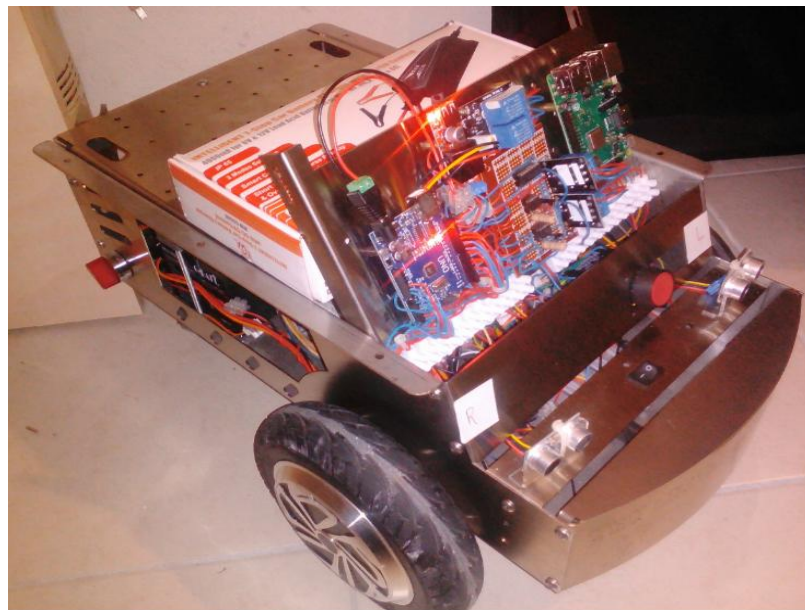


ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα:

**«Μελέτη, Σχεδίαση και Υλοποίηση του
Ηλεκτρολογικού – Ηλεκτρονικού μέρους καθώς
και Έλεγχος Χαμηλού Επιπέδου Αυτόνομου
Ρομποτικού Οχήματος»**



Σπουδαστής:

Λιούσας Βασίλειος (ΑΜ: 5)

Επιβλέπων καθηγητής:

Δρ. Βολογιαννίδης Σταύρος

Σέρρες

Μάρτιος 2019

Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η διπλωματική εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Μεταπτυχιακού με τίτλο «Ρομποτική» (MSc in Robotics) του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τ.Ε.Ι. Κεντρικής Μακεδονίας.

Ο Δηλών

Λιούσας Βασίλειος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας αποτελεί το τελικό στάδιο για την απόκτηση μεταπτυχιακού διπλώματος. Είναι μια διαδικασία που επιβάλλει σκληρή δουλειά, μεθοδικότητα, δημιουργικό μυαλό αλλά και πολύ διαθέσιμο χρόνο. Μια διαδικασία που όταν ολοκληρωθεί επιτυχώς, δικαιώνει τον όποιο κόπο και χρόνο αφιερώθηκε για την πραγμάτωσή της.

Στην προσπάθεια αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Καλόμοιρο Ιωάννη και τον Δρ. Βολογιαννήδη Σταύρο για την υποστήριξη, την καθοδήγηση και τις διορθώσεις τους.

Για την κατανόηση, την ανοχή και την στήριξη από την οικογένεια μου χρωστάω ένα μεγάλο ευχαριστώ και επιστροφή δημιουργικού χρόνου στα 4 παιδιά μου, Δημήτρη, Κωστή, Στέφανο-Νικόλαο, Ολυμπία-Μαγδαληνή, και στην σύζυγό μου Γιάννα.

Λιούσας Βασίλειος

Σέρρες Μάρτιος 2019

Σύνοψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η οποία αποτελεί μέρος συνολικού έργου μελέτης και κατασκευής αυτόνομου ρομποτικού οχήματος, ασχολούμαστε με την μελέτη, την σχεδίαση και την κατασκευή ενός ηλεκτρικού ρομποτικού οχήματος διαφορετικής οδήγησης, το οποίο θα έχει την δυνατότητα να κινηθεί αυτόνομα στον χώρο και να λειτουργήσει ως βασική πλατφόρμα για την δημιουργία διαφορετικών εφαρμογών της ρομποτικής, που θα έχουν ως κοινό παρονομαστή το συγκεκριμένο όχημα. Η πλατφόρμα αυτή θα έχει την δυνατότητα της εύκολης μετατροπής και επέκτασής της, τόσο στην ηλεκτρομηχανολογική της κατασκευή, όσο και στο κομμάτι ελέγχου.

Στο παρών τμήμα του συνολικού έργου θα ασχοληθούμε με την μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή του ηλεκτρολογικού – ηλεκτρονικού μέρους του ρομποτικού οχήματος καθώς και την επιλογή και προμήθεια των κατάλληλων υλικών κατασκευής του. Το ηλεκτρολογικό – ηλεκτρονικό μέρος του οχήματος περιλαμβάνει το τμήμα παροχής και διαχείρισης ενέργειας, το τμήμα κίνησης καθώς και το τμήμα ελέγχου και αισθητήρων. Επίσης, έχει δημιουργηθεί ένας αλγόριθμος διεύθυνσης τριών λειτουργικών καταστάσεων.

Στην 1^η κατάσταση λειτουργίας, το όχημα θα έχει την δυνατότητα να κινείται ελεύθερα στον χώρο και να αποφεύγει τυχόν εμπόδια που θα βρεθούν στην πορεία του.

Στην 2^η κατάσταση λειτουργίας, το όχημα θα δέχεται οδηγίες από τον χειριστή του σχετικά με την εφαρμογή συγκεκριμένης ταχύτητας σε κάθε τροχό του καθώς και τον χρόνο για τον οποίο θα κινηθεί με τις συγκεκριμένες ταχύτητες.

Στην 3^η κατάσταση λειτουργίας, το όχημα θα δέχεται οδηγίες για την απόσταση που θα πρέπει να διανύσει σε ευθύγραμμη κίνηση και παράλληλα θα αποφεύγει τυχόν εμπόδια που θα συναντήσει στην πορεία του.

Η επικοινωνία του με τον χρήστη – χειριστή θα γίνεται μέσα από περιβάλλον ROS από όπου θα υπάρχει η δυνατότητα το όχημα να δέχεται εντολές – κατευθύνσεις και να στέλνει δεδομένα, όπως στοιχεία οδομετρίας, εικόνες από κάμερα, στοιχεία από laser scanner, ενώ θα προσομοιώνει την λειτουργία και τις κινήσεις στο Gazebo.

Abstract

In this thesis, which is part of a whole work of study and construction of an autonomous robotic vehicle, we are dealing with the study, design and construction of an electric robotic vehicle of differential driving, which will be able to move with autonomy and to function as a basic platform for the creation of various robotic applications, with this particular vehicle as a common denominator. This platform will also have the potential of its easy transform and extension, regarding not only its electro-mechanical construction but also the part of control.

In the current part of the whole work we will deal with the study, design and construction of the electric – electronic section of the robotic vehicle, as well as with the choice and supply of the appropriate materials for its construction. The electric – electronic section of the vehicle includes the section of power supply and management, the section of movement and the section of control and sensor. For the move, we have created an algorithm which controls three operation modes.

In the first operation mode, the vehicle will be able to move freely and to avoid possible obstacles that may come on its way.

In the second mode, the vehicle will get instructions from the administrator regarding the application of specific speed on every wheel as well as well as the time that it will move with this speed.

In the third mode, the vehicle will get instructions regarding the distance it will have to cover in a straight line and at the same time will avoid any obstacles that may come on its way.

The communication with the user – administrator will be carried out through the ROS environment, through which the vehicle will be able to accept commands – instructions and to send data, like odometry data, pictures from a camera or laser scanner data, while it will also simulate the operation and movement in the Gazebo.

Πίνακας περιεχομένων

Υπεύθυνη Δήλωση	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
Σύνοψη	4
Abstract	5
Εισαγωγή.....	12
Στόχοι μεταπτυχιακής εργασίας.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	14
Εισαγωγή.....	14
Περιγραφή του Προβλήματος.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	18
State of the Art	18
Εισαγωγή	18
Ρομποτικά οχήματα.....	18
Flex Omni της Stanley.....	18
Mobile robot MP-400	20
Magni.....	21
LD 60 OMRON	22
Dr Robot X80SVP.....	24
Συγκριτικός πίνακας ρομποτικών οχημάτων.	26
Συμπεράσματα State of the Art	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	29
Εισαγωγή.....	29
Ερευνητική μέθοδος.....	29
Θεωρητική μελέτη.....	29
Κίνηση (locomotion)	29

Βασικά θέματα κίνησης.....	31
Τροχοφόρα ρομπότ.....	31
Είδη τροχών.....	31
Επενεργητές	33
Ηλεκτρικοί επενεργητές	33
Υδραυλικοί και Πνευματικοί επενεργητές.....	33
Εφαρμογή	34
Ηλεκτρικοί κινητήρες.....	34
Κατάταξη των Ηλεκτρικών Κινητήρων (επενεργητών).....	34
Σύγχρονες Μηχανές Με Μόνιμους Μαγνήτες (Brushless DC)	35
Βηματικοί κινητήρες	37
Οδήγηση Κινητήρων.....	38
Οδήγηση Κινητήρα Μόνιμων Μαγνητών (Brushless DC) μέσω Αισθητήρων Θέσεως.....	38
Οδήγηση Κινητήρα Μόνιμων Μαγνητών (Brushless DC) μέσω αισθητήρα Hall	41
Παροχή ενέργειας.....	44
Πρωτογενείς μπαταρίες.....	44
Μπαταρίες άνθρακα/ ψευδαργύρου	45
Αλκαλικές μπαταρίες μαγγανίου	45
Μπαταρίες υδραργύρου.....	45
Μπαταρίες οξειδίου του αργύρου.....	45
Μπαταρίες διοξειδίου λιθίου και μαγγανίου	45
Δευτερογενείς μπαταρίες	46
Μπαταρίες οξέος μολύβδου	46
Μπαταρίες τζελ.....	47
Μπαταρίες νικελίου καδμίου.....	47

Μπαταρίες ιόντων λιθίου.....	47
Μπαταρίες Πολυμερών Λιθίου Li-Po	47
Αισθητήρες για ρομπότ	48
Ταξινόμηση αισθητήρων.....	48
Αισθητήρας υπέρηχων HC-SR04 (Ultrasonic Sensor).....	49
Αισθητήρες θέσης τύπου "Hall"	50
Σύστημα ελέγχου.....	52
Έρευνα αγοράς προμήθεια υλικών	54
Προμήθεια υλικών	56
Πειραματική Διαδικασία.....	56
Μεθοδολογία και επιστημονικά οφέλη.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	60
Εισαγωγή.....	60
ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	62
Προδιαγραφές	62
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ	63
Υποσύστημα παροχής ενέργειας.....	64
Λειτουργία φόρτισης.....	66
Κανονική Λειτουργία του οχήματος	66
Φορτιστής μπαταριών	66
Μετατροπέας 24V DC to 5V DC 3A.....	67
Μετατροπέας 24V DC to 9V DC.....	67
Εφαρμογή ηλεκτρικών κινητήρων στο ρομποτικό όχημα	68
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ	71
Τοποθέτηση αισθητήρων υπερίχων	71
Αισθητήρες Hall.....	72

Ελεγκτές (αντιστροφείς) κινητήρων	74
Ηλεκτρονικά κυκλώματα προσαρμογής	77
Οδήγηση κινητήρων	77
Μέτρηση παλμών αισθητήρα Hall	82
Ενεργοποίηση φρένων	83
Αλλαγή φοράς περιστροφής.....	84
Σχεδίαση ηλεκτρονικού κυκλώματος.....	84
Σύστημα Ελέγχου.....	86
Διασύνδεση μονάδων ελέγχου	87
Αναθέσεις των pins του ArduinoUno.....	87
Διασύνδεση κλεμοσειράς	89
Προγραμματισμός του ArduinoUno	93
Μέτρηση παλμών	97
Σύνδεση ROS Arduino.....	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	103
Εισαγωγή.....	103
Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	103
Κόστος κατασκευής	104
Συμβολή της μεταπτυχιακής εργασίας.....	106
Συμπεράσματα	107
Πλεονεκτήματα του ρομποτικού οχήματος KELM	109
Μελλοντική Εργασία - Βελτιώσεις	110
Βιβλιογραφικές αναφορές - Βιβλιογραφία	112
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	115
Ο κώδικας υλοποίησης της εφαρμογής με σχόλια	115

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II	138
--------------------	-----

Μεταφορά δεδομένων από ROS σε Arduino μέσω sketch της Python.....	138
---	-----

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1 Ρομποτικό όχημα Flex Omni της Stanley	18
Εικόνα 2 Ρομποτικό όχημα MP-400 της Neobotix.....	20
Εικόνα 3 Ρομποτικό όχημα Magni της Ubiquity Robotics.....	21
Εικόνα 4 Ρομποτικό όχημα LD 60 OMRON.....	23
Εικόνα 5 Ρομποτικό όχημα X80SVP της Dr Robot	24
Εικόνα 6: Μηχανισμοί κίνησης που χρησιμοποιούνται στα βιολογικά συστήματα....	30
Εικόνα 7: Κύριες κατηγορίες τροχών	32
Εικόνα 8: Τομή ενός βηματικού κινητήρα [9].....	38
Εικόνα 9: Μόνιμος Μαγνήτης με παράλληλη μαγνήτιση.	39
Εικόνα 10 Οδήγηση τριφασικό κινητήρα BLDC	40
Εικόνα 11 Παραγωγή σημάτων από ένα σύστημα τριών αισθητήρων Hall.....	42
Εικόνα 12 Μετάβαση της τροφοδοσία των πηνίων για κάθε βήμα.....	43
Εικόνα 13 Πλήρες σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου αντιστροφεία τάσης τριφασικού κινητήρα BLDC. [22]	44
Εικόνα 14 Δευτερεύων στοιχείο	46
Εικόνα 15 αισθητήρας υπερήχων HC-SR04	50
Εικόνα 16 Ενεργοποίηση των αισθητήρων Hall.....	51
Εικόνα 17 Αισθητήρες Hall σε BLDC motor	51
Εικόνα 18 ArduinoUno	52
Εικόνα 19 Πειραματική λειτουργία	57
Εικόνα 20 Μέτρηση PWM κατά την πειραματική διαδικασία.....	57
Εικόνα 21 Το ρομποτικό όχημα KELM	58
Εικόνα 22 Το ρομποτικό όχημα KELM	58
Εικόνα 23 Γενικό πλάνο του ηλεκτρολογικού – ηλεκτρονικού μέρους του ρομπότ...	61
Εικόνα 24 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Συστήματος τροφοδοσίας	65
Εικόνα 25 Σταθεροποιητής τάσης LM7809	67

Εικόνα 26 Ρότορας μόνιμων μαγνητών και Στάτης (πηνία) σε BLDC motor.....	69
Εικόνα 27 Τραπεζοειδείς παλμοσειρά τροφοδοσίας BLDC motor, Φάσεις 1 και 2 ...	70
Εικόνα 28 Παλμοσειρά επιστροφής από τον αισθητήρα Hall.....	73
Εικόνα 29 Ελεγκτής (Controller) BLDC motor.....	77
Εικόνα 30 Κύκλωμα μετατροπής PWM σε σταθερή τάση.....	78
Εικόνα 31 Μετατροπή PWM σε σταθερή τάση DC.....	78
Εικόνα 32 Ηλεκτρολογικό - Ηλεκτρονικό κύκλωμα.....	81
Εικόνα 33 Παλμοσειρά επιστροφής από τον αισθητήρα Hall.....	82
Εικόνα 34 Διάγραμμα σύνδεσης TTL 74LS14.....	83
Εικόνα 35 Τυπωμένο κύκλωμα προσαρμογής.....	84
Εικόνα 36 Τοποθέτηση ελεγκτών στο όχημα.....	89
Εικόνα 37 Block διάγραμμα ροής του προγράμματος.....	96

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1 Συγκριτικός πίνακας Ρομποτικών οχημάτων.....	27
Πίνακας 2 Απαραίτητα υλικά κατασκευής.....	55
Πίνακας 3 καλωδίωση αισθητήρων υπερήχων στις θύρες του ArduinoUno.....	72
Πίνακας 4 Μετρήσεις τάσης, συχνότητας, στροφών κινητήρα.....	79
Πίνακας 5 Ακροδέκτες PCB κυκλώματος.....	86
Πίνακας 6 Αναθέσεις Pins ArduinoUno.....	88
Πίνακας 7 Αντιστοιχία των συνδέσεων της εμπρόσθιας κλεμοσειράς.....	91
Πίνακας 8 Αντιστοιχία των συνδέσεων στην πίσω κλεμοσειρά.....	92
Πίνακας 9 Θύρες του Arduino που συνδέονται ΑΜΕΣΑ με το κύκλωμα προσαρμογής.....	92
Πίνακας 10 Κόστος προμήθειας υλικών.....	106

Εισαγωγή

Ένα τροχοφόρο όχημα που μπορεί να κινηθεί αυτόνομα σε ένα χώρο παίρνοντας αποφάσεις για την λειτουργία του θεωρείται κινητό ρομπότ. Τα αυτόνομα κινητά ρομπότ παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον τόσο σε επιστημονικές έρευνες όσο και σε πρακτικές εφαρμογές.

Στην εργασία που παρουσιάζουμε προσπαθήσαμε, ως ομάδα σπουδαστών διαφορετικών κατευθύνσεων και ειδικοτήτων, να σχεδιάσουμε και να κατασκευάσουμε ένα τετράτροχο ρομποτικό όχημα διαφορετικής οδήγησης, το οποίο θα αντλεί πληροφορίες μέσω αισθητήρων από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται, αυτές θα επεξεργάζονται σε χαμηλό επίπεδο από έναν ελεγκτή ο οποίος και θα έχει την δυνατότητα επικοινωνίας τόσο με τους ενεργοποιητές του οχήματος (κινητήριοι τροχοί, φρένα, κατεύθυνση κίνησης, ηχητικά ή φωτεινά σήματα), όσο και με τον κύριο ελεγκτή του οχήματος ο οποίος θα λειτουργεί σε περιβάλλον ROS και θα δίνει την δυνατότητα επικοινωνίας του ρομποτικού οχήματος με τον χειριστή του.

Το όχημα που κατασκευάσαμε έχει τέσσερις τροχούς από τους οποίους οι δύο είναι κινητήριοι και είναι ηλεκτρικοί κινητήρες τύπου HUB που δεν περιλαμβάνουν ψήκτρες (brushless), ενώ οι γωνιακές ταχύτητές τους ελέγχονται ανεξάρτητα μέσω των αντίστοιχων ελεγκτών (D.C. to AC Converters). Οι άλλοι δύο είναι πανκατευθυντικού τύπου τροχοί που λειτουργούν ως τροχοί στήριξης (caster) πετυχαίνοντας έτσι μεγαλύτερη ευελιξία και ισορροπία του οχήματος.

Η τροφοδοσία με ενέργεια του οχήματος γίνεται από μια ομάδα τριών επαναφορτιζόμενων μπαταριών οξέος μολύβδου τύπου jell 12V, 5Ah συνδεδεμένων σε σειρά.

Στόχοι μεταπτυχιακής εργασίας

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία θα μελετήσουμε το σχεδιασμό και την κατασκευή ηλεκτροκίνητου ρομποτικού οχήματος το οποίο θα λειτουργήσει ως βασική πλατφόρμα για την δημιουργία διαφορετικών εφαρμογών της ρομποτικής.

Εξ' αιτίας της πολυπλοκότητας και του μεγέθους του αντικειμένου, χρειάστηκε η συνέργεια τριών κλάδων της μηχανικής (ηλεκτρολογία, μηχανολογία και προγραμματισμός) στο τμήμα αυτό της μεταπτυχιακής εργασίας επικεντρώνουμε στα ηλεκτρικά – ηλεκτρονικά συστήματα του οχήματος, στους μηχανισμούς κίνησής του με κινητήρες τύπου (BLDC Hub motors), που είναι σύγχρονοι κινητήρες τριών φάσεων με Μόνιμους Μαγνήτες, χωρίς ψύκτρες, καθώς και στον τρόπο οδήγησής τους , στην λήψη και μεταφορά δεδομένων τόσο από τον χώρο λειτουργίας του οχήματος όσο και από το ίδιο το όχημα καθώς και στην μεταφορά και αρχική τους επεξεργασία από το σύστημα ελέγχου του robot.

Οι στόχοι που τέθηκαν για την εκπλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι οι ακόλουθοι:

- Απόκτηση τεχνογνωσίας σχετικά με τον σχεδιασμό, την μηχανολογική και ηλεκτρολογική κατασκευή ρομποτικού οχήματος .
- Απόκτηση τεχνογνωσίας σχετική με την εφαρμογή Σύγχρονων Μηχανών Μόνιμων Μαγνητών (BLDC Motors) σε ελεγχόμενο ηλεκτρικό όχημα.
- Απόκτηση και εφαρμογή γνώσεων στην εφαρμογή αισθητήρων και στην λήψη και επεξεργασία δεδομένων από αυτούς.
- Ανάπτυξη νέας τεχνικής οδήγησης BLDC Κινητήρα.
- Απόκτηση και εφαρμογή γνώσεων στον προγραμματισμό και έλεγχο ηλεκτρικού ρομποτικού οχήματος .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

Οι προβλέψεις όλων των μεγάλων ερευνητικών ιδρυμάτων ρομποτικής δείχνουν ότι η παγκόσμια αγορά υπηρεσιών ρομποτικής αναμένεται να αυξηθεί δραματικά κατά τα επόμενα 5 χρόνια. Ειδικότερα, τα επίγεια κινητά ρομπότ (mobile robots) υπηρεσίας που αποτελούν το 75% των συνολικών πωλήσεων [1], [30] (Διεθνής Ομοσπονδία Ρομποτικής, 2012), αναμένεται να καταγράψει άνοδο άνω του 14% κατά την περίοδο πρόβλεψης (2018 - 2023). Τα περισσότερα κινητά ρομπότ έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν όχι μόνο σε δομημένα περιβάλλοντα αλλά και σε μη δομημένες καταστάσεις.

Σήμερα στη μελέτη αυτού του είδους των ρομπότ έχει αφιερωθεί ένας μεγάλος όγκος έρευνας και βιβλιογραφίας, ενώ πολλά πανεπιστημιακά και ερευνητικά ιδρύματα έχουν στρέψει ένα μέρος την ερευνητική τους δραστηριότητα στο συγκεκριμένο πεδίο της ρομποτικής. Όταν αναφερόμαστε στον όρο «κινητό ρομπότ» συνήθως αναφερόμαστε σε ρομποτικά οχήματα, δηλαδή σε κατασκευές οι οποίες έχουν την δυνατότητα αυτόνομης μετακίνησης με ένα σύστημα τροχών (ή ερπυστριών). Το ενδιαφέρον για τα ρομποτικά οχήματα είναι εύλογο μιας και το πεδίο εφαρμογής τους εξαπλώνεται συνεχώς προς πολλές κατευθύνσεις. Τα κινούμενα ρομπότ χρησιμοποιούνται κατά κόρον στη βιομηχανία, στην παροχή υπηρεσιών π.χ. ξενοδοχεία, αεροδρόμια, ως οικιακά ρομπότ για την παροχή υπηρεσιών σε σπίτια κ.τ.λ.

Τα mobile robot μπορεί να είναι "αυτόνομα" (AMR – Autonomous Mobile Robot) που σημαίνει ότι μπορούν να πλοηγηθούν μέσα σε μη ελεγχόμενο περιβάλλον χωρίς να υπάρχει ανάγκη φυσικής συσκευής καθοδήγησης. Διαφορετικά η πλοήγησή τους μπορεί να βασίζεται σε συσκευές καθοδήγησης που τους επιτρέπει να ακολουθούν μια προκαθορισμένη διαδρομή σε ελεγχόμενο χώρο.

Για την επίτευξη της αυτόνομης λειτουργίας, ένα ρομπότ θα πρέπει να μπορεί να λαμβάνει τις απαραίτητες πληροφορίες από το περιβάλλον του, να τις επεξεργάζεται κατάλληλα και να αλληλεπιδρά με αυτό, ενώ θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να κινείται, να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του και να προσαρμόζεται σε αυτό. Για

την πραγματοποίηση μία εργασίας θα πρέπει να μπορεί να λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο και χωρίς να θέτει τον εαυτό του ή το περιβάλλον του σε κίνδυνο.

Περιγραφή του Προβλήματος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η οποία αποτελεί τμήμα συνολικού έργου σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας αυτόνομου ρομποτικού οχήματος, θα εξετάσουμε το πρόβλημα μελέτης σχεδιασμού και κατασκευής του ηλεκτρολογικού, ηλεκτρονικού υποσυστήματος της ρομποτικής πλατφόρμας, το κομμάτι των μηχανισμών κίνησης και ελέγχου τους, στην λήψη δεδομένων από αισθητήρες, τόσο από τον χώρο λειτουργίας του οχήματος όσο και από το ίδιο το όχημα καθώς και στην μεταφορά και αρχική τους επεξεργασία από το σύστημα ελέγχου του robot. Τέλος θα γίνει ο προγραμματισμός του οχήματος ώστε αυτό να έχει τη δυνατότητα αυτόνομης πλοήγησης σε άγνωστο περιβάλλον.

Το ρομποτικό όχημα το οποίο θα σχεδιάσουμε θα κινείται στο επίπεδο και θα βασίζεται στην αρχή της διαφορικής οδήγησης οχημάτων. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η περίπτωση ενός αυτόνομου ηλεκτροκίνητου τετράτροχου ρομποτικού οχήματος εδάφους με κινηματικό μοντέλο διαφορικής οδήγησης και δυνατότητα στρέψης των μπροστινών τροχών, ενώ στο πίσω μέρος του οχήματος υπάρχουν δύο πανκατευθυντικού τύπου τροχοί που λειτουργούν ως τροχοί στήριξης (caster) πετυχαίνοντας έτσι μεγαλύτερη ευελιξία και ισορροπία του οχήματος.

Εξ' αιτίας της πολυπλοκότητας και του μεγέθους του αντικειμένου, χρειάστηκε η συνεργασία τριών κλάδων της μηχανικής (ηλεκτρολογία, μηχανολογία και πληροφορική). Η ανάπτυξη και υλοποίηση ενός αξιόπιστου συστήματος ως προς τα ηλεκτρομηχανικά του υποσυστήματα είναι το πρώτο επίπεδο που πρέπει να ερευνηθεί, προκειμένου να υπάρχει δυνατότητα απρόσκοπτης λειτουργίας του, ενώ το ρομποτικό σύστημα θα πρέπει να ανταποκρίνεται με ομαλότητα και αξιοπιστία στην πραγματοποίηση των αποφάσεων που καλείται να εκτελέσει. Στη συνέχεια απαιτείται η ανάπτυξη και υλοποίηση αλγορίθμων και μεθοδολογιών που να επιτρέπουν στο ρομποτικό όχημα να προσαρμόζεται στον χώρο λειτουργίας του, να αποφασίζει για τις κινήσεις του, με σκοπό να εκτελέσει την εργασία την οποία

καλείται να πραγματοποιήσει, χωρίς να παραβιάζει τους κανόνες ασφάλειας του, αλλά και τους κανόνες ασφάλειας του χώρου στον οποίο λειτουργεί.

Ο σχεδιασμός του ηλεκτρονικού – ηλεκτρολογικού και μηχανολογικού μέρους του ρομποτικού οχήματος έχει ως αφετηρία τις απαιτήσεις που καλείτε να καλύψει το σχεδιαζόμενο ρομπότ, ενώ είναι αναγκαίο να μελετηθεί η μηχανολογική κατασκευή της πλατφόρμας ως προς το σχήμα, το μέγεθος και την μηχανική αντοχή του.

Η επιλογή του τύπου και της κατάλληλης ισχύος των μηχανισμών κίνησης είναι σημαντικό βήμα στην υλοποίηση του οχήματος, καθώς κάθε κινούμενο ρομπότ απαιτεί μηχανισμούς κίνησης κατάλληλου τύπου και ισχύος, που να του επιτρέπουν να κυκλοφορεί στο περιβάλλον του. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία πιθανών τρόπων κίνησης, επομένως η επιλογή του είναι πολύ σημαντικό και κρίσιμο σημείο του σχεδιασμού των mobile robots.

Η μελέτη και η σωστή επιλογή του τρόπου τροφοδοσίας με ενέργεια των μηχανισμών κίνησης καθώς και των μηχανισμών ελέγχου, αποτελεί άλλο ένα σημαντικό βήμα στον σχεδιασμό του ρομποτικού οχήματος. Τα περισσότερα αυτόνομα, κινητά ρομποτικά συστήματα χρησιμοποιούν τον ηλεκτρισμό ως πηγή ενέργειας, η τροφοδοσία με ηλεκτρισμό των επί μέρους συστημάτων των ρομπότ γίνεται από συστοιχίες μπαταριών (συσσωρευτών), που βρίσκονται τοποθετημένες στο ίδιο το όχημα ή η τροφοδοσία τους μπορεί να γίνει από πηγή που βρίσκετε στη διαδρομή του οχήματος και η ενέργεια μεταφέρεται σ' αυτό με επαγωγή.

Ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα είναι η επιλογή και η σωστή τοποθέτηση των κατάλληλων αισθητήρων με τους οποίους το ρομπότ θα μπορεί να αντλεί πληροφορίες από τον χώρο στον οποίο κινείται. Υπάρχει μεγάλη γκάμα αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε κινητά ρομπότ. Οι αισθητήρες που θα χρησιμοποιήσουμε στην κατασκευή του οχήματος είναι αισθητήρες προσέγγισης, αισθητήρες θέσης, αισθητήρες τάσης και ρεύματος, αισθητήρες φωτεινότητας, κάμερα, και αισθητήρας laser.

Ενώ τέλος, η επιλογή του κατάλληλου επεξεργαστή (ή επεξεργαστών) ο οποίος θα επιβλέπει και θα συντονίζει τις ενέργειες λειτουργίας και επικοινωνίας της

ρομποτικής πλατφόρμας με το περιβάλλον του αλλά και με τον χρήστη, αποτελεί ένα εξίσου σημαντικό βήμα στην διαδικασία σχεδιασμού του ρομποτικού οχήματος. Στο όχημα που κατασκευάζουμε έχουν τοποθετηθεί δύο μονάδες ελέγχου, το αναπτυξιακό **ARDUINO UNO** ως ελεγκτής χαμηλού επιπέδου που πάνω σε αυτό συνδέονται και συντονίζονται όλα τα επιμέρους τμήματα του συστήματος, (αισθητήρες, μοτέρ, relay, σειριακή επικοινωνία, σερβομηχανισμοί κ.α.). Ενώ ως ελεγκτής υψηλού επιπέδου χρησιμοποιείται ο **Raspberry Pi** ο οποίος επικοινωνεί μέσω USB με τον **ARDUINO UNO** και μέσω **Wi-Fi** με τον χρήστη.

Τα αποτελέσματα που περιμένουμε μετά την εκπλήρωση της μεταπτυχιακής εργασίας είναι:

- Απόκτηση τεχνογνωσίας σχετικά με τον σχεδιασμό και την κατασκευή ελεγχόμενου ηλεκτρικού οχήματος που ενσωματώνει Σύγχρονες Μηχανές Μόνιμων Μαγνητών (BLDC motors).
- Απόκτηση τεχνογνωσίας σχετικά με την λήψη πληροφοριών από αισθητήρες και επεξεργασία αυτών ώστε τα σήματα να είναι κατάλληλα για την επεξεργασία τους από υπολογιστική μηχανή.
- Απόκτηση και εφαρμογή γνώσεων στον προγραμματισμό για τον έλεγχο ηλεκτρικού ρομποτικού οχήματος .
- Ανάπτυξη και εφαρμογή νέας τεχνικής οδήγησης των Σύγχρονων Κινητήρων Μόνιμων Μαγνητών στην ρομποτική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

State of the Art

Εισαγωγή

Η επιτυχία ενός ρομποτικού συστήματος εξαρτάται από το κατά πόσο αυτό μπορεί να ανταποκριθεί και να εκπληρώσει τους σκοπούς για τους οποίους δημιουργήθηκε, οι δυσκολίες που παρουσιάζονται τόσο στο κατασκευαστικό όσο και στο κομμάτι ελέγχου των ρομποτικών οχημάτων αποτελούν σημαντικό τμήμα της έρευνας σχετικά με την εξέλιξη τους.

Σήμερα, παγκοσμίως, [24], υπάρχει ένας πολύ μεγάλος αριθμός κατασκευαστών (εταιρίες ή ερευνητικά – εκπαιδευτικά ιδρύματα) που κατασκευάζουν κινητά ρομποτικά συστήματα και προσφέρουν τα προϊόντα τους στην αγορά. Στο παρόν τμήμα του εγγράφου θα γίνει παρουσίαση κάποιων αντιπροσωπευτικών προϊόντων που έχουν δημιουργηθεί, για ερευνητικές ή εμπορικές εφαρμογές, με σκοπό την εξερεύνηση των χαρακτηριστικών τους και τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίστηκαν κοινά προβλήματα υπό διαφορετικές προσεγγίσεις.

Η διερεύνηση αυτή γίνεται για την απόκτηση γνώσεων, εμπειριών και τεχνολογικών καινοτομιών, με σκοπό τον καλύτερο και πληρέστερο σχεδιασμό της εφαρμογής μας.

Ρομποτικά οχήματα

Flex Omni της Stanley

Η **Stanley innovation** [2] με έδρα στην πόλη Nashua της Massachusetts στις Η.Π.Α έχει σχεδιάσει την ρομποτική πλατφόρμα FLEX OMNI HIGH LIGHTS. (εικόνα 1).



Εικόνα 1 Ρομποτικό όχημα Flex Omni της Stanley

Το Flex Omni της Stanley είναι μία ολονομική ρομποτική πλατφόρμα με ανθεκτική κατασκευή με ακρίβεια στις κινήσεις του και δυνατότητα να δεχθεί υψηλό ωφέλιμο φορτίο, σκοπός της είναι η μεταφορά αντικειμένων σε χώρους παραγωγής ή διακίνησης προϊόντων. Αυτή η πλατφόρμα είναι ιδανική για χρήση σε περιβάλλον με περιορισμένο χώρο που απαιτεί ακριβή έλεγχο των κινήσεών της. Ο σχεδιασμός του επιτρέπει τη λειτουργία πάνω σε ρωγμές, ή εξογκώματα του εδάφους μέχρι 1,5 " χωρίς οι τέσσερις τροχοί να χάσουν την επαφή τους με το έδαφος. Το σύστημα κίνησής του περιλαμβάνει τέσσερις τροχούς Σουηδικού τύπου οι οποίοι επιτρέπουν την κίνηση σε οποιαδήποτε κατεύθυνση του επιπέδου. Το Flex OMNI έχει την μοναδική δυνατότητα να επαναδιαμορφώνει το μήκος και το πλάτος του. Το Flex OMNI είναι πλήρως συμβατό με το λειτουργικό σύστημα ROS όπου με τους κατάλληλους αλγόριθμους μπορούμε να προσομοιώσουμε την λειτουργία του.

Οι εξωτερικές διαστάσεις του Flex OMNI είναι 157 X 789 X 397 mm, το βάρος της πλατφόρμας είναι 128 Kgr, ενώ το ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να δεχθεί είναι 450 Kgr. Το Flex OMNI είναι εξοπλισμένο με δύο μπαταρίες LiFePO4 24 V από τις οποίες η μία είναι 120Ah και είναι η κύρια μπαταρία της πλατφόρμας, που τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια τους κινητήρες του οχήματος. Ενώ μια δεύτερη μπαταρία 25Ah τροφοδοτεί τα βοηθητικά κυκλώματα του οχήματος. Συνολικά οι μπαταρίες μπορούν να κινήσουν το robot για περίπου 24 ώρες, ενώ ο χρόνος φόρτισής τους είναι περίπου 2 με 3 ώρες. Η κίνηση δίνεται στο ρομποτ από τέσσερις DC κινητήρες (ένας για κάθε τροχό). Η επαφή του με τον πραγματικό κόσμο γίνεται με την βοήθεια ενός σαρωτή laser, μιας 3 D κάμερας, αισθητήρα GPS και ενός συστήματος αδρανειακών αισθητήρων οι οποίοι εξασφαλίζουν άμεση 3D καταγραφή της επιτάχυνσης και των γωνιακών μεταβολών. Επίσης το Flex OMNI έχει την δυνατότητα να δεχθεί και επιπλέον αισθητήρες ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής που θα κληθεί να εκτελέσει. Το ρομποτικό όχημα ελέγχεται από έναν κεντρικό υπολογιστικό σύστημα που έχει στην καρδιά του ένα **intel core i7** που λειτουργεί σε περιβάλλον ROS, ενώ ο έλεγχος θέσης του βασίζεται σε ένα αυτόματο σύστημα κλειστού βρόχου χρησιμοποιώντας το GPS και τους αδρανειακούς αισθητήρες.

Mobile robot MP-400

Η Γερμανική **Neobotix - Robotics & Automation** [3] προσφέρει στην αγορά την Mobile robot MP-400 Το κινητό ROBOT MP-400 σχεδιάστηκε για χρήση σε βιομηχανικές και ερευνητικές εφαρμογές σε εσωτερικό χώρο . Ο πρωταρχικός στόχος του MP-400 είναι να υποστηρίζει ανάγκες που παρουσιάζονται σε χώρους διακίνησης και αποθήκευσης προϊόντων όπου και μπορεί να κινηθεί ανάμεσα σε εμπόδια χωρίς προκαθορισμένη διαδρομή. [20]



I

Εικόνα 2 Ρομποτικό όχημα MP-400 της Neobotix

Το ρομπότ MP-400 της **Neobotix** είναι μια ρομποτική πλατφόρμα διαφορικής οδήγησης που περιλαμβάνει συνολικά έξι τροχούς από τους οποίους οι δύο που βρίσκονται στο κέντρο της πλατφόρμας είναι οι τροχοί κίνησης - οδήγησης ενώ τα άλλα δύο ζεύγη τροχών που βρίσκονται στο μπροστινό και πίσω μέρος της είναι τροχοί πανκατευθυντικού τύπου και χρησιμοποιούνται ως βοηθητικοί τροχοί ισορροπίας του οχήματος. Οι εξωτερικές διαστάσεις του MP - 400 είναι 590 x 559 x 411 mm, το βάρος της πλατφόρμας είναι 70 Kgr, ενώ το ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να δεχθεί είναι 150 Kgr. Επιπλέον το MP-400 είναι σχεδιασμένο ώστε να μπορούμε να προσαρμόσουμε πάνω του φορείς εξοπλισμού αισθητήρων, βραχίονα ρομπότ ή άλλες ειδικές συσκευές.

Το MP-400 τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από δύο μπαταρίες οξειδίων μολύβδου 12 V συνδεδεμένες σε σειρά με συνολική χωρητικότητα 50 Ah. Συνολικά οι μπαταρίες μπορούν να κινήσουν το robot για περίπου 10 ώρες, ενώ ο χρόνος φόρτισής τους είναι περίπου 8 ώρες. Η κίνηση στην πλατφόρμα δίνεται από δύο βηματικούς κινητήρες, συνολικής ηλεκτρικής ισχύος 300 Watt, (ένας για κάθε τροχό). Οι κινητήρες του ελέγχονται από την κεντρική μονάδα ελέγχου του ρομπότ μέσω των αντίστοιχων servo controllers. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες έχουν μέγιστη ταχύτητα 5000 Rpm , ενώ η κίνηση μεταφέρεται στους τροχούς μέσω κιβωτίου γραναζιών με λόγο 1 : 8. Η λήψη πληροφοριών από το περιβάλλον εργασίας του γίνεται με την βοήθεια ενός σαρωτή laser (Sick S300), ενώ υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθούν και επιπλέον αισθητήρες υπερήχων ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη, Δεδομένα για την οδομετρία παίρνει μέσω encoder που βρίσκονται προσαρμοσμένοι στους άξονες των ηλεκτρικών κινητήρων. Το ρομποτικό όχημα ελέγχεται από έναν κεντρικό υπολογιστικό σύστημα που βασίζεται στον επεξεργαστή **intel core i7** που μπορεί να περιέχει είτε λειτουργικό windows είτε λειτουργικό Linux, ενώ είναι πλήρως συμβατό με το περιβάλλον ROS.

Magni

Η **Magni** της **Ubiquity Robotics** [4] είναι αυτόνομο ρομποτικό όχημα με τη μορφή κινητής βάσης που σχεδιάστηκε για να μπορεί να καλύψει ανάγκες παροχής υπηρεσιών όπως μεταφορά φορτίων, ή παροχής υπηρεσιών σε ξενοδοχεία, όπως επίσης και εκπαιδευτικές ανάγκες χάρη στην φιλική προς τον χρήστη δομή του.



Εικόνα 3 Ρομποτικό όχημα Magni της Ubiquity Robotics

Η ρομποτική πλατφόρμα Magni της **Ubiquity Robotics** είναι άλλη μια ρομποτική πλατφόρμα διαφορετικής οδήγησης που προσφέρεται στην αγορά. Η **Magni** περιλαμβάνει συνολικά τέσσερις τροχούς από τους οποίους οι δύο που βρίσκονται στο μπροστινό μέρος της πλατφόρμας είναι οι τροχοί κίνησης - οδήγησης ενώ οι άλλοι δύο που βρίσκονται στο πίσω μέρος της είναι τροχοί πανκατευθυντικού τύπου και χρησιμοποιούνται ως βοηθητικοί τροχοί ισορροπίας του οχήματος. Οι εξωτερικές διαστάσεις της Magni είναι 493 x 417 x 265 mm, το βάρος της πλατφόρμας χωρίς τις μπαταρίες του είναι 13 Kgr, ενώ το ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να δεχθεί είναι περίπου 100 Kgr. Επιπλέον το **Magni**, είναι σχεδιασμένο ώστε να μπορούμε να προσαρμόσουμε πάνω του ειδικές συσκευές που θα μπορούν να εξυπηρετούν επιστημονικούς σκοπούς ή να το εντάξουν στα ρομπότ παροχής υπηρεσιών.

Το **Magni** τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από δύο μπαταρίες οξειδίων μολύβδου 12 V 7 Ah συνδεδεμένες σε σειρά για την τροφοδοσία των συστημάτων ισχύος, ενώ για το σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει άλλες δύο μπαταρίες 5 V 7 Ah . Συνολικά οι μπαταρίες μπορούν να κινήσουν το robot για περίπου 4 ώρες, κάτι που εξαρτάται από το φορτίο του. Η κίνηση στην πλατφόρμα δίνεται από δύο BLCD κινητήρες ηλεκτρικής ισχύος 200 Watt, που περιλαμβάνουν κιβώτιο γρναζιών με λόγο 1:3,9. Οι κινητήρες του ελέγχονται από την κεντρική μονάδα ελέγχου του ρομπότ μέσω των αντίστοιχων controllers. Η λήψη πληροφοριών από το περιβάλλον εργασίας του γίνεται μέσω μιας κάμερας που δίνει πληροφορίες στην μονάδα ελέγχου και έξι αισθητήρων υπερήχων οι οποίοι εντοπίζουν τυχόν εμπόδια στον χώρο όπου κινείται. Η Magni έχει την δυνατότητα να δεχθεί και ένα laser scanner . Δεδομένα για την οδομετρία παίρνει μέσω αισθητήρων Hall που βρίσκονται ενσωματωμένα στους ηλεκτρικούς κινητήρες. Το ρομποτικό όχημα ελέγχεται από έναν κεντρικό υπολογιστικό σύστημα που βασίζεται στον επεξεργαστή **RasperryPi** που εκτελεί λειτουργικό Linux, ενώ είναι πλήρως συμβατό με το περιβάλλον ROS.

LD 60 OMRON

Η σειρά των αυτόνομων ρομπότ LD (LD 60 και LD 90) της **OMRON** [5] είναι άλλη μια ευέλικτη ρομποτική πλατφόρμα που σχεδιάστηκε για να μπορεί να καλύψει

ανάγκες παροχής υπηρεσιών όπως μεταφορά φορτίων σε βιομηχανικούς ή αποθηκευτικούς χώρους, όπως επίσης και παροχής υπηρεσιών service, όπως μεταφορά φαγητού σε ξενοδοχειακές ή νοσοκομειακές μονάδες. Έχει την δυνατότητα να προσαρμόζει με μεγάλη ευκολία μεταφορείς προϊόντων, όπως καρότσια, ή να μετατραπεί σε μια κινητή βάση ρομποτικού βραχίονα .



Εικόνα 4 Ρομποτικό όχημα LD 60 OMRON

Κατασκευαστικά η ρομποτική πλατφόρμα της OMRON είναι ένα όχημα διαφορικής οδήγησης με συνολικά έξι τροχούς από τους οποίους οι δύο που βρίσκονται στο κέντρο είναι οι τροχοί κίνησης - οδήγησης ενώ στο μπροστινό και στο πίσω μέρος της πλατφόρμας υπάρχουν δύο ζεύγη πανκατευθυντικού τύπου τροχοί που χρησιμοποιούνται ως βοηθητικοί τροχοί ισοροπίας του οχήματος (caster). Οι εξωτερικές διαστάσεις των LD είναι 699 x 500 x 383 mm στο υψηλότερο μέρος του οχήματος, το βάρος της πλατφόρμας με τις μπαταρίες του είναι 62 Kgr, ενώ το ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να δεχθεί είναι περίπου 60 Kgr για το LD 60 και 90 Kgr για το LD 90.

Τα ρομπότ της σειράς LD τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από μία μπαταρία μπαταρίες ιόντων λιθίου 24 V 72 Ah για την τροφοδοσία των συστημάτων ισχύος. Συνολικά οι μπαταρίες δίνουν στο ρομπότ αυτονομία περίπου 15 ωρών, κάτι που εξαρτάται από το φορτίο του. Η κίνηση στην πλατφόρμα δίνεται από δύο BLCD κινητήρες ηλεκτρικής ισχύος 200 Watt, που περιλαμβάνουν κιβώτιο γραναζιών με λόγο 1:4. Η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει είναι για το LD-60: 1800 mm/s, ενώ για το LD-90: 1350 mm/s . Οι κινητήρες του ελέγχονται από την κεντρική

μονάδα ελέγχου του ρομπότ μέσω των αντίστοιχων controllers. Η λήψη πληροφοριών από το περιβάλλον εργασίας του γίνεται μέσω δύο laser scanner που είναι τοποθετημένα στο εμπρόσθιο μέρος του οχήματος από τα οποία το ένα είναι τοποθετημένο σε ύψος περίπου 20cm από το έδαφος και σαρώνει μια απόσταση 15 μέτρων με γωνία σάρωσης 240° , ενώ το δεύτερο σαρώνει στο πάτωμα απόσταση 4 μέτρων με γωνία 270° για τυχόν εμπόδια στην πορεία του. Στο πίσω μέρος του οχήματος είναι τοποθετημένοι δύο αισθητήρες υπερήχων (sonar) που δίνουν πληροφορίες στην μονάδα ελέγχου όταν το όχημα κινείται με την όπισθεν. Τα LD μπορούν να δεχθούν προαιρετικά επιπλέον αισθητήρες ή κάμερα, αναλόγως της εφαρμογής την οποία καλούνται να εκτελέσουν. Δεδομένα για την οδομετρία παίρνει μέσω encoders που βρίσκονται ενσωματωμένα στους ηλεκτρικούς κινητήρες. Το ρομποτικό όχημα ελέγχεται από ένα κεντρικό υπολογιστικό σύστημα με λειτουργικό Windows και βασίζεται σε έναν επεξεργαστή dual-core 1.5 GHz.

Dr Robot X80SVP

Η канаδική **Dr Robot** [6] κατασκεύασε και προωθεί την **X80SVP**. Αυτή η κινητή ρομποτική πλατφόρμα έχει σχεδιαστεί για ερευνητές που αναπτύσσουν προηγμένες εφαρμογές ρομποτικής, όπως απομακρυσμένη παρακολούθηση, τηλεπαρουσίαση και αυτόνομη πλοήγηση / περιπολία. Το X80SVP είναι ένα ελαφρύ, γρήγορο, ισχυρό και ευκίνητο ρομποτικό όχημα.



Εικόνα 5 Ρομποτικό όχημα X80SVP της Dr Robot

Κατασκευαστικά Το **X80SVP** είναι ένα τρίτροχο όχημα διαφορεικής οδήγησης με τους δύο τροχούς που βρίσκονται στο κέντρο του οχήματος να αποτελούν τους τροχούς κίνησης - οδήγησης ενώ στο πίσω μέρος της πλατφόρμας υπάρχει ένας τροχός ισορροπίας του οχήματος (caster). Οι εξωτερικές διαστάσεις του **X80SVP** είναι 380 mm (L) x 350 mm (W) x 280 mm (H) στο υψηλότερο μέρος του οχήματος, το βάρος της πλατφόρμας με τις μπαταρίες του είναι μόλις 3,5 Kgr, ενώ το ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να δεχθεί είναι περίπου 15 Kgr.

Τα ρομπότ της σειράς X80SVP τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από μία μπαταρία 12V Ni-MH χωρητικότητας 3800 mAh που χρησιμοποιείτε για την τροφοδοσία των συστημάτων ισχύος αλλά και των συστημάτων ελέγχου. Συνολικά οι μπαταρίες δίνουν στο ρομπότ αυτονομία περίπου 3 ωρών. Η κίνηση στην πλατφόρμα δίνεται από δύο κινητήρες DC 12 V που δίνουν στο όχημα συνολική ροπή 80 kg.cm, ενώ η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει είναι 750 mm/s, οι τροχοί του οχήματος είναι διαμέτρου 7". Οι κινητήρες του ελέγχονται από την κεντρική μονάδα ελέγχου του ρομπότ μέσω των αντίστοιχων DC motor controllers. Η επαφή του με το περιβάλλον εργασίας του γίνεται μέσω έξι αισθητήρων υπερήχων (sonar) που είναι τοποθετημένοι περιμετρικά του ρομπότ, επτά IR αισθητήρων μέτρησης απόστασης που και αυτοί είναι τοποθετημένοι περιμετρικά του ρομπότ, δυο αισθητήρες Pyroelectric Human Motion (PHM) για την ανίχνευση κίνησης στις δύο πλευρές του οχήματος, καθώς και ένας αισθητήρας θερμοκρασίας χώρου και ένα επιταχυνσιόμετρο, επίσης το X80SVP είναι εφοδιασμένο με κάμερα τοποθετημένη σε βάση σερβομηχανισμών που μπορεί να πάρει τον προσανατολισμό που θα δεχθεί από τον χρήστη. Στους δύο άξονες των τροχών υπάρχουν δύο encoder τα οποία δίνουν στοιχεία για τις κινήσεις των τροχών και την οδομετρία. Το X80SVP έχει την δυνατότητα να δεχθεί laser scanner ή άλλους αισθητήρες που θα καλύψουν τις ανάγκες της εφαρμογής τις οποίες καλείτε να εκτελέσει.

Ο έλεγχος αυτού του ρομποτικού οχήματος είναι διαφορετικός από όλα όσα έχουμε μελετήσει. Το ρομπότ ελέγχεται από έναν κεντρικό υπολογιστικό σύστημα με λειτουργικό Windows το οποίο βρίσκεται εκτός του οχήματος. Χρησιμοποιώντας αυτήν την προσέγγιση, ο υψηλού επιπέδου έλεγχος του ρομπότ διατηρείται από έναν απομακρυσμένο ή τοπικό υπολογιστή / διακομιστή ο οποίος επικοινωνεί με ασφαλή

ασύρματη σύνδεση με το όχημα. Η λειτουργικότητα χαμηλού επιπέδου διαχειρίζεται ένας ενσωματωμένος επεξεργαστής ψηφιακών σημάτων (DSP), ενώ οι υπολογιστικές εντατικές λειτουργίες εκτελούνται εκτός του οχήματος. Το αποτέλεσμα είναι το ρομπότ να γίνει ελαφρύτερο, να καταναλώνει λιγότερη ενέργεια και έχει μειωμένο κόστος κατασκευής του. Επιπλέον, δεδομένου ότι η πρωτογενής επεξεργασία βρίσκεται σε ένα κεντρικό υπολογιστή, όλες οι αναβαθμίσεις υλικού στην κεντρική μονάδα μοιράζονται σε όλα τα ρομπότ που ελέγχει αυτός. Η επικοινωνία του ρομπότ με την μονάδα ελέγχου γίνεται μέσω της ενσωματωμένης ασύρματη μονάδα WiFi 802.11, το σύστημα μπορεί να φορτώσει όλα τα δεδομένα αισθητήρων στον υπολογιστή, ενώ με τον ίδιο τρόπο έρχονται και οι εντολές και οι οδηγίες που αποστέλλονται στο X80SVP. Το X80SVP λειτουργεί με το λογισμικού ανάπτυξης WiRobot (για MS Windows 2000 και άνω), υπάρχει όμως η δυνατότητα ο κατασκευαστής να παράσχει πρωτόκολλο επικοινωνίας για άμεση ενσωμάτωση σε οποιοδήποτε άλλο σύστημα π.χ. Linux.

Συγκριτικός πίνακας ρομποτικών οχημάτων.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα στοιχεία των ρομποτικών οχημάτων που μελετήσαμε, δημιουργήσαμε ένα πίνακα όπου φαίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά αυτών καθώς και του οχήματος που σχεδιάζουμε, με σκοπό την σύγκριση την κατάταξη και τον εντοπισμό δυνατών και αδύνατων στοιχείων του οχήματός μας σε σχέση με τα υπόλοιπα της αγοράς.

	FlexOmni Stanley	MP-400 Neobotix	Magni 4	LD-60 OMRON	X80S Robot	HELIX C.M.
Τύπος οδήγησης	Πολυκατευθυντικό	Διαφορική	Διαφορική	Διαφορική	Διαφορική	Διαφορική
Βάρος οχήματος	128	70	18	62	3.5	15
Ωφέλιμο φορτίο	450	150	100	60	15	100
Τύπος κινητήρα	DC	Steeper	BLDC	BLDC 1:4	DC	BLDC
Αυτονομία	24 h	10h	4h	15h	3h	5h
Αισθητήρες Laser	1	1	Optional	2	Optional	Optional
Ultra sonic	Optional	Optional	6	2	6	3
Κάμερα	1	Optional	1	Optional	1	Optional
Οδομετρία	GPS και 2 αδρανειακούς	encoder	hall	encoder	encoder	Hall
Διαστάσεις L x W x H (mm)	157 x 789 x 397	590 x 559 x 411	439 x 417 x 265	699 x 500 x 383	380 x 350 x 280	510 x 450 x 350
Λειτουργικό	ROS	ROS	ROS	Windows	Windows	ROS
Επεξεργαστής	Intel core 7	Intel core 7	Raspberry	Intel dual core		Arduino Raspberry
Τιμή Euro		20.900	999		3.250	540

Πίνακας 1 Συγκριτικός πίνακας Ρομποτικών οχημάτων

Συμπεράσματα State of the Art

Αρχικά αξίζει να σημειωθεί ότι δεν εντοπίστηκαν επιστημονικά συγγράμματα στα οποία να παρουσιάζεται η σχεδίαση αυτόνομου ρομποτικού οχήματος αντίθετα έγινε εντοπισμός πολλών μελετών κατασκευαστικών εταιριών οι οποίες κατασκευάζουν και εμπορεύονται αυτόνομα ρομποτικά οχήματα.

Τα κυριότερα συμπεράσματα της ανάλυσης του State of the Art αφορούν:

1. Τους κινητήρες των οχημάτων, οι τύποι των κινητήρων που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές είναι:
 - Κινητήρες DC με διάταξη μηχανικής μείωσης στροφών (κιβώτιο γραναζιών).
 - BLDC κινητήρες με διάταξη μηχανικής μείωσης στροφών.
 - Βηματικοί κινητήρες (Stepper motors). (με ή χωρίς την χρήση γραναζιών)
2. Τον τρόπο οδήγησης των οχημάτων που στο μεγαλύτερο ποσοστό είναι διαφορικής οδήγησης, ενώ υπάρχουν και οχήματα με οδήγηση τύπου Άκερμαν ή ολονομικής οδήγησης με τροχούς τύπου Sweden.
3. Το σύνολο των οχημάτων που εξετάσαμε τροφοδοτούνται με ενέργεια μέσω μπαταριών που αυτές μπορεί να είναι Li-po, Οξειδίου του μολύβδου ή Li-Mo, η δε αυτονομία των οχημάτων κυμαίνεται από λίγες ώρες μέχρι και 24 ώρες.
4. Το λειτουργικό σύστημα στο οποίο λειτουργούν είναι στην πλειοψηφία το ROS, ενώ υπάρχουν και κάποια οχήματα που χρησιμοποιούν λειτουργικό Windows.
5. Ως αναφορά τον τύπο των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται παρατηρούμε ότι όλα τα οχήματα περιλαμβάνουν αισθητήρες υπερήχων, ενώ η πλειοψηφία αυτών χρησιμοποιεί Laser scanner ή και κάμερα.
6. Όλα τα οχήματα δίνουν δεδομένα οδομετρίας μέσω αισθητήρων Hall ενσωματωμένων στους κινητήρες ή μέσω encoders στους άξονες των τροχών.
7. Η εμπορική τιμή των περισσότερων οχημάτων ξεπερνά τις 3000 \$ με εξαίρεση το όχημα Magni που είναι περίπου στα 1000\$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εισαγωγή

Στα πλαίσια της μεταπτυχιακής μας εργασίας αποφασίσαμε να μελετήσουμε και να πραγματοποιήσουμε την κατασκευή ενός αυτόνομου ρομποτικού οχήματος. Το έργο αυτό χαρακτηρίζεται από πολυπλοκότητα, μεγάλο όγκο δουλειάς και χρήζει γνώσεις από πολλά πεδία της επιστήμης.

Ερευνητική μέθοδος

Με σκοπό τον βέλτιστο σχεδιασμό του αυτόνομου ρομποτικού οχήματος προσεγγίσαμε το θέμα με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

Μελετήσαμε τις δυνατότητες σχεδιασμού και τον τρόπο κατασκευής ρομποτικών οχημάτων με σκοπό την διερεύνηση των προσφερόμενων λύσεων - υλικών, τις αρχές λειτουργίας και τις ιδιότητες αυτών και τελικά τον προσδιορισμό και την επιλογή των ηλεκτρολογικών – ηλεκτρονικών υλικών που είναι απαραίτητα για την υλοποίηση του οχήματος και ικανοποιούν τις αρχικές προδιαγραφές που θέσαμε.

Με έρευνα αγοράς προσπαθήσαμε να εντοπίσουμε την βέλτιστη λύση ως προς την επάρκεια, την ποιότητα, την τιμή, και την ευκολία προμήθειας των υλικών κατασκευής.

Παράλληλα, από τους μηχανολόγους της ομάδας, χρησιμοποιώντας τα σχεδιαστικά Solid work και AutoCAD, δημιουργήθηκαν τα μηχανολογικά και κατασκευαστικά σχέδια σε 2D και 3D με τις διαστάσεις και τις ιδιότητες που είχαμε ορίσει στις προδιαγραφές. Ενώ παράλληλα δημιουργήθηκε και ο κώδικας οδήγησης των κοπτικών μηχανημάτων για την κατασκευή των μεταλλικών τεμαχίων του οχήματος. (Λεπτομέρειες για το βήμα αυτό στο τμήμα της μηχανολογικής κατασκευής).

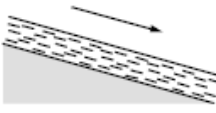
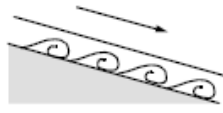

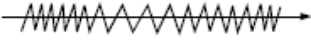

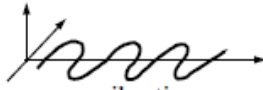

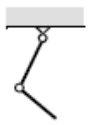

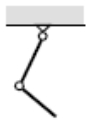


Θεωρητική μελέτη

Κίνηση (locomotion)

Κάθε κινούμενο ρομπότ απαιτεί μηχανισμούς κίνησης που του επιτρέπουν να κυκλοφορεί στο περιβάλλον του. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία πιθανών τρόπων κίνησης,

επομένως η επιλογή του τρόπου κίνησης είναι πολύ σημαντικό μέρος του σχεδιασμού των mobile robots.

Οι περισσότεροι από τους μηχανισμούς κίνησης των robots έχουν εμπνευστεί από βιολογικές λειτουργίες ζωντανών οργανισμών, με εξαίρεση τον τροχό που είναι μια ανθρώπινη εφεύρεση η οποία μπορεί να επιτύχει μεγάλες αποδόσεις κίνησης σε επίπεδο έδαφος [7].

Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel 	Hydrodynamic forces	Eddies 
Crawl 	Friction forces	Longitudinal vibration 
Sliding 	Friction forces	Transverse vibration 
Running 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Jumping 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Walking 	Gravitational forces	Rolling of a polygon (see figure 2.2) 

Εικόνα 6: Μηχανισμοί κίνησης που χρησιμοποιούνται στα βιολογικά συστήματα

Οι συνηθέστεροι τρόποι κίνησης των mobile robots είναι η χρήση είτε τροχοφόρων μηχανισμών, γνωστά ως οχήματα, είτε η χρήση αρθρωτών ποδιών. Σε γενικές γραμμές, η κίνηση με αρθρώσεις απαιτεί μεγαλύτερη μηχανική πολυπλοκότητα από ότι η κίνηση με τροχούς. Η επιλογή του τρόπου κίνησης εξαρτάτε σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιότητες και την κατάσταση του περιβάλλοντος στο οποίο είναι προορισμένο να κινηθεί το robot που σχεδιάζουμε.

Βασικά θέματα κίνησης

Η επιλογή τρόπου κίνησης, όπως έχουμε προαναφέρει, αποτελεί ένα βασικό παράγοντα που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό ενός mobilerobot, θέματα που θα πρέπει να εξετάσουμε είναι:

- Στατικότητα:
 - Πλήθος και γεωμετρία σημείων επαφής.
 - Κέντρο βάρους.
 - Στατική /δυναμική σταθερότητα.
 - Κλίση εδάφους.
- Χαρακτηριστικά επαφής
 - Σημείο επαφής/διαδρομή(path) μέγεθος και σχήμα.
 - Γωνία επαφής.
 - Τριβή.
- Τύπος περιβάλλοντος
 - Υφή.
 - Ενδιάμεσα υλικά, (π.χ. νερό, αέρας, σκληρό ή μαλακό χώμα).

Η θεωρητική ανάλυση της κίνησης ξεκινάει από τη φυσική και την μηχανική. Με αυτά τα σημεία αναφοράς μπορούμε να ορίσουμε και να αναλύσουμε όλα τα πιθανά συστήματα κίνησης ενός mobile robot.

Τροχοφόρα ρομπότ

Ο σχεδιασμός αυτοκινούμενων robots που χρησιμοποιούν τον τροχό ως μηχανισμό κίνησης, είναι πολύ διαδεδομένος και αυτό γιατί έχει την δυνατότητα να πετύχει πολύ καλές αποδόσεις, ενώ αυτό το πετυχαίνει με σχετικά απλή μηχανολογική εφαρμογή. Συνήθως τα τροχοφόρα ρομπότ δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα ισορροπίας αφού είναι σχεδόν πάντα σχεδιασμένα έτσι ώστε όλοι οι τροχοί να βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος. Τρεις τροχοί είναι επαρκής ώστε να εξασφαλίζεται ισορροπία. Όταν χρησιμοποιούνται περισσότεροι από τρεις τροχοί, ένα σύστημα ανάρτησης είναι υποχρεωτικό ώστε να επιτρέπει σε όλους τους τροχούς να διατηρούν επαφή με το έδαφος.

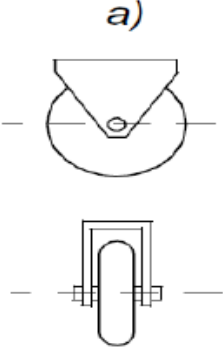
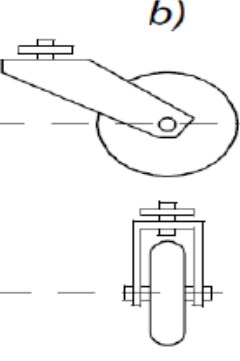
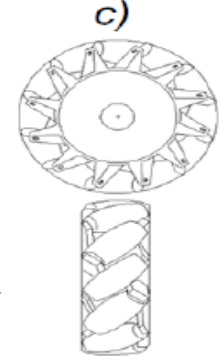
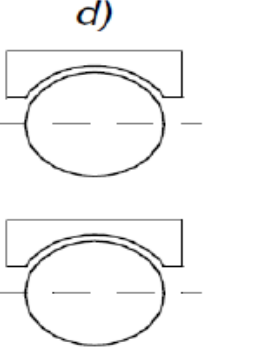
Είδη τροχών

Υπάρχουν τέσσερις κύριες κατηγορίες τροχών, όπως φαίνεται στην εικόνα 7. Κάθε είδος από αυτούς έχει διαφορετική κινηματική συμπεριφορά οπότε η επιλογή του τύπου τροχού έχει μεγάλη επίπτωση στην συνολική κινηματική του ρομπότ.

Ο κανονικός τροχός (standardwheel) και ο τροχός Castor έχουν κύριο άξονα περιστροφής ώστε να έχουν μεγάλη κατευθυντικότητα. Η βασική διαφορά μεταξύ αυτών των δύο τροχών είναι ότι ο Standard τροχός μπορεί να καταφέρει την κίνηση του συστήματος διεύθυνσης, χωρίς προβλήματα, καθώς το κέντρο περιστροφής περνά μέσα από την επιφάνεια επαφής με το έδαφος, ενώ ο Castor τροχός περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα, προκαλώντας μια δύναμη αντιστάθμισης, η οποία μεταδίδεται στο σασί του ρομπότ κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

Τόσο ο σουηδικός (Swedish) τροχός όσο και ο σφαιρικός τροχός περιορίζονται λιγότερο από την κατευθυντικότητα σε σχέση με τον standard τροχό. Ο σουηδικός λειτουργεί όπως ο κανονικός τροχός, αλλά παρέχει χαμηλή αντίσταση σε επιπλέον κατευθύνσεις, επίσης μπορεί να κατευθύνεται κάθετα προς την συμβατική κατεύθυνση (Swedish 90), ή σε μια ενδιάμεση γωνία (Swedish 45).

Ο σφαιρικός τροχός είναι πραγματικά κατευθυντικός και συχνά σχεδιάζεται έτσι ώστε να μπορεί να κινείται και να περιστρέφεται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση.

 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	 <p>c)</p>	 <p>d)</p>
<p>Standard wheel: Two degrees of freedom; rotation around the wheel axle and the contact point.</p>	<p>Castor wheel: Two degrees of freedom; rotation around an offset steering joint.</p>	<p>Swedish wheel: Three degrees of freedom; rotation around the wheel axle, around the rollers, and around the contact point.</p>	<p>Ball or spherical wheel: Realization technically difficult.</p>

Εικόνα 7: Κύριες κατηγορίες τροχών

Το ρομποτικό όχημα που σχεδιάζουμε θα περιλαμβάνει τέσσερις τροχούς για την κίνησή του από τους οποίους οι δύο θα είναι standard wheels και θα είναι οι κατευθυντήριοι τροχοί, ενώ άλλοι δύο θα είναι τύπου castor wheel και θα λειτουργούν ως ισοροπιστές του οχήματος.

Επενεργητές

Οι μηχανισμοί που εκτελούν κάποιο έργο στα ρομποτικά συστήματα είναι οι επενεργητές.

Ηλεκτρικοί επενεργητές

Η ενέργεια που χρησιμοποιούν οι επενεργητές ώστε να εκτελέσουν το έργο τους στις περισσότερες περιπτώσεις είναι πνευματική, υδραυλική ή ηλεκτρική. Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως:

Υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα της χρησιμοποιούμενης ενέργειας, το χαμηλό κόστος και μεγάλη ποικιλία προϊόντων, υψηλός συντελεστής μετατροπής ισχύος, εύκολη συντήρηση, δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον εργασίας.

Παρουσιάζουν όμως αρκετούς περιορισμούς, όπως:

Υπάρχει κίνδυνος πρόκλησης βραχυκυκλώματος, χρειάζονται ειδική προστασία όταν λειτουργούν σε εύφλεκτο ή υγρό περιβάλλον, αναπτύσσουν υψηλές θερμοκρασίες κατά την λειτουργία τους, ενώ σε πολλές περιπτώσεις είναι απαραίτητη η πρόσθετη λήψη μέτρων ψύξης τους.

Υδραυλικοί και Πνευματικοί επενεργητές

Τα βασικά πλεονεκτήματα των υδραυλικών και πνευματικών επενεργητών είναι ο υψηλός λόγος της παραγόμενης ισχύος προς το βάρος τους καθώς και η δυνατότητα απόδοσης υψηλής ροπής ακόμα και σε πολύ μικρές ταχύτητες με αποτέλεσμα να μην απαιτείται

η χρήση ενδιάμεσων μειωτήρων. Δεν παρουσιάζουν προβλήματα βραχυκυκλώσεων, είναι αυτολυπαινόμενοι, ενώ το υδραυλικό όπως και το πνευματικό μέσον μεταφοράς της ισχύος χρησιμοποιείτε εκτός των άλλων και ως ψυκτικό, είναι ιδιαίτερος ασφαλείς σε επικίνδυνα περιβάλλοντα.

Παρουσιάζουν όμως αρκετά μειονεκτήματα, κάποια από τα οποία ακολουθούν:

Για την λειτουργία τους υπάρχει ανάγκη ύπαρξης πηγής υδραυλικής ή πνευματικής ισχύος, το κόστος αγοράς είναι υψηλό, υπάρχει μικρή ποικιλία ετοιμοπαράδοτων προϊόντων ενώ είναι πολύ δύσκολη η κατασκευής τους σε μικρές διαστάσεις. Ο συντελεστής μετατροπής ισχύος είναι χαμηλός, ενώ έχουν αυξημένες ανάγκες συντήρησης. Κατά την χρήση υδραυλικών επενεργητών υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ρύπανσης του περιβάλλοντος εργασίας εξαιτίας διαρροών υδραυλικού ρευστού, ενώ οι πνευματικοί επενεργητές δεν είναι κατάλληλοι για εφαρμογές ελέγχου θέσης που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια λόγω συμπίεσότητας.

Εφαρμογή

Το ρομποτικό όχημα που σχεδιάζουμε περιλαμβάνει δύο κύριους επενεργητές κίνησης, που είναι οι ηλεκτρικοί κινητήρες που οδηγούν τους δύο κινητήριους τροχούς, οι οποίοι είναι και οι κατευθυντήριοι τροχοί του οχήματος. Επίσης τέσσερεις βοηθητικούς επενεργητές, που είναι relay, τα οποία θα ενεργοποιούν την αναστροφή κατεύθυνσης κίνησης και την πέδηση του οχήματος.

Ηλεκτρικοί κινητήρες

Οι κύριοι ενεργοποιητές που θα χρησιμοποιήσουμε στην κατασκευή του ρομποτικού οχήματος θα είναι ηλεκτρικοί κινητήρες που θα κινούν τους τροχούς του οχήματος που σχεδιάζουμε.

Κατάταξη των Ηλεκτρικών Κινητήρων (επενεργητών)

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι η συσκευή που τελικά αναλαμβάνει την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική. Η επιλογή του είναι πολύ σημαντική για την απόδοση του ηλεκτρικού συστήματος κίνησης οπότε θα πρέπει να βασίζεται σε αυστηρά κριτήρια που θα πρέπει να περιλαμβάνουν την υψηλή απόδοση, υψηλή ροπή σε μικρές ταχύτητες, παροχή σταθερής ισχύς σε μεγάλη περιοχή λειτουργίας, χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης και μεγάλη διάρκεια ζωής. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω βασικές κατηγορίες ανάλογα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών:

Για εφαρμογές στις οποίες απαιτείται ακριβής έλεγχος της ταχύτητας περιστροφής ή της θέσης του άξονα του κινητήρα. Για να καλυφθούν οι απαιτήσεις αυτές, χρησιμοποιούνται συνήθως **σύγχρονοι κινητήρες** με μόνιμο μαγνήτη στο δρομέα ή **βηματικοί κινητήρες**.

Σε εφαρμογές όπου εκτός από τον έλεγχο θέσης, ο ηλεκτρικός κινητήρας πρέπει να είναι σε θέση να αναπτύσσει ροπή, η οποία να μπορεί να συγκρατεί το δρομέα του σε μια συγκεκριμένη θέση υπερνικώντας πιθανό φορτίο στον άξονά του. Για να καλυφθούν αυτές οι απαιτήσεις είναι απαραίτητη η χρήση **βηματικών κινητήρων** και κατάλληλη παλμοδότηση στον ηλεκτρονικό μετατροπέα που τον οδηγεί. [8].

Σε εφαρμογές που δεν απαιτούν ακριβή έλεγχο της ταχύτητα περιστροφής του άξονα, κριτήριο για την επιλογή του κινητήρα είναι η ελάττωση του κόστους κατασκευής. Τέτοιοι κινητήρες είναι συνήθως ειδικοί τύποι ασύγχρονων ή σύγχρονων κινητήρων [9].

Σύγχρονες Μηχανές Με Μόνιμους Μαγνήτες (Brushless DC)

Οι Σύγχρονες Μηχανές (ΣΜ) είναι μία οικογένεια ηλεκτρικών μηχανών στις οποίες η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα βρίσκεται σε σταθερή αναλογία με τη συχνότητα της τάσης τροφοδοσίας των ηλεκτρικών πηνίων του στάτη.

$$n_s = \frac{f_s}{p}$$

όπου n_s είναι η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα (σε στροφές /sec) η οποία ταυτίζεται με τη ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου, f_s είναι η συχνότητα της τάσης τροφοδοσίας των ηλεκτρικών πηνίων του στάτη και p είναι ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων.

Οι Σύγχρονοι Κινητήρες με Μόνιμο Μαγνήτη (ΣΜΜΜ), λειτουργούν με τις ίδιες αρχές λειτουργίας όπως και οι κλασικές σύγχρονες μηχανές, έχουν όμως μοναδικά πλεονεκτήματα και δίνουν σημαντικές δυνατότητες στους σχεδιαστές ελεγχόμενων κινητηρίων συστημάτων. Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των μηχανών αυτών είναι

ο υψηλός βαθμός απόδοσης, η μεγάλη πυκνότητα ισχύος και ο μεγάλος λόγος ροπής στον άξονα προς αδράνεια [10].

Οι κινητήρες αυτοί έχουν την ιδιότητα να διατηρούν την ταχύτητα του δρομέα στο σύγχρονο αριθμό στροφών, ανεξαρτήτως του φορτίου. Δύο είναι οι χαρακτηριστικές τιμές ροπής στις σύγχρονες μηχανές με μόνιμο μαγνήτη, η ονομαστική ροπή TR («rated torque») και η μέγιστη ροπή TP («peak torque»).

Κατά τη συνεχή λειτουργία η μηχανή μπορεί να φορτιστεί μέχρι την ονομαστική ροπή, η οποία παραμένει σταθερή για ένα μεγάλο εύρος ταχυτήτων, έως την ονομαστική ταχύτητα. Η μηχανή μπορεί να επιταχύνει μέχρι μία μέγιστη ταχύτητα (έως και 150% της ονομαστικής ταχύτητας), αλλά η ροπή θα αρχίσει να μειώνεται

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες σύγχρονων κινητήρων μόνιμου μαγνήτη ανάλογα με την τεχνική ελέγχου του μετατροπέα που τροφοδοτεί τους κινητήρες [8]:

α) Οι κινητήρες τραπεζοειδούς ή τετραγωνικού παλμού, οι οποίοι τροφοδοτούνται με ρεύματα τετραγωνικής κυματομορφής. Συναντώνται στη διεθνή ορολογία ως «brushless DC.

β) Οι σύγχρονες μηχανές με ημιτονοειδή διαμόρφωση μόνιμων μαγνητών. Οι κινητήρες αυτής της κατηγορίας τροφοδοτούνται με ημιτονοειδή ρεύματα και συμπεριφέρονται όπως οι κλασικές σύγχρονες μηχανές. [11].

Η χρήση **Μόνιμων Μαγνητών** στην κατασκευή ηλεκτρικών μηχανών επιτρέπει τη σχεδίαση μηχανών με ιδιαίτερα υψηλό βαθμό απόδοσης, λόγω της εξάλειψης των απωλειών χαλκού στο δρομέα. Επίσης η κατασκευή του δρομέα από MM επιτρέπει σχεδιασμούς μηχανών με υψηλότερη σχέση όγκου - ισχύος συγκριτικά με τους υπόλοιπους τύπους ΣΜ.

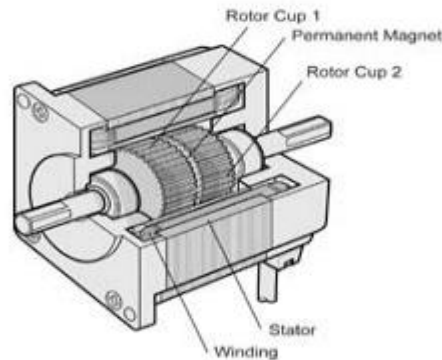
Η αντικατάσταση του τυλίγματος διέγερσης από μόνιμους μαγνήτες (MM) συνέβαλλε στη δημιουργία ηλεκτρικών μηχανών μικρότερου όγκου με ίδια δυνατότητα παραγωγής έργου και μεγαλύτερου βαθμού απόδοσης. Η χρήση των MM οδήγησε

στην κατάργηση των δακτυλίων ολίσθησης και των ψηκτρών και ως εκ τούτου στη περαιτέρω μείωση του όγκου της ΣΜ και του κόστους συντήρησης αυτής.

Βηματικοί κινητήρες

Οι βηματικοί κινητήρες είναι ηλεκτρικές μηχανές στις οποίες ο στάτης τροφοδοτείται με μια παλμοσειρά συνεχούς τάσης και δημιουργείται μηχανική περιστροφή του δρομέα. Η ταχύτητά τους ελέγχεται μέσω μεταβολής των παλμών της τάσης εισόδου. Με κατάλληλες μεθόδους παλμοδότησης μπορούμε να επιτύχουμε κίνηση του δρομέα σε κλάσματα της βηματικής γωνίας, όμως η κίνησή του γίνεται πάντα με βήματα και δεν είναι συνεχόμενη όπως αυτή του σύγχρονου κινητήρα. Τα βασικά πλεονεκτήματα των βηματικών κινητήρων είναι:

- α) Η γωνία περιστροφής του κινητήρα είναι ανάλογη της διάρκειας του παλμού τροφοδοσίας του στάτη. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε την δυνατότητα ρύθμισης στροφών, καθώς η ταχύτητα περιστροφής είναι ανάλογη της συχνότητας παλμοδότησης.
- β) Ο κινητήρας μπορεί να παράγει μεγάλες τιμές ροπής ακόμα και σε χαμηλές στροφές.
- γ) Παρουσιάζει ικανοποιητική δυναμική απόκριση κατά την εκκίνηση, την πέδηση καθώς και την αλλαγή της φοράς περιστροφής.
- δ) Επιτυγχάνεται ακρίβεια στη θέση του δρομέα της τάξης 3 – 5% του κάθε βήματος περιστροφής, χωρίς αυτό το σφάλμα δεν επενεργεί αθροιστικά από το ένα βήμα στο επόμενο.
- ε) Με κατάλληλη παλμοδότηση μπορούμε να επιτύχουμε ικανή ροπή συγκράτησης, γεγονός πολύ σημαντικό για εφαρμογές όπως οι ρομποτικοί βραχίονες.



Εικόνα 8: Τομή ενός βηματικού κινητήρα [9]

Οι βηματικοί κινητήρες βρίσκουν εφαρμογές σε πολλές συσκευές. Τυπικά παραδείγματα είναι π.χ. οι μηχανισμοί ελέγχου θέσης γενικά σε εκτυπωτές, σχεδιογράφους, μονάδες ανάγνωσης (δίσκοι), συστήματα αριθμητικού ελέγχου (CNC), ρομπότ, φωτοτυπικά μηχανήματα, σε εξοπλισμούς δορυφόρων, διαστημικά οχήματα, ιατρικά όργανα, κάμερες, κ.λ.π.

Οδήγηση Κινητήρων

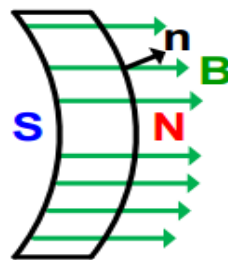
Ο έλεγχος των κινητήρων πραγματοποιείται με χρήση ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος, η πολυπλοκότητα των ελεγκτών αυτών εξαρτάται από τον τρόπο κίνησης του ρομπότ καθώς και από τις ανάγκες για ακρίβεια ελέγχου των κινήσεων και της θέσης του.

Οδήγηση Κινητήρα Μόνιμων Μαγνητών (Brushless DC) μέσω Αισθητήρων Θέσεως.

Ο όρος “*Brushless DC*” στη βιβλιογραφία αναφέρεται σε ηλεκτρικές μηχανές στις οποίες δεν υπάρχουν ψήκτρες (brushes) ούτε και συλλέκτης στον δρομέα τους, ενώ η λειτουργική συμπεριφορά τους μοιάζει με τις σύγχρονες μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος. Όπως έχουμε προαναφέρει.

κατασκευαστικά οι μηχανές αυτού του τύπου έχουν το ηλεκτρομαγνητικό τμήμα στο σταθερό τους μέρος, ενώ στο κινητό τους μέρος υπάρχει μια διάταξη από Μόνιμους Μαγνήτες [12].

Όλοι οι ηλεκτροκινητήρες λειτουργούν με την ίδια βασική αρχή μετατροπής της ηλεκτρικής σε μηχανική ενέργεια. Το ηλεκτρικό ρεύμα μέσω μιας περιέλιξης παράγει μαγνητικό πεδίο, το οποίο με την παρουσία ενός δεύτερου μαγνητικού πεδίου (που στην περίπτωση των BLCD κινητήρων δημιουργείτε από μόνιμους μαγνήτες) παράγει μια δύναμη που φτάνει στο μέγιστο όταν οι ρευματοφόροι αγωγοί του πηνίου είναι κάθετοι προς τις μαγνητικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου που δημιουργούν οι μόνιμοι μαγνήτες.



Εικόνα 9: Μόνιμος Μαγνήτης με παράλληλη μαγνήτιση.

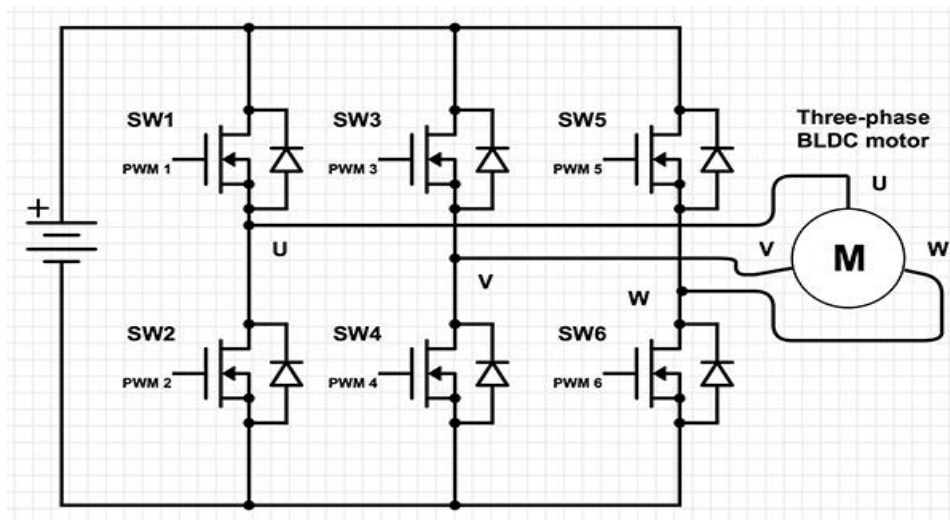
Οι BLDC κινητήρες παράγονται με μία, δύο ή τρεις φάσεις.

Βασική προϋπόθεση για την λειτουργία τους είναι η ύπαρξη τριών ηλεκτρομαγνητικών πηνίων τα οποία είναι συνδεδεμένα σε μορφολογία αστέρα, από τα οποία κάθε χρονική στιγμή το ένα τροφοδοτείται με θετική ηλεκτρική τάση (είσοδος του ρεύματος), το δεύτερο τροφοδοτείται με αρνητική ηλεκτρική τάση (έξοδος του ρεύματος) και το τρίτο δεν τροφοδοτείται με ρεύμα (επιπλέει). Η παραγόμενη ροπή του κινητήρα είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των μαγνητικών πεδίων του στάτη και του δρομέα.

Προκειμένου οι σταθεροί ηλεκτρομαγνητικοί πόλοι να δημιουργούν μαγνητικό πεδίο ώστε να μετακινούν τους μόνιμους μαγνήτες (που βρίσκονται στο κινητό μέρος της μηχανής), πρέπει να ενεργοποιούνται (να τροφοδοτούνται) με ελεγχόμενη ακολουθία για να παράγεται ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Για αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η χρήση ενός ηλεκτρονικού μετατροπέα (αντιστροφέα) στους ακροδέκτες της μηχανής. Με τη χρήση του αντιστροφέα και τριών αισθητήρων θέσης (absolute position sensor) που τοποθετούνται και αυτοί, στο σταθερό μέρος της μηχανής, μπορούν να ελεγχθούν και να λειτουργού ως «μηχανές DC χωρίς ψήκτρες».

Ο **αντιστροφέας τάσης**, δέχεται στην είσοδό του συνεχή τάση (DC voltage) την οποία μετατρέπει σε μεταβαλλόμενη **σταθερού πλάτους** και **μεταβλητής συχνότητας**. Στους αντιστροφής τάσης, τα διακοπτικά στοιχεία είναι πάντα ορθά πολωμένα (forward-biased) λόγω της DC τάσεως τροφοδοσίας και αυτά μπορεί να είναι είτε Gate Turn Off thyristors, είτε Bipolar Junction Transistors, είτε power MOSFETs. Όποιο και να είναι το είδος τους, αυτά συνοδεύονται πάντα από μια δίοδο ελεύθερης διέλευσης που συνδέεται παράλληλα και με αντίθετη πόλωση προς αυτά, ώστε να επιτρέπει την αντίστροφη ροής ρεύματος (τη ροή ρεύματος και ισχύος από τον κινητήρα προς την πηγή ισχύος).

Η απλούστερη μορφή τριφασικού αντιστροφέα πηγής τάσεως στα συστήματα κίνησης μεταβλητής ταχύτητας είναι αυτή του της εικόνας 10. Πρόκειται για αντιστροφέα τάσης που παράγει έξι επίπεδα τάσεως στους ακροδέκτες του φορτίου.



Εικόνα 10 Οδήγηση τριφασικό κινητήρα BLDC

Το κύκλωμα αποτελείται από τρεις **ημιγέφυρες** (μία για κάθε φάση) και κάθε ημιγέφυρα αποτελείται από 2 ημιαγωγούς.

Το αποτέλεσμα της τάσης εξόδου εξαρτάται από την σειρά με την οποία ανοιγοκλείνουν οι διακόπτες. Ο έλεγχος των διακοπών γίνεται με κατάλληλους **παλμούς** στην είσοδο τους, οι παλμοί ελέγχου παράγονται από τον αλγόριθμο

ελέγχου του αντιστροφέα ο οποίος με τη σειρά του παίρνει δεδομένα από τους αισθητήρες Hall του κινητήρα.

Οι διακόπτες που βρίσκονται σε κοινό κλάδο της γέφυρας δεν επιτρέπεται να κλείσουν ταυτοχρόνως γιατί τότε θα βραχυκυκλωθεί η dc τροφοδοσία.

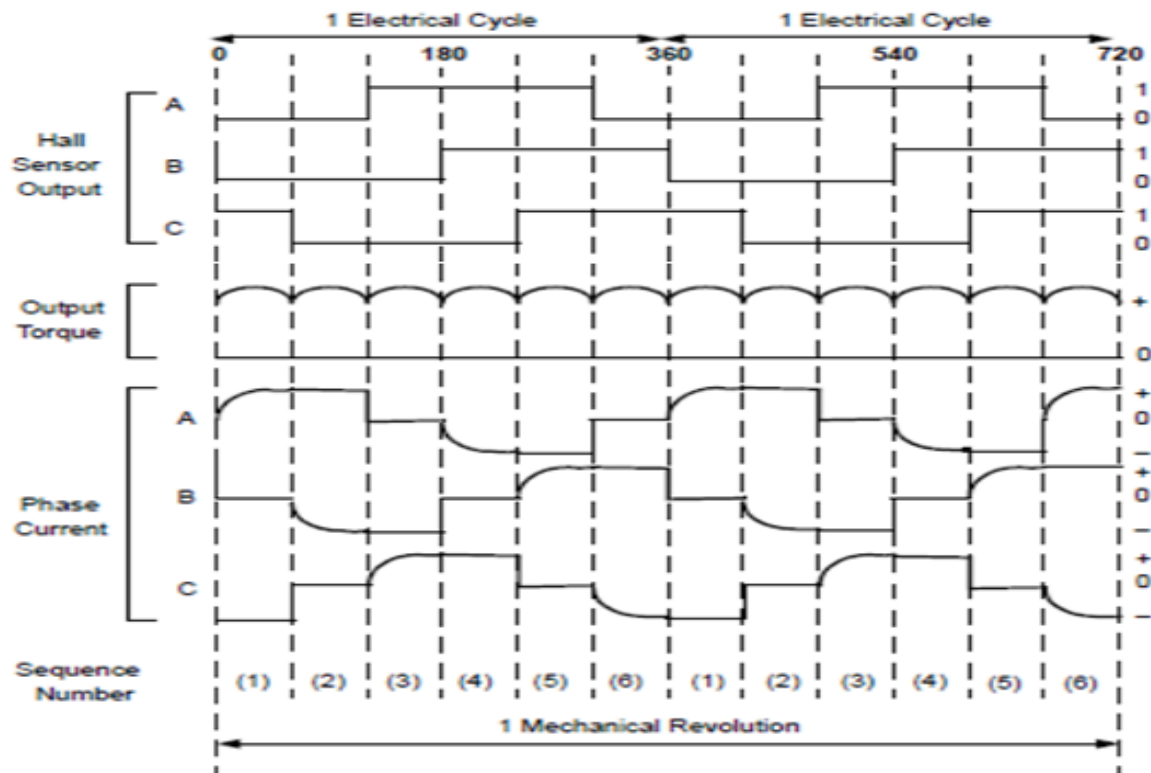
Οδήγηση Κινητήρα Μόνιμων Μαγνητών (Brushless DC) μέσω αισθητήρα Hall

Για τον εντοπισμό της θέσης του Ρότορα σε σχέση με τον Στάτη της μηχανής χρησιμοποιούνται τρεις αισθητήρες τύπου Hall (ένας για κάθε φάση). Η χρήση των αισθητήρων Hall σε αυτά τα κινητήρια συστήματα έχει επικρατήσει κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους και του μικρού όγκου που καταλαμβάνουν. Οι αισθητήρες Hall είναι ενσωματωμένοι στον στάτη και διατεταγμένοι σε ίσα διαστήματα, (90° , 60° ή 45°). Κάθε φορά που ένας πόλος των μόνιμων μαγνητών περνάει μπροστά από ένα αισθητήρα Hall αυτός παράγει ένα υψηλό ή χαμηλό σήμα το οποίο πληροφορεί τον controller ποιος από τους δύο (Βόρειος ή Νότιος) πόλος περνάει μπροστά από τον αισθητήρα. Ο συνδυασμός αυτών των τριών σημάτων προσδιορίζει την ακολουθία ελέγχου των MOSFET της γέφυρας και παράγεται ένα λογικό σήμα "υψηλό" (για ένα μαγνητικό πόλο) ή "χαμηλό" (για το αντίθετο πόλο). Ανά πάσα στιγμή, τουλάχιστον ένας από τους αισθητήρες ενεργοποιείται από έναν από τους μαγνητικούς πόλους του δρομέα και παράγει έναν παλμό τάσης.

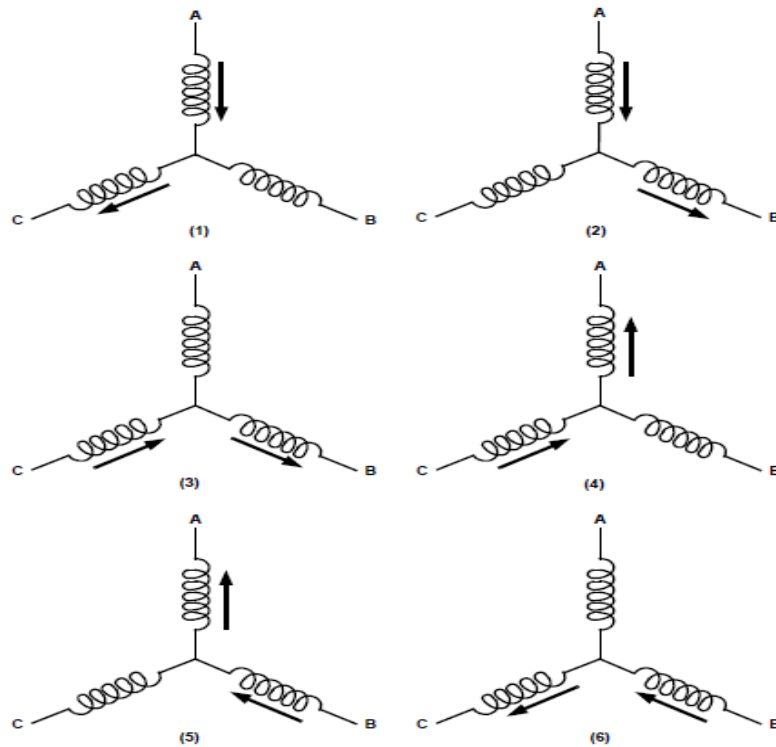
Ένας τριφασικός κινητήρας BLDC τροφοδοτείται συνήθως από τρία ζεύγη MOSFET που είναι διατεταγμένα σε μια δομή γέφυρας.

Η εικόνα 11 απεικονίζει την παραγωγή σημάτων από ένα σύστημα τριών αισθητήρων Hall και την σχέση τους με την τάση τροφοδοσίας των πηνίων ενός BLCD κινητήρα, ενώ στην εικόνα 12 βλέπουμε την μετάβαση της τροφοδοσία των πηνίων για κάθε βήμα. Παρατηρούμε ότι κάθε πηνίο ("A", "B" ή "C") τροφοδοτείται από τη γέφυρα MOSFET με υψηλό δυναμικό (+), ενώ ένα από τα υπόλοιπα τροφοδοτείται με χαμηλό (-) και το τρίτο δεν τροφοδοτείται (επιπλέει). Για παράδειγμα, στο επάνω αριστερό μέρος του σχήματος, το A είναι υψηλό (σχηματίζοντας έναν πόλο N), το C είναι χαμηλό (S) και το B επιπλέει. Το προκύπτον μαγνητικό πεδίο μετακινεί τον

δρομέα, καθώς οι μόνιμοι μαγνήτες του απωθούνται από το ένα τύλιγμα και έλκονται από το επόμενο. Το δεύτερο στάδιο (2) δείχνει ότι η περιέλιξη A παραμένει υψηλή, ενώ η περιέλιξη Β τροφοδοτείται με το (-) της πηγής μετατοπίζεται και το C επιπλέον, διατηρώντας έτσι την περιστροφή του μαγνητικού πεδίου και μετακινώντας τον ρότορα μαζί του. Ένας ηλεκτρικός κύκλος, ολοκληρώνει μισή μηχανική περιστροφή του δρομέα.

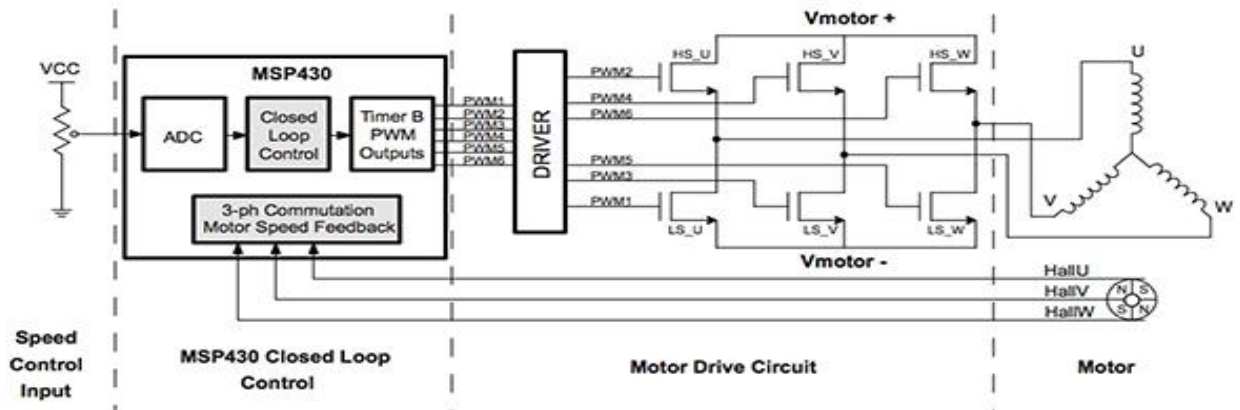


Εικόνα 11 Παραγωγή σημάτων από ένα σύστημα τριών αισθητήρων Hall



Εικόνα 12 Μετάβαση της τροφοδοσία των πηνίων για κάθε βήμα

Στην εικόνα 13 βλέπουμε το ολοκληρωμένο σχηματικό διάγραμμα ενός αντιστροφέα τάσης τριφασικού κινητήρα BLDC της Texas Instruments [22]. Το κύκλωμα περιλαμβάνει αναλογική είσοδο ελέγχου ταχύτητας, μικροελεγκτή MSP430 που ελέγχει τις εξόδους PWM για τα MOSFET ισχύος, έξι οδηγούς γέφυρας MOSFET, γέφυρα MOSFET και κινητήρα BLDC. Οι θέσεις του στάτη και του ρότορα καθορίζονται από τρεις αισθητήρες Hall, οι οποίοι τροφοδοτούν σήματα στον μικροελεγκτή.



Εικόνα 13 Πλήρες σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου αντιστροφεία τάσης τριφασικού κινητήρα BLDC. [22]

Στο ρομποτικό όχημα που σχεδιάζουμε θα τοποθετήσουμε δύο BLDC motors τύπου Hub, οι οποίοι ενσωματώνουν τους τροχούς κίνησης του οχήματος, με τους αντίστοιχους ελεγκτές τους.

Παροχή ενέργειας

Τα περισσότερα αυτόνομα, κινητά ρομποτικά συστήματα χρησιμοποιούν τον ηλεκτρισμό ως πηγή ενέργειας, η τροφοδοσία με ηλεκτρισμό των επί μέρους συστημάτων των ρομπότ γίνεται από συστοιχίες μπαταριών (συσσωρευτών), που βρίσκονται τοποθετημένες στο ίδιο το σύστημα. Γενικά τις μπαταρίες τις κατατάσσουμε σε δύο βασικές κατηγορίες, τις **Πρωτογενείς** και τις **Δευτερογενείς**.

Πρωτογενείς μπαταρίες

Οι πρωτογενείς μπαταρίες δεν επαναφορτίζονται. Γεμίζουν με μια ποικιλία χημικών των οποίων η αντίδραση δεν είναι σχεδιασμένη να αντιστρέφεται. Αυτό σημαίνει ότι όταν εξαντληθεί η χημική αντίδραση, η μπαταρία είναι νεκρή. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικές συσκευές, σε φωτογραφικό εξοπλισμό, στα ρολόγια, στους υπολογιστές και σε πολλές άλλες χρήσεις της καθημερινής μας ζωής. Οι περισσότερες πρωτογενείς μπαταρίες είναι κυλινδρικές, επίπεδες ή κομβιόσχημες (κουμπιά) με χωρητικότητα κάτω από 2 Ah. Συνήθως είναι οικιακής χρήσης. Οι κυριότεροι τύποι πρωτογενών μπαταριών είναι οι:

Μπαταρίες άνθρακα/ ψευδαργύρου

Έχουν ονομαστική τάση 1,5 V ανά στοιχείο. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι είναι φθηνές αλλά χάνουν το 15% της χωρητικότητάς τους ετησίως όταν αποθηκεύονται. Δεν πρέπει να μένουν ποτέ μέσα στο όργανο μετά την εξάντλησή τους γιατί είναι πιθανό να υπάρξει διαρροή πολύ διαβρωτικών χημικών που μπορεί να προκαλέσουν ακριβές ζημιές στον εξοπλισμό.

Αλκαλικές μπαταρίες μαγγανίου

Είναι μπαταρίες μεγαλύτερης διάρκειας. Έχουν ονομαστική τάση 1,5 V ανά στοιχείο. Είναι πιο ακριβές από τις μπαταρίες άνθρακα ψευδαργύρου, αλλά έχουν τριπλάσια χωρητικότητα και συνήθως χάνουν μόνο το 7% της χωρητικότητάς τους ετησίως σε αποθήκευση.

Μπαταρίες υδραργύρου

Τα στοιχεία υδραργύρου έχουν ονομαστική τάση 1,4 V ανά στοιχείο. Είναι πιο ακριβά αλλά έχουν οκταπλάσια χωρητικότητα από τις μπαταρίες άνθρακα ψευδαργύρου και χάνουν μόνο το 6% της χωρητικότητάς τους ετησίως σε αποθήκευση. Λόγω των περιβαλλοντικών προβλημάτων που σχετίζονται με την απόρριψη των μπαταριών υδραργύρου σήμερα δε συναντιούνται συχνά.

Μπαταρίες οξειδίου του αργύρου

Είναι γνωστές σαν τις μικρές στρογγυλές ασημένιες μπαταρίες που υπάρχουν στα ρολόγια, στα κομπιουτεράκια και σαν εφεδρικές μπαταρίες για κυκλώματα μνήμης σε κάποια είδη εξοπλισμού. Η ονομαστική τάση είναι περίπου 1,5 V ανά στοιχείο.

Μπαταρίες διοξειδίου λιθίου και μαγγανίου

Οι Li-MnO₂ είναι οι πιο σύγχρονες μπαταρίες. Η ονομαστική τους τάση είναι 3 V. Η χωρητικότητά τους πλησιάζει τη χωρητικότητα των μπαταριών υδραργύρου, ενώ χάνουν μόνον το 2% της χωρητικότητάς τους ετησίως.

Δευτερογενείς μπαταρίες

Οι δευτερογενείς μπαταρίες είναι συνήθως βιομηχανικής χρήσης. Είναι επαναφορτιζόμενες και λέγονται μπαταρίες αποθήκευσης. Χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτήσουν τον ηλεκτρικό εξοπλισμό της εφαρμογής την οποία εξυπηρετούν και φορτίζονται από κατάλληλο φορτιστή μπαταρίας. Η φόρτιση της μπαταρίας αναστρέφει τη χημική διαδικασία μέσα στη μπαταρία ώστε να μπορεί να προσφέρει και πάλι ηλεκτρισμό.



Εικόνα 14 Δευτερεύων στοιχείο

Τα δευτερεύοντα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σειρά, παράλληλα ή σε συνδυασμό για να επιτευχθεί η απαραίτητη τάση και χωρητικότητα. Ο μόνος περιορισμός είναι ότι κάθε στοιχείο πρέπει να έχει ίδια τάση, χωρητικότητα και χημική σύσταση με τις υπόλοιπες της συστοιχίας. Οι κυριότεροι τύποι Δευτερογενών μπαταριών είναι οι:

Μπαταρίες οξέος μολύβδου

Είναι το πιο συνηθισμένο είδος μεγάλης επαναφορτιζόμενης μπαταρίας. Κάθε μπαταρία αποτελείται από έναν αριθμό ξεχωριστών στοιχείων που το καθένα έχει ονομαστική τάση 2 V. οι περισσότερες μπαταρίες αποτελούνται από τρία ή έξι στοιχεία δίνοντας τάσεις 6 ή 12 V. Οι μπαταρίες οξέος μολύβδου χρησιμοποιούνται πολύ γιατί είναι φθηνές και μπορούν να προσφέρουν πολύ ρεύμα όταν χρειάζεται, π.χ. για την εκκίνηση του κινητήρα.

Μπαταρίες τζελ

Είναι η σύγχρονη εκδοχή της μπαταρίας οξέος μολύβδου. Όπως υποδηλώνει το όνομά τους ο ηλεκτρολύτης έχει μορφή τζελ και όχι υγρό. Αυτό έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι ο ηλεκτρολύτης δε μπορεί να χυθεί. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι κατά τη φόρτιση δεν εκλύουν πολύ υδρογόνο. Στα αρνητικά στοιχεία των μπαταριών αυτού του τύπου περιλαμβάνονται το σχετικά μεγαλύτερο κόστος από τις μπαταρίες μολύβδου οξέος, ενώ κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας δεν μπορεί να παρακολουθηθεί μόνο μετρώντας την τάση της, μιας και αυτή μένει σταθερή μέχρι να αποφορτιστεί πλήρως η μπαταρία, οπότε δεν υπάρχει ένδειξη της πραγματικής κατάστασης της μπαταρίας.

Μπαταρίες νικελίου καδμίου

Οι μπαταρίες NiCd έχουν τα ίδια περιβαλλοντικά προβλήματα απόρριψης με τις μπαταρίες υδραργύρου. Το πρόβλημα δημιουργεί το κάδμιο και συνήθως αντικαθίστανται με μπαταρίες υδριδίων μετάλλων νικελίου. Αυτές έχουν τις ίδιες ιδιότητες, αλλά απορρίπτονται με μεγαλύτερη ασφάλεια.

Μπαταρίες ιόντων λιθίου

Είναι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες κορυφαίας τεχνολογίας. Έχουν τουλάχιστον διπλάσια χωρητικότητα από τις μπαταρίες υδριδίων μετάλλων νικελίου και έχουν μικρή τάση σχηματισμού μνήμης. Το αρνητικό είναι ότι κοστίζουν τριπλάσια από τις μπαταρίες υδριδίων μετάλλων νικελίου. Υπάρχουν σε εφαρμογές που χρειάζεται μεγάλη ισχύς αλλά όπου το βάρος πρέπει να τηρηθεί σε ένα ελάχιστο.

Μπαταρίες Πολυμερών Λιθίου Li-Po

Οι μπαταρίες Li-Po έχουν πολύ χαμηλό βάρος, δεν υπάρχει περιορισμός στο σχήμα της μπαταρίας, είναι ανθεκτικές στην υπερφόρτιση ενώ ο κίνδυνος διαρροής χημικών είναι μικρός, όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά κάνουν τις μπαταρίες Li-Po ιδιαίτερα δημοφιλείς στις εφαρμογές ρομποτικής. Στα αρνητικά των μπαταριών Li-Po περιλαμβάνονται οι λιγότεροι κύκλοι ζωής από τις Li-ion ενώ έχουν χειρότερη σχέση τιμής-απόδοσης από τις Li-ion.

Αισθητήρες για ρομπότ

Έσος το πιο σημαντικά μέλημα κάθε είδους ρομπότ είναι η λήψη πληροφοριών - γνώσεων σχετικά με το περιβάλλον του. Αυτό γίνεται με πραγματοποίηση μετρήσεων χρησιμοποιώντας αισθητήρες και στη συνέχεια με επεξεργασία των δεδομένων τους με σκοπό την άντληση πληροφοριών από αυτά. Υπάρχει μεγάλη γκάμα αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε κινητά ρομπότ.

Ταξινόμηση αισθητήρων.

Αν θέλουμε να ταξινομήσουμε τους αισθητήρες ως προς την κατανάλωση ενέργειας, αυτό θα το κάνουμε χρησιμοποιώντας δύο σημαντικά χαρακτηριστικά τους.

1. Αν απαιτούν πηγή τροφοδοσίας ενέργειας, οπότε μιλάμε για **Ενεργητικούς** αισθητήρες, οι οποίοι εκπέμπουν ενέργεια στο περιβάλλον, και στη συνέχεια μετρούν την αντίδραση των περιβαλλοντικών φαινομένων.

2. **Παθητικούς** αισθητήρες οι οποίοι λαμβάνουν μετρήσεις παίρνοντας ενέργεια από το φυσικό περιβάλλον για να κάνουν την μέτρηση. Παραδείγματα παθητικών αισθητήρων είναι, οι αισθητήρες θερμοκρασίας, τα μικρόφωνα κ.τ.λ..

Ενώ αν θέλουμε να κατατάξουμε τους αισθητήρες ως προς το περιβάλλον από το οποίο αντλούν πληροφορίες, τότε θα τους κατατάξουμε σε **Ιδιοδεκτικούς** αισθητήρες οι οποίοι μετρούν τιμές στο εσωτερικό του συστήματος του ρομπότ, για παράδειγμα, την ταχύτητα του κινητήρα, το φορτίο των τροχών, την τάση της μπαταρίας κ.τ.λ. και σε **Εξωδεκτικούς** αισθητήρες οι οποίοι συλλέγουν πληροφορίες από το περιβάλλον του ρομπότ π.χ. ένταση του φωτός, μέτρηση απόστασης, μέτρηση θερμοκρασίας κ.τ.λ.. Στα αυτόνομα κινητά ρομποτικά συστήματα συναντάμε αισθητήρες που ελέγχουν την θέση και την ταχύτητα των τροχών όπως οι οπτικοί κωδικοποιητές (encoder) και οι αισθητήρες τύπου Hall, την θερμοκρασία, τόσο εσωτερικά όσο και στο περιβάλλον όπου δραστηριοποιείστε, αισθητήρες ελέγχου του συστήματος τροφοδοσίας π.χ. αισθητήρας κατάστασης φόρτισης των μπαταριών, αισθητήρες κατεύθυνσης όπως είναι τα γυροσκόπια και οι πυξίδες, αισθητήρες προσέγγισης

όπως είναι οι αισθητήρες υπερήχων και οι αισθητήρες laser, οπτικοί αισθητήρες όπως είναι κάμερες.

Αισθητήρας υπέρηχων HC-SR04 (Ultrasonic Sensor)

Οι αισθητήρες υπερήχων χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που χρειάζεται να είναι γνωστή η απόσταση του αισθητήρα, και γενικότερα της εφαρμογής από ένα πιθανό εμπόδιο.

Η λειτουργία των αισθητήρων είναι ίδια με αυτή των σόναρ και των ραντάρ. Εκτιμούν την απόσταση ενός στόχου λαμβάνοντας υπόψη τους την αντανάκλαση ενός ραδιοκύματος ή ενός ηχητικού σήματος πάνω στο στόχο. Δημιουργούν υψηλής συχνότητας κύματα και χρησιμοποιώντας επιστρεφόμενο σήμα καθορίζουν την απόσταση ή ακόμα και την ταχύτητα του στόχου. Για να το επιτύχουν αυτό χρησιμοποιούν τον χρόνο που έκανε το σήμα για να καλύψει την απόσταση από τον αισθητήρα στο αντικείμενο και πίσω.

Πιο συγκεκριμένα, από την πηγή του κύματος, γίνεται αποστολή ενός υπερήχου στο χώρο. Όλα τα σώματα έχουν την ιδιότητα να αντανάκλουν τους ήχους που προσπίπτουν πάνω τους. Έτσι αν υπάρχει κάποιο αντικείμενο του οποίου η ηχώ του υπερήχου που στάλθηκε, αντανάκλαστηκε και επιστέφει προς τον αισθητήρα, γίνεται αισθητή μέσω ενός μικροφώνου. Γνωρίζοντας το πόσο χρόνο διαρκεί το ταξίδι του υπερήχου, από την μετάδοση του έως και την λήψη του από το μικρόφωνο, μπορούμε να υπολογίσουμε πόση απόσταση διέσχισε ο υπέρηχος και διαιρώντας με το δυο μας επιστέφεται η απόσταση του αισθητήρα από το αντικείμενο.

Ο αισθητήρας υπερήχων **HC-SR04** παρέχει ένα εύρος μέτρησης από 2cm έως 400 cm με ακρίβεια που αγγίζει τα 3mm. Το εξάρτημα αποτελείται από έναν πομπό (Trigger) και έναν δέκτη (Echo). Επίσης έχει ένα Pin για την τάση λειτουργίας του Vcc καθώς και ένα για την γείωση, GND. Στην εικόνα 15 βλέπουμε έναν αισθητήρα **HC-SR04**.



Εικόνα 15 αισθητήρας υπερήχων **HC-SR04**

Για να λειτουργήσει χρησιμοποιεί παλμούς διάρκειας τουλάχιστον **10 μ s**. Στέλνει αυτόματα 8 παλμούς συχνότητας **40kHz** και ανιχνεύει αν υπάρχει παλμός που επέστρεψε. Η απόσταση λαμβάνεται υπόψιν σύμφωνα με το χρόνο του σήματος στην αποστολή και λήψης του σήματος. Εξαρτάται βεβαίως από την ταχύτητα του ήχου που ανέρχεται στα **340m/s**. Η τάση λειτουργίας του αισθητήρα είναι **5V** και παρέχεται από τον μικροελεγκτή. Το ρεύμα λειτουργίας είναι **15mA** και η γωνιά με μέτρησης που επιτυγχάνει είναι οι **30°**

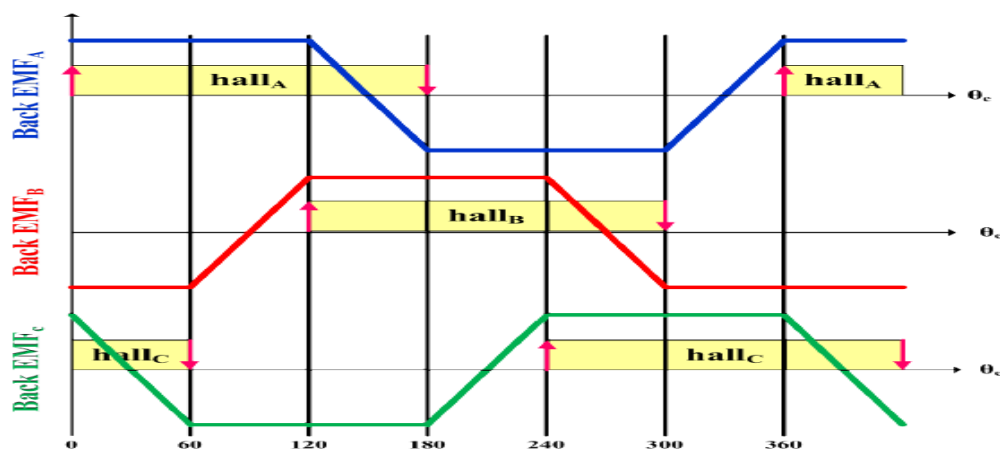
Αισθητήρες θέσης τύπου "Hall"

Όταν ένας ρευματοφόρος αγωγός βρίσκεται εντός μαγνητικού πεδίου, ασκείται εγκάρσια δύναμη στους φορείς ρεύματος, ωθώντας τους προς την μία πλευρά του αγωγού με άμεση συνέπεια την εμφάνιση διαφοράς δυναμικού στα άκρα του [13]. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως "φαινόμενο Hall". Η αξιοποίηση αυτού του φαινομένου οδήγησε στην κατασκευή ομώνυμων αισθητήρων που ανιχνεύουν τις μεταβολές του μαγνητικού πεδίου. Καθώς η περιστροφή του δρομέα είναι σύγχρονη με αυτή του μαγνητικού πεδίου στο διάκενο της μηχανής, οι αισθητήρες τύπου Hall, ανιχνεύοντας τις μεταβολές στο πρόσημο του πεδίου μπορούν να προσδιορίσουν τη θέση του δρομέα της ΣΜΜΜ.

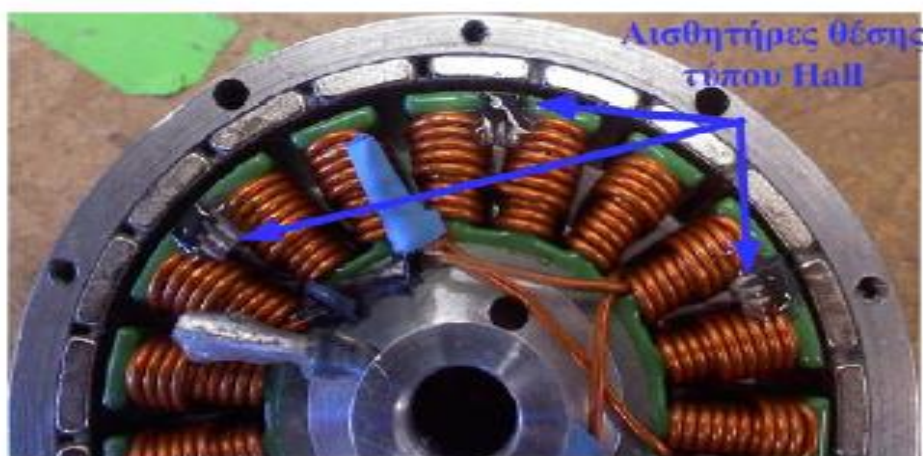
Στον τομέα της οδήγησης BLDC κινητήρων [12], οι αισθητήρες Hall χρησιμοποιούνται ευρέως για τον προσδιορισμό της θέσης του δρομέα. Πιο συγκεκριμένα, οι αισθητήρες Hall χρησιμοποιούν ένα ρευματοφόρο αγωγό για να ανιχνεύσουν την ύπαρξη μαγνητικού πεδίου. Στην ουσία ενεργοποιούνται όταν διέρχεται ένας μαγνητικός πόλος του δρομέα από το πεδίο ανίχνευσής τους. Η φορά

της εγκάρσιας δύναμης που ασκείται στους φορείς του ρευματοφόρου αγωγού, δηλαδή η πολικότητα της τάσης που εμφανίζεται στα άκρα του ρευματοφόρου αγωγού, καταδεικνύει εάν ο διερχόμενος μαγνητικός πόλος είναι βόρειος (North-N) ή νότιος (South-S). Οι αισθητήρες Hall δημιουργούν ένα θετικό ή αρνητικό, αντίστοιχα, παλμό χαμηλού πλάτους, ο οποίος ενισχύεται μέσω κυκλωμάτων τελεστικών ενισχυτών. Η εικόνα 16 δείχνει την ενεργοποίηση των αισθητήρων τύπου Hall κατά την πλήρη περιστροφή ενός δρομέα κινητήρα BLDC ενός πόλου.

Προκειμένου να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για τη θέση του δρομέα κάθε χρονική στιγμή, απαιτείται η χρήση τριών (3) αισθητήρων τύπου Hall τοποθετημένων ανά 60 ή 120° ηλεκτρικές μοίρες εντός της ΣΜΜΜ.



Εικόνα 16 Ενεργοποίηση των αισθητήρων Hall



Εικόνα 17 Αισθητήρες Hall σε BLDC motor

Οι αισθητήρες τύπου Hall συνδέονται με τη μονάδα επεξεργασίας του αντιστροφέα (μικροελεγκτής), η οποία διαβάζει την αλληλουχία των σημάτων ενεργοποίησης και με βάση αυτή καθορίζεται η εναλλαγή των φάσεων στον αντιστροφέα του κινητηρίου συστήματος. Όσον αφορά την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, αυτή μπορεί να μετρηθεί μέσω της συχνότητας της παλμοσειράς που δημιουργούν οι αισθητήρες τύπου Hall.

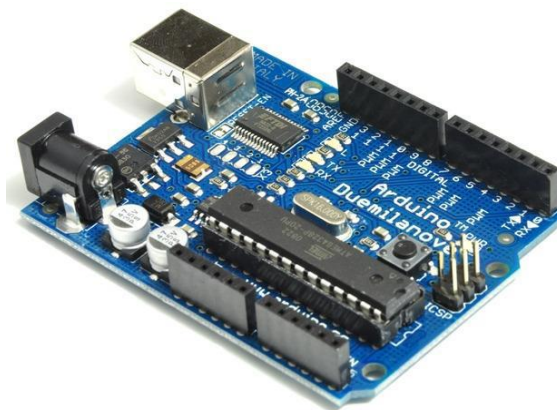
Η απλότητα της κατασκευής και της τοποθέτησης συνδυαζόμενες με το χαμηλό κόστος, καθιστούν τους αισθητήρες τύπου Hall κυρίαρχη τάση στην οδήγηση των Σύγχρονων Κινητήρων MM (ΣΚΜΜ) ΤΚΤΕ. [15].

Σύστημα ελέγχου

Το σημαντικότερο κομμάτι στην κατασκευή ενός ρομποτικού συστήματος είναι το τμήμα ελέγχου του. Στις περισσότερες περιπτώσεις το τμήμα αυτό αποτελείται από μια κεντρική μονάδα ελέγχου, η οποία επικοινωνεί με τους αισθητήρες, τους επενεργητές του ρομπότ ενώ αλληλεπιδρά με τον χρήστη του.

Ένας από τους πολύ συχνά χρησιμοποιούμενους ελεγκτές ρομποτικών συστημάτων είναι το αναπτυξιακό ArduinoUno που βασίζεται στον μικροελεγκτή **ATmega328P**.

Το Arduino είναι μια «ανοικτού κώδικα» πλατφόρμα του οποίου όλα τα σχέδια, καθώς και το software που χρειάζεται για την λειτουργία του, διανέμονται ελεύθερα και δωρεάν



Εικόνα 18 ArduinoUno

Ο χρήστης μπορεί να συνδέσει επάνω του πολλαπλές μονάδες εισόδου/εξόδου και να προγραμματίσει τον μικροελεγκτή να δέχεται δεδομένα από τις μονάδες εισόδου, να τα επεξεργάζεται και να στέλνει κατάλληλες εντολές στις μονάδες εξόδου.

Το Arduino βέβαια, δεν είναι ούτε ο μοναδικός, ούτε και ο καλύτερος δυνατός τρόπος για τον έλεγχο ενός ρομποτικού συστήματος. Όμως το κύριο πλεονέκτημά του είναι η τεράστια κοινότητα που το υποστηρίζει και η οποία έχει δημιουργήσει, συντηρεί και επεκτείνει μια ανάλογου μεγέθους online γνωσιακή βάση.

Ένα άλλο υπολογιστικό σύστημα που χρησιμοποιείται στην υλοποίηση ρομποτικών συστημάτων είναι το Raspberry Pi που όπως ξέρουμε είναι ένας σύγχρονος Single Board Computer (SBC), που ανήκει στην κατηγορία των ενσωματωμένων συστημάτων.

- Είναι ένας πλήρης υπολογιστής, μιας κάρτας με πολύ μικρό φυσικό μέγεθος.
- Είναι πολύ φθινό (από 20-40 €) και προγραμματίζεται εύκολα
- Μπορεί να ελέγχει αισθητήρες και ενεργοποιητές μέσω των ακροδεκτών GPIO
- Η ισχύς που καταναλώνει είναι πολύ μικρή, συγκριτικά με άλλα υπολογιστικά συστήματα.
- Το Raspberry Pi διαθέτει 17 πόρτες γενικού σκοπού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εισοδοί ή εξοδοί του συστήματος.
- Διαθέτει δύο ακροδέκτες με έξοδο 5 V και δύο ακροδέκτες με 3.3 V D.C.
- Οι πόρτες εισόδου –εξόδου του raspberry δέχονται και παρέχουν τάσεις επιπέδου CMOS στάθμης 3.3V, τις οποίες αν θέλουμε να τις χρησιμοποιήσουμε σε συνεργασία με κυκλώματα TTL 5V θα πρέπει να κάνουμε τις ανάλογες προσαρμογές.

Έρευνα αγοράς προμήθεια υλικών

Αφού μελετήσαμε τις προσφερόμενες λύσεις και προσδιορίστηκαν τα ηλεκτρολογικά, ηλεκτρονικά και στοιχεία ελέγχου που είναι απαραίτητα για την κατασκευή ώστε να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές που θέσαμε, δημιουργήσαμε μια λίστα με τα υλικά που θα χρειαστούμε για την κατασκευή.

Υλικά	ΤΕΜ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΕΡΗ	
Μπαταρίες μολύβδου 12 V, 5 Ah	3
Φορτιστής μπαταριών μολύβδου 12 V 60 Ah	1
Διακόπτης επιλογής 1 - 0 - 1 με δύο επαφές N.O.	2
Αρσενικό - Θηλυκό ΦΙΣ σύνδεσης φορτιστή με μπαταρίες	1
Μετατροπέας DC-DC Step-Down 5V 3A - USB	1
Relay τύπου λυχνίας 4 επαφών 3NO και 1 NC 6A με πηνίο 12 V DC	4
Βάση ράγας για Relay τύπου λυχνίας 4 επαφών	4
Διακόπτης push button N.O επαφής	2
Διακόπτης ON – OFF	1

κινητήρες BLCD motors	2
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ – ΥΛΙΚΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	
Raspberry Pi -3 model B	1
Κάρτα micro SD 16 GB	1
Πλακέτα Arduino UNO R3 AtMega328P με καλώδιο USB	1
Αισθητήρας Υπερήχων 2 - 400cm SR04	3
Βάση Στήριξης για Αισθητήρα Υπερήχων	3
Servo Micro 1.8kg.cm Metal Gears (Feetech FS90MG)	2
Controlers BLDC motors	2
AttoPilot Αισθητήρας Ρεύματος & Τάσης - 90A	1
SparkFun Αισθητήρας Φωτός - TEMT6000	1
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΜΕΡΗ	
Περιστροφική ρόδα 80mm, λάστιχο με πειρο (1-080-NL.R-FRS) Συνολικό ύψος 104 mm (Gaster)	2
Μέταλλα inox 2mm - κοπές	TEM 1
Μικροϋλικά (βίδες, υλικά στερέωσης κτλ)	TEM 1

Πίνακας 2 Απαραίτητα υλικά κατασκευής

Προμήθεια υλικών

Το επόμενο βήμα είναι να εντοπισθούν στην αγορά τα απαραίτητα τμήματα τα οποία και θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή μας.

Με την έρευνα αγοράς που κάναμε, είτε με προσωπικές επαφές, είτε μέσω του διαδικτύου εντοπίσαμε τα διάφορα υλικά που θα αποτελέσουν την κατασκευή και θα ικανοποιούν τις αρχικές προδιαγραφές και στόχους της κατασκευής μας. Κάποια από τα τμήματα εντοπίστηκαν στην Ελληνική – τοπική αγορά, κάποια άλλα εντοπίστηκαν στον παγκόσμιο ιστό, ενώ κάποια από τα τεμάχια θα κατασκευασθούν από συνεργαζόμενα με την ομάδα εργαστήρια. Με γνώμονα η σχέση ποιότητας τιμής να είναι στο μέσον των προσφερόμενων στην αγορά προϊόντων, δημιουργήσαμε τις προδιαγραφές ώστε αυτά να ζητηθούν μέσω διεθνούς διαγωνισμού από την επιτροπή ερευνών του ΤΕΙ.

Οι προσκλήσεις για την προμήθεια των υλικών που προδιαγράψαμε και αναζητήσαμε μέσω μειοδοτικών διαγωνισμών είναι:

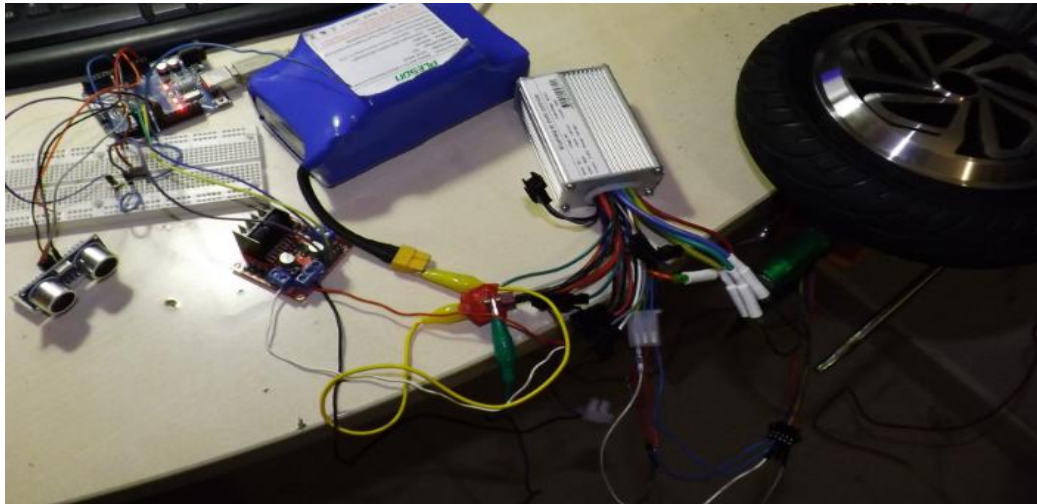
Για την προμήθεια των ειδικών τεμαχίων ανοξείδωτου χάλυβα [14].

Για την Προμήθεια ηλεκτρονικού εξοπλισμού [15].

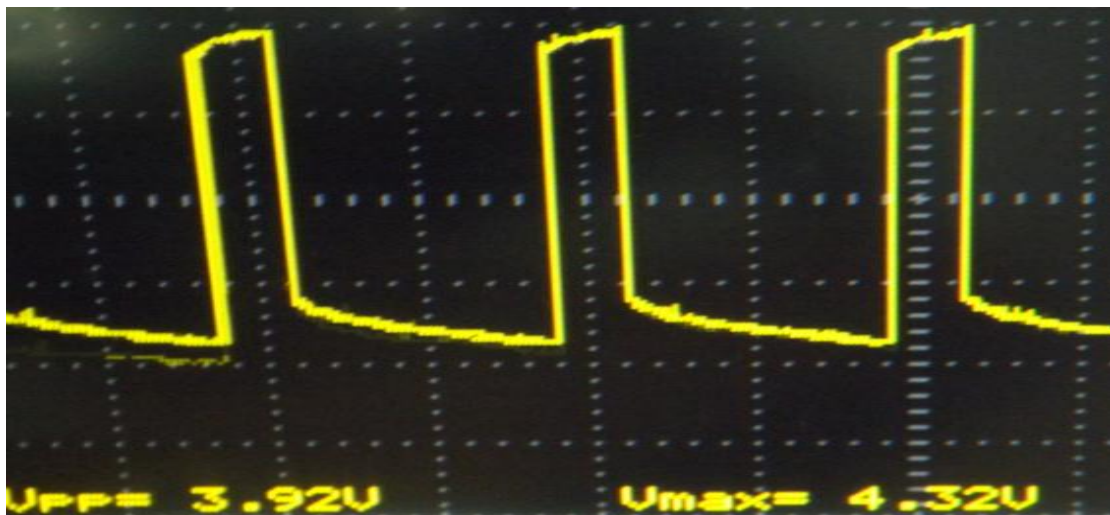
Για την προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού [16].

Πειραματική Διαδικασία

Στο τρίτο βήμα της ερευνητικής μας διαδικασίας και αφού είχαμε προμηθευτεί τα διάφορα υλικά για την κατασκευή, μελετήσαμε μέσω πειραμάτων και μετρήσεων την συμπεριφορά και την συνεργασία όλων αυτών μεταξύ τους ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα, υλικά όπως κινητήρες, controllers, αισθητήρες, τοποθετήθηκαν στον πειραματικό πάγκο και σε συνεργασία με τον ελεγκτή χαμηλού επιπέδου (Arduino Uno) προσομοιώσαμε την λειτουργία του οχήματος.



Εικόνα 19 Πειραματική λειτουργία



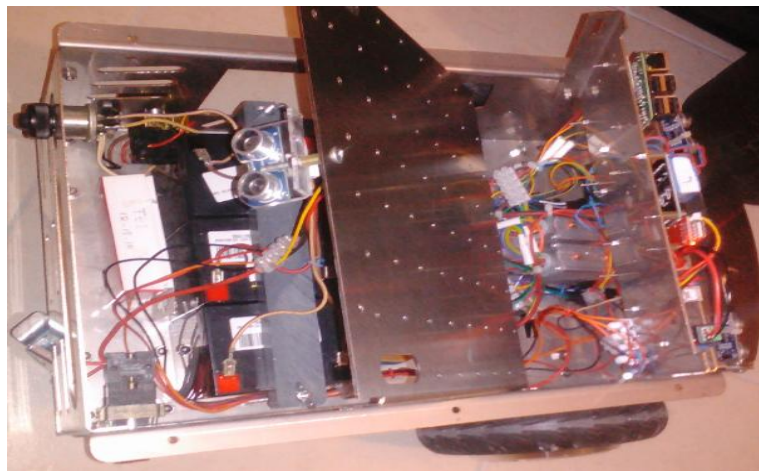
Εικόνα 20 Μέτρηση PWM κατά την πειραματική διαδικασία.

Στο σημείο αυτό, λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές διαστάσεις των υλικών που προμηθευτήκαμε, κρίθηκε απαραίτητη η τροποποίηση των αρχικών μηχανολογικών σχεδίων ώστε να μπορέσουν αυτά να τοποθετηθούν εργονομικά στο σχεδιαζόμενο όχημα. Σε πολλά από τα υλικά που προμηθευτήκαμε παρατηρήσαμε διαφορές μεταξύ των θεωρητικών τους διαστάσεων από τις πραγματικές, οι διαφορές αυτές εντοπίστηκαν κυρίως στις οπές στερέωσης. Μετά την τελική τροποποίηση των σχεδίων κατασκευάστηκαν τα μηχανολογικά τμήματα του οχήματος από συνεργαζόμενο εργαστήριο μηχανολογικών κατασκευών και έγινε η τελική συναρμολόγηση του οχήματος.



Εικόνα 21 Το ρομποτικό όχημα KELM

Τα επόμενα βήματα είναι η τοποθέτηση του ηλεκτρολογικού, ηλεκτρονικού εξοπλισμού στο όχημα, ο προγραμματισμός του ελεγκτή οι πειραματικές δοκιμές λειτουργίας και ταυτόχρονα η λήψη μετρήσεων σχετικά με την ταχύτητα κίνησης και την σχέση της με την στάθμη του σήματος ελέγχου, τον χρόνο απόκρισης των μεταβολών ταχύτητας και κατεύθυνσης σε σχέση με την λήψη μετρήσεων από τους αισθητήρες, την ανάγκη ενεργοποίησης των φρένων του οχήματος, την κινηματική συμπεριφορά του, την αντιμετώπιση εμποδίων σε πραγματικές συνθήκες καθώς και ο χρόνος αυτονομίας σε σχέση με το φορτίο .



Εικόνα 22 Το ρομποτικό όχημα KELM

Μεθοδολογία και επιστημονικά οφέλη

Για την ολοκλήρωση της μελέτης και κατασκευής του οχήματος επιλέξαμε την παραπάνω, σύνθετη, μεθοδολογία προσέγγισης γιατί κρίναμε ότι το θέμα είναι αρκετά πολύπλοκο και για την ορθή του λύση θα πρέπει να το προσεγγίσουμε με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους.

Το κομμάτι του αρχικού σχεδιασμού το αντιμετωπίσαμε κυρίως μέσα από θεωρητική μελέτη και ανάλυση των απαιτήσεων και των προδιαγραφών που θέσαμε.

Το κομμάτι όμως της προμήθειας των υλικών κατασκευής δεν μπορούσαμε να αντιμετωπίσουμε με άλλο τρόπο εκτός από αυτόν της έρευνας αγοράς και της επαφής μας με επαγγελματίες και εργαστήρια που ασχολούνται με σχετικά θέματα.

Το τρίτο κομμάτι, αυτό της κατασκευής και του προγραμματισμού του οχήματος, το αντιμετωπίσαμε κυρίως μέσα από πειραματικές διαδικασίες, λήψη μετρήσεων και υπολογισμών, αυτό κρίθηκε απαραίτητο γιατί σε μια πραγματική κατασκευή, θα πρέπει να εξάγουμε πραγματικά συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας της, καθώς και την σταθερότητά της στον χρόνο.

Αυτό που προσδοκούμε από την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων είναι η απόκτηση τεχνογνωσίας σχετικής με την σχεδίαση και κατασκευή αυτόνομων ρομποτικών οχημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εισαγωγή

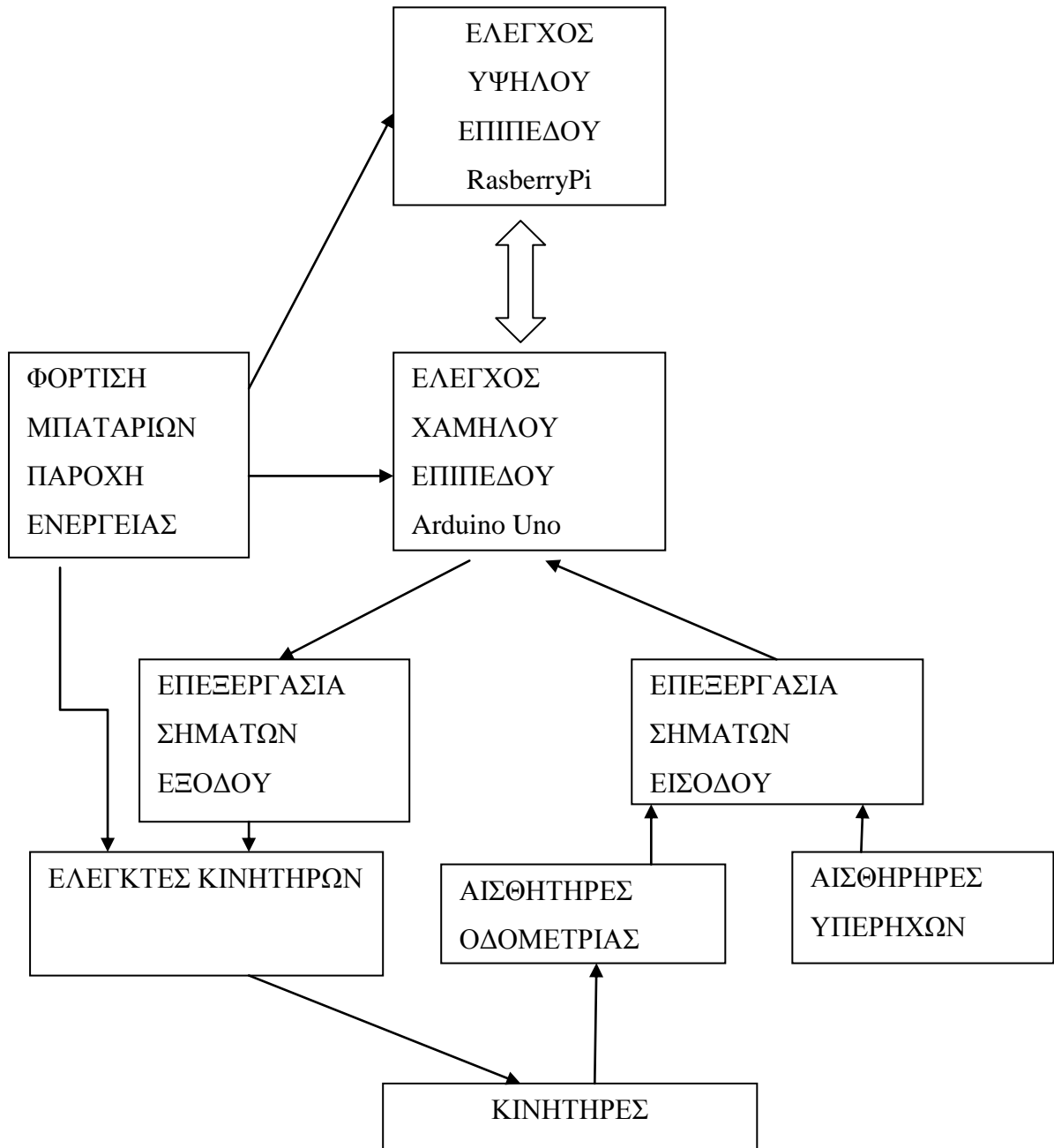
Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τα βήματα και την διαδικασία που ακολουθήθηκε για την κατασκευή του ηλεκτρολογικού – ηλεκτρονικού μέρους, καθώς και του τμήματος έλεγχου χαμηλού επιπέδου του ρομποτικού οχήματος.

Στο ηλεκτρολογικό μέρος του ρομπότ περιλαμβάνεται το τμήμα παροχής ενέργειας και οι ηλεκτρικοί κινητήρες του οχήματος.

Το ηλεκτρονικό μέρος της κατασκευής περιλαμβάνει τα κυκλώματα επεξεργασίας σημάτων από τους αισθητήρες, την παροχή των μετρήσεων στον επεξεργαστή, καθώς και την μεταφορά των αποφάσεων του επεξεργαστή, μέσω των ηλεκτρονικών ισχύος, στους κινητήρες.

Στο τμήμα ελέγχου θα δούμε τον προγραμματισμό του επεξεργαστή (Arduino Uno) ώστε να έχουμε από το όχημα την επιθυμητή συμπεριφορά.

Το γενικό πλάνο του ηλεκτρολογικού – ηλεκτρονικού μέρους του ρομπότ φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (εικόνα 23).



Εικόνα 23 Γενικό πλάνο του ηλεκτρολογικού – ηλεκτρονικού μέρους του ρομπότ

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Προδιαγραφές

Πρωταρχικό μέλημα για ένα τέτοιο εγχείρημα είναι η θέσπιση στόχων και προδιαγραφών της κατασκευής.

Η λίστα των προδιαγραφών σχεδίασης για το υπό κατασκευή ρομποτικό όχημα εξήχθη μετά από την ανάλυση των συμπερασμάτων από το υπάρχον State of the Art, την έρευνα που πραγματοποιήθηκε σχετικά με τις ανάγκες της αγοράς, καθώς και τις πειραματικές μελέτες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν.

Οι προδιαγραφές θα ορίσουν το σύνολο των λειτουργικών απαιτήσεων, των χαρακτηριστικών και των περιορισμών κάτω από τις οποίες θα λειτουργεί το υπό σχεδίαση ρομποτικό σύστημα.

Η βασικότερη προδιαγραφή η οποία είναι αναγκαία για να ορίζεται το σύστημα ως ρομποτικό είναι η εξής :

- Το σύστημα να είναι αυτόνομο όχημα, το οποίο να υπάρχει στο φυσικό κόσμο, να αισθάνεται το περιβάλλον του και μπορεί να δράσει σε αυτό ώστε να πετύχει τους στόχους που του θέτουμε.

Οι υπόλοιπες προδιαγραφές που θα πρέπει να καλύψουμε είναι:

1. Το σύστημα θα είναι ένα εμπορικό αυτόνομο ρομποτικό όχημα που θα μπορεί να καλύψει επαγγελματικές ή εκπαιδευτικές ανάγκες στην αγορά.
2. Το σύστημα θα είναι ένα μεταλλικό τετράτροχο ρομποτικό όχημα που θα έχει την δυνατότητα να λειτουργεί ως ευέλικτα προσαρμοζόμενη πλατφόρμα ώστε να εξυπηρετεί πολλαπλές ανάγκες του κάθε χρήστη.
3. Το ρομποτικό οχήματος θα οδηγείται με τους κανόνες της διαφορικής οδήγησης ώστε να είναι ευέλικτο στην μετακίνησή του και στους ελιγμούς.

4. Το ρομποτικό όχημα να είναι ανθεκτικό στο χρόνο και την εργασία, τα υλικά κατασκευής και ελέγχου του να μην είναι υπεράριθμα, να είναι εύκολα αντικαταστάσιμα, η προμήθεια ή η κατασκευή τους να είναι εφικτή από την (τοπική ή δυνατόν) αγορά ή από τα συνεργαζόμενα με την ομάδα εργαστήρια και το κόστος τους να μην είναι δυσθεώρητο.
5. Το μέγεθος του ρομποτικού οχήματος θα είναι περίπου 50 x 40 x 30 cm και η δομή του συμπαγής ώστε να έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει βάρος τουλάχιστον 100 κιλών, για να μπορεί να λειτουργήσει ως ρομπότ παροχής υπηρεσιών.
6. Το ρομποτικό όχημα θα έχει την δυνατότητα να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον και τον χρήστη μέσω αισθητήρων και ασυρμάτου δικτύου.
7. Η κίνησή του θα γίνεται από ηλεκτρικούς κινητήρες, ενώ η τροφοδοσία του θα γίνεται από συστοιχία μπαταριών.
8. Η αυτονομία σε ενέργεια θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 5 ωρών ώστε να μπορεί να εκτελέσει εργασίες για μεγάλο χρονικό διάστημα και να είναι συγκρίσιμο με τα αντίστοιχα ρομπότ της αγοράς.
9. Ο έλεγχος του οχήματος θα γίνεται από δύο υπολογιστικές μονάδες, μια σε χαμηλό επίπεδο που θα ελέγχονται τα συστήματα κίνησης και αισθητήρων και μια σε υψηλό επίπεδο όπου θα γίνονται οι υπολογισμοί, η επικοινωνία με τον χρήστη και θα βασίζεται στο λειτουργικό ROS.
10. Το ρομποτικό όχημα να έχει την δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης του, τόσο στο σύστημα ελέγχου όσο και στον αριθμό των αισθητήρων που θα μπορεί να δεχθεί (π.χ. να μπορεί να δεχθεί ένα σύστημα τεχνητής όρασης ή ένα Laser Scanner).
11. Το ρομποτικό όχημα θα πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένο ώστε να υπάρχει δυνατότητα να δημιουργηθούν αντίγραφα του, ενώ η συναρμολόγηση των αντιγράφων να είναι βατή.

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ

Τα κύρια μέρη που σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν στο ηλεκτρολογικό υποσύστημα του αναφερόμενου ρομπότ είναι:

Υποσύστημα παροχής ενέργειας.

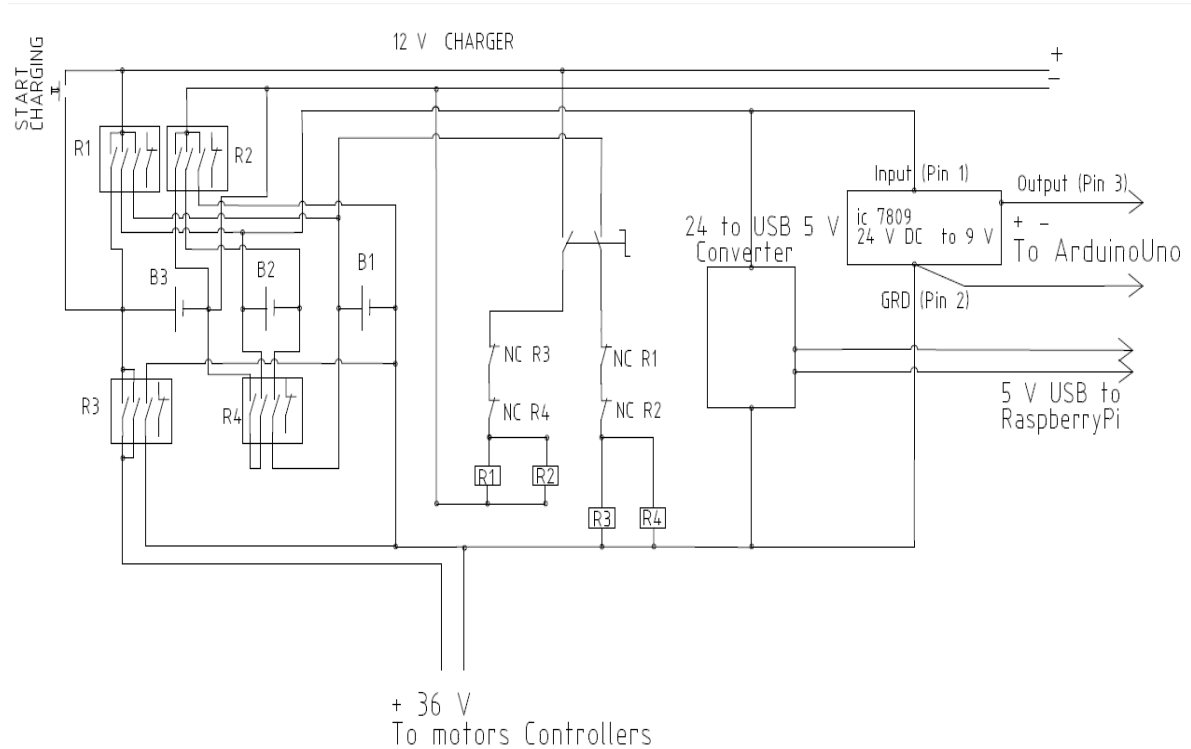
Οι ανάγκες σε ηλεκτρική τάση του ρομποτικού οχήματος είναι 36 VDC για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών κινητήρων, 5 – 9 VDC για την τροφοδοσία του ελεγκτή χαμηλού επιπέδου (Arduino) και 5 VDC για την τροφοδοσία του ελεγκτή υψηλού επιπέδου (RaspberryPi). Για την εξυπηρέτηση των παραπάνω αναγκών επιλέξαμε να χρησιμοποιούνται τρεις μπαταρίες οξέος μολύβδου τύπου jell 12 V 5Ah, ενώ για την επαναφόρτιση του χρησιμοποιείται κατάλληλος φορτιστής μπαταριών 12 V Dc.

Η επιλογή του των μπαταριών βασίζεται στα ακόλουθα κριτήρια:

- Την ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας ώστε να καλύπτονται οι προδιαγραφές λειτουργίας του οχήματος.
- Το κόστος του στοιχείου και τη διαθεσιμότητά του στην αγορά.
- Την ευκολία προσαρμογής τους στο όχημα.
- Την σταθερότητα του στον χρόνο.

Κατά την λειτουργία του οχήματος οι μπαταρίες συνδέονται σε σειρά (ώστε να έχουμε τα 36 VDC) ενώ κατά την διαδικασία φόρτισης οι μπαταρίες με κατάλληλο αυτοματισμό συνδέονται παράλληλα ώστε να μπορούν να τροφοδοτηθούν ταυτόχρονα από τον φορτιστή του συστήματος.

Το ηλεκτρολογικό σχέδιο σύνδεσης των μπαταριών, μέσω των κατάλληλων relay, σε κατάσταση λειτουργίας του ρομποτικού οχήματος ή λειτουργία φόρτισης των μπαταριών, φαίνεται στην εικόνα 24 που ακολουθεί.



Εικόνα 24 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Συστήματος τροφοδοσίας

Το κύκλωμα παροχής ενέργειας περιλαμβάνει τρεις μπαταρίες των 12 V 5 Ah, τέσσερα relay με πηνίο στα 12-15 V DC που το κάθε ένα από αυτά, ενσωματώνει τρεις NO επαφές και μία επαφή NC με δυνατότητα λειτουργίας στα 6A , μια μονάδα μετατροπής 24 VDC σε 5 VDC με δυνατότητα παροχής έως 3 A που χρησιμοποιείτε για την τροφοδοσία του RaspberryPi, ένα μετατροπέα 24 V DC σε 9 V DC με τον σταθεροποιητή τάσης LM 7809, που χρησιμοποιείτε για την τροφοδοσία του Arduino, ένα Push button με επαφή NO και ένα επιλογικό διακόπτη τριών θέσεων (1 – 0 – 1) με δύο επαφές NO.

Με τον επιλογικό διακόπτη ορίζουμε αν το όχημα βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας, σε κατάσταση φόρτισης ή είναι απενεργοποιημένο.

Όταν ο επιλογικός διακόπτης είναι στην θέση φόρτισης και ο φορτιστής μπαταριών είναι συνδεδεμένος στο όχημα μέσω της NO του Push button παρακάμπτουμε, στιγμιαία, τα relay φόρτισης, και συνδέουμε τον φορτιστή στα άκρα της μιας μπαταρίας ώστε να έχουμε την ενεργοποίησή του και την παροχή τάσης φόρτισης στο

όχημα, χρησιμοποιώντας την τάση φόρτισης ενεργοποιούμε τα relay R1 και R2 ώστε οι μπαταρίες να συνδεθούν παράλληλα και να αρχίσει ο κύκλος φόρτισής τους.

Λειτουργία φόρτισης

Κατά την λειτουργία φόρτισης των μπαταριών τα relay R1 και R2 ενεργοποιούνται, αυτό που καλούνται να κάνουν, είναι να συνδέουν τις μπαταρίες παράλληλα ώστε να μπορούν να φορτιστούν από την μονάδα φόρτισης. Το R1 συγκεντρώνει τους θετικούς πόλους των μπαταριών και όταν ενεργοποιείτε τους συνδέει με τον θετικό πόλο του φορτιστή, ενώ το R2 συγκεντρώνει τους αρνητικούς πόλους των μπαταριών και όταν ενεργοποιείτε τους συνδέει με τον αρνητικό πόλο του φορτιστή. Τα πηνία των R1, R2 τροφοδοτούνται από τα 12 V του φορτιστή ενώ υπάρχει σύστημα προστασίας, μέσω των NC επαφών των R3 και R4 να μην μπορούν να ενεργοποιηθούν όταν το ρομπότ βρίσκεται σε κανονική λειτουργία (R3 και R4 ενεργοποιημένα). Το Push button ενεργοποίησης της φόρτισης συνδέει στιγμιαία τον φορτιστή με μια από τις μπαταρίες κάτι που είναι απαραίτητο για την αρχική ενεργοποίηση του φορτιστή.

Κανονική Λειτουργία του οχήματος

Κατά την κανονική λειτουργία του οχήματος, μέσω του επιλογικού διακόπτη ενεργοποιούνται τα relay R3 και R4 με αποτέλεσμα οι μπαταρίες του συστήματος να συνδέονται σε σειρά οπότε έχουμε συνολική τάση 36 V και με αυτή τροφοδοτούνται τα διάφορα στοιχεία του συστήματος. Με 36 V (μπαταρίες B1 + B2 + B3) τροφοδοτούνται οι ελεγκτές των κινητήρων, ενώ με 24V (μπαταρίες B1 + B2) τροφοδοτούνται οι μετατροπείς οι οποίοι παρέχουν τάση στα δύο υπολογιστικά συστήματα ελέγχου. Η τροφοδοσία των πηνίων relay γίνεται από την μπαταρία B1, ενώ υπάρχει σύστημα προστασίας, μέσω των NC επαφών των R1 και R2 ούτως ώστε αυτά να μην μπορούν να ενεργοποιηθούν όταν το ρομπότ βρίσκεται σε λειτουργία φόρτιση (R1 και R2 ενεργοποιημένα).

Φορτιστής μπαταριών

Ο φορτιστής μπαταριών είναι της εταιρίας Minwa Electronics είναι κατάλληλος για φόρτιση μπαταριών μολύβδου 6 και 12V. Δέχεται τάση εισόδου 220 ~ 240VAC 50Hz 600mA. Παρέχει τάση φόρτισης 7,5V / 14,4V / 14,7V και ρεύμα φόρτισης

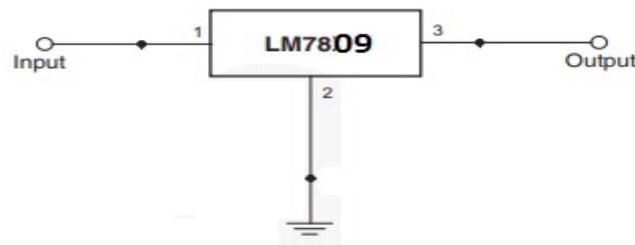
0,8A - 3A - 4A. Ενώ παρέχει προστασία από βραχυκύκλωμα / υπερφόρτωση / υπέρταση / ανάποδη πολικότητα.

Μετατροπέας 24V DC to 5V DC 3A

Για να καλυφτούν οι ανάγκες τροφοδοσίας με ηλεκτρική ενέργεια του επεξεργαστή υψηλού επιπέδου RaspberryPi, χρησιμοποιώ τον μετατροπέα τάσης DC-DC Converter Step-Down 5V 3A – USB [17]. Είναι μια μονάδα που έχει τη δυνατότητα να δεχτεί στην είσοδό της τάση από 7 έως 24VDC και να παρέχει στην έξοδό της τάση 5V σε ακροδέκτη USB με δυνατότητα παροχής ρεύματος λειτουργίας 3A και μέγιστο ρεύμα εξόδου μέχρι 4A. Η μονάδα μετατροπής τροφοδοτείται από δύο μπαταρίες του οχήματος, τις B1 και B2, όταν αυτές είναι συνδεδεμένες σε σειρά, ενώ μέσω καλωδίου USB τροφοδοτούμε το RaspberryPi.

Μετατροπέας 24V DC to 9V DC

Για την τροφοδότηση του επεξεργαστή χαμηλού επιπέδου Arduino χρησιμοποιείται ολοκληρωμένο κύκλωμα LM 7809 [18].



Εικόνα 25 Σταθεροποιητής τάσης LM7809

Το LM7809 είναι ένας ρυθμιστής τάσεων 3 ακροδεκτών. Έχει δυνατότητα να δεχθεί στην είσοδό του τάσεις από 11.5 V DC μέχρι και 24V DC και να μας παρέχει στην έξοδό του σταθερή τάση 9 V DC με ένταση μέχρι και 1 A. Διαθέτει προστασία από υπερφόρτωση και προστασία από βραχυκύκλωμα, το LM7809 χρησιμοποιεί εσωτερικό περιορισμό ρεύματος, θερμική απενεργοποίηση και ασφαλή προστασία περιοχής λειτουργίας, καθιστώντας το ουσιαστικά άφθαρτο. Το LM7809 τροφοδοτείται από δύο μπαταρίες, τις B1 και B2, όταν αυτές είναι συνδεδεμένες σε σειρά και μέσω καλωδίου τροφοδοσίας τροφοδοτούμε το ArduinoUno.

Οι προδιαγραφές για τον φορτιστή, τις μπαταρίες όπως και τον DC- DC Converter Step-Down 5V 3A - USB συνετάχθησαν από την ομάδα και τα προμηθευτήκαμε μέσω μειοδοτικού διαγωνισμού που πραγματοποίησε η επιτροπή ερευνών του ιδρύματος, ενώ το LM7809 το προμηθευτήκαμε από την τοπική αγορά.

Εφαρμογή ηλεκτρικών κινητήρων στο ρομποτικό όχημα

Με γνώμονα τις προδιαγραφές που θέσαμε για την κατασκευή του οχήματος επιλέξαμε να χρησιμοποιήσαμε δύο κινητήρες τύπου BLDC με αισθητήρες Hall [18].

- Οι κινητήρες αυτού του τύπου παρέχουν μεγάλη ροπή ακόμη και σε χαμηλό αριθμό στροφών.
- Μπορούμε να ελέγξουμε τις στροφές και την φορά περιστροφής τους με σχετικά εύκολο τρόπο μέσω του ελεγκτή τους και του συστήματος ελέγχου του οχήματος.
- Υπάρχει πληθώρα ελεγκτών στην αγορά, και μάλιστα σε πολύ χαμηλές τιμές [19] (περίπου 15 Ευρώ) που μπορούν να οδηγήσουν κινητήρες αυτού του τύπου.
- Έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες τύπου hall από τους οποίους μπορούμε να πάρουμε δεδομένα σχετικά με την κίνηση του οχήματος (οδομετρία).
- Έχουν σχετικά καλό βαθμό απόδοσης.
- Έχουν χαμηλό κόστος αγοράς, ενώ η προμήθειά τους μπορεί να γίνει ακόμα και από την τοπική αγορά.
- Υπάρχει δυνατότητα επισκευής τους και προμήθειας ανταλλακτικών.
- Η μηχανολογική τους προσαρμογή στο όχημα γίνεται εύκολα μιας και ο κινητήρας ενσωματώνει τον τροχό.

Οι κινητήρες που χρησιμοποιήσαμε έχουν το ηλεκτρικό τους μέρος (πηνία και αισθητήρες) στο σταθερό μέρος του κινητήρα (στάτη). Το ηλεκτρομαγνητικό τους μέρος αποτελείται από τρία ανεξάρτητα τυλίγματα (πηνία) που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους σε συνδεσμολογία αστέρα, κάθε τυλίγμα είναι διαμορφωμένο σε **δέκα ηλεκτρομαγνητικούς πόλους**. (συνολικά υπάρχουν 30 ηλεκτρομαγνητικοί πόλοι). Στο στάτη του κινητήρα υπάρχουν τοποθετημένοι και τρεις αισθητήρες hall οι οποίοι ανιχνεύουν την θέση του ρότορα σε σχέση με αυτή του στάτη. Στο κινητό μέρος του

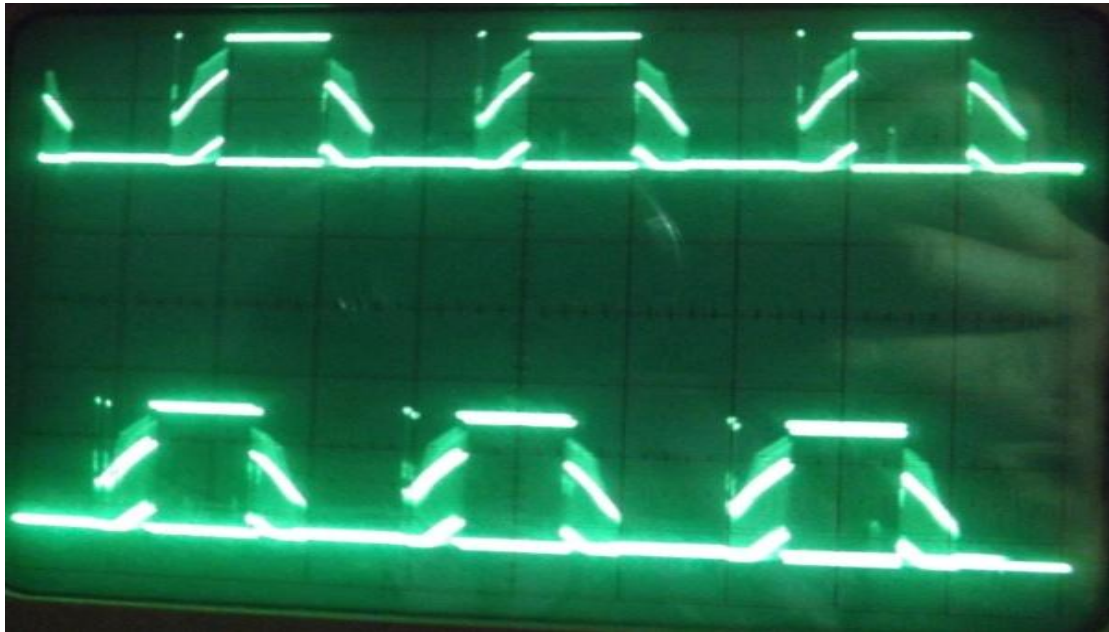
κινητήρα (ρότορας), που βρίσκεται περιμετρικά του στάτη, υπάρχουν δεκαπέντε (15) ζεύγη μόνιμων μαγνητών που δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο διέγερσης. Στο εξωτερικό μέρος του ρότορα και περιμετρικά του υπάρχει τοποθετημένο το ελαστικό του τροχού με διάμετρο 8'' και πλάτος ελαστικού 50mm.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες που χρησιμοποιήσαμε είναι ισχύος 200 Watt, και λειτουργούν με τάση 36V DC. Όταν οι κινητήρες θα λειτουργούν με πλήρες φορτίο θα καταναλώνει ο κάθε ένας από αυτούς περίπου 6 A ρεύμα. Οι κινητήρες αποδίδουν περίπου 1,8 Nm ροπή και μπορούν να κινήσουν μέγιστο φορτίο περίπου 100 Kgr. Ο βαθμός απόδοσης των κινητήρων, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, είναι περίπου 83%.



Εικόνα 26 Ρότορας μόνιμων μαγνητών και Στάτης (πηνία) σε BLDC motor

Η τροφοδοσία με ηλεκτρική ενέργεια των κινητήρων γίνεται μέσω των αντίστοιχων ελεγκτών τους που περιλαμβάνουν τα ηλεκτρονικά συστήματα ισχύος ώστε να δημιουργούνται οι τρεις παλμοσειρές με ρυθμιζόμενη συχνότητα, μέσω των οποίων θα τροφοδοτούμε τους κινητήρες και θα μεταβάλλουμε τις στροφές τους.



Εικόνα 27 Τραπεζοειδείς παλμοσειρά τροφοδοσίας BLDC motor, Φάσεις 1 και 2

Οι κινητήρες τροφοδοτούνται από τρεις παλμοσειρές με παλμούς τραπεζοειδούς μορφής με μέγιστο ύψος 36 V (εικόνα 28) και μεταβαλλόμενης συχνότητας, ανάλογα με την επιθυμητή ταχύτητα κίνησης του οχήματος. Οι τρεις παλμοσειρές είναι χρονικά μετατοπισμένες μεταξύ τους κατά 120° και τροφοδοτούν διαδοχικά τα ηλεκτρομαγνητικά πηνία του στάτη, με αποτέλεσμα να έχουμε δημιουργία ενός περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Το περιστρεφόμενο αυτό μαγνητικό πεδίο αλληλεπιδρά με τους μόνιμους μαγνήτες του ρότορα οπότε έχουμε δημιουργία μηχανικής κίνησης. Η ηλεκτρολογική σύνδεση των κινητήρων στους ελεγκτές τους είναι πολύ απλή και γίνεται με την σύνδεση των τριών καλωδίων τροφοδοσίας των κινητήρων, στους τρεις ακροδέκτες παροχής του ελεγκτή.

Η προμήθεια των κινητήρων έγινε, μετά από έρευνα αγοράς, από διαδικτυακό κατάστημα που έχει έδρα τις Σέρρες. Αγοράστηκε ένα ηλεκτρονικό πατίνι ισορροπίας τύπου Hovercraft με τροχούς 8'' από το οποίο αφαιρέσαμε τους τροχούς του (που στην πραγματικότητα είναι οι ηλεκτρικοί κινητήρες) και τους τοποθετήσαμε στο όχημα που κατασκευάζουμε. Η λύση αυτή κρίθηκε η πιο συμφέρουσα, γιατί έχει το μικρότερο κόστος αγοράς, αλλά και τον μικρότερο χρόνο παράδοσης. Η αγορά των κινητήρων δεν έγινε μέσω μειοδοτικού διαγωνισμού, αλλά καλύφθηκε από έξοδα της

ομάδας γιατί έρπετε να πραγματοποιηθεί σε περιορισμένο χρονικό διάστημα ώστε να έχουμε χρόνο για τους πειραματισμούς μας.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ

Τα κύρια μέρη που θα συναντήσουμε στο ηλεκτρονικό υποσύστημα του ρομπότ είναι:

- Οι **αισθητήρες** (sensors), που στην πραγματικότητα μεταφράζουν την φυσική κατάσταση του περιβάλλοντος σε πληροφορίες τις οποίες μπορεί να αναγνωρίσει το ίδιο το ρομπότ, καθώς και κυκλώματα προσαρμογής τα οποία κάνουν μια πρώτη επεξεργασία των σημάτων που παίρνουμε από τους αισθητήρες ώστε να μεταφερθούν στον ελεγκτή του συστήματος.
- Τα ηλεκτρονικά ισχύος των **επενεργητών** τα οποία μετατρέπουν τις εντολές – οδηγίες του συστήματος ελέγχου σε μεγέθη κατάλληλης ισχύος ώστε να τροφοδοτηθούν οι επενεργητές - κινητήρες για την εκτέλεση της επιθυμητής κίνησης του οχήματος.
- Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα προσαρμογής των σημάτων που έρχονται από τους αισθητήρες για την είσοδό τους στο σύστημα ελέγχου, ή την προσαρμογή των σημάτων που έρχονται από το σύστημα ελέγχου για την οδήγηση των επενεργητών.

Οι αισθητήρες που θα χρησιμοποιήσουμε στην κατασκευή του οχήματος είναι αισθητήρες υπερήχων, αισθητήρες Hall, ενώ υπάρχει πρόβλεψη για μελλοντική χρήση αισθητήρα τάσης και ρεύματος για έλεγχο της κατάστασης της μπαταρίας, αισθητήρες φωτεινότητας, κάμερα, και laser scanner.

Τοποθέτηση αισθητήρων υπερήχων

Συνολικά έχουμε τοποθετήσει τρεις αισθητήρες υπερήχων, οι δύο βρίσκονται στο μπροστινό δεξιό και αριστερό τμήμα του οχήματος, με οριζόντια κλίση περίπου 10° ως προς τον οριζόντιο άξονα του οχήματος, για να καλύψουμε μεγαλύτερη περιοχή ελέγχου. Οι αισθητήρες αυτοί ενεργοποιούνται όταν το όχημα κινείται προς τα

εμπρός ή εκτελεί κάποια στροφή, ενώ ο τρίτος βρίσκεται στο πίσω μέρος του και ενεργοποιείται όταν το όχημα εκτελεί οπισθοπορεία.

Οι μετρήσεις των αισθητήρων διαβάζονται από τον ArduinoUno μέσω κατάλληλου προγραμματισμού. Κατά την διάρκεια των πειραματικών δοκιμών στο σημείο αυτό παρουσιάστηκε πρόβλημα στην ανάγνωση των μετρήσεων. Όταν το όχημα λειτουργούσε σε χώρο με μεγάλες αποστάσεις δεν ήταν δυνατή η λήψη μετρήσεων ή αυτές γινόταν με πολύ αργό ρυθμό, αυτό γιατί ο ελεγκτής από την στιγμή που έκανε αποστολή του παλμού μέτρησης στον ακροδέκτη Trig ερχόταν σε κατάσταση αναμονής μέχρι να επιστρέψει η αντανάκλαση του παλμού στον ακροδέκτη Echo, λόγω της μεγάλης απόστασης όμως του χώρου αυτό είτε δεν γινόταν ποτέ είτε καθυστερούσε για μεγάλα χρονικά διαστήματα με αποτέλεσμα να καθυστερεί και η εκτέλεση του προγράμματος. Το παραπάνω πρόβλημα λύθηκε ενεργοποιώντας την παράμετρο μέγιστης αναμονής στην εντολή ανάγνωσης του ανακλώμενου σήματος. `pulseIn(echoPinL, HIGH,4200)`; Ο χρόνος αναμονής ορίζεται σε 4200 usec, που αντιστοιχεί σε μια απόσταση περίπου 72cm.

Η τροφοδοσία των αισθητήρων γίνεται από τα 5V του ArduinoUno ενώ το GRD είναι στο κοινό 0 του συστήματος. Οι ακροδέκτες τους Trig και Echo συνδέονται μέσω καλωδίωσης στις θύρες του ArduinoUno. Συγκεκριμένα:

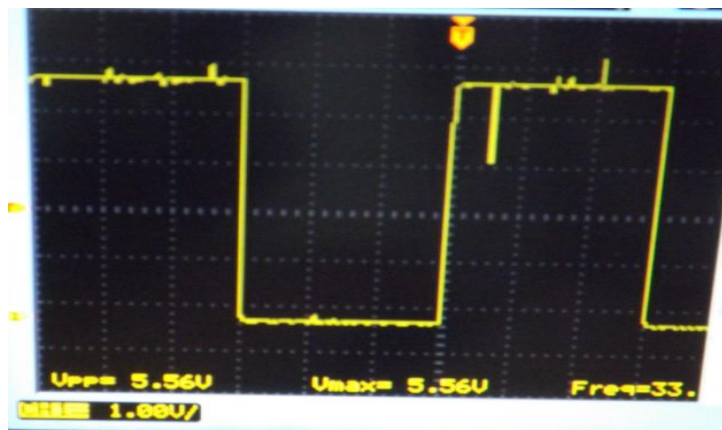
	Εμπρός Δεξιά	Εμπρός Αριστερά	Οπισθοπορίας
Ακροδέκτης ArduinoUno			
Echo	10	8	A4
Trig	11	9	A5

Πίνακας 3 καλωδίωση αισθητήρων υπερήχων στις θύρες του ArduinoUno

Αισθητήρες Hall

Στους κινητήρες του ρομπότ, όπως έχουμε προαναφέρει, υπάρχουν προσαρμοσμένοι έξι αισθητήρες hall, οι αισθητήρες αυτοί δίνουν πληροφορίες στους ελεγκτές των κινητήρων ώστε να δημιουργούνται και να εφαρμόζονται στον κατάλληλο χρόνο οι

παλμοσειρές τροφοδοσίας των κινητήρων. Οι αισθητήρες αυτοί τροφοδοτούνται με τάση 0 και 5V Dc από τον ελεγκτή του κάθε κινητήρα. Κάθε φορά που ένας βόρειος πόλος των μόνιμων μαγνητών περνάει μπροστά από ένα αισθητήρα Hall αυτός παράγει στην έξοδό του ένα υψηλό 5V, ενώ κάθε φορά που ο ένας νότιος πόλος περνάει μπροστά από τον αισθητήρα αυτός παράγει στην έξοδό του ένα χαμηλό 0V. Με τον τρόπο αυτό έχουμε την δημιουργία μιας παλμοσειράς 0 και 5 V από κάθε αισθητήρα, με περίοδο εναλλαγής αντιστρόφως ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα, οι παλμοσειρές αυτές οδηγούνται στους controllers των κινητήρων.



Εικόνα 28 Παλμοσειρά επιστροφής από τον αισθητήρα Hall

Ο συνδυασμός αυτών των σημάτων προσδιορίζει την ακολουθία ελέγχου της γέφυρας και παράγονται τα σήματα τροφοδοσίας των κινητήρων.

Η τροφοδοσία των αισθητήρων καθώς και η παραλαβή των σημάτων από αυτούς γίνεται με απευθείας σύνδεση των καλωδίων του τροχού στα αντίστοιχα καλώδια του controller.

Εκτός από την παραπάνω λειτουργία των αισθητήρων hall, χρησιμοποιώ μία από τις τρεις παλμοσειρές του κάθε κινητήρα και την οδηγώ ως σήμα εισόδου στον ArduinoUno. Με την μέτρηση των παλμών που εισέρχονται στον Arduino μπορώ να βγάλω συμπεράσματα σχετικά με την απόσταση που διένυσε το όχημα και την ταχύτητά του.

Σε κάθε πλήρη περιστροφή του τροχού παράγονται 15 παλμοί 5V τάσης και 15 διαστήματα με 0 V . Με δεδομένο ότι η διάμετρος του τροχού που είναι 8'' ή 20,32 cm και το ότι η περίμετρος ισούται με $2 \cdot \pi \cdot r$. Η περίμετρος του τροχού είναι : $2 \cdot 3,1415 \cdot 10,16 = 63,8$ cm, οπότε κάθε 15 θετικοί παλμοί αντιστοιχούν σε απόσταση **63,8 cm** που έχει καλυφθεί από τον τροχό..

Ελεγκτές (αντιστροφείς) κινητήρων

Για την οδήγηση των BLDC κινητήρων είναι απαραίτητη η χρήση ελεγκτών, (αντιστροφέων) τάσης. Ο κύριος σκοπός του ελεγκτή είναι η μετατροπή της DC τάσης εισόδου, μέσω των ηλεκτρονικών ισχύος που περιέχουν, σε τρεις εναλλασσόμενες παλμοσειρές με τις οποίες τροφοδοτούμε τον κινητήρα. Οι παλμοσειρές είναι χρονικά μετατοπισμένες κατά 120° η μία από την επόμενη ενώ υπάρχει η δυνατότητα να μεταβάλουμε την συχνότητά τους, κατά συνέπεια και τις στροφές περιστροφής του κινητήρα.

Τους ελεγκτές τους προμηθευτήκαμε μετά από έρευνα αγοράς στο διαδίκτυο με κριτήρια:

- Την ικανότητα οδήγησης των κινητήρων που επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε (τύπος κινητήρα, τάση τροφοδοσίας και ισχύ).
- Την δυνατότητα παροχής πέδησης.
- Την δυνατότητα αναστροφής κίνησης.
- Την δυνατότητα να δεχθούν σήματα αισθητήρα Hall.
- Τις κριτικές που υπήρχαν από άλλους χρήστες των συγκεκριμένων ελεγκτών καθώς και της τελικής τιμής αγοράς τους.

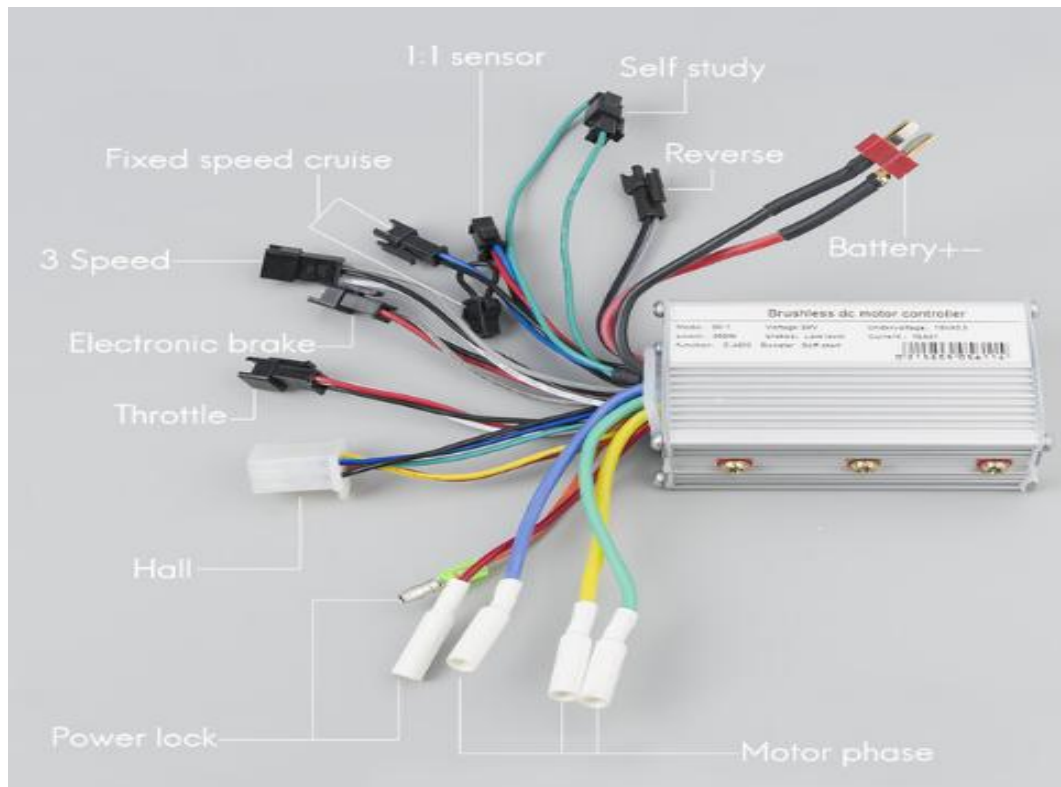
Οι ελεγκτές μαζί με τα μεταφορικά τους στοίχισαν περίπου 40 Ευρώ και πληρώθηκαν από την ομάδα.

Οι ελεγκτές που προμηθευτήκαμε είναι της εταιρίας **kun ray** [20] με τάση εισόδου 36V DC, με minimum τάση λειτουργίας τα 29 V ενώ έχει την δυνατότητα να διαχειριστεί ισχύ έως 350Watt με μέγιστο ρεύμα λειτουργίας τα 13 +-1A.

Ο ελεγκτής συνδέεται με τον κινητήρα και τα συστήματα ελέγχου μέσω των ακροδεκτών του (εικόνα 28). Στους ακροδέκτες του συνδέουμε :

- Την τάση τροφοδοσίας από την μπαταρία, στους ακροδέκτες Battery με χρώματα Κόκκινο (+), Μαύρο (-)
- Τα σήματα επιστροφής και την τροφοδοσία των αισθητήρων hall του κινητήρα, στον ακροδέκτη σύνδεσης (Hall) με χρώματα κόκκινο (+5V) πράσινο, μπλέ, κίτρινο και μαύρο (Grd).
- Το σήμα από τον κεντρικό διακόπτη του κινητήρα στους ακροδέκτες Power Lock με χρώματα καλωδίων κόκκινο πορτοκαλί.
- Τις τρεις φάσεις (παλμοσειρές) τροφοδοσίας του κινητήρα χρώματα κίτρινο, πράσινο, μπλέ.
- Στους ακροδέκτες **3 speed** με χρώματα άσπρο, μαύρο και γκρι μας δίνει την δυνατότητα να ορίσουμε την μέγιστη ταχύτητα του κινητήρα. Όταν οι ακροδέκτες άσπρο, μαύρο και γκρι μένουν χωρίς σύνδεση ο κινητήρας μπορεί να κινηθεί έως και το μέγιστο αριθμό στροφών για τον οποίο είναι κατασκευασμένος. Όταν είναι βραχυκυκλωμένα το μαύρο με το γκρι τότε η μέγιστη ταχύτητα του κινητήρα μπορεί να αυξηθεί στο 120% της ονομαστικής του, ενώ όταν βραχυκυκλώσω το μαύρο με το άσπρο τότε η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής θα είναι το 50% της ονομαστικής του.
- Στους ακροδέκτες **electronic brake** (κόκκινο, μαύρο, γκρι) μπορούμε να φρενάρουμε τον κινητήρα όταν αυτός δεν τροφοδοτείται από τάση. Η δύναμη πέδησης εφαρμόζεται είτε σταδιακά με ένα ποτενσιόμετρο 1000 Ω που στα άκρα του θα συνδέσουμε τους κόκκινο και μαύρο ακροδέκτες ενώ στη μεσαία λήψη του θα συνδέσουμε το λευκό, οπότε μεταβάλλοντας την τιμή της αντίστασης μεταβάλλεται και την δύναμη πέδησης. Είτε ολικά βραχυκυκλώνοντας τους ακροδέκτες κόκκινο γκρι μέσω ενός διακόπτη. Στην εφαρμογή μας εφαρμόζουμε ολική δύναμη πέδησης μέσω relay που ελέγχονται από τον ArduinoUno.
- Με τους ακροδέκτες **Reverse** (γκρι μαύρο) μπορούμε να αλλάξουμε την φορά περιστροφής του κινητήρα βραχυκυκλώνοντάς τους. Στο όχημα αλλάζουμε την φορά περιστροφής κατά την εμπροσθοπορεία και την οπισθοπορεία βραχυκυκλώνοντας ή αποβραχυκυκλώνοντας τους δύο αυτούς ακροδέκτες μέσω relay που ελέγχονται από τον ArduinoUno.

- Με τους ακροδέκτες **Throttle** (κόκκινο, μαύρο, λευκό καλώδιο) μπορούμε να ρυθμίσουμε την συχνότητα των παλμοσειρών εξόδου του ελεγκτή, κατά συνέπεια να εκκινήσουμε τον κινητήρα και να ρυθμίσουμε τις στροφές του. Στο κόκκινο καλώδιο ο ελεγκτής δίνει 4,3 V τάση και στο μαυρο 0V (Grd), μέσω μεταβλητής αντίστασης (διαιρέτη τάσης) μπορούμε να τροφοδοτούμε με ρυθμιζόμενη τάση το άσπρο καλώδιο. Η συχνότητα των παλμοσειρών εξόδου όπως και οι στροφές του κινητήρα, είναι ανάλογες της τάσης που δέχεται ο ελεγκτής στο λευκό καλώδιο του ακροδέκτη Throttle. Όταν η τάση στον λευκό ακροδέκτη είναι 0 V ο κινητήρας είναι σταματημένος ενώ όταν η τάση είναι 4,3 V ο κινητήρας περιστρέφεται με τον μέγιστο αριθμό στροφών που έχουμε θέσει στον ελεγκτή. Στην εφαρμογή μας η τιμή της τάση ρύθμισης στροφών μεταβάλετε μέσω του ελεγκτή ArduinoUno και των σημάτων PWM που μας παρέχει.
- Με βραχυκυκλωμένους τους ακροδέκτες **self study** μπορούμε να ορίσουμε μια συγκεκριμένη ταχύτητα με την οποία θα περιστρέφεται ο κινητήρας, όταν θα βραχυκυκλώνω τους ακροδέκτες Fixed speed cruise. Όταν ο ελεγκτής είναι σε κατάσταση self study ή λειτουργία Fixed speed cruise, δεν μπορώ να μεταβάλω την ταχύτητα μέσω των ακροδεκτών Throttle. Κατά την πειραματική λειτουργία του οχήματος δεν χρειάστηκε να ενεργοποιήσουμε αυτή την δυνατότητα του ελεγκτή.
- Στον ακροδέκτη **1:1 sensor** (κόκκινο, μπλε καλώδιο) σύμφωνα με τον κατασκευαστή, ο ελεγκτής παρέχει μια παλμοσειρά ανάλογη των σημάτων που δέχεται από τους αισθητήρες Hall. Την λειτουργία αυτή δεν μπόρεσα να την εντοπίσω κατά την πειραματική λειτουργία του ελεγκτή. Πιθανόν να μην είναι ενεργοποιημένη στον συγκεκριμένο τύπο ελεγκτών.



Εικόνα 29 Ελεγκτής (Controller) BLDC motor

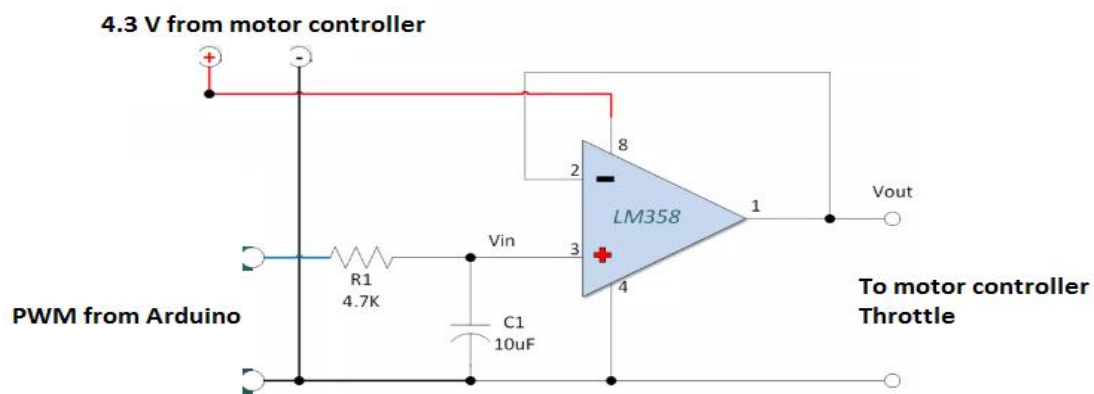
Οι ελεγκτές τοποθετήθηκαν και στερεωθήκαν στο χαμηλότερο επίπεδο της κατασκευής μας με σκοπό την εύκολη σύνδεσή τους με τους κινητήρες και το σύστημα ελέγχου (Arduino). Τα καλώδια που χρησιμοποιήσαμε από κάθε ελεγκτή προσαρμόστηκαν σε κλεμοσειρά στερεωμένη στο σασί του οχήματος και μέσω αυτής διασυνδέθηκαν με τα υπόλοιπα συστήματα του ρομπότ.

Ηλεκτρονικά κυκλώματα προσαρμογής

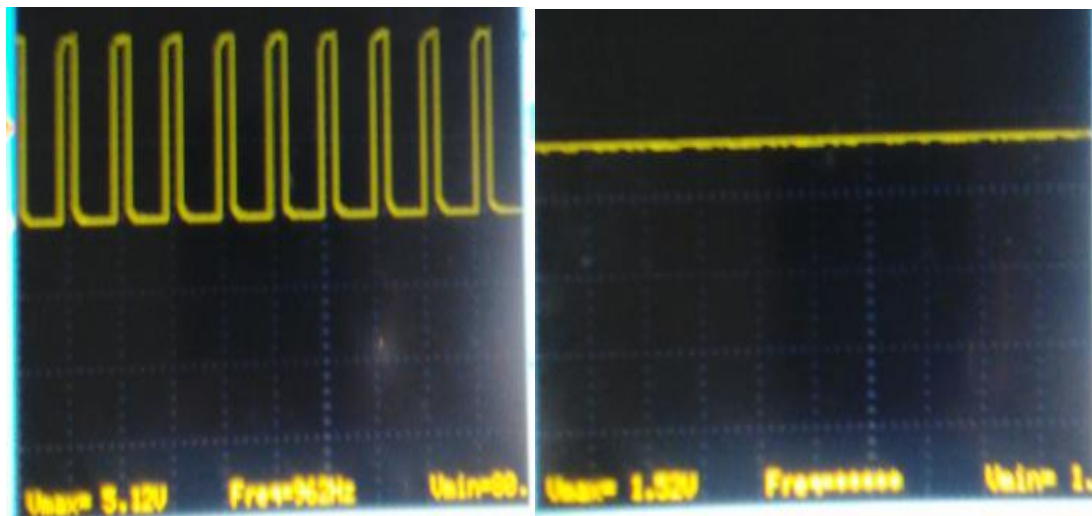
Οδήγηση κινητήρων

Όπως έχουμε προαναφέρει για να μπορέσουμε να εκκινήσουμε ή να ρυθμίσουμε τις στροφές του κινητήρα θα πρέπει να δώσουμε ένα επίπεδο τάσης στην είσοδο (λευκό καλώδιο) του ακροδέκτη Throttle. Για να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε αυτές τις ενέργειες μέσω του ArduinoUno χρησιμοποιούμε τις αναλογικές του εξόδους PWM, και μέσω των παλμών PWM μεταβάλω το επίπεδο τάσης των 4,3 V που μας παρέχει ο ελεγκτής (στο κόκκινο καλώδιο), Στη συνέχεια οδηγώ την ρυθμιζόμενη τάση στην είσοδο του (άσπρο καλώδιο). Για να μπορέσω μέσω του PWM να μεταβάλω την σταθερή τάση που μας δίνει ο ελεγκτής χρησιμοποιούμε ένα

ηλεκτρονικό κύκλωμα προσαρμογής με τον τελεστικό LM358. Το σήμα PWM εφαρμόζεται στην θετική είσοδο του ενισχυτή μέσω μιας αντίστασης 4,7KΩ και ενός πυκνωτή εξομάλυνσης 10μf, ενώ τα 4,3V του ελεγκτή δίνονται στον ακροδέκτη 8 του LM358 ως τάση τροφοδοσίας. Το μέτρο της τάσης εξόδου από το LM358 είναι ανάλογο του εύρους παλμού PWM και είναι αυτή που οδηγείται στο λευκό καλώδιο (Throttle) του ελεγκτή.



Εικόνα 30 Κύκλωμα μετατροπής PWM σε σταθερή τάση



Εικόνα 31 Μετατροπή PWM σε σταθερή τάση DC

Με τις μετρήσεις που κάναμε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων είδαμε ότι η τάση εξόδου του LM358 μεταβάλλεται γραμμικά σε σχέση με το εύρος PWM, ενώ οι στροφές του κινητήρα ΔΕΝ μεταβάλλονται γραμμικά. Στον πίνακα 4 παρουσιάζουμε κάποιες από τις μετρήσεις που έγιναν, οι μετρήσεις είναι ποιά "πυκνές" στο διάστημα των 67 έως 75 % του εύρους PWM γιατί οι ταχύτητες που έχω σ' αυτό το διάστημα είναι ικανοποιητικές για την λειτουργία του οχήματος. Οι

μετρήσεις έγιναν με τη χρήση παλμογράφου και πιθανόν να υπάρχουν σφάλματα μετρήσεων.

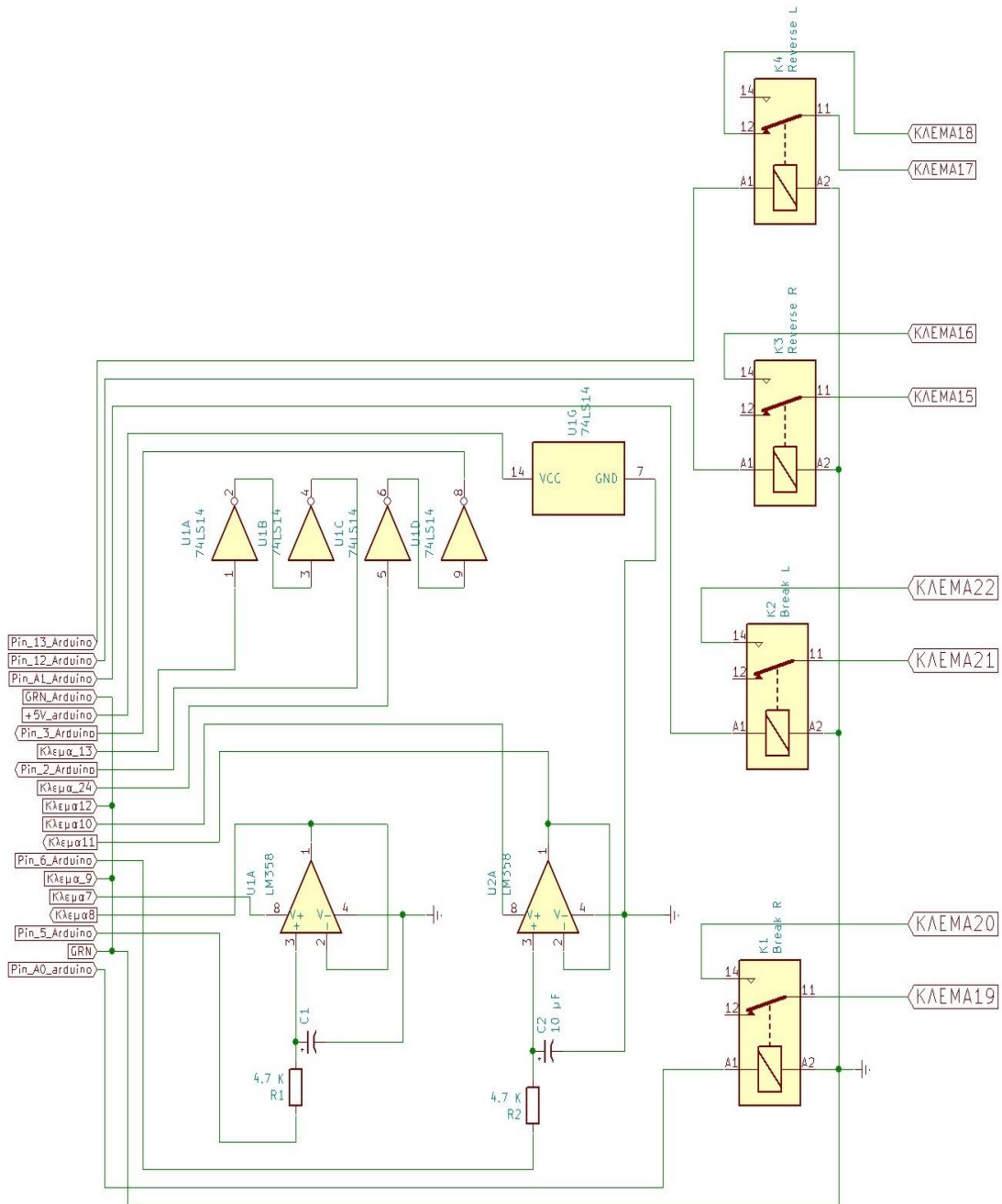
Εύρος PWM	Τάση εξόδου LM358 (Volt)	Συχνότητα παλμοσειράς τροφοδοσίας	Στροφές ανά δευτερόλεπτο του κινητήρα όταν αυτός λειτουργεί χωρίς φορτίο	Στροφές ανά δευτερόλεπτο του κινητήρα όταν αυτό λειτουργεί με φορτίο 15 Kgr	Απόσταση (σε cm) που διανύει το όχημα ανά 1 sec με φορτίο 15 Kgr
67 ****	1,1	15	1	0	0
68	1,18	16	1,1	0,23	14,6
69	1,22	18	1,2	0,32	20,6
70	1,3	20	1,3	0,63	40
71	1,35	22	1,4	0,88	56
72	1,4	24	1,6	0,97	62
73	1,45	26	1,7	1,06	68
74	1,5	28	1,8	1,1	71
75	1,55	31	2	1,25	80
100	1,9	39	2,6		
150	2,6	46	5		
200	3,8	150	15		

Πίνακας 4 Μετρήσεις τάσης, συχνότητας, στροφών κινητήρα.

*** Σε εύρος PWM $\leq 67\%$ δεν έχω ικανοποιητική ροπή εκκίνησης και το όχημα δεν μπορεί να εκκινήσει με φορτίο.

Στην κατασκευή του οχήματος χρησιμοποιήσαμε δύο LM358, ένα για κάθε κινητήρα, για να έχουμε την δυνατότητα ανεξάρτητου ελέγχου των δύο κινητήρων. Το ηλεκτρολογικό/ηλεκτρονικό κύκλωμα που κατασκευάστηκε φαίνεται στην εικόνα 32 που ακολουθεί.

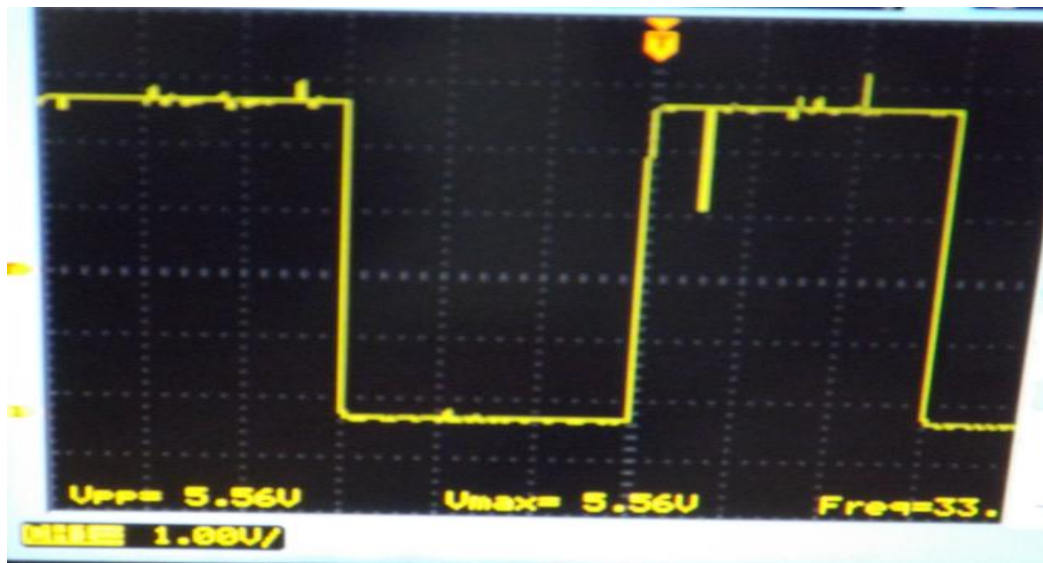
Για την σχεδίαση του ηλεκτρονικού κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό KiCad.



Εικόνα 32 Ηλεκτρολογικό - Ηλεκτρονικό κύκλωμα

Μέτρηση παλμών αισθητήρα Hall

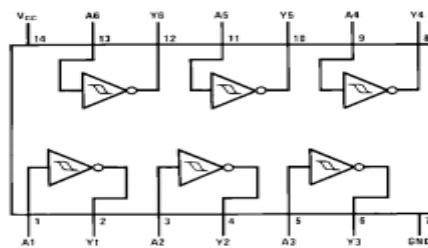
Αν παρατηρήσουμε την παρακάτω εικόνα 32, που δείχνει την παλμοσειρά που μας δίνει ο αισθητήρας hall όπως αυτή έρχεται από τον κινητήρα, θα δούμε στιγμιαίες αιχμές και βυθίσεις τάσης (θόρυβος) πάνω στο παλμό, αυτός ο θόρυβος γίνεται πιο έντονος καθώς αυξάνεται το φορτίο του κινητήρα.



Εικόνα 33 Παλμοσειρά επιστροφής από τον αισθητήρα Hall

Η μέτρηση των παλμών από το σύστημα ελέγχου, όπως θα δούμε αναλυτικά στην περιγραφή του κώδικα, βασίζεται σε ενεργοποίηση interrupt με το θετικό μέτωπο παλμού. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων όταν οδηγούσαμε τους παλμούς στις εισόδους του ArduinoUno για να μετρήσουμε τον αριθμό τους, αυτός θεωρούσε τις στιγμιαίες αυτές μεταβολές ως πραγματικά σήματα παλμών και μετρούσε τον αριθμό τους, το αποτέλεσμα ήταν να έχουμε σφάλματα στις μετρήσεις που θα χρησιμοποιηθούν για την οδομετρία ή τον κινητικό έλεγχο του οχήματος. Για να μπορέσουμε να αντιμετωπίσουμε αυτό το πρόβλημα είναι απαραίτητο να απομακρύνουμε τον θόρυβο από το πραγματικό σήμα, για να το πετύχουμε αυτό χρησιμοποιήσαμε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, το TTL 74LS14 που είναι ένα Schmitt trigger ψηφιακό ολοκληρωμένο κύκλωμα με έξι αναστροφείς [21].

Connection Diagram



Εικόνα 34 Διάγραμμα σύνδεσης TTL 74LS14

Το 74LS14 λειτουργεί ως αναστροφέας σήματος σε στάθμες TTL, με την λειτουργία Schmitt trigger η έξοδος του αναστροφέα παραμένει σταθερή για μεγάλο διάστημα μεταβολής του σήματος εισόδου, αυτή την ιδιότητα εκμεταλλευόμαστε ώστε να απομονώσουμε τον θόρυβο από το κυρίως σήμα του αισθητήρα και να οδηγήσουμε «καθαρή» παλμοσειρά στην είσοδο του Arduino. Χρησιμοποιώντας ένα αναστροφέα του 74LS14 καθαρίζουμε το σήμα αλλά το παίρνουμε αναστραμμένο, για να το φέρω και πάλι στην αρχική του κατάσταση το περνούμε μέσα και από δεύτερο αναστροφέα του ίδιου ολοκληρωμένου οπότε πετυχαίνω να έχω την αρχική φάση του σήματος.

Συνολικά χρησιμοποιούνται τέσσερις αναστροφείς του ολοκληρωμένου, δύο για το σήμα του δεξιού τροχού και δύο για το σήμα του αριστερού τροχού.

Ενεργοποίηση φρένων

Όπως έχουμε δει στις ιδιότητες του ελεγκτή κινητήρων υπάρχει η δυνατότητα ηλεκτρικής πέδησης του κινητήρα. Κατά την λειτουργία του οχήματος σε πολλές περιπτώσεις χρειάζεται να έχουμε άμεσο σταμάτημα του οχήματος, αυτό το πετυχαίνουμε εφαρμόζοντας ολική πέδηση στους τροχούς του. Για να καταφέρουμε μέσω του Arduino να ενεργοποιήσουμε την διαδικασία πέδησης χρησιμοποιούμε δύο relay (ένα για κάθε κινητήρα) τα οποία τα ενεργοποιούμε για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μέσω του κώδικα ελέγχου. Στην κύρια NO επαφή του κάθε relay συνδέονται τα κόκκινο και γκρι καλώδιο του ακροδέκτη Electronic Break οπότε κάθε φορά που ενεργοποιώ το relay, τα 5V του κόκκινου ακροδέκτη εφαρμόζονται στον γκρι ακροδέκτη, με αποτέλεσμα την άμεση ακινητοποίηση του οχήματος. Ο χρόνος

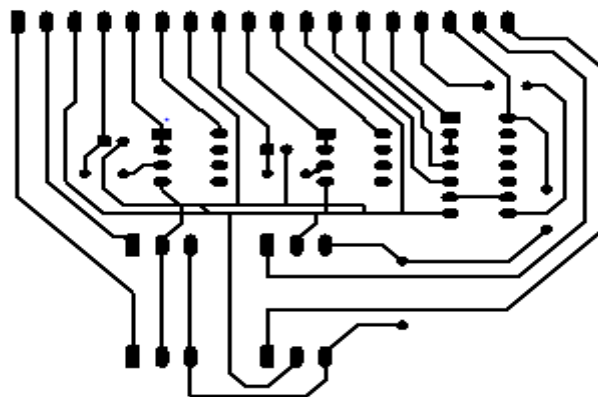
ακίνητοποίησης κυμαίνεται από 0.5 έως 2 sec και εξαρτάτε τόσο από την ταχύτητα που έχει το όχημα όσο και από το φορτίο του.

Αλλαγή φοράς περιστροφής

Κατά την λειτουργία του οχήματος για να μπορεί αυτό να κινηθεί με εμπροσθοπορεία ή οπισθοπορεία οι δύο κινητήρες θα πρέπει να περιστρέφονται με αντίθετες φορές, και αυτό γιατί οι κινητήρες είναι τοποθετημένοι στο όχημα ο ένας απέναντι από το άλλον με αντίθετη κατεύθυνση. Οι ελεγκτές που έχουμε επιλέξει να χρησιμοποιήσουμε στην εργασία μας, έχουν την δυνατότητα να αλλάξουν την φορά περιστροφής του κινητήρα που ελέγχουν βραχυκυκλώνοντας ή αποβραχυκυκλώνοντας τους ακροδέκτες Revershe. Κατά την λειτουργία του οχήματος την αλλαγή της φοράς περιστροφής την πετυχαίνω από τον αλγόριθμο ελέγχου του οχήματος μέσω δύο relay που βραχυκυκλώνουν ή αποβραχυκυκλώνουν τους ακροδέκτες Revershe.

Σχεδίαση ηλεκτρονικού κυκλώματος

Τα κυκλώματα προσαρμογής σημάτων καθώς και η τοποθέτηση των relay στο όχημα έγινε χρησιμοποιώντας διάτρητη πλακέτα ηλεκτρονικών κατασκευών. Το ηλεκτρονικό σχέδιο φαίνεται στην εικόνα 32 ενώ στην εικόνα 35 φαίνεται το τυπωμένο κύκλωμα το οποίο προβλέπεται να κατασκευασθεί για να τοποθετηθούν όλα τα προαναφερθέντα υλικά. Το PCB κύκλωμα σχεδιάστηκε με τη χρήση του ελεύθερου σχεδιαστικού πακέτου KiCad.



Εικόνα 35 Τυπωμένο κύκλωμα προσαρμογής

Οι διασύνδεση της πλακέτας με τα στοιχεία του οχήματος γίνεται μέσω των ακροδεκτών σύνδεσής της, σύμφωνα με τον πίνακα Νο 5 που ακολουθεί:

Ακροδέκτης PCB κυκλώματος	Λειτουργία	Σύνδεση με στοιχείο του οχήματος
1	Ενεργοποίηση του Relay φρένου του Δεξιού κινητήρα	Pin Arduino No A0
2	Ενεργοποίηση του Relay φρένου του αριστερού κινητήρα	Pin Arduino No A1
3	GRD	GRD Arduino
4	Σήμα PWM για τον έλεγχο ταχύτητας Δεξιού κινητήρα	Pin Arduino No 5
5	Επιστροφή σήματος Throttle για τον έλεγχο ταχύτητας στον Δεξιό κινητήρα	Κλέμα No 8
6	Τάση εισόδου + 4,3 V (Throttle για τον έλεγχο ταχύτητας στον Δεξιό κινητήρα)	Κλέμα No 7
7	Τάση εισόδου 0 V (Throttle για τον έλεγχο ταχύτητας στον Δεξιό κινητήρα	Κλέμα No 9
8	Σήμα PWM για τον έλεγχο ταχύτητας Αριστερού κινητήρα	Pin Arduino No 6
9	Επιστροφή σήματος Throttle για τον έλεγχο ταχύτητας στον Αριστερό κινητήρα	Κλέμα No 11

10	Τάση εισόδου + 4,3 V (Throttle για τον έλεγχο ταχύτητας στον Αριστερό κινητήρα)	Κλέμα No 10
11	Τάση εισόδου 0 V (Throttle για τον έλεγχο ταχύτητας στον Αριστερό κινητήρα)	Κλέμα No 12
12	Σήμα για μέτρηση παλμών από τον αισθητήρα Hall του αριστερού κινητήρα	Κλέμα No 24
13	Επεξεργασμένο σήμα μέτρησης παλμών από τον Δεξιό κινητήρα.	Pin Arduino No 2 interrupt No 0
14	Σήμα για μέτρηση παλμών από τον αισθητήρα Hall του Δεξιού κινητήρα	Κλέμα No 13
15	Επεξεργασμένο σήμα μέτρησης παλμών από τον Αριστερό κινητήρα.	Pin Arduino No 3 interrupt No 1
16	+ 5V Dc Arduino	+5V Dc Arduino
17	Ενεργοποίηση του Relay αναστροφής κίνησης του Αριστερού κινητήρα	Pin Arduino No 13
18	Ενεργοποίηση του Relay αναστροφής κίνησης του Δεξιού κινητήρα	Pin Arduino No 12

Πίνακας 5 Ακροδέκτες PCB κυκλώματος

Σύστημα Ελέγχου

Το σημαντικότερο κομμάτι στην κατασκευή του ρομποτικού οχήματος είναι η κεντρική μονάδα ελέγχου του συστήματος. Στο **σύστημα ελέγχου**, εκτελείται ο αλγόριθμος λειτουργίας του ρομπότ, λαμβάνει και επεξεργάζεται τα στοιχεία από

τους αισθητήρες, και δίνει τις κατάλληλες εντολές στους επενεργητές ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στο όχημα που κατασκευάζουμε έχουν τοποθετηθεί δύο μονάδες ελέγχου, το αναπτυξιακό Arduino Uno ως ελεγκτής χαμηλού επιπέδου που πάνω σε αυτό συνδέονται και συντονίζονται όλα τα επιμέρους τμήματα του συστήματος, (αισθητήρες, μοτέρ, σειριακή επικοινωνία, σερβομηχανισμοί κ.α.). Ενώ ως ελεγκτής υψηλού επιπέδου χρησιμοποιείται ο RaspberryPi ο οποίος επικοινωνεί μέσω USB με τον Arduino Uno και μέσω Wi-Fi με τον χρήστη.

Διασύνδεση μονάδων ελέγχου

Αναθέσεις των pins του ArduinoUno

Για να ελέγξουμε τις κινήσεις και τους αισθητήρες του οχήματος χρησιμοποιούμε τις 18 θύρες του ArduinoUno, οριζόμενες ως εισόδους ή εξόδους. Στον πίνακα Νο 6 παρουσιάζεται οι χρήση κάθε θύρας.

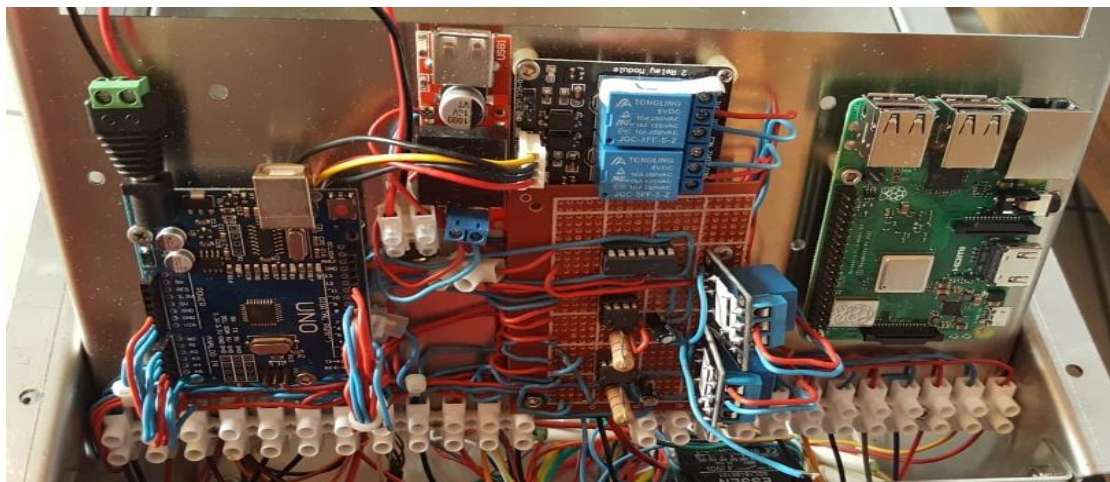
Αριθμός pin Arduino	Λειτουργία	τύπος
2	Μέτρηση παλμών δεξιού κινητήρα	Input interrupt 0
3	Μέτρηση παλμών αριστερού κινητήρα	Input interrupt 1
4	Κεντρικό Stop	Input
5	Ταχύτητα δεξιού κινητήρα	PWM Output
6	Ταχύτητα αριστερού κινητήρα	PWM Output
7	Reset (μηδενισμός των μετρήσεων)	Input
8	Echopin (επιστροφή από τον ακροδέκτη echo του αριστερού μετρητή απόστασης.	Input
9	Trigpin (αποστολή παλμού στον ακροδέκτη trig του αριστερού μετρητή απόστασης.	Output

10	Echopin (επιστροφή από τον ακροδέκτη echo του δεξιού μετρητή απόστασης.	Input
11	Trigpin (αποστολή παλμού στον ακροδέκτη trig του δεξιού μετρητή απόστασης	Output
12	Αναστροφή κίνησης δεξιού κινητήρα	Output
13	Αναστροφή κίνησης αριστερού κινητήρα	Output
A0	Ενεργοποίηση φρένου δεξιού κινητήρα	Output
A1	Ενεργοποίηση φρένου αριστερού κινητήρα	Output
A2	Ορίζω την κατάσταση λειτουργίας του οχήματος ώστε να οδηγείται για ορισμένο χρόνο με ορισμένη ταχύτητα σε κάθε κινητήρα.	Input
A3	Ορίζω την κατάσταση λειτουργίας του οχήματος ώστε να κινείται για ορισμένο αριθμό παλμών (ορισμένη απόσταση).	Input
A4	Echopin (επιστροφή από τον ακροδέκτη echo του μετρητή οπίσθιας απόστασης.	Input
A5	Trigpin (αποστολή παλμού στον ακροδέκτη trig του μετρητή οπίσθιας απόστασης	Output

Πίνακας 6 Αναθέσεις Pins ArduinoUno

Διασύνδεση κλεμοσειράς

Η τοποθέτηση των μικροελεγκτών, (ArduinoUno και RaspberryPi), του κυκλώματος προσαρμογής και των μετατροπέων τάσης για την τροφοδότηση των μικροελεγκτών έγινε σε μεταλλική επιφάνεια που είναι τοποθετημένη στο εμπρόσθιο τμήμα του οχήματος, ενώ η στερέωση τους πάνω σ' αυτή έγινε με μονωτικούς αποστάτες και βίδες. Η διασύνδεση με τα διάφορα μέρη του κυκλώματος έγινε μέσω κλεμοσειράς που είναι τοποθετημένη στην ίδια μεταλλική επιφάνεια (εικόνα 36).



Εικόνα 36 Τοποθέτηση ελεγκτών στο όχημα

Στον πίνακα Νο 7 φαίνεται η αντιστοιχία των συνδέσεων της κλεμοσειράς που βρίσκεται τοποθετημένη στην μεταλλική επιφάνεια κάτω από τους μικροελεγκτές.

Αριθμός κλέμας (Αρίθμηση αριστερά)	Συνδέσεις
1	GRN (κοινή γείωση του συστήματος)
2	+ 5V (τροφοδοσία από ArduinoUno)
3	Trig pin δεξιού αισθητήρα, συνδέεται στο pin 11 του Arduino
4	Echo pin δεξιού αισθητήρα, συνδέεται στο pin 10 του Arduino

5	Trig pin αριστερού αισθητήρα, συνδέεται στο pin 9 του Arduino
6	Echo pin αριστερού αισθητήρα συνδέεται στο pin 8 του Arduino
7	+4,3 V Throttle δεξιού κινητήρα (κόκκινο) Συνδέεται με Pin 8 του LM 358 (No1)
8	Επιστροφή Throttle δεξιού κινητήρα (λευκό) Συνδέεται με Pin 1 του LM 358 (No1)
9	0 V Throttle δεξιού κινητήρα (μαύρο) Συνδέεται με Pin 4 του LM 358 (No1)
10	+4,3 V Throttle αριστερού κινητήρα (κόκκινο) Συνδέεται με Pin 8 του LM 358 (No2)
11	Επιστροφή Throttle αριστερού κινητήρα (λευκό) Συνδέεται με Pin 1 του LM 358 (No2)
12	0 V Throttle αριστερού κινητήρα (μαύρο) Συνδέεται με Pin 1 του LM 358 (No2)
13	Παλμός hall από τον δεξιό κινητήρα (πράσινο) Συνδέεται με Pin 1 του 74LS14
14	GRN του αισθητήρα hall από τον δεξιό κινητήρα (μαυρο) Συνδέεται στην κοινή γείωση του συστήματος.
15	Ακροδέκτης Reverse δεξιού κινητήρα (μαυρο) συνδέεται στην COM του relay R
16	Ακροδέκτης Reverse δεξιού κινητήρα (γκρι) συνδέεται στην NO του relay R
17	Ακροδέκτης Reverse Αριστερού κινητήρα (μαύρο)

	συνδέεται στην COM του relay L
18	Ακροδέκτης Reverse Αριστερού κινητήρα (γκρι) συνδέεται στην NC του relay L
19	Ηλεκτρικό φρένο δεξιού κινητήρα (κόκκινο) συνδέεται στην COM relay Break R
20	Ηλεκτρικό φρένο δεξιού κινητήρα (γκρι) συνδέεται στην NO relay Break R
21	Ηλεκτρικό φρένο Αριστερού κινητήρα (κόκκινο) συνδέεται στην COM relay Break L
22	Ηλεκτρικό φρένο Αριστερού κινητήρα (γκρι) συνδέεται στην NO relay Break L
23	GRN του αισθητήρα hall από τον Αριστερό κινητήρα (μαυρο) Συνδέεται στην κοινή γείωση του συστήματος
24	Παλμός hall από τον Αριστερό κινητήρα (κόκκινο) Συνδέεται με Pin 5 του 74LS14

Πίνακας 7 Αντιστοιχία των συνδέσεων της εμπρόσθιας κλεμοσειράς

Στον πίνακα Νο 8 φαίνεται η αντιστοιχία των συνδέσεων στην κλεμοσειρά που βρίσκεται τοποθετημένη στο πίσω μέρος της μεταλλικής επιφάνειας των μικροελεγκτών.

Αριθμός κλέμας (αρίθμηση από δεξιά)	Συνδέσεις
1 πίσω κλέμας	Trig pin του αισθητήρα μέτρησης της πίσω απόστασης. Συνδέεται στο Pin A5 του arduino
2 πίσω κλέμας	Echo pin του αισθητήρα μέτρησης της πίσω απόστασης. Συνδέεται στο Pin A4 του arduino

3 πίσω κλέμας	Επιστροφή από τον διακόπτη επιλογής λειτουργίας. Συνδέεται στο Pin A2 του arduino
4 πίσω κλέμας	Επιστροφή από τον διακόπτη επιλογής λειτουργίας. Συνδέεται στο Pin A3 του arduino

Πίνακας 8 Αντιστοιχία των συνδέσεων στην πίσω κλεμοσειρά

Οι θύρες του Arduino που συνδέονται άμεσα με το κύκλωμα προσαρμογής σημάτων φαίνονται στον πίνακα Νο 9.

pin Arduino	Λειτουργία	Σύνδεση
2	Μέτρηση παλμών δεξιού κινητήρα	Στο pin 4 του 74LS14
3	Μέτρηση παλμών αριστερού κινητήρα	Στο pin 8 του 74LS14
4	Επιστροφή από τον διακόπτη STOP	Συνδέεται στο Pin 4 του arduino
5	Ταχύτητα δεξιού κινητήρα	Συνδέεται με την αντίσταση εισόδου 4,7KΩ που οδηγεί το PWM σήμα στο Pin 3 του LM 358 (No1)
6	Ταχύτητα αριστερού κινητήρα	Συνδέεται με την αντίσταση εισόδου 4,7KΩ που οδηγεί το PWM σήμα στο Pin 3 του LM 358 (No2)
7	Επιστροφή από τον διακόπτη RESET	Συνδέεται στο Pin 7 του arduino
12	Αναστροφή κίνησης δεξιού κινητήρα	Συνδέεται στο pin έλεγχου του relay Reverse R
13	Αναστροφή κίνησης αριστερού κινητήρα	Συνδέεται στο pin έλεγχου του relay Reverse L
A0	Ενεργοποίηση φρένου δεξιού κινητήρα	Συνδέεται στο pin έλεγχου του relay Break R
A1	Ενεργοποίηση φρένου αριστερού κινητήρα	Συνδέεται στο pin έλεγχου του relay Break L

Πίνακας 9 Θύρες του Arduino που συνδέονται ΑΜΕΣΑ με το κύκλωμα προσαρμογής

Προγραμματισμός του ArduinoUno

Με σκοπό την λειτουργία του ρομποτικού οχήματος ώστε αυτό να μπορεί να κινείται αυτόνομα, να εκτελεί εντολές του χειριστή και να αποφεύγει εμπόδια που θα βρεθούν στην πορεία του, δημιουργήσαμε ένα κώδικα προγράμματος που εκτελείται συνεχώς από τον ελεγκτή χαμηλού επιπέδου, παράλληλα στέλνει συνεχώς δεδομένα μέσω των Rostoricks στον ελεγκτή υψηλού επιπέδου (RasbperyPi), ενώ όταν το όχημα είναι σε χρονική λειτουργία τότε αυτό δέχεται μέσω των αντίστοιχων Rostoricks δεδομένα σχετικά με την ταχύτητα με την οποία θα κινηθεί ο κάθε τροχός, καθώς τον χρόνο της αντίστοιχης κίνησης.

Ο κώδικας είναι δομημένος σε υπορουτίνες οι οποίες εκτελούνται όταν αυτές κληθούν από το κυρίως πρόγραμμα.

Η βασική δομή του προγράμματος είναι αυτή ενός κλασικού δομημένου προγράμματος Arduino που αποτελείτε από:

- Εισαγωγή των απαραίτητων βιβλιοθηκών για την λειτουργία του προγράμματος και την επικοινωνία του με τον ελεγκτή υψηλού επιπέδου σε περιβάλλον Ros.
- Το τμήμα όπου γίνεται η δήλωση των pin και των μεταβλητών .
- Η αρχικοποίηση των node και toricks μέσω των οποίων θα γίνει η επικοινωνία με τον χρήστη.
- `void setup ()` Όπου γίνονται οι δηλώσεις τω pin και οι αρχικοποιήσεις τιμών στις μεταβλητές
- `void loop ()` Όπου υπάρχει ο κύριος Κώδικας του προγράμματος.
- στη συνέχεια υπάρχουν συναρτήσεις (υπορουτίνες) οι οποίες εκτελούνται όταν κληθούν από το κυρίως πρόγραμμα.
- `void Metrisi_apostasis ()`
- `void Move_Forward()`
- `void turn_Left()`
- `void turn_Right()`
- `void Move_Back()`

- *void STOP_Back()*
- *void Metrisi_apostasis_Piso ()*
- *void Move_Stop()*

Οι βασικές λειτουργίες του κώδικα, όπως αυτές φαίνονται στο διάγραμμα ροής του προγράμματος, (εικόνα 37) είναι:

Έλεγχος για το αν είναι ενεργοποιημένο το κεντρικό STOP του οχήματος, αν αυτό είναι ενεργοποιημένο τότε εκτελεί την **void Move_Stop()** για σταμάτημα του οχήματος, αν δεν είναι ενεργοποιημένο κάνει έλεγχο για τον τρόπο (mode) λειτουργίας του οχήματος (αυτόνομη κίνηση, κίνηση με ορισμό ταχύτητας και χρόνου ή κίνηση για συγκεκριμένη απόσταση).

Αν το mode λειτουργίας είναι κίνηση με ορισμό ταχύτητας και χρόνου ή κίνηση για συγκεκριμένη απόσταση, τότε περιμένει από τον χειριστή να του δώσει δεδομένα και στη συνέχεια ακολουθεί την κανονική ροή του προγράμματος.

Αν το mode λειτουργίας είναι αυτόνομη κίνηση τότε καλεί την συνάρτηση **void Metrisi_apostasis ()** που κάνει μέτρηση απόστασης των μπροστινών αισθητήρων.

Αν η απόσταση από κάποιο εμπόδιο είναι μεγαλύτερη από 60cm τότε εκτελεί την υπορουτίνα **void Move_Forward()** ορίζει ταχύτητες στους κινητήρες και το όχημα κινείται προς τα εμπρός, ενώ παράλληλα εκτελεί μετρήσεις των εμπρός αποστάσεων.

Αν η απόσταση της δεξιάς πλευράς από κάποιο εμπόδιο είναι μεταξύ 30 και 60 cm τότε το όχημα σταματάει με ενεργοποίηση των φρένων, καλεί την υπορουτίνα **void turn_Left()** εκτελεί αριστερή στροφή.

Στη συνέχεια ξανακάνει μέτρηση απόστασης και:

Ή θα πάει εμπρός αν η απόσταση από κάποιο εμπόδιο είναι μεγαλύτερη από 60cm

Ή θα ξανά στρίψει αριστερά αν η απόσταση της δεξιάς πλευράς από κάποιο εμπόδιο είναι μεταξύ 30 και 60 cm.

Ή θα στρίψει δεξιά αν η απόσταση της αριστερής πλευράς από κάποιο εμπόδιο είναι μεταξύ 30 και 60 cm.

Η θα κινηθεί προς τα πίσω αν η απόσταση από κάποιο εμπόδιο είναι μικρότερη από 30cm καλώντας την **void Move_Back()**.

Αν η απόσταση της αριστερής πλευράς από κάποιο εμπόδιο είναι μεταξύ 30 και 60 cm τότε το όχημα σταματάει με ενεργοποίηση των φρένων, καλεί την υπορουτίνα **void turn_Right()** εκτελεί δεξιά στροφή.

Στη συνέχεια ξανακάνει μέτρηση απόστασης και:

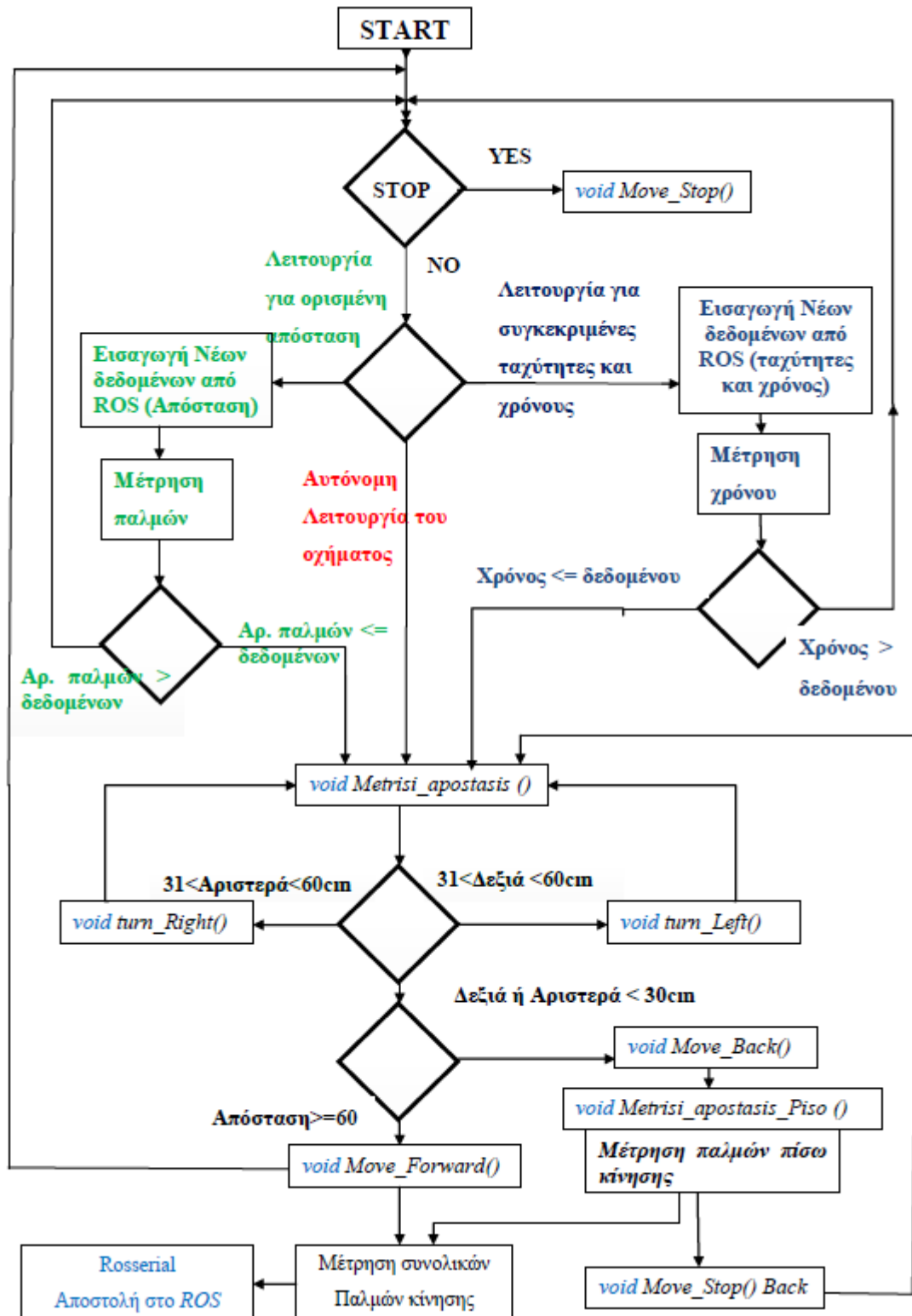
Η θα πάει εμπρός αν η απόσταση από κάποιο εμπόδιο είναι μεγαλύτερη από 60cm

Η θα ξανά στρίψει δεξιά αν η απόσταση της αριστερής πλευράς από κάποιο εμπόδιο είναι μεταξύ 30 και 60 cm.

Η θα στρίψει αριστερά αν η απόσταση της δεξιάς πλευράς από κάποιο εμπόδιο είναι μεταξύ 30 και 60 cm.

Η θα κινηθεί προς τα πίσω αν η απόσταση από κάποιο εμπόδιο είτε της δεξιάς είτε της αριστερής πλευράς είναι μικρότερη από 30cm καλώντας την **void Move_Back()**.

Όταν το όχημα κινείται με οπισθοπορεία τότε ενεργοποιεί την υπορουτίνα **void Metrisi_apostasis_Piso ()** και θα κινηθεί με οπισθοπορεία, είτε για μια απόσταση 15 παλμών (62cm) είτε μέχρι που να συναντήσει κάποιο εμπόδιο σε απόσταση μικρότερη των 30cm, οπότε θα σταματήσει την οπισθοπορεία καλώντας την **void STOP_Back()** με ενεργοποίηση των φρένων. Στην συνέχεια θα ξανακάνει μετρήσεις εμπρόσθιας απόστασης, και θα επαναλάβει όλες τις προηγούμενες ενέργειες. Στην εικόνα 37 που ακολουθεί φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα ροής του κώδικα ελέγχου του οχήματος.



Εικόνα 37 Block διάγραμμα ροής του προγράμματος

Μέτρηση παλμών

Για την μέτρηση των παλμών που δέχεται ο μικροελεγκτής από τους τροχούς έχω δημιουργήσει δύο υπορουτίνες την **long pulse_TIME_Rising_R ()** και την **long pulse_TIME_Rising_L ()** που εκτελούνται με ενεργοποίηση interrupt.

Χρησιμοποιώ το interrupt 0 και το interrupt 1 του Arduino που ενεργοποιούνται κάθε φορά που το pin 2 ή το pin 3 του δεχθούν θετικό μέτωπο παλμού.

attachInterrupt (0,pulse_TIME_Rising_R,RISING); //Ορίζω το interrupt 0 (από το pin 2) το οποίο ενεργοποιείται από το θετικό μέτωπο του παλμού που έρχεται από το αισθητήρα Hall του Δεξιού τροχού και ενεργοποιεί την ρουτίνα **pulse_TIME_Rising_R**

attachInterrupt (1,pulse_TIME_Rising_L,RISING); //Ορίζω το interrupt 1 (από το pin 3) το οποίο ενεργοποιείται από το θετικό μέτωπο του παλμού που έρχεται από το αισθητήρα Hall του Αριστερού τροχού και ενεργοποιεί την ρουτίνα **pulse_TIME_Rising_L**

long pulse_TIME_Rising_R ()

{ metrisiR=metrisiR+(1*revershR1); } //Κάθε φορά που ενεργοποιείτε το interrupt 0 αυξάνει ή μειώνει (ανάλογα με την φορά της κίνησης) τον μετρητή **metrisiR** κατά 1

long pulse_TIME_Rising_L ()

{ metrisiL=metrisiL+(1*revershL1); } //Κάθε φορά που ενεργοποιείτε το interrupt 1 αυξάνει ή μειώνει (ανάλογα με την φορά της κίνησης) τον μετρητή **metrisiL** κατά 1

Σύνδεση ROS Arduino

Για την επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες του οχήματος σε υψηλότερο προγραμματιστικό επίπεδο και την αλληλεπίδραση του οχήματος με τον χρήστη – χειριστή του δημιουργήθηκε από μέρος της ομάδος κατάλληλο λογισμικό σε περιβάλλον ROS το οποίο και εκτελείται στον υπολογιστή RaspberryPi που βρίσκεται τοποθετημένος στο όχημα. Η σύνδεση των δύο

υπολογιστικών συστημάτων γίνεται μέσω της θύρας USB. Τα δεδομένα που μεταφέρονται στο ROS μέσω του Arduino είναι:

- Ο αριθμός παλμών που παράγονται από τους αισθητήρες Hall που βρίσκονται ενσωματωμένοι στους τροχούς του οχήματος, μέσω των αριθμών παλμών και μετά τους κατάλληλους υπολογισμούς μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες για την ταχύτητα κίνησης του οχήματος, το είδος της κίνησης του (εμπροσθοπορεία ή οπισθοπορεία), ή τον εντοπισμό της θέσης του οχήματος, με την προϋπόθεση ότι γνωρίζουμε το σημείο εκκίνησης και την αρχική του κατεύθυνση.
- Οι μετρήσεις των αισθητήρων υπερήχων που δηλώνουν την απόσταση του οχήματος από τυχόν εμπόδια που βρίσκονται στην πορεία του. Όταν το όχημα κινείται με εμπροσθοπορεία τότε στέλνονται στο ROS μετρήσεις από τους δύο αισθητήρες που βρίσκονται στο εμπρόσθιο μέρος του οχήματος, ενώ όταν αυτό εκτελεί οπισθοπορεία τότε στέλνουμε στο ROS μετρήσεις από τον αισθητήρα που βρίσκεται στο πίσω μέρος του οχήματος.

Ενώ ο χρήστης μπορεί να τροφοδοτήσει το όχημα με πληροφορίες μέσω του ROS με:

- Δεδομένα σχετικά με την επιθυμητή ταχύτητα των τροχών, που στην πραγματικότητα είναι επίπεδο στάθμης PWM των εξόδων του Arduino (βλέπε πίνακα 4 όπου φαίνεται η αντιστοίχιση στάθμης PWM σε σχέση με την ταχύτητα κίνησης του οχήματος).
- Ο επιθυμητός χρόνος κίνησης του οχήματος με τις συγκεκριμένες ταχύτητες τροχών, με τον τρόπο αυτό μπορούμε να οδηγήσουμε το όχημα να εκτελέσει συγκεκριμένη πορεία.
- Σήμα Reset με το οποίο μπορούμε να μηδενίσουμε τις μετρήσεις των παλμών που δηλώνουν την κίνηση που έκανε κάθε τροχός και πραγματοποιήθηκαν από τον ελεγκτή Arduino.

Η επικοινωνία του ROS με το Arduino γίνεται χρησιμοποιώντας το πακέτο `rosserial_arduino`. Το `rosserial` είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας ROS που

λειτουργεί πάνω από το UART του Arduino. Το `roserial` Επιτρέπει στο Arduino να είναι ένας πλήρης κόμβος ROS, ο οποίος μπορεί να δημοσιεύσει και να δεχθεί μηνύματα ROS.

Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε το πρωτόκολλο `roserial` είναι απαραίτητη η εισαγωγή της βιβλιοθήκης `ros.h` στον κώδικα του `arduino`. Η εισαγωγή της βιβλιοθήκης γίνεται όπως όλες οι βιβλιοθήκες του Arduino χρησιμοποιώντας την εντολή: `#include <ros.h>`, ενώ είναι απαραίτητη και η εισαγωγή της `std_msgs/String`.

Στη συνέχεια εγκαθιστούμε στο `raspberrPi` το πρωτόκολλο `roserial` για Arduino εκτελώντας στο τερματικό του `Ubudu` τις παρακάτω εντολές.

```
sudo apt-get install ros-indigo-roserial-arduino
sudo apt-get install ros-indigo-roserial
```

Ενώ με τις:

```
git clone https://github.com/ros-drivers/roserial.git
catkin_make
```

Δημιουργείτε το `roserial_msgs` που είναι απαραίτητο για την επικοινωνία και δημιουργούν τη βιβλιοθήκη `ros_lib`.

Η εγκατάσταση της βιβλιοθήκης στον περιβάλλον του Arduino γίνεται απευθείας στον IDE ανοίγοντας τον διαχειριστή βιβλιοθηκών από το μενού IDE στο `Sketch -> Include Library -> Manage Library`. και στη συνέχεια, αναζητούμε και εγκαθιστούμε την "roserial".

Στον κώδικα ελέγχου του οχήματος που εκτελείται από τον Arduino αφού εισάγω τις απαραίτητες βιβλιοθήκες στη συνέχεια ορίζω τον τύπο των μηνυμάτων που θα στέλνει στο ROS ως μεταβλητές, σε τύπο `Float64` με την: `std_msgs::Float64 metrisiR`, ενώ με την `ros::Publisher countR("count_topicR", &metrisiR2);` Στέλνω στο `Rostopick` `count_topicR` την τιμή `metrisiR2` μέσω του κόμβου `countR`. που είναι ο αριθμός παλμών που παράγονται από τον δεξιό τροχό του οχήματος.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις τιμές της μεταβλητής *metrisiL2* που είναι ο αριθμός παλμών που παράγονται από τον αριστερό τροχό του οχήματος και με την `ros::Publisher countL("count_topicL", &metrisiL2)`; τις στέλνω στο Rostopick `count_topicL` την τιμή *metrisiL2* μέσω του κόμβου `countL`.

Ενώ με την `ros::Publisher pub_rangeL("ultrasoundL", &apostasiL1)`; στέλνω στο Rostopick `ultrasoundL` την τιμή *apostasiL1* που είναι η μέτρηση απόστασης του εμπρόσθιου αριστερού αισθητήρα και μας πληροφορεί για την ύπαρξη εμποδίων στην πορεία του robot. Με την `ros::Publisher pub_rangeR("ultrasoundR", &apostasiR1)` στέλνω στο Rostopick `ultrasoundR` την τιμή *apostasiR1* που είναι η μέτρηση απόστασης του εμπρόσθιου δεξιού αισθητήρα και μας πληροφορεί για την ύπαρξη εμποδίων στην πορεία του robot. Με την `ros::Publisher pub_rangeBack("ultrasoundBack", &apostasiBack1)`; στέλνουμε στο Rostopick `ultrasoundBack` τις μετρήσεις του αισθητήρα απόστασης που βρίσκετε στο πίσω μέρος του οχήματος. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας ενεργοποιείτε μόνον όταν το όχημα εκτελεί οπισθοπορεία.

Μέσω του sceths `ptyxiaki_5_4_2019.py` της python (Παράρτημα II) που εκτελείτε σε περιβάλλον ROS στέλνω στο Arduino δεδομένα για:

- Την επιθυμητή ταχύτητα του δεξιού τροχού μέσω της μεταβλητής **Rvel**.
- Την επιθυμητή ταχύτητα του αριστερού τροχού μέσω της μεταβλητής **Lvel**.
- Του επιθυμητού χρόνου κίνησης τροχών μέσω της **time**.
- Και του σήματος μηδενισμού μετρήσεων μέσω της μεταβλητής **Reset**

Οι τιμές των παραπάνω μεταβλητών αποδίδονται στους κόμβους **pub**, **p**, **time1** και **Reset1** και στη συνέχεια δημοσιεύονται στα Rostopics **vel_Right**, **vel_Left**, **MOVE_Time_Front** και **Reset_ROS** αντίστοιχα με τις ακόλουθες συναρτήσεις.

```
pub = rospy.Publisher('vel_Right', Float64, queue_size=10)
```

```
p = rospy.Publisher('vel_Left', Float64, queue_size=10)
```

```
time1 = rospy.Publisher('MOVE_Time_Front', Float64, queue_size=10)
```

```
Reset1 = rospy.Publisher('Reset_ROS', Float64, queue_size=10)
```

Με πρόγραμμα που εκτελείτε στον ελεγκτή Arduino διαβάζουμε τα δεδομένα που στέλνουμε στα Rostopic και στη συνέχεια αποδίδονται στις μεταβλητές που θέλουμε να τροποποιήσουμε.

Ως αναφορά την ταχύτητα του δεξιού τροχού που θέλουμε να την αποδώσουμε στην μεταβλητή **VEL_R** έχουμε:

Με την: `ros::Subscriber<std_msgs::Float64> velocityR("vel_Right", &VEL_Right);`
 Διαβάζουμε τα δεδομένα του Rostopic **vel_Right** και τα αποδίδουμε στην μεταβλητή **VEL_Right**.

Στη συνέχεια η μεταβλητή **VEL_Right** μεταφέρεται στην **VEL_R**, την οποία και θέλουμε να ελέγξουμε – τροποποιήσουμε, με τις:

```
void VEL_Right(const std_msgs::Float64& VEL_Right1)
{ VEL_R=VEL_Right1.data; }
```

Ως αναφορά την ταχύτητα του Αριστερού τροχού που θέλουμε να την αποδώσουμε στην μεταβλητή **VEL_L** έχουμε:

Για να διαβάσουμε τα δεδομένα του Rostopic **vel_Left** και τα αποδίδουμε στην μεταβλητή **VEL_Left**

```
ros::Subscriber<std_msgs::Float64> velocityL("vel_Left", &VEL_Left);
```

και με τις

```
void VEL_Left(const std_msgs::Float64& VEL_Left1) {
    VEL_L=VEL_Left1.data; }
```

Η μεταβλητή **VEL_Left** μεταφέρεται στην **VEL_L**

Η υπορουτίνα με την οποία ο Arduino διαβάζει το Rostopic **MOVE_Time_Front** και δίνει τιμή στην μεταβλητή **MOVE_Time_Front** που είναι ο χρόνος κίνησης του οχήματος όταν αυτό βρίσκεται σε χρονική λειτουργία είναι:

```
ros::Subscriber<std_msgs::Float64> movetime("MOVE_Time_Front", &move_time);
```

Η μεταβλητή **move_time** μεταφέρεται στην **MOVE_Time_Front** που είναι ο χρόνος κίνησης του οχήματος για τις συγκεκριμένες ταχύτητες με τις:

```
void move_time(const std_msgs::Float64& move_time1)
{ MOVE_Time_Front=move_time1.data; }
```

Με σκοπό να διαγράψουμε τις μετρήσεις των παλμών κίνησης μέσω περιβάλλοντος ROS δίνουμε την τιμή 0 στην μεταβλητή **RosReset**:

Για να διαβάσουμε την τιμή του Rostopic **Reset_ROS** και να την αποδόσουμε στην μεταβλητή **RosReset** χρησιμοποιούμε την:

```
ros::Subscriber<std_msgs::Float64> RosReset2("Reset_ROS", &Ros_Reset);
```

Ενώ η μεταβλητή **Ros_Reset1** μεταφέρεται στην **RosReset** με τις:

```
void Ros_Reset(const std_msgs::Float64& Ros_Reset1  
{ RosReset=Ros_Reset1.data; }
```

Ο σχολιασμένος κώδικας του προγράμματος παραθέτετε στο παράρτημα της πτυχιακής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Εισαγωγή

Με την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, η οποία αποτελεί μέρος συνολικού έργου μελέτης, σχεδίασης και κατασκευής αυτόνομου ρομποτικού ηλεκτροκίνητου οχήματος, μελετήσαμε το ηλεκτρολογικό - ηλεκτρονικό μέρος της κατασκευής, που περιλαμβάνει το τμήμα παροχής και διαχείρισης ενέργειας, το τμήμα κίνησης, το τμήμα ελέγχου και αισθητήρων, επίσης έχει δημιουργηθεί ένας αρχικός αλγόριθμος διεύθυνσης του οχήματος.

Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε έρευνα των συνηθέστερων αρχιτεκτονικών αυτόνομων ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ότι αφορά τον μηχανολογικό τους σχεδιασμό και κατασκευή, τα συστήματα παροχής ενέργειας, τα συστήματα κίνησης και τα συστήματα ελέγχου.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Λαμβάνοντας υπόψη τις προδιαγραφές που θέσαμε για την κατασκευή του οχήματος, τα συμπεράσματα που εξάγαμε από την μελέτη του stage of the art, τις προσφερόμενες λύσεις που έχουμε τη δυνατότητα να εφαρμόσουμε για την ικανοποίηση του στόχου μας τις οποίες εντοπίσαμε μετά από θεωρητική μελέτη του προβλήματος και, τέλος, το κατά πόσο είναι εφικτή η εφαρμογή αυτών των λύσεων, την οποία εντοπίσαμε μετά από έρευνα αγοράς.

Σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένα ευμετάβλητο τετράτροχο ρομποτικό όχημα διαφορικής οδήγησης με διαστάσεις: Μήκος= 51cm, Πλάτους=45 cm και ύψους=30cm. Με δυνατότητα μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου μεγαλύτερου των 100 kg.

Στο σύστημα παροχής ενέργειας χρησιμοποιήσαμε τρεις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες οξέος μολύβδου τύπου jell 12 V που με την κατάλληλη συνδεσμολογία δίνουν την απαραίτητη ενέργεια ώστε η αυτονομία του οχήματος να ξεπερνά τις 5 ώρες.

Στους μηχανισμούς κίνησης χρησιμοποιήσαμε κινητήρες DC μόνιμων μαγνητών, χωρίς ψήκτρες, που ενσωματώνονται στους τροχούς του οχήματος, διαμέτρου 8 inch, (BLDC motors τύπου Hub). Οι κινητήρες έχουν την δυνατότητα να κινηθούν με μεταβλητό αριθμό στροφών με ταχύτητες που ξεκινούν από 0,7 m/sec

Χρησιμοποιήσαμε αισθητήρες υπερήχων για τον εντοπισμό και την αποφυγή εμποδίων κατά την κίνησή του και αισθητήρες Hall για την οδήγηση των κινητήρων αλλά και για λήψη δεδομένων οδομετρίας. Υπάρχει πρόβλεψη για τοποθέτηση κάμερας, laser scanner, αισθητήρα ελέγχου της μπαταρίας, αισθητήρα φωτός και LCD οθόνης για εμφάνιση πληροφοριών προς τον χρήστη.

Για τον αυτόματο έλεγχο του οχήματος χρησιμοποιήσαμε ένα μικροελεγκτή ArduinoUno και έναν υπολογιστή RaspberryPi. Με τον ArduinoUno ελέγχω τους αισθητήρες, τους μηχανισμούς κίνησης και πραγματοποιώ την επικοινωνία με τον ελεγκτή υψηλού επιπέδου, τον RaspberryPi, μέσω του οποίου το ρομποτικό όχημα επικοινωνεί με τον χρήστη σε περιβάλλον ROS.

Κόστος κατασκευής

Το χρηματικό κόστος των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του ρομποτικού οχήματος αναλύεται στον πίνακα 10 που ακολουθεί:

ΥΛΙΚΑ	ΤΕΜ	ΚΟΣΤΟΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΕΡΗ		
Μπαταρίες μολύβδου 12 V, 5 Ah	3	34.3
Φορτιστής μπαταριών μολύβδου 12 V 60 Ah	1	19.9
Διακόπτης επιλογής 1 - 0 - 1 με δύο επαφές N.O.	2	9.6
Αρσενικό - Θυλικό ΦΙΣ σύνδεσης φορτιστή με μπαταρίες	1	6

Μετατροπέας DC-DC Step-Down 5V 3A - USB	1	5.9
Relay τύπου λυχνίας 4 επαφών 3NO και 1 NC 6A με πηνίο 12 V DC	4	19.1
Βάση ράγας για Relay τύπου λυχνίας 4 επαφών	4	13
Διακόπτης push button N.O επαφής	2	3
Διακόπτης ON - OFF	1	3
κινητήρες BLCD motors	2	61.5
Μικροϋλικά (καλώδια, κλέμες κ.τ.λ)	TEM 1	10
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ – ΥΛΙΚΑ ΕΛΕΓΧΟΥ		
Raspberry Pi -3 model B	1	42
Κάρτα micro SD 16 GB	1	9.8
Πλακέτα Arduino UNO R3 AtMega328P με καλώδιο USB	1	24.6
Αισθητήρας Υπερήχων 2 - 400cm SR04	3	7.4
Βάση Στήριξης για Αισθητήρα Υπερήχων	3	2.5
Servo Micro 1.8kg.cm Metal Gears (Feetech FS90MG)	2	15.7
Controlers BLDC motors	2	42
AttoPilot Αισθητήρας Ρεύματος & Τάσης - 90A	1	27

SparkFun Αισθητήρας Φωτός - TEMT6000	1	5.7
Μικροϋλικά κατασκευής κυκλώματος προσαρμογής σημάτων. (LM 358, 74LS14, πυκνωτές 10μf, αντιστάσεις 10KΩ, LM7909, βάσεις ολοκληρωμένων, πλακέτα διάτρητη κτλ)	TEM 1	20
Microrelay Arduino	4	10
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΜΕΡΗ		
Περιστροφική ρόδα 80mm, λάστιχο με πείρο (1-080-NL.R-FRS) Συνολικό ύψος 104 mm (Gaster)	2	13
Μέταλλα inox 2mm - κοπές	TEM 1	120
Μικροϋλικά (βίδες, υλικά στερέωσης κτλ)	TEM 1	15
ΓΕΝΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ		540

Πίνακας 10 Κόστος προμήθειας υλικών

Συμβολή της μεταπτυχιακής εργασίας

Τα κύρια σημεία συμβολής της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας περιγράφονται παρακάτω:

Αναπτύχθηκε μέθοδος έλεγχου και οδήγησης BLDC ηλεκτρικών κινητήρων και εφαρμογή τους σε ρομποτικό όχημα μέσω του PWM σήματος του μικροπολογιστή με την χρήση κατάλληλου ηλεκτρονικού κυκλώματος.

Δημιουργήσαμε κατάλληλο λογισμικό καθώς και ηλεκτρονικό – ψηφιακό κύκλωμα ώστε να είναι δυνατή η χρήση του σήματος των ενσωματωμένων στον κινητήρα αισθητήρων Hall, σε πραγματικό χρόνο, με σκοπό να τα χρησιμοποιήσω ως δεδομένα οδομετρίας.

Αναπτύξαμε κατάλληλο λογισμικό ώστε να είναι δυνατή η αυτόνομη κίνηση ρομποτικού οχήματος.

Και τελικά σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένα ολοκληρωμένο αυτόνομο ρομποτικό όχημα.

Η παρούσα εργασία ελπίζουμε να αποτελέσει αφορμή για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη εφαρμογών στην εξέλιξη των ρομποτικών οχημάτων.

Συμπεράσματα

Ανατρέχοντας στις προδιαγραφές του έργου, όπως περιγράφεται στο 4^ο κεφάλαιο, μπορούσε να πούμε ότι το εγχείρημα μας ήταν γενικά επιτυχές στην ολοκλήρωσή του. Σε γενικές γραμμές ο σχεδιασμός του ρομποτικού οχήματος έχει διατηρηθεί απλός και έχουμε χρησιμοποιήσει συσκευές και υλικά που διευκολύνουν την επανακατασκευή του ενώ παράλληλα έχουμε συμπίεσει το κόστος του ώστε να μπορεί να ανταγωνισθεί ρομποτικά οχήματα που ήδη κυκλοφορούν στην αγορά.

Εξετάζοντας τα τμήματα του αναλυτικά καταλήγουμε σε μια σειρά συμπερασμάτων και παρατηρήσεων:

Ως αναφορά το σύστημα παροχής ενέργειας, χρησιμοποιώντας την συγκεκριμένη λύση, καλύπτουμε τους όρους των προδιαγραφών ως προς τον χρόνο αυτονομίας και ως προς την συμπίεση του κόστους κατασκευής, λαμβάνοντας υπ όψιν ότι οι μπαταρίες αυτού του τύπου είναι ένα προϊόν που μπορούμε να το βρούμε με μεγάλη ευκολία και σχετικά χαμηλές τιμές στο εμπόριο, ενώ παρέχουν την ενέργεια που είναι απαραίτητη για την αυτονομία του οχήματος. Ως αναφορά το σύστημα φόρτισης, επιτύχαμε χρησιμοποιώντας τρεις μπαταρίες 12 V, και τις κατάλληλες συνδέσεις, να εκμεταλλευτούμε ένα εμπορικό, αποτελεσματικό και παράλληλα οικονομικό σύστημα φόρτισης που μπορούμε να το προμηθευτούμε από πολλά σημεία πώλησης, καλύπτοντας άλλη μια από τις προδιαγραφές, αυτή του εύκολου τρόπου προμήθειας των διαφόρων τμημάτων του οχήματος.

Το μειονέκτημα χρήσης μπαταριών αυτού του τύπου είναι η αύξηση βάρους του οχήματος και κατά συνέπεια η μείωση της αυτονομίας του. Παρόλη την ύπαρξη

αυτού του μειονεκτήματος κρίναμε ότι η χρήση του συγκεκριμένου συστήματος παροχής ενέργειας είναι προς το συμφέρον του όλου εγχειρήματος.

Με την επιλογή του συγκεκριμένου τύπου ηλεκτρικών κινητήρων καταφέραμε να απλοποιήσουμε το μηχανολογικό μέρος της κατασκευής αποφεύγοντας πολύπλοκα και βαριά συστήματα μετάδοσης κίνησης. Οι κινητήρες αυτού του τύπου, λόγω των μονίμων μαγνητών που περιέχουν, έχουν την δυνατότητα να αποδίδουν μεγάλη ισχύ με σχετικά μικρό βάρος και όγκο, ο έλεγχός τους γίνεται με εύκολο τρόπο μέσα από τον controller ελέγχου τους ενώ έχουμε την δυνατότητα να εκμεταλλευτούμε τους αισθητήρες που ενσωματώνουν, για να αντλήσουμε δεδομένα σχετικά με την κίνησή τους. Λόγου της απλότητας της κατασκευής τους και της μεγάλης προσφοράς σε κινητήρες και ελεγκτές αυτού του είδους στην διεθνή αγορά, το κόστος τους είναι χαμηλό.

Κάποια σημαντικά μειονεκτήματα που εντοπίσαμε στην εφαρμογή των συγκεκριμένων κινητήρων είναι η έλλειψη ακρίβειας στον τρόπο οδήγησής τους, (με ίδια τάση ελέγχου έχω διαφορετικές ταχύτητες στους κινητήρες), όταν ο κινητήρας βρεθεί χωρίς τάση αυτός μπορεί να παρασύρετε από το φορτίο, η χρονική απόκριση του ηλεκτρονικού φρένου είναι αργή, ενώ τα σήματα των αισθητήρων hall που επιστρέφουν κατά την λειτουργία του, οδηγούν με ακρίβεια τον ελεγκτή του κινητήρα, στην χρήση τους, όμως για οδομετρία δεν έχω ακρίβεια μιας και κάθε θετικός παλμός αντιστοιχεί σε 4,25 cm.

Η χρήση των αισθητήρων υπερήχων οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό εμποδίων κατά την κίνηση του οχήματος ανταποκρίθηκαν στις προδιαγραφές που θέσαμε, και εντοπίζουν με αξιόπιστο τρόπο τα εμπόδια που βρίσκονται μπροστά ή πίσω από το ρομπότ ενώ δίνουν τις πληροφορίες στον μικροεπεξεργαστή για επεξεργασία τους.

Ως αναφορά το κομμάτι του προγραμματισμού και του ελέγχου του οχήματος έχουμε χρησιμοποιήσει τεχνολογίες και πόρους λογισμικού που είναι ελεύθερα διαμοιραζόμενες. Στο κομμάτι του ελέγχου χαμηλού επιπέδου όπου και χρησιμοποιήσαμε τον μικροελεγκτή Arduino, σε βασικές εργασίες όπως ο έλεγχος της ταχύτητας, ο χειρισμός της κατεύθυνσης ή ο χειρισμός των φρένων

ανταποκρίθηκε ικανοποιητικά, ενώ σε εργασίες περισσότερο πολύπλοκες π.χ. λήψη μετρήσεων και στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων τους παρουσίασε καθυστερήσεις στην εκτέλεση του βασικού προγράμματος και στην λήψη αποφάσεων. Ένα άλλο εξίσου σημαντικό πρόβλημα είναι η έλλειψη επαρκούς αριθμού θυρών ώστε να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε όσους αισθητήρες και ενεργοποιητές είχαμε αρχικά σχεδιάσει να χρησιμοποιήσουμε.

Πλεονεκτήματα του ρομποτικού οχήματος KELM

Συγκρίνοντας το ρομποτικό όχημα που κατασκευάσαμε, με αντίστοιχα ρομποτικά οχήματα που προσφέρονται στην αγορά εντοπίζουμε αρκετά σημεία στα οποία υπερτερεί έναντι αυτών, ενώ πιστεύουμε ότι με τις κατάλληλες προωθητικές ενέργειες θα μπορούσε να είναι ένα ελκυστικό και ανταγωνιστικό ρομποτικό όχημα για να σταθεί στην αγορά.

Κατ' αρχήν το υλικό κατασκευής του (Ανοξείδωτος χάλυβας), προσδίδει στο όχημα μηχανική αντοχή και αντοχή στη διάβρωση, ενώ το κάνει ικανό (με την κατάλληλη προστασία στο ηλεκτρικό, ηλεκτρονικό του μέρος), να λειτουργήσει τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους.

Τα υλικά κατασκευής του είναι ευρέως διαδεδομένα στην αγορά, κάτι που κάνει την κατασκευή και την συντήρησή του εύκολη και οικονομική.

Ο μηχανολογικός σχεδιασμός του είναι τέτοιος ώστε να κάνει το KELM ευμετάβλητο και προσαρμόσιμο στις διαφορετικές ανάγκες κάθε χρήστη, ενώ του δίνεται η δυνατότητα να προσαρμόσει πάνω του πρόσθετες μηχανολογικές ή ηλεκτρολογικές – ηλεκτρονικές κατασκευές και όργανα, ώστε να καλύπτει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών.

Η χρήση δύο ελεγκτών (ένας σε χαμηλό και ένας σε υψηλό επίπεδο με μεγάλη υπολογιστική ικανότητα) κάνουν το KELM ευέλικτο και επεκτάσιμο σε προγραμματισμό, ενώ η χρήση λειτουργικού ανοικτού κώδικα και η λειτουργία του σε περιβάλλον ROS του δίνουν την δυνατότητα εξέλιξης και επικοινωνίας με τον παγκόσμιο ιστό.

Ενώ το χαμηλό κόστος κατασκευής του το κάνει προσιτό σε μια μεγάλη μερίδα καταναλωτών, τόσο στην εκπαιδευτική κοινότητα όσο και στον επαγγελματικό χώρο.

Μελλοντική Εργασία - Βελτιώσεις

Η ρομποτική πλατφόρμα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας μπορεί να βελτιωθεί και να επεκταθεί βάσει των ακόλουθων προτάσεων, σχετικών με την μηχανολογική κατασκευή, τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό και τον αλγοριθμικό σχεδιασμό. Συγκεκριμένα, προτείνεται:

- Βελτίωση της μηχανολογικής κατασκευής του ρομποτικού οχήματος με στόχο την αποφυγή ολίσθησης, λόγω αδράνειας κατά την διαδικασία στάσεις του. Αυτό μπορούμε να το επιτύχουμε χρησιμοποιώντας κινητήρες ίδιου τύπου αλλά να περιέχουν ενσωματωμένο σύστημα μετάδοσης κίνησης.
- Προσθήκη κωδικοποιητών στους τροχούς του οχήματος για την βελτίωση της εκτίμησης της θέσης και της κατάστασης του ρομπότ, που παράγει το σύστημα οδομετρίας του.
- Αύξηση της υπολογιστικής ισχύος αλλά και των θυρών επικοινωνίας του μικροελεγκτή ελέγχου χαμηλού επιπέδου του ρομπότ, μέσω χρήσης ενός πιο ισχυρού υπολογιστή π.χ. ArduinoMega ο οποίος παρέχει περισσότερες θύρες επικοινωνίας ενώ η πραγματοποίηση υπολογισμών και στατιστικών πράξεων να γίνονται στον κύριο υπολογιστή του οχήματος (RaspberryPi). Αυτή η πρόταση κρίνεται απαραίτητη για να είναι δυνατή η προσθήκη νέων αισθητήρων και λειτουργιών, καθώς, βάσει της υπάρχουσας κατάστασης του ρομπότ και της υπάρχουσας υπολογιστικής ισχύος, δεν είναι δυνατή τέτοια επέκταση του συστήματος, χωρίς σοβαρές συνέπειες στην απόδοσή του.
- Προσθήκη αισθητήρα laser scanner με στόχο τον εντοπισμό εμποδίων που δεν γίνονται αντιληπτά από τους αισθητήρες υπερήχων, αλλά και δυνατότητα χαρτογράφησης του χώρου όπου κινείται το όχημα.
- Προσθήκη ρομποτικής όρασης για αναζήτηση σημείων ενδιαφέροντος, ανάλογα με την εφαρμογή.

- Μείωση των χρόνων απόκρισης του κινητήρα κατά την εντολή σταματήματος, χρησιμοποιώντας είτε μηχανικό φρένο είτε ηλεκτρικό φρενάρισμα με μετατροπή του κινητήρα σε γεννήτρια .
- Βελτίωση της συμπεριφοράς του συστήματος αυτόνομης πλοήγησης, μέσω νέων υλοποιήσεων του προγράμματος ελέγχου.
- Χρησιμοποίηση επενεργητών σήμανσης (ηχητικά ή φωτεινά σήματα) ώστε η κίνηση του οχήματος να γίνεται με μεγαλύτερη ασφάλεια για το περιβάλλον εργασίας του.
- Χρήση διακόπτη ασφαλείας τύπου μανιτάρι, για άμεση απενεργοποίηση του οχήματος σε περίπτωση κινδύνου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ - Βιβλιογραφία

- [1] L. Bruzzone¹ and G. Quaglia, Mechanical Sciences: locomotion systems for ground mobile robots in unstructured environments 2012. www.mech-sci.net/3/49/2012/
- [2] Stanley Innovation, robotics engineering company headquartered north of Boston, (<https://stanleyinnovation.com/products-services/robotics/robotic-mobility-platforms/omni-directional/>)
- [3] Neobotix - Robotics & Automation (<https://www.neobotix-robots.com>), Operating Manual Mobile robot MP-400
- [4] Ubiquity Robotics company (<https://ubiquityrobotics.com>)
- [5] OMRON τμήμα ρομποτικής
<https://industrial.omron.eu/en/products/mobile-robot>)
- [6] Dr Robot corporation based in Markham, Ontario, Canada.
(http://www.drrobot.com/products_item.asp?itemNumber=X80SVP)
- [7] Roland SIEGWART, Illah R. NOURBAKHSI Introduction to Autonomous Mobile Robots
- [8] X. A. Μαδεμλής, Σερβοκινητήρια Συστήματα – επαγωγικοί κινητήρες και σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, Εκδόσεις Τζιόλα, (2010)
- [9] Σ. Τσοτουλίδης, Αθανάσιος Σαφάκας, Εξελίξεις στην τεχνολογία των ηλεκτρικών κινητήρων στη ρομποτική. Πανεπιστήμιο Πατρών. (2010)
- [10] J. Chiasson, Modeling and High-Performance Control of Electric Machines, IEEE Press Series on Power Engineering. New York (2005).
- [11] Ion Boldea, Vector Control of AC Drives. CRC Press (1996)
- [12] Σάββα Ν. Τσοτουλίδη, Διδακτορική Διατριβή. Αριθμός Διατριβής 324 Πάτρα 2014
- [13] E. Hall, "On a New Action of the Magnet on Electric Currents", American Journal of Mathematics, vol. 2, no. 3, pp. 287–292, 2011.

[14] Πρόσκληση εκδήλωσης ενδιαφέροντος για την προμήθεια ειδικών τεμαχίων ανοξείδωτου χάλυβα. TEI Κεντρικής Μακεδονίας (23/10/2018).

<http://rescommittee.teicm.gr/display/announcements-contests/365-02-24102014>

[15] Πρόσκληση εκδήλωσης ενδιαφέροντος για την Προμήθεια ηλεκτρονικού εξοπλισμού. TEI Κεντρικής Μακεδονίας (23/10/2018)

<http://rescommittee.teicm.gr/display/announcements-contests/364-01-24102018>

[16] Πρόσκληση εκδήλωσης ενδιαφέροντος για την προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού TEI Κεντρικής Μακεδονίας (7/11/2018).

<http://rescommittee.teicm.gr/display/announcements-contests/368-01-07112018>

[17] DC-DC Converter Step-Down 5V 3A – USB

<https://grobotronics.com/step-down-dc-dc-converter-5v-3a-usb.html>

[18] LM 7809 three terminal Voltage regulator.

http://www.farnell.com/datasheets/2287645.pdf?_ga=2.247869444.2058108993.1545841824-1254488912.1545841824)

[19] 8 Inch Smart Self Balance Green Energy 82% Efficiency Hub Motor

<https://czjqjd.en.made-in-china.com/product/MvTnfbxOCwki/China-8-Inch-Smart-Self-Balance-Green-Energy-82-Efficiency-Hub-Motor.html>

[20] BLDC Motor Brushless Speed Controller 36V With Hall E-Brake Sensor Reverse 13A 6 Mosfet. <https://www.aliexpress.com/item/Electric-Bicycle-BLDC-Motor-Brushless-Speed-Controller-250W-350W-24V-36V-48V-DC-With-Hall-E/32878852261.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.27124c4deekx0f>

<https://www.aliexpress.com/item/Electric-Bicycle-BLDC-Motor-Brushless-Speed-Controller-250W-350W-24V-36V-48V-DC-With-Hall-E/32878852261.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.27124c4deekx0f>

[21] DM 74LS14 Hex Inverter with Schmitt Trigger Inputs

<http://ee-classes.usc.edu/ee459/library/datasheets/DM74LS14.pdf>

[22] Sensored 3-Phase BLDC Motor Control Using MSP430.

<http://www.ti.com/lit/an/slaa503/slaa503.pdf>

[23] Α. Ν. Σαφάκας, "Ηλεκτρικές Μηχανές Β", Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.(2009)

[24] Κ. Αλέξης, Switzerland. Κ.Βαλαβάνης. Ε. Κελασίδη. Γ. Νικολακόπουλος, Α. Τζές,. Ρομποτικά Συστήματα για Σκοπούς Εξερεύνησης και Διάσωσης. Ίδρυμα Σ. Νιάρχος. Δεκέμβριος 2011.

[25] Ulrich Nehmzow Mobile Robotics: Research, Applications and Challenges
Department of Computer Science the University of Manchester

[26] Xue-Bo Jin , Ting-Li Su, Jian-Lei Kong , Yu-Ting Bai , Bei-Bei Miao and Chao Dou Published: State-of-the-Art Mobile Intelligence: Enabling Robots to Move Like Humans by Estimating Mobility with Artificial Intelligence, 5 March 2018

[27] Rajesh Singh Shekhawat. Controlled Robotic Car, Department of Electrical Engineering IJET, Kurukshetra University. (2016)

[28] Technology Conference Singapore, Simple Mobile Robots for Introduction into Engineering, International Instrumentation and Measurement, Singapore (5-7 May 2009)

[29] Gopura, *Student Member IEEE*, Kazuo Kiguchi, *Member IEEE*. State-of-the-Art and Design Difficulties R.A.R.C Mechanical Designs of Active Upper-Limb Exoskeleton Robots. Japan (23-26 June 2009)

[30] Τάσεις και Προβλέψεις αγοράς, 2019 – 2024, αυτόνομων Κινητών Ρομπότ κατά Τύπο, Τελικό, Χρήστη και Περιοχή – Ανάπτυξης (June 2018)
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/autonomous-mobile-robot-market>

[31] Ioan Dumitrache, Monica Dragoice. State of art Mobile Robot Control. University Politehnica Bucharest, Faculty of Control and Computers 2006.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Ο κώδικας υλοποίησης της εφαρμογής με σχόλια

// Πρόγραμμα αυτόνομης κίνησης ρομπότ

```
#include <ros.h> //Εισαγωγή τις βιβλιοθήκες που θα
                    χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία Arduino ROS
#include <std_msgs/String.h> // Εισαγωγή της βιβλιοθήκης για διαχείριση
                    String μεταβλητών.
#include <std_msgs/Float64.h>
ros::NodeHandle nh; // Χρησιμοποιείται για την εκκίνηση και την
                    τερματισμό των κόμβων επικοινωνίας.
int STOP=4; // Ορίζεται το pin 4 που χρησιμοποιείται για το
                    σταμάτημα του προγράμματος
int Reset=7; // Ορίζεται το pin 7 που χρησιμοποιείται για να
                    μηδενίσουν μετρήσεις χρόνου και παλμών κατά την
                    εκτέλεση του προγράμματος
int enR=5; // Ορίζεται το pin 5 που χρησιμοποιείται για να δώσει
                    PWM στον Δεξιό τροχό
int enL=6; // Ορίζεται το pin 6 που χρησιμοποιείται για να δώσει
                    PWM στον Ααριστερό τροχό
int Time_Driver=A2; // Ορίζεται το pin A2 για να δώσει λειτουργία
                    οδήγησης για συγκεκριμένο χρόνο
int Pulsh_DRIVER=A3; // Ορίζεται το pin A3 για να δώσει λειτουργία
                    οδήγησης με συγκεκριμένο αριθμό παλμών
int revershR=12; // Ορίζεται το pin 12 που χρησιμοποιείται για
                    την Αναστροφή του Δεξιού τροχού
int revershL=13; //Ορίζεται το pin 13 που χρησιμοποιείται για την
                    Αναστροφή του Αριστερού τροχού
int breakR=A0; // Ορίζεται το pin A0 που χρησιμοποιείται για την
                    ενεργοποίηση του Δεξιού ηλεκτρικού φρένου
```

```

int breakL=A1; // Ορίζεται το pin A1 που χρησιμοποιείται για την
                ενεργοποίηση του Αριστερού ηλεκτρικού φρένου

const int echoPinL=8; // Ορίζεται το pin 8 που χρησιμοποιείται ως Echo
                pin για την μέτρηση απόστασης απο τον
                αριστερό αισθητήρα υπερήχων

const int trigPinL=9; // Ορίζεται το pin 9 που χρησιμοποιείται ως Trig pin
                για την μέτρηση απόστασης από τον αριστερό
                αισθητήρα υπερήχων

const int echoPinR = 10; // Ορίζεται το pin 10 που χρησιμοποιείται ως
                Echo pin για την μέτρηση απόστασης από τον
                Δεξιό αισθητήρα υπερήχων

const int trigPinR = 11; // Ορίζεται το pin 8 που χρησιμοποιείται ως Trig pin
                για την μέτρηση απόστασης από τον Δεξιό
                αισθητήρα υπερήχων

const int echoPinBACK=A4; // Ορίζεται το pin A4 που χρησιμοποιείται ως
                Echo pin για την μέτρηση απόστασης από τον
                Πίσω αισθητήρα υπερήχων

const int trigPinBACK=A5; //Ορίζεται το pin A5 που χρησιμοποιείται ως Trig
                pin για την μέτρηση απόστασης από τον Πίσω
                αισθητήρα υπερήχων

const int BUTTON_R = 2; // Ορίζεται το pin 2 για να δεχτεί σήμα απο τον
                αισθητήρα Hall του Δεξιού τροχού (Interrupt 0)

const int BUTTON_L = 3; // Ορίζεται το pin 3 για να δεχτεί σήμα απο τον
                αισθητήρα Hall του αριστερού τροχού (Interrupt

// Ορίζονται μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν κατά την διάρκεια εκτέλεσης του
προγράμματος

int    VEL_R,VEL_L,Reset1, STOP1,timeR,metrisiLL,
        MOVE_FRONT_RIGHT, FRONTR,FRONTL, BACK,RIGHT,LEFT;

Int xronosR, apostasiR, xronosL,apostasiL,xronosBACK, apostasiBACK;

Int revershL1, revershR1, xronosCENTER, apostasiCENTER,
        COUNT_MOVE;

```

```

int MOVE_Pulsh_Front, MOVE_Pulsh_Back, MOVE_Time_Front,
    Time_Driver1, Pulsh_DRIVER1, RosReset;

long metrisiL_turn_Rigth, metrisiR_turn_Rigth, metrisiR, metrisiL, metrisiL1,
    DriverR, DriverR1;

std_msgs::Float64 metrisiR2; // ορίζω την μεταβλητή metrisiR2 ως Float64
std_msgs::Float64 metrisiL2; // ορίζω την μεταβλητή metrisiL2 ως Float64
std_msgs::String str_msg; // ορίζω την μεταβλητή str_msg ως String
std_msgs::Float64 taxR; // δοκιμαστική μεταβλητή
std_msgs::Float64 apostasiL1; //ορίζω την μεταβλητή metrisiL2 ως Float64
std_msgs::Float64 apostasiR1; //ορίζω την μεταβλητή metrisiR2 ως Float64
std_msgs::Float64 apostasiBack1; //ορίζω την μεταβλητή apostasiBack1 ως
Float64
ros::Publisher chatter("chatter", &str_msg); // Στέλνω στο Rostopick
    chatter την τιμή str_msg μέσω του κόμβου chatter
ros::Publisher countR("count_topicR", &metrisiR2); // Στέλνω στο Rostopick
    //count_topicR την τιμή metrisiR2 μέσω του κόμβου countR
ros::Publisher countL("count_topicL", &metrisiL2); //Στέλνω στο Rostopick
    //count_topicL την τιμή metrisiL2 μέσω του κόμβου countL
ros::Publisher taxp("tax_topicR", &taxR); //δοκιμαστικό Rostopick για να
    //ελέγγω τις τιμές που στέλνω στο Arduino
char hello[20] = "LIOUSAS basilis!"; //Η τιμή LIOUSAS basilis! Δίνεται στην
    μεταβλητή hello που είναι μεγέθους 20 χαρακτήρων
ros::Publisher pub_rangeL("ultrasoundL", &apostasiL1); // Στέλνω στο
    Rostopick ultrasoundL την τιμή apostasiL1 μέσω
    του κόμβου pub_rangeL
ros::Publisher pub_rangeR("ultrasoundR", &apostasiR1); //Στέλνω στο
    Rostopick ultrasoundR την τιμή apostasiR1
    μέσω του κόμβου pub_rangeR

```

```
ros::Publisher pub_rangeBack( "ultrasoundBack", &apostasiBack1); //Στέλνω
στο Rostopic ultrasoundBack την τιμή apostasiBack1
μέσω του κόμβου pub_rangeBack
```

//Υπορουτίνα με την οποία διαβάζει ο Ardouino το Rostopic vel_Right και δίνει τιμή στην μεταβλητή VEL_R που είναι η ταχύτητα του δεξιού τροχού

```
void VEL_Right(const std_msgs::Float64& VEL_Right1)
```

```
{ VEL_R=VEL_Right1.data; //Η μεταβλητή VEL_Right1 μεταφέρεται
στην VEL_R }
```

```
ros::Subscriber<std_msgs::Float64>velocityR("vel_Right",
&VEL_Right); //Η μεταβλητή VEL_Right διαβάζει την τιμή που
δημοσιεύεται στο Ros topick vel_Right
```

//Δίνω τιμή μέσω ROS στην μεταβλητή RosReset με σκοπό τον μηδενισμό των μετρήσεων οδομετρίας.

```
void Ros_Reset(const std_msgs::Float64& Ros_Reset1)
```

```
{
RosReset=Ros_Reset1.data; //Η μεταβλητή Reset1μεταφέρεται στην
RosReset }
```

```
ros::Subscriber<std_msgs::Float64> RosReset2("Reset_ROS", &Ros_Reset);
```

//Υπορουτίνα με την οποία διαβάζει ο Ardouino το Rostopic vel_Left και δίνει τιμή στην μεταβλητή VEL_L που είναι η ταχύτητα του αριστερού τροχού

```
void VEL_Left(const std_msgs::Float64& VEL_Left1)
```

```
{
VEL_L=VEL_Left1.data; //Η μεταβλητή VEL_Left1 μεταφέρεται στην
VEL_L }
```

```
ros::Subscriber<std_msgs::Float64>velocityL("vel_Left", &VEL_Left);
```

//Η μεταβλητή VEL_Left διαβάζει την τιμή που δημοσιεύεται στο Ros

topic VEL_Left

//Υπορουτίνα με την οποία διαβάζει ο Arduino το Rostopic MOVE_Time_Front και δίνει τιμή στην μεταβλητή MOVE_Time_Front που είναι ο χρόνος κίνησης του οχήματος όταν αυτό βρίσκετε σε χρονική λειτουργία.

```
void move_time(const std_msgs::Float64& move_time1)
```

```
{
```

```
    MOVE_Time_Front=move_time1.data; //Η μεταβλητή move_time1  
    μεταφέραται στην MOVE_Time_Front
```

```
}
```

```
ros::Subscriber<std_msgs::Float64>movetime("MOVE_Time_Front",  
&move_time);
```

//Η μεταβλητή move_time διαβάζει την τιμή που δημοσιεύεται στο Ros topic MOVE_Time_Front

// Ρουτίνα Αρχικοποιήσεων

// Ορίζεται η λειτουργία των pin καθώς και αρχικοποιούνται οι τιμές μεταβλητών

```
void setup(){
```

```
//Δημιουργώ τις μεταβλητές των τοπικς
```

```
nh.initNode();
```

```
nh.advertise(chatter);
```

```
nh.advertise(countR);
```

```
nh.advertise(countL);
```

```
nh.subscribe(velocityR);
```

```
nh.subscribe(velocityL);
```

```
nh.subscribe(movetime);
```

```
nh.subscribe(RosReset2);
```

```
nh.advertise(taxr);
```

```
nh.advertise(pub_rangeL);
```

nh.advertise(pub_rangeR);

nh.advertise(pub_rangeBack);

pinMode(breakL,OUTPUT); // Ορίζεται το pin breakL (Αριστερό Φρένο)

ως έξοδος

pinMode(breakR,OUTPUT); // Ορίζεται το pin breakL (Δεξιό Φρένο) ως

έξοδος

pinMode(enR,OUTPUT); //Ορίζεται ως έξοδο το pin enR (έξοδος PWM)

για την οδήγηση του αριστερού Τροχού

pinMode(enL,OUTPUT); //Ορίζεται ως έξοδος το pin enR (έξοδος PWM)

για την οδήγηση του Δεξιού Τροχού

pinMode(trigPinL,OUTPUT); //Ορίζεται ως έξοδος το pin trigPinL για την

μέτρηση απόστασης του Αριστερού αισθητήρα

pinMode(echoPinL,INPUT); // Ορίζεται ως έσοδος το pin echoPinL για την

μέτρηση απόστασης του Αριστερού αισθητήρα

pinMode(trigPinR,OUTPUT); // Ορίζεται ως έξοδος το pin trigPinR για

την μέτρηση απόστασης του Δεξιού αισθητήρα

pinMode(echoPinR, INPUT); // Ορίζεται ως είσοδος το pin echoPinR για

την μέτρηση απόστασης του Δεξιού αισθητήρα

pinMode(echoPinBACK, INPUT);// Ορίζεται ως είσοδος το pin
echoPinBACK για την μέτρηση
απόστασης του Πίσω αισθητήρα

pinMode(trigPinBACK,OUTPUT); //Ορίζεται ως έξοδος το pin
trigPinBACK για την μέτρηση
απόστασης του Πίσω αισθητήρα

Serial.begin(9600); // Ορίζεται ταχύτητα επικοινωνίας 9600 baud

pinMode(revershR,OUTPUT); // Ορίζεται το pin revershR ως έξοδος για
την ενεργοποίηση της ανάστροφης
κίνησης του Δεξιού τροχού

pinMode(revershL,OUTPUT); // Ορίζεται το pin revershL ως έξοδος για

την ενεργοποίηση της ανάστροφης
κίνησης του Αριστερού τροχού

pinMode(Pulsh_DRIVER , INPUT_PULLUP); // Ορίζεται το pin

Pulsh_DRIVER ως INPUT_PULLUP το
οποίο θα δώσει λειτουργία οδήγησης για
συγκεκριμένο χρόνο

pinMode(Time_Driver , INPUT_PULLUP); // Ορίζεται το pin

Time_Driver ως INPUT_PULLUP το οποίο θα
δώσει λειτουργία οδήγησης για συγκεκριμένο
αριθμό παλμών (απόσταση)

pinMode(Reset , INPUT_PULLUP); // Ορίζεται το pin

Reset ως INPUT_PULLUP με το οποίο θα
μηδενίζουν οι μετρήσεις κατά την εκτέλεση του
προγράμματος

pinMode (STOP , INPUT_PULLUP); // Ορίζεται το pin

Pulsh_DRIVER ως INPUT_PULLUP το οποίο
θα λειτουργεί ως STOP

pinMode (BUTTON_R , INPUT_PULLUP); // Ορίζεται

το pin BUTTON_R ως INPUT_PULLUP το
οποίο θα ενεργοποιεί το interrupt για την
μέτρηση παλμών του δεξιού τροχού

pinMode (BUTTON_L , INPUT_PULLUP); // Ορίζεται το

pin BUTTON_L ως INPUT_PULLUP το οποίο
θα ενεργοποιεί το interrupt για την μέτρηση
παλμών του αριστερού τροχού

metrisiR=0; / αρχικοποιείται η μεταβλητή metrisiR (μέτρηση
παλμών απο τον Δεξιό τροχό) στην τιμή 0 ***
ΟΔΟΜΕΤΡΙΑ

metrisiL=0; // αρχικοποιείται η μεταβλητή metrisiL
(μέτρηση παλμών απο τον Αριστερό τροχό)
στην τιμή 0 ***ΟΔΟΜΕΤΡΙΑ

revershR1=1; // αρχικοποιείται η μεταβλητή revershR1
(συντελεστής αύξησης - μείωσης των παλμών του Δεξιού τροχού) στην τιμή 1

revershL1=1; // αρχικοποιείται η μεταβλητή revershL1
(συντελεστής αύξησης - μείωσης των παλμών του Αριστερού τροχού) στην τιμή 1

digitalWrite(revershL, LOW); // αρχικοποιείται η μεταβλητή revershL1 (Εμπρόσθια κίνηση στον Αριστερό τροχό) στην τιμή

LOWdigitalWrite(revershR, LOW); // αρχικοποιείται η μεταβλητή revershL1 (Εμπρόσθια κίνηση στον Αριστερό τροχό) στην τιμή LOW

digitalWrite(breakL, HIGH); // αρχικοποιείται η μεταβλητή breakL (Ηλεκτρικό φρένο στον Αριστερό τροχό) στην τιμή HIGH

digitalWrite(breakR, HIGH); // αρχικοποιείται η μεταβλητή breakR (Ηλεκτρικό φρένο στον Δεξιό τροχό) στην τιμή HIGH

VEL_R=69; // Ορίζεται Ταχύτητα Δεξιού τροχού

*** ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΔΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ RaspberryPi

VEL_L=70; // Ορίζεται Ταχύτητα Αριστερού τροχού

*** ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΔΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ RaspberryPi

MOVE_Pulsh_Front=60; // Παλμοί για Κίνηση Εμπρός (Σε λειτουργία οδήγησης με ορισμένο αριθμό παλμών) *** ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΔΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ RaspberryPi

MOVE_Pulsh_Back=15; // Παλμοί για Κίνηση Πίσω

*** ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΔΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ RaspberryPi

MOVE_Time_Front=8000; // Χρόνος για Κίνηση Εμπρός

(Σε λειτουργία χρονικής οδήγησης ***ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΔΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ RaspberryPi)

FRONTR=0; // Μεταβλητή που δηλώνει την ρουτίνα που εκτελείται

STOP1=0; // Μεταβλητή που βλέπει το STOP

BACK=0; // Μεταβλητή που δηλώνει την ρουτίνα που εκτελείται

RIGHT=0; // Μεταβλητή που δηλώνει την ρουτίνα που εκτελείται

LEFT=0; // Μεταβλητή που δηλώνει την ρουτίνα που εκτελείται

apostasiBACK=50; // Αρχική τιμή μέτρησης της πίσω απόστασης

MOVE_FRONT_RIGHT=0; // Αρχικοποιείται η μεταβλητή MOVE_FRONT_RIGHT στην τιμή 0 (Η MOVE_FRONT_RIGHT είναι βοηθητική μεταβλητή που χρησιμοποιείται για μέτρηση παλμών απο τον Δεξιό τροχό όταν το όχημα είναι σε λειτουργία οδήγησης με ορισμένο αριθμό παλμών καθώς και στη οπίσθια κίνηση)

COUNT_MOVE=0; // αρχικοποιείται η μεταβλητή COUNT_MOVE στην τιμή 0 (Η COUNT_MOVE είναι βοηθητική μεταβλητή που χρησιμοποιείται για μέτρηση παλμών απο τον Αριστερό τροχό, χρησιμοποιείται όταν το όχημα είναι σε λειτουργία οδήγησης με ορισμένο αριθμό παλμών καθώς και για το σταμάτημα της οπίσθιας κίνησης)

attachInterrupt (0,pulse_TIME_Rising_R,RISING); // Ορίζεται το interrupt 0 (απο το pin 2) το οποίο ενεργοποιείται απο το θετικό μέτωπο του παλμού που έρχεται απο τον αισθητήρα Hall του Δεξιού τροχού και ενεργοποιεί την ρουτίνα pulse_TIME_Rising_R

attachInterrupt (1,pulse_TIME_Rising_L,RISING); // Ορίζεται το interrupt 1 (απο το pin 3) το οποίο ενεργοποιείται απο το θετικό μέτωπο του παλμού που έρχεται απο το αισθητήρα Hall του Αριστερού τροχού και ενεργοποιεί την ρουτίνα pulse_TIME_Rising_L }

// Ρουτίνα εξυπηρέτησης του interrupt 0 (Δεξιός τροχός)

long pulse_TIME_Rising_R ()

*metrisiR=metrisiR+(1*revershR1);* //Κάθε φορά που ενεργοποιείτε το interrupt 0 αυξάνει ή μειώνει (ανάλογα με την φορά της κίνησης) τον μετρητή metrisiR κατά 1

MOVE_FRONT_RIGHT=MOVE_FRONT_RIGHT+1; //Κάθε φορά που ενεργοποιείτε το interrupt 0 αυξάνει τον μετρητή MOVE_FRONT_RIGHT κατά 1 }

// Ρουτίνα εξυπηρέτησης του interrupt 1 (Αριστερός τροχός)

long pulse_TIME_Rising_L () {

*metrisiL=metrisiL+(1*revershL1);* // Κάθε φορά που ενεργοποιείτε το interrupt 1 αυξάνει ή μειώνει (ανάλογα με την φορά της κίνησης) τον μετρητή metrisiL κατά 1

COUNT_MOVE=COUNT_MOVE+1; } //Κάθε φορά που ενεργοποιείτε το interrupt 1 αυξάνει τον μετρητή COUNT_MOVE κατά 1

// Υπορουτίνα μέτρησης αποστάσεων

long Metrisi_apostasis () {

//ΜΕΤΡΙΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΑ

digitalWrite(trigPinL, LOW); //Θέτει το pin trigPinL σε κατάσταση LOW

delayMicroseconds(2); //για 2 msec

digitalWrite(trigPinL, HIGH); //Θέτει το pin trigPinL σε κατάσταση HIGH

delayMicroseconds(10); //για 10 msec

digitalWrite(trigPinL, LOW); //Θέτει το pin trigPinL σε κατάσταση LOW

Ανάγνωση του σήματος από τον αισθητήρα: ένας παλμός HIGH που η διάρκειά του είναι από την στιγμή αποστολής του υπερηχητικού παλμού έως την επιστροφή του μετά από ανάκλαση σε κάποιο αντικείμενο με χρόνο αναμονής για την επιστροφή 4200nsec (72 cm)

```

xronosL = pulseIn(echoPinL, HIGH,4200);

apostasiL=xronosL/58.2;    //μετατροπή του χρόνου σε εκατοστά

if(xronosL<=0) // Επαναφορά της στάθμης του echoPin αν λαμβάνεται τιμή 0

{
    apostasiL=72;

    pinMode(echoPinL,OUTPUT);
    delay(5);
    digitalWrite(echoPinL,LOW);
    delay(5);
    pinMode(echoPinL,INPUT);
    delay(5); }

//ΜΕΤΡΙΣΗ ΔΕΞΙΑ

    digitalWrite(trigPinR, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPinR, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPinR, LOW);
    xronosR = pulseIn(echoPinR, HIGH,4200);
    apostasiR=xronosR/58.2;
    if (xronosR<=0)
    {apostasiR=72;
    pinMode(echoPinR,OUTPUT);
    delay(5);
    digitalWrite(echoPinR,LOW);
    delay(5);
    pinMode(echoPinR,INPUT);
    delay(5); }}

```

//ΜΕΤΡΙΣΗ ΠΙΣΩ

```

void Metrisi_apostasis_Piso () {
    digitalWrite(trigPinBACK, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPinBACK, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPinBACK, LOW);
    xronosBACK = pulseIn(echoPinBACK, HIGH,3000);
    apostasiBACK=xronosBACK/58.2;
    if (xronosBACK<=0)
    {apostasiBACK=50;
    pinMode(echoPinBACK,OUTPUT);
    delay(5);
    digitalWrite(echoPinBACK,LOW);
    delay(5);
    pinMode(echoPinBACK,INPUT);
    delay(5); }}

void Move_Back() { //Ρουτίνα πίσω κίνησης
    revershR1= -1; //Συντελεστής για την μείωση του μετρητή παλμών κατά την
                    ανάστροφη κίνηση στον Δεξί τροχό
    revershL1= -1; //Συντελεστής για την μείωση του μετρητή παλμών κατά την
                    ανάστροφη κίνηση στον Αριστερό τροχό
    COUNT_MOVE=0; //Μηδενισμός του αριθμού παλμών κατα τους οποίους θα
                    γίνει ανάστροφη κίνηση
    BACK=1; // Ορίζεται τιμή 1 στον δείκτη που μας πληροφορεί για την
                    θέση εκτέλεσης του προγράμματος, Εισερχόμαστε στην
                    ρουτίνα [void Move_Back()]
    if (STOP1==LOW) //Αν είναι ενεργοποιημένο το STOP δίνεται ταχύτητα 0
                    στους κινητήρες και το όχημα σταματάει

```

```
{analogWrite(enR,0);
```

```
analogWrite(enL,0); }
```

```
else {
```

// Γίνεται έλεγχος για εντοπισμό του σημείου του προγράμματος από το οποίο ήρθαμε εδώ Αν προερχόμαστε από την ρουτίνα [void Move_Forward()] δηλαδή (εμπρόσθια κίνηση) τότε ενεργοποιεί τα φρένα ιαφορετικά αν προέρχεται από τις ρουτίνες [void turn_Right()] ή [void turn_Leftt()] οι τροχοί είναι είδη φρεναρισμένοι οπότε και εκτελεί αμέσως την πίσω κίνηση

```
if (RIGHT==0 && LEFT==0 ) {
```

// Όταν οι δείκτες RIGHT και LEFT έχουν την τιμή 0 προερχόμαστε απο την ρουτίνα [void Move_Forward()] (εμπρόσθια κίνηση) τότε σταματάει τους κινητήρες και ενεργοποιεί τα φρένα

```
analogWrite(enR,0); // Δίνεται ταχύτητα 0 στον Δεξιό τροχό
```

```
analogWrite(enL,0); // Δίνεται ταχύτητα 0 στον Αριστερό τροχό
```

```
digitalWrite(breakR, LOW); // Φρενάρει ο δεξιός τροχός
```

```
digitalWrite(breakL, LOW); // Φρενάρει ο Αριστερός τροχός
```

```
delay (1500); } // Χρόνος φρεναρίσματος
```

// όταν οι δείκτες RIGHT ή LEFT έχουν την τιμή διαφορετική από το 0 σημαίνει ότι προερχόμαστε από προερχόμαστε από τις ρουτίνες [void turn_Right()] ή [void turn_Leftt()] οι τροχοί είναι είδη φρεναρισμένοι οπότε απενεργοποιεί τα φρένα και εκτελεί αμέσως την πίσω κίνηση

```
digitalWrite(breakL, HIGH); //Απελευθέρωση Αριστερού τροχού
```

```
digitalWrite(breakR, HIGH); //Απελευθέρωση Δεξιού τροχού
```

```
digitalWrite(revershL, HIGH); //Ανάστροφη κίνηση στον Αριστερό τροχό
```

```
digitalWrite(revershR, HIGH); //Ανάστροφη κίνηση στον Αριστερό τροχό
```

```
analogWrite(enR,69); // Δίνεται ταχύτητα 69 στον Δεξιό τροχό
```

```
analogWrite(enL,70); } } Δίνεται ταχύτητα 70 στον Αριστερό τροχό
```

```
// Υπορουτίνα ΣΤΑΣΗΣ ΠΙΣΩ κίνησης
```

```
void STOP_Back()
{analogWrite(enR,0); // Δίνεται ταχύτητα 0 στον Δεξιό τροχό
analogWrite(enL,0); // Δίνεται ταχύτητα 0 στον Αριστερό τροχό
digitalWrite(breakL, LOW); // Φρενάρει ο Αριστερός τροχός
digitalWrite(breakR, LOW); // Φρενάρει ο δεξιός τροχός
delay (1500); // Χρόνος φρεναρίσματος
digitalWrite(breakL, HIGH); //Απελευθέρωση Αριστερού τροχού
digitalWrite(breakR, HIGH); //Απελευθέρωση Δεξιού τροχού
digitalWrite(revershL, LOW); //Εμπρόςθια κίνηση στον Αριστερό τροχό
digitalWrite(revershR, LOW); //Εμπρόςθια κίνηση στον Αριστερό τροχό
BACK=0; // Δίνω τιμή 0 στον δείκτη που μας πληροφορεί για την θέση
// εκτέλεσης του προγράμματος εξερχόμαστε απο την ρουτίνα
[void Move_Back()]
```

//Ελέγχουμε την απόσταση απο το πλησιέστερο εμπόδιο και επανακαθορίζεται η πορεία Αν το εμπόδιο στην αριστερή πλευρά είναι ποιό κοντά απο αυτό στην δεξιά πλευρά, και η απόσταση αυτή είναι μικρότερη απο 60 cm τότε το όχημα θα στρίψει Αριστερά, διαφορετικά θα στρίψει Δεξιά

Metrisi_apostasis (); // Καλείται η ρουτίνα μέτρησης απόστασης του αριστερού και δεξιού αισθητήρα ΕΛΕΓΧΟΥΜΕ τις αποστάσεις απο τα μπροστινά εμπόδια

```
if (apostasiL<apostasiR && apostasiL<60 && apostasiL>30)
```

```
{turn_Right(); }
```

```
if (apostasiR<apostasiL && apostasiR<60 && apostasiR>30)
```

```
{ turn_Left();}
```

```
apostasiBACK=50; }
```

//αρχικοποιείται η μέτρηση της πίσω απόστασης

// Υπορουτίνα κίνησης προς τα εμπρός

```
void Move_Forward() {
```



```

revershR1=1;
    // Συντελεστής για την αύξηση του μετρητή παλμών κατά την
    // εμπρόσθια κίνηση στον Δεξί τροχό
revershL1=1;
    // Συντελεστής για την αύξηση του μετρητή παλμών κατά την
    // εμπρόσθια κίνηση στον Αριστερό τροχό
if (FRONTR==0)
    // έλεγχος της μεταβλητής FRONTR, όταν αυτή έχει την τιμή 0
    // σημαίνει ότι η ρουτίνα καλείτε από την Void Look και είναι σε
    // λειτουργία με εξωτερική τοποθέτηση χρόνου κίνησης οπότε θα πρέπει
    // να καταγράψει τον χρόνο εισόδου στην ρουτίνα απο την μεταβλητή
    // DriverR στην DriverR1
{DriverR1=DriverR; }
if (STOP1==LOW) //Αν είναι ενεργοποιημένο το STOP δίνεται ταχύτητα 0
    στους κινητήρες και το όχημα σταματάει
{analogWrite(enR,0);
analogWrite(enL,0);}
else { // Αν ΔEN είναι ενεργοποιημένο το STOP δίνεται ταχύτητα στους
    κινητήρες μέσω των μεταβλητών VEL_R και VEL_L
analogWrite(enR,VEL_R);
analogWrite(enL,VEL_L);
    // Αν είμαστε σε λειτουργία με εξωτερική τοποθέτηση χρόνου κίνησης
    // (Time_Driver1==LOW) (Κόκκινος πλαϊνός διακόπτης στη θέση 2)
    // και ο χρόνος εκτέλεσης της ρουτίνας αυξηθεί κατά την τιμή της
    // μεταβλητής MOVE_Time_Front (που είναι ο επιθυμητός χρόνος
    // κίνησης) τότε θα εκτελεστεί διαδικασία σταματήματος των τροχών
if (Time_Driver1==LOW && DriverR>=(DriverR1+MOVE_Time_Front)) {
    analogWrite(enR,0) // Δίνεται ταχύτητα 0 στον Δεξιό τροχό
    analogWrite(enL,0); //Δίνεται ταχύτητα 0 στον Αριστερό τροχό
    digitalWrite(breakR, LOW); //Φρενάρει ο Δεξιός τροχός

```

```

digitalWrite(breakL, LOW); //Φρενάρει ο Αριστερός τροχός
delay (1500); // Χρόνος ενεργοποίησης του φρένου
digitalWrite(breakL, HIGH); //Απελευθέρωση Δεξιού τροχού
digitalWrite(breakR, HIGH); //Απελευθέρωση Αριστερού τροχού

```

*******!!!!!! ***** Η παρακάτω εντολή θα πρέπει να ΚΑΤΑΡΓΗΘΕΙ - ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΘΕΙ όταν επικοινωνούμε με το Raspberry*******

- DriverR1=DriverR; // θα δοθεί η τιμή του χρόνου εισόδου στη ρουτίνα στην DriverR1 και θα συνεχιστεί η λειτουργία για τον επόμενο MOVE_Time_Front χρόνο

*******!!!!!! ***** Η παραπάνω εντολή θα πρέπει να ΚΑΤΑΡΓΗΘΕΙ - ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΘΕΙ όταν επικοινωνούμε με το Raspberry*******

```

}
FRONTR=1; }} //Δίνεται τιμή 1 στην μεταβλητή FRONTR
// Υπορουτίνα διακοπής λειτουργίας Stop
void Move_Stop() {
analogWrite(enR,0); // Δίνεται ταχύτητα 0 στον Δεξιό τροχό
analogWrite(enL,0); } // Δίνεται ταχύτητα 0 στον Αριστερό τροχό

// Υπορουτίνα Αριστερής στροφής του οχήματος
void turn_Left()
{ revershR1=1; //Συντελεστής για την αύξηση του μετρητή παλμών
//κατά την εμπρόσθια κίνηση στον Δεξί τροχό
revershL1=1; //Συντελεστής για την αύξηση του μετρητή παλμών
//κατά την εμπρόσθια κίνηση στον Αριστερό τροχό
LEFT=1; // Δίνεται τιμή 1 στην μεταβλητή LEFT (δείκτης ότι εκτελείτε
//η ρουτίνα Αριστερής στροφής
analogWrite(enL,0); // Δίνεται ταχύτητα 0 στον Δεξιό τροχό
analogWrite(enR,0); //Δίνεται ταχύτητα 0 στον Αριστερό τροχό
digitalWrite(breakL, LOW); //Φρενάρει ο Δεξιός τροχός

```

```

digitalWrite(breakR, LOW); //Φρενάρει ο Αριστερός τροχός
delay (1500); // Χρόνος ενεργοποίησης του φρένου
Metrisi_apostasis (); //Καλείται η ρουτίνα μέτρησης απόστασης του
//αριστερού και δεξιού αισθητήρα
if ( apostasiR<30 // apostasiL<30 ) //Αν η απόσταση από κάποιο εμπόδιο
//είναι μικρότερη από 30 εκατοστά τότε
//μηδενίζει την μεταβλητή
//MOVE_FRONT_LEFT και καλεί την
//ρουτίνα πίσω κίνησης
{COUNT_MOVE=0; //Μηδενίζει την COUNT_MOVE ώστε να
//μπορέσει να μετρήσει την οπίσθια κίνηση και
//να σταματήσει όταν αυτή ξεπεράσει αυτή που
//ορίσαμε στην MOVE_Pulsh_Back
Move_Back();}
//Αν η απόσταση από κάποιο εμπόδιο είναι μεγαλύτερη από 30 εκατοστά τότε
else
{digitalWrite(breakR, HIGH); //Απενεργοποιεί το φρένο του Δεξιού τροχού
analogWrite(enR,72); // Δίνεται ταχύτητα 71 στον Δεξιό τροχό
delay (1100); // Διατηρείτε για 1,1 δευτερόλεπτο
analogWrite(enR,0); // Δίνεται ταχύτητα 0 στον Δεξιό τροχό
digitalWrite(breakR, LOW); //Φρενάρει ο Δεξιός τροχός
delay (800); // Χρόνος ενεργοποίησης του φρένου
digitalWrite(breakL, HIGH); //Απενεργοποιεί το φρένο του Αριστερού
//τροχού
digitalWrite(breakR, HIGH); } //Απενεργοποιεί το φρένο του Δεξιού
//τροχού
LEFT=0; // Μηδενίζει τον δείκτη LEFT (δηλώνει ότι
//φεύγει από την υπορουτίνα Αριστερής στροφής)
COUNT_MOVE=0; } //Μηδενίζει την μεταβλητή COUNT_MOVE
void turn_Right () // Υπορουτίνα Δεξιάς στροφής

```

```

{ revershR1=1;           //Συντελεστής για την αύξηση του μετρητή
                        παλμών κατά την εμπρόσθια κίνηση στον Δεξί τροχό
revershL1=1;           //Συντελεστής για την αύξηση του μετρητή
                        παλμών κατά την εμπρόσθια κίνηση στον Αριστερό τροχό
RIGHT=1;              //Δίνω τιμή 1 στην μεταβλητή RIGHT (δείκτης
                        ότι εκτελείτε η ρουτίνα Δεξιάς στροφής)
analogWrite(enL,0); // Δίνεται ταχύτητα 0 στον Δεξιό τροχό
analogWrite(enR,0); // Δίνεται ταχύτητα 0 στον Αριστερό τροχό
digitalWrite(breakL, LOW); //Φρενάρει ο Δεξιός τροχός
digitalWrite(breakR, LOW); //Φρενάρει ο Αριστερός τροχός
delay (1500);         // Χρόνος ενεργοποίησης του φρένου
Metrisi_apostasis (); //Καλώ την ρουτίνα μέτρησης
                        απόστασης του αριστερού και δεξιού αισθητήρα

if ( apostasiR<30 // apostasiL<30 ) //Αν η απόσταση από κάποιο
εμπόδιο
                        είναι μικρότερη από 30 εκατοστά τότε
                        μηδενίζει την μεταβλητή
                        COUNT_MOVE και καλεί την ρουτίνα
                        πίσω κίνησης
{ COUNT_MOVE=0; //Μηδενίζει την μεταβλητή COUNT_MOVE
  Move_Back(); } // καλεί την ρουτίνα πίσω κίνησης
else //Αν η απόσταση από κάποιο εμπόδιο είναι
      μεγαλύτερη από 30 εκατοστά τότε
{ digitalWrite(breakL, HIGH); //Απενεργοποιεί το φρένο του Αριστερού
                                τροχού
analogWrite(enL,72); // Δίνεται ταχύτητα 72 στον Αριστερού τροχό
delay (1100); // Διατηρείτε για 1,1 δευτερόλεπτο
analogWrite(enL,0); // Δίνεται ταχύτητα 0 στον Αριστερού τροχό
digitalWrite(breakL, LOW); //Φρενάρει ο Αριστερού τροχός
delay (800); // Χρόνος ενεργοποίησης του φρένου

```

```

digitalWrite(breakL, HIGH); //Απενεργοποιεί το φρένο του Αριστερού
                                τροχού
digitalWrite(breakR, HIGH);} //Απενεργοποιεί το φρένο του Δεξιού
                                τροχού
RIGHT=0; // Μηδενίζει τον δείκτη RIGHT (δηλώνει ότι φεύγει
                                από την υπορουτίνα Δεξιάς στροφής)
COUNT_MOVE=0; } //Μηδενίζει την μεταβλητή COUNT_MOVE
// Η συνάρτηση loop εκτελείται συνέχεια ως ατέρμων βρόχος
void loop() {
metrisiR2.data=metrisiR; //δίνεται η τιμή της μέτρησης παλμών δεξιού
                                τροχού στη μεταβλητή metrisiR2
metrisiL2.data=metrisiL; // δίνεται η τιμή της μέτρησης παλμών
                                αριστερού τροχού στη μεταβλητή metrisiL2
countR.publish( &metrisiR2 ); //στέλνεται την μέτρηση στο Rostopick
                                metrisiR2
countL.publish( &metrisiL2 ); // στέλνεται την μέτρηση στο Rostopick
                                metrisiL2
apostasiBack1.data=apostasiBACK; // δίνω την τιμή της μέτρησης
                                απόστασης του πίσω αισθητήρα στην apostasiBack1
countR.publish( &metrisiR2 ); //στέλνω την μέτρηση στον κόμβο
                                countR
countL.publish( &metrisiL2 ); //στέλνω την μέτρηση στον κόμβο
                                countL
pub_rangeL.publish( &apostasiL1 ); //στέλνω την μέτρηση στον κόμβο
                                pub_rangeL
pub_rangeR.publish( &apostasiR1 ); //στέλνω την μέτρηση στον κόμβο
                                pub_rangeR
pub_rangeBack.publish( &apostasiBack1 ); //στέλνω την μέτρηση
                                στον κόμβο pub_rangeBack

str_msg.data = hello;

```

```

chatter.publish( &str_msg );
taxR.data=MOVE_Time_Front; // δίνεται στην δοκιμαστική μεταβλητή
    taxR η τιμή της μεταβλητής που θέλω κάθε φορά να δώ
    μέσω του δοκιμαστικού topic tax_topicR
taxr.publish( &taxR );
nh.spinOnce();
    delay(1);
Metrisi_apostasis ();           // Καλεί την υπορουτίνα μέτρησης απόστασης

STOP1=digitalRead(STOP);       // Διαβάζει την τιμή του button STOP

Reset1=digitalRead(Reset);     // Διαβάζει την τιμή του button Reset
Pulsh_DRIVER1=digitalRead(Pulsh_DRIVER); // Διαβάζει την τιμή του
    διακόπτη κατάστασης
    λειτουργίας (κόκκινος πλαϊνός
    διακόπτης)
Time_Driver1=digitalRead(Time_Driver); // Διαβάζει την τιμή του
    διακόπτη κατάστασης
    λειτουργίας (κόκκινος πλαϊνός
    διακόπτης)

if (Reset1==LOW // RosReset==0) // Αν το Reset ενεργοποιηθεί τότε
    μηδενίζει τις μετρήσεις των παλμών οδομετρίας
{metrisiR=0;
metrisiL=0;
COUNT_MOVE=0;
MOVE_FRONT_RIGHT=0;}
// Αυτόνομη Κίνηση (κόκκινος πλαϊνός διακόπτης στη θέση 1)
if (BACK==0 && RIGHT==0 && LEFT==0 &&
Pulsh_DRIVER1==LOW && Time_Driver1==HIGH )
// Κόκκινος πλαϊνός διακόπτης στη θέση 1
{ Move_Forward(); } // Εμπρόσθια κίνηση

```

// Κίνηση με εξωτερική τοποθέτηση χρόνου κίνησης

```

if (BACK==0&&RIGHT==0&& LEFT==0 && Time_Driver1==LOW
&& Pulsh_DRIVER1==HIGH) //Κόκκινος πλαϊνός διακόπτης στη θέση 2
{
DriverR=millis();
FRONTR==0;
Move_Forward(); }

```

//Κίνηση με εξωτερική τοποθέτηση παλμών κόκκινος πλαϊνός διακόπτης στη θέση 0

```

if (BACK==0 && RIGHT==0 && LEFT==0 &&
Pulsh_DRIVER1==HIGH && Time_Driver1==HIGH &&
COUNT_MOVE<=MOVE_Pulsh_Front &&
MOVE_FRONT_RIGHT<=MOVE_Pulsh_Front)
{analogWrite(enR,VEL_R); //τοποθετούνται ταχύτητες στους τροχούς
analogWrite(enL,VEL_L);
Move_Forward();} // και καλείται η υπορουτίνα εμπρόσθιας κίνησης
if (STOP1==LOW) // ελέγχει το STOP και αν αυτό είναι ενεργοποιημένο
τότε καλεί την υπορουτίνα Stop
{ Move_Stop();}
// Ελέγχει αν είναι σε λειτουργία κίνησης για ορισμένους παλμούς
(στη μεταβλητή MOVE_Pulsh_Front), συγκρίνει την τιμή της
MOVE_Pulsh_Front με τις τιμές των (COUNT_MOVE ,
MOVE_FRONT_RIGHT) και μόλις αυτές ξεπεράσουν την ορισμένη
στην MOVE_Pulsh_Front τότε σταματάει το όχημα
if (COUNT_MOVE>=MOVE_Pulsh_Front && FRONTL==1 &&
Pulsh_DRIVER1==HIGH && Time_Driver1==HIGH//
MOVE_FRONT_RIGHT>=MOVE_Pulsh_Front && FRONTR==1
&& Pulsh_DRIVER1==HIGH && Time_Driver1==HIGH )
{
analogWrite(enR,0);

```

```

analogWrite(enL,0);
digitalWrite(breakR, LOW);
digitalWrite(breakL, LOW);
delay (1500);

digitalWrite(breakL, HIGH);

digitalWrite(breakR, HIGH);

```

```
FRONTR=0;
```

```
FRONTL=0;
```

```
}
```

// Αν είναι σε εμπρόσθια κίνηση και η απόσταση της Αριστερής πλευράς απο κάποιο εμπόδιο είναι μεταξύ 60 και 31 cm τότε το όχημα στρίβει δεξιά

```

if ( apostasiL<60 && apostasiL>=31 && STOP1!=LOW &&
BACK==0 && LEFT==0 && RIGHT==0)
  {turn_Right(); }

```

//Αν είναι σε εμπρόσθια κίνηση και η απόσταση της Δεξιά πλευράς απο κάποιο εμπόδιο είναι μεταξύ 60 και 31 cm τότε το όχημα στρίβει Αριστερά

```

if ( apostasiR<60 && apostasiR>=31 && STOP1!=LOW &&
BACK==0 && RIGHT==0 && LEFT==0 )
  { turn_Left(); }

```

// Αν ΔΕΝ είναι σε οπίσθια κίνηση και η απόσταση της Δεξιά ή της Αριστερής πλευράς απο κάποιο εμπόδιο είναι μικρότερη απο 30 cm τότε το όχημα κινείται όπισθεν

```

if( apostasiR<31 && BACK==0 || apostasiL<31 && BACK==0 )
  { COUNT_MOVE=0; //Μηδενίζει την COUNT_MOVE ώστε να

```


μπορέσει να μετρήσει την οπίσθια κίνηση και να σταματήσει όταν αυτή ξεπεράσει αυτή που ορίσαμε στην MOVE_Pulsh_Back

```
Move_Back(); }
```

```
//Αν είναι σε οπίσθια κίνηση τότε μετράει την οπίσθια απόσταση  
//(Metrisi_apostasis_Piso ())
```

```
if (BACK==1 && STOP1!=LOW )
```

```
{
```

```
Metrisi_apostasis_Piso ();
```

```
}
```

```
// Ελέγχει αν η τιμή της μεταβλητής COUNT_MOVE ξεπέρασε αυτή  
της MOVE_Pulsh_Back (την οποία ορίζουμε), τότε ενεργοποιεί την  
υπορουτίνα στάσης της πίσω κίνησης. [STOP_Back()]
```

```
if (COUNT_MOVE>=MOVE_Pulsh_Back && BACK==1 //  
apostasiBACK <= 30 && BACK==1 )
```

```
{ STOP_Back(); } }
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Μεταφορά δεδομένων από ROS σε Arduino μέσω sketch της Python

```
import rospy

from std_msgs.msg import Float64

from random import randint

from time import sleep

rospy.init_node('Arduino_hear_my_whispers')

pub = rospy.Publisher('vel_Right', Float64, queue_size=10) // Δημιουργούμε τον
//κόμβο pub μέσω του οποίου θα δημοσιεύουμε στο Rostopick 'vel_Right'

p = rospy.Publisher('vel_Left', Float64, queue_size=10) // Δημιουργούμε τον κόμβο p
//μέσω του οποίου θα δημοσιεύουμε στο Rostopick 'vel_Left'

time1 = rospy.Publisher('MOVE_Time_Front', Float64, queue_size=10)
//Δημιουργούμε τον κόμβο time1 μέσω του οποίου θα δημοσιεύουμε στο Rostopick
//'MOVE_Time_Front'

Reset1 = rospy.Publisher('Reset_ROS', Float64, queue_size=10) //Δημιουργούμε τον
//κόμβο Reset1 μέσω του οποίου θα δημοσιεύουμε στο Rostopick 'Reset_ROS'

while not rospy.is_shutdown():

//Δίνουμε τιμές ταχύτητας, χρόνου κίνησης και τιμή Reset στις αντίστοιχες
μεταβλητές:

    Rvel=69

    Lvel=70

    time=500

    Reset=111
```

Εμφανίζουμε τις τιμές των μεταβλητών και τα αντίστοιχα λεκτικά στην οθόνη όταν στέλνουμε δεδομένα στα topics.

```
print "Velocity Right is " + str(Rvel) + " Velocity Left is " + str(Lvel) + "  
Move time is " + str(time) + " RESET = " + str(Reset)
```

```
vel_Right=Float64(Rvel)
```

```
pub.publish(vel_Right) // Δημοσιεύουμε τιμή της μεταβλητής Rvel στο
```

```
//Rostopick 'vel_Right' μέσω του κόμβου pub
```

```
vel_Left=Float64(Lvel)
```

```
p.publish(vel_Left) //Δημοσιεύουμε την τιμή της μεταβλητής Lvel στο
```

```
//Rostopick 'vel_Left' μέσω του κόμβου p
```

```
Reset_ROS=Float64(Reset)
```

```
Reset1.publish(Reset_ROS) //Δημοσιεύουμε την τιμή της μεταβλητής Reset
```

```
//στο Rostopick 'Reset_ROS' μέσω του κόμβου Reset1
```

```
time_move=Float64(time)
```

```
time1.publish(time_move) //Δημοσιεύουμε την τιμή της μεταβλητής time
```

```
//στο Rostopick 'time_move' μέσω του κόμβου time1
```

```
rate = rospy.Rate(10)
```

```
sleep(3) // χρονοκαθυστέρηση 3 sec και αναδημοσίευση των τιμών.
```

```
rate.sleep()
```