

Περίληψη Εργασίας

Η παρούσα σπουδαστική εργασία ασχολείται με την ανάπτυξη ενός συστήματος αυτόνομης πλοήγησης για τροχήλατο ρομπότ με δύο ενεργούς και ένα παθητικό τροχό. Περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός αλγορίθμου για την πλοήγηση του ρομπότ προς δεδομένο στόχο, αποφεύγοντας τα εμπόδια κατά την κίνηση, δεδομένου ενός χώρου με εμπόδια όπου δεν γνωρίζουμε που είναι τοποθετημένα.

Αναλύεται η διαδικασία που ακολουθείται για την εύρεση διαδρομής, δημιουργία τροχιάς και έλεγχο του ρομπότ. Συγκεκριμένα για τον σχεδιασμό διαδρομής εξετάσαμε διάφορες παραλλαγές του αλγορίθμου Rapidly Exploring Random Trees (RRT) και το σχεδιαστή RRT*LINE, που βασίζεται στην τυχαία δειγματοληψία, ο οποίος παράγει μια διακριτοποιημένη διαδρομή μεταξύ στόχου και αρχικής θέσης του ρομπότ και εγγυάται την ασφάλεια (αποφυγή εμποδίων) και το βέλτιστο κόστος (ελάχιστο μήκος διαδρομής). Η διαδρομή αυτή μεταβιβάζεται στον ελεγκτή κίνησης ο οποίος αναλαμβάνει να μετακινήσει το όχημα ακολουθώντας την διαδρομή θέτοντας κατάλληλες τιμές στην ταχύτητα των δύο ενεργών τροχών ξεχωριστά την γραμμική και την περιστροφική κίνηση.

Το προτεινόμενο σύστημα πλοήγησης ανταποκρίθηκε επιτυχώς σε διάφορα σενάρια που μελετήθηκαν σε προσομοίωση αλλά και σε πειραματική υλοποίηση σε ένα από τα μικρά τροχήλατα ρομπότ του εργαστηρίου της Ομάδας Ρομποτικής. Μετά την συζήτηση των αποτελεσμάτων παρατίθενται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για μελλοντική εργασία.

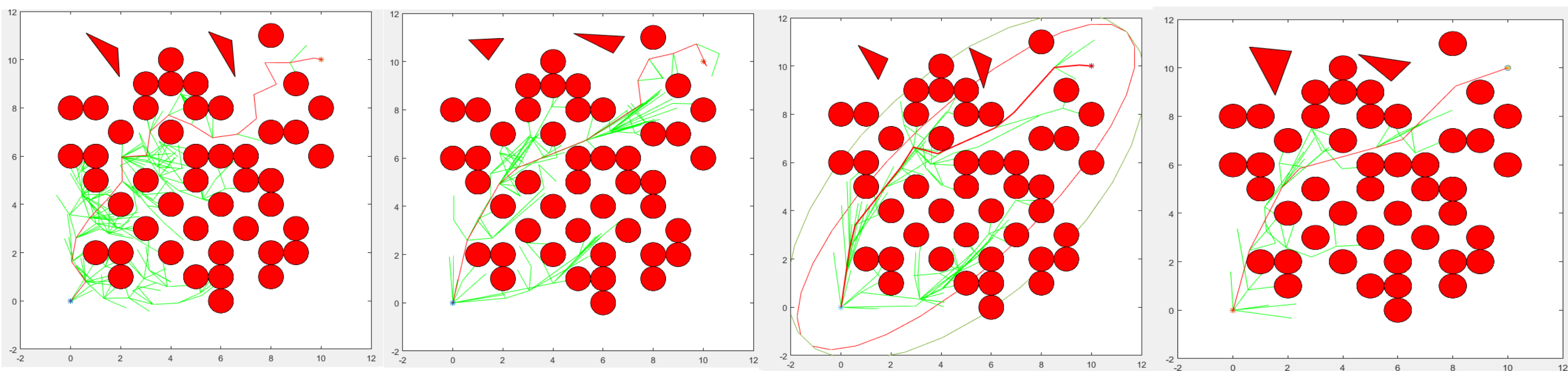
Σχεδιαστής κίνησης RRT*line

Τα βήματα της μεθόδου RRT*line

Αλγόριθμος RRT*LINE

- Ορισμός $X_{start}, Y_{start}, X_{goal}, Y_{goal}$ και των εμποδίων στο χώρο εργασίας.
- Ορισμός μήκους βήματος $step$
- Παραγωγή τυχαίου σημείου X_{rand}, Y_{rand}
- Εύρεση κοντινότερου σημείου X_{near}, Y_{near} σε σχέση με το τυχαίο σημείο.
- Παραγωγή νέου σημείου X_{new}, Y_{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} μέσα σε μια γειτονιά γύρω από το νέο σημείο σε απόσταση μικρότερη ίση από τρεις φορές το βήμα που έχει ορίσει ο χρήστης στο βήμα 2.
- Έλεγχος για αποφυγή εμποδίων της διαδρομής μεταξύ νέου και κοντινότερου σημείου 2.
- Εάν είναι ελεύθερη η διαδρομή από εμπόδια τότε συνδέω το νέο σημείο με το κοντινότερο σημείο 2.
- 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.
- Επιστρέφει την διαδρομή όπου ενώνει αρχή και στόχο διανύοντας την μικρότερη απόσταση.

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

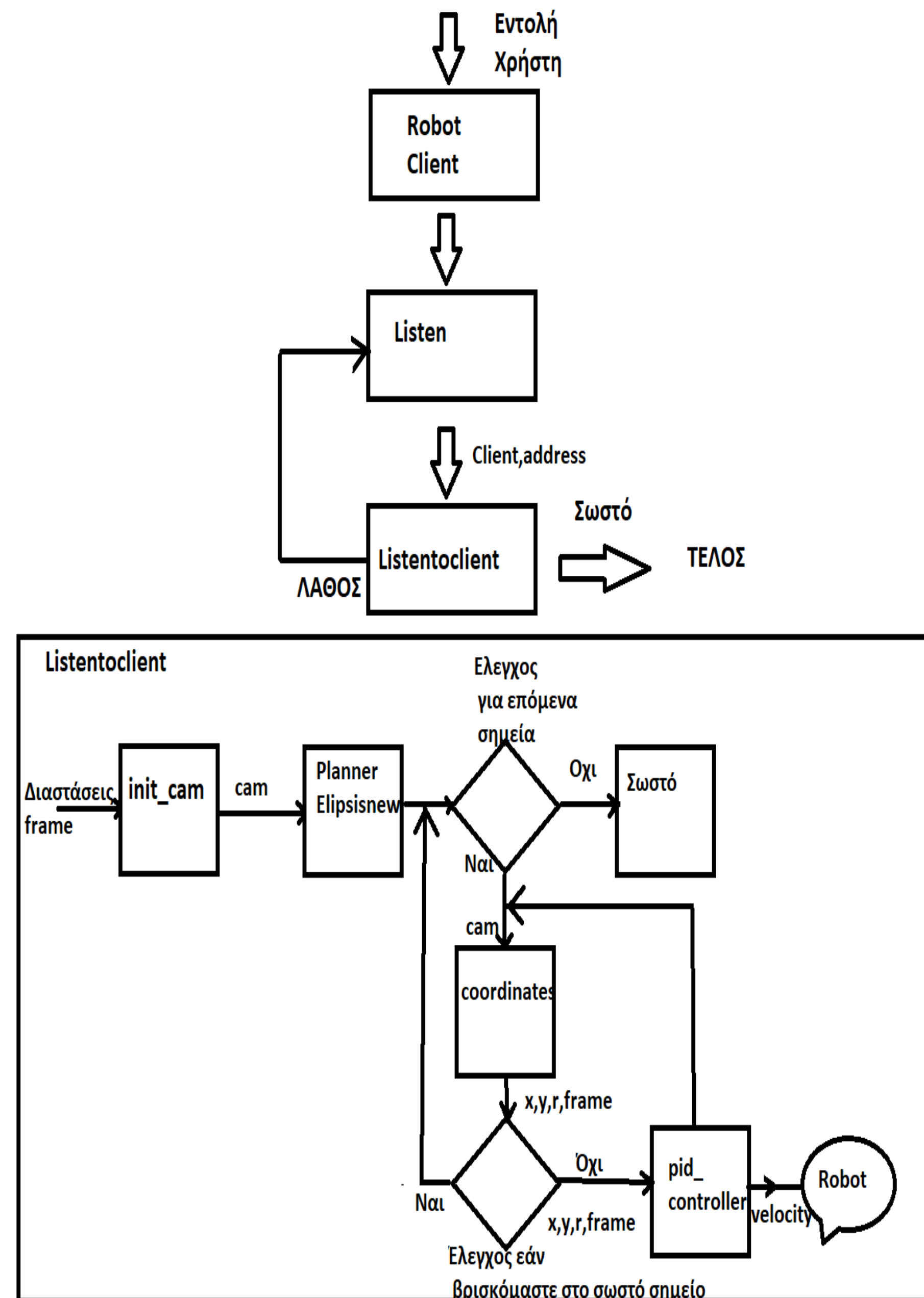


Σχήμα 1. (α) Προσομοίωση RRT t=1.77sec και μήκος διαδρομής ίσο με 19 (β) RRT-STAR t=0.78sec και μήκος διαδρομής ίσο με 16,79 (γ) Informed RRT-STAR t=1.64sec και μήκος διαδρομής ίσο με 15,91 (δ) Προσομοίωση RRT*line που αντίστοιχα χρησιμοποιήθηκε και στο πείραμα t=0,364sec η διαδρομή αποτελείται από 9 σημεία και το μήκος της διαδρομής ισούται με 15.31

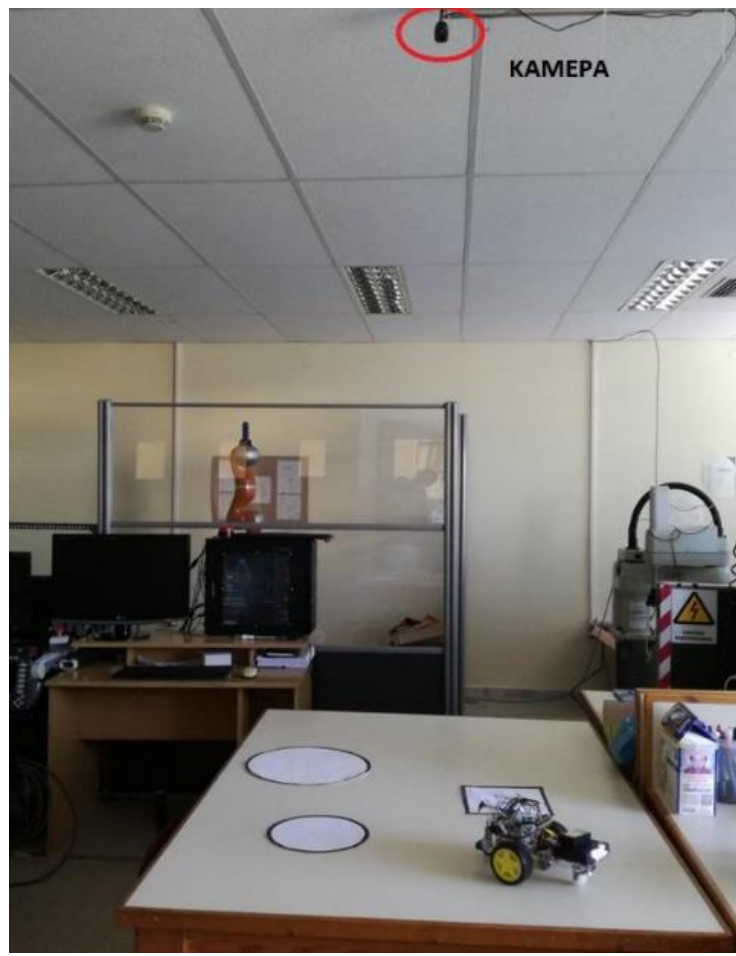
ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Η πλοήγηση του ρομπότ σχετίζεται με τέσσερα κομμάτια :

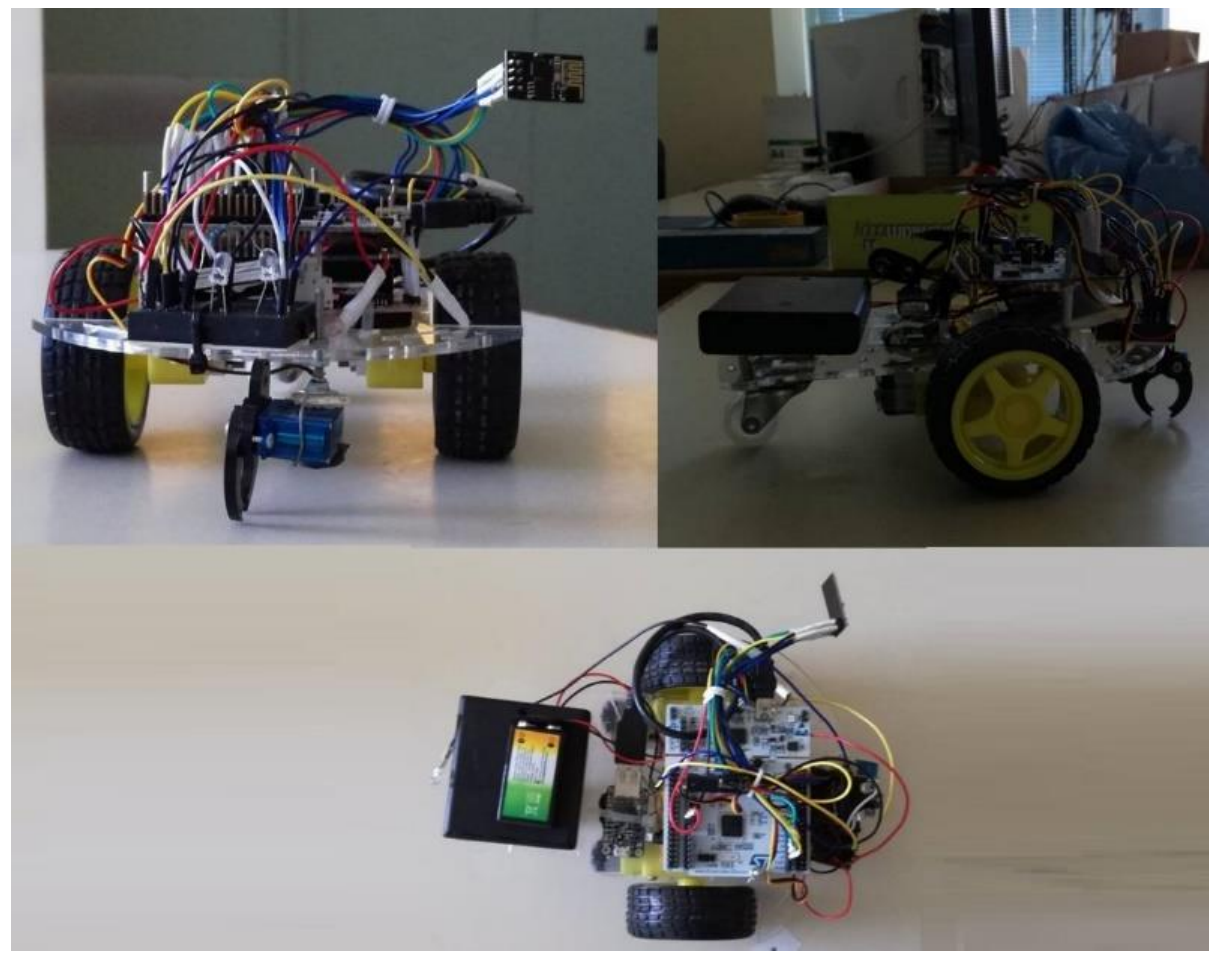
- Εντοπισμός του ρομπότ στο χώρο (Localization)
- Χαρτογράφηση του χώρου (Mapping)
- Σχεδιασμός της διαδρομής (Path planning)
- Έλεγχος του ρομπότ.



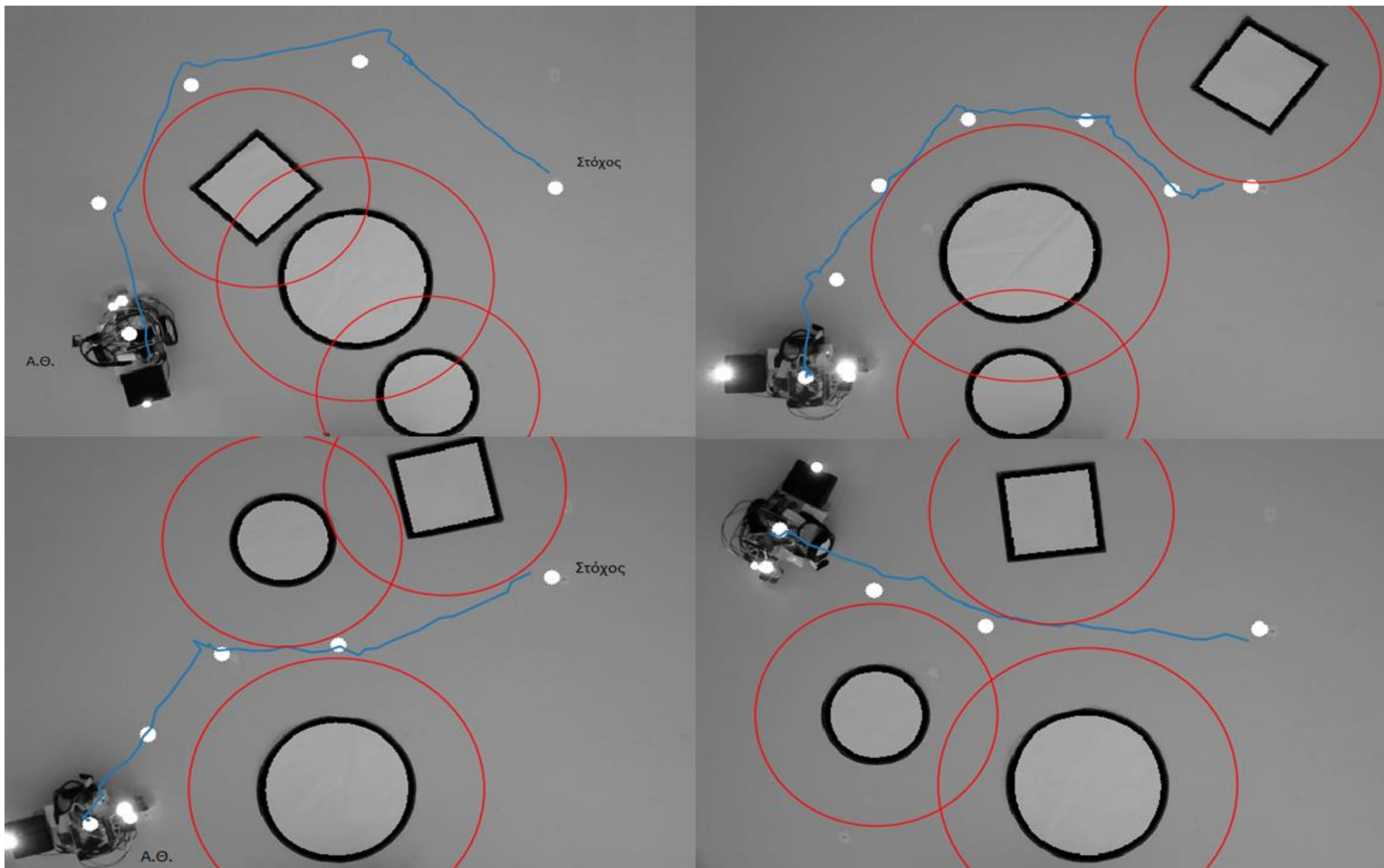
Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής που απεικονίζει την διαδικασία της αυτόνομης πλοήγησης του ρομπότ.



Σχήμα 3. Περιβάλλον εργασίας πειράματος- Διάταξη κάμερα ρομπότ επιφάνεια εργασίας .



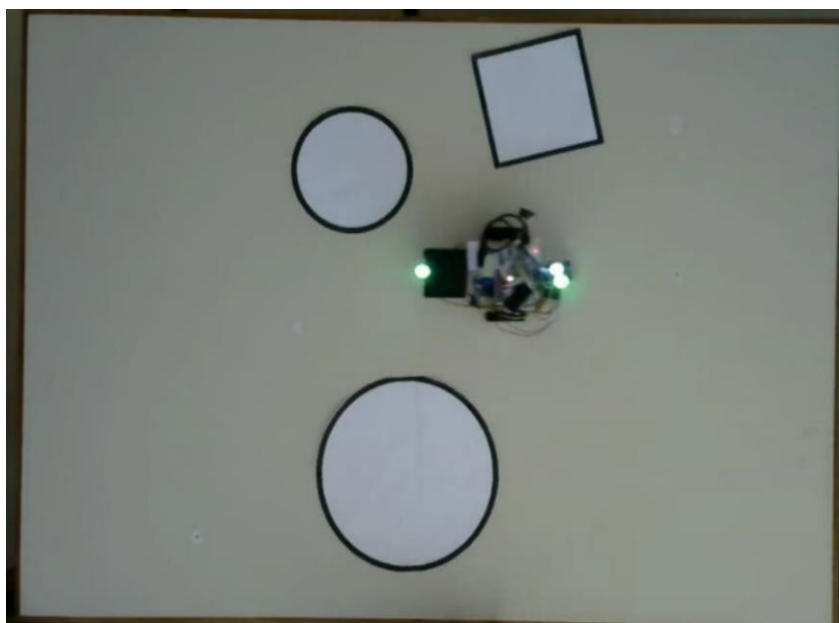
Σχήμα 4. Το ρομπότ όπου χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα.



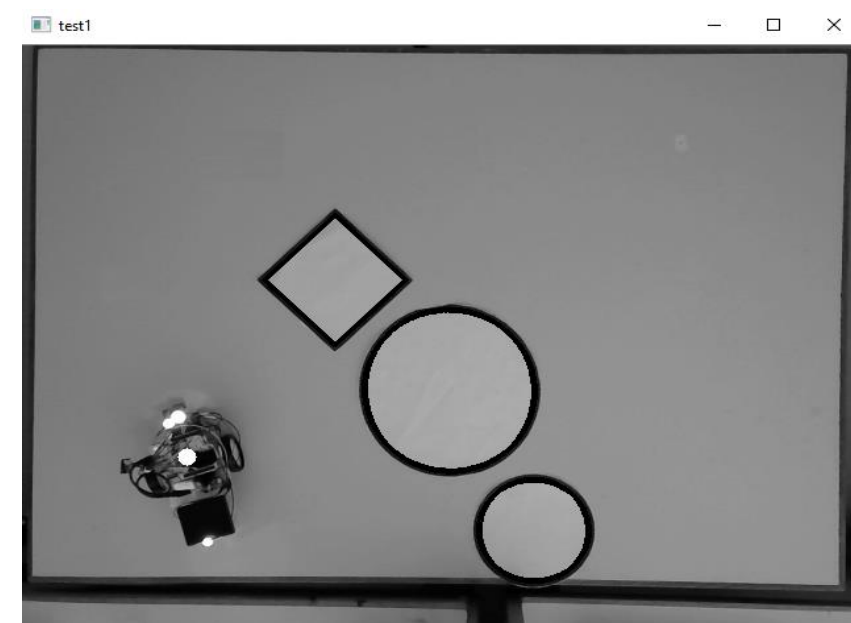
Σχήμα 5. Παραδείγματα πειράματος, τα άσπρα σημεία υποδηλώνουν την διαδρομή που όρισε ο σχεδιαστής κίνησης ενώ με μπλέ γραμμή φαίνεται η πραγματική διαδρομή που ακολούθησε το ρομπότ και οι κόκκινοι κύκλοι είναι η επέκταση των εμποδίων ώστε να θεωρήσουμε το ρομπότ σημειακό.

Εντοπισμός θέσης ρομπότ & Χαρτογράφηση του χώρου

Μέσω κάμερας λαμβάνουμε το Σχ.(6) και καθώς την επεξεργαστήκαμε την με την βοήθεια συναρτήσεων μηχανικής όρασης OpenCV στην Python προκύπτει το Σχ.(7) εντοπίζοντας τη θέση του ρομπότ και των δισδιάστατων εμποδίων.



Σχήμα 6. Απεικόνιση από την κάμερα που δείχνει πώς φαίνονται τα led φωτάκια για τον προσδιορισμό της θέσης και της κατεύθυνσης του ρομπότ.



Σχήμα 7. Απεικόνιση από την κάμερα με επεξεργασία για την ένδειξη του κέντρου βάρους του ρομπότ και εντοπισμός των εμποδίων.

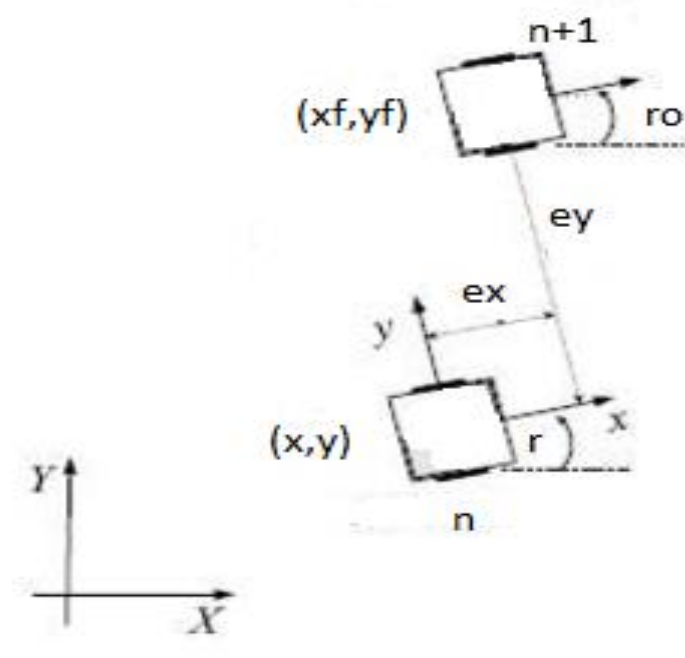
Ελεγκτής Κίνησης

Κινηματικές εξισώσεις δίτροχου ρομπότ:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= v \cos \theta \\ \dot{y} &= v \sin \theta \\ \dot{\omega} &= \dot{\theta}\end{aligned}$$

Σφάλματα κίνησης:

$$\begin{bmatrix} ex \\ ey \\ er \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_f - x \\ y_f - y \\ \arctan\left(\frac{\sin(r_f - r)}{\cos(r_f - r)}\right) \end{bmatrix}$$



Ταχύτητες κατά την:

Περιστροφική κίνηση (PD κατευθυντής) :

$$v_r = -\frac{\omega \times L}{4 \times R \times \pi} \times 1.8 \quad v_l = +\frac{\omega \times L}{4 \times R \times \pi} \times 1.8$$

Όπου: $\omega = K_p \times er + K_d \times (er - er_{prior}) / dt$

Kp=0.85, Kd=0.111, L=118mm, R=32.5mm και dt=0.08s

Γραμμική κίνηση (P κατευθυντής):

$$v_r = v_l = 0.025 \times \sqrt{ex^2 + ey^2}$$

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 ημιβέλτιστη διαδρομή και συγκριτικά συντομότερη από τις υπόλοιπες παραλλαγές που μελετήσαμε. Παράλληλα τα αποτελέσματα του πειράματος παρά τυχόν σφάλματα των κινητήρων ή καθυστερήσεις του υπολογιστή όπου λειτουργούσε τα προγράμματα, ήταν αρκετά ικανοποιητικά.

Μελλοντική Ανάπτυξη

- Χρήση αισθητήρων sonar με σκοπό την εξερεύνηση του χώρου αποφεύγοντας 3D άγνωστα εμπόδια
- Πλοήγηση του ρομπότ σε πραγματικές ομαλές κινήσεις ενός αυτοκινήτου (π.χ. καμπύλες Μπεζιέρ)