

Περίληψη Εργασίας

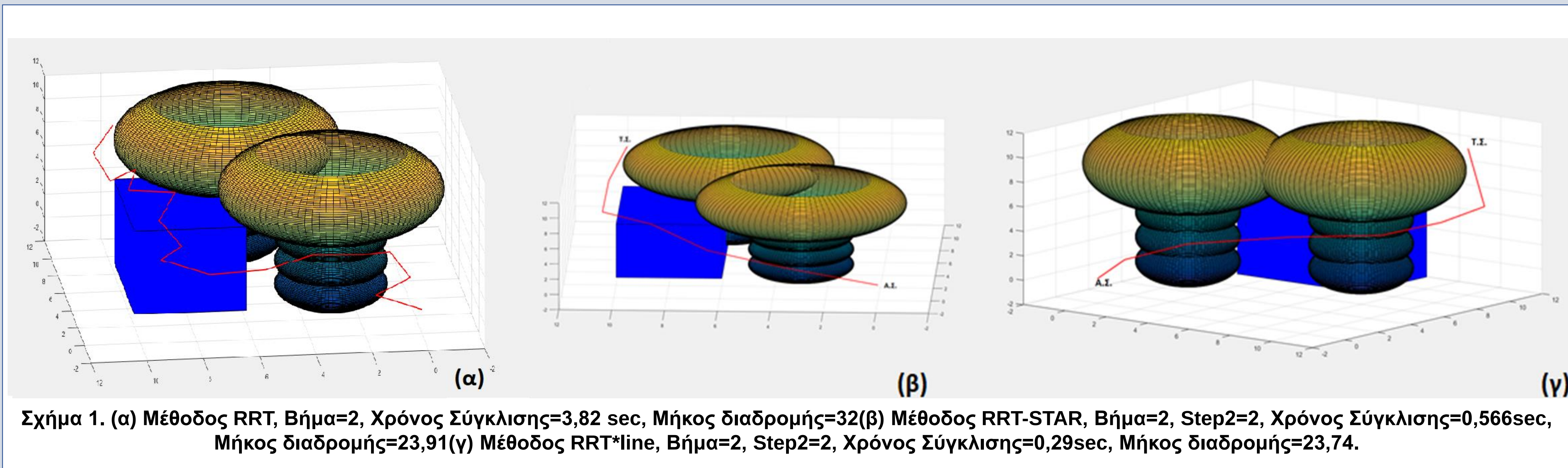
Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την ανάπτυξη ενός σχεδιαστή κίνησης για ιπτάμενα ρομπότ τύπου quadcopter τα οποία διαθέτουν τέσσερις έλικες. Περιλαμβάνει την ανάπτυξη του αλγορίθμου RRT*linegeo για το σχεδιασμό κίνησης του ρομπότ προς δεδομένο στόχο, αποφεύγοντας τα εμπόδια κατά την κίνηση, δεδομένου ενός χώρου με εμπόδια όπου γνωρίζουμε που είναι τοποθετημένα βασισμένο στην τυχαία δειγματοληψία. Και την ανάπτυξη του σχεδιαστή κίνησης WindOpt , για την εύρεση βέλτιστων χρονικά και ενεργειακά διαδρομών υπό φορτίο μη ομοιόμορφης ροής ανέμου, βασισμένος στην αναζήτηση γράφων ομοιόμορφων σε ολόκληρο το χώρο διαμόρφωσης. Αρχικά αναλύεται η διαδικασία που ακολουθείται για την εύρεση διαδρομής, συγκεκριμένα για τον σχεδιασμό κίνησης εξετάσαμε διάφορες παραλλαγές του αλγορίθμου Rapidly Exploring Random Trees (RRT) και προτείνουμε το σχεδιαστή RRT*LINE, που βασίζεται στην τυχαία δειγματοληψία, ο οποίος παράγει μια διακριτοποιημένη διαδρομή μεταξύ στόχου και αρχικής θέσης του ιπτάμενου ρομπότ και εγγυάται την ασφάλεια (αποφυγή εμποδίων) και το βέλτιστο κόστος (ελάχιστο μήκος διαδρομής). Η διαδρομή αυτή μεταβιβάζεται στον ελεγκτή DJI του quadcopter ο οποίος αναλαμβάνει τον έλεγχο του ώστε να ακολουθήσει την διαδρομή με την χρήση του αισθητήρα θέσης GPS και των αισθητήρων όρασης που διαθέτει. Επίσης αναλύεται η διαδικασία που ακολουθείται για την εύρεση χρονικά και ενεργειακά βέλτιστης διαδρομής υπό φορτίο μη ομοιόμορφης ροής ανέμου. Συγκεκριμένα για τον σχεδιασμό διαδρομής εξετάσαμε σε προσομοίωση τον αλγόριθμο Dijkstra's και A* για διάφορες συναρτήσεις κόστους καθώς και ευριστικές για τον αλγόριθμο A*. Τέλος ο προτεινόμενος σχεδιαστής κίνησης RRT*line μετατράπηκε καταλλήλως ώστε να παράγει την διαδρομή σε γεωγραφικές συντεταγμένες (RRT*linegeo) και ανταποκρίθηκε επιτυχώς σε διάφορα σενάρια που μελετήθηκαν σε προσομοίωση αλλά και σε πειραματική υλοποίηση στο quadcopter Matrice 200 του εργαστηρίου της Ομάδας Ρομποτικής. Μετά την συζήτηση των αποτελεσμάτων παρατίθενται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για μελλοντική εργασία.

Σχεδιαστής κίνησης RRT*line

Τα βήματα της μεθόδου RRT*line:

- Ορισμός $(X_{start}, Y_{start}, Z_{start})$, $(X_{goal}, Y_{goal}, Z_{goal})$ και των εμποδίων στο χώρο εργασίας.
- Ορισμός μήκος βήματος $step$
- Παραγωγή τυχαίου σημείου $(X_{rand}, Y_{rand}, Z_{rand})$
- Εύρεση κοντινότερου σημείου $(X_{near}, Y_{near}, Z_{near})$ σε σχέση με το τυχαίο σημείο.
- Παραγωγή νέου σημείου $(X_{new}, Y_{new}, Z_{new})$ πάνω στην ευθεία που ενώνει το τυχαίο σημείο με το κοντινότερο σε απόσταση ίση με το βήμα από το κοντινότερο σημείο
- Εύρεση κοντινότερου σημείου 2 $(X_{near2}, Y_{near2}, Z_{near2})$ μέσα σε μια γειτονιά γύρω από το νέο σημείο σε απόσταση μικρότερη ή ίση από τρεις φορές το βήμα που έχει ορίσει ο χρήστης στο βήμα 2.
- Έλεγχος για αποφυγή εμποδίων της διαδρομής μεταξύ νέου και κοντινότερου σημείου2.
- Εάν είναι ελεύθερη η διαδρομή από εμπόδια τότε συνδέω το νέο σημείο με το κοντινότερο σημείο2.
- Έλεγχος για αποφυγή εμποδίων της διαδρομής μεταξύ νέου και κοντινότερου σημείου.
- Εάν είναι ελεύθερη η διαδρομή από εμπόδια τότε συνδέω το νέο σημείο με το κοντινότερο σημείο.
- Έλεγχος αποφυγής εμποδίων για ένωση του κοντινότερου σημείου με το στόχο. Εάν μπορούμε να ενώσουμε στόχο με το κοντινότερο σημείο τότε ο αλγόριθμος επιστρέφει την διαδρομή.
- Αλλιώς ανάλογα τους ελέγχους αποφυγής εμποδίων στα βήματα 7., 9. εισάγουμε το νέο σημείο στο δένδρο για να υπολογιστεί η τελική διαδρομή.
- Ο αλγόριθμος συνεχίζει από το βήμα 3. μέχρι το νέο σημείο που θα προστεθεί στην διαδρομή βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη ή ίση του μισού βήματος από το στόχο.
- Επιστρέφει την διαδρομή όπου ενώνει αρχή και στόχο διανύοντας την μικρότερη απόσταση.

Σύγκριση Μεθόδων RRT, RRT* & RRT*line σε Προσομοίωση



Πειράματα-RRT*linegeo

Η πλοήγηση ενός εναέριου οχήματος σχετίζεται με τέσσερα κομμάτια :

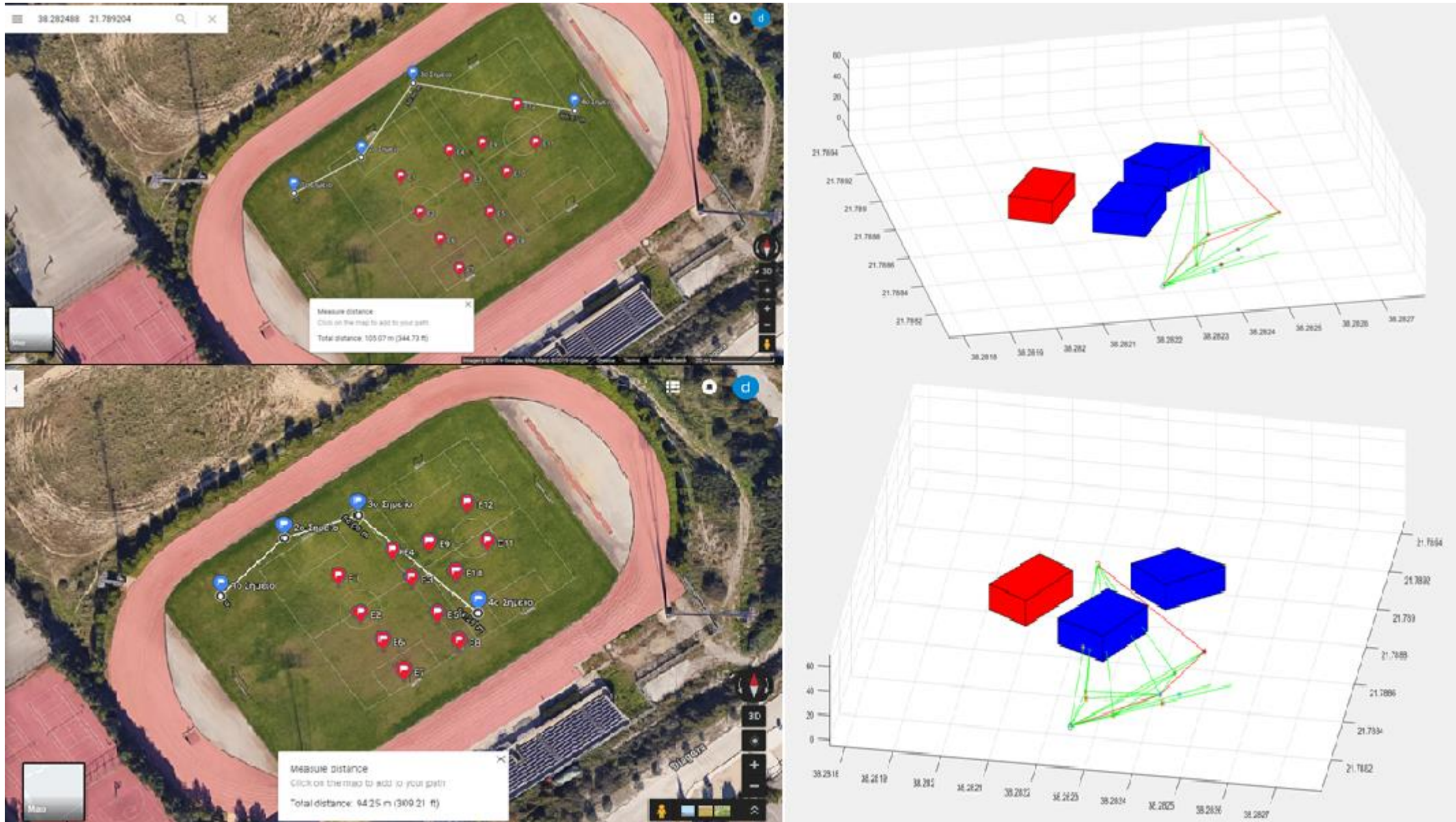
- Εντοπισμός του ρομπότ στο χώρο (Localization)
- Χαρτογράφηση του χώρου (Mapping)
- Σχεδιασμός της διαδρομής (Path planning)
- Έλεγχος του ρομπότ.



Σχήμα 2. Quadcopter Matrice 200 DJI.

Οι περιορισμοί που έχουν τεθεί στον αλγόριθμο RRT*linegeo:

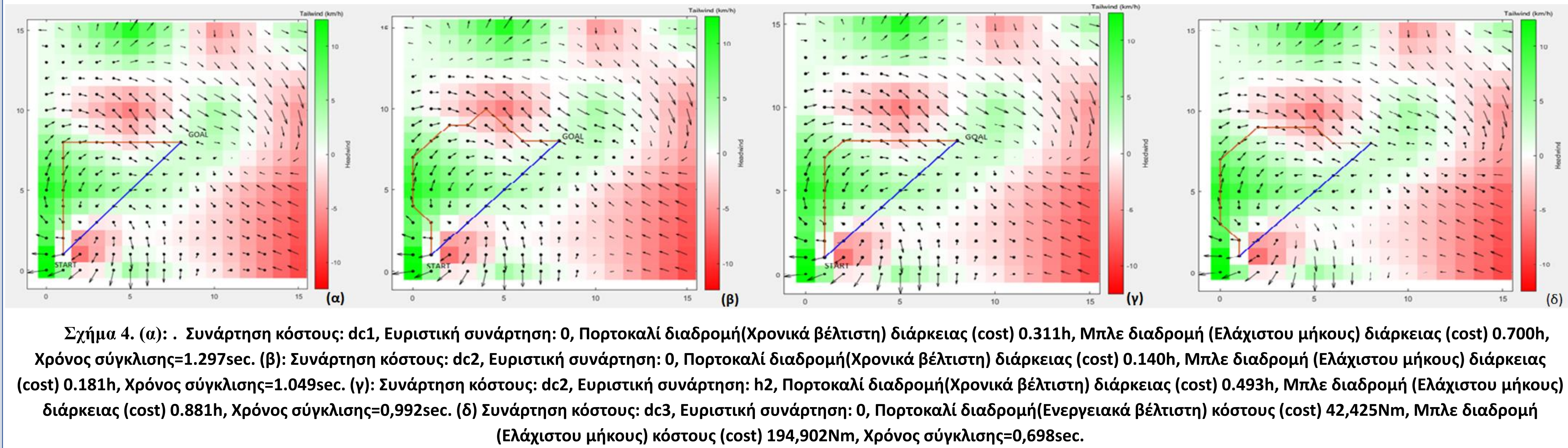
- Ιπτάμενο όχημα θεωρείται σημειακό
- Συντεταγμένες διαδρομής σε γεωγραφικές συντεταγμένες
- Περιορισμός του χώρου εργασίας του quadcopter για γεωγραφικό πλάτος (latitude) από 38,2817679 έως 38,2827953, για γεωγραφικό μήκος (longitude) από 21,7880291 έως 21,7894667 και για το υψόμετρο από υψόμετρο αρχικού σημείου (συνήθως μηδενικό) έως 50 μέτρα
- Αδυναμία κίνησης του ιπτάμενου οχήματος στο επίπεδο x-y θέτοντας ως περιορισμό την μεταβολή του υψομέτρου σε κάθε νέο σημείο
- Εμπόδια μόνο παραλληλόγραμμα 3 διαστάσεων



Σχήμα 3. Πάνω: Παράδειγμα 5. Προσδιορισμός εμποδίων στις 2 διαστάσεις όπως φαίνεται στο περιβάλλον του Google Maps καθώς και της διαδρομής που ακολούθησε το quadcopter. ,

Κάτω:Παράδειγμα 6. Προσδιορισμός εμποδίων στις 2 διαστάσεις όπως φαίνεται στο περιβάλλον του Google Maps καθώς και της διαδρομής που ακολούθησε το quadcopter, σημεία της διαδρομής : γαλάζια και εμπόδια : κόκκινα σημεία.

Βέλτιστος σχεδιασμός κίνησης σε συνθήκες μη ομοιόμορφου πεδίου ανέμου-WindOpt



Σχεδιαστής κίνησης WindOpt

Βήματα αλγορίθμου WindOpt:

- Ορίζω το αρχικό σημείο ως το σημείο ενδιαφέροντος $cost(\sigma. \text{Ενδιαφέροντος})=0$ και δηλώνω σε μια κλειστή λίστα ότι έχει προσπελαστεί
- Ελέγχω για τα πρώτα 8 σημεία γύρω από το σημείο ενδιαφέροντος ποιο έχει την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης dt και ορίζω σε μια κλειστή λίστα (Closelist) ότι το σημείο έχει προσπελαστεί και υπολογίζω το κόστος των σημείων με

$$cost(i, j) = cost(\sigma. \text{Ενδιαφέροντος}) + dt(i, j) + h(i, j)$$

- Ελέγχω εάν το σημείο που επιλέχτηκε είναι ο στόχος:
 - Εάν είναι : ελέγχω εάν είναι η πρώτη φορά που φτάνω στο στόχο ορίζω μια μεταβλητή min_costs εάν δεν είναι η πρώτη φορά συγκρίνω την τιμή της συνάρτησης με το min_costs
 - Εάν δεν είναι επαναλαμβάνω την διαδικασία από το βήμα 2. με σημείο ενδιαφέροντος το σημείο που έχει το ελάχιστο κόστος $cost(\sigma. \text{Ενδιαφέροντος})=min_cost$.

Κινηματική ιπτάμενου οχήματος υπό την επίδραση ανέμου

Ταχύτητα ροής ανέμου :

$$w = \begin{bmatrix} W_x \\ W_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |w| \\ 0 \end{bmatrix}$$

Κινηματικό μοντέλο ιπτάμενου οχήματος:

$$\dot{X} = V_{still} \cos \theta + W_x$$

$$\dot{Y} = V_{still} \sin \theta + W_y$$

Συναρτήσεις κόστους & Ευριστικές

Βέλτιστος σχεδιασμός κίνησης με βάση το χρόνο:

$$dc_1 = dt = \frac{dx}{\dot{X}} + \frac{dy}{\dot{Y}}$$

$$dc_2 = dt = \frac{|w|}{|w|^2 - V_{max}^2} dx - \frac{\sqrt{V_{max}^2 (dx^2 + dy^2) - |w|^2} dy^2}{|w|^2 - V_{max}^2}$$

$$h_{nme2}(i) = dc_1$$

Βέλτιστος σχεδιασμός κίνησης με βάση τη κατανάλωση ενέργειας:

$$dc_3 = \left(\rho c_d A \sqrt{dx^2 + dy^2} \right) W \left(\sqrt{dx^2 + dy^2} - dx \right)$$

Συμπεράσματα

Συμπερασματικά με την εκτέλεση τόσο της προσομοίωσης όσο και του πειράματος μπορούμε να πούμε ότι τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά. Αρχικά στην προσομοίωση όπου ελέγξαμε αρκετές δύσκολες διατάξεις εμποδίων μπορούμε να πούμε ότι τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα θετικά αφού είχαμε πολύ γρήγορη απόκριση του σχεδιαστή RRT*line με ικανοποιητικά ημι-βέλτιστη διαδρομή. Παράλληλα τα αποτελέσματα του πειράματος με το σχεδιαστή RRT*linegeo παρά τυχόν σφάλματα που προέκυψαν λόγω του GPS, ήταν αρκετά ικανοποιητικά. Όσον αφορά τον αλγόριθμο WindOpt έπεται την εξέταση των διαφόρων συναρτήσεων κόστους και των ευριστικών συναρτήσεων συμπεραίνουμε ότι θα βασιστούμε μόνο στις συναρτήσεις dc1, dc2 και dc2+h2 για την εύρεση χρονικά βέλτιστης διαδρομής και την συνάρτηση dc3 για την εύρεση ενεργειακά βέλτιστης διαδρομής. Και επιπλέον επιβεβαιώθηκε ότι στους αλγόριθμους που βασίζονται στην αναζήτηση γράφων ομοιόμορφων σε ολόκληρο το χώρο διαμόρφωσης το μέγεθος του πλέγματος του γράφου παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στο χρόνο σύγκλισης του αλγορίθμου.

Μελλοντική Ανάπτυξη

- Ανάπτυξη σχεδιαστή κίνησης όπου στο περιβάλλον εργασίας του ρομπότ θα υπάρχουν άγνωστα κινούμενα εμπόδια αξιοποιώντας τα συστήματα όρασης που διαθέτει το quadcopter M200 για τον απόλυτο αυτόματο έλεγχο του.
- Ανάπτυξη σχεδιαστή κίνησης για βέλτιστη κίνηση υπό φορτίο μη ομοιόμορφης ροής που μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου, συνυπολογίζοντας και κινούμενα εμπόδια μέσα στο γράφο.