

# ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΙΙ

## Ευφυή Ρομποτικά Συστήματα

### ΕΞΑΜΗΝΙΑΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑ 2 – ΜΕΡΟΣ Α

#### Ομάδα 17

Δημήτριος Δαβίδ Γεροκωνσταντής		ΑΜ : 03119209
Αθανάσιος Τσουκλείδης-Καρυδάκης		ΑΜ : 03119009

Εξάμηνο : 8<sup>ο</sup>

*EAPINO, 2023*

Ρομποτική ΙΙ

## Α. Θεωρητική Ανάλυση

Σκοπός της παρούσας εξαμηνιαίας εργασίας είναι ο έλεγχος ενός κινούμενου ρομποτικού οχήματος (mobile robot) ώστε αυτό να εκτελεί μια διεργασία wall following κατά την οποία προσπαθεί να διατηρήσει σταθερή απόσταση από τον εκάστοτε τοίχο κατά τον οποίο κινείται παράλληλα.

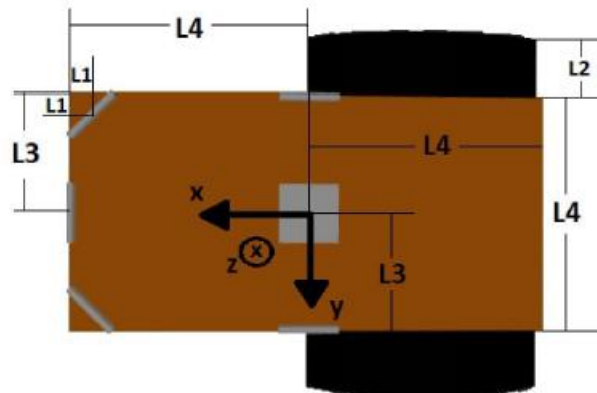
Οι τιμές των μεγεθών είναι:

$$L1 = 0.018 \text{ m}$$

$$L2 = 0.05 \text{ m}$$

$$L3 = 0.1 \text{ m}$$

$$L4 = 0.2 \text{ m}$$



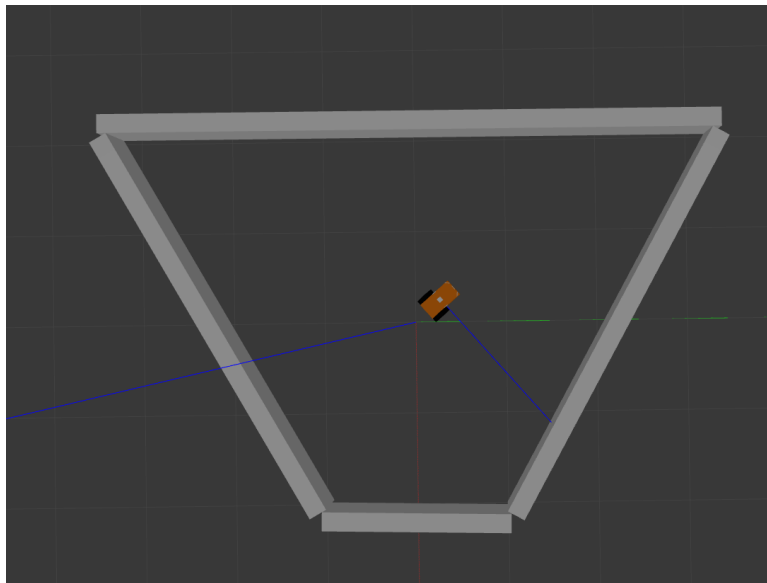
Εικόνα 2 - Scheme Design

Το παραπάνω ρομπότ περιλαμβάνει 5 αισθητήρες sonar από τους οποίους λαμβάνουμε πληροφορία για την απόσταση από τα εμπόδια και 1 αισθητήρα IMU ο οποίος όμως δεν χρησιμοποιείται σε αυτό το στάδιο.

Αρχικά, παραμετροποιούμε κατάλληλα την αρχική κατεύθυνση του ρομπότ σύμφωνα με τους αριθμούς μητρώου μας τροποποιώντας το κατάλληλο αρχείο. Η αρχική γωνία του ρομπότ θα είναι ίση με

$$\text{angle} = \text{mod}(9 + 9, \pi) = 2.29203673205 \text{ rad}$$

Η διάταξη του ρομπότ λίγο μετά την αρχικοποίησή του, είναι η παρακάτω :



Επιπλέον, είναι  $9+9=18$ , δηλαδή ζυγός αριθμός οπότε το ρομπότ θα ακολουθήσει ωρολογιακή φορά κίνησης. Συνεπώς, κάθε στιγμή η αριστερή πλευρά του ρομπότ θα είναι η εγγύτερη στα εμπόδια (στους τοίχους) και ως εκ τούτου μας ενδιαφέρουν οι ενδείξεις των αισθητήρων Left, Front Left και Front Sonars.

Σκοπός μας είναι η διατήρηση σταθερής απόστασης της θέσης του αριστερού sonar από τους τοίχους και ίσης με  $\text{left\_desired} = 0.3 \text{ m}$  (ισοδύναμα  $0.3 - 0.05 = 0.25 \text{ m}$  της αριστερής ρόδας από τον τοίχο).

Η κίνηση του ρομπότ χωρίζεται σε τρία στάδια.

- **Initial Mode**

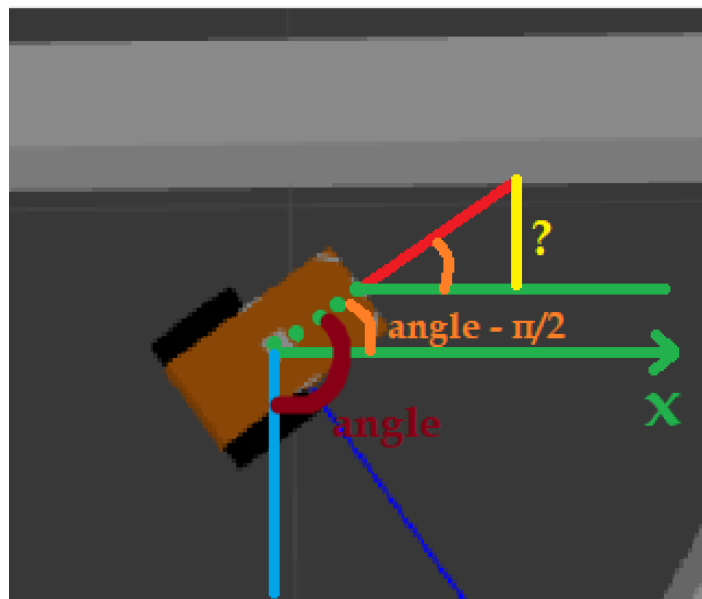
Σε αυτό τον τρόπο λειτουργίας, το ρομπότ από την θέση αρχικοποίησής του κινείται ευθύγραμμα προς τον πρώτο τοίχο που θα δει μπροστά του με γραμμική ταχύτητα  $0.5 \text{ m/sec}$  και μηδενική γωνιακή ταχύτητα. Ο συγκεκριμένος τρόπος λειτουργία σταματάει όταν το ρομπότ φθάσει κοντά στον μπροστινό του τοίχο. Συγκεκριμένα, όταν η απόσταση

$$\text{sonarFront} \cdot \sin(0.721240405)$$

γίνει μικρότερη του  $\text{left\_desired}=0.3$ .

Η απόσταση αυτή ισοδυναμεί με την κάθετη απόσταση του μπροστινού sonar από τον μπροστινό στο ρομπότ τοίχο ο οποίος είναι παράλληλος στον άξονα x. Έτσι υπολογίζεται πως αυτή η κάθετη απόσταση ισούται με

$$\text{sonarFront} \cdot \sin\left(\text{angle} - \frac{\pi}{2}\right) = \text{sonarFront} \cdot \sin(0.721240405)$$

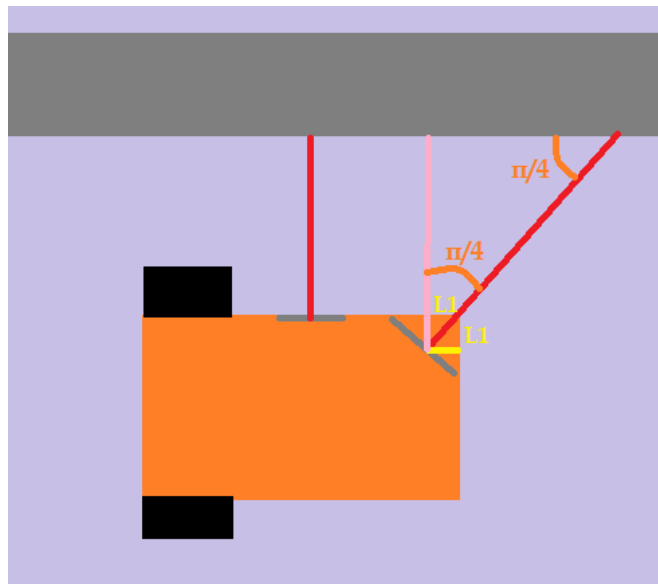


- **Rotation Mode**

Σε αυτό τον τρόπο λειτουργίας, το ρομπότ περιστρέφεται μέχρις ότου ευθυγραμμιστεί με τον διπλανό του τοίχο. Το ρομπότ ευθυγραμμίζεται όταν η ένδειξη του αριστερού sonar με την κάθετη στον τοίχο προβολή της ένδειξης το front left sonar γίνουν ίσες. Αυτό, στην αρχική περίπτωση της παραπάνω εικόνας, μεταφράζεται στην συνθήκη :

$$\text{sonarLeft} + 0.018 = \text{sonarFrontLleft} * \text{np.sin}\left(\frac{\pi}{4}\right)$$

όπου 0.018 το  $L_1$ .



Κατά τη διάρκεια της περιστροφής, το ρομπότ κινείται με γραμμική ταχύτητα 0.05 m/sec και γωνιακή ταχύτητα  $\pi$  rad/sec. Ο συγκεκριμένος τρόπος λειτουργίας ενεργοποιείται σε κάθε περίπτωση που βρίσκουμε έναν τοίχο μπροστά μας και χρειάζεται να περιστραφούμε.

- **Main Motion Mode**

Σε αυτό τον τρόπο λειτουργίας, το ρομπότ προσπαθεί να μείνει ευθυγραμμισμένο και παράλληλο στον τοίχο με σταθερή απόσταση του αριστερού sonar. Αυτό θα γίνει με χρήση ενός PD ελεγκτή για την γωνιακή ταχύτητα του ρομπότ. Συγκεκριμένα, η γραμμική ταχύτητα του ρομπότ μένει σταθερή και ίση με 0.4 m/sec ενώ η γωνιακή ταχύτητα δίνεται από τον ελεγκτή ως :

$$\omega = K_p(\text{error}) + K_d(\dot{\text{error}})$$

όπου ως *error* χρησιμοποιούμε το άθροισμα του σφάλματος ένδειξης του left sonar σε σχέση με τη επιθυμητή απόσταση και του σφάλματος ευθυγράμμισης.

Το σφάλμα ένδειξης του left sonar ισούται με

$$left\_desired - sonarLeft = 0.3 - sonarLeft$$

ενώ το σφάλμα ευθυγράμμισης ορίζεται με βάση τα παραπάνω ως η απόκλιση της ένδειξης του αριστερού sonar από την προβεβλημένη στον τοίχο ένδειξη του front left sonar, δηλαδή η ποσότητα :

$$(sonarLeft + 0.018) - sonarFrontLleft * np.\sin\left(\frac{\pi}{4}\right)$$

Οπότε,

$$error = [0.3 - sonarLeft] + \left[(sonarLeft + 0.018) - sonarFrontLleft * np.\sin\left(\frac{\pi}{4}\right)\right]$$

και (*error*) η τοπική χρονική παράγωγός του.

Επιλέγουμε  $K_p = 15.0$  και  $K_d = 5.0$  μετά από πειραματικές δοκιμές.

Ο τρόπος λειτουργίας αυτός τερματίζει όταν βρεθούμε μπροστά σε άλλο τοίχο οπότε και πρέπει να μεταβούμε σε Rotation Mode και πάλι.

Συγκεκριμένα, μια απλή συνθήκη θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε μόνο την ένδειξη του front sonar. Δηλαδή να μεταβούμε σε Rotation Mode όταν

$$sonarFront < 0.39$$

όπου το 0.39 προέκυψε πειραματικά.

Ωστόσο, μόνο αυτό δημιουργούσε κάποιες αστάθειες στις οξείες γωνίες των «πάνω» τοίχων. Παρατηρούμε ότι όταν το ρομπότ πλησιάζει αυτούς τους τοίχους, το sonarRight επίσης μπορεί να βοηθήσει καθώς και αυτό βρίσκεται κοντά στους τοίχους. Έτσι χρησιμοποιούμε για την μετάβαση στο Rotation Mode την συνολική συνθήκη :

$$sonarFront < 0.39 \text{ or } sonarRight < 0.44$$

η οποία εξομαλύνει την περιστροφή στις οξείες γωνίες χωρίς να επηρεάζει την περιστροφή στις άλλες δύο αμβλείες γωνίες των «κάτω» εμποδίων/τοίχων.

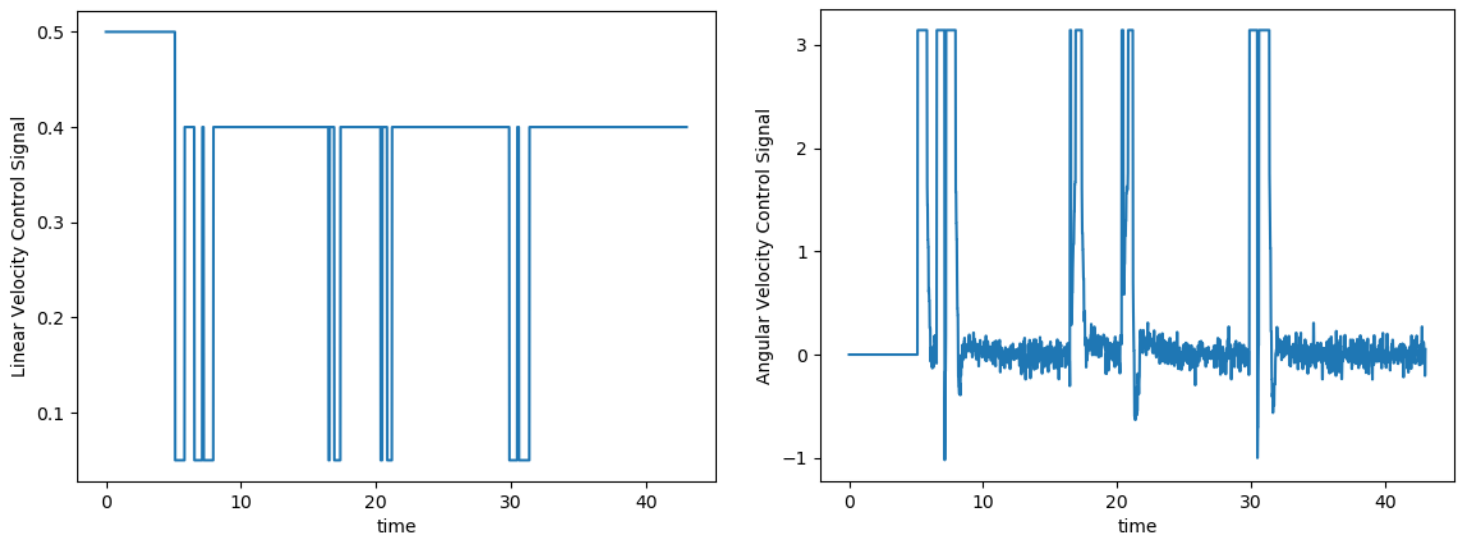
## Β. Προσομοίωση

Κατόπιν της παραπάνω θεωρητικής ανάλυσης προχωράμε στην υλοποίηση και στην επεξήγηση και ανάλυση των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου μας μέσω διάφορων διαγραμμάτων. Ο κώδικας, που επισυνάπτεται στο συνολικό υποβληθέν αρχείο, εκτελεί την απαιτούμενη ρομποτική εργασία με επιτυχία χωρίς να συγκρούεται με τα εμπόδια και διατηρώντας σταθερή απόσταση καθώς κινείται παράλληλα σε αυτά. Τα σχόλια στον κώδικα επεξηγούν και κάποια λεπτότερα τεχνικά ζητήματα της υλοποίησης τα οποία όμως δεν αποτελούν τη βάση του αλγορίθμου μας.

### Διαγράμματα - Σχολιασμός

Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε και σχολιάζουμε συνοπτικά μερικά διαγράμματα που δείχνουν την ορθότητα λειτουργίας του αλγορίθμου μας. Τα παρακάτω διαγράμματα αφορούν μια πλήρη περιστροφή του κινούμενου ρομποτικού οχήματος.

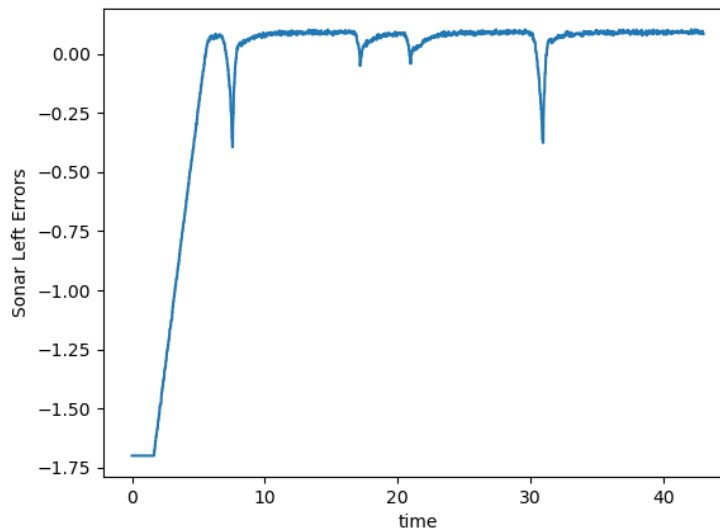
#### 1. Γραμμική και Γωνιακή Ταχύτητα της Ρομποτικής Πλατφόρμας



Φαίνεται πως τα επιθυμητά σήματα ελέγχου για την γραμμική και γωνιακή ταχύτητα του ρομπότ δίνονται όπως περιεγράφηκαν στην θεωρητική ανάλυση. Η γραμμική ταχύτητα ξεκινά με 0.5 m/sec στο Initial Mode, ταλαντώνεται μεταξύ των δύο modes (Rotation και Main Motion Modes) κάθε φορά που βρίσκεται σε στροφή με ταχύτητες 0.05 και 0.4 m/sec και σταθεροποιείται στα 0.4 m/sec στο Main Motion Mode. Η γωνιακή ταχύτητα είναι μηδενική στο Initial Mode, ταλαντώνεται ελαφρώς μεταξύ του  $\pi$  και του (σχεδόν) μηδέν (που

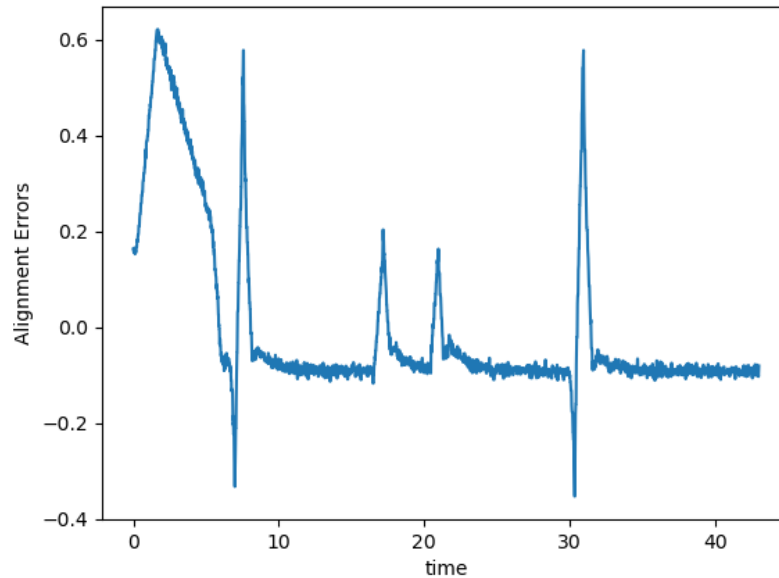
επιτυγχάνει ο ελεγκτής) κάθε φορά που βρίσκεται σε στροφή και σταθεροποιείται σχεδόν στο μηδέν χάρη στην δράση του ελεγκτή κατά τη διάρκεια του Main Motion Mode.

## 2. Σφάλμα Ένδειξης Αριστερού Sonar (i.e. 0.3 – *sonarLeft*)



Προφανώς οι αρχικές ενδείξεις κατά τη διάρκεια του Initial Mode δεν είναι ενδεικτικές καθώς προφανώς το αριστερό sonar βρίσκεται ακόμα μακριά από τα εμπόδια. Κατά τα λοιπά, κατά την διάρκεια των Main Motions επιτυγχάνεται σχεδόν μηδενικό σφάλμα, οπότε το ρομπότ βρίσκεται πολύ κοντά στην επιθυμητή του θέση παράλληλα στους τοίχους. Αυτή η απόσταση ελαφρώς μεγαλώνει στις στροφές όπου λόγω της ιδιαίτερης γεωμετρίας τους το αριστερό μέρος του ρομπότ απομακρύνεται ελαφρώς από τους τοίχους για να εκτελεστεί ομαλά η στροφή. Εντονότερη απόκλιση συναντάται στις οξείες γωνίες των οποίων η γεωμετρία είναι πιο απότομη.

### 3. Σφάλμα Ευθυγράμμισης (i.e. $(sonarLeft + 0.018) - sonarFrontLleft * np.\sin\left(\frac{\pi}{4}\right)$ )



Προφανώς οι αρχικές ενδείξεις κατά τη διάρκεια του Initial Mode δεν είναι ενδεικτικές καθώς προφανώς το ρομπότ βρίσκεται μακριά από τα εμπόδια και δεν κινείται ακόμη παράλληλα ως προς αυτά. Κατά τα λοιπά, κατά την διάρκεια των Main Motions επιτυγχάνεται σχεδόν μηδενικό σφάλμα, οπότε το ρομπότ βρίσκεται το ρομπότ εκτελεί όσο το δυνατόν περισσότερο παράλληλη κίνηση στους τοίχους. Η ευθυγράμμιση προφανώς δεν έχει νόημα κατά τη διάρκεια των στροφών οπότε και το σφάλμα ευθυγράμμισης αυξάνεται λόγω της απότομης και μη ομαλής γεωμετρίας που υπεισέρχεται στην διαδικασία των τεσσάρων στροφών.

### 4. Στιγμιότυπα Κίνησης από το Gazebo

Τέλος, παρουσιάζουμε μερικά στιγμιότυπα κίνησης του ρομπότ όπου φαίνεται η σωστή αποφυγή εμποδίων, η παράλληλη κίνηση και η στροφή του ρομπότ όπως περιεγράφηκαν παραπάνω.



