

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



Διπλωματική Εργασία

**Σχεδιασμός, κατασκευή και έλεγχος του κινητού ρομπότ
'PYGMALION'**

Λοΐζου Αλέξανδρος

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ**

ΜΑΪΟΣ 2022

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ

Σχεδιασμός, κατασκευή και έλεγχος κινητού ρομπότ 'PYGMALION'

Λοΐζου Αλέξανδρος

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Χριστοφόρου Ευτύχιος

Η Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Μηχανικών Μηχανολογίας και Κατασκευαστικής του Τμήματος Μηχανικών Μηχανολογίας και Κατασκευαστικής

Μάιος 2022

Ευχαριστίες

Η μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο UCY Robotics LAB του Πανεπιστημίου Κύπρου. Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν και συνέβαλαν με τις γνώσεις τους ή όποιο άλλο τρόπο.

Αρχικά, ευχαριστώ τον Επίκουρο Καθηγητή Δρ. Ευτύχιο Χριστοφόρου για τις γνώσεις και την επιμονή του, η οποία έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του τελικού έργου.

Ευχαριστώ επίσης, τον κ. Κωνσταντίνο Σοφοκλέους, Ειδικό Επιστήμονα, ο οποίος συνέβαλε στην κατασκευή και υλοποίηση της βάσης του Pygmalion.

Τέλος, να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου από τις μεταπτυχιακές, όσο και της προπτυχιακές σπουδές, οι οποίοι μέσα από τα μαθήματά τους με έκαναν να δω την μηχανολογία με άλλη ματιά, να την αγαπήσω ακόμη παραπάνω και να την μελετήσω εις βάθος.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια τα ρομπότ μπήκαν στη ζωή του ανθρώπου, με αποτέλεσμα να τον αντικαθιστούν, να τον συμπληρώνουν ή να συνεργάζονται μαζί του. Στα πλαίσια αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, ο αναγνώστης θα ενημερωθεί για τη μελέτη, σχεδίαση, κατασκευή, συναρμολόγηση και έλεγχο του τροχοφόρου ρομπότ ‘Pygmalion’. Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ασχολείται με τη μελέτη, ανάπτυξη, σχεδιασμό, κατασκευή, συναρμολόγηση και έλεγχο κινητού ρομπότ γενικής χρήσης, όπως για παράδειγμα ως ιατρικού βοηθητικού οχήματος/ρομπότ, το οποίο θα έχει τη δυνατότητα να κινείται εντός ενός νοσοκομείου ή γενικότερα σε ένα περιβάλλον με ασθενείς και να πράττει σαν βοηθός νοσηλεύτη ή γιατρού. Πέραν από τη δυνατότητα παροχής βοήθειας, το Pygmalion αναπτύσσεται για σκοπούς έρευνας στο UCY Robotics LAB του Πανεπιστημίου Κύπρου, και η πλατφόρμα είναι έτοιμη να υποδεχθεί περαιτέρω υποσυστήματα, όπως ρομποτικού βραχίονες. Αρχίζοντας, έγινε μία γρήγορη επισκόπηση στην ιστορική αναδρομή και σε διαφορετικούς τύπους κινητών ρομπότ. Στη συνέχεια εξετάστηκαν κάποια ήδη υπάρχοντα τροχοφόρα ρομπότ τα οποία χρησιμοποιούνται σαν βοηθοί σε νοσοκομεία, γενικής χρήσεως, ή αναπτύσσονται για σκοπούς έρευνας. Έπειτα αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά και υποσυστήματα του Pygmalion, βοηθώντας τον αναγνώστη να κατανοήσει τον τρόπο λειτουργίας του ρομπότ. Ακολουθεί το κεφάλαιο του σχεδιασμού και κατασκευής των μερών (π.χ., υλικά, στοιχεία μηχανών) και έπειτα η σειρά συναρμολόγησης των εξαρτημάτων (μηχανολογικών και ηλεκτρονικών). Επίσης, παρουσιάζονται εικόνες από το τρισδιάστατο μοντέλο και την πρωτότυπη κατασκευή. Μετά τον σχεδιασμό και το πρωτότυπο ρομπότ είναι το κεφάλαιο των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων στο οποίο επεξηγούνται τα ηλεκτρικά/ηλεκτρονικά στοιχεία τα οποία εφαρμόστηκαν στο Pygmalion, η συνδεσμολογία και ο κώδικας ο οποίος είναι γραμμένος σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Τέλος, ακολουθούν τα πειραματικά αποτελέσματα του ρομπότ, παρουσιάζοντας τους διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας (κανονικούς τροχούς ή mecanum), η Βιβλιογραφία και τα Παραρτήματα I & II στα οποία υπάρχουν τα Datasheet των βασικών στοιχείων (π.χ., έδρανα, κινητήρες, μπαταρίες) και ο κώδικας.

Abstract

In recent years, robots have entered human life, replacing, supplementing or collaborating with humans. As part of this master's thesis, the reader will be informed about the design, construction, assembly and control of the wheeled robot 'Pygmalion'. This master's thesis deals with the study, development, design, construction, assembly and control of a general purpose mobile robot, such as a medical auxiliary vehicle / robot, which has the ability to move within a hospital or in a general patient environment, and act as an assistant nurse or doctor. In addition to the ability to provide assistance, Pygmalion is being developed for research purposes at the UCY Robotics LAB of the University of Cyprus, and the platform is ready to host further subsystems, including a robotic manipulator of the lab. To begin with, a quick overview of the history and different types of mobile robots was provided. Some of the existing wheeled robots that are used as hospital assistants, general purpose, or developed for research purposes were then investigated. Then the basic features and subsystems of Pygmalion are listed, helping the reader to understand how the robot works. This is followed by the chapter on the design and construction of the parts (e.g. materials, mechanical components), and then the assembly sequence of the components (mechanical and electronic). Also, images from the 3D model and the original prototype are presented. After the design and the presentation of the prototype robot, it follows the chapter of electrical and electronic systems which explains the electrical / electronic components applied to Pygmalion, the wiring and the code which is written in Python programming language. Finally, the experimental results of the robot follow, presenting the different modes of operation (with normal wheels or mecanum wheels), the Bibliography and the Appendices I & II in which there are the Datasheet of the basic elements (e.g. bearings, motors, batteries) and the code.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ	1
1.1.1 Βαδίζοντα ρομπότ.....	1
1.1.2 Τροχοφόρα / Ερπυστριοφόρα ρομπότ.....	2
1.1.3 Hopring ρομπότ.....	4
1.1.4 Έρποντα ρομπότ.....	5
1.1.5 Υποβρύχια ρομπότ.....	5
1.1.6 Υβριδικά ρομπότ.....	6
1.2 ΚΥΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ ΡΟΜΠΟΤ	7
1.2.1 Σύστημα φρεναρίσματος/κίνησης.....	7
1.2.2 Σύστημα παροχής και αποθήκευσης ενέργειας.....	7
1.2.3 Σύστημα ελέγχου.....	8
1.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΡΟΜΠΟΤ	9
1.3.1 Robotnik Summit XL	9
1.3.2 Omitech Sanbot Elf.....	10
1.4 ΡΟΜΠΟΤ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΣ	11
1.5 ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΡΟΜΠΟΤ	13
1.5.1 Αισθητήρες	13
1.5.2 Κουβούκλια	13
1.5.3 Οπτικές κουρτίνες.....	13
1.5.4 Emergency button	13
1.5.5 Οπτική αναγνώριση.....	14
2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΡΥΓΜΑΛΙΟΝ	15
2.1 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ	15
2.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	18
2.2.1 Σύστημα κίνησης	18
2.2.2 Στοιχεία μηχανών.....	20
2.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	24
3 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ & ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ	28
3.1 ΚΥΡΙΩΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ (ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΒΑΣΗ)	28
3.2 ΒΑΣΕΙΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ/ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	30
3.3 ΈΔΡΑΝΑ – ΆΞΟΝΕΣ – ΤΡΟΧΑΛΙΕΣ – ΤΡΟΧΟΙ.....	31
3.4 ΒΑΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ & ΟΘΟΝΗΣ.....	34
3.5 ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ	37
3.6 ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤ	39
3.7 ΦΟΡΤΙΣΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΡΟΜΠΟΤ	42
3.8 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΥΤΕΡΕΥΩΝ ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΟ ΡΥΓΜΑΛΙΟΝ	43
3.9 ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	44
3.10 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ & ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	46
4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟΥ	48
4.1 ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	48
4.2 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	49
4.3 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	53
4.3.1 Motor drivers.....	53

4.3.2	<i>Low pass filters</i>	54
4.3.3	<i>Magnetic Encoder/ Μαγνητικοί κωδικοποιητές</i>	55
4.3.4	<i>Analog to digital converter (ADC)</i>	56
4.3.5	<i>Ρυθμιστές τάσης/Voltage regulators</i>	56
4.3.6	<i>Οθόνη αφής LCD</i>	57
4.4	ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ	58
4.5	ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	61
4.5.1	<i>Υπολογιστής Raspberry Pi 4</i>	61
4.5.2	<i>Χειριστήριο Joystick</i>	62
4.5.3	<i>Επεξήγηση κώδικα</i>	63
4.6	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	64
5	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	65
5.1	ΈΛΕΓΧΟΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	65
5.1.1	<i>Συνδυασμός τεσσάρων τροχών mecanum</i>	65
5.1.2	<i>Συνδυασμός τεσσάρων πνευματικών τροχών</i>	67
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	69
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	73

Σχήματα

Σχήμα 1-1: Ανθρωπόμορφο βαδίζον ρομπότ 'Asimo'	1
Σχήμα 1-2: Βαδίζον ρομπότ με τέσσερα πόδια 'BigDog'	2
Σχήμα 1-3: Κυλιόμενο τροχοφόρο ρομπότ.....	2
Σχήμα 1-4: Απλός κοινός φουσκωτός τροχός ρομπότ.....	3
Σχήμα 1-5: Ελαστικές ερπύστριες	3
Σχήμα 1-6: Mecanum wheel (αριστερά), Omni wheel (δεξιά).....	4
Σχήμα 1-7: Hopping robot 'MIT Cheetah'	5
Σχήμα 1-8: Ερπετό ρομπότ 'SnakeBot'	5
Σχήμα 1-9: Αυτόνομο υποβρύχιο ρομπότ 'CSIRO'	6
Σχήμα 1-10: Υβριδικό ρομπότ 'ACM-R5 Snake Robot'.....	6
Σχήμα 1-11: Τροχοφόρο ρομπότ Robotnik Summit XL	10
Σχήμα 1-12: Omitech Sanbot Elf σαν βοηθός νοσοκομείου	11
Σχήμα 2-1: Περιγραφή πέδησης τροχών τύπου mecanum	19
Σχήμα 2-2: Πνευματικοί τροχοί απλού τύπου και τύπου castor που εφαρμόστηκαν στο Pygmalion	19
Σχήμα 2-3: Ένσφαιρο έδρανο κύλισης σε βάση τύπου ωμέγα (Ω)	20
Σχήμα 2-4: Διαστάσεις εδράνου KP000	21
Σχήμα 2-5: Τροχαλία συγχρονισμού άξονα κινητήρα με άξονα περιστροφής τροχών ..	22
Σχήμα 2-6: : Βοηθητικό σχηματικό για διαστασιολόγηση ιμάντα	23
Σχήμα 2-7: Ελεύθερη πλάγια κάτοψη τρισδιάστατου μοντέλου του Pygmalion χωρίς κάλυμμα	24
Σχήμα 2-8: Κάτοψη τρισδιάστατου μοντέλου του Pygmalion χωρίς κάλυμμα	25
Σχήμα 2-9: Ελεύθερη πλάγια άνοψη τρισδιάστατου μοντέλου του Pygmalion χωρίς κάλυμμα	25

Σχήμα 2-10: Ελεύθερη πλάγια κάτωψη τρισδιάστατου μοντέλου του Pygmalion με το κάλυμμα	26
Σχήμα 2-11: Πλάγια όψη τρισδιάστατου μοντέλου του Pygmalion με κάλυμμα	27
Σχήμα 2-12: Πρόσοψη τρισδιάστατου μοντέλου του Pygmalion με κάλυμμα	27
Σχήμα 3-1: Συναρμολόγηση πλάκας Plexiglas στη βάση του ρομπότ	28
Σχήμα 3-2: Συναρμολόγηση δοκού Plexiglas.....	29
Σχήμα 3-3: Συναρμολόγηση προφυλακτήρα	29
Σχήμα 3-4: Τελειωμένη κεντρική βάση μετά την συναρμολόγηση της	30
Σχήμα 3-5: Συναρμολόγηση κινητήρα στην βάση του.....	30
Σχήμα 3-6: Συναρμολόγηση βάσης κινητήρα στην κεντρική βάση.....	31
Σχήμα 3-7: Συναρμολόγηση ιμάντα στην τροχαλία κινητήρα	31
Σχήμα 3-8: Συναρμολόγηση άξονα – εδράνων – τροχού	32
Σχήμα 3-9: Συναρμολογημένος άξονας με όλα τα στοιχεία.....	32
Σχήμα 3-10: Εγκατάσταση άξονα στην κεντρική βάση	33
Σχήμα 3-11: Κεντρική βάση με βάσεις κινητήρων – κινητήρες – άξονες και τροχούς (σύστημα κίνησης).....	33
Σχήμα 3-12: Στήριξη μπαταριών στη βάση τους.....	34
Σχήμα 3-13: Συναρμολόγηση Raspberry Pi4 στο πίσω μέρος της οθόνης αφής.....	34
Σχήμα 3-14: Τοποθεσία Breadboard συνδεσμολογίας στη βάση τους.....	35
Σχήμα 3-15: Συναρμολόγηση των Motor driver και Connectors στην βάση τους.....	35
Σχήμα 3-16: Βοηθητικό σχήμα για συναρμολόγηση Motor driver και Connectors.....	36
Σχήμα 3-17: Τελικό μοντέλο μετά την συναρμολόγηση	36
Σχήμα 3-18: Πρωτότυπο ρομπότ με τροχούς mecanum χωρίς κάλυμμα	37
Σχήμα 3-19: Πρωτότυπο ρομπότ με τροχούς mecanum με κάλυμμα.....	37
Σχήμα 3-20: Πρωτότυπο ρομπότ με τροχούς mecanum προοπτικά από χαμηλό σημείο	38
Σχήμα 3-21: Πρωτότυπο ρομπότ με πνευματικούς τροχούς και κάλυμμα.....	38
Σχήμα 3-22: Πρωτότυπο ρομπότ με δύο πνευματικούς τροχούς και ένα τροχό castor..	39
Σχήμα 3-23: Σύνδεση χειριστηρίου στο πρωτότυπο ρομπότ.....	39

Σχήμα 3-24: Διακόπτες μπαταριών και motor driver από πλαϊνή θύρα πρωτότυπου ρομπότ.....	40
Σχήμα 3-25: Διακόπτης ενεργοποίησης επεξεργαστή – υπολογιστή του πρωτότυπου ρομπότ.....	40
Σχήμα 3-26: Αρχική οθόνη υπολογιστή του πρωτότυπου ρομπότ.....	40
Σχήμα 3-27: Αρχείο κώδικα όπως φαίνεται στον υπολογιστή του ρομπότ.....	41
Σχήμα 3-28: Εκτέλεση κώδικα για λειτουργία του ρομπότ.....	41
Σχήμα 3-29: Υποδοχές φορτιστών για μπαταρίες κινητήρων.....	42
Σχήμα 3-30: Φορτιστής μπαταριών κινητήρα με ένδειξη LED.....	42
Σχήμα 3-31: Υποδοχή φόρτισης μπαταρίας επεξεργαστή με ένδειξη LED.....	42
Σχήμα 3-32: Εφαρμογή δευτερέων ρομπότ από το UCY Robotics LAB στο Pygmalion.....	43
Σχήμα 3-33: Αισθητήρας απόστασης υπερέυθρων.....	44
Σχήμα 3-34: Μπροστινό μέρος ρομπότ με αισθητήρα απόστασης υπερέυθρων.....	44
Σχήμα 3-35: Emergency button.....	45
Σχήμα 3-36: Σημαία και emergency button στο πρωτότυπο ρομπότ.....	45
Σχήμα 3-37: Κατάλογος μηχανολογικών εξαρτημάτων και στοιχείων.....	47
Σχήμα 4-1: Μπαταρία κινητήρων.....	49
Σχήμα 4-2: IG52-04 24VDC 285 RPM Gear Motor with Encoder.....	50
Σχήμα 4-3: Διάγραμμα ελευθέρου σώματος ενός κυλιόμενου μέσου.....	51
Σχήμα 4-4: Επιλογή κινητήρα από κατάλογο έπειτα του υπολογισμού ισχύος και ταχύτητας περιστροφής.....	52
Σχήμα 4-5: Motor driver Sabertooth 2x12.....	53
Σχήμα 4-6: Low pass filter.....	54
Σχήμα 4-7: Σχηματικό αρχής λειτουργίας αισθητήρα hall.....	55
Σχήμα 4-8: Analog to digital converter MCP3008.....	56
Σχήμα 4-9: Voltage regulator.....	56
Σχήμα 4-10: Raspberry Pi LCD touch screen.....	57
Σχήμα 4-11: Pygmalions Breadboard diagram.....	59
Σχήμα 4-12: Pygmalions Schematic diagram.....	60

Σχήμα 4-13: Υπολογιστής Raspberry Pi 4 Model a	61
Σχήμα 4-14: Τριαξονικό χειριστήριο Joystick.....	62
Σχήμα 4-15: Κατάλογος ηλεκτρονικών εξαρτημάτων	64
Σχήμα 5-1: Στιγμιότυπα από συνεχές βίντεο δοκιμασίας Pygmalion σε εμπόδια με τροχούς mecanum	65
Σχήμα 5-2: Στιγμιότυπα από συνεχές βίντεο δοκιμασίας Pygmalion σε εμπόδια με πνευματικού τροχούς	67
Σχήμα 6-1: Μπαταρίες κινητήρων - Datasheet page 1	73
Σχήμα 6-2: Μπαταρίες κινητήρων - Datasheet page 2	74
Σχήμα 6-3: Κινητήρες IG52-04 24VDC 285 RPM - Datasheet page 1.....	75
Σχήμα 6-4: Κιβώτιο ταχυτήτων κινητήρων - Datasheet page 1	76
Σχήμα 6-5: Μαγνητικοί encoders κινητήρων - Datasheet page 1	77
Σχήμα 6-6: Motor driver - Datasheet page 1	78
Σχήμα 6-7: Motor driver - Datasheet page 3	79
Σχήμα 6-8: Analog to digital converter - Datasheet page 1	80
Σχήμα 6-9: Robotnik Summit XL Technical specifications datasheet	81
Σχήμα 6-10: Omitech Sanbot Elf specifications datasheet	82

Παραρτήματα

Παράρτημα I - Datasheets	73
Παράρτημα II – Κώδικας.....	83

Λοΐζου Αλέξανδρος

Κεφάλαιο 1

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Βασικές κατηγορίες κινητών ρομπότ

Τα κινητά ρομπότ είναι βασική κατηγορία συστημάτων. Ο σχεδιασμός, η ανάλυση και ο έλεγχός τους αποτελούν πεδίο έρευνας και χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, σε σχέση με το σύστημα κίνησής τους και το περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν. Κάποιες βασικές κατηγορίες αναφέρονται παρακάτω [1], [2], [3], [4].

1.1.1 Βαδίζοντα ρομπότ

Τα βαδίζοντα ρομπότ προσομοιώνουν το βάδισμα του ανθρώπου ή ζώων, ως αντικατάσταση της κίνησης με τροχούς. Η χρήση ποδιών επιτρέπει την εύκολη κίνηση σε άνισες επιφάνειες, σκαλοπάτια και γενικότερα σε περιβάλλοντα τα οποία είναι δύσκολο να επισκεφτεί ένα τροχοφόρο ρομπότ. Επίσης, προκαλούν λιγότερες ζημιές στο έδαφος σε σχέση με τα τροχοφόρα και κυρίως σε σχέση με τα ερπυστριοφόρα ρομπότ [5].



Σχήμα 1-1: Ανθρωπόμορφο βαδίζον ρομπότ 'Asimo'

https://www.researchgate.net/figure/The-Asimo-robot-walking-on-a-flight-of-stairs-2-The-algorithm-was-adapted-to-this_fig4_337707327

Σε αυτήν την κατηγορία είναι και τα εξάποδα (Hexapod) τα οποία προσομοιώνουν έντομα (π.χ. κατσαρίδα) και έχουν παραπάνω από 4 πόδια. Τα πολλαπλά πόδια δίνουν τη δυνατότητα κίνησης ακόμα και σε περιπτώσεις όπου το ένα άκρο υπολειτουργεί ή έχει χαλάσει εντελώς. Αυτό τα καθιστά πιο αξιόπιστα στη μεταφορά αντικειμένων σε άβατα και αφιλόξενα περιβάλλοντα [5].

Μερικά παραδείγματα βαδίζων ρομπότ είναι τα: ASIMO (Σχήμα 1-1) και το BigDog (Σχήμα 1-2)



Σχήμα 1-2: Βαδίζων ρομπότ με τέσσερα πόδια 'BigDog'
<https://robots.ieee.org/robots/bigdog/>

1.1.2 Τροχοφόρα / Ερπυστριοφόρα ρομπότ

Η κυριότερη κατηγορία ρομπότ είναι τα κυλιόμενα. Η χρήση τροχών είναι ο πιο απλός, αξιόπιστος και αποδοτικός (ενεργειακά και πρακτικά) τρόπος κίνησης όταν οι επιφάνειες και το περιβάλλον είναι κατάλληλα. Θεωρητικά και ιδανικά όταν οι τροχοί δεν γλιστράνε και χρησιμοποιούνται έδρανα κύλισης, η απώλεια ενέργειας από τριβές είναι ελάχιστη και κάνουν τα κυλιόμενα ρομπότ πολύ αποτελεσματικά [5].

Ένα κυλιόμενο ρομπότ έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει απλούς τροχούς (standard wheels), mecanum τροχούς, omni τροχούς ή ερπύστριες. Ο κάθε τύπος τροχού έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του, τα οποία αναφέρονται παρακάτω:



Σχήμα 1-3: Κυλιόμενο τροχοφόρο ρομπότ
<http://www.ambot.com/ip-wheel.shtml>

Οι απλοί τροχοί έχουν τα πλεονεκτήματα ότι έχουν χαμηλό κόστος αγοράς και συντήρησης, εύκολο και απλό χειρισμό, λειτουργία σε μεγάλες ταχύτητες, χαμηλές ανάγκες ενέργειας και μεγέθους κινητήρα και σχετικά χαμηλό βάρος σε σχέση με τους άλλους τύπους τροχών στην ίδια διάμετρο. Τα βασικά μειονεκτήματά τους είναι ότι πρέπει να έχουν μεγάλη διάμετρο για να κυλίσουν σωστά σε ανώμαλες επιφάνειες, αλλά γενικότερα αντιμετωπίζουν δυσκολία κίνησης σε ανώμαλα περιβάλλοντα (π.χ., βραχώδη, με ρωγμές & κενά, διαφορετικά υψόμετρα) [6]. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των απλών τροχών είναι σχετικά μεταβλητά γιατί υπάρχουν πολλά μεγέθη, υλικά κατασκευής, ποιότητες κατασκευής και χαρακτηριστικά λόγω της κοινής και ευρείας χρήσης τους.



Σχήμα 1-4: Απλός κοινός φουσκωτός τροχός ρομπότ

Οι ερπύστριες έχουν το πλεονέκτημα να κατανέμουν το βάρος του φορτίου σε μεγαλύτερη επιφάνεια (ιμάντας ερπύστριας), να κινούνται σε ανώμαλες επιφάνειες με βράχους, ρωγμές, κενά, λάσπη (υγρό έδαφος) και γενικότερα έχουν μεγαλύτερη άνεση και πρόσβαση στα πλείστα περιβάλλοντα. Είναι ανθεκτικές σε κτυπήματα, τρυπήματα σε σχέση με όλους τους άλλους τύπους τροχών, δίνουν στο όχημα μεγαλύτερη ευστάθεια στις κινήσεις του και ελαχιστοποιούν την ολίσθηση. Τα βασικά μειονεκτήματά τους είναι το κόστος κατασκευής και συντήρησης, η μέγιστη ταχύτητά τους είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τους απλούς τροχούς, η ενέργεια για την λειτουργία τους είναι πολύ περισσότερη από τους άλλους τύπους τροχών και η απαίτηση καλής κατασκευής για τη σωστή λειτουργία τους (εντατήρες – tensioners), κινητήρες, καθάρισμα των σημείων επαφής εσωτερικά. [6].



Σχήμα 1-5: Ελαστικές ερπύστριες

Οι mecanum τροχοί έχουν το πλεονέκτημα να κινούνται πολυκατευθυντικά (omnidirectional movements). Αυτό για παράδειγμα δίνει τη δυνατότητα σε ένα ρομπότ να κινείται διαγώνια σε σχέση με τη φορά των τροχών. Για να επιτευχθεί τέτοια κίνηση πρέπει ο κάθε τροχός να έχει το δικό του κινητήρα και να ελέγχονται ανεξάρτητα μεταξύ τους αλλά σε συγκεκριμένες ταχύτητες οι οποίες προκύπτουν από υπολογισμούς. Τα βασικά μειονεκτήματα των mecanum είναι το βάρος σε σχέση με τη διάμετρο και την ποιότητα κατασκευής, το κόστος αγοράς και συντήρησης και ο σύνθετος έλεγχός τους. Αντίστοιχα με τους mecanum είναι και οι τροχοί omni με τη βασική διαφορά ότι η κίνησή τους δεν είναι πολυκατευθυντική, αλλά παράλληλη και ταυτόχρονα κάθετη σε σχέση με τον άξονά τους.



Σχήμα 1-6: Mecanum wheel (αριστερά), Omni wheel (δεξιά)

1.1.3 Hopping ρομπότ

Τα hopping robots άρχισαν να κατασκευάζονται γύρω στο 1980 και είναι ένα πολύ μικρό ποσοστό σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους ρομπότ που κατασκευάζονται. Αρχικά κατασκευάστηκαν μερικά με ένα πόδι και έπειτα, μερικά με δύο η τέσσερα πόδια. Η αρχή λειτουργία τους βασίζεται στο γεγονός ότι ένα ευσταθές ρομπότ μπορεί να κρατήσει την ισορροπία του και να κινηθεί πηδώντας από σημείο σε σημείο. Αυτό είναι ένα δυναμικό μοντέλο ρομπότ και απαιτείται ταχεία ανάλυση και υπολογισμοί κλειστού τύπου οι οποίοι εξαρτούνται από τις μετρήσεις πολλαπλών αισθητήρων για κάθε κίνηση όλων των ενεργοποιητών ή τις συνθήκες του περιβάλλοντος [5]. Ένα παράδειγμα hopping robot είναι το ‘MIT Cheetah’ που φαίνεται στο Σχήμα 1-7.



Σχήμα 1-7: Hopping robot 'MIT Cheetah'
<https://news.mit.edu/2019/mit-mini-cheetah-first-four-legged-robot-to-backflip-0304>

1.1.4 Έρποντα ρομπότ

Τα έρποντα ρομπότ σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν αντιγράφοντας την κίνηση του φιδιού, το οποίο έρπει στην επιφάνεια του εδάφους για την μετακίνησή του. Είναι συνηθισμένο μερικά από τα κομμάτια του σκελετού τους να είναι κατασκευασμένα από ελαστικά ή ευλύγιστα υλικά για την διευκόλυνση της κίνησης. Η χρήση των ερπόντων ρομπότ είναι κυρίως για να εξερευνούν περιβάλλοντα τα οποία έχουν περιορισμένο χώρο και δεν μπορούν να έχουν πρόσβαση οι άλλοι τύποι ρομπότ. Για παράδειγμα σε κτίρια τα οποία καταρρέουν και στα συντρίμια μετά από ένα σεισμό ή μία φυσική καταστροφή, ένα ερπετό ρομπότ έχει την ευχέρεια να εισχωρήσει με ασφάλεια για να αναγνωρίσει το καταστρεμμένο πεδίο ή να ψάξει για χαμένους ανθρώπους γρήγορα και αποτελεσματικά πριν από όποιο άλλο ρομπότ ή άνθρωπο [5].



Σχήμα 1-8: Ερπετό ρομπότ 'SnakeBot'
<https://makezine.com/2010/12/01/mil-spec-snake-robot/>

1.1.5 Υποβρύχια ρομπότ

Τα υποβρύχια ρομπότ είναι σημαντική κατηγορία ρομπότ τα οποία βοήθησαν και βοηθούν τον άνθρωπο να εξερευνήσει και να ανακαλύψει τη ζωή σε βυθούς κυρίως, πράγμα το οποίο είναι πρακτικά ακατόρθωτο από τον ίδιο. Το πρώτο αυτόνομο υποβρύχιο ρομπότ κατασκευάστηκε το 1957 στο πανεπιστήμιο της Ουάσιγκτον για σκοπούς έρευνας και εύρεση βυθισμένων υποβρυχίων. Στη συνέχεια άρχισαν να κατασκευάζονται αρκετά υποβρύχια ρομπότ για στρατιωτικούς σκοπούς (εκπαίδευση

προσωπικού κ.ά.), εξερεύνηση (βυθοί θαλασσών και λιμνών παγκοσμίως κ.ά.) και διάσωση ανθρώπων (ζωντανών ή μη) από βυθισμένα υποβρύχια και αεροπορικά δυστυχήματα τα οποία κατέληγαν στη θάλασσα [5], [7]. Ο τρόπος κίνησης και πλεύσης στο νερό επιτυγχάνεται κατά το πλείστον με τη χρήση κινητήρων στους οποίους τοποθετούνται προπέλες (τυπικές ή jet), κινούμενων πτερυγίων και ροής νερού με τη χρήση μηχανών jet. Τα υλικά κατασκευής είναι κυρίως υλικά τα οποία αντιστέκονται στη διάβρωση η οποία προκαλείται και επιταχύνεται σε αυξημένο βαθμό στο νερό (ακόμη περισσότερο σε αλμυρό νερό). Είναι εξοπλισμένα με πολλαπλούς αισθητήρες ακριβείας οι οποίοι τα βοηθάνε να κρατάνε μια ισορροπημένη πλεύση/κολύμβηση και όλα τα ηλεκτρονικά στοιχεία είναι απόλυτα μονωμένα για να μην έρχονται σε επαφή με το νερό (αποφυγή βραχυκυκλωμάτων). Έτσι, το κόστος κατασκευής τους είναι υψηλό όπως και η μελέτη, ο σχεδιασμός και ο έλεγχός τους είναι αντίστοιχα δύσκολος [5], [7], [8], [9].



Σχήμα 1-9: Αυτόνομο υποβρύχιο ρομπότ 'CSIRO'

<https://robotglobe.org/autonomous-underwater-vehicles-market-worth-343-4-million-usd-by-2020/>

1.1.6 Υβριδικά ρομπότ

Τα υβριδικά ρομπότ έχουν αρχίσει να εμφανίζονται τις τελευταίες δεκαετίες και συνδυάζουν δύο ή παραπάνω κατηγορίες ρομπότ σε ένα. Μερικά παραδείγματα είναι το 'walk and roll' της NASA το οποίο είναι ένα ρομπότ με τέσσερα πόδια, τα οποία στο άκρο τους έχουν ελεγχόμενους τροχούς, όπως και το 'ACM-R5 Snake robot' το οποίο έχει τη δυνατότητα να έρπει και να κολυμπά [5].



Σχήμα 1-10: Υβριδικό ρομπότ 'ACM-R5 Snake Robot'

<https://laughingsquid.com/a-slithering-snake-robot-that-can-swim-underwater-with-unsettling-ease/>

1.2 Κύρια συστήματα ενός ρομπότ

1.2.1 Σύστημα φρεναρίσματος/κίνησης

Το σύστημα πέδησης και κατ' επέκταση το σύστημα κίνησης ενός ρομπότ αποτελείται κυρίως από στοιχεία κύλισης ή προέκτασης, τα οποία συνδέονται άμεσα με τους ενεργοποιητές (κινητήρες/έμβολα) έτσι ώστε να είναι εφικτή η κίνηση. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες κινητών ρομπότ οι οποίες χρησιμοποιούν διαφορετικά συστήματα πέδησης και κίνησης, ανάλογα με την χρήση και το περιβάλλον λειτουργίας τους, οι οποίες επεξηγούνται παραπάνω με τα θετικά και τα αρνητικά τους [5].

1.2.2 Σύστημα παροχής και αποθήκευσης ενέργειας

Όπως όλα τα κινητά συστήματα και μηχανισμοί έτσι και τα ρομπότ (κινητά ή μη, αυτόνομα ή μη) έχουν τη βασική ανάγκη της παροχής και αποθήκευσης ενέργειας, η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή της δύναμης/ροπής στους ενεργοποιητές και τη λειτουργία των αισθητήρων και ηλεκτρονικών στοιχείων. Παρακάτω αναφέρονται οι βασικοί τρόποι για να παρέχεται αυτή η ενέργεια.

Σταθερή πηγή ενέργειας είναι ένα τροφοδοτικό το οποίο συνδέεται στο βύσμα του ηλεκτρικού δικτύου και παρέχει τάση στο ρομπότ. Τις πλείστες φορές τα ρομπότ που δοκιμάζονται σε εργαστήρια τροφοδοτούνται από τέτοια τροφοδοτικά. Δίνεται η δυνατότητα για ρύθμιση και παρακολούθηση της τάσης και του ρεύματος.

Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται κατά κόρον σχεδόν σε όλα τα κινητά ρομπότ που κατασκευάστηκαν, είναι επαναφορτιζόμενες και μπορούν να φορτιστούν εύκολα από ένα τροφοδοτικό. Διακρίνονται από τα βασικά χαρακτηριστικά τους που είναι η τάση λειτουργίας, η χωρητικότητα, ο χρόνος φόρτισης, ο χρόνος αποφόρτισης εκτός φορτίου και το υλικό κατασκευής τους το οποίο επηρεάζει όλα τα προηγούμενα, συμπεριλαμβανομένου το βάρος και την τιμή που είναι επίσης πολύ σημαντικοί παράγοντες [10].

Τα φωτοβολταϊκά είναι πηγή ενέργειας η οποία για να λειτουργήσει είναι αναγκαία η ύπαρξη ηλιακών ακτινών. Η παραγόμενη ενέργεια συνήθως παρέχεται στη μπαταρία και την φορτίζει, έπειτα οι μπαταρίες τροφοδοτούν τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά του ρομπότ. Τα φωτοβολταϊκά εφαρμόζονται περισσότερο σε γεωργικά ρομπότ, διαστημικά ρομπότ και αυτόνομα θαλάσσια ρομπότ [10].

Οι κυψέλες καυσίμου είναι πιθανή αντικατάσταση για τις χημικές μπαταρίες που προαναφέρθηκαν. Παράγουν ενέργεια συνδυάζοντας αέριο υδρογόνου, μεθανόλη ή άλλα αλκοολούχα με οξυγόνο. Προς το παρόν οι κυψέλες καυσίμου είναι πολύ ακριβές και είναι ασύμφορο να χρησιμοποιούνται σε τυπικά ρομπότ. Επίσης, η χρήση αυτών των εύφλεκτων υλικών πρέπει να είναι πολύ προσεκτική γιατί ειδικά το αέριο υδρογόνου είναι άοσμο και σε κάποιες περιπτώσεις εκρηκτικό [10].

Η μηχανική ενέργεια είναι από τους πρώτους τύπους ενέργειας που αποθηκεύεται σε μηχανισμούς γενικότερα. Ένα απλό ελατήριο για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επαναφέρει ένα στοιχείο (επενεργοποιητή) στην αρχική του θέση. Επίσης η αποθήκευση κινητικής ενέργειας σε αναρτημένες μάζες είναι πολύ σύνηθες και επιλύει πολλά προβλήματα για την καταπολέμηση της αδράνειας [10].

Η πνευματική ενέργεια (αέρας) χρησιμοποιείται σε ρομπότ τα οποία κινούνται με τη χρήση πνευματικών εμβόλων ή κινητήρων. Αποθηκεύεται σε κυλίνδρους αέρα και μπορεί να παραχθεί εύκολα με ένα συμπιεστή ο οποίος τροφοδοτείται από σταθερή πηγή ενέργειας ή μπαταρίες. Για παράδειγμα, η λειτουργία ενός πνευματικού εμβόλου βαρέως τύπου χρειάζεται λιγότερη ενέργεια από τη μπαταρία η οποία θα τροφοδοτήσει τον συμπιεστή, παρά να τροφοδοτούσε ένα ηλεκτρικό έμβολο βαρέως τύπου για την ίδια εργασία [10].

1.2.3 Σύστημα ελέγχου

Το σύστημα ελέγχου ενός ρομπότ αποτελείται από τον υπολογιστή (επεξεργαστή), τους αισθητήρες και τα ηλεκτρονικά στοιχεία για τη λειτουργία τους. Ο έλεγχος είναι εφικτό να υλοποιηθεί με αρκετούς τρόπους ανάλογα με τη χρήση του ρομπότ. Οι δύο βασικοί τρόποι είναι ο έλεγχος ανοικτού βρόχου και ο έλεγχος κλειστού βρόχου [11].

Τα συστήματα ανοικτού βρόχου εφαρμόζονται σε ρομπότ στα οποία δεν υπάρχουν αισθητήρες οι οποίοι να δίνουν ζωντανό σήμα στον ελεγκτή κατά την εκτέλεση της εντολής που στέλνει στους ενεργοποιητές ο επεξεργαστής, με αποτέλεσμα η βασική εντολή να εκτελείται αγνοώντας τις συνθήκες τους περιβάλλοντος. Τις πλείστες φορές ο επεξεργαστής λαμβάνει ένα αριθμό μετρήσεων από τους αισθητήρες και υπολογίζει την τελική εντολή με αυτές. Τα ρομπότ με σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόχου είναι εύκολο να προγραμματιστούν για σταθερά επανειλημμένες εργασίες, οι οποίες σε φυσιολογική λειτουργία δεν επηρεάζονται από εξωτερικές συνθήκες. Το βασικό

μειονέκτημά τους είναι η εκτέλεση εργασιών σε ανοικτό περιβάλλον, όπου οι συνθήκες που περιβάλλουν το ρομπότ δεν είναι σταθερές [11].

Τα συστήματα κλειστού βρόχου εφαρμόζονται στα ρομπότ τα οποία ο επεξεργαστής λαμβάνει τις μετρήσεις από τους αισθητήρες, υπολογίζει εντολή για το πρώτο βήμα τον ενεργοποιητή, έπειτα από ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα (ms) λαμβάνει ξανά τις μετρήσεις (ανάδραση) και υπολογίζει το επόμενο βήμα. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται (loop) έως ότου ο ενεργοποιητής φτάσει στην επιθυμητή θέση. Σχεδόν όλα τα ρομπότ τα οποία εργάζονται σε μεταβλητές συνθήκες χρησιμοποιούν σύστημα κλειστού βρόχου, το οποίο τα βοηθάει να προσαρμόζονται σε αυτό το περιβάλλον. Ο έλεγχος κλειστού βρόχου είναι περισσότερο περίπλοκος από τον ανοικτό βρόχο. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για τους υπολογισμούς αυτού του ελέγχου με διαφορετικούς τρόπους διαχείρισης του σφάλματος το οποίο συσσωρεύεται, αλλά απαιτούν καλύτερο επεξεργαστή με μεγαλύτερη ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία του [11].

1.3 Παραδείγματα από υφιστάμενα ρομπότ

Σε αυτό το υποκεφάλαιο εξηγούνται δύο υφιστάμενα τροχοφόρα ρομπότ τα οποία προσφέρονται στην αγορά κατά το διάστημα που μελετήθηκε και κατασκευάστηκε το Pygmalion. Για το κάθε ρομπότ δίνονται μερικές γενικές πληροφορίες και οι προδιαγραφές του.

1.3.1 Robotnik Summit XL

Το SUMMIT-XL είναι μια ρομποτική πλατφόρμα για την ανάπτυξη εφαρμογών (π.χ., logistics, εσωτερικές μεταφορές). Η φορητή πλατφόρμα κινείται με skid steering και omnidirectional kinematics που βασίζεται σε τέσσερις κινητήρες υψηλής ισχύος. Οι κινητήρες είναι brushless, με κιβώτιο ταχυτήτων και encoder, και ενσωματώνονται ο καθένας στον τροχό του. Το ρομπότ είναι ικανό να σκαρφαλώσει σε μέγιστη κλίση 80%. Οποιαδήποτε μεγαλύτερη κλίση μπορεί να αποσταθεροποιήσει το ρομπότ, να προκαλέσει την ανατροπή του και να βλάψει τον εαυτό του ή να τραυματίσει κάποιον [12].

Το SUMMIT-XL μπορεί να δεχθεί δύο αισθητήρες 2D laser σε δύο από τις γωνίες του, κάτι που του δίνει εύρος όρασης 360°. Το εύρος όρασης ανιχνεύει οποιοδήποτε εμπόδιο βρίσκεται σε ύψος 300 mm από το έδαφος. Αυτό, του δίνει τη δυνατότητα να ενεργοποιεί έναν διακοπή έκτακτης ανάγκης όταν ανιχνεύει εμπόδιο σε απόσταση 1000 mm. Επίσης μπορεί να δεχθεί κάμερα 3D για να βελτιώσει τις λειτουργίες του. Αυτή η προαιρετική συσκευή προσθέτει ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά, όπως ανίχνευση εμποδίων, θέση ρομπότ ή ανάγνωση δεικτών QR [12].

Οι προγραφές του είναι: διαστάσεις 720X613X392[mm], βάρος 45 κιλά, φορτίο μεταφοράς 20 κιλά, ταχύτητα 3 m/s. Περισσότερες προδιαγραφές αναφέρονται στο Παράρτημα I [12].



Σχήμα 1-11: Τροχοφόρο ρομπότ Robotnik Summit XL
<https://www.manualslib.com/products/Robotnik-Summit-XI-9064876.html>

1.3.2 Omitech Sanbot Elf

Μία σημαντική εφαρμογή των ρομπότ αφορά τη χρήση σαν νοσηλευτές σε νοσοκομειακό περιβάλλον ή ως βοηθοί υποστήριξης ηλικιωμένων σε οικιακό περιβάλλον [13], [14], [15]. Παρακάτω αναφέρεται ένα υφιστάμενο βοηθητικό ρομπότ.

Το Sanbot Elf είναι ένα ρομπότ το οποίο κατασκευάστηκε στην Ιταλία με σκοπό να εργάζεται σαν βοηθός του ανθρώπου σε κλειστούς χώρους. Παρέχει τηλεχειριστήριο κινήσεων, βιντεοκάμερες, εκφράσεις προσώπου, σύστημα ανίχνευσης και προβολέα. Βρίσκει εφαρμογή σε καταστήματα λιανικού εμπορίου, στη φιλοξενία, στην εκπαίδευση και στην υγειονομική περίθαλψη [16].

Συγκεκριμένα στον τομέα της περίθαλψης, το Sanbot υποστηρίζει την υποδοχή ασθενών στο νοσοκομείο, βοηθώντας στη συμπλήρωση εντύπων, δέχεται λειτουργίες ελέγχου για να βοηθήσει τον γιατρό ή τη νοσοκόμα παρακολουθώντας τον καρδιακό ρυθμό ή άλλα ζωτικά σημεία του ασθενή. Βοηθά στη φροντίδα των ανθρώπων, υπενθυμίζοντάς τους να πάρουν κάποιο φάρμακο ή ένα ραντεβού με το γιατρό. Κατά το 2020, το Sanbot δοκιμάστηκε σε νοσοκομεία της Ιταλίας για την βοήθεια στην καταπολέμηση και διασπορά του Covid19 [16].

Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι: διαστάσεις 920X300X400 mm, βάρος 19 kg, δυνατότητα λειτουργίας 10 ώρες ανά φόρτιση, βαθμοί ελευθερίας: περιστροφή βάσης 360 μοίρες, περιστροφή κεφαλιού 180 μοίρες, αισθητήρες: αφής, υπέρυθρων, αναγνώριση αντικειμένων, περιφερειακά: οθόνη αφής, προβολέας, Wi-Fi, και ηχεία. Περισσότερες πληροφορίες υπάρχουν στο Παράρτημα I [16].



Σχήμα 1-12: Omitech Sanbot Elf σαν βοηθός νοσοκομείου
<https://robot.omitech.it/en/sanbot-elf/>

1.4 Ρομπότ και άνθρωπος

Ερευνητές οι οποίοι έχουν μελετήσει ανθρωπολογία, βιολογία και παράλληλα μελέτησαν ρομποτικά συστήματα, μπορούν να διακρίνουν ότι ο άνθρωπος είναι ίσως το πιο ισορροπημένο ‘ρομπότ’ που κατασκευάστηκε ποτέ. Τα ρομπότ χρησιμοποιούν, όχι όλα, αλλά τα κυριότερα μέρη ενός ανθρώπου. Ανάλογα με τον τύπο του ρομπότ και την χρήση του, μερικά στοιχεία αντιγράφονται από τον άνθρωπο ακριβώς, και μερικά βελτιστοποιούνται για να εξυπηρετήσουν έναν εξειδικευμένο σκοπό.

Τα στοιχεία τα οποία διαφέρουν από τα ανθρώπινα και βελτιστοποιούνται, είναι το αίτιο που τις πλείστες φορές επηρεάζει την ισορροπία ενός ρομπότ. Μία αντιστοίχιση των κυριότερων στοιχείων ενός ρομπότ από έναν άνθρωπο είναι:

- Επενεργητές : Μύες
- Επεξεργαστής/ Υπολογιστική ισχύς : Εγκέφαλος
- Ψηφιακή μνήμη : Ανθρώπινη μνήμη
- Ηλεκτρική ενέργεια/Πνευματική ισχύς/Υδραυλική ισχύς : Ανθρώπινη ενέργεια
- Μηχανικές αρθρώσεις : Ανθρώπινες αρθρώσεις
- Μηχανικοί σύνδεσμοι/Σκελετός ρομπότ : Κόκκαλα (Σκελετός ανθρώπου)
- Μηχανικά στοιχεία κίνησης (τροχοί/πόδια/ερπύστριες/πτερύγια) : Πόδια
- Μηχανικές/Ρομποτικές αρπάγες : Χέρια
- Αισθητήρες : Ανθρώπινες αισθήσεις
- Μέσα μετάδοσης κίνησης (γρανάζια/μάντες/σχοινία) : Τένοντες/Νεύρα

Για ένα βιομηχανικό ρομπότ, το οποίο αντικαθιστά απλή χειρονακτική εργασία ενός εργάτη, και από το οποίο απαιτείται να είναι στιβαρό, να έχει ακρίβεια, επαναληψιμότητα και να έχει δυνατότητα απλών κινήσεων, δεν τίθεται θέμα με το πρόβλημα της ισορροπίας, γιατί τα βιομηχανικά ρομπότ εργάζονται σε περιβάλλον στο οποίο δεν υπάρχουν άνθρωποι ή είναι εγκατεστημένα σε σταθερά σημεία.

Ανεξάρτητα με τη βιομηχανία, τις τελευταίες δύο δεκαετίες, τα ρομπότ μπαίνουν ολοένα και περισσότερο στη ζωή του ανθρώπου. Υπάρχει η ανάγκη της χρήσης τους σε χώρους εργασίας όπου καλούνται να εκτελέσουν εντολές που μέχρι σήμερα ήταν δύσκολο να εκτελεστούν. Αυτό μπορεί να σημαίνει αρκετά πράγματα:

- Περιβάλλον εργασίας κοινό με ανθρώπους
- Συνδυασμός εντολών από ένα ρομπότ, όπως τις εκτελεί ο άνθρωπος
- Ανάγκη αναγνώρισης αντικειμένων, όπως τα αναγνωρίζει ο άνθρωπος
- Επιδεξιότητα και προσαρμοστικότητα στην κίνηση
- Όλα τα παραπάνω σε συνεργασία με τον άνθρωπο

Οι ανάγκες όμως της κοινωνίας δεν σταματούν εδώ, οι ερευνητές πλέον καλούνται να κατασκευάσουν ρομπότ τα οποία θα αντικαθιστούν μέρος του ανθρώπου ή θα είναι επιπρόσθετο μέρος του ανθρώπου. Αυτό ανέβασε τον πήχη πολύ ψηλά, και λόγω αυτού, άρχισε ο συνδυασμός διαφορετικών επιστημών.

1.5 Μέτρα ασφαλείας για ρομπότ

Σε αυτό το υποκεφάλαιο επεξηγούνται μερικά μέτρα ασφαλείας στα οποία υπάρχουν προληπτικά στους χώρους εργασίας των ρομπότ ή στα ρομπότ τα ίδια. Κάθε ρομπότ πρέπει να προστατεύεται και να προστατεύει τους ανθρώπους και το χώρο εργασίας του.

1.5.1 Αισθητήρες

Οι αισθητήρες πέραν από την γενική χρήση εισαγωγής πληροφορίας στο σύστημα του ρομπότ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μέτρο ασφαλείας. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας υπερύθρων/laser/χωρητικός ή μαγνητικός μπορεί να αναγνωρίσει αντικείμενα σε συγκεκριμένη απόσταση και εύρος στον περίγυρο του ρομπότ, με αποτέλεσμα ο επεξεργαστής να σταματήσει όλες τις κινήσεις και εργασίες ακαριαία για να μην συγκρουστεί με το αντικείμενο το οποίο ανιχνεύτηκε. Αυτό το μέτρο ασφαλείας χρησιμοποιείται σε όλα τα ρομπότ (βιομηχανικά/τροχοφόρα/κινητά όλων των τύπων) ευρέως.

1.5.2 Κουβούκλια

Αυτή η τεχνική υφίσταται κυρίως σε βιομηχανικά ρομπότ υψηλής ισχύος τα οποία μπορούν να σκοτώσουν κάποιον άνθρωπο ή να τραυματίσουν τον εαυτό τους σε περίπτωση σύγκρουσης. Το ρομπότ περικλείεται σε ένα κουβούκλιο το οποίο αποτρέπει αντικείμενα και ανθρώπους να έρθουν σε επαφή η κοντινή απόσταση.

1.5.3 Οπτικές κουρτίνες

Οι οπτικές 'κουρτίνες' είναι σειρά από οπτικούς αισθητήρες οι οποίοι μόλις αναγνωρίσουν κάποια κίνηση ή αντικείμενο δίνουν εντολή για την ακαριαία παύση όλων των εργασιών και κινήσεων του ρομπότ. Είναι ένα μέτρο το οποίο χρησιμοποιείται στην βιομηχανία και συνήθως σε συνεργασία με τα κουβούκλια.

1.5.4 Emergency button

Το emergency button είναι ένας διακόπτης ο οποίος τοποθετείται πάντα σε προφανές/εμφανές σημείο και μόλις ενεργοποιηθεί αναστέλλει όλες τις κινήσεις του ρομπότ.

1.5.5 Οπτική αναγνώριση

Ένα πολύ σύνηθες μέτρο ασφαλείας είναι η εγκατάσταση ενός φάρου ή μίας σημαίας στην περιφέρεια ή σε ύψος πάνω στο ρομπότ, έτσι ώστε ο χρήστης ή οι άνθρωποι στο χώρο εργασίας να μπορούν να διακρίνουν το ρομπότ όταν κινείται.

Κεφάλαιο 2

2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ PYGMALION

2.1 Προδιαγραφές σχεδίασης

Η μελέτη και κατασκευή ενός ρομποτικού συστήματος το οποίο θα εξυπηρετεί ένα χώρο, για παράδειγμα με ασθενείς ή ανθρώπους γενικότερα, βρίσκει νόημα μόνο εάν έχει την πραγματική δυνατότητα να εξυπηρετήσει τους ανθρώπους οι οποίοι εργάζονται σε αυτόν τον χώρο ή τον τελικό χρήστη. Η κατασκευή ενός μη-πρακτικού ή δύσχρηστου εργαλείου δεν είναι ο στόχος αυτής της διατριβής. Έτσι, έχει μεγάλη σημασία να μελετηθούν τα αντίστοιχα υφιστάμενα ρομπότ που δουλεύουν σε αυτόν τον τομέα. Παρακάτω αναφέρονται οι προδιαγραφές σχεδίασης:

- Ευελιξία
- Ευκινησία
- Δυνατότητα κίνησης με τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς τροχών
- Έλεγχος με τηλεχειριστήριο
- Δυνατότητα αυτόνομου έλεγχου
- Δυνατότητα εγκατάστασης περιφερειακών υποσυστημάτων στην πλατφόρμα του Pygmalion
- Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες & λειτουργία χωρίς καλώδιο παροχής τάσης
- Τρία σημεία ασφαλείας: Σημαία για οπτικό εντοπισμό, αισθητήρες για αυτόματο σταμάτημα σε περίπτωση λάθος χειρισμού, κουμπί έκτακτης ανάγκης για αποκοπή όλων των κινήσεων στους κινητήρες ακαριαία

1. **Κινητή πλατφόρμα:** Η όλη κατασκευή θα λαμβάνει χώρο πάνω σε 'πλατφόρμα' η οποία θα κινείται με τέσσερις τροχούς. Αυτή η πλατφόρμα θα μελετηθεί έτσι ώστε να έχει αρκετό χώρο για να μπορεί να παραλάβει το φορτίο για τις τελικές ανάγκες. Το περιβάλλον λειτουργίας του ρομπότ δεν είναι σε καμία περίπτωση περιβάλλον που χρειάζεται να τρέχει κάποιος, άρα το ρομπότ δεν θα μελετηθεί με σκοπό να αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες ή επιταχύνσεις. Θα δοθεί σημασία στη στιβαρότητα της κατασκευής, για να αποφευχθούν οι

όποιες αστάθειες που θα επιτρέπουν στην πλατφόρμα να ανατραπεί από τους τροχούς της, όπως για παράδειγμα μέσα σε ένα περιβάλλον με ασθενείς.

- 2. Σύστημα κίνησης:** Το σύστημα κίνησης θα αποτελείται από ένα ηλεκτρικό κινητήρα για κάθε τροχό της πλατφόρμας. Ο κινητήρας θα συνδέεται απευθείας με τον τροχό όπου θα περιστρέφει, χωρίς κάποιο εξωτερικό μηχανικό μειωτήρα ταχυτήτων. Η σύνδεση θα είναι απλή με την χρήση δύο γραναζιών ή ενός ιμάντα, για την αποφυγή της μελλοντικής προβληματικής λειτουργίας ή ανάγκη μεγάλης συντήρησης.

Η κίνηση θα γίνεται από όλους τους τροχούς ταυτόχρονα, αυξομειώνοντας την ταχύτητα περιστροφής κάθε τροχού ξεχωριστά με την χρήση ενός επεξεργαστή, που θα δίνει εντολές στους κινητήρες. Με την επιλογή των κατάλληλων ελαστικών, για να μειωθεί η ολίσθηση των τροχών σε σχέση με το δάπεδο, θεωρείται ότι το αποτέλεσμα θα είναι πλήρως ικανοποιητικό για την παρούσα κατασκευή.

- 3. Αισθητήρες:** Οι αισθητήρες είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την σωστή λειτουργία κάθε ρομπότ ή μίας ηλεκτρομηχανολογικής κατασκευής. Δίνουν την δυνατότητα στον εγκέφαλο (επεξεργαστή) του ρομπότ αρχικά να παίρνει μερικές βασικές πληροφορίες από το περιβάλλον του, έτσι ώστε να προσπαθεί να βελτιστοποιήσει την επόμενη κίνησή του. Επίσης μέσω των αισθητήρων θα λάβει την ανάδραση από το περιβάλλον μετά από κάθε κίνηση. Οι αισθητήρες της πλατφόρμας θα είναι ξεχωριστοί από τους αισθητήρες οι οποίοι θα χρησιμοποιούνται από τους μηχανισμούς κάθε πιθανής λειτουργίας που θα εγκατασταθεί πάνω στην πλατφόρμα μελλοντικά. Επίσης θα τοποθετηθούν κάποιοι αισθητήρες ασφαλείας, οι οποίοι θα συνεργάζονται με τους κινητήρες, για να περιοριστούν οι πιθανότητες σύγκρουσης του ρομπότ με κάποιο αντικείμενο ή άνθρωπο.

- 4. Χειρισμός / Τηλεχειρισμός:** Ο χειρισμός του ρομπότ θα γίνεται μέσω ενός τηλεχειριστήριου το οποίο θα είναι συνδεδεμένο με τον επεξεργαστή του ρομπότ. Οι εντολές θα μεταφέρονται από το τηλεχειριστήριο στον επεξεργαστή μέσω ενός καλωδίου με μελλοντική δυνατότητα αναβάθμισης και μεταφορά των σημάτων μέσω διαδικτυακού πομπού και λήπτη.

- 5. Τροφοδοσία:** Η τροφοδοσία της πλατφόρμας και των εργαλείων γίνεται με μπαταρίες μολύβδου οι οποίες είναι τοποθετημένες στην πλατφόρμα του ρομπότ. Ένας από τους μελλοντικούς στόχους (προς ανάπτυξη) είναι το ρομπότ να έχει θέση όπου θα γνωρίζει και θα μπορεί να οδηγεί τον εαυτό του για επαναφόρτιση.
- 6. Έλεγχος & προγραμματισμός:** Ο έλεγχος και προγραμματισμός του συστήματος θα γίνεται με την χρήση ενός υπολογιστή/ επεξεργαστή Raspberry Pi [17]. Αυτοί οι επεξεργαστές είναι ευρέως αναγνωρισμένοι και χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, λόγω της αξιοπιστίας τους και των πολλαπλών δυνατοτήτων που παρέχουν. Περισσότερες πληροφορίες για τον έλεγχο και τον προγραμματισμό υπάρχουν παρακάτω, όπου εξηγείται αναλυτικά η λειτουργία του χειριστηρίου joystick, και ο κώδικας που τρέχει ο επεξεργαστής.
- 7. Ασφάλεια:** Όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, το Pygmalion θα παρέχει τρία μέτρα ασφαλείας. Αρχικά ένας αισθητήρας με υπέρυθρες ο οποίος αναγνωρίζει αντικείμενα σε απόσταση ενός μέτρου, και αναστέλλει την κίνηση των τροχών (από τον κώδικα), ένα emergency button το οποίο σε περίπτωση χρήσης παύει την παροχή τάσης (από τις μπαταρίες) στα motor drivers και τέλος, σημαία σε ψηλό και εμφανές σημείο έτσι ώστε να υπάρχει ταχύτερη οπτική αναγνώριση του ρομπότ από τους ανθρώπου στο χώρο.

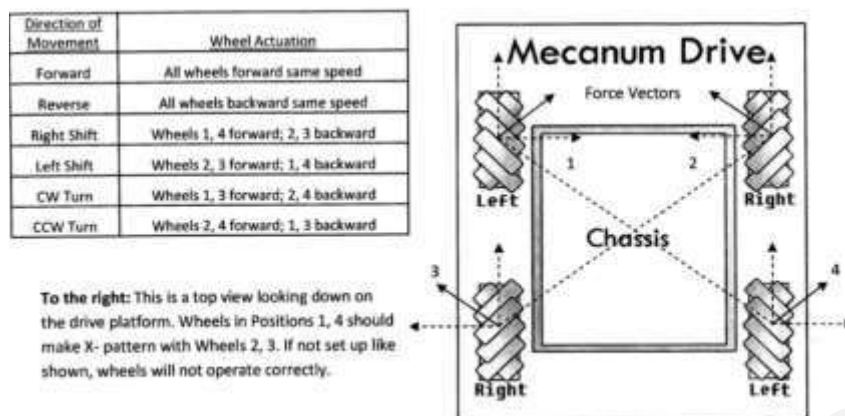
2.2 Σύστημα κίνησης και επιλογή εξαρτημάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται ο υπολογισμός και η επιλογή των κυρίων μηχανολογικών εξαρτημάτων (έδρανα, τροχαλίες, μάντες, κ.ά.). Για το κάθε εξάρτημα αναφέρονται πληροφορίες όπως διαστάσεις, υλικό κατασκευής και τρόπος λειτουργίας. Έπειτα, στο κομμάτι του σχεδιασμού παρουσιάζονται εικόνες από το τρισδιάστατο μοντέλο του Pygmalion, υπό διάφορες γωνίες, το οποίο υλοποιήθηκε στο σχεδιαστικό λογισμικό PTC Creo parametric 3.

2.2.1 Σύστημα κίνησης

Το Pygmalion σχεδιάστηκε για να μπορεί να λειτουργήσει με τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς τροχών. Ο κάθε συνδυασμός παρέχει διαφορετικές δυνατότητες και απαιτεί διαφορετικό προγραμματισμό και έλεγχο. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά αυτοί οι συνδυασμοί:

- 1. Τέσσερις τροχοί απλού τύπου:** Ο πρώτος συνδυασμός αποτελείται από τέσσερις τροχούς απλού τύπου, οι οποίοι θα παίρνουν κίνηση από τέσσερις ηλεκτρικούς κινητήρες αντίστοιχα. Οι τροχοί έχουν διάμετρο 15 cm, είναι φουσκωτοί και το υλικό τους είναι λάστιχο. Η κατεύθυνση του Pygmalion με τους τέσσερις τροχούς θα γίνεται με skid steering, δηλαδή ο κάθε ένα τροχός θα έχει ανεξάρτητη κίνηση από τους άλλους, και ανάλογα με τη στροφή ο κάθε κινητήρας θα περιστρέφεται με διαφορετική ταχύτητα. Το skid steering θα εφαρμοστεί και στους τέσσερις τροχούς έτσι ώστε να είναι εφικτή η περιστροφή του ρομπότ και γύρω από τον κεντρικό άξονά του.
- 2. Τέσσερις τροχοί mecanum:** Ο δεύτερος συνδυασμός αποτελείται από τέσσερις τροχούς τύπου mecanum, οι οποίοι θα παίρνουν κίνηση από τους τέσσερις ηλεκτρικούς κινητήρες όπως ο πρώτος συνδυασμός. Η χρήση των τροχών mecanum δίνει στο Pygmalion περισσότερη ευελιξία και ευστάθεια κινήσεων, με αποτέλεσμα να είναι εξαιρετικά χρήσιμοι σε νοσοκομεία, γραφεία, στενούς χώρους και για φροντίδα ηλικιωμένων [19].



Σχήμα 2-1: Περιγραφή πέδησης τροχών τύπου mecanum

- 3. Δύο τροχοί απλού τύπου & ένας τροχός castor:** Ο τρίτος συνδυασμός αποτελείται από δύο τροχούς απλού τύπου και ένα τροχό τύπου castor. Οι δύο απλοί τροχοί είναι τοποθετημένοι στο μπροστινό μέρος του ρομπότ, και τροφοδοτούνται από δύο κινητήρες αντίστοιχα. Ο τροχός τύπου castor είναι τοποθετημένος στη μέση του πίσω μέρους του ρομπότ. Η κίνηση αυτού του συνδυασμού γίνεται με skid steering όπως και στον πρώτο συνδυασμό. Το μειονέκτημα σε σχέση με τον πρώτο συνδυασμό είναι ότι οι κινήσεις του ρομπότ δεν θα είναι τόσο σταθερές και δεν θα υπάρχει η δυνατότητα περιστροφής του ρομπότ γύρω από τον κεντρικό άξονά του. Το πλεονέκτημα είναι η σημαντική απώλεια βάρους από τους δύο κινητήρες και τις μπαταρίες για την τροφοδοσία τους, η μειωμένη ανάγκη ενέργειας για τη λειτουργία του και ο πιο απλός έλεγχος και προγραμματισμός του ρομπότ.



Σχήμα 2-2: Πνευματικοί τροχοί απλού τύπου και τύπου castor που εφαρμόστηκαν στο Pygmalion

Η κίνηση με skid steering χρησιμοποιείται ευρέως στα κινητά τροχοφόρα και ερπυστριοφόρα ρομπότ. Η κίνηση με αυτόν τον τρόπο βασίζεται στον έλεγχο των σχετικών ταχυτήτων των τροχών του δεξιού και αριστερού μέρους του οχήματος. Το στρίψιμο του ρομπότ απαιτεί ολίσθηση των τροχών στην επιφάνεια του εδάφους. Το skid steering παρέχει υψηλή ευελιξία κινήσεων χωρίς να χρειάζεται περίπλοκη μηχανική δομή, αφήνοντας στο όχημα περισσότερο χώρο. Επιπλέον, έχει καλή κινητικότητα σε διάφορα εδάφη, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για αποστολές σε παντός εδάφους πεδία. Ωστόσο, η ανάπτυξη κινηματικών και δυναμικών μοντέλων που μπορούν να περιγράψουν με ακρίβεια την κίνηση του οχήματος είναι δύσκολη. Επίσης, είναι πολύ δύσκολο από την κινηματική του ολισθαίνοντος οχήματος να προβλεφτεί η ακριβής κίνηση του οχήματος μόνο από τις εισόδους ελέγχου του. Η ύπαρξη πέδησης βασιζόμενη στην ολίσθηση, άρα κατ' επέκταση στην τριβή, κάνει το skid steering ενεργοβόρο και προκαλεί φθορές στα ελαστικά του οχήματος [18].

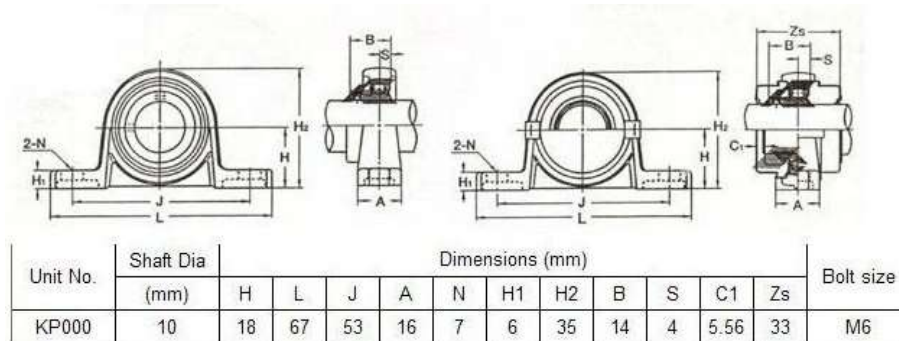
2.2.2 Στοιχεία μηχανών

1. Έδρανα κύλισης

Ο κάθε άξονας στον οποίο είναι πακτωμένος ένας τροχός, εδράζεται μεταξύ δύο ένσφαιρων εδράνων κύλισης με βάση τύπου ωμέγα. Το μοντέλο του εδράνου είναι KP000 με εσωτερική διάμετρο (bore diameter) 10 mm. Αυτό το μοντέλο εδράνου είναι κατασκευασμένο από κράμα αλουμινίου με ψευδάργυρο, το οποίο το κάνει πολύ ελαφρύ αλλά ταυτόχρονα ανθεκτικό και στιβαρό. Επίσης, το KP000 έχει την ιδιότητα να αυτο-κεντράρεται (self-adjusted bore), έτσι ώστε να επιτρέπει ομαλή περιστροφή του άξονα ο οποίος εδράζεται σε δύο σημεία σε απόσταση.



Σχήμα 2-3: Ένσφαιρο έδρανο κύλισης σε βάση τύπου ωμέγα (Ω)



Σχήμα 2-4: Διαστάσεις εδράνου KP000

2. Τροχαλίες & ιμάντες

Για την περιστροφή των τροχών σχεδιάστηκε ένα σύστημα μεταφοράς κίνησης από τον άξονα περιστροφής του κινητήρα στον άξονα περιστροφής του κάθε τροχού ξεχωριστά. Η μεταφορά αυτή γίνεται με τη χρήση δύο τροχαλιών (σε κάθε άξονα) και ενός ιμάντα. Οι τροχαλίες και οι ιμάντες επιλέχθηκαν να είναι τύπου συγχρονισμού με δόντια, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί μια πιστή μεταφορά κίνησης μεταξύ των δύο αξόνων, λόγω του ότι το σύστημα κίνησης του ρομπότ βασίζεται σε skid steering και τα οδοντωτά στοιχεία ελαχιστοποιούν την πιθανότητα ολίσθησης τους.

Τροχαλίες: Στον άξονα του κινητήρα τοποθετείται τροχαλία με εσωτερική διάμετρο 12mm και μήκος υποδοχής ιμάντα 10mm. Αντίστοιχα, στον άξονα του τροχού τοποθετείται μία τροχαλία με εσωτερική διάμετρο 10 mm και μήκος υποδοχής ιμάντα 10mm. Το μοντέλο της τροχαλίας που επιλέχτηκε είναι το GT2-40T. Αυτή η τροχαλία έχει 40 δόντια, με βήμα (pitch) 2mm, ωφέλιμο μήκος υποδοχής ιμάντα 11mm για χαλαρή εφαρμογή ιμάντα 10mm και κατασκευή από αλουμίνιο. Οι δύο τροχαλίες έχουν ίδιο αριθμό δοντιών έτσι ώστε η σχέση μετάδοσης να είναι ίση με μονάδα ($n=1$). Σε μελλοντική διαφορετική εφαρμογή, η οποία έχει απαίτηση περισσότερης ροπής με λιγότερες στροφές, η σχέση μετάδοσης είναι εύκολα μεταβλητή με διαφορετικό αριθμό δοντιών στις τροχαλίες. Η αλλαγή του αριθμού δοντιών απαιτεί επίσης υπολογισμό για το μήκος του νέου ιμάντα όπως γίνεται παρακάτω.



Σχήμα 2-5: Τροχαλία συγχρονισμού άξονα κινητήρα με άξονα περιστροφής τροχών

Ιμάντες: Όπως προαναφέρθηκε, η κίνηση μεταφέρεται από τροχαλία σε τροχαλία με τη χρήση ενός ιμάντα συγχρονισμού. Το μοντέλο του ιμάντα είναι GT2-280 και έχει μήκος (περίμετρο) 280mm, πάχος 10mm, βήμα δοντιών δύο (pitch=2mm) και το υλικό κατασκευής του είναι λάστιχο με ίνες υφάσματος κατά μήκος.

Υπολογισμός μήκους ιμάντα: Ο υπολογισμός του μήκους είναι άμεσα συνδεδεμένος με τον αριθμό και το βήμα δοντιών των δύο τροχαλιών, και την κάθετη απόσταση μεταξύ των κέντρων των δύο τροχαλιών. Η σωστή λειτουργία του συστήματος μεταφοράς κίνησης απαιτεί το βήμα δοντιού να είναι κοινό για όλα τα στοιχεία μηχανών που συνδέονται στο σύστημα. Παρακάτω υπολογίζεται το μήκος του ιμάντα για σχέση μετάδοσης ίση με μονάδα ($n=1$).

Δεδομένα από στοιχεία μηχανών και σχεδιασμό:

Αριθμός δοντιών τροχαλίας στον άξονα του κινητήρα: $T_1=40$

Αριθμός δοντιών τροχαλίας στον άξονα του τροχού: $T_2=40$

Κάθετη απόσταση μεταξύ δύο αξόνων: $L_1= 99 \text{ mm}$

Βήμα δοντιού (Pitch): $p=2 \text{ mm}$

Υπολογισμός σημαντικών διαστάσεων και τελικό μήκος ιμάντα:

Περίμετρος τροχαλίας άξονα κινητήρα: $P_1=2\pi \cdot R_1=T_1 \cdot p=40 \cdot 2 \text{ mm} =80 \text{ mm}$

Περίμετρος τροχαλίας άξονα τροχού: $P_2=2\pi \cdot R_2=T_2 \cdot p=40 \cdot 2 \text{ mm} =80 \text{ mm}$

Ακτίνα τροχαλίας άξονα κινητήρα: $R_1=(T_1 \cdot p)/2\pi=(40 \cdot 2 \text{ mm})/2\pi=12.73 \text{ mm}$

Ακτίνα τροχαλίας άξονα τροχού: $R_2=(T_2 \cdot p)/2\pi=(40 \cdot 2 \text{ mm})/2\pi=12.73 \text{ mm}$

Διαφορά ακτινών (βλέπε σχηματικό) $L_2: |R_1 \text{ mm} - R_2 \text{ mm}|=|12.73 \text{ mm} - 12.73[\text{mm}]|=0$

Υποτείνουσα (βλέπε σχηματικό) $L_3: \text{sqrt}((L_1^2 \text{ mm} + (L_2^2 \text{ mm}))= \text{sqrt}((99^2 \text{ mm} + (0^2 \text{ mm})) = 99 \text{ mm}$

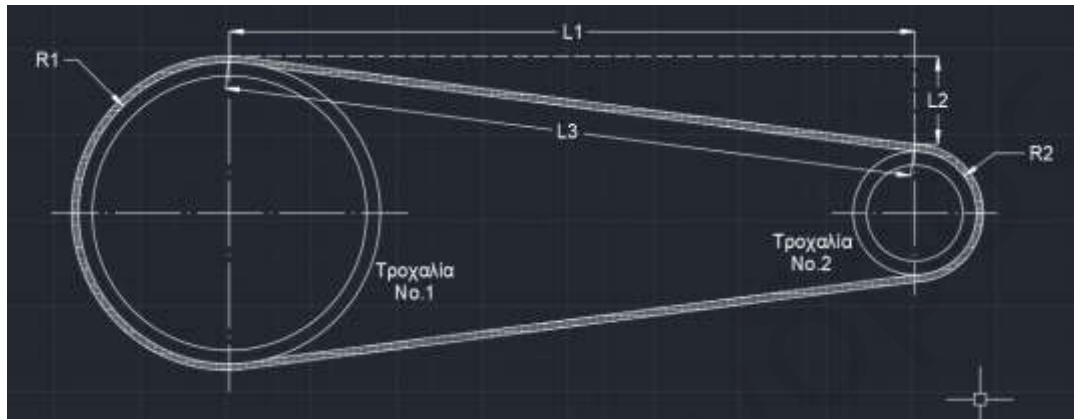


Σχέση μετάδοσης $n=R1/R2=12.73/12.73=1$

Μήκος ιμάντα $L:(P1/2)+(P2/2)+2*L3=(80 \text{ mm}/2)+(80 \text{ mm}/2)+(2*99 \text{ mm})=278 \text{ mm}$

Τελικό μήκος ιμάντα L_{final} (σύμφωνα με την αγορά) = 280 mm

Αριθμός δοντιών ιμάντα = $T_{\text{belt}}=L_{\text{final}}/p=280 \text{ mm}/2=140T$

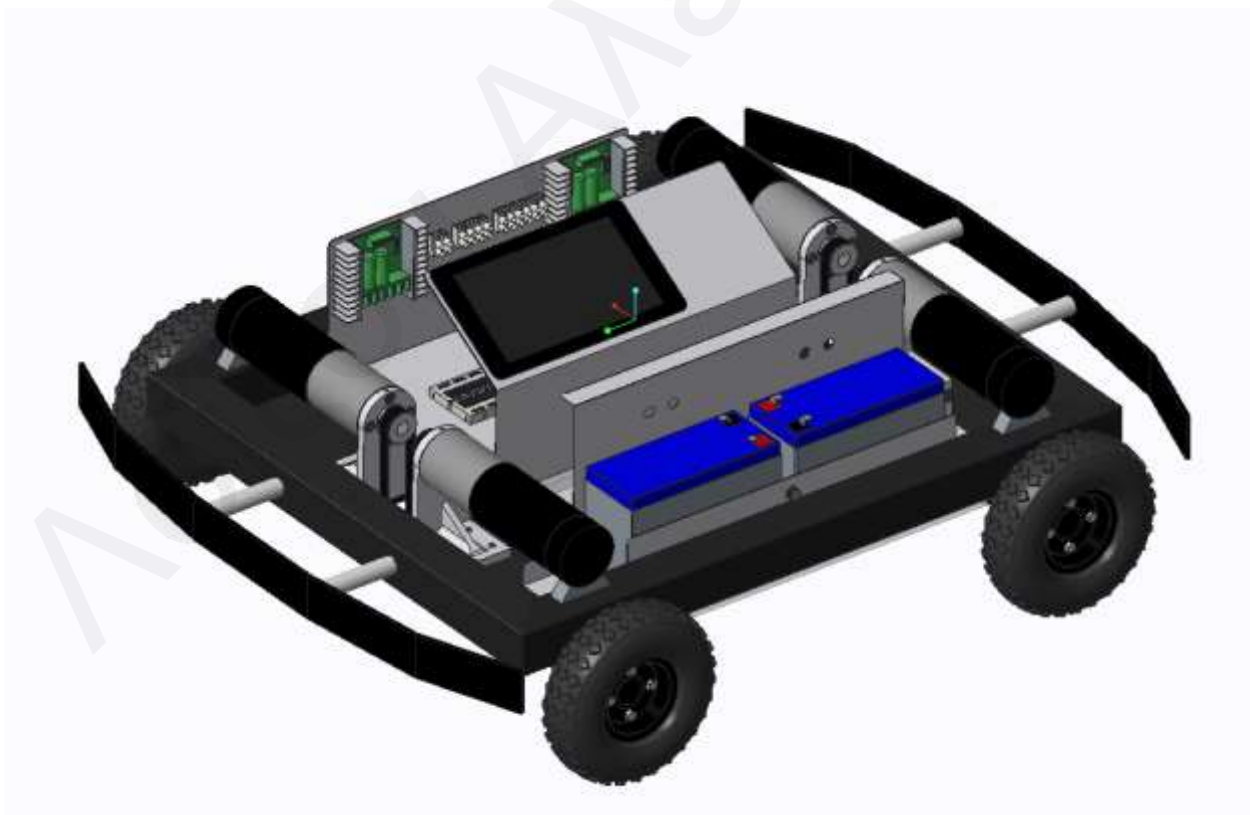


Σχήμα 2-6: : Βοηθητικό σχηματικό για διαστασιολόγηση ιμάντα

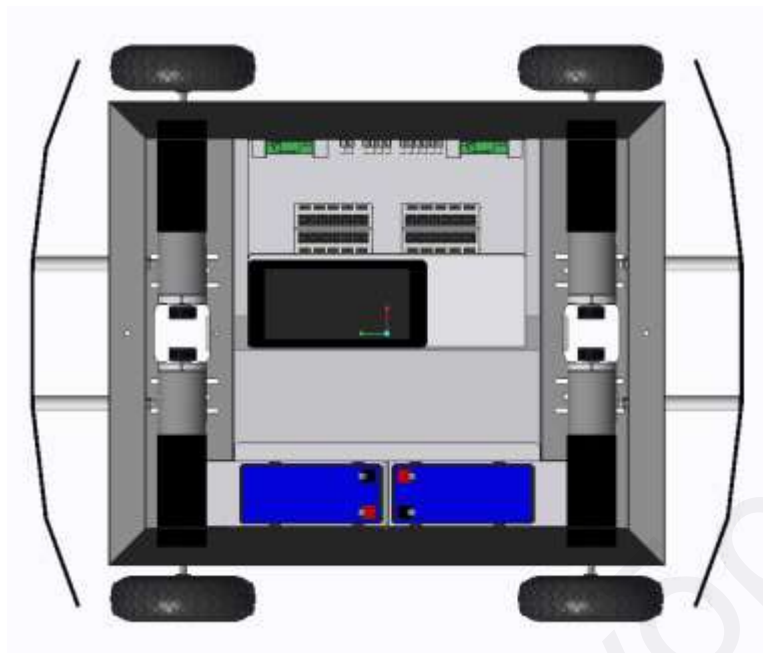
2.3 Σχεδίαση Μηχανολογικού συστήματος

Σε αυτό το υποκεφάλαιο περιγράφονται μερικές εικόνες από το τρισδιάστατο μοντέλο του ρομπότ. Περισσότερες λεπτομέρειες για τα επιμέρους κομμάτια και τη συναρμολόγησή τους ακολουθούν στο επόμενο κεφάλαιο της συναρμολόγησης.

Στο Σχήμα 2-7 απεικονίζεται η ελεύθερη πλάγια κάτοψη του ρομπότ, χωρίς το κάλυμμα. Όπως φαίνεται, είναι σχεδιασμένο με τέσσερις πνευματικούς τροχούς απλού τύπου. Στο κεντρικό μέρος του ρομπότ βρίσκονται τα ηλεκτρονικά, η οθόνη αφής και οι μπαταρίες, αρχίζοντας από τα motor drivers με πράσινο χρώμα, ενδιάμεσά τους τα connectors επαφών, τα οποία είναι εγκατεστημένα σε κάθετη πλάκα από αλουμίνιο. Ακριβώς στο κέντρο είναι εγκατεστημένη η οθόνη αφής πάνω σε κεκλιμένη πλάκα αλουμινίου. Δίπλα από την οθόνη, είναι τοποθετημένες δύο μπαταρίες μολύβδου (μπλε χρώμα), στερεωμένες μέσα σε αλουμινένια θήκη η οποία τις αποτρέπει να μετακινηθούν. Περιμετρικά, στις τέσσερις γωνίες του ρομπότ, είναι τοποθετημένοι οι κινητήρες οι οποίοι συνδέονται με τους τροχούς με ιμάντα χρονισμού.



Σχήμα 2-7: Ελεύθερη πλάγια κάτοψη τρισδιάστατου μοντέλου του Pygmalion χωρίς κάλυμμα



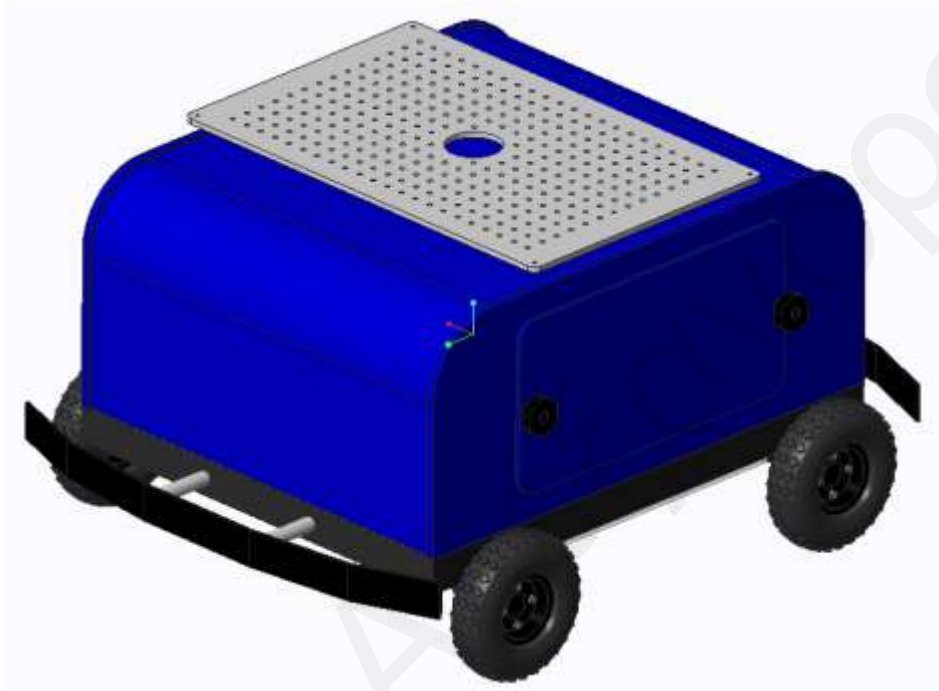
Σχήμα 2-8: Κάτοψη τρισδιάστατου μοντέλου του Pygmalion χωρίς κάλυμμα

Στο Σχήμα 2-9 απεικονίζεται η ελεύθερη πλάγια άνοψη του ρομπότ, χωρίς το κάλυμμα. Όπως απεικονίζεται στο κάτω κεντρικό μέρος του ρομπότ είναι εγκατεστημένη πλάκα Plexiglas η οποία δέχεται τα ηλεκτρονικά, την οθόνη αφής και τις μπαταρίες που προαναφέρθηκαν στο Σχήμα 2-7. Περιμετρικά στις τέσσερις γωνίες, κάτω από κάθε κινητήρα, στην εξωτερική μεριά του ρομπότ, είναι τοποθετημένος ένας άξονας μεταφοράς κίνησης στους τροχούς, για κάθε τροχό. Ο κάθε άξονας εδράζεται σε δύο ένσφαιρα έδρανα.



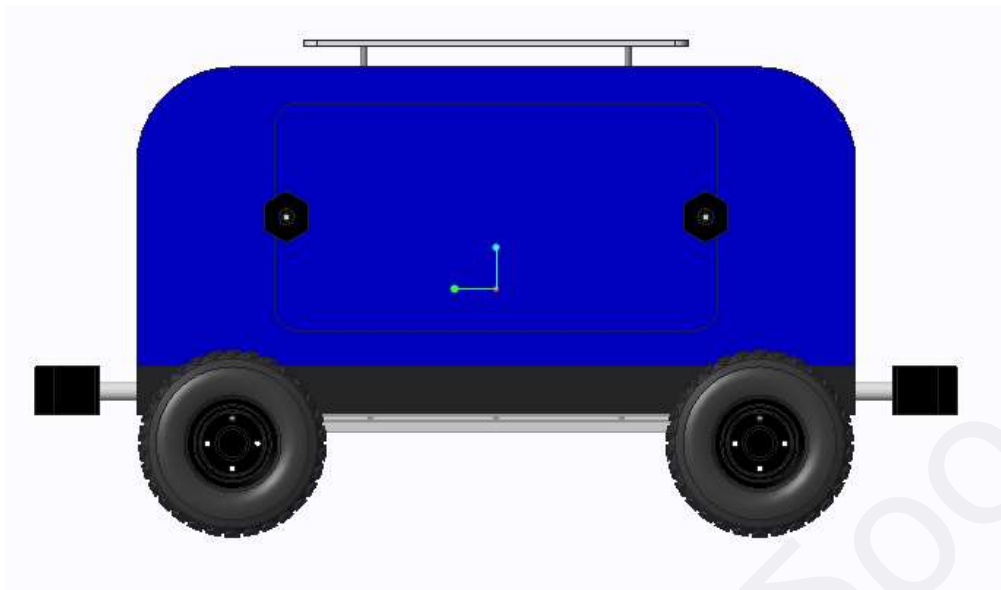
Σχήμα 2-9: Ελεύθερη πλάγια άνοψη τρισδιάστατου μοντέλου του Pygmalion χωρίς κάλυμμα

Στα Σχήματα 2-10, 2-11, 2-12, απεικονίζεται η ελεύθερη πλάγια κάτοψη, η πλάγια όψη και η πρόσοψη του ρομπότ με το άνω κάλυμμα, αντίστοιχα. Το κάλυμμα (μπλε χρώμα) καλύπτει όλη την άνω επιφάνεια του ρομπότ και φέρει μεταλλικό breadboard πάχους 10 χιλιοστών, στο οποίο μπορούν να βιδωθούν άλλα ρομπότ, αισθητήρες ή αντικείμενα προς μεταφορά. Το βίδωμα γίνεται απευθείας στο breadboard το οποίο είναι τρυπημένο σε ίσες και σταθερές αποστάσεις, με κοχλίες M8.

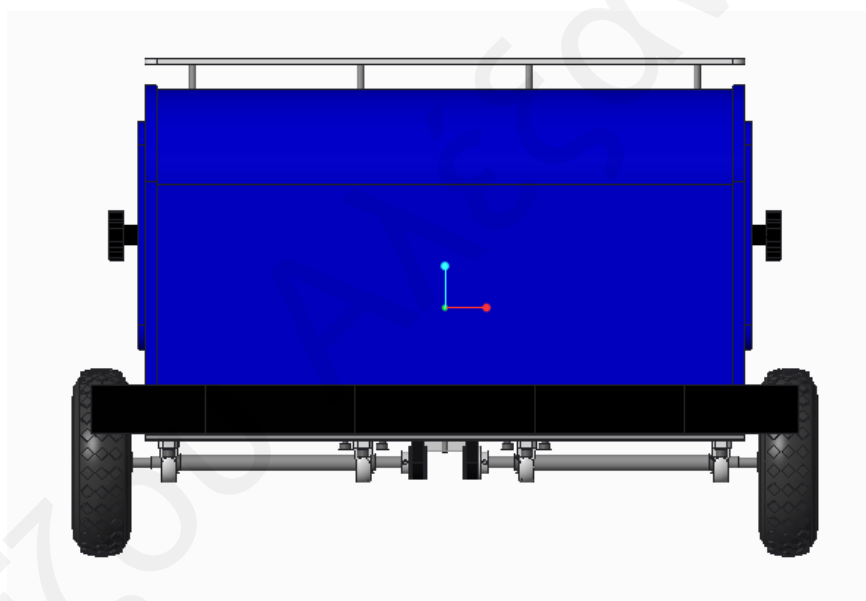


Σχήμα 2-10: Ελεύθερη πλάγια κάτοψη τρισδιάστατου μοντέλου του Pygmalion με το κάλυμμα

Στο μπροστινό και πίσω μέρος είναι εγκατεστημένοι δύο μεταλλικοί προφυλακτήρες για την προστασία του ρομπότ. Στα πλάγια υπάρχουν θύρες οι οποίες επιτρέπουν στον χειριστή να έχει πρόσβαση στο εσωτερικό του ρομπότ (μπαταρίες, οθόνη, motor drivers, connectors, διακόπτες, σημεία φόρτισης), οι οποίες ανοίγουν με την αφαίρεση δύο εύχρηστων βιδών (μαύρο χρώμα) χειροκίνητα.



Σχήμα 2-11: Πλάγια όψη τρισδιάστατου μοντέλου του Pygmalion με κάλυμμα



Σχήμα 2-12: Πρόσοψη τρισδιάστατου μοντέλου του Pygmalion με κάλυμμα

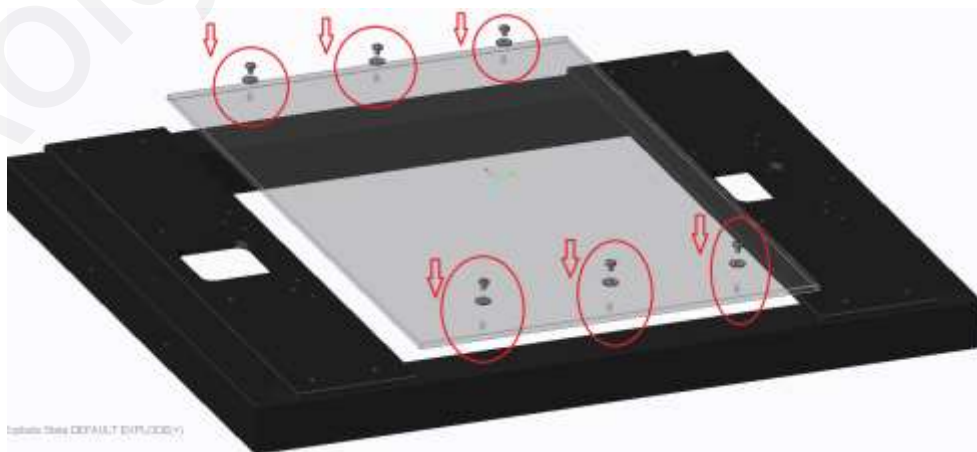
Κεφάλαιο 3

3 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ & ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ

Στο κεφάλαιο της συναρμολόγησης παρουσιάζονται φωτογραφίες οι οποίες πάρθηκαν από το τρισδιάστατο σχέδιο της κατασκευής και ο σκοπός τους είναι η επεξήγηση των βασικών διαστάσεων, ο τρόπος και η σειρά συναρμολόγησης των κομματιών, τα μηχανολογικά στοιχεία και τα ηλεκτρονικά. Οι διαστάσεις δεν αναγράφονται στις φωτογραφίες, καθώς είναι εκτός κλίμακας. Τέλος, όλα τα κομμάτια και μηχανολογικά στοιχεία είναι καταγεγραμμένα στον κατάλογο μηχανολογικών εξαρτημάτων. Σε αυτόν τον κατάλογο δεν είναι καταγεγραμμένα τα ηλεκτρονικά στοιχεία του ρομπότ, τα οποία αναφέρονται στον κατάλογο ηλεκτρονικών εξαρτημάτων στο Κεφάλαιο 5.

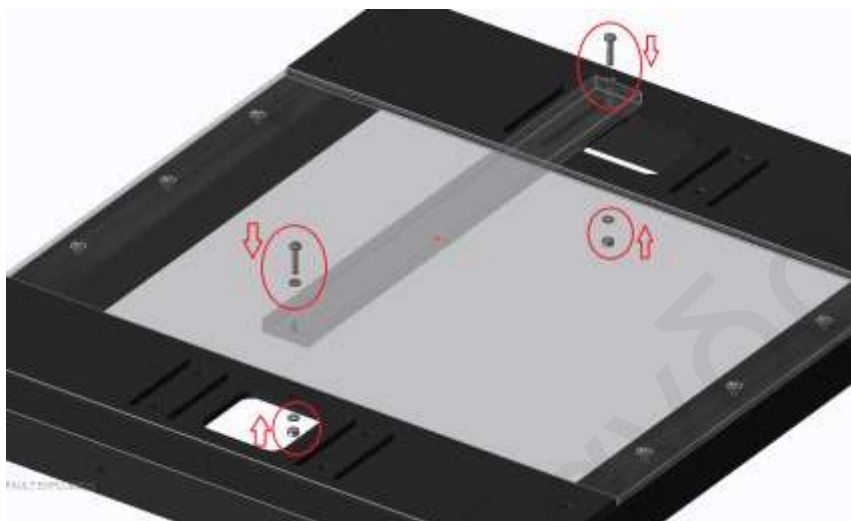
3.1 Κυρίως πλατφόρμα (Κεντρική βάση)

Η κυρίως πλατφόρμα του ρομπότ έχει διαστάσεις 600x500 mm και είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο και πλαστικό Plexiglas. Αποτελείται από δύο δοκούς αλουμινίου 40x40x1.5 mm, μήκους 600 mm, δύο δοκούς αλουμινίου 40x40x1.5 mm μήκους 500 mm, δύο πλάκες αλουμινίου 500x98x6 mm, μία πλάκα Plexiglas 500x330x10 mm και δοκό Plexiglas 390x37x10. Οι τέσσερις δοκοί και οι δύο πλάκες αλουμινίου είναι συγκολλημένες μεταξύ τους και η πλάκα Plexiglas βιδώνεται με έξι κοχλίες στη διάταξη που φαίνεται παρακάτω.



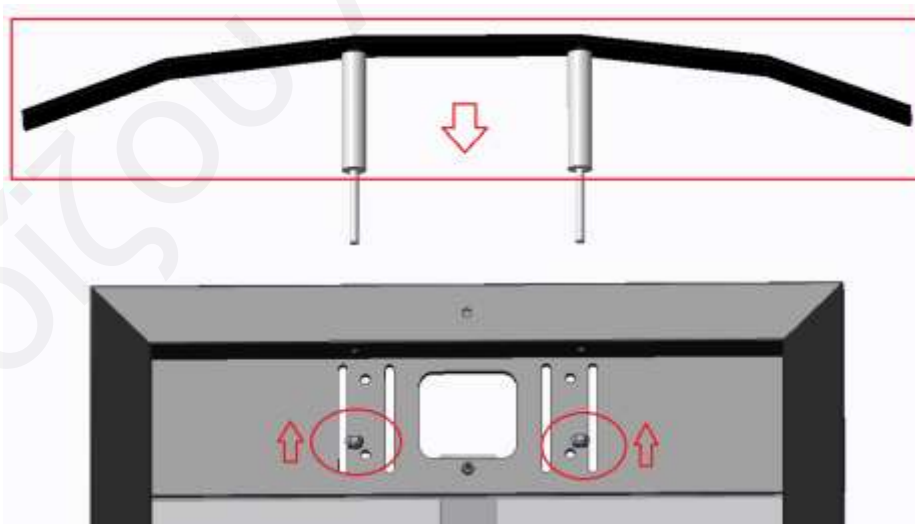
Σχήμα 3-1: Συναρμολόγηση πλάκας Plexiglas στη βάση του ρομπότ

Η δοκός από Plexiglas βιδώνεται μετά την τοποθέτηση της πλάκας όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-2 και λειτουργεί σαν νεύρο για την στήριξη της πλάκας, στην παραλαβή του φορτίου. Αρχικά, τοποθετούνται οι κοχλίες με τις ροδέλες στην εξωτερική μεριά της βάσης και έπειτα βιδώνονται τα περικόχλια στην εσωτερική επιφάνεια της βάσης.



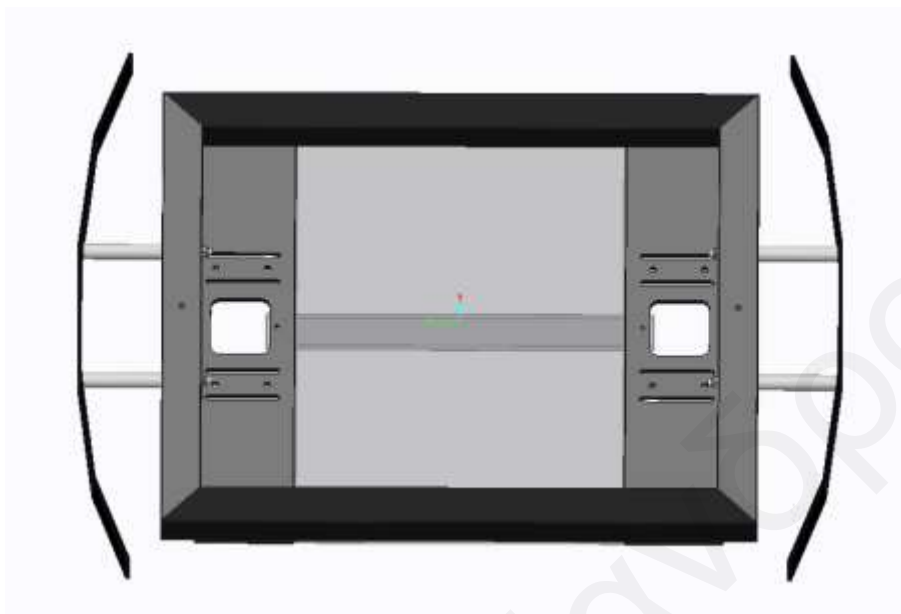
Σχήμα 3-2: Συναρμολόγηση δοκού Plexiglas

Ο προφυλακτήρας εισέρχεται στη βάση του ρομπότ σαν ένα ενιαίο σώμα (οι κοχλίες είναι συγκολλημένοι στον προφυλακτήρα) και έπειτα βιδώνονται τα περικόχλια όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-3.



Σχήμα 3-3: Συναρμολόγηση προφυλακτήρα

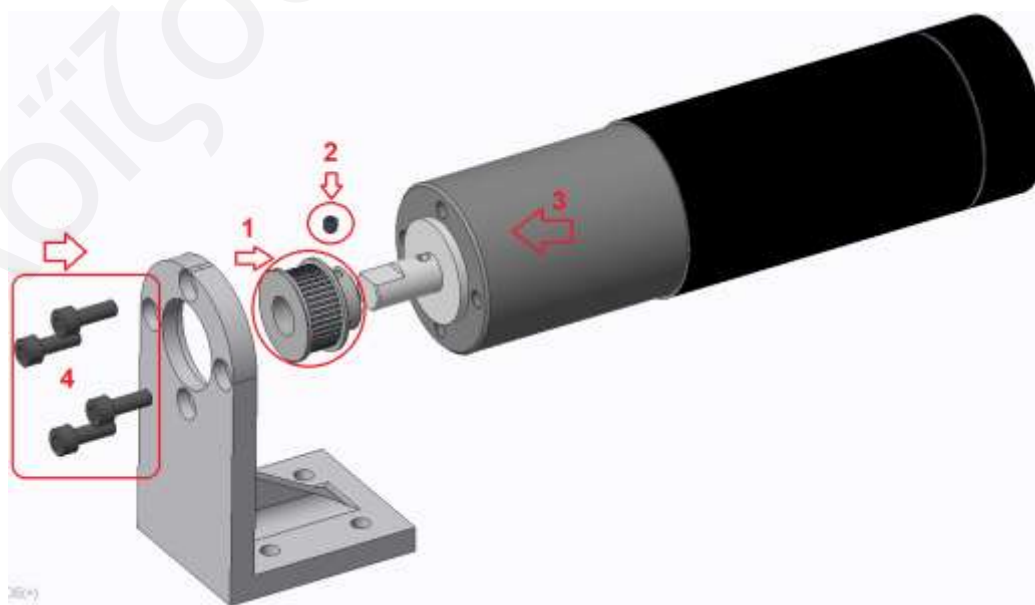
Στο Σχήμα 3-4 φαίνεται η ολοκληρωμένη βάση του ρομπότ μετά την συναρμολόγηση της πλάκας Plexiglas, της δοκού Plexiglas και των προφυλακτών.



Σχήμα 3-4: Τελειωμένη κεντρική βάση μετά την συναρμολόγηση της

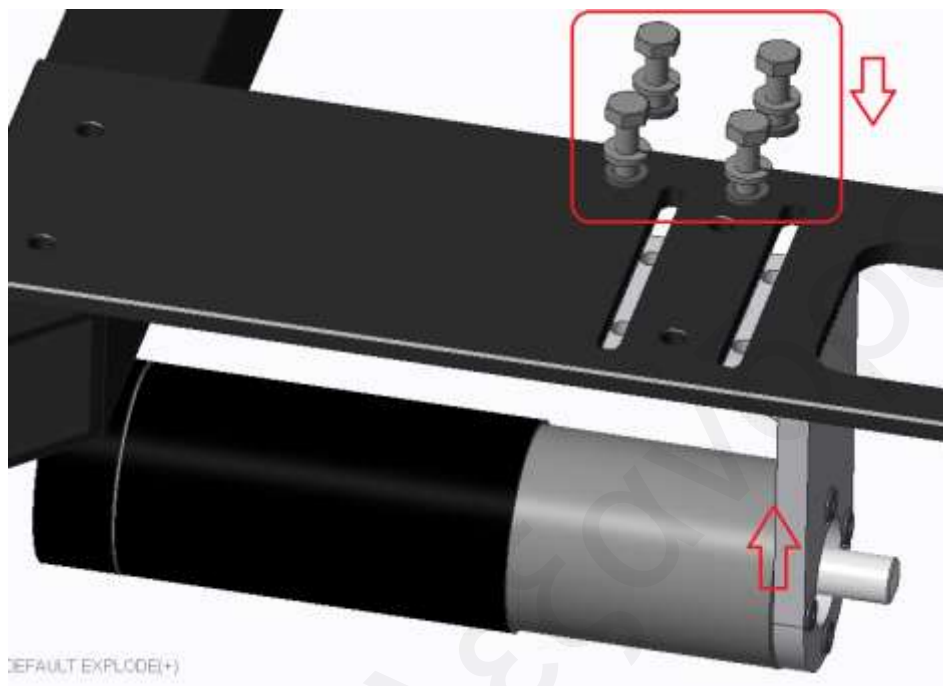
3.2 Βάσεις κινητήρων/κινητήρες

Για τη συναρμολόγηση του κινητήρα στη βάση του, αρχικά τοποθετείται η τροχαλία στον άξονα και έπειτα βιδώνεται ο κοχλίας κλειδώματος της περιστροφής. Ο κινητήρας με την τροχαλία εισέρχεται στην οπή της βάσης και βιδώνεται με τους τέσσερις κοχλίες όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-5.



Σχήμα 3-5: Συναρμολόγηση κινητήρα στην βάση του

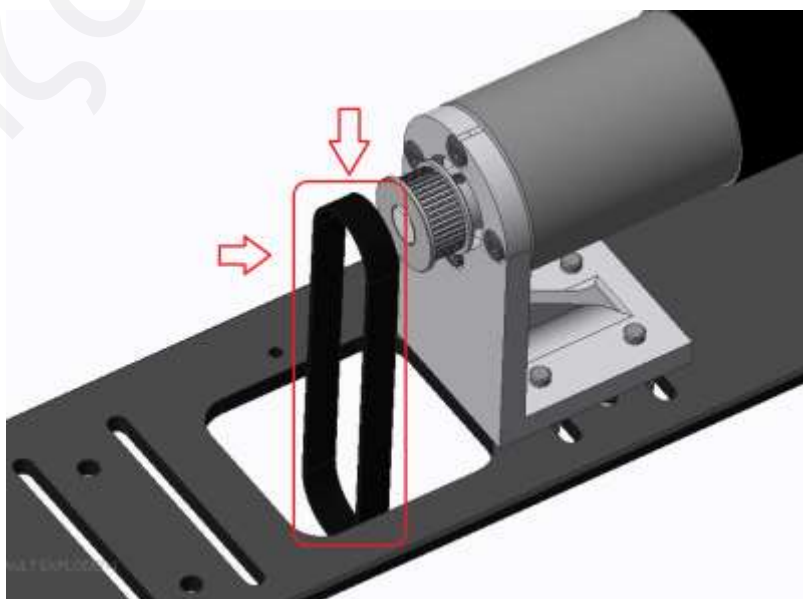
Μετά από την συναρμολόγηση του κινητήρα στη βάση του, εφαρμόζεται στην εσωτερική μεριά της κεντρικής βάσης (βλέπε Σχήμα 3-4) και βιδώνεται με τέσσερις κοχλίες όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-6.



Σχήμα 3-6: Συναρμολόγηση βάσης κινητήρα στην κεντρική βάση

3.3 Έδρανα – Άξονες – Τροχαλίες – Τροχοί

Ο μάντας χρονισμού τοποθετείται στην τροχαλία και περνάει μέσα από την τετραγωνική οπή προς το εξωτερικό μέρος του ρομπότ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-7.



Σχήμα 3-7: Συναρμολόγηση μάντα στην τροχαλία κινητήρα

Για την συναρμολόγηση του άξονα, αρχικά εφαρμόζεται το έδρανο με τη βάση του (έτοιμο στοιχείο – έδρανο Ωμέγα) στη μεριά του άξονα με τις δύο διαβαθμίσεις διαμέτρου και βιδώνεται ο κοχλίας κλειδώματος του άξονα με το εσωτερικό δακτυλίδι του εδράνου. Έπειτα, εφαρμόζεται ο τροχός και ο κοχλίας κλειδώματος της περιστροφής - εξαγωγής του τροχού. Στην άλλη μεριά του άξονα με την διαβάθμιση της διαμέτρου, εφαρμόζεται το έδρανο, ο κοχλίας κλειδώματος περιστροφής του δακτυλίου. Μετά το δεύτερο έδρανο, ακολουθεί η συναρμολόγηση της τροχαλίας και τέλος, ο κοχλίας κλειδώματος της, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-8.

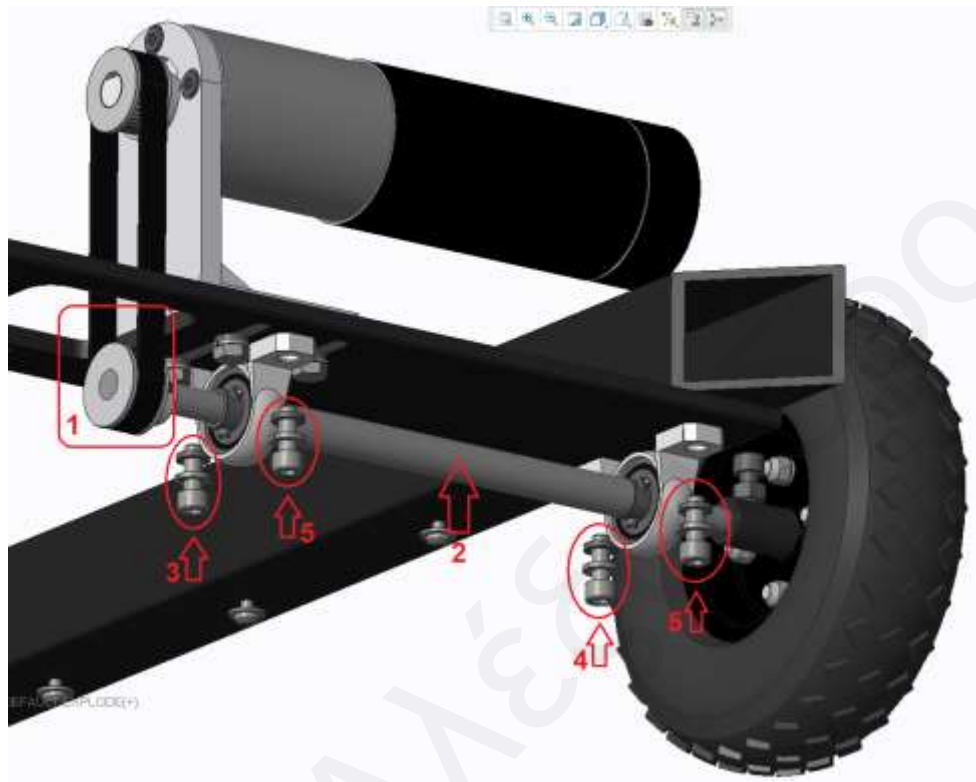


Σχήμα 3-8: Συναρμολόγηση άξονα – εδράνων – τροχού



Σχήμα 3-9: Συναρμολογημένος άξονας με όλα τα στοιχεία

Ο συναρμολογημένος άξονας όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-9 εφαρμόζεται αρχικά στον ιμάντα χρονισμού και μετά βιδώνεται στην κάτω εξωτερική μεριά της κεντρικής βάσης με τέσσερις κοχλίες όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-10. Στο Σχήμα 3.11 φαίνεται η τελική μορφή της κεντρικής βάσης με εγκατεστημένο το σύστημα κίνησης.



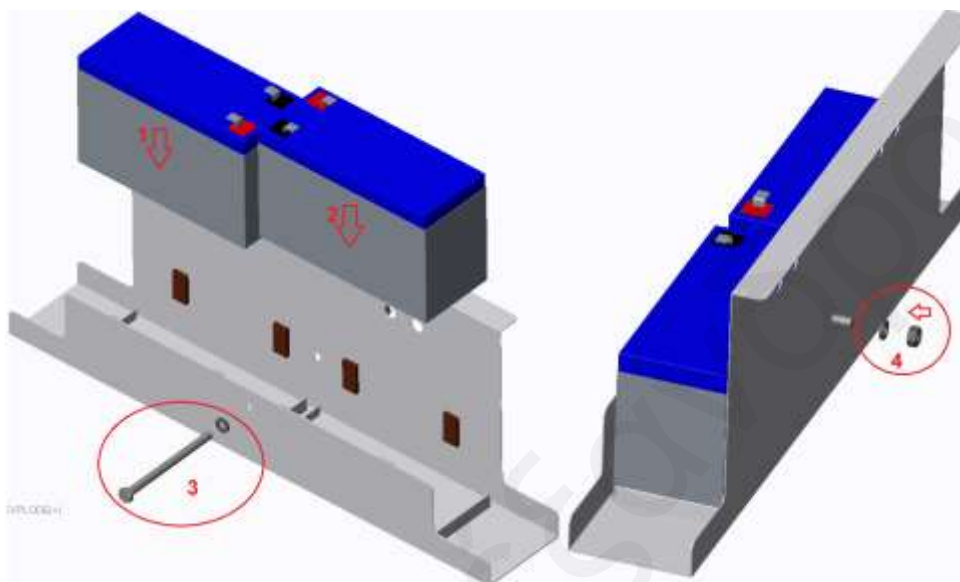
Σχήμα 3-10: Εγκατάσταση άξονα στην κεντρική βάση



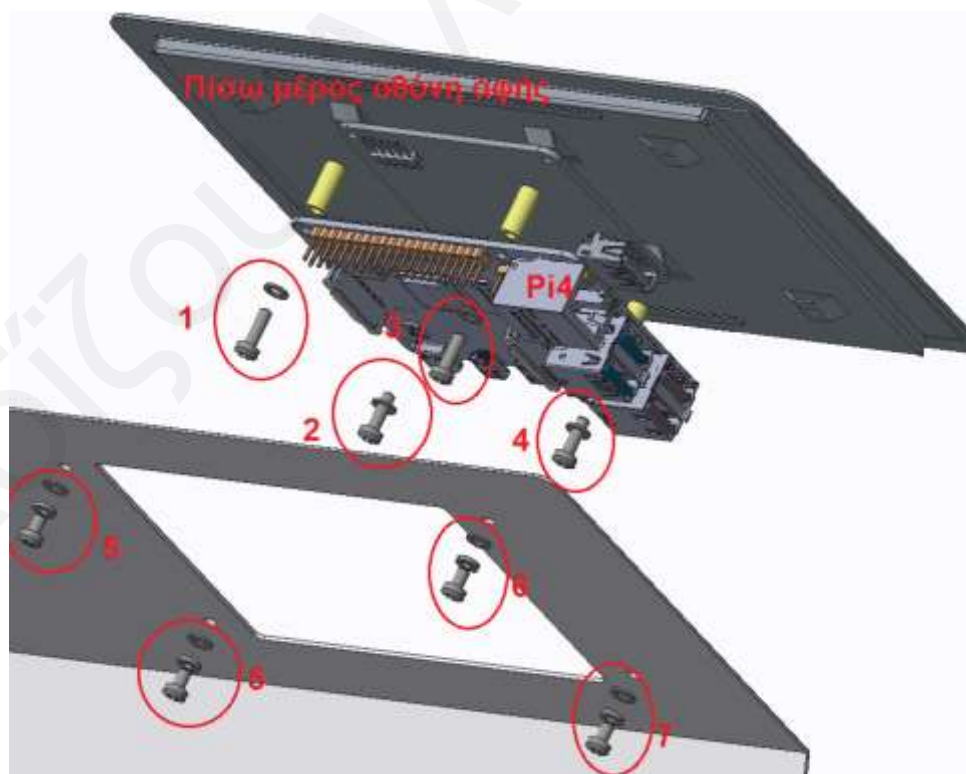
Σχήμα 3-11: Κεντρική βάση με βάσεις κινητήρων – κινητήρες – άξονες και τροχούς (σύστημα κίνησης)

3.4 Βάση μπαταριών και πίνακες ηλεκτρονικών & οθόνης

Οι μπαταρίες τοποθετούνται στη βάση τους, και έπειτα πιέζονται μεταξύ ελαστικών φελλών (καφέ χρώμα) οι οποίοι είναι κολλημένοι στην αλουμινένια βάση μπαταριών. Η πίεση ασκείται από τον κοχλία (3) ο οποίος βιδώνεται με το περικόχλιο (4) στο πίσω μέρος της βάσης μπαταριών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-12.

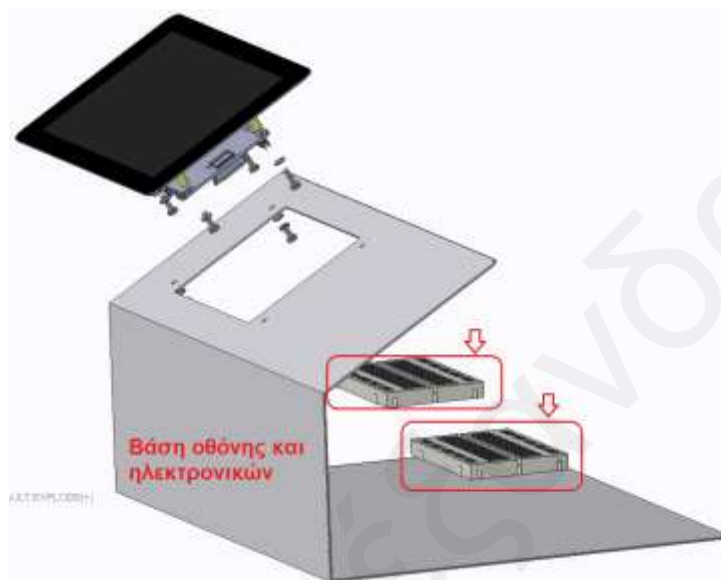


Σχήμα 3-12: Στήριξη μπαταριών στη βάση τους



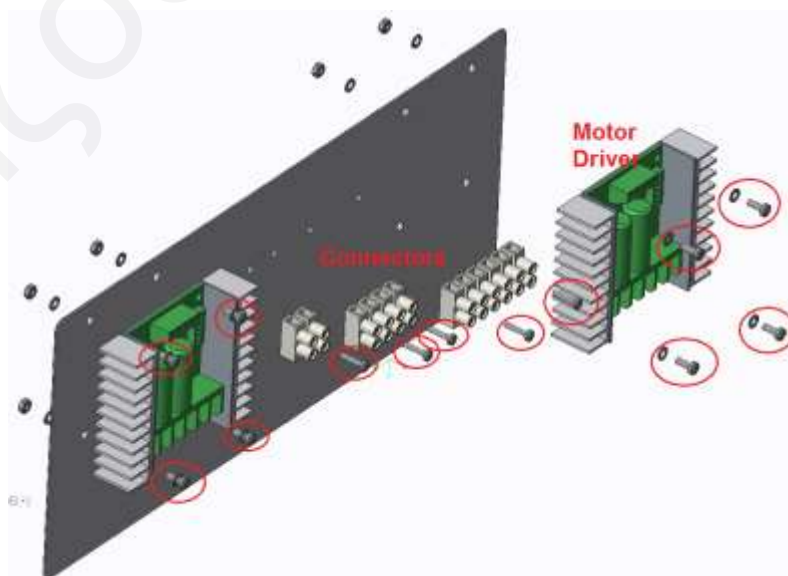
Σχήμα 3-13: Συναρμολόγηση Raspberry Pi4 στο πίσω μέρος της οθόνης αφής

Ο επεξεργαστής Raspberry Pi4 βιδώνεται στο πίσω μέρος της οθόνης αφής, με τέσσερις κοχλίες. Η οθόνη μαζί με τον επεξεργαστή εισέρχονται στην τετραγωνική οπή στην βάση οθόνης και ηλεκτρονικών και έπειτα βιδώνεται με τέσσερις κοχλίες, όπως φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα 3-13. Παρακάτω στο βοηθητικό Σχήμα 3-14, φαίνεται η εφαρμογή της οθόνης με τον επεξεργαστή σε επανάληψη από δεύτερη οπτική γωνία και η τοποθεσία των Breadboard συνδεσμολογίας.



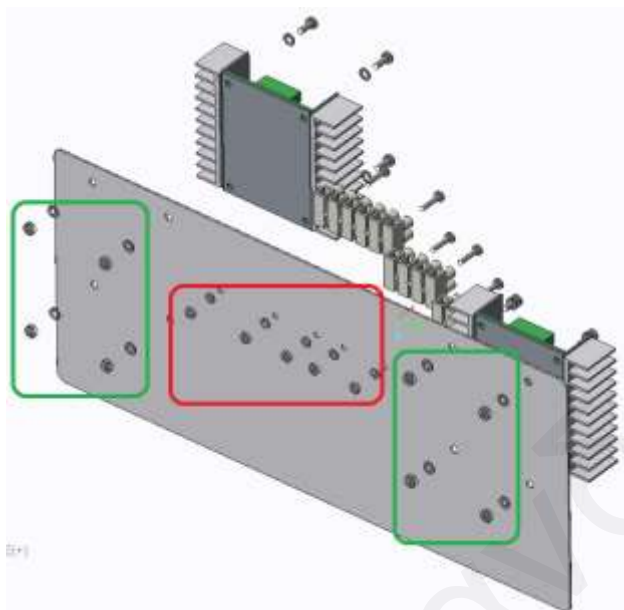
Σχήμα 3-14: Τοποθεσία Breadboard συνδεσμολογίας στη βάση τους

Τα Motor drivers και τα connectors τοποθετούνται στη βάση τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-15. Κάθε Motor driver βιδώνεται με τέσσερις κοχλίες οι οποίοι συσφίγγονται με τα περικόχλια τους, όπως φαίνεται στο βοηθητικό Σχήμα 3-16. Αντίστοιχα, βιδώνονται και τα connectors ενδιάμεσα των Motor driver.



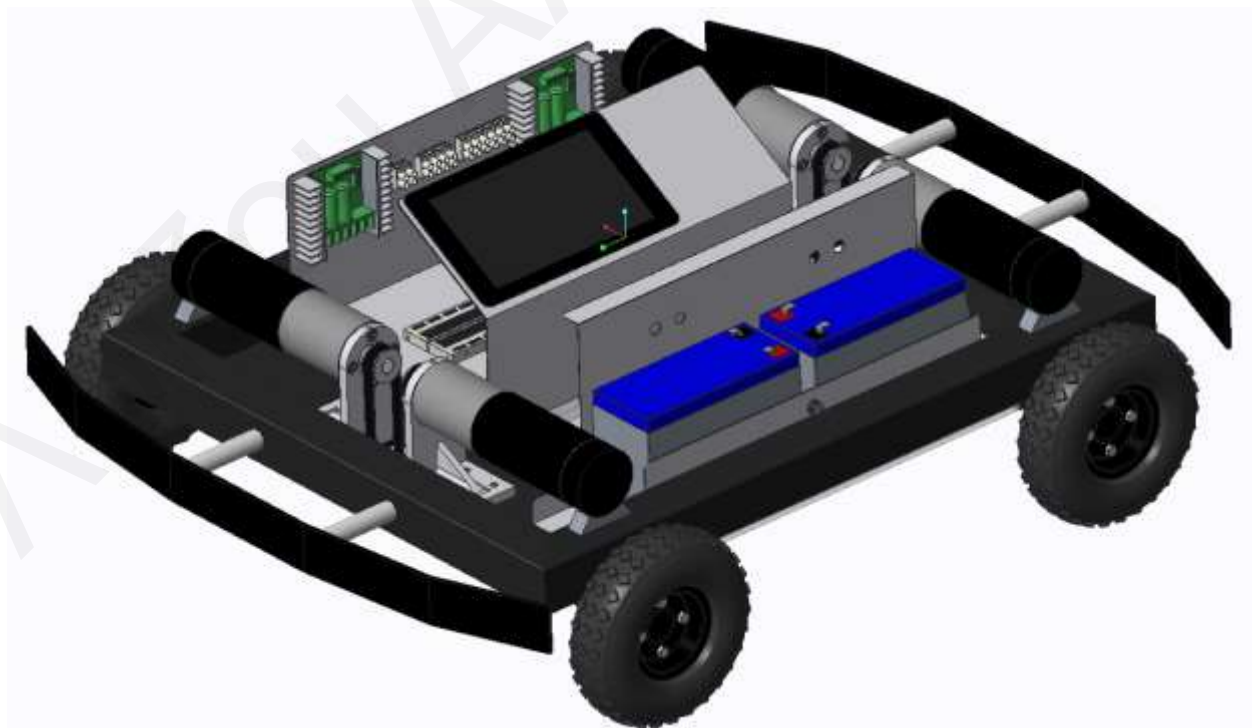
Σχήμα 3-15: Συναρμολόγηση των Motor driver και Connectors στη βάση τους

Στο Σχήμα 3-16 με πράσινο χρώμα υποδεικνύονται τα περικόχλια των δύο Motor driver και με κόκκινο χρώμα τα περικόχλια των connectors.



Σχήμα 3-16: Βοηθητικό σχήμα για συναρμολόγηση Motor driver και Connectors

Παρακάτω στο Σχήμα 3-17 φαίνεται το τελικό μοντέλο του Pygmalion μετά την συναρμολόγηση του συστήματος κίνησης, η πηγή ενέργειας και τα ηλεκτρονικά στοιχεία.



Σχήμα 3-17: Τελικό μοντέλο μετά την συναρμολόγηση

3.5 Πρωτότυπο

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζεται το πρωτότυπο ρομπότ μετά τη συναρμολόγηση στο UCY Robotics LAB. Στα Σχήματα 3-18, 3-19 και 3-20 το ρομπότ έχει τον συνδυασμό τεσσάρων τροχών τύπου mecanum. Αυτοί οι τροχοί επιτρέπουν στο ρομπότ να κινείται προς όλες τις κατευθύνσεις χωρίς να περιστρέφεται, για παράδειγμα, να κινηθεί κάθετα δεξιά ή αριστερά, με τον ίδιο τρόπο που κινείται κάθετα μπροστά και πίσω, όπως επίσης και περιστροφή γύρω από τον εαυτό του (γύρω από τον κεντρικό κάθετο άξονα ως προς το επίπεδο του δαπέδου). Οι τροχοί mecanum δεν συνιστώνται για εξωτερική χρήση ή για ταχύτητα, παρά μόνο για επίπεδες επιφάνειες με μικρή ταχύτητα και χωρίς πολλή σκόνη.



Σχήμα 3-18: Πρωτότυπο ρομπότ με τροχούς mecanum χωρίς κάλυμμα



Σχήμα 3-19: Πρωτότυπο ρομπότ με τροχούς mecanum με κάλυμμα



Σχήμα 3-20: Πρωτότυπο ρομπότ με τροχούς mecanum προοπτικά από χαμηλό σημείο

Στο Σχήμα 3-21 το ρομπότ έχει τον συνδυασμό τεσσάρων πνευματικών τροχών, οι οποίοι του επιτρέπουν τη μετακίνησή του σε εξωτερικό περιβάλλον και σε μεγαλύτερες ταχύτητες, σε αντίθεση με τους τροχούς mecanum, αλλά δεν επιτρέπουν κινήσεις κάθετες προς τα δεξιά ή αριστερά και ο χώρος ο οποίος απαιτείται για να στρίψει το ρομπότ είναι μεγαλύτερος.



Σχήμα 3-21: Πρωτότυπο ρομπότ με πνευματικούς τροχούς και κάλυμμα

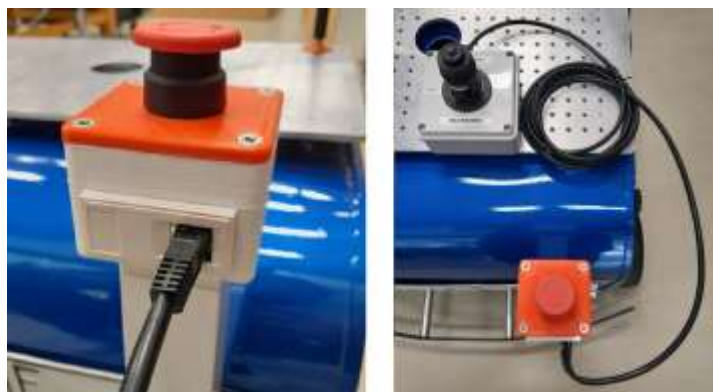
Στο Σχήμα 3-22 φαίνεται το Pygmalion με τον τροχό castor. Αυτός ο συνδυασμός τροχών επιτρέπει στο ρομπότ να κινείται με κίνηση σε δύο από τους τέσσερις τροχούς, μπροστά ή πίσω. Ο χρήστης εφαρμόζει τον τροχό Castor στην αντίστοιχη υποδοχή, χωρίς να χρειάζεται να αφαιρέσει τους υφιστάμενους πνευματικούς τροχούς. Η δεξιά φωτογραφία δείχνει τους μπροστινούς πνευματικούς τροχούς οι οποίοι έχουν απόσταση 5 χιλιοστά από το έδαφος, με αποτέλεσμα το ρομπότ να είναι πισωκίνητο. Με τον ίδιο τρόπο, ο τροχός castor μπορεί να εφαρμοστεί στο πίσω μέρος και το ρομπότ να είναι προσθιοκίνητο. Το set των τροχών που δεν αγγίζουν στο δάπεδο απενεργοποιείται από τον διακόπτη του αντίστοιχου motor driver το οποίο δίνει τάση στους κινητήρες.



Σχήμα 3-22: Πρωτότυπο ρομπότ με δύο πνευματικούς τροχούς και ένα τροχό castor

3.6 Βήματα για εκκίνηση του ρομπότ

Βήμα 1: Αρχικά, ο χειριστής πατάει το emergency button και έπειτα τοποθετεί το καλώδιο του Joystick στην υποδοχή η οποία βρίσκεται κάτω από το emergency button, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-23. Έπειτα, ενεργοποιεί τους διακόπτες B1-B2-M1/2-M3/4 όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-24 προς τα πάνω.



Σχήμα 3-23: Σύνδεση χειριστηρίου στο πρωτότυπο ρομπότ

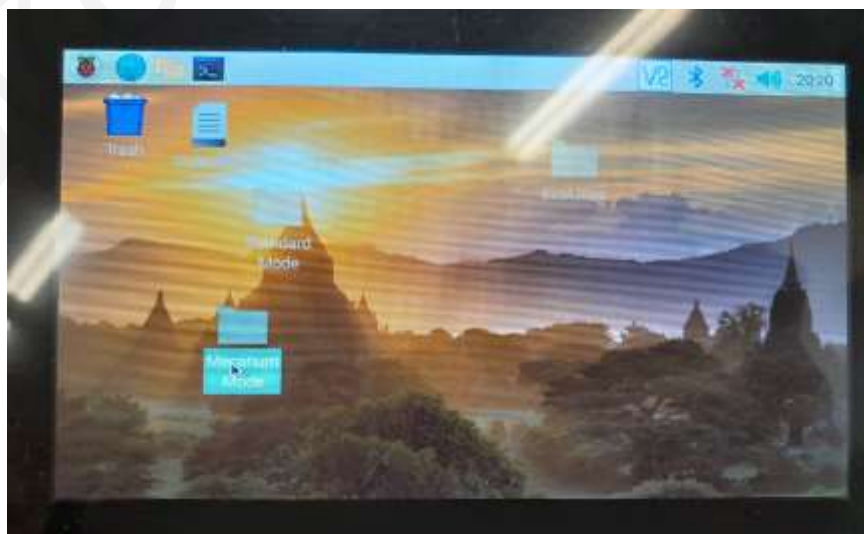


Σχήμα 3-24: Διακόπτες μπαταριών και motor driver από πλαϊνή θύρα πρωτότυπου ρομπότ

Βήμα 2: Ο διακόπτης CPU ON/OFF ο οποίος είναι τοποθετημένος στα δεξιά της οθόνης, πρέπει να πάει στην στάθμη ON, με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση του επεξεργαστή. Ο διακόπτης φαίνεται στο Σχήμα 3-25 και η οθόνη του υπολογιστή αφού ξεκίνησε, στο Σχήμα 3-26.

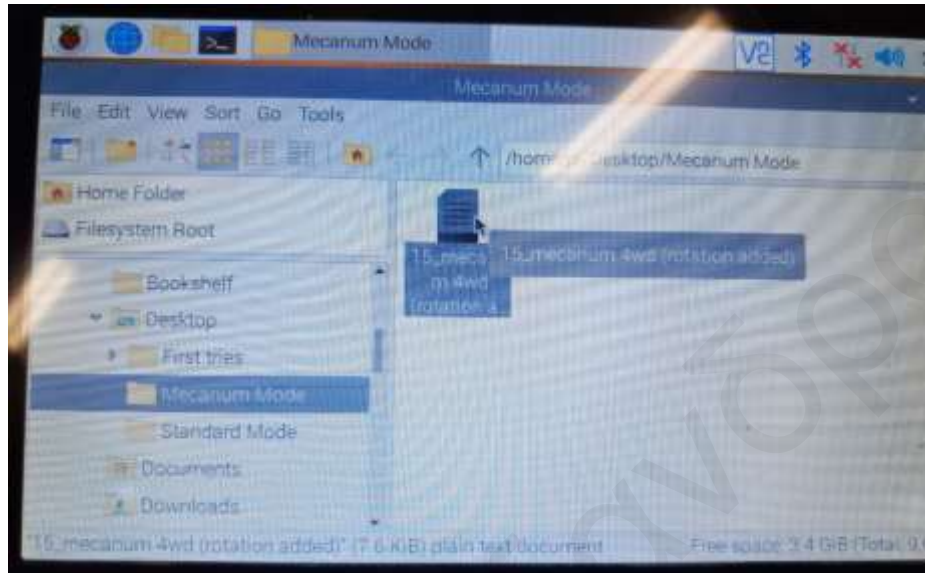


Σχήμα 3-25: Διακόπτης ενεργοποίησης επεξεργαστή – υπολογιστή του πρωτότυπου ρομπότ



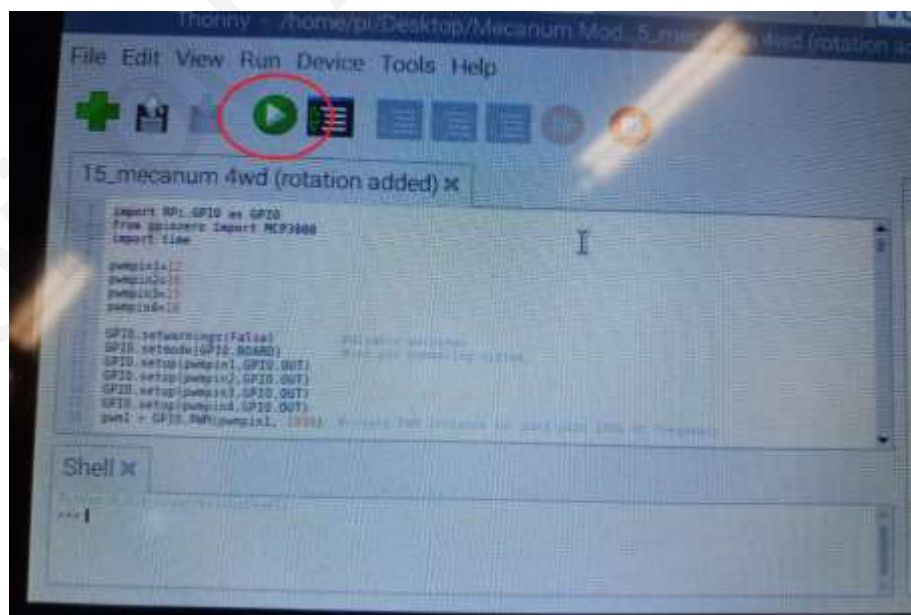
Σχήμα 3-26: Αρχική οθόνη υπολογιστή του πρωτότυπου ρομπότ

Βήμα 3: Ο χειριστής επιλέγει τον φάκελο στην επιφάνεια εργασίας με όνομα ανάλογα με τον συνδυασμό όπου επιθυμεί να χρησιμοποιήσει το ρομπότ (Standard mode για πνευματικούς τροχούς - Mecanum mode για τροχούς mecanum) και με διπλό άγγιγμα ανοίγει τον φάκελο, όπως φαίνεται στα Σχήμα 3-26.



Σχήμα 3-27: Αρχείο κώδικα όπως φαίνεται στον υπολογιστή του ρομπότ

Βήμα 4: Ο κάθε φάκελος περιέχει μόνον ένα αρχείο κώδικα μέσα, τον οποίο ανοίγει ο χειριστής με διπλό άγγιγμα (Σχήμα 3-27) και τρέχει τον κώδικα (Σχήμα 3-28). Έπειτα, ο χειριστής αναμένει περίπου 30 δευτερόλεπτα, γυρνάει αριστερόστροφα το emergency button και το ρομπότ είναι έτοιμο για χρήση.



Σχήμα 3-28: Εκτέλεση κώδικα για λειτουργία του ρομπότ

3.7 Φόρτιση πρωτότυπου ρομπότ

Βήμα 1: Τα βύσματα από τους δύο φορτιστές για τις μπαταρίες των κινητήρων τοποθετούνται στις υποδοχές όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-29. Όλοι οι διακόπτες πρέπει να είναι απενεργοποιημένοι προς τα ΠΑΝΩ.



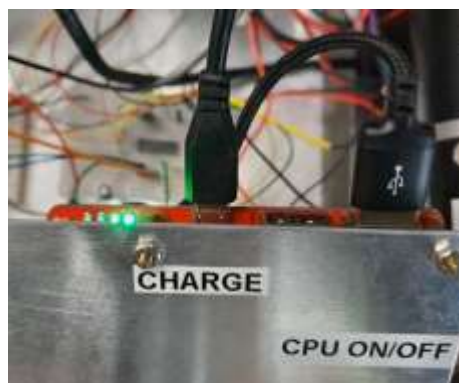
Σχήμα 3-29: Υποδοχές φορτιστών για μπαταρίες κινητήρων

Βήμα 2: Έλεγχος της ένδειξης στους φορτιστές των μπαταριών. Το πράσινο φως ανάβει όταν η μπαταρία είναι φορτισμένη και το κόκκινο χρώμα όταν η μπαταρία φορτίζει. Αναμένουμε την πράσινη ένδειξη και στους δύο φορτιστές πριν τους αποσυνδέσουμε.



Σχήμα 3-30: Φορτιστής μπαταριών κινητήρα με ένδειξη LED

Βήμα 3: Στο Σχήμα 3-31 φαίνεται η υποδοχή για τον φορτιστή του επεξεργαστή πάνω από την ετικέτα CHARGE. Στα αριστερά με πράσινα φωτάκια υποδεικνύεται η φόρτιση της μπαταρίας του επεξεργαστή. 1 φως = 25%, 2 φώτα = 50%, 3 φώτα = 75%, 4 φώτα = 100%.



Σχήμα 3-31: Υποδοχή φόρτισης μπαταρίας επεξεργαστή με ένδειξη LED

3.8 Εφαρμογή δευτερεύων ρομπότ στο Pygmalion

Παρακάτω, στο Σχήμα 3-22, φαίνεται η εγκατάσταση υφιστάμενων ρομπότ από το εργαστήριο, πάνω στο Breadboard του Pygmalion. Αριστερά είναι ένας βραχίονας ο οποίος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε συνεργασία με το Pygmalion για αποθήκευση αντικειμένων σε ράφια ή γενικότερα pick and place εφαρμογές (mobile manipulator). Δεξιά είναι μετατροπή ενός υφιστάμενου χειροκίνητου όπλου (παιχνίδι) σε ρομποτικό σύστημα με αναγνώριση στόχου και στόχευση, το οποίο θα μπορούσε να λειτουργήσει σε συνεργασία με το Pygmalion για στρατιωτικές εφαρμογές στο μέλλον.



Σχήμα 3-32: Εφαρμογή δευτερεύων ρομπότ από το UCY Robotics LAB στο Pygmalion

3.9 Μέτρα ασφαλείας

Σε αυτό το υποκεφάλαιο εξηγούνται τα μέτρα ασφαλείας τα οποία εφαρμόστηκαν στο ρομπότ Pygmalion, με φωτογραφίες τους από το πρωτότυπο.

1. **Αισθητήρας:** Το ρομπότ χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα απόστασης υπερύθρων, ο οποίος είναι εγκατεστημένος στον μπροστινό προφυλακτήρα του Pygmalion. Ο αισθητήρας λαμβάνει μια συνεχή ένδειξη απόστασης και αναφέρει την απόσταση στον επεξεργαστή ως αναλογική τάση με εύρος απόστασης από 5 έως 50 εκατοστά. Ο επεξεργαστής χρησιμοποιεί το σήμα ως εξής: Όταν η ένδειξη τάσης αναλογεί σε απόσταση μεγαλύτερη των 15 εκατοστών (περίπου), το ρομπότ δικαιούται να εκτελέσει όλες τις λειτουργίες του κανονικά. Αν η ένδειξη τάσης αναλογεί σε απόσταση μικρότερη των 15 εκατοστών (περίπου), ο επεξεργαστής κλειδώνει όλες τις κινήσεις του ρομπότ, επιτρέποντάς του μόνο την όπισθεν, με σκοπό την απομάκρυνση του ρομπότ από το αντικείμενο το οποίο ανίχνευσε ο αισθητήρας.



Σχήμα 3-33: Αισθητήρας απόστασης υπερύθρων



Σχήμα 3-34: Μπροστινό μέρος ρομπότ με αισθητήρα απόστασης υπερύθρων

2. **Emergency button:** Το emergency button είναι ένας διακόπτης εγκατεστημένος σε προφανές και εμφανές σημείο στο ρομπότ, στον οποίο μπορεί να έχει πρόσβαση ο χρήστης η όποιος άνθρωπος αντιληφτεί ότι το ρομπότ είναι εκτός λογικού ελέγχου (δεν αντιδρά λογικά στις εντολές του χειριστηρίου). Το ύψος του διακόπτη είναι το δεύτερο ψηλότερο σημείο στο ρομπότ, ενώ ο διακόπτης έχει έντονο κόκκινο χρώμα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3-35: Emergency button

3. **Οπτική αναγνώριση:** Η οπτική αναγνώριση του ρομπότ από τους ανθρώπους στον χώρο εργασίας του είναι πολύ σημαντική. Στο Pygmalion, αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση σημαίας η οποία έχει έντονο πορτοκαλί χρώμα για εύκολη και ταχεία αναγνώριση από το ανθρώπινο μάτι. Το ύψος της σημαίας είναι το ψηλότερο σημείο στο ρομπότ. Η συναρμολόγηση της σημαίας χρησιμοποιεί ελατήριο στη βάση του ιστού της, το οποίο επιτρέπει στη σημαία να είναι σταθερή κατά τη λειτουργία του ρομπότ, αλλά να λυγίζει σε περίπτωση που η σημαία συγκρουστεί σε αντικείμενο ή άνθρωπο.



Σχήμα 3-36: Σημαία και emergency button στο πρωτότυπο ρομπότ

3.10 Κατάλογος μηχανολογικών εξαρτημάτων & στοιχείων

Κατάλογος Μηχανολογικών Εξαρτημάτων/Στοιχείων			
Εξάρτημα / Στοιχείο	Διαστάσεις [mm]	Υλικό	Τεμάχια
<i>Κυρίως βάση (δικτύωμα & περιφερειακά)</i>			
Δοκός βάσης (κατά πλάτος)	600x40x40x1.5	Αλουμίνιο	2
Δοκός βάσης (κατά μήκος)	500x40x40x1.5	Αλουμίνιο	2
Πλάκα πάκτωσης κινητήρων	500x140x6	Αλουμίνιο	2
Προφυλακτήρας	590x55x3.5	Χάλυβας	2
Αποστάτες προφυλακτήρα	Φ16x130xM6	Χάλυβας	2
Περικόχλιο κλειδώματος	M6	Χάλυβας/Πλαστικό	4
Κεντρική πλάκα	500x330x5	Plexiglas	1
Κοχλίας στήριξης κεντρικής πλάκας (Phillips)	M4x10	Χάλυβας	6
Ροδέλα κοχλία	M4x10	Χάλυβας	6
Κεντρική δοκός νεύρωσης	390x37x10	Plexiglas	1
Κοχλίας στήριξης δοκού νεύρωσης (Phillips)	M4x22	Χάλυβας	2
Ροδέλα κοχλία	M4	Χάλυβας	2
Περικόχλιο	M4	Χάλυβας	2
Ροδέλα περικοχλίου	M4	Χάλυβας	2
<i>Σύστημα κίνησης (κινητήρες, τροχαλίες, μάντες, άξονες, τροχοί)</i>			
Βάση στήριξης κινητήρα	100x52x55x8	Αλουμίνιο	4
Κοχλίας στήριξης βάσης κινητήρα (Hex)	M6x30	Χάλυβας	16
Ροδέλα κοχλία	M6	Χάλυβας	16
Ροδέλα κοχλία (Grower)	M6	Χάλυβας	16
Κινητήρας	Φ54x215	-	4
Κοχλίας στήριξης κινητήρα (Allen)	M5x14	Χάλυβας	16
Τροχαλία GT2 κινητήρα	Φ12x40Tx2P	Αλουμίνιο	4
Κοχλίας κλειδώματος περιστροφής τροχαλίας (Allen)	M4	Αλουμίνιο	4
Ιμάντας χρονισμού (GT2)	Φ280x10x2P	Ελαστικό με ίνες	4
Τροχαλία GT2 άξονα	Φ10x40Tx2P	Αλουμίνιο	4
Κοχλίας κλειδώματος περιστροφής τροχαλίας (Allen)	M4	Αλουμίνιο	4
Άξονας περιστροφής	Φ13x270	Χάλυβας	4
Ένσφαιρο έδρανο κύλισης (τύπου Pillow Omega Ω) KP000	Φ10	Αλουμίνιο/Χάλυβας	8
Κοχλίας στήριξης εδράνου (Allen)	M6x16	Χάλυβας	16
Ροδέλα κοχλία	M6	Χάλυβας	16
Ροδέλα κοχλία (Grower)	M6	Χάλυβας	16
Τροχός	Φ160	-	4
Κοχλίας κλειδώματος περιστροφής τροχού (Allen)	M6x14	Χάλυβας	4
Περικόχλιο	M6	Χάλυβας	4

<i>Βάση μπαταριών</i>			
Βάση μπαταριών	430x150x90	Αλουμίνιο	1
Μπαταρία	150x92x64	-	2
Κοχλίας σύσφιξης μπαταριών (Allen)	M6x60	Χάλυβας	1
Ροδέλα κοχλίας	M6	Χάλυβας	2
Περικόχλιο	M6	Χάλυβας	1
<i>Πίνακας ηλεκτρονικών κυκλωμάτων (οθόνη αφής, επεξεργαστής, μπαταρία επεξεργαστή, Breadboard)</i>			
Πίνακας ηλεκτρονικών και οθόνης	300x225x160	Αλουμίνιο	1
Οθόνη αφής (7")	193x110x10	-	1
Κοχλίας στήριξης οθόνης (Phillips)	M3x5	Χάλυβας	4
Ροδέλα κοχλίας	M3	Χάλυβας	4
Ροδέλα κοχλίας (Grower)	M3	Χάλυβας	4
Επεξεργαστής (Raspberry Pi4)	100x70x30	-	1
Αποστάτης για στήριξη επεξεργαστή	Φ5x10	Μπρούντζος	4
Κοχλίας στήριξης επεξεργαστή (Phillips)	M3x10	Χάλυβας	4
Ροδέλα κοχλίας	M3	Χάλυβας	4
Πλακέτα μπαταρίας επεξεργαστή	-	-	1
Κοχλίας στήριξης πλακέτας μπαταρίας (Phillips)	M3x10	Χάλυβας	4
Ροδέλα κοχλίας	M3	Χάλυβας	4
Περικόχλιο	M3	Χάλυβας	4
Mini Breadboard	85x55x8	Πλαστικό	2
<i>Πίνακας για motor drivers και connectors</i>			
Πίνακας για motor drivers και connectors	300x130x1	Αλουμίνιο	1
Motor driver	64x75x16	-	2
Κοχλίας στήριξης motor driver (Phillips)	M3x8	Χάλυβας	8
Ροδέλα κοχλίας	M3	Χάλυβας	16
Περικόχλιο	M3	Χάλυβας	8
Connector 6 επαφών	46x18x15	Πλαστικό/Χαλκός	1
Connector 4 επαφών	30x18x15	Πλαστικό/Χαλκός	1
Connector 2 επαφών	14x18x15	Πλαστικό/Χαλκός	1
Κοχλίας στήριξης connector (Phillips)	M2.5x12	Χάλυβας	5
Ροδέλα κοχλίας	M2.5	Χάλυβας	5
Περικόχλιο	M2.5	Χάλυβας	5

Σχήμα 3-37: Κατάλογος μηχανολογικών εξαρτημάτων και στοιχείων

Κεφάλαιο 4

4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟΥ

Το σύστημα ηλεκτρονικών θα μπορούσε να θεωρηθεί η ‘καρδιά’ ενός ρομπότ με τον επεξεργαστή να αποτελεί τον ‘εγκέφαλο’ και οι ενεργοποιητές (κινητήρες για το Pygmalion) τα άκρα του. Γενικά, το ηλεκτρονικό σύστημα αποτελείται από όλα τα ηλεκτρονικά στοιχεία από μόνα τους (π.χ., πυκνωτές και αντιστάσεις), όλες τις πλακέτες (υποσυστήματα) οι οποίες συμβάλουν στην λειτουργία του ρομπότ (π.χ., motor drivers και Raspberry Pi) και τα στοιχεία τα οποία παρέχουν την τάση (π.χ., μπαταρίες) στα παραπάνω υποσυστήματα και στοιχεία. Παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά ποια είναι τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα του συστήματος, η συνδεσμολογία τους, ο έλεγχος & προγραμματισμός τους και ο κατάλογος ηλεκτρονικών εξαρτημάτων στο τέλος. Οι προδιαγραφές και τα datasheet για τα κύρια μέρη του ηλεκτρονικού συστήματος περιλαμβάνονται στο Παράρτημα I.

4.1 Πηγή ενέργειας

Για τη λειτουργία του Pygmalion χρησιμοποιούνται δύο μπαταρίες μολύβδου, κλειστού τύπου Gel VRLA, τάσης 12 V, χωρητικότητας 7 Ah και βάρους 2.25 kg. Υπάρχουν δύο τύποι μπαταριών VRLA, ο πρώτος τύπος είναι οι μπαταρίες απορροφητικού γυάλινου στρώματος (Absorbent Glass Mat) και ο δεύτερος τύπος είναι οι μπαταρίες gel cell. Οι μπαταρίες AGM περιέχουν πλέγμα υαλοβάμβακα μεταξύ των πλακών, το οποίο περιέχει τον ηλεκτρολύτη και διαχωρίζει τις πλάκες, ενώ οι μπαταρίες Gel περιέχουν σκόνη πυριτίου στον ηλεκτρολύτη, σχηματίζοντας ένα παχύ gel. Πλεονέκτημα των μπαταριών VRLA είναι ότι δεν έχουν διαρροές ηλεκτρολύτη, απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και συγκεκριμένα ο τύπος Gel μπορεί να τοποθετηθεί και να λειτουργεί σε μη επίπεδες κλίσεις [20]. Οι δύο μπαταρίες είναι συνδεδεμένες σε σειρά με αποτέλεσμα να παρέχουν τελική τάση 24 V και χωρητικότητα 7 Ah.



Σχήμα 4-1: Μπαταρία κινητήρων

Για τη λειτουργία του επεξεργαστή (Raspberry Pi 4) χρησιμοποιείται μπαταρία Li-Ion τάσης 3.7[V] και χωρητικότητας 7[Ah]. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι πλέον διαδεδομένες για τη χρήση τους σχεδόν σε όλες τις ρομποτικές κατασκευές τις τελευταίες δεκαετίες. Είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών, με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, πολύ μικρό φαινόμενο μνήμης και χαμηλή αυτοεκφόρτιση. Η μπαταρία είναι συνδεδεμένη με πλακέτα ηλεκτρονικών από την οποία φορτίζει, τροφοδοτεί τον επεξεργαστή, με ταυτόχρονη δυνατότητα παροχής σε δύο επιπρόσθετες θύρες τύπου USB για μελλοντική τροφοδοσία ηλεκτρονικών και ένδειξη επιπέδου φόρτισης σε κλίμακα 25%-50%-75%-100%.

4.2 Κινητήρες

Το 'Pygmalion' χρησιμοποιεί τέσσερεις κινητήρες συνεχούς τάσης (DC) 24 V, με δυνατότητα ταχύτητας περιστροφής 285 RPM σε ροπή ισχύς 11 Kg*cm. Ο κάθε κινητήρας είναι συνδεδεμένος με ένα encoder και ένα μη μεταβλητό κιβώτιο ταχυτήτων το οποίο επιτυγχάνει τις παραπάνω στροφές ανά λεπτό. Η επιλογή των απλών DC κινητήρων παρά βηματικών κινητήρων (stepper) ή servo κινητήρων έγινε για την κατασκευή ενός παραπάνω ευέλικτου συστήματος για μελλοντικές αναβαθμίσεις, με αντοχή σε κραδασμούς, αντοχή στον χρόνο με λιγότερη συντήρηση, χαμηλότερο κόστος σε περίπτωση βλάβης και ευκολότερο έλεγχο για πολλαπλές εφαρμογές. Το μοντέλο των κινητήρων είναι το: IG52-04 24VDC 285 RPM Gear Motor with Encoder. Παρακάτω υπολογίζεται η ελάχιστη ροπή που πρέπει να παρέχει ο κάθε κινητήρας και στο παράρτημα I είναι αναρτημένα τα Datasheet του κινητήρα και του κιβώτιου ταχυτήτων.



Σχήμα 4-2: IG52-04 24VDC 285 RPM Gear Motor with Encoder

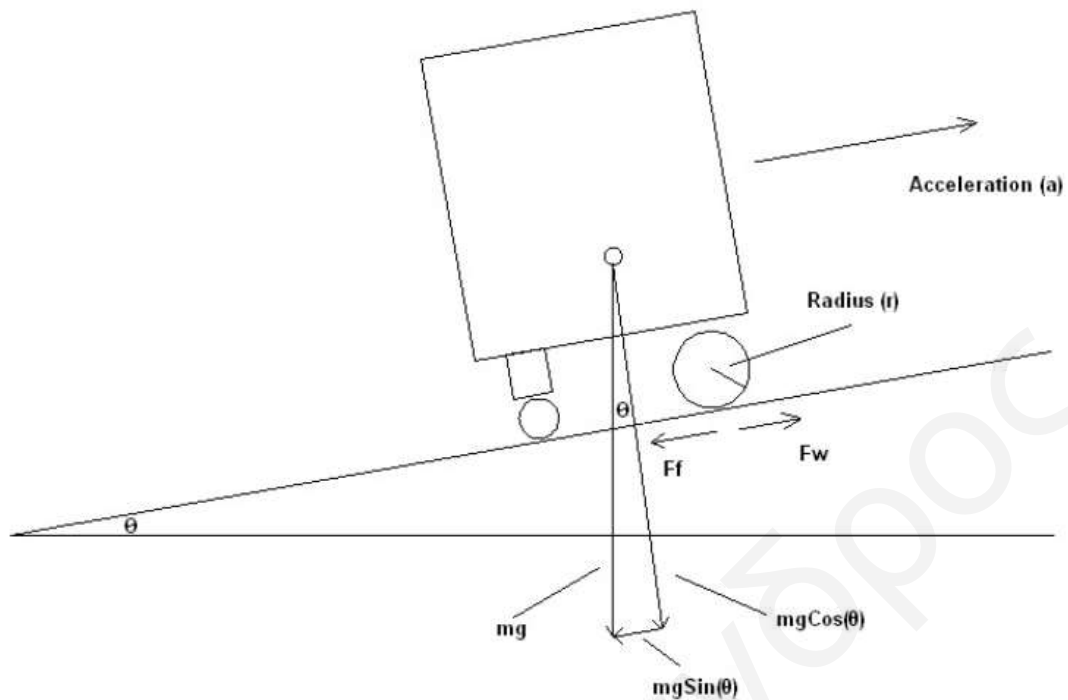
Για την κατασκευή ενός κινητό ρομπότ, η επιλογή των κινητήρων κίνησης είναι από τις πιο σημαντικές αποφάσεις που θα παρθούν. Σε αυτό το υποκεφάλαιο περιγράφονται μερικά από τα βασικά στοιχεία της φυσικής και τους εμπειρικούς κανόνες που χρησιμοποιούνται για την επιλογή DC κινητήρων για κινητά ρομπότ [21].

Αρχικά, ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC) αποτελείται από ένα σύνολο μαγνητών και ένα ρότορα. Όταν εφαρμόζεται ρεύμα στο πηνίο του ρότορα, δημιουργείται ηλεκτρομαγνητικό πεδίο το οποίο περιστρέφει τον ρότορα. Η ταχύτητα σε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος είναι ανάλογη με την τάση που εφαρμόζεται στον ρότορα. Η ισχύς που παράγεται από τον κινητήρα είναι ανάλογη με την τάση πολλαπλασιαζόμενη επί το ρεύμα, έτσι προκύπτουν οι παρακάτω δύο σχέσεις [21].

$$\text{Power [W]} = \text{Voltage [V]} * \text{Current [I]} \quad (1)$$

$$\text{Power [W]} = \text{Torque [Nm]} * \text{Angular Velocity [rad/sec]} \quad (2)$$

Παρακάτω, δίνεται το διάγραμμα ελευθέρου σώματος και μία σειρά εξισώσεων για τον υπολογισμό της ισχύος και ταχύτητας των κινητήρων [21].



Σχήμα 4-3: Διάγραμμα ελεύθερου σώματος ενός κυλιόμενου μέσου

$$\text{Force [N]} = \text{Mass [kg]} * \text{Acceleration [m/s}^2] = m * a \quad (3)$$

Από το διάγραμμα η βασική δύναμη είναι το βάρος, άρα:

$$\text{Weight [N]} = \text{Mass [kg]} * \text{Acceleration [m/s}^2] = \text{Mass [kg]} * \text{Gravity [m/s}^2] = m * g \quad (4)$$

Η εξίσωση (4) μας δίνει την δύναμη η οποία ωθεί το ρομπότ προς το κέντρο της γης, λόγω της βαρύτητας. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, αυτήν την δύναμη τη σπάμε σε δύο δυνάμεις, την $mg\sin(\theta)$ και την $mg\cos(\theta)$. Άρα:

$$\text{Δύναμη η οποία ωθεί το ρομπότ να κυλίσει προς τα πίσω} = fg = mg\sin(\theta) \quad (5)$$

$$\text{Δύναμη η οποία ωθεί το ρομπότ στο δάπεδο} = fn = mg\cos(\theta) \quad (6)$$

Η ροπή είναι το μέγεθος το οποίο εφαρμόζεται για την περιστροφή ενός σώματος γύρω από ένα συγκεκριμένο άξονα. Σε ένα κινητό ρομπότ, το σώμα θα είναι ο τροχός και ο άξονας θα είναι ένας άξονας κινητήρα. Η ροπή μετριέται σε μονάδες δύναμης και απόστασης Nm (Newton * μέτρα) ή $\text{Kgf} * \text{cm}$ στην περίπτωση των κινητήρων του Pygmalion [21].

$$\text{Torque [Nm]} = \text{Force [N]} * \text{Distance [m]} \quad (7)$$

$$\text{Torque [Nm]} = Fw \text{ [N]} * r \text{ [m]} \text{ όπου } r = D/2 = \text{ακτίνα τροχού} \quad (8)$$

$$\Sigma \text{Forces}=0=F_{\text{total}}=F_w-F_g=0 \quad (9)$$

Για ύπαρξη κίνησης και όχι ισορροπίας: $F_w-F_g=M*a \Rightarrow F_w=(M*a)+F_g$ (10)

$$(8)(5) \Rightarrow T/r=(M*a)+(M*\sin(\theta)) \Rightarrow (11) T=M(a+g\sin(\theta))*r \quad (11)$$

$$\text{Ταχύτητα}=\text{Velocity}=V_{\text{initial}}[\text{m/s}] + (\text{Acceleration}[\text{m/s}^2] * \text{Time}[\text{s}]) \quad (12)$$

Δεδομένα για Pygmalion:

1. Mass=20 [kg]
2. Max speed=1.8 [m/s] (Human walking speed)
3. Max incline= $\theta=10^\circ$ (Disabled human ramp incline)
4. Acceleration=1 [m/s²]
5. Drive wheel diameter=D=15 [cm] $\Rightarrow r=0.075$ [m]

Από δεδομένα και (12): Torque= $20\text{kg} * [(1\text{s}) + (9.81\text{m/s}^2 * \sin(10^\circ))] * 0.075\text{m} = 4.06$ [Nm]

Μετατροπή μονάδων μέτρησης: 4.06 [Nm]= 41.36 [kgfcm]

Η συνολική ροπή είναι 41.36 [kgfcm], άρα για κάθε τροχό απαιτείται:

$41.36/4=10.34$ [kgfcm] ροπής.

Ταχύτητα περιστροφής:

$$(\text{Max speed}/\text{perimeter}) * 60 = \text{Rev}/\text{min} \quad (13)$$

Άρα: $[(1.8\text{m/s}) / (2 * \pi * 0.075\text{m})] * 60 = 229.2$ [Rev/min] Rotational speed

Από τον πίνακα κινητήρων στο datasheet, επιλέχθηκε ο παρακάτω κινητήρας με ροπή 11 kgfcm και ταχύτητα περιστροφής 285 RPM. Το ολοκληρωμένο datasheet παρουσιάζεται στο Παράρτημα I.

齒輪馬達轉矩 & 速度 / Geared Motor Torque & Speed

減速比 Reduction ratio	1/3	1/4	1/12	1/15	1/19	1/26	1/43	1/53	1/66	1/81	1/100	1/113	1/150	1/230	1/285	1/353	1/488	1/546	1/676	1/936
12V 定格扭力 Rated torque (Kg-cm)	2.5	3.1	7.7	9.5	11.8	16	23	28	35	44	54	60	67	100	100	100	100	100	100	100
定格轉數 Rated speed (rpm)	1030	835	295	238	192	139	84	68	55	44	36	32	24	15.5	12.8	10.4	7.6	6.7	5.6	4
24V 定格扭力 Rated torque (Kg-cm)	3.6	4.5	11	13.5	17	23	33	41	51	62	76	88	97	100	100	100	100	100	100	100
定格轉數 Rated speed (rpm)	1000	815	285	230	185	136	82	67	54	44	35	31	23.5	15.6	12.9	10.5	7.7	6.8	5.7	4.1
軸心旋轉方向 Rotation direction	CW																			
長度 Length (L)	53			68.5				84				99.5								

Σχήμα 4-4: Επιλογή κινητήρα από κατάλογο έπειτα του υπολογισμού ισχύος και ταχύτητας περιστροφής

4.3 Ηλεκτρονικά στοιχεία

4.3.1 Motor drivers

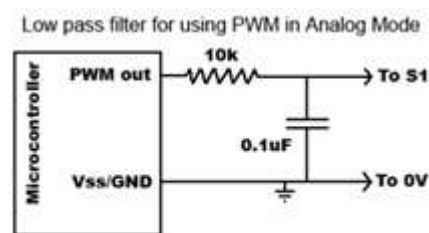
Στο 'Pygmalion' για την ενεργοποίηση και σύνδεση των κινητήρων με τον επεξεργαστή χρησιμοποιούνται δύο motor driver Sabertooth 2x12 με δυνατότητα παροχής 24 V τάσης, μέγιστης ισχύς 12 A σε κάθε κινητήρα και στιγμιαία ένταση ρεύματος 25 A για μερικά δευτερόλεπτα. Τα motor driver τροφοδοτούνται από τις μπαταρίες των κινητήρων και έπειτα τροφοδοτούν τους κινητήρες. Το κάθε motor driver μπορεί να ενεργοποιήσει μέχρι δύο κινητήρες σύμφωνα με τα σήματα τα οποία λαμβάνει από τον επεξεργαστή για κάθε κινητήρα ξεχωριστά. Τα σήματα τα οποία έρχονται από τον επεξεργαστή στο motor driver είναι αναλογικά και έχουν τάση από 1.875 V έως 3.125 V. Όταν το σήμα είναι 1.875 V ο κινητήρας περιστρέφεται αριστερόστροφα με μέγιστη ταχύτητα περιστροφής 285 RPM, από 1.876 V έως 2.49 V περιστρέφεται αριστερόστροφα με μεταβλητή ταχύτητα αναλογικά με την τάση του σήματος, με σήμα 3.125 V ο κινητήρας περιστρέφεται δεξιόστροφα με μέγιστη ταχύτητας περιστροφής, από 2.51 V έως 3.124 V περιστρέφεται δεξιόστροφα με μεταβλητή ταχύτητα ανάλογα με την τάση του σήματος και στα 2.5 V ο κινητήρας δεν περιστρέφεται αλλά είναι ενεργοποιημένος. Επιλέχθηκε αυτό το motor driver για την ενεργοποίηση των κινητήρων γιατί μπορεί να επεξεργαστεί σήματα 0-3.125 V, το οποίο είναι πολύ σημαντικό γιατί τα ψηφιακά σήματα τα οποία δίνει ο επεξεργαστής Raspberry Pi 4 είναι μέγιστης τάσης 3.3 V. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας είναι ένας από τους έξι διαθέσιμους τρόπου λειτουργίας και επεξεργασίας σημάτων από το motor driver. Μελλοντικά, για έλεγχο του 'Pygmalion' με άλλους επεξεργαστές οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα εξαγωγής σημάτων μεγαλύτερων των 3.3 V έως 5 V, μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα υφιστάμενα motor driver με διαφορετικό τύπο επεξεργασίας ο οποίος αλλάζει πολύ εύκολα και γρήγορα. Παρακάτω στο Παράρτημα I περιλαμβάνεται το datasheet του motor driver με όλες τις δυνατότητες του.



Σχήμα 4-5: Motor driver Sabertooth 2x12

4.3.2 Low pass filters

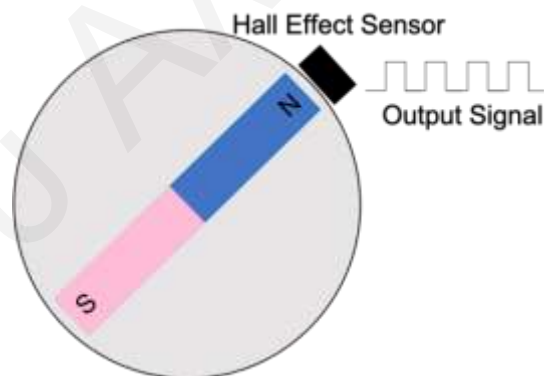
Το φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων είναι απλή συστοιχία ηλεκτρονικών η οποία χρησιμοποιείται, όπως λέει και η ονομασία του, σαν φίλτρο των χαμηλών συχνοτήτων σε ένα σήμα. Τα σήματα τα οποία παράγονται τις πλείστες φορές έχουν τον λεγόμενο ‘θόρυβο’ ο οποίος είναι η τάση το σήματος να επηρεάζεται από εξωτερικού παράγοντες ή από κακή δημιουργία λόγω του επεξεργαστή με αποτέλεσμα να διακυμαίνονται σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων και να μην είναι σταθερά. Οι εξωτερικοί παράγοντες οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν θόρυβο σε ένα σήμα είναι κατά κύριο λόγο τα καλώδια υψηλής τάσης τα οποία είναι κοντά στα καλώδια του σήματος, τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία δημιουργούνται από διάφορες αιτίες, άλλα ισχυρότερα σήματα στο περιβάλλον και η κακή συνδεσμολογία (συνήθως σε επαφές οι οποίες δεν κλείνουν επαρκώς το κύκλωμα). Η διακύμανση της συχνότητας ή γενικότερα ένα ασταθές σήμα έχει σαν αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία των motor driver τα οποία ‘μεταφράζουν’ το σήμα σε περιστροφές και έπειτα το ρομπότ να μην έχει ομαλή λειτουργία ή κίνηση. Συνήθως, σε τέτοιου είδους εφαρμογές χρησιμοποιούνται φίλτρα χαμηλών συχνοτήτων τα οποία επιτρέπουν στις χαμηλές συχνότητες να παραμένουν στο σήμα, και ‘κόβουν’ (cut-off) τις υψηλές συχνότητες οι οποίες κατά το πλείστον είναι σε μορφή ‘peaks’ ή ‘spikes’ μέσα στο σήμα. Ο κατασκευαστής των motor driver, τα οποία χρησιμοποιούνται στο Pygmalion, προτείνει ένα low-pass filter με πυκνωτή 0.1 μF έως 10 μF και αντίσταση 10k Ohm για σήματα συχνότητας μεγαλύτερων από 1000 Hz.



Σχήμα 4-6: Low pass filter

4.3.3 Magnetic Encoder/ Μαγνητικοί κωδικοποιητές

Το Pygmalion χρησιμοποιεί τέσσερις κινητήρες οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με μαγνητικούς κωδικοποιητές ενός καναλιού τύπου hall effect. Οι hall effect encoders είναι αισθητήρες οι οποίοι τοποθετούνται στον άξονα ενός περιστροφικού στοιχείου (συνήθως κινητήρες) και δίνουν σήματα ανάδρασης τα οποία έχουν πληροφορία για τη φορά περιστροφής, ταχύτητα περιστροφής και τη θέση του άξονα σε μοίρες, ανάλογα με την ακρίβεια και ευκρίνεια του αισθητήρα. Οι κωδικοποιητές τύπου hall effect είναι εξαιρετικά ανθεκτικοί σε κραδασμούς, σκόνη, υγρασία και κόπωση γιατί έχουν ελάχιστα μηχανικά και ηλεκτρονικά στοιχεία. Αυτό γίνεται λόγω της αρχής λειτουργίας τους, η οποία είναι το φαινόμενο hall, το οποίο χρειάζεται μόνο ένα μαγνητικό πεδίο και μερικές μετρήσεις αυτού κατά την περιστροφή του άξονα, οι οποίες πραγματοποιούνται από μια μικρή και ελαφριά πλακέτα η οποία συνοδεύει τους κωδικοποιητές. Οι κωδικοποιητές είναι διαθέσιμοι προς μελλοντική χρήση, για την προσαρμογή του ρομπότ σε διαδικασία ιχνηλάτησης των κινήσεών του, οι οποίες συσχετίζονται άμεσα με τη φορά και ταχύτητα περιστροφής των τροχών/κινητήρων του.



Σχήμα 4-7: Σχηματικό αρχής λειτουργίας αισθητήρα hall

4.3.4 Analog to digital converter (ADC)

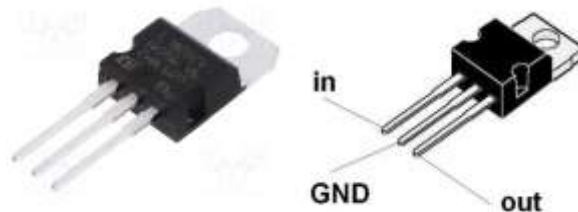
Ο επεξεργαστής του Pygmalion ο οποίος είναι ο Raspberry Pi 4, δεν έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας αναλογικών σημάτων σαν σήματα εισόδου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην μπορεί να διαβάσει τα αναλογικά σήματα τα οποία προέρχονται από τα ποτενσιόμετρα του διαξονικού Joystick. Έτσι, για την επίλυση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιείται ένα ηλεκτρονικό στοιχείο ADC (Analog to digital converter) σαν μετατροπέας του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Ο μετατροπέας ο οποίος χρησιμοποιείται είναι ο MCP3008, με δυνατότητα επεξεργασίας οκτώ διαφορετικών σημάτων ταυτόχρονα. Από τα οκτώ κανάλια το ρομπότ χρησιμοποιεί τα δύο, ένα για κάθε σήμα του αναλογικού ποτενσιόμετρου σε κάθε άξονα του Joystick.



Σχήμα 4-8: Analog to digital converter MCP3008

4.3.5 Ρυθμιστές τάσης/Voltage regulators

Το Pygmalion, όπως προαναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο των μπαταριών, χρησιμοποιεί δύο μπαταρίες μολύβδου κλειστού τύπου 12 V για την τροφοδοσία των κινητήρων. Αυτές οι μπαταρίες είναι συνδεδεμένες σε σειρά για την δημιουργία παροχής 24 V στους κινητήρες. Στη μία μπαταρία είναι προσαρμοσμένοι δύο ρυθμιστές τάσης, οι οποίοι έχουν είσοδο 12 V από τη μπαταρία και έξοδο 5 V και 6 V αντίστοιχα. Ο σκοπός είναι η τροφοδοσία ρομποτικών υποσυστημάτων τα οποία είναι σχεδιασμένα να εγκαθίστανται και να συνεργάζονται με το Pygmalion στο μέλλον. Η τάση των 5 V είναι η τάση για την λειτουργία των επεξεργαστών αυτού του υποσυστήματος, και η τάση των 6 V είναι η τάση τροφοδοσίας των κινητήρων του.



Σχήμα 4-9: Voltage regulator

4.3.6 Οθόνη αφής LCD

Ο επεξεργαστής του Pygmalion είναι συνδεδεμένος με οθόνη αφής, η οποία επιτρέπει στον προγραμματιστή του ρομπότ να το ελέγχει ευκολότερα, χρησιμοποιώντας όλες τις δυνατότητες του Raspberry Pi. Ο επεξεργαστής Raspberry Pi για τον προγραμματισμό του, χρειάζεται πληκτρολόγιο, ποντίκι, όπου όλα παρέχονται από την οθόνη αφής σε μέγεθος 7 inch. Επίσης, ο προγραμματιστής μπορεί ανά πάσα χρονική στιγμή να χρησιμοποιήσει την οθόνη για να ανατρέξει στο διαδίκτυο μέσω του Raspberry Pi. Η οθόνη είναι εγκατεστημένη εντός του κελύφους, πάντα σε λειτουργία καθ' όλη την περίοδο λειτουργίας του ρομπότ σε sleep mode για εξοικονόμηση ενέργειας και δεν είναι προσβάσιμη ή εκτεθειμένη σε ανθρώπους στον περίγυρο του ρομπότ.



Σχήμα 4-10: Raspberry Pi LCD touch screen

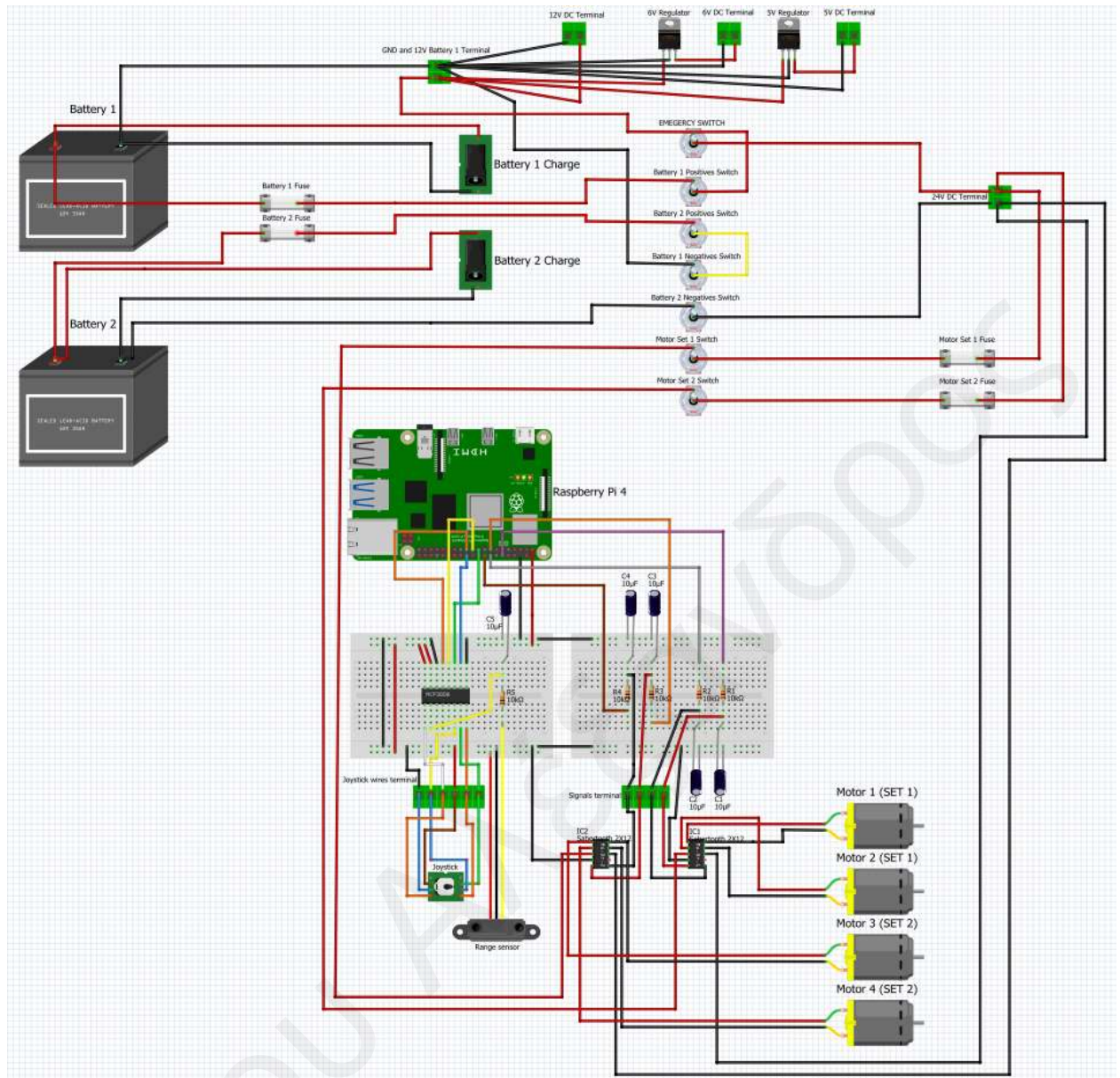
4.4 Συνδεσμολογία ηλεκτρονικών

Στο υποκεφάλαιο της συνδεσμολογίας δίνονται σχήματα των breadboard diagram και schematic diagram, όπου κάποιος μπορεί να δει το ηλεκτρονικό hardware του ρομπότ και την συνδεσμολογία του. Η συνδεσμολογία του ρομπότ έγινε στο UCY Robotics LAB του Πανεπιστημίου Κύπρου και τα ψηφιακά διαγράμματα στο λογισμικό Fritzing.

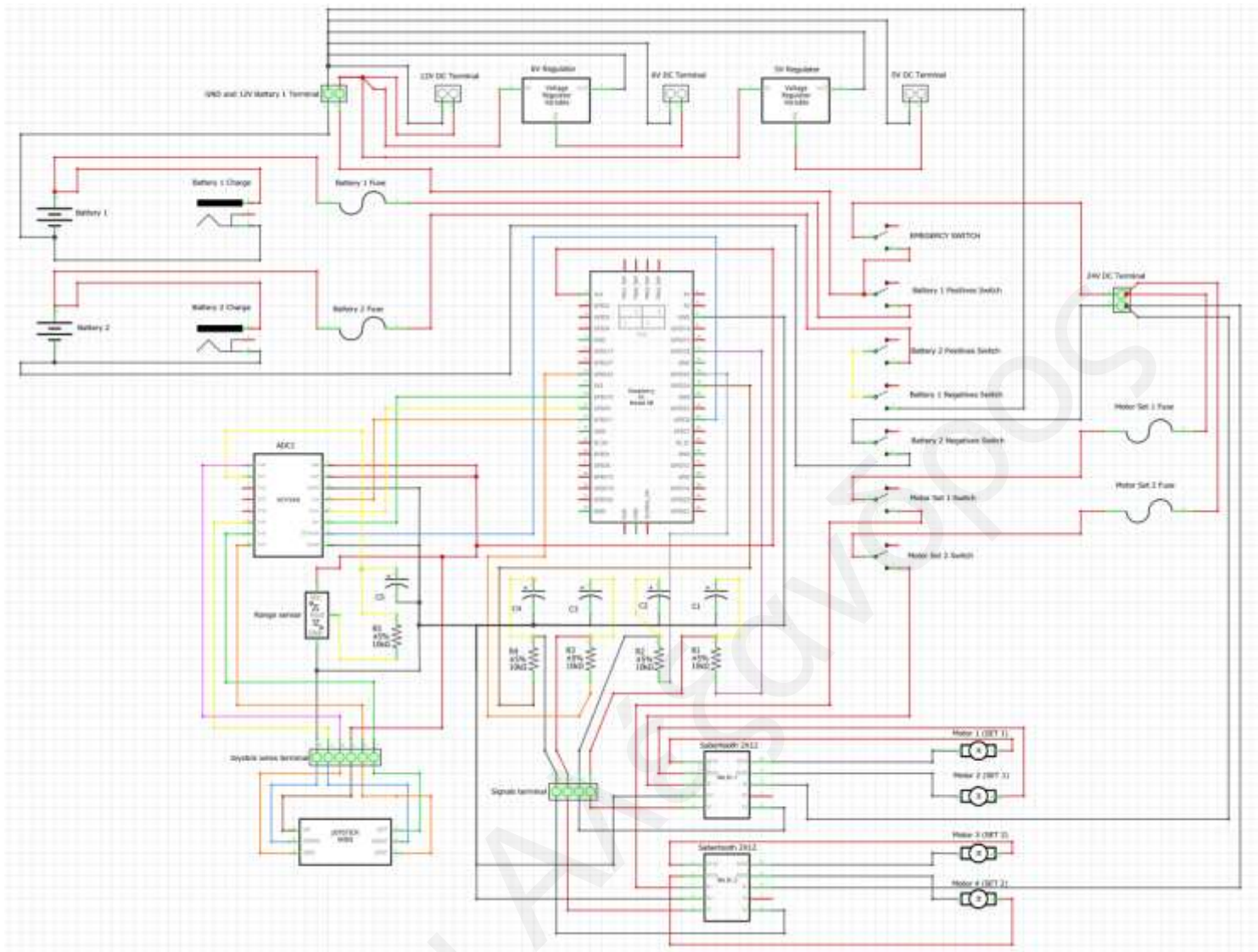
Σχετικά με την τροφοδοσία οι δύο μπαταρίες συνδέονται σε σειρά, έτσι ώστε να παρέχουν τάση 24 V στους κινητήρες μόνο (μέσω των Motor driver). Η σύνδεση των μπαταριών γίνεται μέσω διακοπών, έτσι ώστε όταν οι διακόπτες είναι OFF, η κάθε μπαταρία αποκόπτεται από την σύνδεση για να μπορεί να φορτιστεί με φορτιστή στα 12V. Όταν οι διακόπτες των μπαταριών είναι ON, και ταυτόχρονα οι διακόπτες των motor driver είναι ON, τότε οι μπαταρίες τροφοδοτούν τα motor driver με τάση 24 V σταθερά.

Σχετικά με τη συνδεσμολογία του επεξεργαστή με τα ηλεκτρονικά, σημειώνεται ότι οι μπαταρίες των κινητήρων δεν έχουν καμία σύνδεση με τα ηλεκτρονικά χαμηλής ισχύος, όλα τα ηλεκτρονικά χαμηλής ισχύος (επεξεργαστής, breadboards, range sensor, signals, ADC chip, πυκνωτές και αντιστάσεις) είναι συνδεδεμένα σε ανεξάρτητη μπαταρία 3.7 V η οποία επίσης φορτίζει ανεξάρτητα από τις μπαταρίες κινητήρων. Η σειρά λειτουργίας αρχίζει από τα σήματα του χειριστηρίου και του αισθητήρα τα οποία φιλτράρονται με φυσικό Low Pass φίλτρο και μετά μετατρέπονται ψηφιακά από αναλογικά με την χρήση ενός Analog to Digital Converter. Το ADC είναι συνδεδεμένο με τον επεξεργαστή ο οποίος διαβάζει τα πλέον ψηφιακά σήματα και παράγει την επόμενη κίνηση του ρομπότ. Η επόμενη κίνηση του ρομπότ γίνεται στέλνοντας τέσσερα σήματα από τον επεξεργαστή στα Motor drivers, τα οποία αναλόγως της τάσης του σήματος ενεργοποιούν τους κινητήρες στις αντίστοιχες στροφές περιστροφής.

Η σύνδεση των emergency button αφορά την τάση 24 V, η οποία παράγεται από την ένωση των μπαταριών σε σειρά που περνάει από έναν διακόπτη ασφαλείας ο οποίος είναι σε στάση OFF κατά την φυσιολογική λειτουργία του ρομπότ. Σε περίπτωση που κάποιος ενεργοποιήσει τον διακόπτη ασφαλείας στην στάση ON, τα Motor driver και κατ' επέκταση οι κινητήρες, έχουν μηδενική τάση.



Σχήμα 4-11: Pygmalions Breadboard diagram



Σχήμα 4-12: Pygmalions Schematic diagram

4.5 Έλεγχος και προγραμματισμός

Στο κεφάλαιο του ελέγχου και προγραμματισμού επεξηγείται ποιος υπολογιστής και γιατί επιλέχτηκε, η αρχή λειτουργίας του χειριστήριου Joystick, δίνεται και αναλύεται ο κώδικας για τις δύο λειτουργίες του Pygmalion (απλοί τροχοί ή mecanum) και τέλος δίνεται ο κατάλογος ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

4.5.1 Υπολογιστής Raspberry Pi 4

Όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, ο έλεγχος του συστήματος γίνεται με τη χρήση ενός υπολογιστή/επεξεργαστή Raspberry Pi 4 model A. Επιλέχτηκε ο συγκεκριμένος επεξεργαστής μεταξύ άλλων (π.χ., Arduino) γιατί παρέχει όλες τις δυνατότητες για την πλήρωση των αναγκών του Pygmalion σε χαμηλό κόστος. Αντίστοιχο κόστος και χαρακτηριστικά με τον Raspberry Pi έχει και ο Arduino, με τη διαφορά ότι ο Raspberry Pi λειτουργεί σαν ένας κανονικός υπολογιστής με λογισμικό παρόμοιο με Linux, το οποίο δίνει στον χειριστή την εύκολη δυνατότητα πρόσβασης σε πολλαπλές επιλογές. Για παράδειγμα ο χρήστης μπορεί να γράψει διάφορους κώδικες τους οποίους να έχει αποθηκευμένους στη μνήμη του υπολογιστή, και να τρέχει όποιο κώδικα χρειάζεται ανάλογα τη χρήση του ρομπότ. Επίσης, η χρήση του Raspberry σαν ανεξάρτητου υπολογιστή, δίνει στον προγραμματιστή πρόσβαση στο διαδίκτυο ή εισαγωγή δεδομένων από εξωτερική μνήμη.



Σχήμα 4-13: Υπολογιστής Raspberry Pi 4 Model a

4.5.2 Χειριστήριο Joystick

Ο χειρισμός του Pygmalion γίνεται μέσω ενός τριαξονικού Joystick το οποίο μεταφέρει την πραγματική κίνησή του σε μετακίνηση του ρομπότ. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, το Joystick έχει τη δυνατότητα κίνησης στους άξονες X και Y, αλλά και περιστροφή γύρω από τον κάθετο άξονα Z. Η περιστροφή γύρω από τον άξονα Z ενεργοποιείται μόνο όταν το Pygmalion φοράει τους τροχούς mecanum και απαιτεί διαφορετικό κώδικα, ο οποίος είναι αποθηκευμένος στη μνήμη του υπολογιστή.

Το Joystick αποτελείται από τρία ποτενσιόμετρα, ένα για κάθε άξονα κίνησης (3 βαθμοί ελευθερίας). Το κάθε ποτενσιόμετρο λειτουργεί σαν μία μεταβλητή αντίσταση, η οποία πολώνεται με τάση 3.3 V και επιστρέφει ένα σήμα από 0 μέχρι 1023. Όταν το χειριστήριο είναι στην θέση 0, δηλαδή ελεύθερο στην αρχική του θέση, όλα τα ποτενσιόμετρα έχουν την ένδειξη 460-560 (μέση ένδειξη). Το ποτενσιόμετρο για την κίνηση στον Y άξονα (Forward/backward) έχει ένδειξη 1023 στο Forward και 0 στο Backward. Το ποτενσιόμετρο για την κίνηση στον X άξονα (Left/right) έχει ένδειξη 1023 στο Right και 0 στο Left. Το ποτενσιόμετρο για την περιστροφή στον Z άξονα (Axis rotation) έχει ένδειξη 1023 στο clockwise και 0 στο counter clock wise. Οι ενδείξεις ουσιαστικά είναι αναλογικά σήματα τα οποία παράγονται από την μεταβλητή αντίσταση του κάθε ποτενσιόμετρου. Τα αναλογικά σήματα περνάνε από το Analog to Digital Converter και μετατρέπονται σε ψηφιακά, έτσι ώστε να μπορεί να τα επεξεργαστεί το Raspberry Pi (ανάλυση μόνο ψηφιακών σημάτων). Μετά την ανάλυση των σημάτων, ο υπολογιστής εξάγει τέσσερα νέα ψηφιακά σήματα σύμφωνα με τον κώδικα, τα οποία φιλτράρονται από τέσσερα εξωτερικά Low Pass Filters (επεξήγηση φίλτρου παραπάνω) για μείωση θορύβου και σταθεροποίηση των σημάτων πριν τα motor driver.



Σχήμα 4-14: Τριαξονικό χειριστήριο Joystick

4.5.3 Επεξήγηση κώδικα

Σε αυτό το υποκεφάλαιο επεξηγείται ο κώδικας ο οποίος χρησιμοποιεί ο επεξεργαστής για την εκτέλεση των κινήσεων του ρομπότ.

Βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν:

1. **RPi.GPIO:** Το GPIO, είναι μια λειτουργική μονάδα Python για τον έλεγχο της διεπαφής GPIO στο Raspberry Pi. Τα Pins GPIO επιτρέπουν στα τσιπ να διαμορφώνονται για διαφορετικούς σκοπούς και να λειτουργούν με διάφορους τύπους στοιχείων. Αυτοί οι ακροδέκτες λειτουργούν ως διακόπτες που παράγουν 3.3 V όταν είναι ρυθμισμένο σε HIGH και χωρίς τάση όταν είναι ρυθμισμένο στο LOW.
2. **gpiozero import MCP3008:** Αυτή είναι η βιβλιοθήκη η οποία έχει τις φόρμουλες για τη λειτουργία του MCP3008 ADC chip το οποίο είναι τοποθετημένο στο ρομπότ για μετατροπή αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά.
3. **Import time:** Η βιβλιοθήκη αυτή περιέχει την εντολή time.sleep η οποία χρησιμοποιείται στον κώδικα για καθυστέρηση της επόμενης εντολής κατά συγκεκριμένο ορισμένο χρόνο.

Αρχή λειτουργίας κώδικα: Αρχικά εισέρχονται οι βιβλιοθήκες για τους λόγους που προαναφέρονται και ορίζονται τα **Pulse With Modulation (PWM) Pins** τα οποία είναι τα Pins όπου καταλήγουν στα motor drivers, και δίνουν το τελικό σήμα για την περιστροφή των κινητήρων. Για το κάθε PWM Pin δημιουργείται ένα instance με συχνότητα 1000Hz. Έπειτα διαβάζονται τα σήματα των ποτενσιόμετρων και του αισθητήρα μέσω του ADC και πολλαπλασιάζονται X 1023 για να αυξηθεί η διακριτική ακρίβειά τους. Μετά την δημιουργία των σημάτων από τα ποτενσιόμετρα του χειριστηρίου, ο κώδικας τρέχει μια συνθήκη IF για κάθε ποτενσιόμετρο. Σε κάθε χρονική στιγμή, μόνο μία IF μπορεί να είναι ενεργή, γιατί κάθε μία αντιστοιχεί σε ένα εύρος σημάτων από τα ποτενσιόμετρα. Μέσα στην IF η οποία είναι ενεργή, ο κώδικας τρέχει την εντολή MAP, η οποία μετατρέπει τις μετρήσεις (σήμα εισόδου) του ποτενσιόμετρου σε σήματα εξόδου τα οποία λαμβάνουν τα motor driver, και το ρομπότ κινείται ανάλογα με την θέση του χειριστηρίου. Όλες οι IF των ποτενσιόμετρων λειτουργούν μέσα σε μια κεντρική IF η οποία ρυθμίζεται από το σήμα του αισθητήρα.

Αν η μέτρηση του αισθητήρα είναι μεγαλύτερη των 15 εκατοστών, τότε εκτελούνται όλα τα παραπάνω, αλλιώς αν η μέτρηση είναι μικρότερη των 15 εκατοστών, όλα τα σήματα PWM δίνουν εντολή στο ρομπότ να παραμένει ακίνητο προς όλες τις κατευθύνσεις, εκτός αν το χειριστήριο δώσει εντολή για BACKWARD movement. Ο κώδικας για τους τροχούς mecanum χρησιμοποιεί τρία ποτενσιόμετρα, ενώ ο κώδικας για τους πνευματικού τροχούς χρησιμοποιεί δύο ποτενσιόμετρα. Οι δύο κώδικες είναι αναρτημένοι στο Παράρτημα II

4.6 Κατάλογος ηλεκτρονικών εξαρτημάτων

Κατάλογος ηλεκτρολογικών Εξαρτημάτων/Στοιχείων		
Εξάρτημα / Στοιχείο	Πληροφορίες	Τεμάχια
Κινητήρας	24[V] / 285[RPM] / 11[kgcm]	4
Επεξεργαστής	Raspberry Pi 4	1
Ασφάλεια κινητήρα	10[A]	2
Ασφάλεια μπαταρίας	20[A]	2
Ρυθμιστής τάσης	12[V] to 6[V]	1
Ρυθμιστής τάσης	12[V] to 5[V]	1
Διακόπτης ασφαλείας	Emergency button	1
Διακόπτης θετικών πόλων μπαταρίας	Dual switch (φαίνεται σαν 2 διακόπτες στο διαγραμματικό)	1
Διακόπτης αρνητικών πόλων μπαταρίας	Dual switch (φαίνεται σαν 2 διακόπτες στο διαγραμματικό)	1
Διακόπτης motor driver set 1	Dual rocket switch	1
Διακόπτης motor driver set 2	Dual rocket switch	1
Πυκνωτής	10[μF]	4
Αντίσταση	10[kOhm]	4
Analog to Digital converter	MCP3008 (8 channels)	1
Motor driver	Sabertooth 2x12 (24[V] / 12[A])	2
Joystick	Τριαξωνικό με κουμπί	1
Οθόνη αφής LCD	7[inch]	1

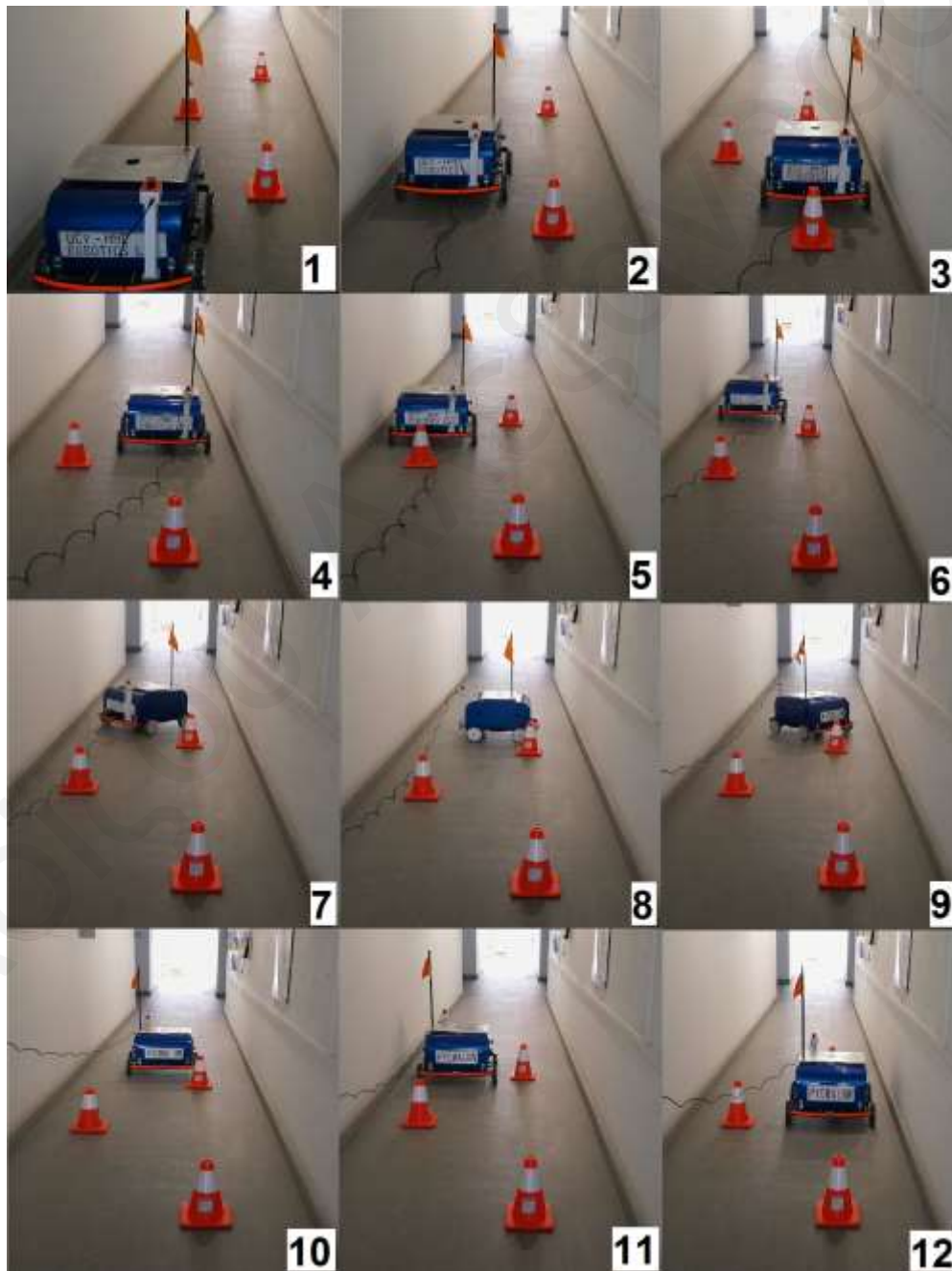
Σχήμα 4-15: Κατάλογος ηλεκτρονικών εξαρτημάτων

Κεφάλαιο 5

5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Έλεγχος βασικών λειτουργιών

5.1.1 Συνδυασμός τεσσάρων τροχών mecanum



Σχήμα 5-1: Στιγμιότυπα από συνεχές βίντεο δοκιμασίας Pygmalion σε εμπόδια με τροχούς mecanum

Όπως φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα 5-1, το πρωτότυπο ρομπότ δοκιμάστηκε στην προσπέραση εμποδίων σε εσωτερικό χώρο (στενός διάδρομος ο οποίος έχει πλάτος μόλις δύο φορές το πλάτος του ρομπότ). Το Σχήμα 5-1 αποτελείται από δώδεκα στιγμιότυπα από συνεχές κίνηση του ρομπότ, και το κάθε στιγμιότυπο είναι αριθμημένο κάτω δεξιά. Ακολουθεί επεξήγηση των κινήσεων μεταξύ όλων των στιγμιότυπων σύμφωνα με τις εντολές από το χειριστήριο .

Από 1 προς 2: Το ρομπότ κινείται κάθετα ευθεία με την εντολή FORWARD.

Από 2 προς 3: Το ρομπότ κινείται κάθετα δεξιά με την εντολή SHIFT RIGHT.

Από 3 προς 4: Το ρομπότ κινείται κάθετα ευθεία με την εντολή FORWARD.

Από 4 προς 5: Το ρομπότ κινείται κάθετα αριστερά με την εντολή SHIFT LEFT

Από 5 προς 6: Το ρομπότ κινείται κάθετα ευθεία με την εντολή FORWARD.

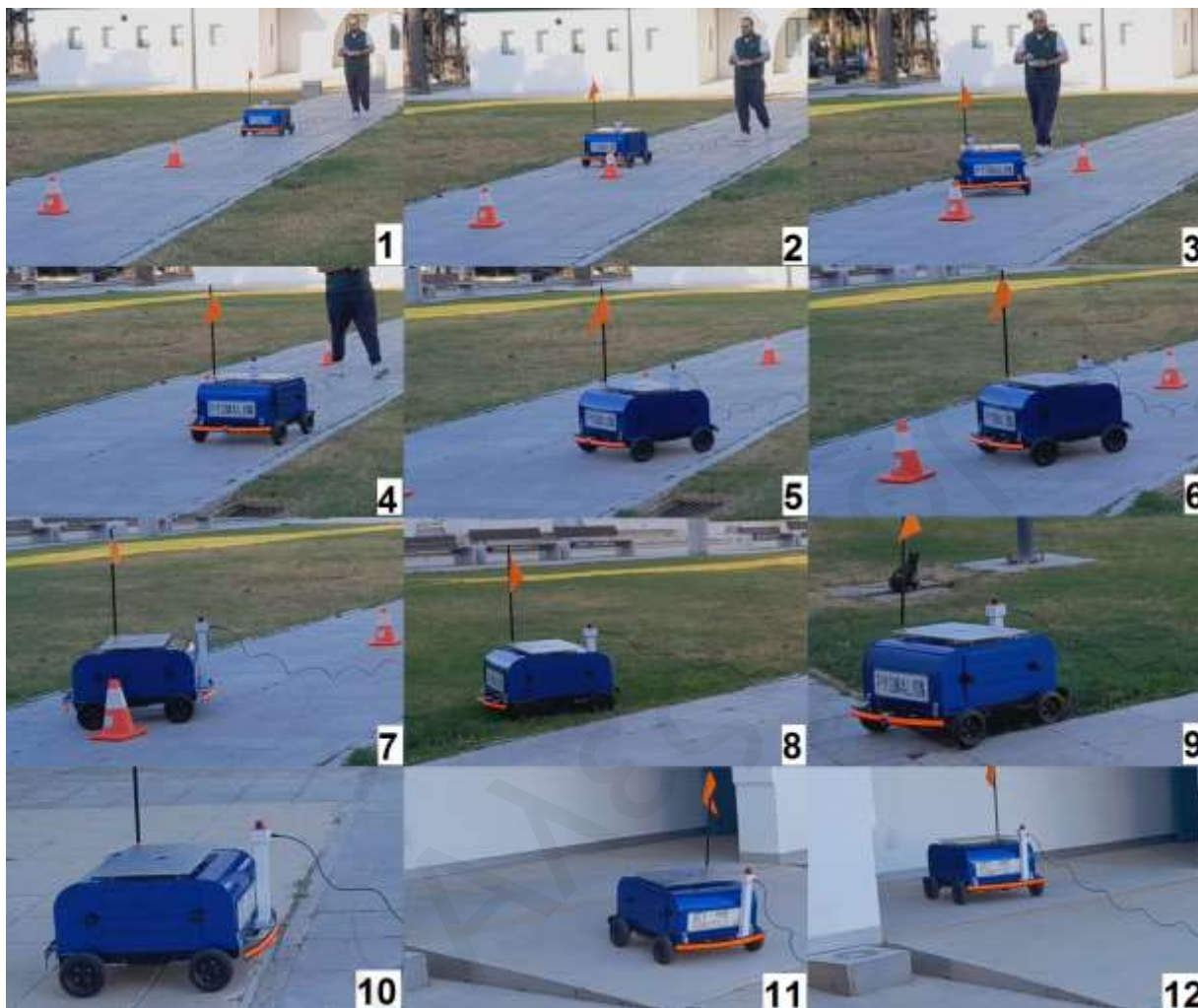
Από 6 προς 10: Το ρομπότ περιστρέφεται στον κάθετο άξονα του (επιτόπου) με την εντολή ROTATE CW.

Από 10 προς 11: Το ρομπότ κινείται αρχικά κάθετα δεξιά με την εντολή SHIFT RIGHT και έπειτα κάθετα ευθεία με την εντολή FORWARD.

Από 11 προς 12: Το ρομπότ αρχίζει την επιστροφή του, και κινείται κάθετα ευθεία με την εντολή FORWARD και έπειτα κάθετα αριστερά με την εντολή SHIFT LEFT.

Όπως διαπιστώνεται από τις παραπάνω εντολές, οι τροχοί mecanum δίνουν την δυνατότητα στο ρομπότ να κινείται κάθετα στους άξονες του συστήματος του, πράγμα το οποίο κάνει την μετακίνηση ευκολότερη, ακριβέστερη και ασφαλή σε εσωτερικούς χώρους.

5.1.2 Συνδυασμός τεσσάρων πνευματικών τροχών



Σχήμα 5-2: Στιγμιότυπα από συνεχές βίντεο δοκιμασίας Pygmalion σε εμπόδια με πνευματικού τροχούς

Η χρήση των πνευματικών τροχών παρέχει την δυνατότητα κίνησης σε εξωτερικούς χώρους με μεγαλύτερη ευκολία παρά με τους τροχούς mecanum, ενώ η κίνηση σε εσωτερικούς χώρους είναι δυσκολότερη. Αυτό γίνεται γιατί οι πνευματικοί τροχοί δεν έχουν τόσο καλή πρόσφυση σε λείο δάπεδο λόγω μειωμένης τριβής, με αποτέλεσμα να μην κυλίνουν αλλά να περιστρέφονται επιτόπου. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε να είναι εντονότερο όταν ο χειριστής δίνει εντολή στο ρομπότ να στρίψει δεξιά ή αριστερά γιατί οι δύο τροχοί μειώνουν τις στροφές τους και άλλοι δύο τις αυξάνουν. Οι τροχοί οι οποίοι αυξάνουν τις στροφές τους είναι σύνηθες να περιστρέφονται επιτόπου μέχρι να ‘δαγκώσουν’ στην επιφάνεια του δαπέδου.

Το παραπάνω φαινόμενο μειώνεται σημαντικά σε εξωτερικούς χώρους με τραχύ δάπεδο, αλλά δεν απαλείφεται εντελώς. Βεβαίως είναι αναμενόμενο γιατί το στρίψιμο γίνεται με την αρχή λειτουργίας του skid steering και αυτό είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του.

Οι πνευματικοί τροχοί δίνουν επίσης τη δυνατότητα κίνησης του ρομπότ σε γρήγορη ταχύτητα, γιατί δεν έχουν κραδασμούς όπως οι τροχοί mecanum. Όπως επίσης και το γεγονός ότι οι ήχοι του ρομπότ προέρχονται αποκλειστικά από τους κινητήρες και τα στοιχεία μηχανών, σε σχέση με τους τροχούς mecanum που είναι εξαιρετικά θορυβώδεις σε γρήγορες ταχύτητες.

Τέλος, παρατηρήθηκε ότι ο χώρος ο οποίος απαιτείται για να στρίψει το ρομπότ, πρέπει να είναι περισσότερος παρά όταν κινείται με τροχούς mecanum. Για παράδειγμα, η αποφυγή των εμποδίων τα οποία φαίνονται στο παραπάνω Σχήμα 5-1, με τις ίδιες αποστάσεις και στον ίδιο χώρο, είναι αδύνατη με τέσσερις πνευματικούς τροχούς. Είναι εφικτή, και πάλι με περισσότερη δυσκολία, μόνον αν τα εμπόδια έχουν μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους.

Κεφάλαιο 6

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σαν μέρος της διπλωματικής εργασίας έγινε μια γενική ανασκόπηση των κινητών ρομπότ και της εφαρμογής τους σε διάφορα επιστημονικά ή πρακτικά πεδία. Βάση της ανασκόπησης σχεδιάστηκε το ρομποτικό σύστημα γενικής χρήσης Pygmalion, κατασκευάστηκε το πρωτότυπο ρομπότ, έγινε ο έλεγχός του και δοκιμάστηκε στο UCY Robotics LAB του Πανεπιστημίου Κύπρου. Περαιώω ανάπτυξη του συστήματος μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες κατευθύνσεις όπως αναφέρεται παρακάτω.

1. Αισθητήρες: Η προσθήκη τριών αισθητήρων σε κάθε πλευρά του ρομπότ, θα του δώσουν μια καλύτερη λειτουργία στο θέμα της ασφάλειας. Τα σήματα των τριών αισθητήρων (ισχύει για κάθε πλευρά) μπορούν να αθροίζονται και να διαιρούνται για την εύρεση του μέσου σήματος, με αποτέλεσμα αποφυγή σφαλμάτων, σε περίπτωση που ένας εκ των τριών υπολειτουργεί για κάποιο λόγο.
2. Εικόνα: Η προσθήκη κάμερας και η επεξεργασία εικόνας μπορεί να προσθέσει ένα μέτρο ασφαλείας (πλήρες φρενάρισμα ή μείωση ταχύτητας όταν εντοπισθεί κάποιος άνθρωπος σε κοντινή απόσταση), όπως και δυνατότητα μετάδοσης της εικόνας ζωντανά όταν το ρομπότ, όταν λειτουργεί με τηλεχειρισμό. Επιπλέον, θα παρέχει νέες δυνατότητες στο σύστημα σε σχέση με εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθεί.
3. Τηλεχειρισμός: Προσθήκη πομπού και λήπτη μεταξύ του Joystick και του ρομπότ, με αποτέλεσμα τα σήματα να μεταδίδονται ασύρματα σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Ο επεξεργαστής έχει τη δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο, έτσι με την δημιουργία εφαρμογής τα σήματα μπορούν να μεταδίδονται διαδικτυακά και ο τηλεχειρισμός να μην έχει περιορισμό απόστασης.
4. Αναβάθμιση επεξεργαστή: Η αναβάθμιση του επεξεργαστή ο οποίος είναι ειδικευμένος για την χρήση σε ρομπότ, θα δώσει την δυνατότητα εφαρμογής ψηφιακών φίλτρων για βελτιστοποίηση της ακρίβειας των κινήσεων στους

κινητήρες. Ιδανικά ο επεξεργαστής είναι το πρώτο στοιχείο αναβάθμισης, για να μπορεί να υποδεχτεί με άνεση τις υπόλοιπες προτεινόμενες αναβαθμίσεις.

5. Αναβάθμιση μπαταριών κινητήρων: Η αναβάθμιση των μπαταριών μολύβδου σε μπαταρίες λιθίου θα προσφέρει μείωση του συνολικού βάρους, με αποτέλεσμα το ρομπότ να έχει περισσότερη εμβέλεια με ίδια χωρητικότητα ή δυνατότητα μεταφοράς περισσότερου ωφέλιμου φορτίου.
6. Χρήση των Encoder: Η χρήση των υφιστάμενων magnetic hall encoder οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στους κινητήρες θα προσφέρει την δυνατότητα στον επεξεργαστή να γνωρίζει την ταχύτητα περιστροφής και θέση των κινητήρων (η θέση δεν είναι τόσο σημαντική για ένα κινητό ρομπότ) και έπειτα μπορεί να χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες για χαρτογράφηση ενός χώρου ή έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής των τροχών με περισσότερη ακρίβεια (δημιουργία συστήματος κλειστού βρόχου και ελαχιστοποίηση του σφάλματος).

Καταληκτικά, το ρομποτικό σύστημα Pygmalion που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας θα αποτελέσει πλατφόρμα για μελέτη στην περιοχή της ρομποτικής στο UCY Robotics LAB και την εξέταση διαφόρων συγκεκριμένων εφαρμογών.

Βιβλιογραφία

- [1] S.G. Tzafestas. Introduction to mobile robot control. Elsevier, 2014.
- [2] G Cook, F. Zhang. Mobile robots. IEEE Press - Wiley, 2020.
- [3] Introduction to autonomous mobile robots. The MIT Press, 2011.
- [4] Z. Li, S.S. Ge. Fundamentals in modelling and control of mobile manipulators. CRC Press, 2013.
- [5] Robot locomotion, Wikipedia. Ανακτήθηκε στις 03/05/2022 από: https://en.wikipedia.org/wiki/Robot_locomotion
- [6] How to build a robot, SuperDroid Robots. Ανακτήθηκε στις 03/05/2022 από: https://wiki.sdrobots.com/index.php/Category:How_to_Build_a_Robot
- [7] Autonomous underwater vehicle, Wikipedia. Ανακτήθηκε στις 03/05/2022 από: https://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_underwater_vehicle
- [8] ACM-R5H, Robot Center. Ανακτήθηκε στις 03/05/2022 από: <https://www.robotcenter.co.uk/products/acm-r5h>
- [9] Autonomous Underwater Vehicles Market worth 343.4 Million USD by 2020, Robot Globe. Ανακτήθηκε στις 03/05/2022 από: <https://robotglobe.org/autonomous-underwater-vehicles-market-worth-343-4-million-usd-by-2020/>
- [10] Robotics/Components/Power Sources, WikiBooks. Ανακτήθηκε στις 03/05/2022 από: https://en.wikibooks.org/wiki/Robotics/Components/Power_Sources
- [11] Anood Ibrahim, Reba Rachel Alexander, Mohammed Shahid Umar Sanghar, Royson Donate D'Souza. Control Systems in Robotics: A Review. International Journal of Engineering Inventions e-ISSN: 2278-7461, p-ISSN: 2319-6491 Volume 5, Issue 5 [May 2016] PP: 29-38
- [12] Robotnik SUMMIT XL Manuals, Manuals Lib. Ανακτήθηκε στις 03/05/2022 από: <https://www.manualslib.com/products/Robotnik-Summit-Xl-9064876.html>
- [13] E.G. Christoforou, A.S. Panayides, S. Avgousti, P. Masouras, C.S. Pattichis. An overview of assistive robotics and technologies for elderly care. Proc. of 15th Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing, Coimbra, Portugal, 2019.

- [14] E.G. Christoforou, S. Avgousti, N. Ramdani, C. Novales, A.S. Panayides. The Upcoming Role for Nursing and Assistive Robotics: Opportunities and Challenges Ahead, *Frontiers in Digital Health*, 2, 2020.
- [15] S. Avgousti, E.G. Christoforou, P. Masouras, A.S. Panayides, N.V. Tsekos. Robotic systems on the frontline against the pandemic. *Proc. 5th Int. Conference on Human Interaction and Emerging Technologies (Published by Springer), Virtual Conference, Paris, France, 2021.*
- [16] Sanbot Elf's features, Omitech Robot. Ανακτήθηκε στις 03/05/2022 από: <https://robot.omitech.it/en/sanbot-elf/>
- [17] Raspberry Pi Foundation, Ανακτήθηκε στις 03/05/2022 από: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- [18] Tianmiao Wang, Yao Wu *, Jianhong Liang, Chenhao Han, Jiao Chen and Qiteng Zhao. Analysis and Experimental Kinematics of a Skid-Steering Wheeled Robot Based on a Laser Scanner Sensor. *Sensors* 2015, 15, 9681-9702; doi: 10.3390/s150509681. Published: 24 April 2015
- [19] Kyung-Lyong Han, Oh-Kyu Choi, Jinwook Kim, Hyosin Kim, Jin S. Lee. Design and Control of Mobile Robot with Mecanum Wheel. *Conference Paper · September 2009*
- [20] VRLA battery, Wikipedia. Ανακτήθηκε στις 03/05/2022 από: https://en.wikipedia.org/wiki/VRLA_battery
- [21] AJ Neal. Tips For Selecting DC Motors For Your Mobile Robot. PP 33-35 *Servo Magazine, Online Books*. Ανακτήθηκε στις 03/05/2022 από: <https://servo.texterity.com/servo/201001/MobilePagedReplica.action?pm=2&folio=34#pg34>
- [22] Sabertooth 2x12 User's Guide, Dimension Engineering. April 2012. Ανακτήθηκε στις 03/05/2022 από: <https://www.dimensionengineering.com/datasheets/Sabertooth2x12.pdf>
- [23] MCP3008 10-Bit, 200kSPS, 8-Channel ADC, Microchip. Ανακτήθηκε στις 03/05/2022 από: <https://www.microchip.com/en-us/product/MCP3008>

Παράρτημα

Παράρτημα I - Datasheets

Στο Παράρτημα I υπάρχουν τα Datasheet των:

- Μπαταρίες κινητήρων
- Κινητήρες IG52-04 24VDC 285 RPM Gear Motor with Encoder
- Motor driver Sabertooth 2x12
- Analog to digital converter (ADC) MCP3008
- Robotnik Summit XL
- Omitech Sanbot Elf

Μπαταρίες κινητήρων



UL 7-12
12V 7AH

Ultracell®
Quality in Every Language

UL7-12		Physical Specification	
		Part Number:	UL7-12
		Length:	151 ± 2 mm (5.94 inches)
		Width:	65 ± 2 mm (2.56 inches)
		Container Height:	63.5 ± 2 mm (3.88 inches)
		Total Height (with terminal):	89 ± 2 mm (3.50 inches)
		Approx Weight:	Approx 2.25kg (4.96lbs)

Specifications		
Terminal Type	Normal Voltage	12V
	Normal Capacity (20HR)	7AH
	Standard Terminal	F1
	Optional Terminal	F2
Container Material	Standard Option	ABS
	Flame Retardant Option (FR)	UL94V0
Rated Capacity	7.00 AH @ 0.300A	(20hr: 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	8.33 AH @ 0.833A	(10hr: 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	9.33 AH @ 1.16A	(5hr: 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	9.33 AH @ 1.71A	(3hr: 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	4.26 AH @ 2.6A	(1hr: 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
Max Discharge Current	10A (2s)	
Internal Resistance	Approx 23mΩ	
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -10 - 50°C (5 - 122°F) Charge: 0 - 40°C (32 - 104°F) Storage: -10 - 40°C (5 - 104°F)
	Normal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
	Cycle Life	Initial Charging Current less than 2.1A Voltage 14.4V - 15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C
	Standby Life	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V - 13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -40mV/°C
	Capacity affected by Temperature	40°C (104°F) 105% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) 85%
Design Floating Life at 20°C	5 Years	
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C (77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

Dimensions		
		
3.2 (± 0.130)	63.5 ± 2	151 ± 2
6.35 (± 0.25)	65 ± 2	89 ± 2

1 Ultracell (UK) Ltd | Wexley Business Park | Wexley Road | Lymington | L30 16P | United Kingdom
Tel: +44 (0) 1323 2771 Fax: +44 (0) 1323 2503 Email: info@ultracell.co.uk
www.ultracell.co.uk

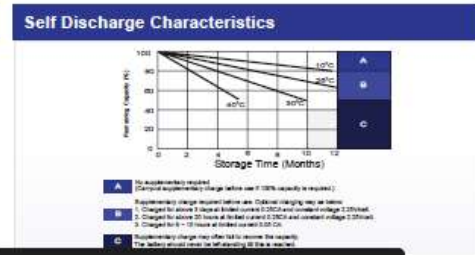
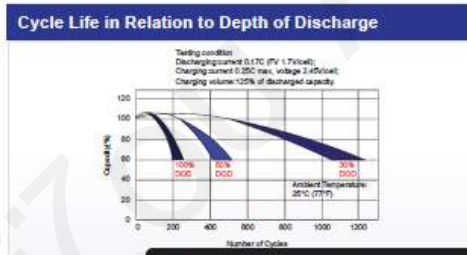
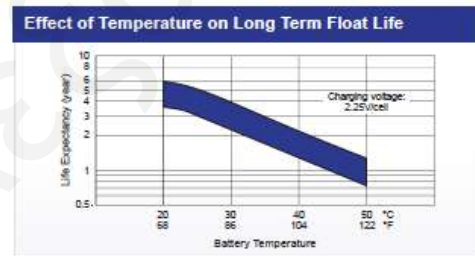
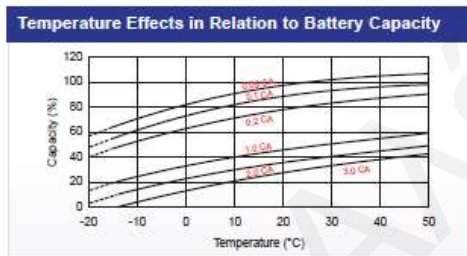
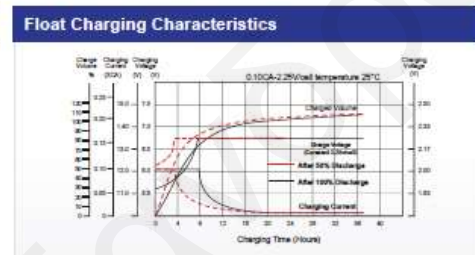
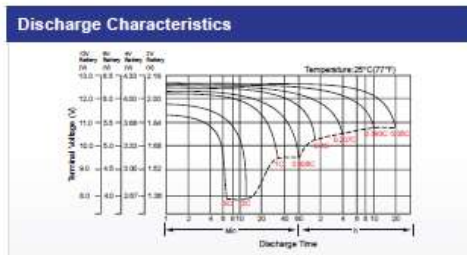
ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE

WGL 1509041 VdB DC CE PA

Σχήμα 6-1: Μπαταρίες κινητήρων - Datasheet page 1

Constant Current Discharge (Amperes) at 25°C (77°F)															
F.V/Time	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	16.0	11.7	9.97	8.46	6.17	4.52	3.60	2.14	1.60	1.30	1.10	0.95	0.756	0.626	0.343
1.80V/cell	19.2	13.7	11.3	9.20	6.65	4.80	3.83	2.24	1.66	1.35	1.14	0.99	0.783	0.653	0.350
1.75V/cell	21.5	14.9	12.0	9.70	6.92	4.99	3.98	2.31	1.71	1.38	1.16	1.01	0.795	0.663	0.357
1.70V/cell	23.4	15.9	12.8	10.2	7.18	5.12	4.05	2.36	1.75	1.41	1.19	1.03	0.812	0.672	0.361
1.65V/cell	25.5	16.8	13.4	10.6	7.43	5.28	4.17	2.40	1.77	1.43	1.21	1.04	0.823	0.680	0.365
1.60V/cell	26.8	17.6	13.8	10.9	7.64	5.42	4.26	2.46	1.81	1.46	1.23	1.06	0.837	0.690	0.371

Constant Power Discharge (Watts) at 25°C (77°F)															
F.V/Time	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	30.3	22.3	19.2	16.4	12.0	8.86	7.09	4.23	3.17	2.59	2.20	1.91	1.52	1.26	0.694
1.80V/cell	35.9	25.8	21.5	17.7	12.9	9.37	7.52	4.42	3.30	2.69	2.27	1.97	1.57	1.31	0.704
1.75V/cell	39.8	28.0	22.8	18.6	13.4	9.72	7.79	4.55	3.37	2.74	2.31	2.00	1.59	1.33	0.716
1.70V/cell	42.8	29.5	24.0	19.3	13.8	9.89	7.88	4.61	3.42	2.78	2.34	2.03	1.61	1.33	0.718
1.65V/cell	46.7	30.7	24.8	19.8	14.1	10.1	8.02	4.65	3.45	2.80	2.36	2.05	1.62	1.34	0.720
1.60V/cell	47.0	31.5	25.1	20.1	14.3	10.3	8.13	4.73	3.50	2.83	2.39	2.07	1.63	1.35	0.728



2 Ultracell (UK) Ltd | Ve
Tel: +44 (0) 151 523 27
www.ultracell.co.uk

Σχήμα 6-2: Μπαταρίες κινητήρων - Datasheet page 2

Κινητήρες IG52-04 24VDC 285 RPM Gear Motor with Encoder

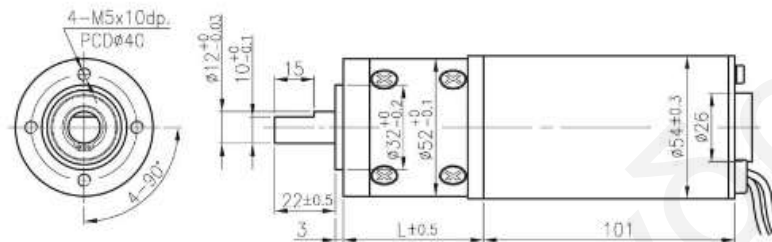
DC Carbon-brush motor

IG-52GM 03 & 04 TYPE

Note: The dimensions of the motor may vary slightly from what is shown on the datasheet. If the motor length dimension is ultra critical in your application please contact us (info@scrobots.com) for an accurate length before buying.



外形尺寸/ Appearance Size



unit:mm

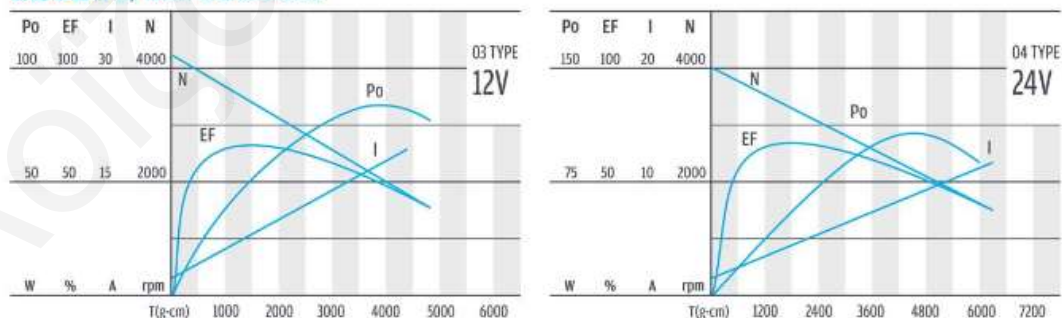
齒輪馬達轉矩 & 速度/ Geared Motor Torque & Speed

減速比 Reduction ratio	1/3	1/4	1/12	1/15	1/19	1/26	1/43	1/53	1/66	1/80	1/100	1/113	1/150	1/230	1/285	1/353	1/488	1/546	1/676	1/936
12V 定格扭力 Rated torque (Kg-cm)	2.5	3.1	7.7	9.5	11.8	16	23	28	35	44	54	60	67	100	100	100	100	100	100	100
12V 定格轉數 Rated speed (rpm)	1030	835	295	238	192	139	84	68	55	44	36	32	24	15.5	12.8	10.4	7.6	6.7	5.6	4
24V 定格扭力 Rated torque (Kg-cm)	3.6	4.5	11	13.5	17	23	33	41	51	62	78	88	97	100	100	100	100	100	100	100
24V 定格轉數 Rated speed (rpm)	1000	815	285	230	185	136	82	67	54	44	35	31	23.5	15.6	12.9	10.5	7.7	6.8	5.7	4.1
軸心迴轉方向 Rotation direction	CW																			
長度 Length (L)	53			68.5						84						99.5				

馬達單體型式/ Motor Data

定格電壓 Rated volt (V)	定格扭力 Rated torque (g-cm)	定格轉數 Rated speed (rpm)	定格電流 Rated current (mA)	無負荷轉數 No load speed (rpm)	無負荷電流 No load current (mA)	定格出力 Rated output (W)	重量 Weight (g)
12	900	3620	≤ 4100	4000	≤ 1200	33.5	920
24	1300	3550	≤ 2850	4000	≤ 700	48.6	920

馬達單體特性/ Motor Characteristics

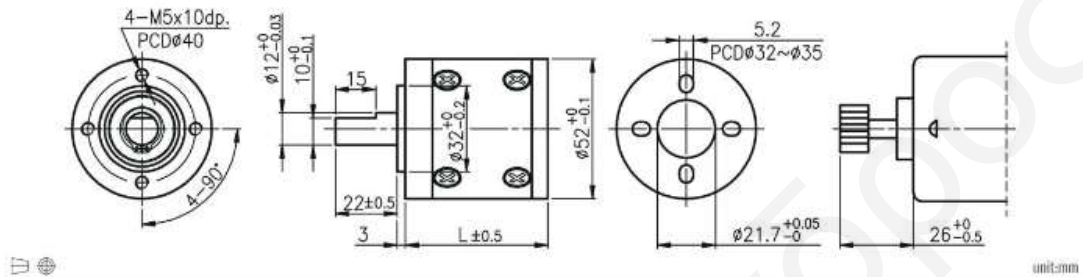


Σχήμα 6-3: Κινητήρες IG52-04 24VDC 285 RPM - Datasheet page 1

IG-52



外形尺寸 & 馬達齒鋸合方法 / Appearance Size & Pinion Assembly Dimension



產品規格 / Product Specifications

外殼材質 Housing material	輸出軸承型式 Bearing at output	徑向負荷 Radial load (20mm Iron flange)	軸向負荷 Shaft axial load	主軸最大承受壓力 Shaft press fit force, max.	徑向間隙 Radial play of shaft	軸向間隙 Thrust play of shaft	背隙 (無負荷時) Backlash, at no-load
金屬 Metal	滾珠軸承 Ball bearings	≤ 20 kgf	≤ 10 kgf	≤ 30 kgf	≤ 0.04 mm	≤ 0.3 mm	≤ 3'

馬達齒鋸合方法 / Pinion Specifications

模數 Module	齒數 No. of teeth	壓力角 Pressure angle	孔徑 (mm) Hole diameter	減速比 Reduction ratio
1.0	8	20°	ø3.95	1/21, 1/26, 1/126, 1/756, 1/936
1.0	12	20°	ø5.98, ø6.34	1/4, 1/15, 1/19, 1/53, 1/66, 1/81, 1/113, 1/230 1/285, 1/353, 1/488, 1/546, 1/676
1.0	16	20°	ø5.98, ø6.34	1/3, 1/12, 1/43, 1/150
1.0	14	20°	ø6.34	1/100

標準減速比型式 / Gearboxes Specifications

減速比 Reduction ratio	1/3	1/4	1/12	1/15	1/19	1/21	1/26	1/43	1/53	1/66	1/81	1/100	1/113	1/126	1/150	1/230	1/285	1/353	1/488	1/546	1/676	1/756	1/936
定格容許扭力 (kgf-cm Max.) Rated tolerance torque	10	10	30	30	50	50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
瞬間容許扭力 (kgf-cm) Max momentary tolerance torque	30	30	90	90	150	150	150	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
效率 Efficiency	80%	80%	70%	70%	70%	70%	70%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
長度 (L) Length (L)	53	53	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	84	84	84	84	84	84	84	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5
重量 (滾珠軸承) Weight (g) / Ball bearings	475	475	660	660	660	660	660	850	850	850	850	850	850	850	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020

- 使用相對溼度：20%~85%RH
Operating relative humidity
- 使用溫度範圍：-10°C~+60°C
Operating temperature range

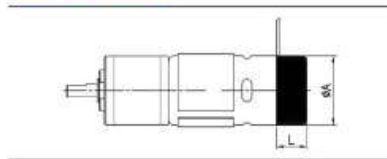
Σχήμα 6-4: Κιβώτιο ταχυτήτων κινητήρων - Datasheet page 1

Magnetic Encoders

Two Channel Hall Effect Encoder 雙向霍爾作用編碼器
 One Channel Hall Effect Encoder 單向霍爾作用編碼器

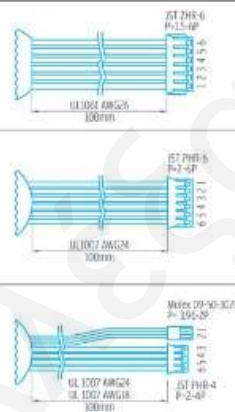


馬達外徑 & 長度/



★ WITHOUT CAP

Motor (φA)	CAP (L)	Counts poles of per turn (PPR)	
		Current	limit.
∅ 12	★ 6.5	2, 6 (1, 3)	6 (3)
∅ 15.4	★ 6.5	2, 6 (1, 3)	6 (3)
∅ 20.3	★ 8.5	2, 6 (1, 3)	6 (3)
∅ 22	12.6	2, 6 (1, 3)	6 (3)
∅ 30	12.6	2, 6, 14 (1, 3, 7)	14 (7)
∅ 32	14.3	14 (7)	14 (7)
∅ 36	13.5	14 (7)	14 (7)
∅ 42.5	15.5	2, 10 (1, 5)	10 (5)
∅ 52 & ∅ 54	18	2, 10 (1, 5)	10 (5)



Two Channel Encoder Connections

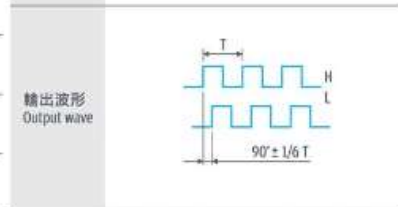
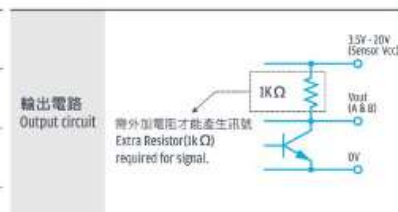
1. Black : - Motor
2. Red : + Motor
3. Brown : Hall Sensor Vcc
4. Green : Hall Sensor GND
5. Blue : Hall Sensor A Vout
6. Purple : Hall Sensor B Vout

One Channel Encoder Connections

1. Black : - Motor
2. Red : + Motor
3. Brown : Hall Sensor Vcc
4. Green : Hall Sensor GND
5. Blue : Hall Sensor A Vout
6. Purple : EMPTY

電氣特性/ Electrical Characteristics

規格特性 Characteristics	代號 Symbol	測試條件 Test conditions	極小 Min.	基準 Ref.	最大 Max.	單位 Units
輸入電壓 Supply voltage	Vcc	--	3.5	-	20	V
輸出飽和電壓 Output saturation voltage	Vce (sat)	Vcc = 14V ; IC = 20mA	-	300	700	mV
輸出漏電流 Output leakage current	Icex	Vcc = 14V ; Vce = 14V	-	< 0.1	10	μA
輸入電流 Supply current	Ice	Vcc = 20V Output open	-	5	10	mA
輸出上升時間 Output rise time	tr	Vcc = 14V ; RL = 820 Ω ; CL = 20pF	-	0.3	1.5	μS
輸出下降時間 Output fall time	tr	Vcc = 14V ; RL = 820 Ω ; CL = 20pF	-	0.3	1.5	μS



- 使用相對溼度：20%~85%RH
Operating relative humidity
- 使用溫度範圍：-10℃~+60℃
Operating temperature range

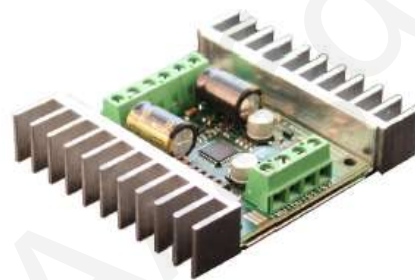
Σχήμα 6-5: Μαγνητικοί encoders κινητήρων - Datasheet page 1

Motor driver Sabertooth 2x12

Υποσημείωση: Παρακάτω αναγράφονται μεμονωμένα οι τρεις από τις είκοσι μία σελίδες του datasheet για σκοπούς όγκου της μελέτης. Το ολοκληρωμένο Datasheet είναι διαθέσιμο στον σύνδεσμο [22] της βιβλιογραφίας.



Sabertooth 2x12 User's Guide April 2012



Input voltage: 6-24V nominal, 30V absolute max.

Output current: Up to 12A continuous per channel. Peak loads may be up to 25A per channel for a few seconds. These ratings are for input voltages up to 18v in still air without additional heatsinking.

5V switching BEC: Up to 1A continuous and 1.5A peaks across the entire range of input voltages.

Recommended power sources are:

- 5 to 18 cells NiMH or NiCd
- 2s to 6s lithium ion or lithium polymer. Sabertooth motor drivers have a lithium battery mode to prevent cell damage due to over-discharge of lithium battery packs.
- 6v to 24v lead acid
- 6v to 24v power supply (when in parallel with a suitable battery).

Dimensions:

Size: 2.5" x 2.95" x .6" 64 x 75 x 16mm
Weight: 2.2oz

Σχήμα 6-6: Motor driver - Datasheet page 1

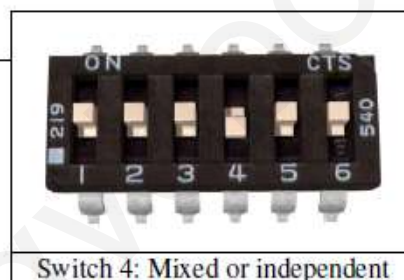
Mode 1: Analog Input

Analog input mode is selected by setting switches 1 and 2 to the UP position. Switch 3 should be either up or down, depending on the battery type being used. Inputs S1 and S2 are configured as analog inputs. The output impedance of the signals fed into the inputs should be less than 10k ohms for best results. If you are using a potentiometer to generate the input signals, a 1k, 5k or 10k linear taper pot is recommended. In all cases, an analog voltage of 2.5V corresponds to no movement. Signals above 2.5V will command a forward motion and signals below 2.5V will command a backwards motion.

There are three operating options for analog input. These are selected with switches 4, 5 and 6. All the options can be used independently or in any combination.

Switch 4: Mixed Mode

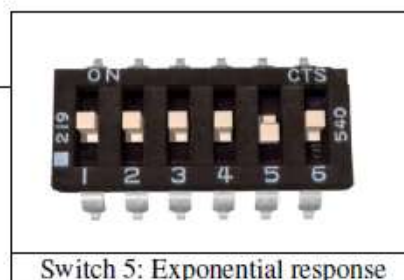
If switch 4 is in the UP position, the Sabertooth 2x12 is in **Mixed** mode. This mode is designed for easy steering of differential-drive vehicles. The analog signal fed into S1 controls the forward/back motion of the vehicle, and the analog signal fed into S2 controls the turning motion of the vehicle. If Switch 4 is in the DOWN position, the Sabertooth 2x12 is in Independent mode. In Independent mode, the signal fed to S1 directly controls Motor 1 (outputs M1A and M1B) and the signal fed to S2 controls Motor 2.



Switch 4: Mixed or independent

Switch 5: Exponential response

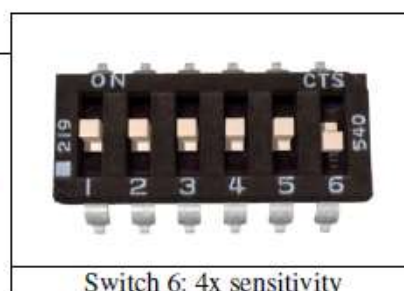
If switch 5 is in the DOWN position, the response to input signals will be exponential. This softens control around the zero speed point, which is useful for control of vehicles with fast top speeds or fast max turning rates. If switch 5 is in the UP position, the response is linear.



Switch 5: Exponential response

Switch 6: 4x sensitivity

If switch 6 is in the UP position, the input signal range is from 0v to 5v, with a zero point of 2.5v.
If switch 6 is in the DOWN position, 4x sensitivity mode is enabled. In this mode, the input signal range is from 1.875V to 3.125V, with a zero point of 2.5v. This is useful for building analog feedback loops



Switch 6: 4x sensitivity

Σχήμα 6-7: Motor driver - Datasheet page 3

Analog to digital converter (ADC) MCP3008

Υποσημείωση: Παρακάτω αναγράφεται μεμονωμένα η πρώτη από τις σαράντα σελίδες του datasheet για σκοπούς όγκου της μελέτης. Το ολοκληρωμένο Datasheet είναι διαθέσιμο στον σύνδεσμο [23] της βιβλιογραφίας.

MICROCHIP MCP3004/3008

2.7V 4-Channel/8-Channel 10-Bit A/D Converters with SPI Serial Interface

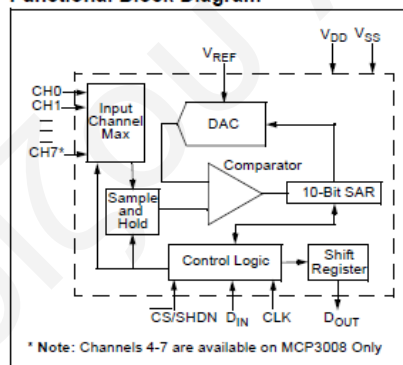
Features

- 10-bit resolution
- ± 1 LSB max DNL
- ± 1 LSB max INL
- 4 (MCP3004) or 8 (MCP3008) input channels
- Analog inputs programmable as single-ended or pseudo-differential pairs
- On-chip sample and hold
- SPI serial interface (modes 0,0 and 1,1)
- Single supply operation: 2.7V - 5.5V
- 200 ksp/s max. sampling rate at $V_{DD} = 5V$
- 75 ksp/s max. sampling rate at $V_{DD} = 2.7V$
- Low power CMOS technology
- 5 nA typical standby current, 2 μA max.
- 500 μA max. active current at 5V
- Industrial temp range: -40°C to +85°C
- Available in PDIP, SOIC and TSSOP packages

Applications

- Sensor Interface
- Process Control
- Data Acquisition
- Battery Operated Systems

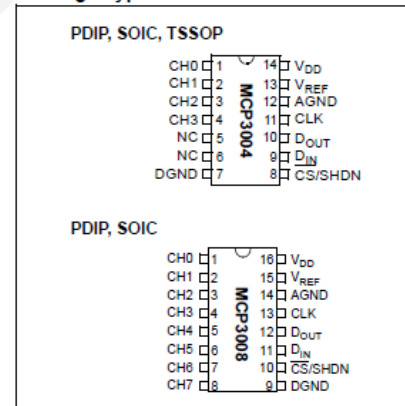
Functional Block Diagram



Description

The Microchip Technology Inc. MCP3004/3008 devices are successive approximation 10-bit Analog-to-Digital (A/D) converters with on-board sample and hold circuitry. The MCP3004 is programmable to provide two pseudo-differential input pairs or four single-ended inputs. The MCP3008 is programmable to provide four pseudo-differential input pairs or eight single-ended inputs. Differential Nonlinearity (DNL) and Integral Nonlinearity (INL) are specified at ± 1 LSB. Communication with the devices is accomplished using a simple serial interface compatible with the SPI protocol. The devices are capable of conversion rates of up to 200 ksp/s. The MCP3004/3008 devices operate over a broad voltage range (2.7V - 5.5V). Low-current design permits operation with typical standby currents of only 5 nA and typical active currents of 320 μA . The MCP3004 is offered in 14-pin PDIP, 150 mil SOIC and TSSOP packages, while the MCP3008 is offered in 16-pin PDIP and SOIC packages.

Package Types

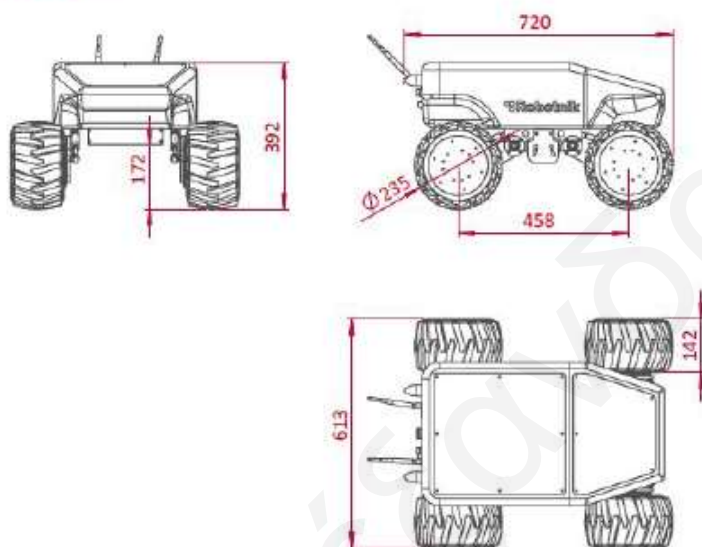


Σχήμα 6-8: Analog to digital converter - Datasheet page 1

Robotnik Summit XLUser Guide Manual - V.2.0
SUMMIT-XL

8. Technical specifications

8.1. Summit-XL



TECHNICAL SPECIFICATIONS

MECHANICAL

Dimensions	720 x 613 x 392 mm
Weight	45 Kg
Payload	20 Kg
Speed	3 m/s
Ambient	Indoor/Outdoor
Autonomy	5 h continuous motion
Batteries	LiFePO ₄ , 15Ah@24V
Traction system	4 wheels
Traction motors	4 x 250 W brushless servomotors
Temperature range	0° to +50°C
Max. slope	80 %

CONTROL

Controller	Open architecture ROS: Embedded PC with Linux
Communication	WiFi 802.11n
Connectivity	Internal: USB, RS232, GPIO External: USB RJ45 and 12 VDC

Σχήμα 6-9: Robotnik Summit XL Technical specifications datasheet

Omitech Sanbot Elf

Specifiche Sanbot

Specifiche Robot			
Dimensioni	92x 30x 40cm		
Peso	19kg		
Batteria	Batteria al Litio Capacità: 20Ah/300W Operatività: 10 Ore, Standby: 20 ore		
Sensori	Testa	Microfono x7, Telecamera x2, sensore 3D x1, Sensori di contatto x7	
	Corpo	Sensore rilevazione corpo umano x2, Riconoscimento ostacoli x1, Localizzazione base di ricarica x6, Sensori di contatto x4, Bussola x1, Giroscopio x1	
	Braccio	Riconoscimento ostacoli x4, Sensori di contatto x2	
	Base	Riconoscimento ostacoli x10, Ruote omnidirezionali x3	
Motion	Testa	2 x DOF	Movimento Orizzontale 180°, movimento Verticale 30°
	Testa	1 x DOF	+90°/-180°
	Base	3 x DOF	360°
Telecamere	Telecamera 8.0MP HD Telecamera 1.0MP HD con angolo di superficie asferico di 140°		
Schermo	10.1 pollici 1080P, 10-point touch screen		
Proiettore	1920 x 720 HD, 60Hz, proporzione: 16:9		
Sistema Operativo:	SanbotOS		
Audio	Localizzazione del suono a 360 gradi tweeter x2, woofer x1		
WIFI	IEEE 802.11 a/b/g/n(2.4GHz/5GHz)		
Wireless	Bluetooth 4.0, ZigBee		
LED	250 colori, 2 circuiti per le orecchie, 2 circuiti per le braccia, 1 circuito per la base		
Velocità	0.8m/s massima		
Inclinazione superficie	1,5cm massima		

Base Ricarica	
Dimensione	250 x 118x 248mm
Peso	1.35kg (compreso alimentatore)
Ingresso	AC 100-240V 50/60Hz
Uscita	DC 19V/4.75A
LED	Rosso (Batteria sotto al 30%), Giallo (Batteria fino al 70%), Verde (Batteria superiore al 80%)
Temperatura	0 C ~ +35 C
Umidità	10% ~ 90%
Distanza per auto-ricarica	0-5 metri, copertura segnale 180°
Installazione	A Muro

Σχήμα 6-10: Omitech Sanbot Elf specifications datasheet

Παράρτημα II – Κώδικας

Κώδικας για κίνηση με πνευματικούς τροχούς.

```

import RPi.GPIO as GPIO
from gpiozero import MCP3008
import time

pwmpin1=12
pwmpin2=16
pwmpin3=15
pwmpin4=18

GPIO.setwarnings(False)    #disable warnings
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)  #set pin numbering system
GPIO.setup(pwmpin1,GPIO.OUT)
GPIO.setup(pwmpin2,GPIO.OUT)
GPIO.setup(pwmpin3,GPIO.OUT)
GPIO.setup(pwmpin4,GPIO.OUT)
pwm1 = GPIO.PWM(pwmpin1, 1000) #create PWM instance for pin1 with 1000 Hz frequency
pwm2 = GPIO.PWM(pwmpin2, 1000) #create PWM instance for pin2 with 1000 Hz frequency
pwm3 = GPIO.PWM(pwmpin3, 1000) #create PWM instance for pin1 with 1000 Hz frequency
pwm4 = GPIO.PWM(pwmpin4, 1000) #create PWM instance for pin1 with 1000 Hz frequency
while(1):
    pot1=MCP3008(channel=7, device=0) #Forward/backward potentiometer signal
    pot2=MCP3008(channel=0, device=0) #Left/right potentiometer signal
    pot3=MCP3008(channel=5, device=0) #rotation potentiometer signal
    but1=MCP3008(channel=6, device=0) #joystick button signal
    sen1=MCP3008(channel=1, device=0) #sensor signal

    val1=pot1.value*1023 #Convert 0 to 1 pot1 signal to 0 to 1023
    val2=pot2.value*1023 #convert 0 to 1 pot2 signal to 0 to 1023
    val3=pot3.value*1023 #convert 0 to 1 pot2 signal to 0 to 1023
    val4=but1.value*1023 #convert 0 to 1 pot2 signal to 0 to 1023
    val5=sen1.value*1023 #convert 0 to 1 pot2 signal to 0 to 1023

    print("Forward/Backward Pot Value =",end=" ")
    print('{:.0f}'.format(val1),end=" ")
    print("Left/Right Pot Value =",end=" ")
    print('{:.0f}'.format(val2),end=" ")
    print("Sensor =",end=" ")
    print('{:.0f}'.format(val5),end=" ")
    print()

    #####SENSOR IF#####
if val5<400:
    #####~~~~~FORWARD MOVEMENT CODE STARS HERE!!!~~~~~#####
    if val1>650: #If FBJS moved forward (490-590:100bits deadzone radius @middle area
        if 650>val2>350: #If LRJS is between the 100bits deadzone radius @ middle area

```

```

def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #define map formula
    return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
dc1 = _map(val1, 0, 1023, 57, 91) #Mapped value for motor1 movement
print('FRONT STRAIGHT Motor 1 & 2 PWM Duty Charge (FBJs Movement) =',end=" ")
print(dc1)
pwm1.start(dc1) #duty charge (dc1) is equal to move bot straight forward
pwm2.start(dc1) #duty charge (dc1) is equal to move bot straight forward
pwm3.start(dc1) #duty charge (dc1) is equal to move bot straight forward
pwm4.start(dc1) #duty charge (dc1) is equal to move bot straight forward
time.sleep(0.1) #100ms delay sleep (prevents nervous motor movements)
elif val2>650: #If LRJS moved to the right (out of the 100bit deadzone radius)
    def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #Mapped value for all motos
        return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
    dc1 = _map(val2, 0, 1023, 78.5, 95) #Motor 1 duty charge. (bot turns RIGHT) taking signal from
LRJS
    dc2 = _map(val1, 0, 1023, 78.5, 85) #Motor 2 duty charge. (motor can only speed fast or slow)
taking signal from FBJs
    dc3 = _map(val2, 0, 1023, 78.5, 95) #Motor 3 duty charge. (bot turns RIGHT) taking signal from
LRJS
    dc4 = _map(val1, 0, 1023, 78.5, 85) #Motor 4 duty charge. (motor can only speed fast or slow)
taking signal from FBJs
    print('FRONT LEFT Motor 1 PWM Duty Charge (Left/Right Potentiometer Movement) =',end="
")
    print(dc2)
    pwm1.start(dc1) #dc1 is not equal to dc2, so the bot can move right (dc1 always less than dc2)
    pwm2.start(dc2) #dc1 is not equal to dc2, so the bot can move right (dc1 always less than dc2)
    pwm3.start(dc3) #dc3 is not equal to dc4, so the bot can move right (dc3 always less than dc4)
    pwm4.start(dc4) #dc3 is not equal to dc4, so the bot can move right (dc3 always less than dc4)
    time.sleep(0.1) #100ms delay sleep (prevents nervous motor movements)
elif val2<350: #If LRJS moved to the left (out of the 100bit deadzone radius)
    def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #Mapped value for all motors)
        return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
    dc1 = _map(val1, 650, 1023, 78.5, 85) #Motor 1 duty charge. (motor can only speed fast or
slow) taking signal from FBJs
    dc2 = _map(val2, 0, 350, 95, 78.5) #Motor 2 duty charge. (motor turns LEFT) taking signal from
LRJS
    dc3 = _map(val1, 650, 1023, 78.5, 85) #Motor 3 duty charge. (motor can only speed fast or
slow) taking signal from FBJs
    dc4 = _map(val2, 0, 350, 95, 78.5) #Motor 4 duty charge. (motor turns LEFT) taking signal from
LRJS
    print('FRONT RIGHT Motor 1 PWM Duty Charge (Left/Right Potentiometer Movement) =',end="
")
    print(dc1)
    pwm1.start(dc1) #dc1 is not equal to dc2, so the bot can move left (dc2 always less than dc1)
    pwm2.start(dc2) #dc1 is not equal to dc2, so the bot can move left (dc2 always less than dc1)
    pwm3.start(dc3) #dc3 is not equal to dc4, so the bot can move right (dc3 always less than dc4)
    pwm4.start(dc4) #dc3 is not equal to dc4, so the bot can move right (dc3 always less than dc4)
    time.sleep(0.1) #100ms delay sleep (prevents nervous motor movements)
else:
    pwm1.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
    pwm2.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1

```



```

pwm1.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
pwm2.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
time.sleep(0.1) #100ms delay sleep (prevents nervous motor movements)
#####~~~~~~FORWARD MOVEMENT CODE ENDS HERE!!!~::~:#####

#####~::~:BACKWARD MOVEMENT CODE STARTS HERE!!!~::~:#####
elif val1<350: #If FBJS moved forward (490-590:100bits deadzone radius @middle area)
if 650>val2>350: #If LRJS is between the 100bits deadzone radius @ middle area
    def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #define map formula
        return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
    dc1 = _map(val1, 0, 350, 70, 78.5) #Mapped value for motor1 movement
    print('BACKWARD STRAIGHT Motor 1 & 2 PWM Duty Charge (FBJS Movement) =',end=" ")
    print(dc1)
    pwm1.start(dc1) #duty charge (dc1) is equal to move bot straight forward
    pwm2.start(dc1) #duty charge (dc1) is equal to move bot straight forward
    pwm3.start(dc1) #duty charge (dc1) is equal to move bot straight forward
    pwm4.start(dc1) #duty charge (dc1) is equal to move bot straight forward
    time.sleep(0.1) #100ms delay sleep (prevents nervous motor movements)
elif val2>650: #If LRJS moved to the right (out of the 100bit deadzone radius)
    def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #Mapped value for all motors)
        return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
    dc1 = _map(val2, 650, 1023, 78.5, 65) #Motor 1 duty charge. (bot turns RIGHT) taking signal
from LRJS
    dc2 = _map(val1, 0, 350, 73, 78.5) #Motor 2 duty charge. (motor can only speed fast or slow)
taking signal from FBJS
    dc3 = _map(val2, 650, 1023, 78.5, 65) #Motor 1 duty charge. (bot turns RIGHT) taking signal
from LRJS
    dc4 = _map(val1, 0, 350, 73, 78.5) #Motor 2 duty charge. (motor can only speed fast or slow)
taking signal from FBJS
    print('BACKWARDS LEFT Motor 1 PWM Duty Charge (Left/Right Potentiometer Movement)
=,end=" ")
    print(dc2)
    pwm1.start(dc1) #dc1 is not equal to dc2, so the bot can move right (dc1 always less than dc2)
    pwm2.start(dc2) #dc1 is not equal to dc2, so the bot can move right (dc1 always less than dc2)
    pwm3.start(dc3) #dc3 is not equal to dc4, so the bot can move right (dc3 always less than dc4)
    pwm4.start(dc4) #dc3 is not equal to dc4, so the bot can move right (dc3 always less than dc4)
    time.sleep(0.1) #100ms delay sleep (prevents nervous motor movements)
elif val2<350: #If LRJS moved to the left (out of the 100bit deadzone radius)
    def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #Mapped value for all motos)
        return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
    dc1 = _map(val1, 0, 350, 74, 78.5) #Motor 1 duty charge. (motor can only speed fast or slow)
taking signal from FBJS
    dc2 = _map(val2, 0, 350, 65, 78.5) #Motor 2 duty charge. (motor turns LEFT) taking signal from
LRJS
    dc3 = _map(val1, 0, 350, 74, 78.5) #Motor 3 duty charge. (motor can only speed fast or slow)
taking signal from FBJS
    dc4 = _map(val2, 0, 350, 65, 78.5) #Motor 4 duty charge. (motor turns LEFT) taking signal from
LRJS
    print('BACKWARD RIGHT Motor 1 PWM Duty Charge (Left/Right Potentiometer Movement)
=,end=" ")
    print(dc1)

```

```

pwm1.start(dc1) #dc1 is not equal to dc2, so the bot can move left (dc2 always less than dc1)
pwm2.start(dc2) #dc1 is not equal to dc2, so the bot can move left (dc2 always less than dc1)
pwm3.start(dc3) #dc3 is not equal to dc4, so the bot can move right (dc3 always less than dc4)
pwm4.start(dc4) #dc3 is not equal to dc4, so the bot can move right (dc3 always less than dc4)
time.sleep(0.1) #100ms delay sleep (prevents nervous motor movements)

```

else:

```

pwm1.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
pwm2.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
pwm3.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
pwm4.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
time.sleep(0.1) #100ms delay sleep (prevents nervous motor movements)

```

```
#####~::~::~~BACKWARD MOVEMENT CODE ENDS HERE!!~::~::~#####
```

else:

```

pwm1.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
pwm2.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
pwm3.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
pwm4.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
time.sleep(0.1) #100ms delay sleep (prevents nervous motor movements)

```

else:

```

if val1<350: #If FBJs moved forward (490-590:100bits deadzone radius @middle area
    def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #define map formula
        return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
    dc1 = _map(val1, 0, 350, 70, 78.5) #Mapped value for motor1 movement
    print('BACKWARD STRAIGHT Motor 1 & 2 PWM Duty Charge (FBJs Movement) =',end=" ")
    print(dc1)
    pwm1.start(dc1) #duty charge (dc1) is equal to move bot straight forward
    pwm2.start(dc1) #duty charge (dc1) is equal to move bot straight forward
    pwm3.start(dc1) #duty charge (dc1) is equal to move bot straight forward
    pwm4.start(dc1) #duty charge (dc1) is equal to move bot straight forward
    time.sleep(0.1) #100ms delay sleep (prevents nervous motor movements)

```

else:

```

pwm1.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
pwm2.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
pwm3.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
pwm4.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
time.sleep(0.1) #100ms delay sleep (prevents nervous motor movements)

```

Όπου: FBJs=FrontBackward Joystick movement, LRJS=LeftRight Joystick movement
:Σχόλια για επεξήγηση κώδικα με πορτοκαλί χρώμα.

Κώδικας για κίνηση με τροχούς mecanum.

```

import RPi.GPIO as GPIO
from gpiozero import MCP3008
import time

pwmpin1=12
pwmpin2=16
pwmpin3=15
pwmpin4=18

GPIO.setwarnings(False)    #disable warnings
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)  #set pin numbering system
GPIO.setup(pwmpin1,GPIO.OUT)
GPIO.setup(pwmpin2,GPIO.OUT)
GPIO.setup(pwmpin3,GPIO.OUT)
GPIO.setup(pwmpin4,GPIO.OUT)
pwm1 = GPIO.PWM(pwmpin1, 1000) #create PWM instance for pin1 with 1000 Hz frequency
pwm2 = GPIO.PWM(pwmpin2, 1000) #create PWM instance for pin2 with 1000 Hz frequency
pwm3 = GPIO.PWM(pwmpin3, 1000) #create PWM instance for pin1 with 1000 Hz frequency
pwm4 = GPIO.PWM(pwmpin4, 1000) #create PWM instance for pin1 with 1000 Hz frequency
while(1):
    pot1=MCP3008(channel=7, device=0) #Forward/backward potentiometer signal
    pot2=MCP3008(channel=0, device=0) #Left/right potentiometer signal
    pot3=MCP3008(channel=5, device=0) #rotation potentiometer signal
    but1=MCP3008(channel=6, device=0) #joystick button signal
    sen1=MCP3008(channel=1, device=0) #sensor signal

    val1=pot1.value*1023 #Convert 0 to 1 pot1 signal to 0 to 1023
    val2=pot2.value*1023 #convert 0 to 1 pot2 signal to 0 to 1023
    val3=pot3.value*1023 #convert 0 to 1 pot2 signal to 0 to 1023
    val4=but1.value*1023 #convert 0 to 1 pot2 signal to 0 to 1023
    val5=sen1.value*1023 #convert 0 to 1 pot2 signal to 0 to 1023

    print("Forward/Backward Pot Value =",end=" ")
    print('{:.0f}'.format(val1),end=" ")
    print("Left/Right Pot Value =",end=" ")
    print('{:.0f}'.format(val2),end=" ")
    print("Rotation =",end=" ")
    print('{:.0f}'.format(val3),end=" ")
    print("Sensor =",end=" ")
    print('{:.0f}'.format(val5),end=" ")
    print()

    #####SENSOR IF#####
    if val5<400 :
    #####~~~~~FORWARD MOVEMENT CODE STARS HERE!!!~~~~~#####
        if val1>650 :
            def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #define map formula

```

```

    return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
dc1 = _map(val1, 0, 1023, 57, 91) #Mapped value for motor1 movement
print('MOVING FORWARD')
pwm1.start(dc1)
pwm2.start(dc1)
pwm3.start(dc1)
pwm4.start(dc1)
time.sleep(0.1)
#####~~~~~FORWARD MOVEMENT CODE ENDS HERE!!!~~~~~#####

#####~~~~~BACKWARD MOVEMENT CODE STARTS HERE!!!~~~~~#####
elif val1<350:
    def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #define map formula
        return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
    dc1 = _map(val1, 0, 350, 70, 78.5) #Mapped value for motor1 movement
    print('MOVING BACKWARDS')
    pwm1.start(dc1)
    pwm2.start(dc1)
    pwm3.start(dc1)
    pwm4.start(dc1)
    time.sleep(0.1)
#####~~~~~BACKWARD MOVEMENT CODE ENDS HERE!!!~~~~~#####

#####~~~~~LEFT MOVEMENT CODE STARTS HERE!!!~~~~~#####
elif val2>650:
    def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #define map formula
        return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
    print('LEFT SHIFT')
    dc1 = _map(val2, 0, 1023, 78.5, 91)
    dc2 = _map(val2, 650, 1023, 78.5, 70)
    dc3 = _map(val2, 650, 1023, 78.5, 70)
    dc4 = _map(val2, 0, 1023, 78.5, 91)
    pwm1.start(dc1)
    pwm2.start(dc2)
    pwm3.start(dc3)
    pwm4.start(dc4)
    time.sleep(0.1)

#####~~~~~LEFT MOVEMENT CODE ENDS HERE!!!~~~~~#####

#####~~~~~RIFGT MOVEMENT CODE STARTS HERE!!!~~~~~#####
elif val2<350: #if FBJS moved forward (490-590:100bits deadzone radius @middle area)
    def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #define map formula
        return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
    print('RIGHT SHIFT')
    dc1 = _map(val2, 0, 350, 70, 78.5)
    dc2 = _map(val2, 0, 1023, 91, 78.5)
    dc3 = _map(val2, 0, 1023, 91, 78.5)

```

```
dc4 = _map(val2, 0, 350, 70, 78.5)
pwm1.start(dc1)
pwm2.start(dc2)
pwm3.start(dc3)
pwm4.start(dc4)
time.sleep(0.1)
#####~::~~::~RIGHT MOVEMENT CODE ENDS HERE!!!~::~~::~#####

#####~::~~::~ROTATION MOVEMENT CODE STARTS HERE!!!~::~~::~#####
elif val3<450:
    def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #define map formula
        return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
    print('CCW ROTATION')
    dc1 = _map(val3, 0, 1023, 91, 78.5)
    dc2 = _map(val3, 0, 450, 70, 78.5)
    dc3 = _map(val3, 0, 1023, 91, 78.5)
    dc4 = _map(val3, 0, 450, 70, 78.5)
    pwm1.start(dc1)
    pwm2.start(dc2)
    pwm3.start(dc3)
    pwm4.start(dc4)
    time.sleep(0.1)

elif val3>750:
    def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #define map formula
        return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
    print('CW ROTATION')
    dc1 = _map(val3, 450, 1023, 78.5, 70)
    dc2 = _map(val3, 0, 1023, 78.5, 91)
    dc3 = _map(val3, 450, 1023, 78.5, 70)
    dc4 = _map(val3, 0, 1023, 78.5, 91)
    pwm1.start(dc1)
    pwm2.start(dc2)
    pwm3.start(dc3)
    pwm4.start(dc4)
    time.sleep(0.1)
    #####~::~~::~ROTATION MOVEMENT CODE ENDS HERE!!!~::~~::~#####
else:
    pwm1.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
    pwm2.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
    pwm3.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
    pwm4.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
    print('ROBOT NOT MOVING')
    time.sleep(0.1) #100ms delay sleep (prevents nervous motor movements)
else:
    if val1<350:
        def _map(x, in_min, in_max, out_min, out_max): #define map formula
            return int((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
        dc1 = _map(val1, 0, 350, 70, 78.5) #Mapped value for motor1 movement
        print('MOVING BACKWARDS')
        pwm1.start(dc1)
```

```

pwm2.start(dc1)
pwm3.start(dc1)
pwm4.start(dc1)
time.sleep(0.1)

```

else:

```

pwm1.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
pwm2.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
pwm3.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
pwm4.start(78.5) #dc=78.5 means the signal output stops the motor 1
print('ROBOT NOT MOVING')
time.sleep(0.1) #100ms delay sleep (prevents nervous motor movements)

```

Όπου: FBJS=FrontBackward Joystick movement, LRJS=LeftRight Joystick movement

:Left Shift= Κίνηση του ρομπότ κάθετα αριστερά στον X άξονα

:Left Shift= Κίνηση του ρομπότ κάθετα δεξιά στον X άξονα

:CW=Clockwise rotation, CCW= Counter clockwise rotation στον κάθετο άξονα Z ο οποίος θεωρείται στο κέντρο του ρομπότ.

:Σχόλια για επεξήγηση κώδικα με πορτοκαλί χρώμα.