

SmartTupBot: A Tupper Mobile Robot with Manual Control, Obstacle Avoidance, and Wall Following Capabilities

Μαριάνθη Θώδη

Νοέμβριος 2023

Περιεχόμενα

1	Abstract	3
2	Εισαγωγή	3
3	Κεφάλαιο 1 : Τεχνολογική Υλοποίηση	3
3.1	Εισαγωγή στο Arduino	4
3.1.1	Arduino Uno Rev3	4
3.1.2	Arduino IDE	4
3.2	Ultrasonic Sensor HC-SR04	6
3.2.1	Γενικά	6
3.2.2	Τρόπος Λειτουργίας	6
3.3	Motor Driver L293D	7
3.3.1	Γενικά για το IC	7
3.3.2	Αρχή λειτουργίας του IC	9
3.4	HC-05 Bluetooth Module	9

4	Κεφάλαιο 2 : Μηχανική Κατασκευή	10
4.1	Μηχανολογικά Στοιχεία	12
4.1.1	Servo Motor	12
4.1.2	DC Geared Motors	12
5	Κεφαλαίο 3 : Αρχιτεκτονική Υλικού	13
6	Κεφάλαιο 4 : Αρχιτεκτονική Λογισμικού	14
6.1	Avoid Obstacles	14
6.2	Wall Following	15
6.2.1	Αναγνώριση πλησιέστερου τοίχου	15
6.2.2	Διαδικασία παρακολούθησης τοίχου	16
6.2.3	Αποφυγή Εμποδίων	17
6.3	Επικοινωνία με User Interface:	18
7	Κεφάλαιο 5 : Σχεδιασμός Συστήματος	19
7.1	User Interface and Bluetooth Communication	20
7.2	Robot Car	20
7.2.1	Κεντρικό Υποσύστημα Ελέγχου και Επεξεργασίας Δεδομένων	21
7.2.2	Τροφοδοσία και Ελέγχος Κινήσεων	22
8	Πειραματικές μετρήσεις και διαδικασίες ελέγχου ορθής λειτουργίας	23
8.1	HC-SR04 Calibration	23
8.2	Robot Adjusts Turning Based On Max Distance	24
8.3	Sensor Testing For Avoid Obstacles (stop robot)	25
8.4	Sensor Testing For Wall following	26
9	Βελτιστοποιήσεις	26
10	Επεκτάσεις	27
11	Βιβλιογραφία	27

1 Abstract

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται ο έλεγχος ενός ρομποτικού αυτοκινήτου με χρήση arduino , στοιχείου bluetooth και δύο αισθητήρων. Ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδρά με το ρομπότ, χρησιμοποιώντας μία εφαρμογή, ενεργοποιώντας, απενεργοποιώντας και επιλέγοντας λειτουργίες με το πάτημα κουμπιών. Οι διαθέσιμες λειτουργίες περιλαμβάνουν την κίνηση προς τα εμπρός, προς τα πίσω, αριστερά και δεξιά. Επιπλέον, παρέχεται η λειτουργία "Avoid Obstacles, Wall Follow" όπου το ρομπότ αποφεύγει αυτόνομα εμπόδια κατά την κίνησή του και μπορεί επίσης να ακολουθεί τοίχους αποφεύγοντας ταυτόχρονα εμπόδια. Η εργασία συνδυάζει την απλότητα χρήσης με την αυτονομία του ρομπότ.

2 Εισαγωγή

Η ρομποτική αναπτύσσεται με εντυπωσιακούς ρυθμούς, καθιστώντας τη μια από τις πιο ενδιαφέρουσες πτυχές της τεχνολογίας στη σύγχρονη επικοινωνία. Η λύση που προτείνω συνδυάζει ένα γενικό σύστημα, προσφέροντας ευελιξία στο χρήστη. Αυτός μπορεί να αλληλεπιδρά απομακρυσμένα, είτε με χειροκίνητο έλεγχο του ρομπότ, είτε ενεργοποιώντας τη λειτουργία αποφυγής εμποδίων. Οι αισθητήρες απόστασης δίνουν τη δυνατότητα στο ρομπότ να προσαρμόζει δυναμικά τη διαδρομή του, ακολουθώντας πάντα τη μέγιστη μέτρηση απόστασης. Αυτή η λειτουργία επιτρέπει στο ρομπότ να παραμένει σε ασφαλή απόσταση από τα εμπόδια καθώς πλοηγείται στο περιβάλλον του. Αυτή η συνδυαστική προσέγγιση παρέχει εξατομικευμένη χρήση, εξυπηρετώντας διάφορες ανάγκες του χρήστη.

3 Κεφάλαιο 1 : Τεχνολογική Υλοποίηση

Παρακάτω παραθέτονται τα στοιχεία που χρησιμοποιήσα όπως και λίγες λεπτομέρειες για το καθένα.

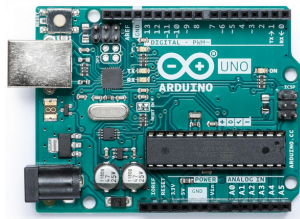
3.1 Εισαγωγή στο Arduino

Το Arduino αποτελεί μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα για τον σχεδιασμό και τον έλεγχο ηλεκτρονικών projects . Δύο από τα κύρια πλεονεκτήματά της είναι το χαμηλό κόστος, καθώς μια πλακέτα ανάπτυξης μπορεί να κοστίζει μόλις 10 ευρώ, καθώς και το περιβάλλον ανάπτυξης του Arduino . Το περιβάλλον ανάπτυξης είναι γραμμένο σε Java , προσφέροντας μεταφερσιμότητα σε περισσότερα λειτουργικά συστήματα. Επιπλέον, παρέχει μεταγλωττιστή για γλώσσες προγραμματισμού C και C++ , καθώς επίσης διαθέτει τερματικό για σειριακή επικοινωνία μεταξύ υπολογιστή και πλακέτας.

3.1.1 Arduino Uno Rev3

Είναι προγραμματιζόμενη πλακέτα με κεντρικό στοιχείο τον μικροελεγκτή ATmega328P ο οποίος λειτουργεί ως τον κεντρικό "εγκέφαλο" του συστήματος όπου ελέγχει 14 ψηφιακούς ακροδέκτες, εκ των οποίων 6 υποστηρίζουν έξοδο PWM , καθώς και τους 6 αναλογικούς .Ακόμη περιλαμβάνει ένα κουμπί reset για επαναφορά του προγράμματος, υποδοχή για εξωτερική τροφοδοσία, και USB θύρα για μεταφορά κώδικα και τροφοδοσία. Η flash μνήμη 32KB αποθηκεύει τον κώδικα, η RAM 2KB χρησιμοποιείται κατά την εκτέλεση, ενώ η μνήμη EEPROM 1KB διατηρεί δεδομένα ακόμη και μετά την απενεργοποίηση.Επιπλέον λειτουργεί με εξωτερική παροχή ρεύματος στο εύρος τάσης από 6 έως 20 Volt . Τέλος οι πλακέτες Arduino λειτουργούν ως μικροελεγκτές, εκτελώντας προγράμματα C/C++ που αποθηκεύονται στο υλικό τους, χωρίς να διαθέτουν δικό τους λειτουργικό σύστημα όπως το Raspberry Pi .

Σχήμα 1: Μικροπλακέτα Arduino



3.1.2 Arduino IDE

3.2 Ultrasonic Sensor HC-SR04

3.2.1 Γενικά

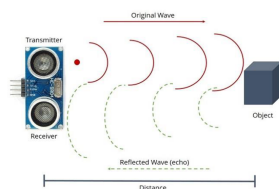
Ο ultrasonic sensor SR04 είναι ένας αισθητήρας φθηνός και εύχρηστος, που χρησιμοποιεί υπερήχους για τη μέτρηση αποστάσεων. Αποτελείται από δύο μετατροπείς υπερήχων, έναν πομπό και ένα δέκτη. Ο πομπός παράγει υπερηχητικούς παλμούς, ενώ ο δέκτης ανιχνεύει τους παλμούς που επιστρέφουν από τα αντικείμενα. Με μέτρηση του χρόνου που χρειάζεται για την επιστροφή των παλμών, ο αισθητήρας υπολογίζει την απόσταση ανάμεσα σε αυτόν και στο αντικείμενο. Με εύρος ανίχνευσης από 2cm έως 4m και ακρίβεια 3mm.

3.2.2 Τρόπος Λειτουργίας

Ο τρόπος λειτουργίας του αισθητήρα βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για την επιστροφή των υπερηχητικών παλμών. Η εξίσωση στο Σχήμα 5 χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης, όπου ο χρόνος πολλαπλασιάζεται με την ταχύτητα και διαιρείται με το 2, καθώς ο χρόνος που απαιτείται είναι για το ηχητικό κύμα να φτάσει στο εμπόδιο και να επιστρέψει πίσω. Ο τρόπος λειτουργίας του αισθητήρα φαίνεται στο σχήμα 6.

$$\text{Σχήμα 5: Απόσταση} = \text{Ταχύτητα} * (\text{Χρόνος}/2)$$

Σχήμα 6: Τρόπος Λειτουργίας αισθητήρα



3.3 Motor Driver L293D

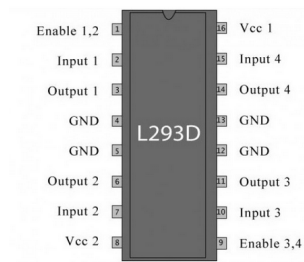
3.3.1 Γενικά για το IC

Ένας motor driver , όπως το L293D , είναι σαν ένας ενισχυτής που παίρνει ένα χαμηλό σήμα ελέγχου από έναν μικροελεγκτή και δημιουργεί ένα υψηλό σήμα ρεύματος που μπορεί να κινήσει έναν κινητήρα DC . Σε γενικές γραμμές, ο L293D είναι ένας motor driver που χρησιμοποιεί δύο half H-bridges , ένα για κάθε κινητήρα. Κάθε πλήρη H-bridge επιτρέπει τον έλεγχο της κατεύθυνσης και της ταχύτητας ενός κινητήρα. Οπότε, με δύο πλήρεις H-bridges , ελέγχω δύο κινητήρες ανεξάρτητα, καθέναν προς τη δική του κατεύθυνση και ταχύτητα.

- pin 1 (enable1,2) : Όταν αυτός ο ακροδέκτης είναι HIGH ή 1, το αριστερό τμήμα του IC ενεργοποιείται. Όταν είναι LOW ή 0, απενεργοποιείται.
- pin (input 1): Όταν είναι HIGH ή 1, η output 1 γίνεται HIGH , επιτρέποντας το ρεύμα να ρέει στον motor 1.
- pin 3 (output 1): Συνδέεται με ένα από τα terminals του motor 1.
- pin 4, 5 (GND): Συνδέονται στο gnd.
- pin 6 (output 2): Συνδέεται με ένα από τα terminals του motor 1.
- pin 7 (input 2): Όταν είναι HIGH ή 1, η output 2 γίνεται HIGH, επιτρέποντας το ρεύμα να ρέει στον motor 1.

- pin 8 (vcc2): Απαιτείται τάση τροφοδοσίας για τον motor 2. Προτείνεται να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την τάση τροφοδοσίας του IC.
- pin 9 (enable3,4): Όταν είναι HIGH ή 1, το δεξί τμήμα του IC ενεργοποιείται. Όταν είναι LOW ή 0, απενεργοποιείται.
- pin 10 (input 3): Όταν είναι σε HIGH ή 1, η output 3 γίνεται HIGH, επιτρέποντας το ρεύμα να ρέει στον motor 2.
- pin 11 (output 3): Συνδέεται με ένα από τα τερματικά του motor 2.
- pin 12, 13 (GND): Συνδέονται στο γνδ.
- pin 14 (output 4): Συνδέεται με ένα από τα τερματικά του motor 2.
- pin 15 (input 4): Όταν είναι σε HIGH ή 1, η output 4 γίνεται HIGH, επιτρέποντας το ρεύμα να ρέει στον motor 2.
- pin 16 (vcc1): Παρέχει τροφοδοσία στο IC. Πρέπει να τροφοδοτείται με 5V.

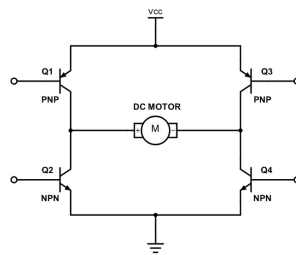
Σχήμα 7: Διάγραμμα L293D



3.3.2 Αρχή λειτουργίας του IC

. Η H-bridge είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που επιτρέπει την εφαρμογή τάσης σε ένα φορτίο προς οποιαδήποτε κατεύθυνση και αποτελείται από τέσσερις διακόπτες (ή τρανζίστορς) που δημιουργούν μία γέφυρα πάνω από τον κινητήρα. Κατά τη λειτουργία, όταν οι διακόπτες είναι κλειστοί σε συγκεκριμένη σειρά, το ρεύμα μπορεί να κυκλοφορήσει από τη μία πλευρά της γέφυρας προς την άλλη, καθορίζοντας την κατεύθυνση περιστροφής του κινητήρα. Η λειτουργία είναι (σχήμα 8), Q1 και Q4 κλειστοί διακόπτες: Προς τα εμπρός κίνηση, Q2 και Q3 κλειστοί διακόπτες: Αντίστροφη κατεύθυνση. Συνεπώς έχοντας χαμηλές απαιτήσεις ισχύος, βρήκα το L293D να είναι η ιδανική επιλογή καθώς και οικονομική.

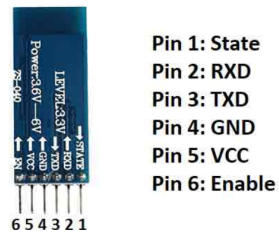
Σχήμα 8: Κύκλωμα H-Bridge



3.4 HC-05 Bluetooth Module

Το HC-05 Bluetooth module είναι οικονομικό και συμβατό με πολλές συσκευές και υποστηρίζει τις λειτουργίες master και slave. Χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο SPP για επικοινωνία με το arduino μέσω UART. Η ευκολία σύνδεσης και η αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων καθιστούν το HC-05 καλή επιλογή για ασύρματη επικοινωνία.

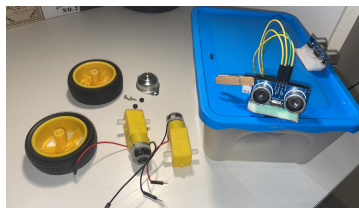
Σχήμα 9: HC-05



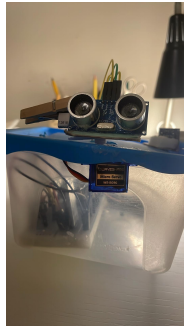
4 Κεφάλαιο 2 : Μηχανική Κατασκευή

Η κατασκευή του αυτοκινήτου παρουσιάζεται στο σχήμα 10. Γενικά, οι διαστάσεις των ρόδων και η απόσταση μεταξύ τους επηρεάζουν σημαντικά την ικανότητα έλεγχου του ρομπότ. Δύο κινητήρες ελέγχουν τους δύο τροχούς, επιτρέποντας την κίνηση προς τα εμπρός, προς τα πίσω, αριστερά και δεξιά, παρέχοντας έτσι δύο βαθμούς ελευθερίας. Μία ρόδα "castel wheel" χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της σταθερότητας του οχήματος. Στην περίπτωση ενός κινητού ρομπότ με δύο τροχούς (differential drive), η θέση καθορίζεται από τρεις συντεταγμένες σε ένα επίπεδο (x, y, θ) , ενώ οι ταχύτητες του ρομπότ μπορούν να περιγραφούν όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 12.

Σχήμα 10: Κατασκευή βάσης αμαξιδίου

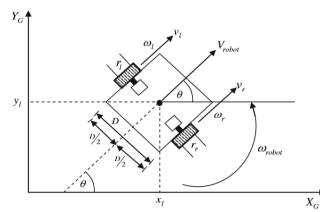


Σχήμα 11: Μηχανική διεπαφή servo με αισθητήρα



Σχήμα 12:

1. $V_{robot} = v_r + v_l/2$ $W_{robot} = v_r - v_l/D$
2. $v_i = r * w_i \rightarrow$ γραμμική ταχύτητα
3. $w_i \rightarrow$ γωνιακή ταχύτητα
4. $D \rightarrow$ απόσταση μεταξύ των τροχών
5. $r \rightarrow$ ακτίνα των ροδών



4.1 Μηχαναλογικά Στοιχεία

- Ταπερ: 14cm×10cm
- Ρόδες: Διάμετρος: 65 mm Πλάτος : 28 mm
- Castel Wheel 15mm
- Servo Motor

4.1.1 Servo Motor

Ο σερβοκινητήρας είναι ένας τύπος κινητήρα που έχει ενσωματωμένο σύστημα που του επιτρέπει να κινείται με ακρίβεια σε μια συγκεκριμένη γωνία ή θέση. Αποτελείται από έναν μικρό κινητήρα, ένα σετ γραναζιών και ένα κύκλωμα ελέγχου. Το κύκλωμα ελέγχου λαμβάνει σήματα, συχνά με τη μορφή ηλεκτρικών παλμών, και προσαρμόζει ανάλογα τη θέση του κινητήρα. Τέλος η λειτουργία του servo motor στο ρομπότ, είναι να στηρίζει τον αισθητήρα υπερήχων για τη δημιουργία ενός ραντάρ. Ελέγχει τη γωνία περιστροφής του αισθητήρα, επιτρέποντας τον σάρωση του περιβάλλοντος. Επέλεξα το micro servo SG90 επειδή ήταν οικονομικό, ελαφρύ και μικρό σε διαστάσεις.

Σχήμα 13: Servo Motor



4.1.2 DC Geared Motors

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος, όπως ο κινητήρας DC Geared TT, λειτουργούν χρησιμοποιώντας την αλληλεπίδραση μαγνητικών πεδίων. Όταν ένα ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσω του πηνίου στον οπλισμό του κινητήρα, δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο που αλληλεπιδρά με το σταθερό μαγνητικό πεδίο που παρέχει ο stator. Αυτή η αλληλεπίδραση δημιουργεί μια δύναμη, προκαλώντας την περιστροφή του κινητήρα. Ο

κινητήρας TT περιλαμβάνει κιβώτιο ταχυτήτων, που περιέχει γρανάζια που ελέγχουν την ταχύτητα και τη ροπή. Η επιλογή των TT motors .Τέλος η επιλογή αυτών έγινε διότι έχουμε χαμηλές απαιτήσεις ισχύος και είναι οικονομική.

Σχήμα 14: DC Motors and Wheels

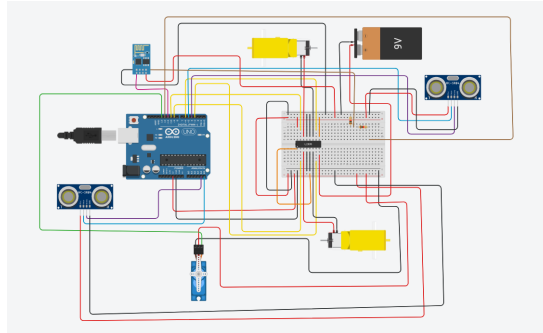


5 Κεφαλαίο 3 : Αρχιτεκτονική Υλικού

Η αρχιτεκτονική υλικού περιλαμβάνει τον μικροελεγκτή ATmega328, ως τον κεντρικό "εγκέφαλο" του arduino uno. Προστίθεται ένας motor driver L293D για τον έλεγχο των κινητήρων. Η μονάδα εισόδου περιλαμβάνει αισθητήρες και ένα Bluetooth module, ενώ η μονάδα εξόδου αφορά την κίνηση των κινητήρων. Οι αισθητήρες απόστασης συνδέονται σε ψηφιακά pins, χρησιμοποιώντας δεδομένα για τον έλεγχο των κινητήρων. Η προσθήκη ενός δεύτερου αισθητήρα απόστασης στο ρομπότ εξυπηρετεί τη διατήρηση συγκεκριμένης απόστασης από τον τοίχο και βοηθάει στην ανίχνευση εμποδίων. Η τακτική περιστροφής του μπροστινού αισθητήρα αντικαθίσταται από τον δεύτερο αισθητήρα στα αριστερά, προσφέροντας ταχύτερους χρόνους απόκρισης. Ο servo motor συνδέεται σε ένα PWM pin για τον προσδιορισμό της θέσης του. Το Bluetooth module συνδέεται για σειριακή επικοινωνία, με το TX του Bluetooth συνδεδεμένο στο RX του arduino και το RX του Bluetooth στο TX του arduino. Επίσης να αναφερθεί μία σχεδιαστική λεπτομερεία για το ότι στο RX pin του bluetooth module χρησιμοποιείται ένας διαιρέτης τάσης ($R1=1K$, $R2=2K$) για την προσαρμογή των επιπέδων λογικής λόγω του προτύπου TTL

που λειτουργεί σε τάση 3.3V.

Σχήμα 15: Σχηματική απεικόνιση της αρχιτεκτονικής υλικού με χρήση Tinkercad



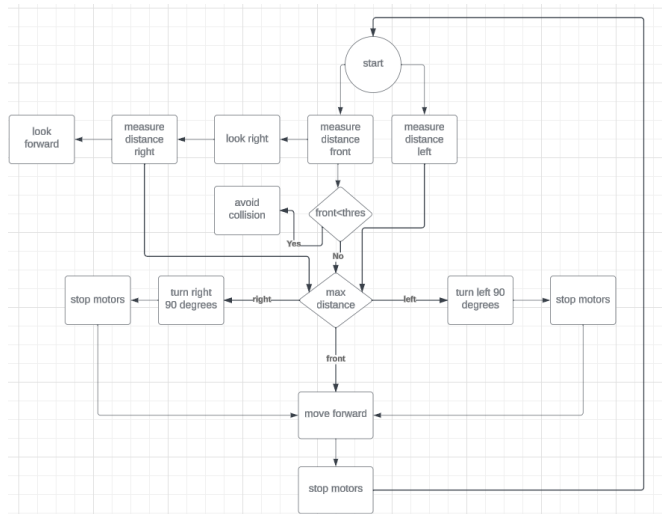
6 Κεφάλαιο 4 : Αρχιτεκτονική Λογισμικού

Η υλοποίηση του λογισμικού αναλαμβάνει να μεταφράζει τις εντολές που δίνει ο χρήστης μέσα από την εφαρμογή, σε κίνηση του ρομπότ αναλόγως το mode που θα επιλέξει. Παραδοχή ότι ο χρήστης έχει την δυνατότητα για αλλαγή του mode του ρομπότ οποιαδήποτε στιγμή. Το το λογισμικό αποτελείται από 3 τμήματα, τα οποία είναι:

6.1 Avoid Obstacles

Η διαδικασία ξεκινά με τη μέτρηση αποστάσεων προς τρεις κατευθύνσεις με χρήση αισθητήρα υπερήχων. Η findMaxDistance αναλαμβάνει να προσδιορίσει την κατεύθυνση με τη μέγιστη απόσταση, επιτρέποντας στο ρομποτικό σύστημα να επιλέξει το μονοπάτι με τον μεγαλύτερο διαθέσιμο χώρο. Η συνεχής υπολογιστική διαδικασία διασφαλίζει την αποφυγή εμποδίων και την αποφυγή συγκρούσεων, ενώ το ρομπότ διατηρεί συνεχή κίνηση προς την κατεύθυνση που προσφέρει τη μέγιστη ασφάλεια.

Σχήμα 16: Διάγραμμα Ροής μέσω Lucidchart

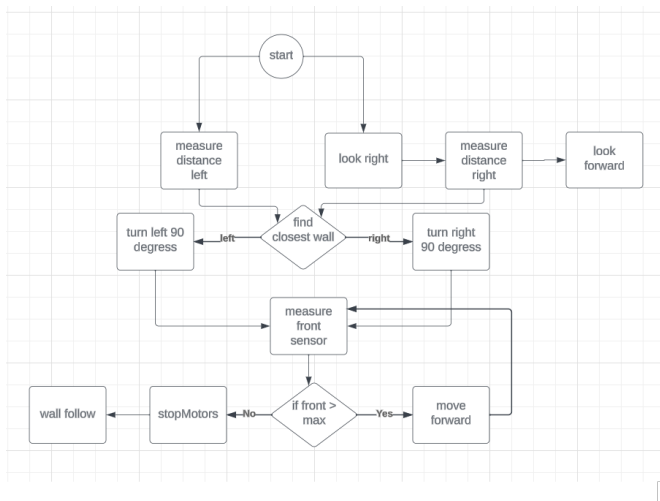


6.2 Wall Following

6.2.1 Αναγνώριση πλησιέστερου τοίχου

Αρχικά, το ρομπότ εκτελεί αναγνώριση του πλησιέστερου τοίχου, είτε αριστερά είτε δεξιά, και προχωρά στη στροφή προς την κατεύθυνση που η απόστασή του από τον τοίχο είναι μικρότερη. Έπειτα, το ρομπότ κινείται προς τα εμπρός μέχρι να φτάσει στην επιθυμητή απόσταση από τον τοίχο. Στη συνέχεια, ανάλογα με το αν ακολουθεί δεξιό ή αριστερό τοίχο, το ρομπότ προσανατολίζεται για να ξεκινήσει τη διαδικασία wall follow .

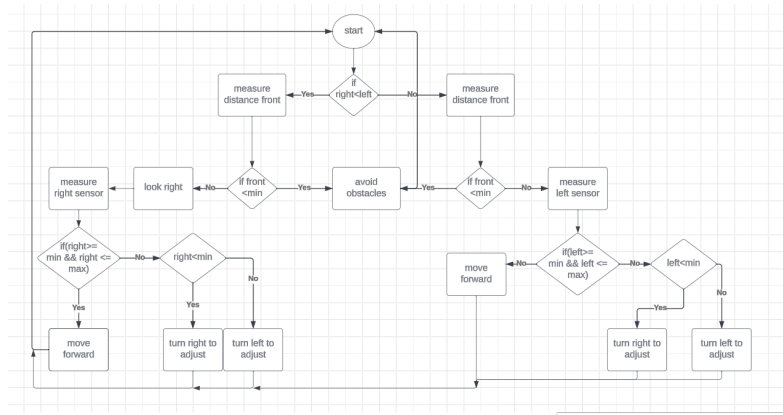
Σχήμα 17: Αναγνώριση πλησιέστερου τοίχου ,διάγραμμα μέσω Lucidchart



6.2.2 Διαδικασία παρακολούθησης τοίχου

Κατά την εκτέλεση του wall follow , το ρομπότ αντιδρά σε δύο πιθανές καταστάσεις: είτε εντοπίζει ένα εμπόδιο μπροστά του, είτε παρατηρεί μείωση ή αύξηση της απόστασης από τον τοίχο. Σε περίπτωση ανίχνευσης εμποδίου ή γωνίας σε συγκεκριμένη απόσταση, το ρομπότ αντιδρά στρίβοντας δεξιά ή αριστερά (ανάλογα με το wall follow που πραγματοποιεί) για να το αποφύγει (στην περίπτωση εμποδίου) ή να συνεχίσει το wall follow (στην περίπτωση γωνίας). Σε περίπτωση που δεν υπάρχει εμπόδιο, το ρομπότ συνεχίζει προς τα εμπρός. Επιπλέον, εάν η απόσταση από τον αριστερό τοίχο μειωθεί κάτω από ένα ορισμένο όριο, το ρομπότ αντιδρά στρίβοντας δεξιά, επιταχύνοντας τον αριστερό κινητήρα, μέχρι η απόσταση να επανέλθει σε μια μέγιστη αποδεκτή τιμή, και αντίστροφα. Η λογική αυτή επιτρέπει στο ρομπότ να προσαρμόζει δυναμικά την κίνησή του για αποφυγή εμποδίων και διατήρηση σταθερής απόστασης από τον τοίχο.

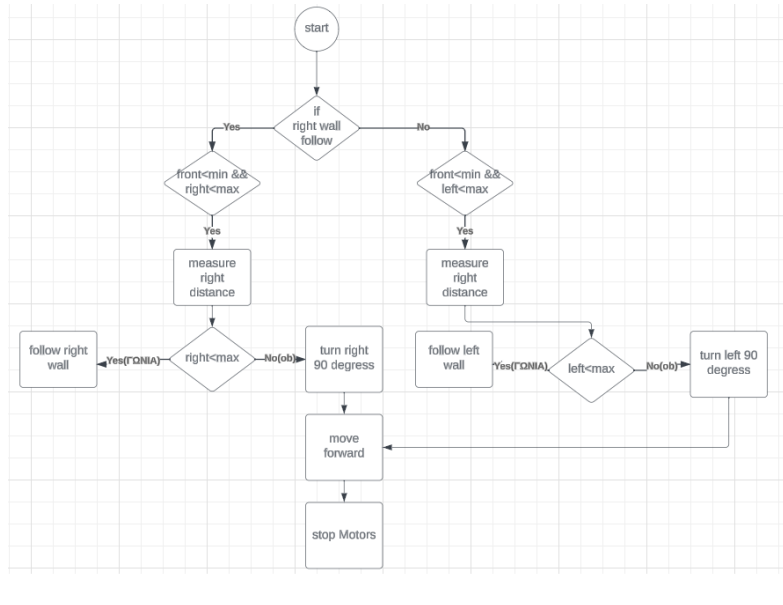
Σχήμα 18: Wall Follow right/left ,διάγραμμα μέσω Lucidchart



6.2.3 Αποφυγή Εμποδίων

Καταρχάς, ελέγχει αν υπάρχει εμπόδιο ή γωνία μπροστά του, λαμβάνοντας υπόψη τον τοίχο που ακολουθεί. Εάν το ρομπότ ακολουθεί τον δεξιό τοίχο και ανιχνεύσει εμπόδιο ή γωνία, προβαίνει σε αποφυγή, στρέφοντας αρχικά αριστερά, εκτελώντας τις αντίστοιχες ενέργειες για να αποφύγει (το εμπόδιο) ή να συνεχίσει την παρακολούθηση (γωνία). Σε περίπτωση που ακολουθεί τον αριστερό τοίχο, εφαρμόζει παρόμοια λογική για την αποφυγή. Η λογική αυτή επιτρέπει στο ρομπότ να αντιδρά δυναμικά σε εμπόδια και γωνίες, εξασφαλίζοντας τη συνεχή παροχή του σε ασφαλή κατεύθυνση κατά μήκος του τοίχου.

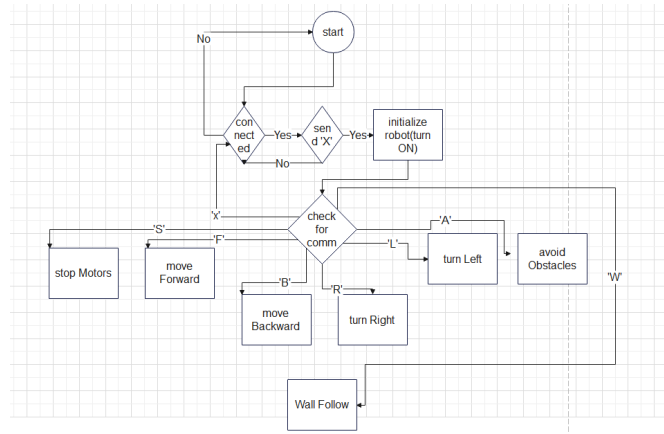
Σχήμα 19: Λογική αποφυγής εμποδίων ,διάγραμμα μέσω Lucidchart



6.3 Επικοινωνία με User Interface:

Ο ρομπότ αρχικοποιεί την επικοινωνία Bluetooth , εξασφαλίζοντας ότι το HC-05 έχει συνδεθεί με συσκευή προτού προχωρήσει. Μόλις συνδεθεί, το ρομπότ άκούει για εντολές από μία συζευγμένη συσκευή, και κατά την λήψη της εντολής 'X' και μόνον τότε ενεργοποιείται το ρομπότ και μπαίνει σε κατάσταση ON . Επίσης, η εντολή 'χ' χρησιμοποιείται για να απενεργοποιήσει το ρομπότ (κατάσταση OFF), ξεκινώντας μία διαδικασία εξόδου που σταματά τους κινητήρες και καλεί τον χρήστη να επανεκκινήσει το ρομπότ, στέλνοντας την εντολή 'X' όταν είναι έτοιμος. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στον χρήστη να ελέγχει απομακρυσμένα το ρομπότ μέσω εντολών Bluetooth .

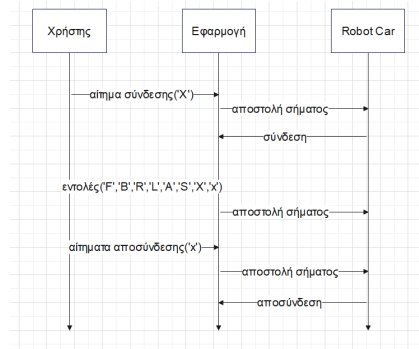
Σχήμα 20: Τρόπος Λειτουργίας διεπαφής και συστήματος ,διάγραμμα μέσω Lucidchart



7 Κεφάλαιο 5 : Σχεδιασμός Συστήματος

Το σύστημα μας διακρίνεται σε υποσυστήματα τα όποια συνεργάζονται μεταξύ τους για την ομαλή λειτουργία του συστήματός μας, που παρέχουν τις ακόλουθες λειτουργίες με απλή και εύχρηστη διεπαφή. Παρακάτω ακολουθεί μία μικρή ανάλυση το τι κάνει κάθε υποσύστημα και πως συνεισφέρει στο συνολικό σύστημα.

Σχήμα 21: Διαγράμματα ακολουθίας

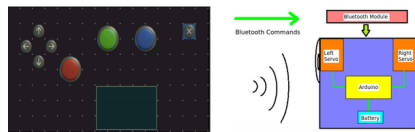


7.1 User Interface and Bluetooth Communication

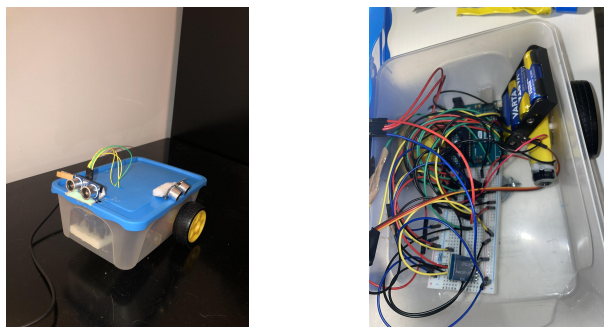
Αποτελείται από bluetooth module , user interface και είναι ο πυρήνας για τον έλεγχο του ρομπότ.Οι χρήστες μπορούν να εκτελούν ενέργειες ελέγχου του ρομπότ, όπως κίνηση προς τα εμπρός, προς τα πίσω, στροφή αριστερά, στροφή δεξιά,διακοπή,wall following/avoid obstacles mode ,ενεργοποίηση/απενεργοποίηση,μέσω των κουμπιών που παρέχονται στην εφαρμογή.

- Κόκκινο : Διακοπή Κινήτηρων
- Πράσινο : Mode Avoid Obstacles
- Μπλέ : Mode Wall Following
- X : ON,OFF
- Τα βελάκια : προχώρα μπροστά/πίσω, στρίψε δεξιά/αριστερά

Σχήμα 22: Τρόπος Λειτουργίας διεπαφής και HC-05



7.2 Robot Car

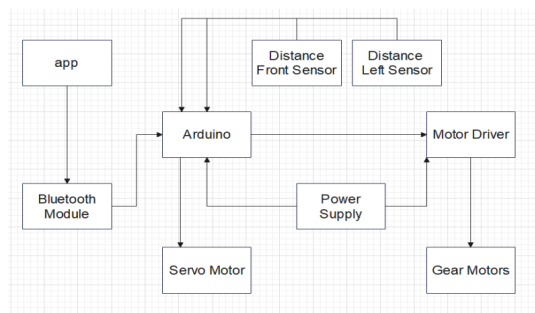


Σχήμα 23: Κύκλωμα συστήματος και αμαξίδιο

7.2.1 Κεντρικό Υποσύστημα Ελέγχου και Επεξεργασίας Δεδομένων

Το κεντρικό υποσύστημα ελέγχου και επεξεργασίας δεδομένων, γνωστό ως control and processing unit, αποτελεί τον "εγκέφαλο" του ρομπότ. Εδώ, οι εντολές μετατρέπονται σε κινήσεις μέσω του motor control, ενώ οι αισθητήρες (sensors) συλλέγουν δεδομένα για το περιβάλλον, επιτρέποντας την αποφυγή εμποδίων και την παρακολούθηση τοίχου. Το bluetooth communication εξασφαλίζει την ασύρματη επικοινωνία με τον χρήστη (app) μέσω του bluetooth module. Συνδυαζόμενα, αυτά τα υποσυστήματα συντονίζονται από τον microprocessor, παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου.

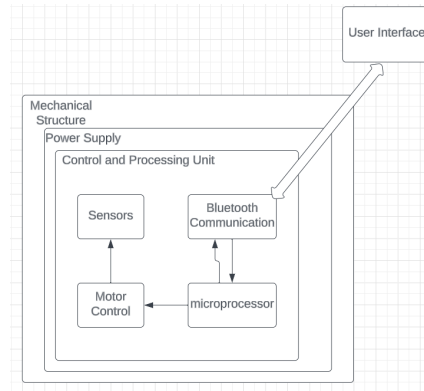
Σχήμα 24: Διάγραμμα συνιστωσών



7.2.2 Τροφοδοσία και Ελέγχος Κινητήρων

Για την ενέργεια, χρησιμοποιείται το power supply, το οποίο παρέχει επαρκή ισχύ για συνεχή λειτουργία. Το motor driver, τροφοδοτούμενο από 4xAA μπαταρίες, επιτυγχάνει μεγαλύτερη συνολική χωρητικότητα σε σύγκριση με μια 9V μπαταρία. Η θύρα USB του arduino παρέχει επιπλέον τάση 5V, τροφοδοτώντας όλα τα υποσυστήματα. Το υποσύστημα ελέγχου κινητήρων απαρτίζεται από δύο gear motors και έναν servo motor, προσφέροντας ακριβή έλεγχο της θέσης και την απαραίτητη κίνηση για τη λειτουργία του ρομπότ. Ο servo motor παρέχει ακριβή έλεγχο θέσης μέσω κλειστού βρόγχου συστήματος με θετικό σύστημα ανάδρασης, ενώ οι gear motors αποτελούνται από ηλεκτρικό κινητήρα και μεταδότη που περιλαμβάνει σειρά γραναζιών.

Σχήμα 25: Διάγραμμα Υποσυστημάτων με χρήση Lucidchart



Σχήμα 26: Τρόπος Λειτουργίας Gear Motor

ΔΡΑΣΗ	ΔΕΞΙΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ
ΕΜΠΡΟΣ	CLOCKWISE	ANTICLOCKWISE
ΠΙΣΩ	ANTICLOCKWISE	CLOCKWISE
ΔΕΞΙΑ ΣΤΡΟΦΗ	STOP	ANTICLOCKWISE
ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΣΤΡΟΦΗ	CLOCKWISE	STOP

Σχήμα 27: Τρόπος Λειτουργίας Servo Motor

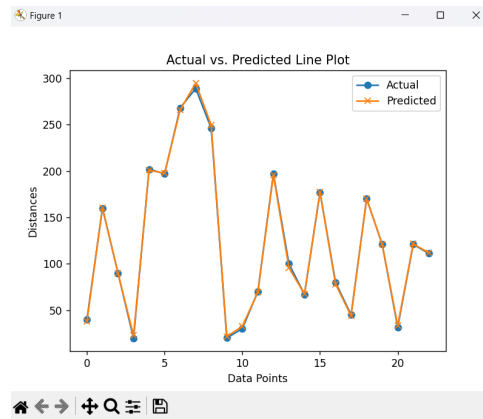
ΜΠΡΟΣΤΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ	SERVO MOTOR
ΑΡΙΣΤΕΡΑ	90 μοίρες anticlockwise και μετά επιστρέψτε στην αρχική θέση
ΔΕΞΙΑ	90 μοίρες clockwise και μετά επιστρέψτε στην αρχική θέση

8 Πειραματικές μετρήσεις και διαδικασίες ελέγχου ορθής λειτουργίας

8.1 HC-SR04 Calibration

Η βαθμονόμηση ενός αισθητήρα, όπως ο αισθητήρας απόστασης υπερήχων HC-SR04, περιλαμβάνει την προσαρμογή των μετρήσεων του για ευθυγράμμιση με τις πραγματικές αποστάσεις. Το μοντέλο Linear Regression επιλέγεται για calibration καθώς είναι ένας απλός τρόπος, να ελαχιστοποιείται το άθροισμα των τετραγωνικών διαφορών μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών. Εκπαιδεύοντας το μοντέλο, σε ένα σύνολο δεδομένων που περιέχει πραγματικές και καταγεγραμμένες τιμές, μαθαίνει τον παράγοντα κλίμακωσης και τη μετατόπιση που απαιτούνται για τη διόρθωση ανακρίβειων στις μετρήσεις του αισθητήρα. Αυτή η διαδικασία είναι ζωτικής σημασίας επειδή οι αισθητήρες μπορεί να εισάγουν συστηματικά σφάλματα, επηρεάζοντας την αξιοπιστία των μετρήσεων απόστασης. Η βαθμονόμηση(calibration) διασφαλίζει ότι οι μετρήσεις των αισθητήρων είναι πιο ακριβείς και συνεπείς, ενισχύοντας τη συνολική ακρίβεια και αξιοπιστία της εξόδου του αισθητήρα.

Σχήμα 28: Σύγκριση πραγματικών και βελτιστοποιημένων μετρήσεων



8.2 Robot Adjusts Turning Based On Max Distance

Το πείραμα στοχεύει να παρουσιάσει μια βασική συμπεριφορά αποφυγής εμποδίων σε ένα ρομπότ. Με βάση τα δεδομένα του αισθητήρα απόστασης, το ρομπότ επιλέγει δυναμικά την κατεύθυνση με τον περισσότερο χώρο, παρέχοντας μια επίδειξη των αρχών αυτόνομης πλοήγησης.

Πειράματα	Αριστερή απόσταση(cm)	Δεξιά απόσταση(cm)	Μπροστινή απόσταση(cm)	Κατάσταση
1	81	57.75	156.82	move forward
2	56.73	77.97	0.0(obstacle)	turn left
3	83.02	55.72	163.90	move forward
4	55.72	91.11	141.66	move forward
5	54.71	99.20	54.71	move forward
6	45.61	169.97	0.0(obstacle)	turn right
7	209.40	103.24	55.72	move forward
8	102.23	156.83	0.0(obstacle)	turn right
9	291.29	151.17	96.16	turn left
10	105.26	98.19	0.0(obstacle)	turn left

Σχήμα 29: Δεδομένα πειράματος και κατάσταση κίνησης για όχημα ρομπότ

8.3 Sensor Testing For Avoid Obstacles (stop robot)

Στο πείραμά μου, έχω καθορίσει να παράγω μια μέτρηση χρησιμοποιώντας τον μπροστινό αισθητήρα του ρομποτικού αυτοκινήτου. Εάν το ρομπότ εντοπίσει ένα εμπόδιο μπροστά του, σε απόσταση μικρότερη των 20 εκατοστών, προβαίνει σε άμεση παύση της κίνησης του. Αμέσως μετά, ξεκινά μια κίνηση προς τα πίσω, ενώ παράλληλα πραγματοποιεί περιστροφή ανάλογα με τη μέγιστη απόσταση που εντοπίστηκε από τους πλαϊνούς αισθητήρες - είτε αριστερά είτε δεξιά. Μέσα από αυτό το συγκεκριμένο πείραμα, επιδιώκω να αποδείξω ότι το ρομπότ ανταποκρίνεται αποτελεσματικά, σταματώντας αμέσως και προχωρώντας σε κατάλληλες ενέργειες όταν εντοπίζει εμπόδιο μπροστά του.

Πειράματα	Μπροστινή απόσταση(cm)	Κατάσταση
1	12,25	stop motors
2	18,89	stop motors
3	20,0	stop motors
4	6,23	stop motors
5	8,28	stop motors
6	15,77	stop motors

Σχήμα 30: Δεδομένα πειράματος και κατάσταση κίνησης για όχημα ρομπότ

Πειράματα	Αριστερή απόσταση(cm)	Δεξιά απόσταση(cm)	Κατάσταση
1	66.84	60.78	right closest wall
2	55.72	62.80	left closest wall
3	27.92	39.55	left closest wall
4	7.20	61.70	left closest wall
5	48.65	44.60	right closest wall
6	182.10	45.61	right closest wall
7	52.69	55.72	left closest wall

Σχήμα 31: Δεδομένα πειράματος και κατάσταση κίνησης για όχημα ρομπότ

8.4 Sensor Testing For Wall following

Το ρομπότ βρίσκει ποια πλευρά(αριστερά , δεξιά) έχει τον πιο κοντινό τοίχο. Ανάλογα στρίβει προς εκείνη την κατεύθυνση που απέχει λιγότερο(κάθετο το ρομπότ στον τοίχο). Όταν φτάσει σε μία ελάχιστη απόσταση από τον τοίχο ,δίνετε εντολή στο ρομπότ να στρίψει προς την αντίθετη κατεύθυνση, με στόχο να κάνει το ρομπότ παράλληλο στον επιλεγμένο τοίχο - είτε δεξιά είτε αριστερά.

9 Βελτιστοποιήσεις

Η μετάβαση από 2 ρόδες σε 4 ρόδες σε αυτό το ρομπότ θα αναβαθμίσει σημαντικά την ευελιξία και την ακρίβεια των κινήσεών του. Οι 4 ρόδες επιτρέπουν όχι μόνο την πλαγία κίνηση αλλά και ευκολότερη περιστροφή, δημιουργώντας ένα πιο εκτεταμένο φάσμα κινήσεων, ενισχύοντας την ευελιξία και την ακρίβεια των κινήσεων του. Επιπλέον η ενσωμάτωση ενός PID controller , αυξάνει τον έλεγχο της θέσης και της κα-

τεύθυνσης, παρέχοντας σταθερότερες και πιο ακριβείς κινήσεις, συνεπώς αποτελεί σημαντικό βήμα προς τη βελτίωση του συστήματος ελέγχου. Ο PID controller διασφαλίζει αυτόματη ρύθμιση των κινητήρων, επιτρέποντας γρήγορη προσαρμογή στην επιθυμητή θέση με ελάχιστο σφάλμα.

10 Επεκτάσεις

Η περαιτέρω εξέλιξη του συστήματος για το κινητό ρομπότ που περιλαμβάνει ακολούθηση τοίχου και αποφυγή εμποδίων προβλέπει την υιοθέτηση προηγμένων τεχνικών χαρτογράφησης και πλοήγησης. Η εφαρμογή αλγορίθμων SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) θα επιτρέψει στο ρομπότ να δημιουργεί διαρκώς ενημερωμένους χάρτες του περιβάλλοντός του, λαμβάνοντας υπόψη τη θέση και την κατανομή εμποδίων. Ως προς την αναγνώριση και χειρισμό αντικειμένων, η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνικών όπως deep learning για την αναγνώριση αντικειμένων μέσω της όρασης θα δώσει στο ρομπότ τη δυνατότητα να ταξινομεί και να αλληλεπιδρά με αυτά με μεγαλύτερη ευφυΐα. Επίσης, η χρήση τεχνικών όπως οι νευρωνικοί δίκτυα για την ανάλυση εικόνας θα ενισχύσει την ικανότητα του ρομπότ να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του με υψηλή ακρίβεια. Αυτή η ενίσχυση της ικανότητάς του θα τον καθιστά ακόμη πιο ευέλικτο, επιτρέποντάς του να προσαρμόζεται δυναμικά σε ποικίλα και περίπλοκα περιβάλλοντα. Η χρήση προηγμένων αλγορίθμων SLAM για τη δημιουργία χαρτών και η ενσωμάτωση deep learning τεχνικών, για την αναγνώριση αντικειμένων μέσω της όρασης, θα ανοίξουν νέους ορίζοντες για την εξέλιξη των δυνατοτήτων του ρομπότ στο περιβάλλον του.

11 Βιβλιογραφία

[1] Γανδηα, Γυταμα Νυρσιπτο, Δεδι. (2020). Τηε Περφορμανσε Ιμπροεμεντ οφ τηε Λωω-δστ Υλτρασονις Ρανγκε Φινδερ (H⁺-SP04) Υσινγ Νεωτον'ς Πολψνομιαλ Ιντερπολατιον Αλγοριτημ. ΘΥΡΝΑΛ ΙΝΦΟΤΕΛ. 11. 10.20895/ινφοτελ.11ι4.456.

[2] Δικα, Μαηαρδικα Συσιψατι, Σριωαηψυ Συπριψαντο, Αμιρ Παυζι, Αημαδ. (2023). Σμαρτ Γρεεν

Βοξ Τραση Δεσιγν Βασεδ ον Η⁺-ΣΡ04 Σενσορ Αρ-
δυινο Υνο Ιντεγρατεδ. Θουρναλ οφ Ενεργψ, Ματε-
ριαλ, ανδ Ινστρυμεντατιον Τεσνηολογψ. 4. 89-98.
10.23960/θεμιτ.4i1.115.

[3] Ηασαν, Μδ Μασυμ, Μδ Ηαφιζυρ Ραημαν ηο-
ωδηυρψ, Καντιση. (2022). Βλυετοοστη δντρολλεδ Αρ-
δυινο Βασεδ Αυτονομους αρ. 10.13140/ΡΓ.2.2.28191.23208.

[4] Γοσωαμι, Σηανκηα Σαηοο, Συσηιλ Κυμαρ. (2023).
Δεσιγν οφ α Ροβοτις έηιςλε το Αοιδ Οβσταςλε Υ-
σινγ Αρδυινο Μιςροσοντρολλερ ανδ Υλτρασονις Σεν-
σορ. 10.3233/ΑΤΔΕ231041.

[5] ηηοτραψ, Ανιμεση Πραδηαν, Μαδηυρι Πανδεψ,
Κρισηνα Παρηι, Δαψαλ. (2016). Κινεματις Αναλψσις
οφ α Τωο-Ωηεελεδ Σελφ-Βαλανσινγ Μοβιλε Ροβοτ.
10.1007/978-81-322-3589-7₉.

[6] Υλλαη, Δρ. Σαλεεμ Μυμταζ, Ζαιν Λιυ, Σηυο
Αβυβαχρ, Μοηαμμαδ Α., Μαηβοοβ, Μαδνι, Ηαμζα.
(2019). Σινγλε-Εχυιπμεντ ωιτη Μυλτιπλε-Αππλιςατιον
φορ αν Αυτοματεδ Ροβοτ-αρ δντρολ Σψστεμ. Σεν-
σορς. 19. 662. 10.3390/σ19030662.

[7] Θαψασινγηε, Ηιμαση Γοδιγαμυωα, Αλακση-
ι Κυδαγοδα, Βιηεσηα Διλσηαν, Μανυκα. (2022).
Δεελοπμεντ οφ α Φυζζψ Λογις Ωαλλ Φολλοωινγ Μο-
βιλε Ροβοτ.