικής δοσμένης περιοχής. Στο αρχικό του στάδιο ο DARP μετατρέπει το αρχικό πρόβλημα mCPP σε ένα πρόβλημα ικανοποίησης περιορισμών (constraint satisfaction problem). Έπειτα βρίσκει μια ανάθεση από κελιά στο κάθε ρομπότ χρησιμοποιώντας την μέθοδο cyclic coordinate descent. Η μέθοδος αυτή είναι ειδική περίπτωση της coordinate descent, ένας αλγόριθμος γνωστός από τη θεωρία βελτιστοποίησης, που δρα επαναληπτικά και βρίσκει το ελάχιστο μιας συνάρτησης πολλών μεταβλητών. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η εκτέλεση του αλγορίθμου DARP (σε έξι διαφορετικές χρονικές στιγμές) για τέσσερα ρομπότ με αρχικές θέσεις και στο τέλος οι υποπεριοχές που πρέπει να καλύψουν για την βέλτιστη κάλυψη της περιοχής.



Σχήμα 2.8: Χωρισμός περιοχής από τον αλγόριθμο DARP για 4 ρομπότ

Τα αποτελέσματα του διαχωρισμού της αρχικής περιοχής σε υποπεριοχές μέσω του αλγορίθμου DARP χρησιμοποιούνται σαν είσοδος στον αλγόριθμο STC που αναλύθηκε προηγουμένως ένα προς ένα. Στο επόμενο σχήμα φαίνονται τα μονοπάτια που υπολογίστηκαν μετά το χωρισμό μιας γεωγραφικής περιοχής και εφαρμογή του αλγορίθμου STC για κάθε περιοχή, για 4 ρομπότ.



Σχήμα 2.9: Μονοπάτια για 4 ρομπότ

Το σύστημα που αναπτύχθηκε κάνει χρήση του αλγορίθμου DARP για το χωρισμό των

περιοχών και τον υπολογισμό των μονοπατιών που πρέπει να καλύψει κάθε ΣμηΕΑ με σκοπό τη συνεργατική κάλυψη της περιοχής. Το σχήμα 2.9 προέρχεται από την διεπαφή χρήστη (User Interface).

Κεφάλαιο 3

Τεχνολογικό Υπόβαθρο

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούν οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του συστήματος διαχείρισης αποστολών πολλαπλών ΣμηΕΑ. Πιο συγκεκριμένα γίνεται συνοπτική αναφορά και παρουσίαση των τεχνολογιών κατηγοριοποιημένες ως προς το μέρος του συστήματος στο οποίο υπάγονται, δηλαδή frontend, backend, database, messaging και mobile application.

3.2 Frontend

3.2.1 Single Page Applications

Για να γίνει κατανοητή η έννοια του Single Page Application (SPA) [7] έχει νόημα να αναφερθεί πρώτα ο αρχικός τρόπος με τον οποίο αλληλεπιδρούσε ο web client με τον server και πώς διαφοροποιείται σε σχέση με τα SPAs . Όταν δημιουργήθηκε η ανάγκη για την παραγωγή δυναμικού περιεχομένου σε σχέση με τις απλές στατικές ιστοσελίδες αναπτύχθηκαν και οι σχετικές τεχνολογίες για την παραγωγή δυναμικού περιεχομένου από το backend. Ενδεικτικά αναφέρονται τα CGI, JSP, PHP, ASP. Όταν ο χρήστης έκανε μια ενέργεια στο User Interface ολόκληρη η σελίδα κατασκευαζόταν από το backend και έφτανε στον browser του χρήστη. Η μεγάλη αλλαγή ήρθε με την εισαγωγή των AJAX (Asynchronous Javascript and XML) όπου ο browser μπορούσε να κάνει ένα HTTP αίτημα στο backend και να ενημερώσει την σελίδα (το Document Object Model) με τα νέα δεδομένα που πήρε. Με την πάροδο του χρόνου αναπτύχθηκαν frontend frameworks βασισμένα σε αυτήν την συμπεριφορά και η ανάγκη για δυναμική παραγωγή του markup (html, css) από το backend έφτασε στο ελάχιστο, σε μία μόνο σελίδα, την αρχική. Στα SPAs οποιαδήποτε αλλαγή συμβαίνει στο User Interface γίνεται με κώδικα (javascript) που τρέχει στον browser του χρήστη κάνοντας μόνο κλήσεις AJAX στο backend. Άρα το μόνο σημείο που θα στείλει το backend html, css, javascript είναι στο πρώτο χτύπημα του URL της εφαρμογής στο browser. Οι εφαρμογές SPA έχουν γίνει ιδιαίτερα δημοφιλείς, είναι αρκετά πιο γρήγορες και αποκριτικές (responsive).

3.2.2 ReactJS

Η ανάπτυξη του frontend έγινε με χρήση της ReactJS. Η ReactJS είναι μια βιβλιοθήκη JavaScript ανοικτού κώδικα (open-source) για την κατασκευή διεπαφών χρηστών (user interfaces) η οποία συντηρείται από την facebook. Ο κύριος στόχος της βιβλιοθήκης ReactJS είναι ο ευκολότερος χειρισμός του DOM (Document Object Model) μέσω της εισαγωγής της έννοιας των Components, δηλαδή στοιχείων UI με εσωτερική κατάσταση (state) και μεθόδους για τον κύκλο ζωής τους (lifecycle methods). Επίσης, με την χρήση της βιβλιοθήκης ReactJS ενδείκνυται η ανάπτυξη ενός Single Page Application (SPA), δηλαδή μια εφαρμογή ιστού η οποία αλλάζει δυναμικά το περιεχόμενο της σελίδας (html markup) παίρνοντας μόνο τα νέα δεδομένα από τον εξυπηρετητή.

3.2.3 Material Design

Η διεπαφή χρήστη (User Interface) βασίστηκε στο Material Design. Το Material Design είναι ένα σύνολο σχεδιαστικών κανόνων που δημιουργήθηκε από την Google και κύριο μέρος του είναι η χρήση των καρτών με κινούμενα σχέδια και μεταβάσεις που ανταποκρίνονται στις κινήσεις των χρηστών. Η ιδέα είναι οι ενέργειες του χρήστη να μοιάζουν σε αυτόν οικείες και χαρακτηριστικά όπως οι σκιές, τα σχήματα, η αντίθεση χρωμάτων, η γραμματοσειρά να τον βοηθούν προς αυτό το σκοπό. Το frontend χρησιμοποιεί μια υλοποίηση του Material Design, το MaterialUI που είναι προσαρμοσμένο για την ReactJS.

3.2.4 Google Maps

Για την απεικόνιση στο χάρτη και το σχεδιασμό της αποστολής χρησιμοποιήθηκε το Google Maps. Συγκεκριμένα για το πολύγωνο που αφορά την περιοχή ενδιαφέροντος της αποστολής χρησιμοποιήθηκαν Polygons αντικείμενα ενώ για την απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο των ΣμηΕΑ Markers αντικείμενα από το google maps api. Για τη διασύνδεση του ReactJS με το google maps api χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη react-google-maps.

3.2.5 Websockets

Όσον αφορά την μετάδοση της θέσης και χαρακτηριστικών των ΣμηΕΑ σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιήθηκαν τα websockets. Επι της ουσίας πρόκειται για αμφίδρομη επικοινωνία πάνω σε μια σύνδεση TCP μεταξύ του browser και του διακομιστή. Τα websockets διαφέρουν από το HTTP κυρίως επειδή δεν είναι μηνύματα της μορφής request-response, παρά ανεξάρτητα μηνύματα με μικρότερου μήκους επικεφαλίδες (headers). Η συμπεριφορά αυτή είναι επιθυμητή όταν πρόκειται για μετάδοση πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο.

3.3 Backend

3.3.1 Spring framework and Spring Boot

Η ανάπτυξη του backend έγινε με τη χρήση του Spring framework [10] για την γλώσσα προγραμματισμού Java. Πρόκειται για ένα framework ανοικτού κώδικα, το οποίο χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την ανάπτυξη επιχειρησιακών εφαρμογών (Enterprise Applications) και μπορεί να θεωρηθεί ότι αντικαθιστά το μοντέλο EJB (Enterprise JavaBeans). Το Spring framework ξεκίνησε σαν ένα framework για τη διαχείριση εξαρτήσεων των αντικειμένων Java (Dependency Injection). Με τον καιρό όμως συμπεριέλαβε και πάρα πολλά αυτόνομα projects που καλύπτουν σχεδόν όλες τις πτυχές στην ανάπτυξη επιχειρησιακών εφαρμογών, όπως ενδεικτικά τα Spring Data JPA, Spring Cloud, Spring Security που ασχολούνται με τη διασύνδεση της βάσης δεδομένων, με το cloud ή με την ασφάλεια της εφαρμογής αντίστοιχα.

Το Spring Boot είναι επί της ουσίας μια προσθήκη στο Spring framework για να κάνει εύκολες κάποιες παραμετροποιήσεις που γινόντουσαν κατ' επανάληψη και με συγκεκριμένο τρόπο σε ένα τυπικό Spring project (reduction of boilerplate configuration code).

3.3.2 Διακομιστής (Server)

Ως διακομιστής αναφέρεται το λογισμικό το οποίο είναι υπεύθυνο για την παροχή διαφόρων υπηρεσιών. Εξυπηρετεί τις αιτήσεις πελατών (Clients) για στατικό ή δυναμικό περιεχόμενο. Ο πελάτης (client) γενικά είναι λογισμικό που έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί και να υποβάλει αιτήματα στον διακομιστή. Στην περίπτωση του frontend ο πελάτης είναι ο browser και ο διακομιστής του σερβίρει όλα τα στατικά αρχεία (html/js/css) που απαιτούνται λειτουργώντας σαν διακομιστής ιστού (web server). Στην περίπτωση των REST api κλήσεων ο διακομιστής απευθύνεται στην Java εφαρμογή (backend) για να πάρει απάντηση λειτουργώντας σαν διακομιστής εφαρμογής (application server).

Apache server Ο διακομιστής που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες του πληροφοριακού συστήματος είναι ο Apache Tomcat. Ο Apache Tomcat δρα σαν web container υλοποιώντας το Java Servlet API, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα της άμεσης και εύκολης εφαρμογής των σχετικών τεχνολογιών Java στις οποίες βασίζεται το backend σύστημα. Επίσης εμπεριέχει και διακομιστή ιστού web server ο οποίος σερβίρει στατικά αρχεία δίνοντας έτσι την ικανότητα να ικανοποιεί τα αιτήματα για όλα τα αρχεία html/js/css που απαιτεί η frontend εφαρμογή του πληροφοριακού συστήματος. Τέλος, ο Apache Tomcat είναι από μόνος του παραμετροποιημένος να λειτουργεί ως αντίστροφος διακομιστής μεσολάβησης (reverse proxy) παρέχοντας μηχανισμό προσωρινής αποθήκευσης (caching) των στατικών αρχείων και ένα ενδιάμεσο επίπεδο για καταμερισμό φορτίου load balancing προς τους web servers.

3.3.3 RESTful API

Το backend προσφέρει ένα REST API (REpresentational State Transfer) για κατανάλωση. Το αρχιτεκτονικό στυλ REST προσδιορίζεται από ένα σύνολο κανόνων με σκοπό

να επικοινωνούν client εφαρμογές συνδεδεμένες στο διαδίκτυο ανεξαρτήτως τεχνολογίας και γλώσσας υλοποίησης. Βασικοί κανόνες μιας αρχιτεκτονικής REST είναι:

- **Client-server architecture**
Γίνεται σαφής διαχωρισμός των αιτημάτων που μπορεί να κάνει ένας client μιας REST εφαρμογής σε σχέση με τις αλλαγές σε δεδομένα που δύναται να κάνει η εφαρμογή.
- **Statelessness**
Κάθε μήνυμα είναι ανεξάρτητο και περιέχει όλη την πληροφορία που χρειάζεται για να πάρει απάντηση. Έρχεται σε αντίθεση με την δημιουργία state μεταξύ client και server.

3.4 Ανάπτυξη βάσεων δεδομένων

Η βάση δεδομένων για το σύστημα που αναπτύχθηκε είναι υπεύθυνη για την αποθήκευση και διατήρηση (persistence) των δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκε η σχεσιακή βάση δεδομένων MySQL για την οργάνωση των δεδομένων σε πίνακες.

3.5 Messaging

Για την επικοινωνία μεταξύ backend και mobile applications δημιουργείται η ανάγκη για τη χρήση τεχνολογίας messaging. Συγκεκριμένα:

- Πρέπει μηνύματα να δρομολογούνται σε πολλούς παραλήπτες, από το backend σε όσες εφαρμογές mobile είναι διαθέσιμες (συνδεδεμένες με το αντίστοιχο ΣμηΕΑ τους που είναι έτοιμο για αποστολή).
- Οι mobile εφαρμογές πρέπει να στέλνουν σε πραγματικό χρόνο τις τοποθεσίες των ΣμηΕΑ που είναι συνδεδεμένα σε αυτές.
- Ελαφρύ πρωτόκολλο επικοινωνίας

Χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο MQTT που προσφέρει έναν απλό publish subscribe μηχανισμό σε topics ενδιαφέροντος. Υπάρχει ένα ενδιαμέσο λογισμικό που ονομάζεται Message Broker και αναλαμβάνει τη δρομολόγηση των μηνυμάτων στις εφαρμογές που έχουν κάνει subscribe σε κάποιο topic. Το πρωτόκολλο MQTT είναι αρκετά διαδεδομένο στην περιοχή του IOT επειδή είναι αρκετά ελαφρύ. Συγκεκριμένα στην υλοποίηση χρησιμοποιήθηκε ο Eclipse Mosquitto message broker ο οποίος υλοποιεί το πρωτόκολλο MQTT και είναι ανοικτού κώδικα.

3.6 Mobile application

Κάθε ΣμηΕΑ επικοινωνεί άμεσα για εντολές και παραμετροποιήσεις με μια εφαρμογή mobile για Android. Η εφαρμογή mobile χρησιμοποιεί το API της κατασκευάστριας εταιρίας ΣμηΕΑ και ταυτόχρονα κάνει publish - subscribe στα topics του MQTT message broker

για τη διασύνδεση του με το υπόλοιπο σύστημα. Παράλληλα διαθέτει ένα γραφικό περιβάλλον με χάρτες google maps για την απεικόνιση της τοποθεσίας και λεπτομερειών πτήσης σε πραγματικό χρόνο.

Κεφάλαιο 4

Αρχιτεκτονική Συστήματος

4.1 Εισαγωγή

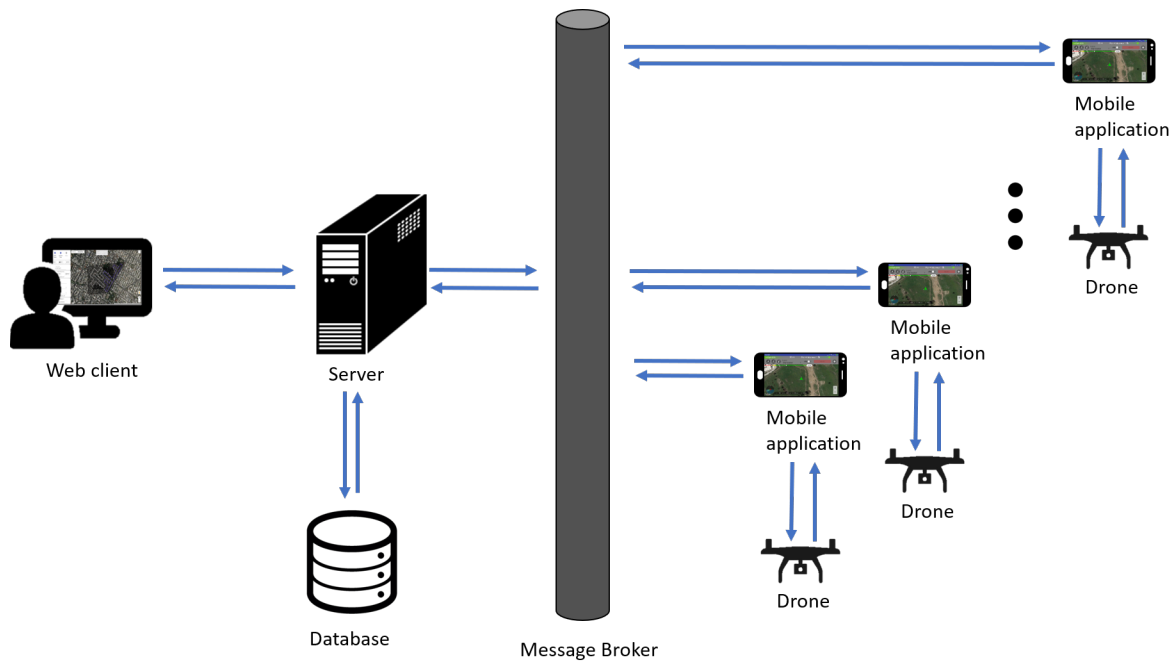
Το σύστημα που έχει αναπτυχθεί για τη διαχείριση αποστολών για πολλαπλά ΣμηΕΑ αποτελείται από έξι μέρη:

- Web client
- Server
- Database
- Message Broker
- Mobile android application
- ΣμηΕΑ (Drones)

Για την επιτυχή διεκπεραίωση τόσο στη φάση του σχεδιασμού όσο και στην εκτέλεση της αποστολής θα πρέπει να υπάρχει συνεργασία όλων των μερών του συστήματος με τα κατάλληλα πρωτόκολλα επικοινωνίας.

4.2 Αρχιτεκτονική συστήματος

Σε αυτήν την ενότητα θα δοθεί το διάγραμμα του συστήματος καθώς και τα βασικά στοιχεία για την κατανόηση των μερών που το αποτελούν.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα αρχιτεκτονικής συστήματος

Από το διάγραμμα της αρχιτεκτονικής φαίνεται ότι μπορούν να συνδεθούν περισσότερα από ένα ΣμηΕΑ στο σύστημα. Κάθε ΣμηΕΑ συνδέεται απευθείας με την mobile εφαρμογή που εκτελείται στο εκάστοτε κινητό.

Σε ένα τέτοιο δυναμικό περιβάλλον όπου ΣμηΕΑ ενδέχεται να γίνουν διαθέσιμα ή να σταματήσουν να είναι διαθέσιμα (μπορεί να χρειάζονται φόρτιση της μπαταρίας τους) με την πάροδο του χρόνου, ο server είναι υπεύθυνος να κρατάει ενημερωμένο το σύστημα για το ποια ΣμηΕΑ είναι την τρέχουσα στιγμή διαθέσιμα για εκτέλεση αποστολής. Ο χρήστης της εφαρμογής ενημερώνεται για ποια ΣμηΕΑ είναι διαθέσιμα και την τοποθεσία τους από τον χάρτη με ένα πράσινο εικονίδιο στο χάρτη για κάθε ενεργό ΣμηΕΑ στην τοποθεσία που εκπέμπει.

4.3 Περιγραφή μερών συστήματος

Κάθε μέρος του συστήματος έχει συγκεκριμένο σκοπό και αλληλεπιδρά άμεσα με τα άλλα μέρη του συστήματος όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

4.3.1 Web Client

Ο Web client αποτελεί τον χρήστη, που μέσω του προγράμματος περιήγησης (browser) συνδέεται στο γραφικό περιβάλλον ιστού (web user interface) της εφαρμογής. Οι οθόνες της εφαρμογής web είναι η οθόνη επιλογής project, η οθόνη σχεδιασμού της αποστολής και η οθόνη έναρξης αποστολής των πολλαπλών ΣμηΕΑ. Οποιαδήποτε ενέργεια πραγματοποιεί ο χρήστης μέσω του web user interface αποστέλλεται σαν αίτημα στον server.

4.3.2 Server

Ο server αναλαμβάνει τους υπολογισμούς και τις λειτουργίες που πρέπει να γίνουν βάσει των αιτημάτων που λαμβάνει από το χρήστη (web client). Σαν υπολογισμοί θεωρούνται η εκτέλεση του αλγορίθμου εύρεσης των κατάλληλων μονοπατιών που θα πρέπει να ακολουθήσει κάθε ΣμηΕΑ καθώς και η εύρεση του εκτιμώμενου χρόνου ολοκλήρωσης της αποστολής. Οι λειτουργίες είναι δημιουργία project, αποθήκευση project, ανάκτηση αποθηκευμένων project, αποστολή μηνυμάτων στον message broker σχετικά με την έναρξη και ακύρωση της αποστολής και λήψη μηνυμάτων για τις αλλαγές κατάστασης κάθε ΣμηΕΑ της αποστολής. Επίσης είναι υπεύθυνος για την αποστολή μηνυμάτων στο user interface με τις τρέχουσες πληροφορίες ΣμηΕΑ (τοποθεσία, ύψος κλπ) και της κατάστασης της συνολικής αποστολής.

4.3.3 Database

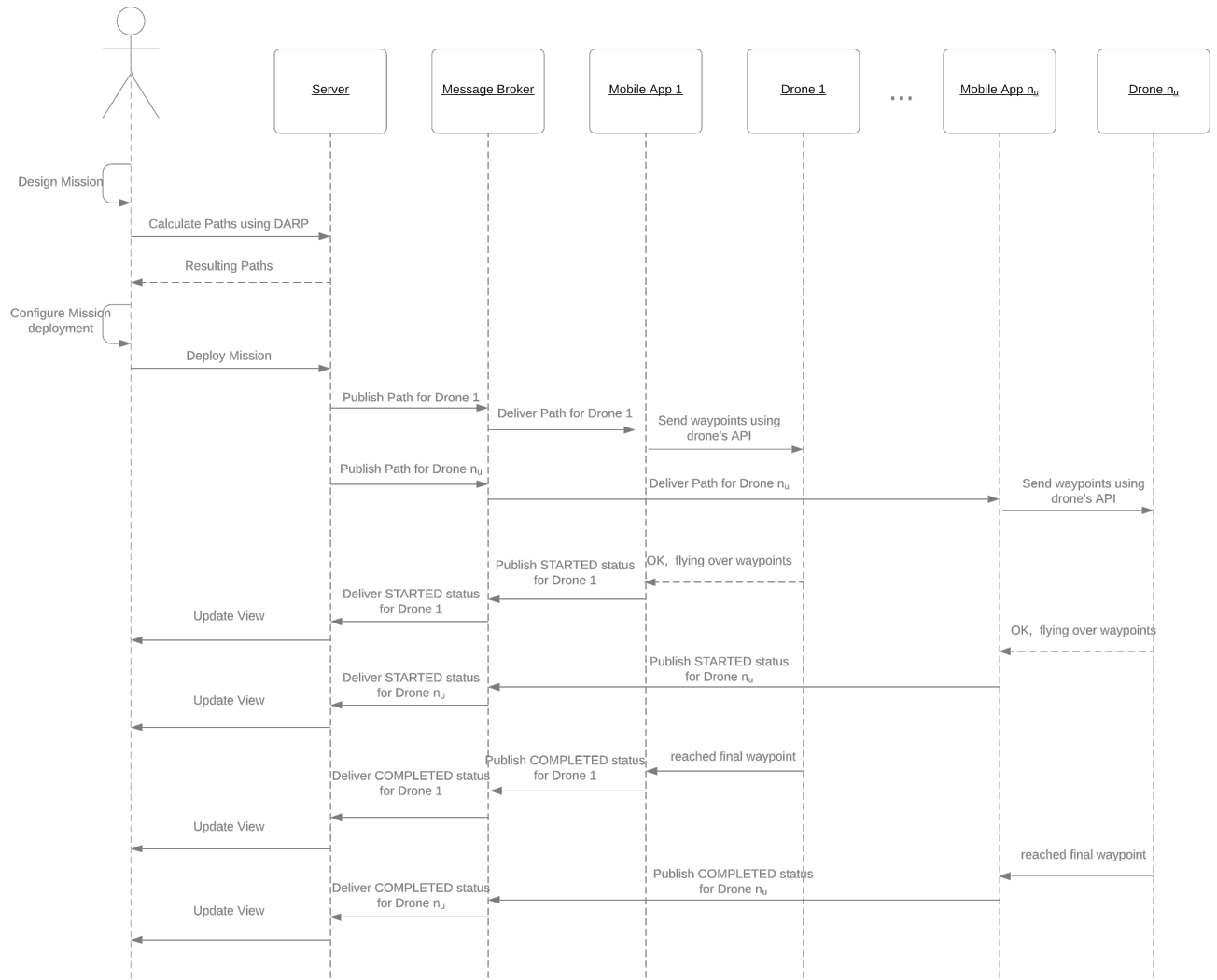
Η βάση δεδομένων (database) του συστήματος περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικές με τα ΣμηΕΑ, τα project που έχει δημιουργήσει ο χρήστης, τα μονοπάτια της διαδρομής μεμονωμένου ΣμηΕΑ καθώς και τις σχετικές πληροφορίες των αποστολών. Η βάση δεδομένων αλληλεπιδρά μόνο με τον server.

4.3.4 Message Broker

Ο message broker αποτελεί ένα ενδιάμεσο λογισμικό middleware που είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή μηνυμάτων messaging μεταξύ των εφαρμογών android και του server. Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Ελέγχου (control messages) των ΣμηΕΑ για έναρξη, διακοπή αποστολής. Προέρχονται από τον server προς τα mobile android applications
- Αλλαγής κατάστασης των ΣμηΕΑ. Προέρχονται από τα ΣμηΕΑ προς τον server
- Τρέχουσες πληροφορίες συντεταγμένων, εικόνες, ύψος κλπ. Προέρχονται από τα ΣμηΕΑ προς τον server.

Στο παρακάτω διάγραμμα (sequence diagram) φαίνεται η ανταλλαγή μηνυμάτων που λαμβάνουν χώρα κατά την επιτυχή εκτέλεση μιας αποστολής πολλαπλών ΣμηΕΑ.

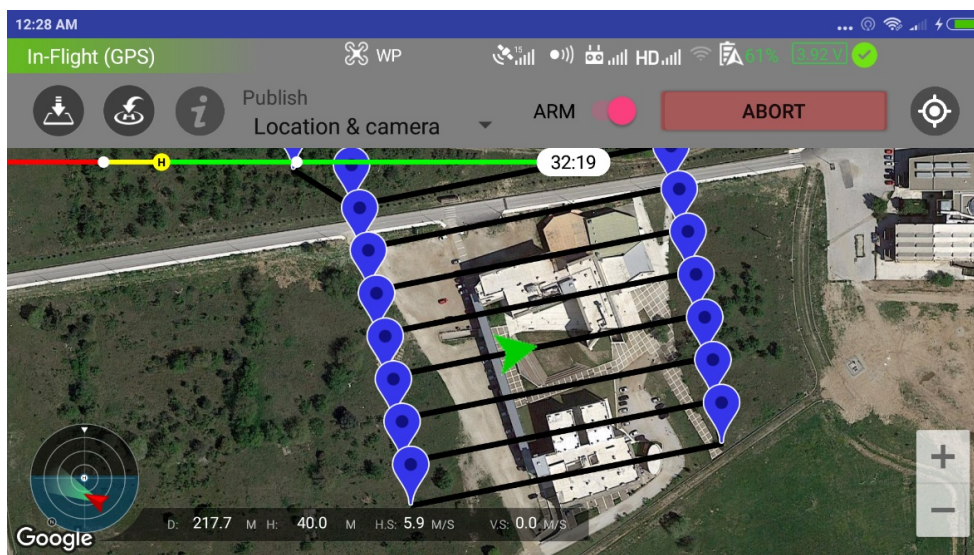


Σχήμα 4.2: Διάγραμμα ακολουθίας μηνυμάτων

Όταν ο χρήστης πατήσει έναρξη αποστολής (Deploy Mission) γίνονται publish τα μονοπάτια που πρέπει να ακολουθηθούν στο κατάλληλο topic που έχει κάνει subscribe κάθε ΣμηΕΑ στον message broker. Αν n_u το συνολικό πλήθος των ΣμηΕΑ θα αποσταλούν n_u μηνύματα ελέγχου με μονοπάτια από τον server στον message broker και κατ' επέκταση στα ΣμηΕΑ. Σε επόμενο στάδιο τα ΣμηΕΑ στέλνουν μήνυμα αλλαγής κατάστασης STARTED που σημαίνει ότι ξεκίνησαν επιτυχώς το μονοπάτι τους. Η πληροφορία φτάνει στον χρήστη και βλέπει την νέα κατάσταση των ΣμηΕΑ. Όταν τελειώσει κάποιο ΣμηΕΑ το μονοπάτι του, αποστέλλει μήνυμα αλλαγής κατάστασης COMPLETED και ενημερώνεται αντίστοιχα ο χρήστης. Καθόλη τη διάρκεια της αποστολής τα ΣμηΕΑ στέλνουν μηνύματα με τις τρέχουσες πληροφορίες τους (συντεταγμένες, εικόνες, ύψος κλπ).

4.3.5 Mobile Application

Η εφαρμογή mobile παρέχει ένα ολοκληρωμένο γραφικό περιβάλλον με χάρτη και παροχή πληροφοριών πραγματικού χρόνου από την σκοπιά του συγκεκριμένου ΣμηΕΑ. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι κάθε εφαρμογή android δεν έχει γνώση της ύπαρξης των υπολοίπων, εκτελεί μεμονωμένα το μονοπάτι που της δόθηκε κατά την έναρξη της αποστολής πολλαπλών ΣμηΕΑ από τον server. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η οθόνη της εφαρμογής mobile από την σκοπιά ενός ΣμηΕΑ.



Σχήμα 4.3: Εφαρμογή mobile για το ΣμηΕΑ

4.4 Λειτουργικές Απαιτήσεις Συστήματος

Ο χρήστης μέσω του γραφικού περιβάλλοντος ιστού (web user interface) δύναται να εκτελέσει τις παρακάτω λειτουργίες:

- **Δημιουργία νέου project**

Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ένα νέο project σχεδίασης αποστολής πολλαπλών ΣμηΕΑ.

- **Αποθήκευση project**

Ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει το project, δηλαδή την περιοχή κάλυψης στο σημείο στο χάρτη που έχει σχεδιάσει, τα μονοπάτια που έχουν υπολογιστεί και τις παραμέτρους των ΣμηΕΑ.

- **Προβολή και τροποποίηση αποθηκευμένων project**

Ο χρήστης μπορεί να δει τα project που έχουν δημιουργηθεί στο παρελθόν με τη δυνατότητα να τα τροποποιήσει.

- **Αναζήτηση project**

Υπάρχει η δυνατότητα αναζήτησης αποθηκευμένου project με βάση το όνομα του.

- **Αναζήτηση τοποθεσίας στο χάρτη**
Ο χρήστης μπορεί να αναζητήσει τοποθεσία και να μεταβεί στο χάρτη σε αυτήν, λειτουργία υποστηριζόμενη από το Google Maps API.
- **Προβολή τρέχουσας τοποθεσίας των ενεργών ΣμηΕΑ**
Ο χρήστης μπορεί να δει τα σημεία στο χάρτη που εκπέμπουν τα διαθέσιμα ΣμηΕΑ.
- **Σχεδίαση πολυγώνου (περιοχή κάλυψης) πάνω στο χάρτη**
Ο χρήστης μπορεί να σχεδιάσει ένα πολύγωνο με ακρίβεια στο μέρος του χάρτη που επιθυμεί, διαδικασία υποστηριζόμενη από το Google Maps API.
- **Υπολογισμός μονοπατιών με τον αλγόριθμο DARP**
Αφού σχεδιαστεί η περιοχή κάλυψης, ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει τον αλγόριθμο υπολογισμού μονοπατιών των ΣμηΕΑ ανάλογα με τις παραμέτρους που έχει ορίσει στην σχετική οθόνη.
- **Προβολή εκτιμώμενου χρόνου ολοκλήρωσης της αποστολής**
Στην οθόνη έναρξης της αποστολής ο χρήστης βλέπει τον υπολογισμένο χρόνο ολοκλήρωσης της αποστολής για τα δεδομένα μονοπάτια.
- **Έναρξη της αποστολής**
Ο χρήστης μπορεί να εκκινήσει την αποστολή πολλαπλών ΣμηΕΑ συμπληρώνοντας πρώτα τις σχετικές παραμέτρους για την αποστολή.
- **Προβολή κατάστασης των ΣμηΕΑ σε πραγματικό χρόνο**
Η κατάσταση των ΣμηΕΑ κατά τη διάρκεια της αποστολής είναι ορατή στο χρήστη σε πίνακα, καθώς και οι τοποθεσίες τους φαίνονται στο χάρτη.
- **Ακύρωση της αποστολής**
Υπάρχει η δυνατότητα στο χρήστη να ακυρώσει την αποστολή, αποστέλλοντας το σχετικό μήνυμα στα ΣμηΕΑ.

4.5 Μη Λειτουργικές Απαιτήσεις Συστήματος

Το σύστημα έχει και συγκεκριμένες ιδιότητες κατά την ανάπτυξη του με σκοπό την καλύτερη ποιότητα του λογισμικού.

- **Απόδοση Συστήματος (Performance)**
Η υλοποίηση του συστήματος έγινε με τα κατάλληλα εργαλεία για υψηλή απόδοση και ανταπόκριση σε μεγάλο αριθμό αιτημάτων.
- **Επεκτασιμότητα (Scalability)**
Το σύστημα χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό ανταλλαγής μηνυμάτων (message broker) μπορεί να επεκταθεί εύκολα για την υποστήριξη μεγάλου αριθμού ΣμηΕΑ. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν πρακτικές τόσο στον κώδικα του backend όσο και στον κώδικα

του frontend που επιτρέπουν εύκολα την προσθήκη νέων συνιστωσών με επιπλέον λειτουργικότητες.

- **Ευκολία χρήσης (Usability)**

Η διεπαφή χρήστη (User interface) υλοποιήθηκε με γνώμονα τον εύκολο χειρισμό του συστήματος από έναν απλό χρήστη. Οι οθόνες έγιναν όσο το δυνατόν πιο διαισθητικές, καθώς χωρίστηκαν σε τρία λογικά χρονικά επίπεδα: επιλογή project, σχεδίαση και υπολογισμός των μονοπατιών και τέλος στην εκκίνηση της αποστολής.

Κεφάλαιο 5

Παρουσίαση εφαρμογής

5.1 Εισαγωγή

Το τμήμα του frontend αποτελείται από το γραφικό περιβάλλον ιστού (web interface) μέσω του οποίου αλληλεπιδρά ο χρήστης της εφαρμογής. Το γραφικό περιβάλλον δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη είτε να δημιουργήσει ένα νέο πρότζεκτ (project) αποστολής πολλαπλών ΣμηΕΑ είτε να αναζητήσει και να φορτώσει κάποιο προγενέστερο. Έπειτα ο χρήστης μπορεί στο δεξί μέρος του web interface να αναζητήσει στο χάρτη την τοποθεσία που θέλει μέσω Google Maps και να σχεδιάσει το πολύγωνο της περιοχής κάλυψης. Στο αριστερό μέρος συμπληρώνονται σε φόρμα τα πεδία που είναι απαραίτητα για την εκτέλεση του αλγορίθμου εύρεσης μονοπατιών για την κάλυψη της περιοχής. Συγκεκριμένα συμπληρώνονται τα πεδία:

- Drones, το πλήθος των ΣμηΕΑ που θα καλύψουν την περιοχή
- Altitude, το ύψος σε μέτρα της πτήσης των ΣμηΕΑ
- Overlap, το ποσοστό επικάλυψης περιοχής
- Paths strictly in ROI, η επιλογή για το αν τα μονοπάτια θα πρέπει να βρίσκονται αυστηρά μέσα στην περιοχή ενδιαφέροντος
- Portion covered of drone i, τα ποσοστά συμμετοχής κάθε ΣμηΕΑ στην κάλυψη της περιοχής.

Αφού συμπληρωθούν τα παραπάνω πεδία ο χρήστης πατάει το κουμπί για τον υπολογισμό μονοπατιών Calculate Paths. Ο αλγόριθμος υπολογίζει τα μονοπάτια που θα πρέπει να καλύψει κάθε ΣμηΕΑ και εμφανίζονται στο χάρτη. Εάν ο χρήστης είναι ικανοποιημένος με τη σχεδίαση του πολυγώνου και με τα μονοπάτια που υπολογίστηκαν μπορεί να προχωρήσει στο επόμενο βήμα πατώντας το κουμπί Next. Το επόμενο βήμα αναφέρεται στην έναρξη της αποστολής (Deploy). Συμπληρώνονται οι παράμετροι που απαιτούνται για την έναρξη της αποστολής και τα μονοπάτια αποστέλλονται στα πραγματικά ΣμηΕΑ για να απογειωθούν και να τα ακολουθήσουν εκτελώντας έτσι την αποστολή. Στην φόρμα για την διεξαγωγή της αποστολής των πολλαπλών ΣμηΕΑ πρέπει να συμπληρωθούν:

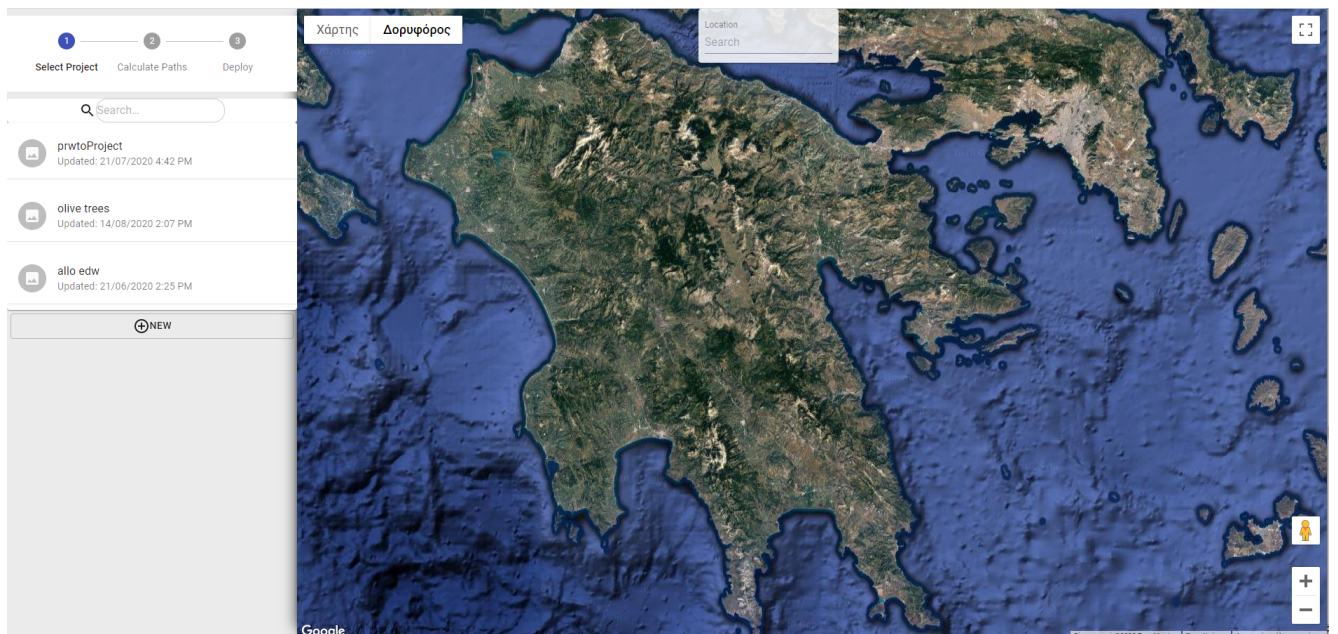
- Drones, ποια ΣμηΕΑ από τα διαθέσιμα που υπάρχουν, δηλαδή επικοινωνούν στέλνοντας την τοποθεσία τους, θα διατεθούν για την συγκεκριμένη αποστολή
- Gimbal Pitch, η περιστροφή της κάμερας στον κάθετο άξονα πτήσης των ΣμηΕΑ σε μοίρες.
- Speed, η ταχύτητα με την οποία θα κινηθούν τα ΣμηΕΑ.

Αφού συμπληρωθούν τα πεδία, ο χρήστης ξεκινάει την αποστολή πολλαπλών ΣμηΕΑ πατώντας το κουμπί έναρξης (Run). Σε κάθε χρονική στιγμή μπορεί να παρακολουθεί την εξέλιξη της αποστολής αφού απεικονίζονται στο χάρτη οι ακριβείς θέσεις των ΣμηΕΑ. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα για διακοπή της αποστολής από το χρήστη πατώντας το κουμπί διακοπής (Abort).

5.2 Παρουσίαση οθονών

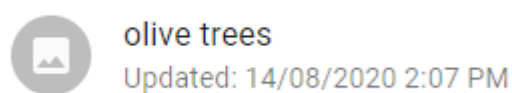
Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η εφαρμογή όπως φαίνεται στον χρήστη που αλληλεπιδρά με αυτήν. Θα αναλυθούν διαδοχικά οι οθόνες της εφαρμογής καθώς και οι ενέργειες που μπορούν να γίνουν σε κάθε βήμα.

Η πρώτη οθόνη που εμφανίζεται είναι η οθόνη επιλογής project:



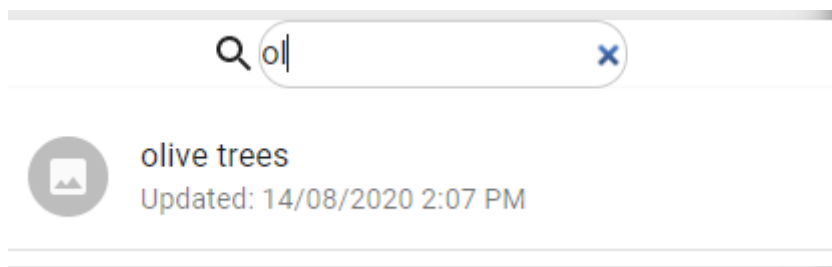
Σχήμα 5.1: Οθόνη επιλογής project

Σε αυτή την οθόνη φαίνεται στο αριστερό μέρος η λίστα των project που έχουν δημιουργηθεί στο παρελθόν, με το όνομα τους, την ημερομηνία και ώρα που τροποποιήθηκαν για τελευταία φορά:



Σχήμα 5.2: Όνομα και ημερομηνία τροποποίησης project

Στην κορυφή της λίστας των project υπάρχει το κουμπί αναζήτησης project με βάση το όνομα:



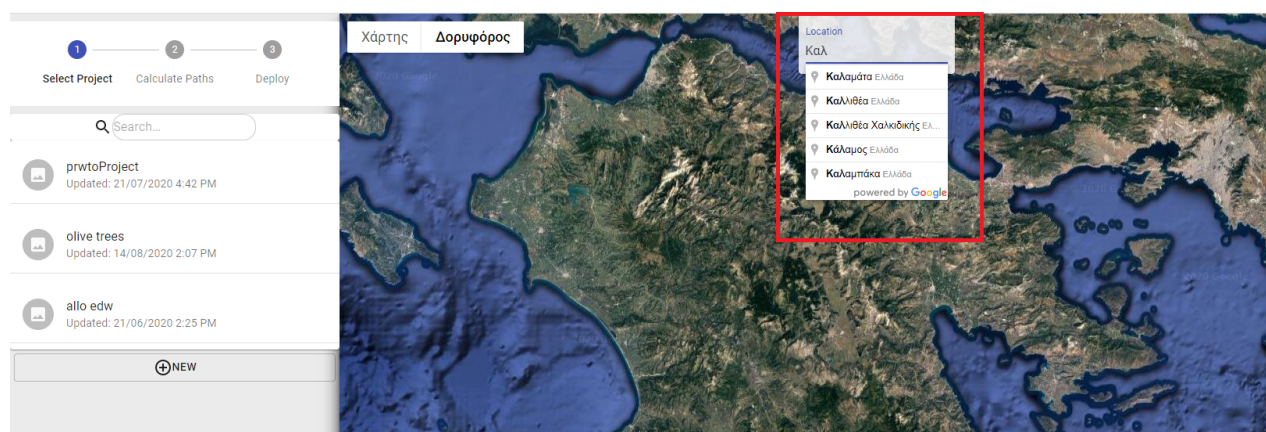
Σχήμα 5.3: Αναζήτηση project με βάση το όνομα

Στο τέλος της λίστας των project υπάρχει το κουμπί δημιουργίας νέου project (NEW):



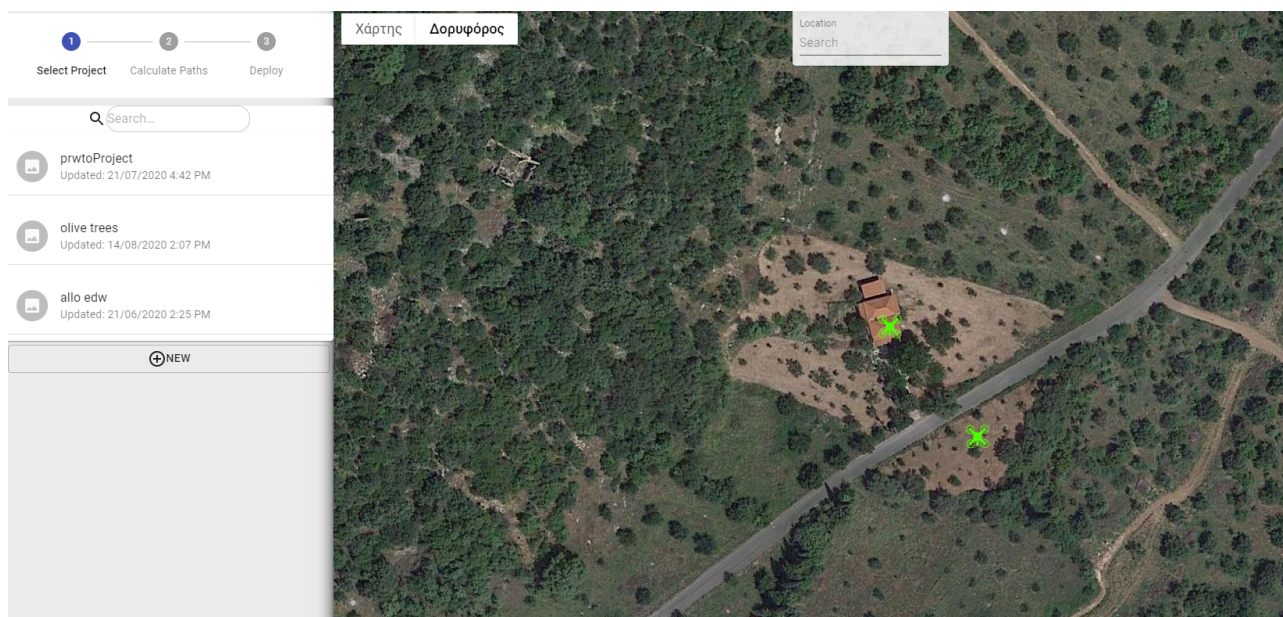
Σχήμα 5.4: Κουμπί δημιουργίας νέου project

Στο δεξί μέρος της οθόνης φαίνεται ο χάρτης (google maps) μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να αναζητήσει και να πλοηγηθεί στο χάρτη στο σημείο που θέλει:



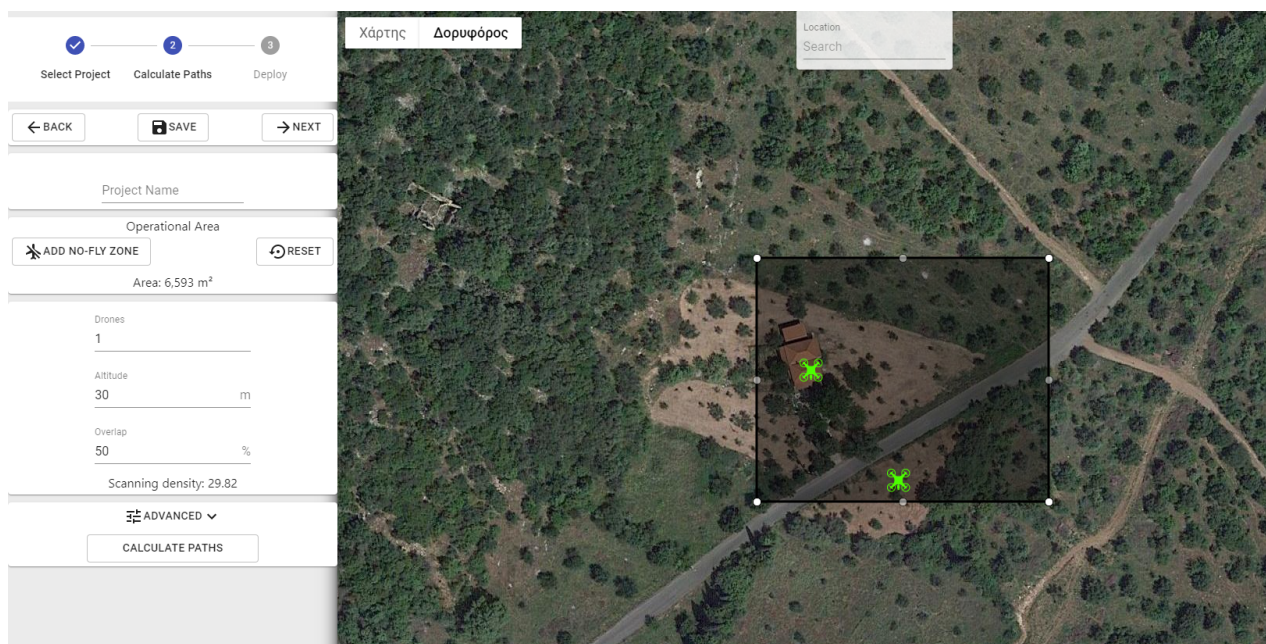
Σχήμα 5.5: Κουμπί αναζήτησης τοποθεσίας στο χάρτη

Στο χάρτη φαίνεται και η ακριβή τοποθεσία των ΣμηΕΑ που είναι σε λειτουργία, σε πραγματικό χρόνο:



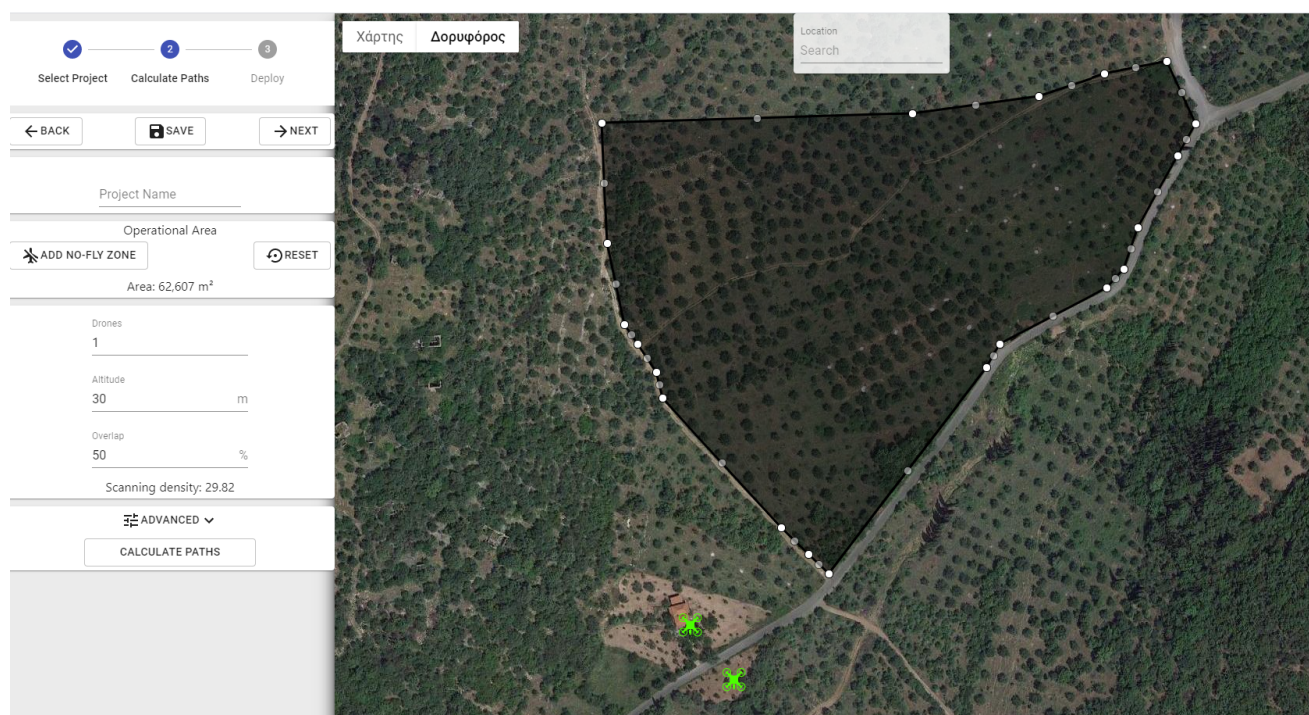
Σχήμα 5.6: Απεικόνιση τοποθεσίας ενεργών ΣμηΕΑ

Αν επιλεγεί καινούριο project μέσω του κουμπιού NEW (Σχήμα 5.4) τότε εμφανίζεται η οθόνη σχεδίασης ενός νέου project αποστολής πολλαπλών ΣμηΕΑ.



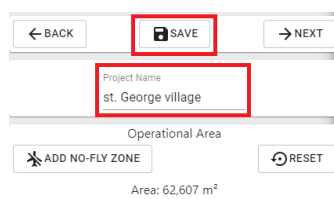
Σχήμα 5.7: Οθόνη σχεδίασης νέου project πολλαπλών ΣμηΕΑ

Στο δεξί μέρος του χάρτη φαίνεται αρχικοποιημένο το πολύγωνο ενδιαφέροντος (Region Of Interest). Ο χρήστης παραμετροποιεί τις κορυφές του πολυγώνου κατάλληλα έτσι ώστε να καλύψει την περιοχή που τον ενδιαφέρει.



Σχήμα 5.8: Σχεδίαση πολύγωνου ενδιαφέροντος (Region Of Interest)

Στο αριστερό κομμάτι της οθόνης ο χρήστης συμπληρώνει το όνομα του project στο πεδίο Project Name. Μετά τη συμπλήρωση του ονόματος project ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύσει το project πατώντας το κουμπί SAVE. Η αποθήκευση (SAVE) του project μπορεί να γίνεται όποτε ο χρήστης θεωρεί ότι θέλει να αποθηκεύσει τις αλλαγές του, είτε στη σχεδίαση του πολυγώνου ενδιαφέροντος είτε στις διάφορες παραμέτρους στο αριστερό κομμάτι της οθόνης.

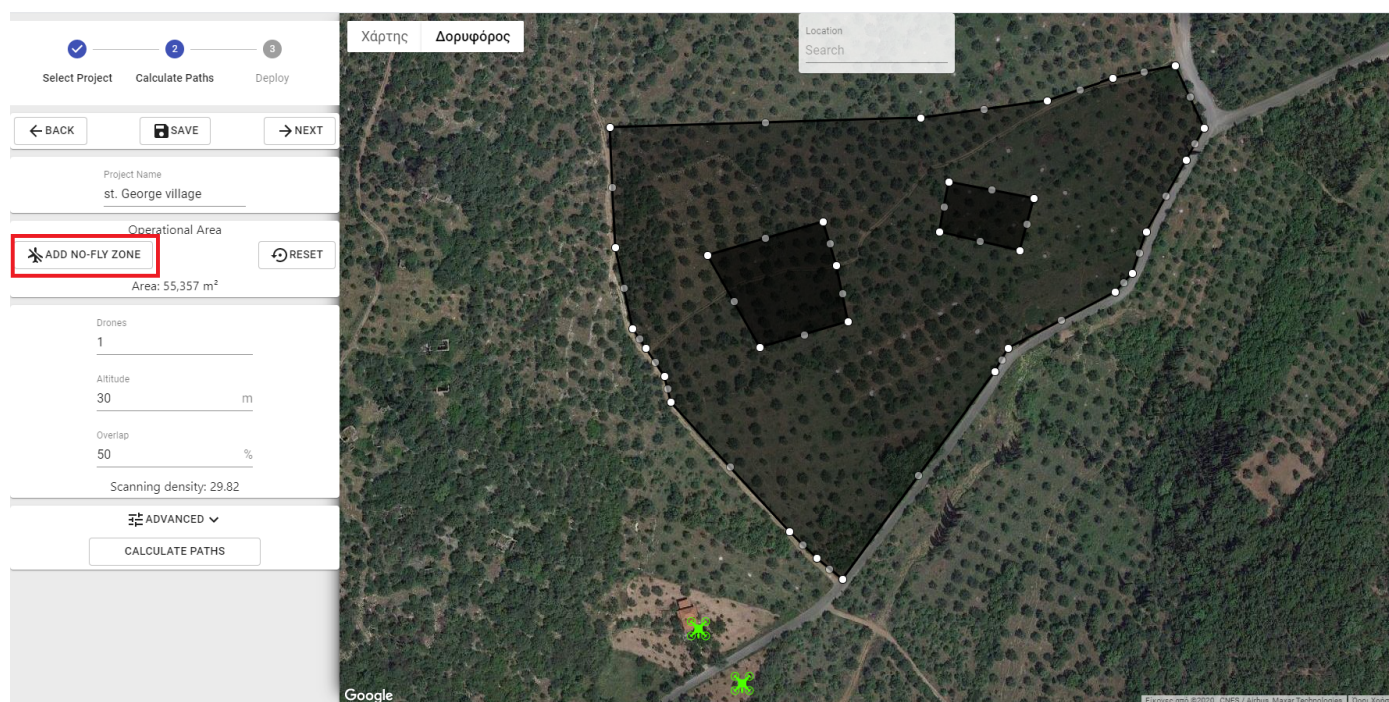


Σχήμα 5.9: Όνομα project και αποθήκευση

Πιο κάτω στο αριστερό κομμάτι της οθόνης υπάρχει το στοιχείο Operational Area. Αποτελείται από δύο κουμπιά: το ADD NO-FLY ZONE και το RESET.

- Το κουμπί ADD NO-FLY ZONE εισάγει ένα πολύγωνο στο κέντρο του χάρτη, που μπορεί να επεξεργαστεί τις κορυφές του ο χρήστης με σκοπό να αποτελέσει περιοχή που αποκλείεται από την συνολική περιοχή κάλυψης. Θα μπορούσε να αποτελεί κάποιο φυσικό εμπόδιο ή περιοχή που απαγορεύεται η πτήση ΣμηΕΑ ή απλώς μια περιοχή που η κάλυψη της δεν ενδιαφέρει την αποστολή.

- Το κουμπί RESET όπου επαναφέρει το πολύγωνο ενδιαφέροντος (Region Of Interest) στην αρχική του μορφή.



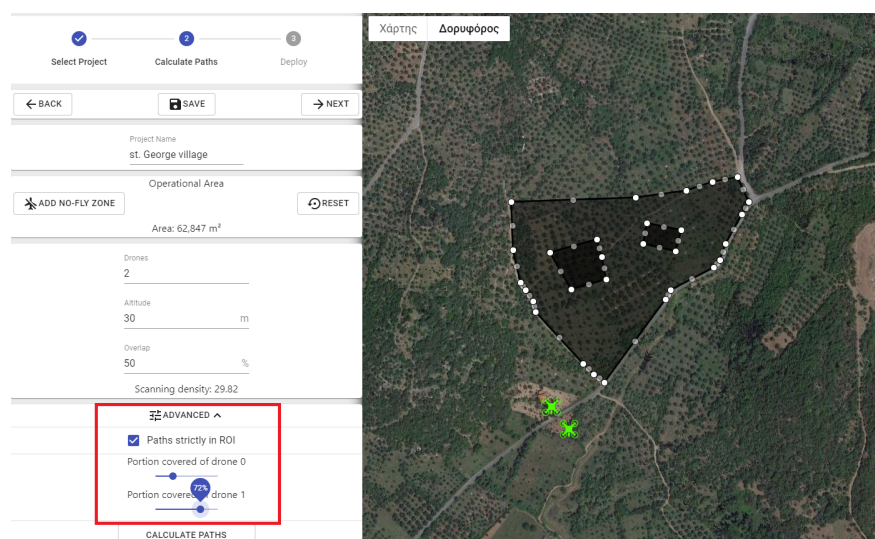
Σχήμα 5.10: Εισαγωγή δύο περιοχών NO-FLY ZONE (σκούρο μαύρο)

Κάτω από τα παραπάνω κουμπιά υπάρχει το πεδίο Area που υπολογίζει το εμβαδό της περιοχής που θα πρέπει να καλύψουν τα ΣμηΕΑ για να φέρουν εις πέρας την αποστολή.

Στη συνέχεια ο χρήστης επιλέγει τον αριθμό των ΣμηΕΑ που θέλει να συμμετάσχουν στην αποστολή (πεδίο Drones), το ύψος στο οποίο θα βρίσκονται (πεδίο Altitude) καθώς και το ποσοστό επικάλυψης (Overlap). Το ποσοστό επικάλυψης (πεδίο Overlap) και ο συναφής όρος Scanning density αναφέρονται στην επικάλυψη των φωτογραφιών που θα τραβήξουν τα ΣμηΕΑ και έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

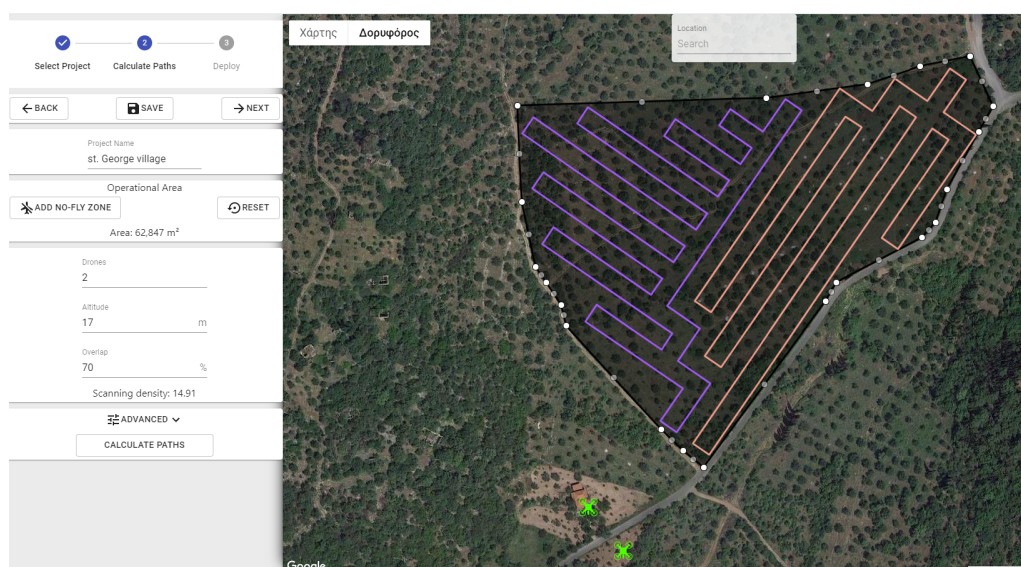
Στο τέλος υπάρχει ένα ακόμα επεκτάσιμο στοιχείο (expandable UI element) με επιπλέον επιλογές (ADVANCED):

- Paths Strictly in ROI. Όταν είναι επιλεγμένο, τα μονοπάτια που θα υπολογίσει ο αλγόριθμος υπολογισμού μονοπατιών θα πρέπει να βρίσκονται αυστηρά εντός της περιοχής ενδιαφέροντος.
- Portion covered by drone. Για κάθε ΣμηΕΑ παραμετροποιούμε το ποσοστό συμμετοχής του στην κάλυψη της περιοχής, με σκοπό να ληφθεί υπόψη από τον αλγόριθμο υπολογισμού μονοπατιών.



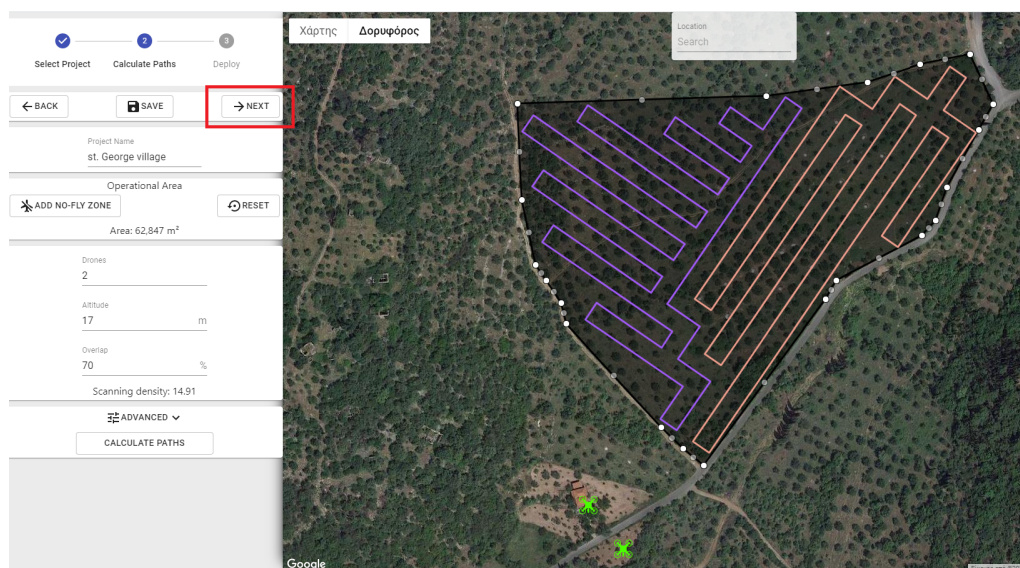
Σχήμα 5.11: Επιπλέον επιλογές ADVANCED

Όταν ολοκληρωθεί η σχεδίαση του πολύγωνου ενδιαφέροντος και η παραμετροποίηση των πεδίων στα αριστερά της οθόνης, ο χρήστης μπορεί να πατήσει το κουμπί CALCULATE PATHS με σκοπό να υπολογιστούν τα μονοπάτια που θα πρέπει να καλύψει κάθε ΣμηΕΑ από τον αλγόριθμο υπολογισμού μονοπατιών.



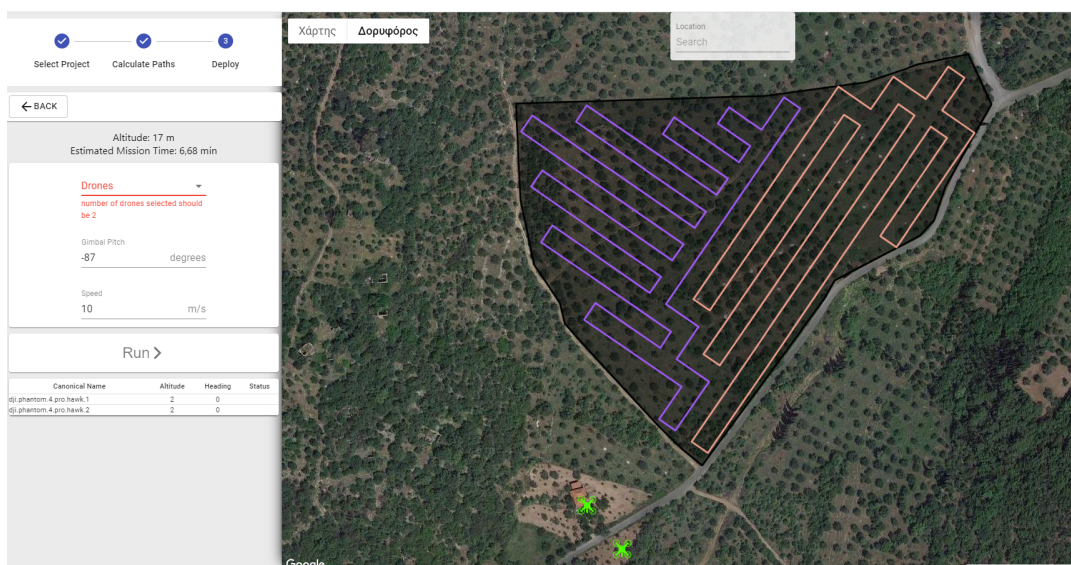
Σχήμα 5.12: Μονοπάτια που υπολογίστηκαν από τον αλγόριθμο υπολογισμού μονοπατιών για κάθε ΣμηΕΑ

Ο χρήστης αξιολογεί τα μονοπάτια που υπολογίστηκαν με στόχο είτε να αλλάξει παραμέτρους και να πατήσει ξανά το κουμπί CALCULATE PATHS για επαναυπολογισμό μονοπατιών είτε αν είναι ικανοποιημένος να προχωρήσει στο επόμενο βήμα για την εκκίνηση της αποστολής πολλαπλών ΣμηΕΑ. Στην επόμενο βήμα μπορεί να μεταβεί πατώντας το κουμπί NEXT.



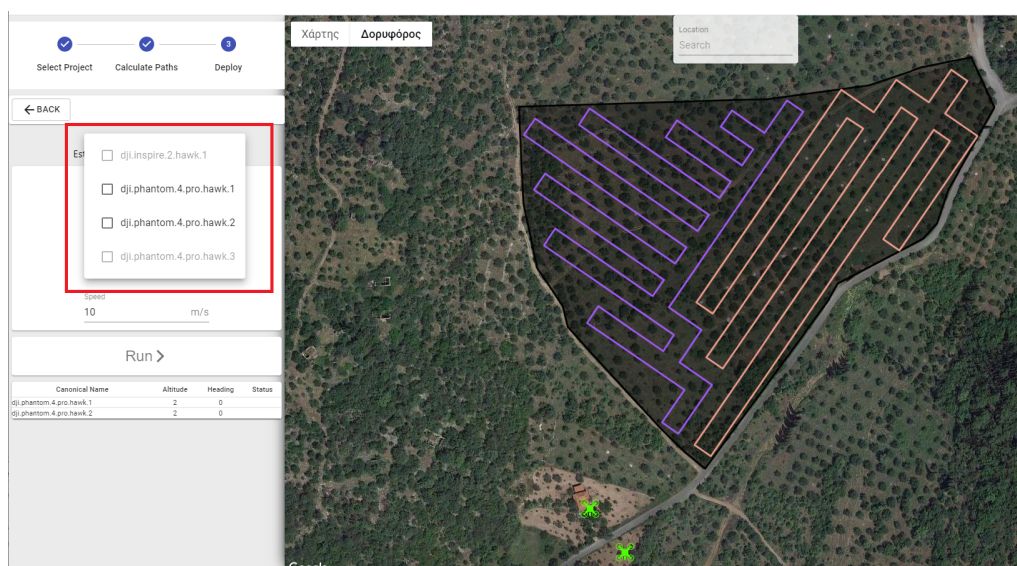
Σχήμα 5.13: Μετάβαση στην εκκίνηση της αποστολής πολλαπλών ΣμηΕΑ μέσω του κουμπιού NEXT

Στην οθόνη εκκίνησης της αποστολής φαίνονται τα μονοπάτια, το πολύγωνο ενδιαφέροντος (μόνο για ανάγνωση, non editable) καθώς και στα αριστερά οι παράμετροι που αφορούν την εκκίνηση της αποστολής.



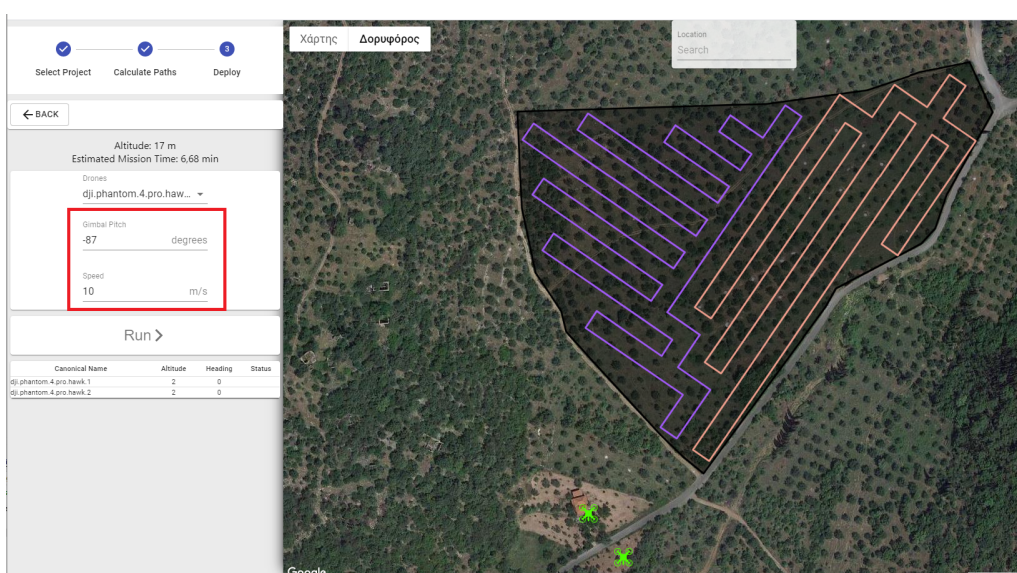
Σχήμα 5.14: Οθόνη εκκίνησης αποστολής

Ξεκινώντας από το αριστερό μέρος της οθόνης υπάρχει το ύψος (Altitude) στο οποίο θα πετάξουν τα ΣμηΕΑ καθώς και ο εκτιμώμενος χρόνος ολοκλήρωσης της αποστολής (Estimated Mission Time). Ο χρήστης πρέπει έπειτα να επιλέξει από την διαθέσιμη λίστα των ΣμηΕΑ (πεδίο Drones) αυτών που θα λάβουν μέρος στην αποστολή.



Σχήμα 5.15: Μενού επιλογής ΣμηΕΑ που θα λάβουν μέρος στην αποστολή

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.15 τα διαθέσιμα ΣμηΕΑ που εκπέμπουν ζωντανά την τοποθεσία τους τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι τα dji.phantom.4.pro.hawk.1 και dji.phantom.4.pro.hawk.2. Ο περιορισμός που ισχύει είναι ότι ο αριθμός των ΣμηΕΑ που θα επιλεγούν σε αυτό το μενού θα πρέπει να είναι ίδιος με τον αριθμό των μονοπατιών που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα κατά τη φάση σχεδίασης της αποστολής. Σε διαφορετική περίπτωση το κουμπί Run για την εκκίνηση της αποστολής παραμένει ανενεργό. Επιπρόσθετα ο χρήστης επιλέγει τις μοίρες για την κάμερα των ΣμηΕΑ (πεδίο Gimbal Pitch), καθώς και την ταχύτητα με την οποία θα κινηθούν (πεδίο Speed).



Σχήμα 5.16: Παραμετροποίηση μοιρών κάμερας (Gimbal Pitch) και ταχύτητας (Speed) των ΣμηΕΑ της αποστολής

Σε αυτό το σημείο έχει ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός και η παραμετροποίηση της αποστολής των πολλαπλών ΣμηΕΑ. Επιπλέον, στην τελευταία οθόνη εκκίνησης της αποστολής (deploy) έχουν ανατεθεί πραγματικά ΣμηΕΑ που είναι την δεδομένη στιγμή ενεργά. Πατώντας το κουμπί Run γίνεται η εκκίνηση.



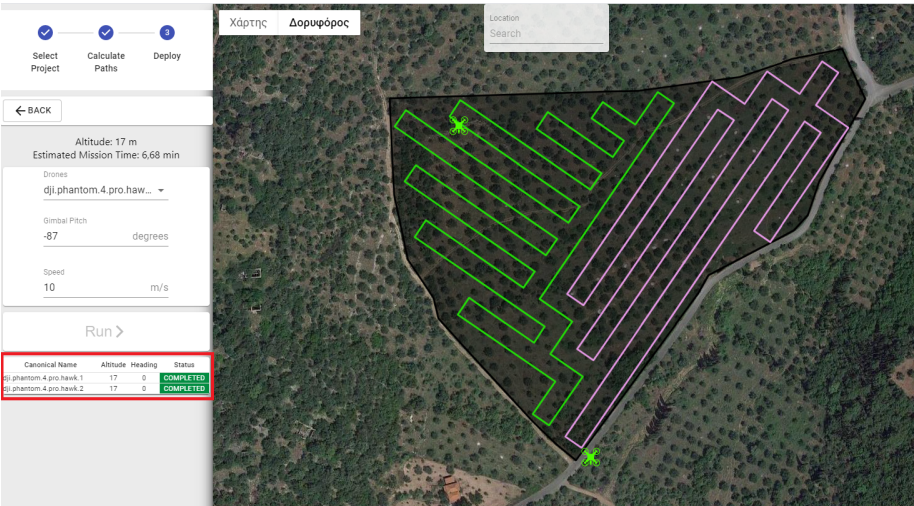
Σχήμα 5.17: Αποστολή πολλαπλών ΣμηΕΑ σε εξέλιξη

Η πραγματική θέση των ΣμηΕΑ φαίνεται στο χάρτη καθώς διασχίζουν τα μονοπάτια τους και επιπλέον πληροφορίες πτήσης για το τρέχον ύψος (Altitude), τον προσανατολισμό της πορείας τους (Heading) και την κατάσταση τους, φαίνονται σε πίνακα όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.18.



Σχήμα 5.18: Πληροφορίες πτήσης ΣμηΕΑ σε εξέλιξη

Κατά την ολοκλήρωση της αποστολής η κατάσταση των ΣμηΕΑ μεταβαίνει σε ολοκληρωμένα (COMPLETED).



Σχήμα 5.19: Ολοκλήρωση αποστολής

Κεφάλαιο 6

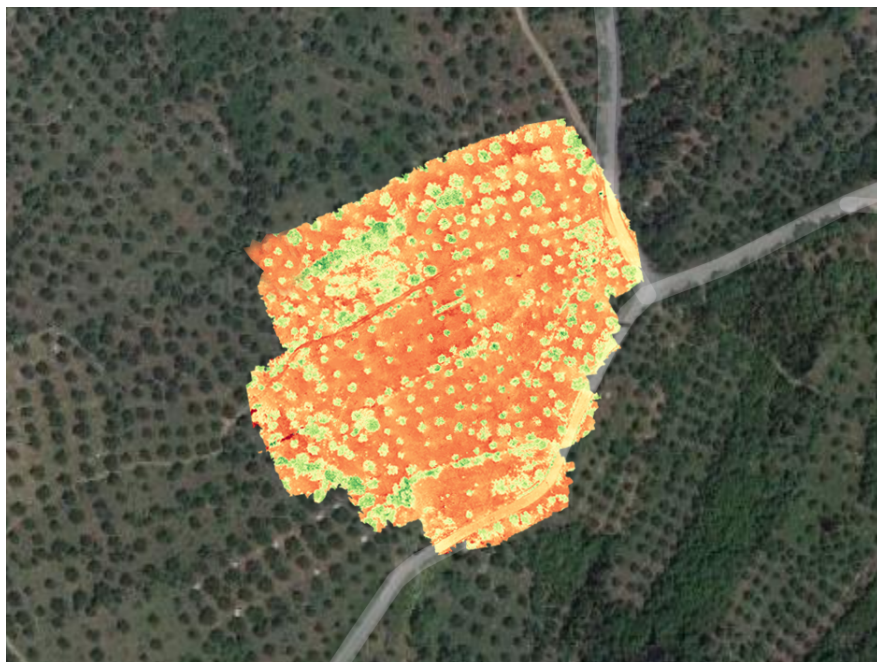
Επίλογος

Η ανάπτυξη των ΣμηΕΑ και των σχετικών συστημάτων λογισμικού που τα συνοδεύουν δείχνει την επιρροή της σε πάρα πολλούς κλάδους. Έλεγχος ασθενειών, επισκόπηση κατασκευών, παράδοση αγαθών, αγροτικές καλλιέργειες είναι μόνο μερικοί από αυτούς. Πολλές επιχειρήσεις και οργανισμοί προσπαθούν να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες των ΣμηΕΑ επενδύοντας στην νέα αυτή πραγματικότητα. Η παρούσα διπλωματική χρησιμοποίησε αλγορίθμους από την ακαδημαϊκή κοινότητα για το θεωρητικό της μέρος (χωρισμός περιοχής σε μονοπάτια) και επιχείρησε να δημιουργήσει ένα ενιαίο περιβάλλον λογισμικού για την πρακτική εφαρμογή της σε αποστολές πολλαπλών ΣμηΕΑ.

6.1 Μελλοντικοί στόχοι

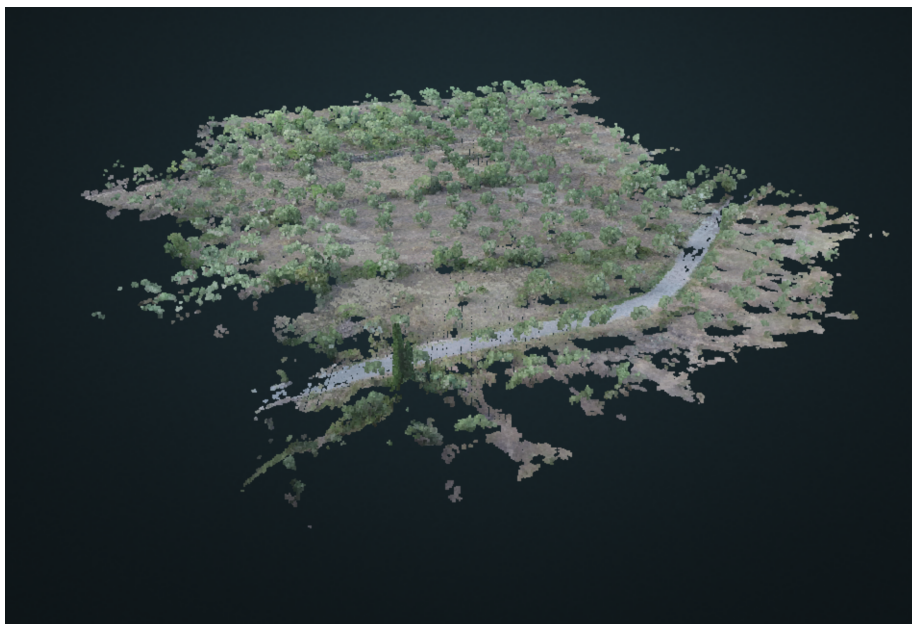
Χρησιμοποιώντας το σύστημα που αναπτύχθηκε, υπάρχει η υποδομή για διάφορες μελλοντικές προεκτάσεις. Τα ΣμηΕΑ θα μπορούσαν να στέλνουν σε πραγματικό χρόνο (ή και μετά το πέρας της αποστολής, ανάλογα την εφαρμογή) τις φωτογραφίες που τραβούν από την περιοχή που διασχίζουν, με σκοπό να δίνονται σαν είσοδο σε αλγορίθμους ανάλογα την περίπτωση.

Για παράδειγμα στον τομέα της γεωργίας precision agriculture, με εφαρμογή φίλτρων στις εικόνες μπορεί να προσδιορίζεται η φυτοϋγεία της περιοχής ενδιαφέροντος, για αναγνώριση πιθανών ασθενειών και στοχευμένη δράση σε αυτές.



Σχήμα 6.1: Φυτοϋγεία στην περιοχή ενδιαφέροντος

Σε εφαρμογές έρευνας και διάσωσης οι φωτογραφίες θα μπορούσαν να δίνονται σε αλγόριθμο μηχανικής μάθησης με σκοπό την αναγνώριση ανθρώπου ή αντικειμένων. Στον χώρο της κατασκευαστικής βιομηχανίας πολλές φορές υπάρχει η ανάγκη να δημιουργηθεί ένα μοντέλο 3D μιας κατασκευής που είναι σε εξέλιξη για να μελετηθεί η ποιότητα της γεωμετρίας (geometry quality inspection), η πρόοδος της κατασκευής κλπ.



Σχήμα 6.2: Αναπαράσταση 3D της περιοχής ενδιαφέροντος

Σε αυτή τη διπλωματική δόθηκε η βάση στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας της πτήσης

πολλών ΣμηΕΑ μαζί με ένα λειτουργικό User Interface. Οι εφαρμογές που μπορούν να προκύψουν είναι πάρα πολλές και το υπάρχον σύστημα μπορεί να εμπλουτιστεί με τέτοιους αλγορίθμους για να υποστηρίξει καινούριες λειτουργικότητες.

Βιβλιογραφία

- [1] N. Agmon, N. Hazon, and G. A. Kaminka. Constructing spanning trees for efficient multi-robot coverage. In *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006.*, pages 1698–1703. IEEE, 2006.
- [2] H. Choset and P. Pignon. Coverage path planning: The boustrophedon cellular decomposition. In *Field and service robotics*, pages 203–209. Springer, 1998.
- [3] L. Deng, Z. Mao, X. Li, Z. Hu, F. Duan, and Y. Yan. Uav-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146:124–136, 2018.
- [4] Y. Gabriely and E. Rimon. Spanning-tree based coverage of continuous areas by a mobile robot. *Annals of mathematics and artificial intelligence*, 31(1-4):77–98, 2001.
- [5] E. Galceran and M. Carreras. A survey on coverage path planning for robotics. *Robotics and Autonomous systems*, 61(12):1258–1276, 2013.
- [6] A. C. Kapoutsis, S. A. Chatzichristofis, and E. B. Kosmatopoulos. Darp: Divide areas algorithm for optimal multi-robot coverage path planning. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 86(3):663–680, 2017.
- [7] M. Mikowski and J. Powell. *Single Page Web Applications: JavaScript End-to-End*. Manning Publications Co., USA, 1st edition, 2013.
- [8] J. Sun, B. Li, Y. Jiang, and C.-y. Wen. A camera-based target detection and positioning uav system for search and rescue (sar) purposes. *Sensors*, 16(11):1778, 2016.
- [9] R. E. Tarjan. *Data structures and network algorithms*. SIAM, 1983.
- [10] C. Walls. *Spring Boot in Action*. Manning Publications Co., USA, 1st edition, 2016.

