

Σχεδιασμός και υλοποίηση ενσωματωμένου συστήματος ελέγχου τροχοφόρου οχήματος

Διπλωματική εργασία Νικολής Νικόλαος

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Δασυγένης Μηνάς

Εργαστήριο ρομποτικής, Ενσωματωμένων και
ολοκληρωμένων συστημάτων:
<http://arch.ece.uowm.gr>.

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

Φραγκούλης Γεώργιος Γκάλφας Νικόλαος

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



Ιούλιος 2025

Περιεχόμενο της παρουσίασης

- ▶ Εισαγωγή
- ▶ Θεωρητικό υπόβαθρο
- ▶ Αρχιτεκτονική του συστήματος
- ▶ Δομή των κατασκευών
- ▶ Πειράματα και δυνατότητες του συστήματος
- ▶ Συμπεράσματα

Εισαγωγή

Η σημαντικότητα των ρομπότ στις μέρες μας και τα κίνητρα της διπλωματικής

Η ραγδαία εξέλιξη του τομέα της ρομποτικής έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή ρομποτικών συστημάτων σε **διάφορους τομείς όπως:**

Γεωργία (με συστήματα ακριβούς γεωργίας)

Έρευνα (όπως το ερευνητικό ρομπότ Curiosity της NASA)

Βιομηχανία (όπως τα ρομπότ στις αποθήκες της εταιρείας Amazon)

Η αγορά τέτοιων συστημάτων απαιτεί σημαντική επένδυση κεφαλαίου ενώ τα ρομπότ αυτά κατασκευάζονται με συγκεκριμένο στόχο περιορίζοντας τις δυνατότητες τους.

Το ρομπότ της παρούσας διπλωματικής αποτελεί μία οικονομικότερη επιλογή ενώ ταυτόχρονα προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και επεκτασιμότητα.

Στόχοι της διπλωματικής εργασίας

5

- ▶ Δημιουργία ενός συστήματος για τον απομακρυσμένο έλεγχο τροχοφόρου οχήματος
- ▶ Εξοπλισμός του τροχοφόρου με έναν ρομποτικό βραχίονα με στόχο την αλληλοεπίδραση του ρομπότ με το περιβάλλον
- ▶ Διατήρηση χαμηλού κόστους κατασκευής και συντήρησης σε σχέση με παρόμοιες εμπορικές κατασκευές

Σύγκριση με παρόμοια έργα

6



	TurtleBot3 + OpenMANIPULATOR -X	Inspector V8	Husky A300 + Franka Research 3	Όχημα διπλωματικής
Τύπος ελέγχου	Αυτόματος και ημιαυτόματος	Αυτόματος και ημιαυτόματος	Αυτόματος και ημιαυτόματος	Χειροκίνητος
Τύπος εδάφους προς διάβαση	Εσωτερικοί χώροι με λείο έδαφος	Τραχύ έδαφος και ανισόπεδες επιφάνειες	Τραχύ έδαφος και ανισόπεδες επιφάνειες	Τραχύ έδαφος και ανισόπεδες επιφάνειες
Μήκος βραχίονα	38 εκατοστά	85.5 εκατοστά	164 εκατοστά	51.4 εκατοστά
Μέγιστο βάρος ανύψωσης	0.5 κιλά	-	3 κιλά	0.5 κιλά
Βαθμοί ελευθερίας βραχίονα	5	4	7	6
Εκτιμώμενο κόστος	3.000€	20.000-30.000€	70.000€	600€

Θεωρητικό υπόβαθρο

Ο μικροελεγκτής ESP32 S3 και το πρωτόκολλο ESP NOW

8

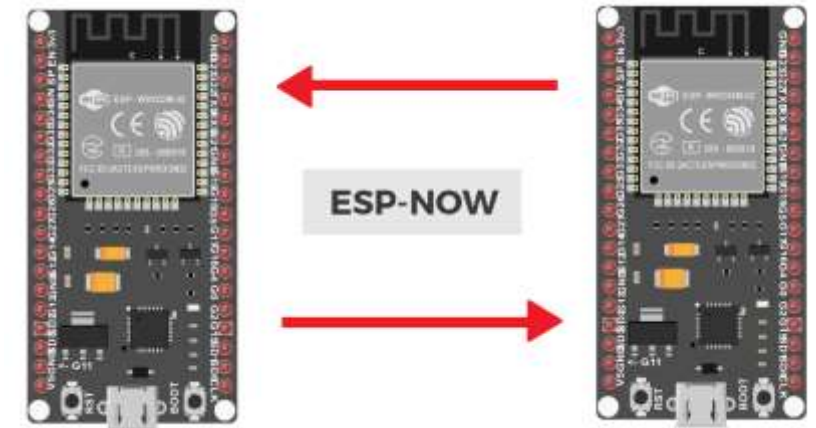
Για την υλοποίηση του συστήματος χρησιμοποιήσαμε τον μικροελεγκτή ESP32 S3:

- ▶ Προηγμένος μικροελεγκτής που προσφέρει υψηλές ταχύτητες εκτέλεσης κώδικα
- ▶ Ενσωματωμένο Wi-Fi και Bluetooth Low Energy (BLE)
- ▶ Χαμηλή κατανάλωση ρεύματος
- ▶ Πολλαπλές επαφές εισόδου, εξόδου και σειριακής επικοινωνίας για χρήση των πρωτόκολλων I2C και SPI



Για την επικοινωνία των συστημάτων έγινε χρήση του ESP NOW:

- ▶ Πρωτόκολλο επικοινωνίας ειδικά κατασκευασμένο για τα ESP32
- ▶ Peer to Peer σύνδεση με βάση την αρχιτεκτονική του Wi-Fi χωρίς την χρήση router
- ▶ Υψηλή ταχύτητα επικοινωνίας έως 1 Mbps, με δυνατότητα κρυπτογράφησης πακέτων
- ▶ Εμβέλεια επικοινωνίας σε ανοιχτό χώρο έως και 250 μέτρα



Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν

9

Τα κύρια λογισμικά που αξιοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

- ▶ **Arduino IDE:** για τον προγραμματισμό των μικροελεγκτών
- ▶ **Fusion360:** Για τον σχεδιασμό 3D μοντέλων για την δημιουργία του προστατευτικού κουτιού του χειριστηρίου, των ηλεκτρονικών του οχήματος και της βάσης του ρομποτικού βραχίονα
- ▶ **Kicad:** Για τον σχεδιασμό των κυκλωμάτων των συστημάτων και την δημιουργία του PCB



Αποστολή δεδομένων
μέσω του πρωτοκόλλου
ESP NOW

Λήψη
Δεδομένων
Από τον
χρήστη



Αποστολή και
λήψη δεδομένων
από και προς τις
κατάλληλες
περιφερειακές
συσκευές

Αποστολή μετρήσεων
μέσω του πρωτοκόλλου
ESP NOW

Το σύστημα αποτελείται από **2 βασικές μονάδες**:

- Το χειριστήριο ασύρματου ελέγχου
 - Το τροχοφόρο όχημα με τον ρομποτικό βραχίονα
- Κάθε μονάδα είναι εξοπλισμένη με ένα **ESP32 S3** για την λήψη δεδομένων και για την επεξεργασία τους.

Η επικοινωνία μεταξύ των μονάδων πραγματοποιείται μέσω Του πρωτοκόλλου **ESP NOW**.

Η αρχιτεκτονική του ρομποτικού συστήματος

Διάγραμμα ροής του κώδικα του συστήματος

Το χειριστήριο:

- ▶ Διαβάζει τις εισόδους από τον χρήστη
- ▶ Υπολογίζει την ταχύτητα περιστροφής των τροχών με βάση τις ρυθμίσεις του χρήστη
- ▶ Δημιουργεί το πακέτο με τα δεδομένα και το στέλνει στο όχημα

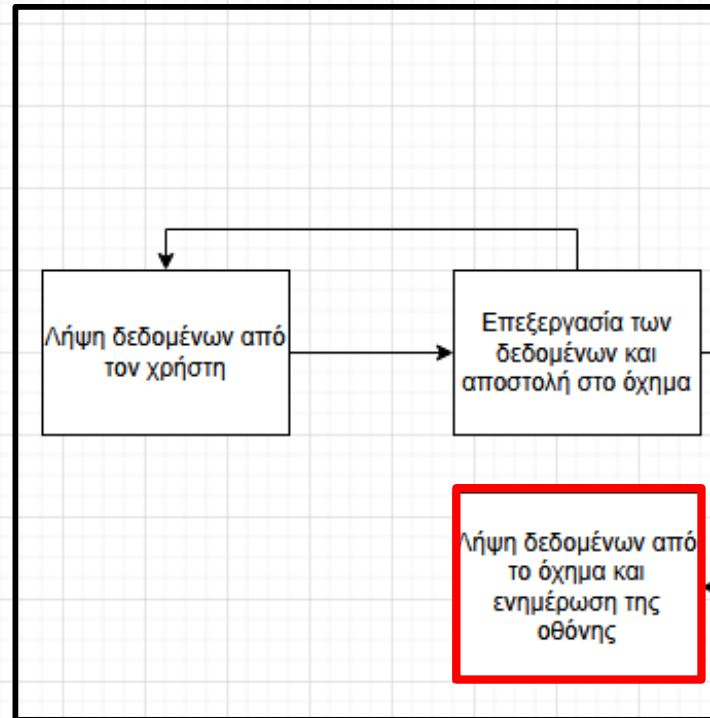
Το τροχοφόρο όχημα:

- ▶ Στέλνει εντολές προς τις περιφερειακές μονάδες
- ▶ Λαμβάνει μετρήσεις από αυτές
- ▶ Δημιουργεί πακέτο με τις μετρήσεις και το στέλνει προς το χειριστήριο

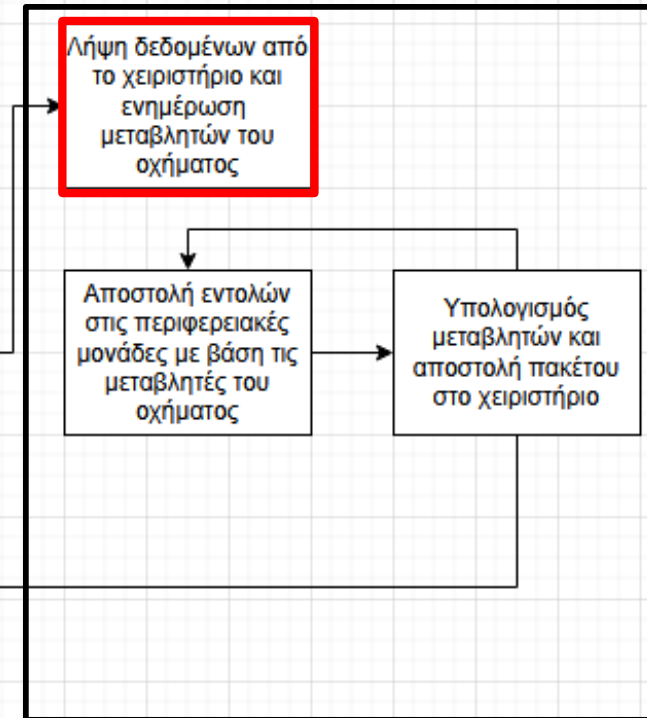
Κάθε φορά που τα ESP32 S3 λαμβάνουν ένα πακέτο, μέσω του πρωτόκολλου ESP NOW, εκτελούν την ασύγχρονη συνάρτηση (κόκκινα κουτάκια).

Οι κώδικες εμπεριέχουν συστήματα για την αυτόματη επανεκκίνηση της συσκευής και την αναγνώριση αποσύνδεσης

Κώδικας Χειριστηρίου



Κώδικας Οχήματος



Δομή των κατασκευών

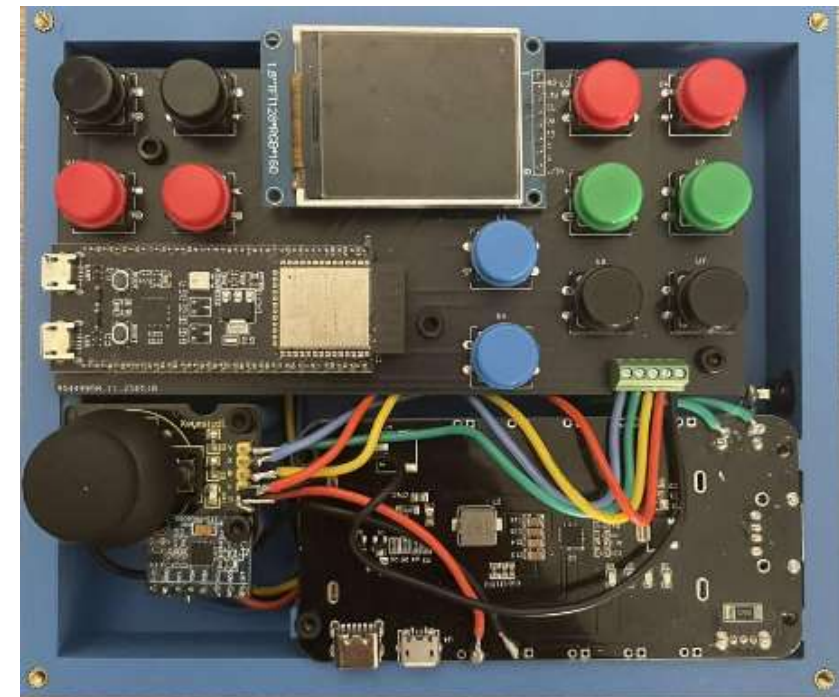
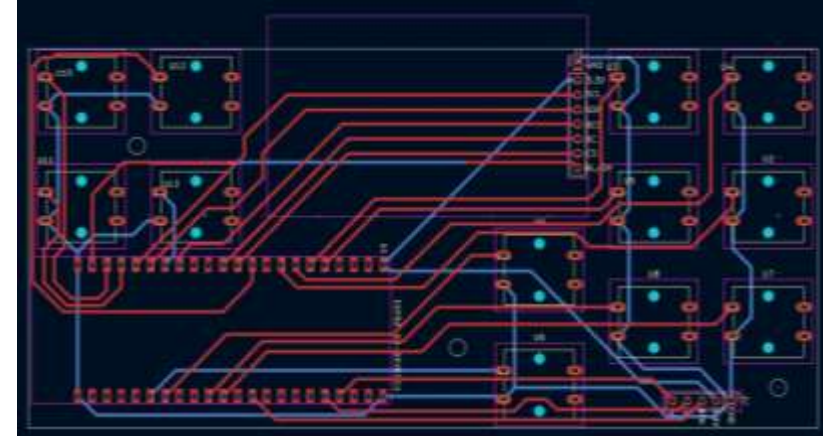
Η δομή του ασύρματου χειριστηρίου

Το ασύρματο χειριστήριο αποτελείται από μονάδες για την λήψη δεδομένων από τον χρήστη και για την εκτύπωση πληροφοριών, όπως:

- ▶ ESP32 S3 Devkit C1
- ▶ Μονάδα joystick
- ▶ Κουμπιά
- ▶ Γυροσκόπιο και επιταχυνσιόμετρο για την λήψη περιστροφικών μετρήσεων
- ▶ Οθόνη 1.8 ιντσών για την εμφάνιση πληροφοριών
- ▶ Μονάδα επαναφορτιζόμενων μπαταριών

Για την χρήση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων **σχεδιάσαμε ένα PCB** (printed circuit board) χρησιμοποιώντας το λογισμικό Kicad.

13



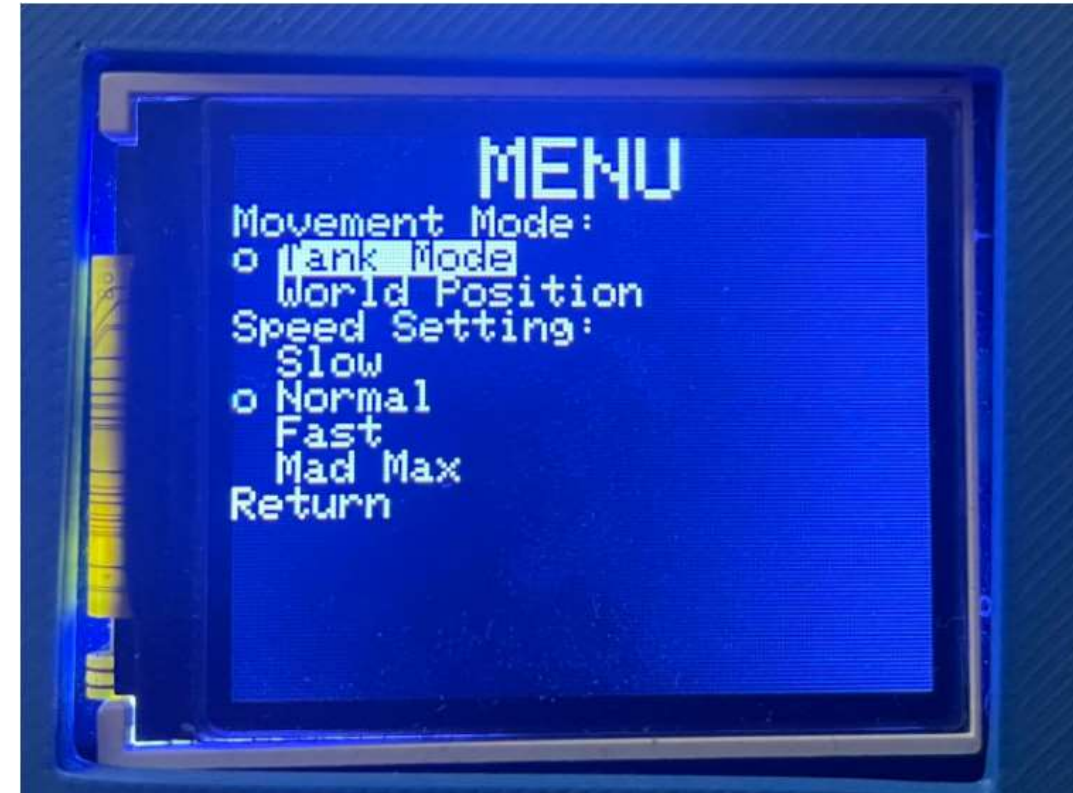
Ρύθμιση ταχύτητας και τρόποι πλοήγησης

Μενού ρυθμίσεων:

- ▶ Ρύθμιση της μέγιστης ταχύτητας με επιλογή μεταξύ 4 ρυθμίσεων
- ▶ Επιλογή του τρόπου υπολογισμού ταχύτητας

2 τρόποι υπολογισμού ταχύτητας:

- ▶ Με βάση την είσοδο του joystick
- ▶ Με βάση την είσοδο του joystick + την σχετική περιστροφή του χειριστηρίου (απαιτεί τον ίδιο προσανατολισμό οχήματος και χειριστηρίου κατά την εκκίνηση)



Η δομή του τροχοφόρου οχήματος

Αποτελείται από 3 μέρη:

- ▶ Το κύριο σύστημα που αποτελείται από το αλουμινένιο σασί, ρόδες ανωμάλου δρόμου και την κεντρική πλακέτα οδήγησης των κινητήρων
- ▶ Το κύκλωμα ασφαλούς παροχής τάσης μέσω μπαταρίας το οποίο προσφέρει την δυνατότητα αποσύνδεσης της από το όχημα σε περίπτωση ανάγκης
- ▶ Τον ρομποτικό βραχίονα για την αλληλοεπίδραση με το περιβάλλον και την μεταφορά αντικειμένων



Το κύριο σύστημα του οχήματος

Το κύριο σύστημα αποτελείται από το όχημα της εταιρείας Dagu.

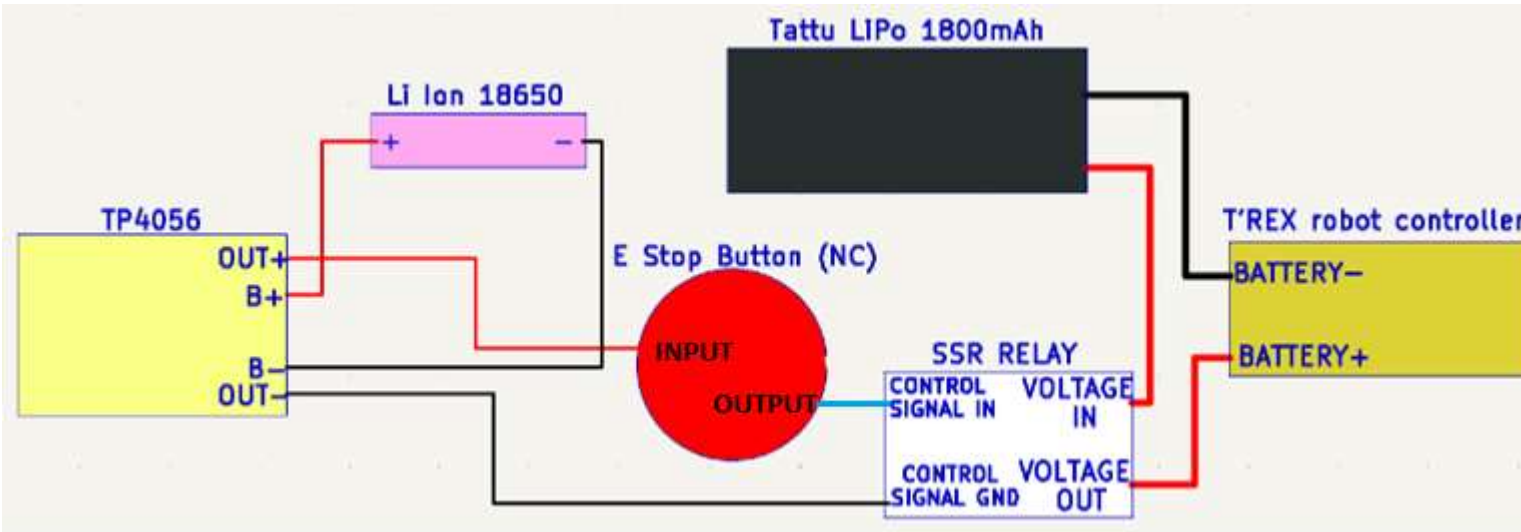
- ▶ Η κατασκευή του είναι από αλουμίνιο με αποτέλεσμα να ζυγίζει μόνο 2.7 κιλά.
- ▶ Οι τροχοί του οχήματος είναι από λάστιχο και φέρουν μικρά καρφιά για αυξημένη πρόσφυση στον ανώμαλο δρόμο.
- ▶ Το όχημα παρέχει ανεξάρτητες αναρτήσεις για κάθε ζεύγος τροχών καθιστώντας το ικανό να ανέβει ψηλά εμπόδια με ευκολία

Για την οδήγηση των κινητήρων επιλέχθηκε η πλακέτα T'REX robot controller της εταιρείας Dagu.

- ▶ Δέχεται ως τάση εισόδου τιμές από 5 έως 30V καθιστώντας την ευέλικτη σε διάφορες παροχές τάσης ενώ μας παρέχει ασφάλεια μέσω λογισμικού σε περίπτωση χαμηλής τάσης
- ▶ Προσφέρει 2 κανάλια εξόδου τάσης για με μέγιστο ρεύμα εξόδου τα 40A
- ▶ Παρέχει έξοδο σταθερής τάσης των 5V από την οποία τροφοδοτούμε και το ESP32 S3 του οχήματος
- ▶ Ελέγχεται μέσω του πρωτοκόλλου I2C

16





- ▶ Η τροφοδοσία του οχήματος γίνεται μέσω μίας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας LiPo 14.8V
- ▶ Η μπαταρία συνδέεται σε ένα ρελέ
- ▶ Το ρελέ άγει μόνο όταν έχει τάση στην είσοδο ελέγχου
- ▶ Κάνοντας χρήση ενός κουμπιού emergency stop κόβουμε την τάση σε αυτή την είσοδο

Το κύκλωμα
παροχής
τάσης του
οχήματος

Ο ρομποτικός βραχίονας

- ▶ Χρησιμοποιεί τους σερβοκινητήρες MG996R και MG90S
- ▶ Η οδήγηση των σερβοκινητήρων γίνεται μέσω της μονάδας PCA9685
- ▶ Για την παροχή τάσης στους σερβοκινητήρες χρησιμοποιούμε έναν stepdown μετατροπέα τάσης
- ▶ Στην βάση του βραχίονα βρίσκεται ένα ESP32 S3 το οποίο ελέγχει το PCA9685
- ▶ Η βάση εμπεριέχει επίσης την γυροσκοπική μονάδα του οχήματος



18

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Τιμή
Μήκος βραχίονα	51.4 εκατοστά
Βαθμοί ελευθερίας	6
Μέγιστο βάρος ανύψωσης	0.5 κιλά
Γωνία περιστροφής βάσης	180 μοίρες

Πειράματα και δυνατότητες του συστήματος

Πείραμα ανύψωσης φορτίου

Στο πρώτο πείραμα το όχημα κλήθηκε να ανυψώσει 1 μπουκάλι ποικίλλων βαρών
Στόχος του πειράματος είναι να μελετήσουμε τις δυνατότητες του βραχίονα

Από τις μετρήσεις παρατηρούμε ότι :

- μέχρι τα 300 γραμμάρια ο βραχίονας είναι ικανός να μεταφέρει το φορτίο χωρίς δυσκολία.
- Έως τα 400 γραμμάρια το φορτίο ανυψωνόταν ελαφρώς από το έδαφος
- Στα 500 γραμμάρια ο βραχίονας αποτύγχανε να σηκώσει το βάρος από το έδαφος

Βάρος μπουκαλιού σε γραμμάρια	Μέγιστη ανύψωση φορτίου σε εκατοστά	Ικανότητα περιστροφής του φορτίου γύρω από το όχημα
100	60	Ναι
200	60	Ναι
300	20	Ναι
400	20	Ναι
500	0	Όχι



Πείραμα μεταφοράς φορτίου

21

Στο δεύτερο πείραμα δοκιμάστηκε η ικανότητα μεταφοράς μικρού φορτίου (200 γραμμάρια).

Στόχος του πειράματος είναι η μελέτη της συμπεριφοράς της επικοινωνίας όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ του οχήματος και του χρήστη και η ικανότητα προσπέλασης δαπέδου με χαλίκια.

Απόσταση	Κατάσταση σύνδεσης
0-100 μέτρα	Σταθερή χωρίς διακοπές
100-200 μέτρα	Σταθερή με σπάνιες διακοπές
200-220 μέτρα	Συνεχής διακοπές
220+ μέτρα	Οριστική διακοπή επικοινωνίας



Καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος το όχημα μετέφερε το φορτίο χωρίς να το ρίξει ενώ η προσπέλαση του δρόμου ήταν ομαλή

Συμπεράσματα

22

Ολοκληρώνοντας, κατασκευάσαμε
ένα ρομποτικό σύστημα ικανό να
μεταφέρει φορτία χαμηλού βάρους
σε μεγάλες αποστάσεις

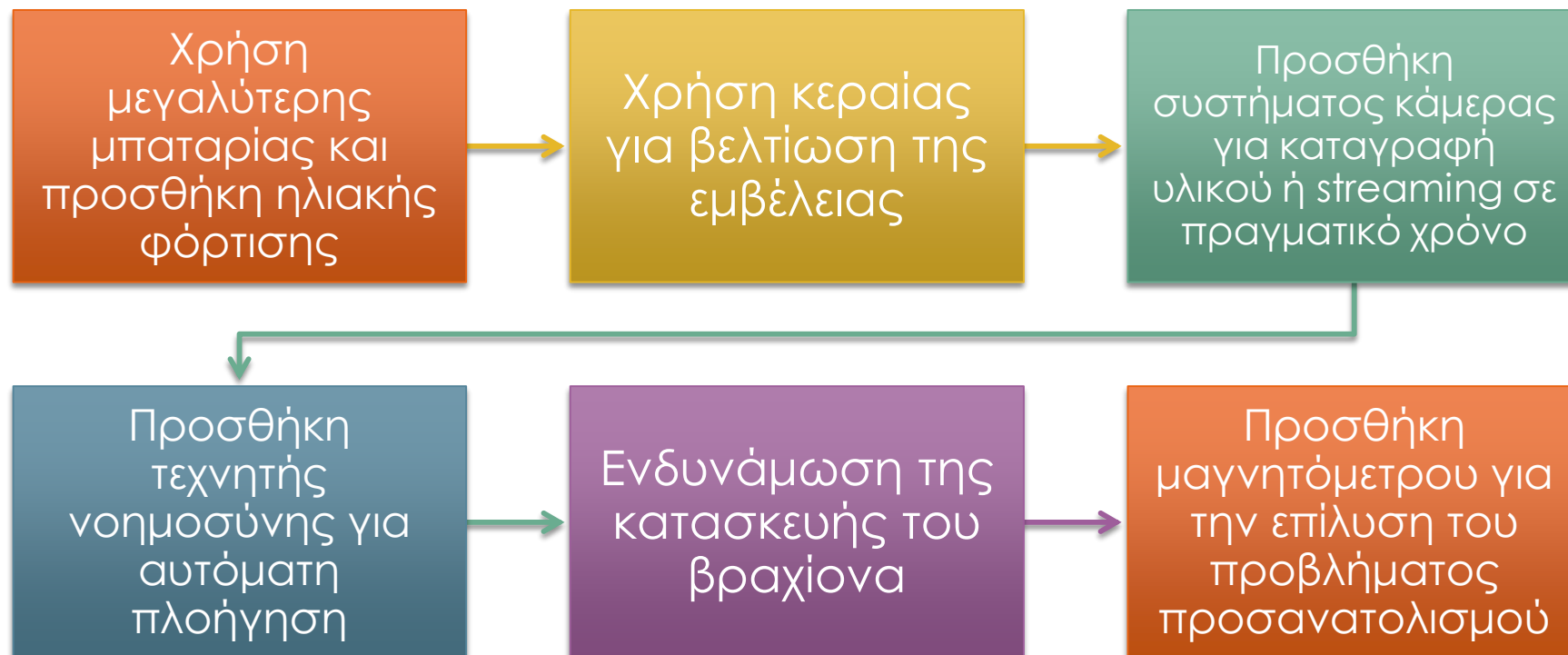
Το χειριστήριο παρέχει μεγάλη
χρησιμότητα στην πλοήγηση του
οχήματος και σημαντικές
πληροφορίες για την λειτουργία του

Ο ρομποτικός βραχίονας προσθέτει
την δυνατότητα αλληλεπίδρασης με
το περιβάλλον

Το κόστος κατασκευής παρέμεινε
χαμηλό καθιστώντας το ρομπότ μας
μια οικονομική και ανταγωνιστική
επιλογή στον κόσμο των ρομποτικών
συστημάτων

Μελλοντικές επεκτάσεις

23



Ευχαριστώ για την
προσοχή σας!