



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

MSc in
ROBOTICS

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα:

**«Μελέτη, σχεδίαση και υλοποίηση αυτόνομου
ρομποτικού οχήματος ως μεταφορικό μέσο
σε βιομηχανικό περιβάλλον»**



Σπουδαστής:

Διονυσιάδης Γεώργιος

Επιβλέπων καθηγητής:

Δρ. Βολογιαννίδης Στάυρος

Σέρρες, Σεπτέμβριος 2022

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

Διονυσιάδης Γεώργιος

Ευχαριστίες

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.

Για την προσπάθεια αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Πρόεδρο της εταιρείας Ρηκαπ κ. Κώστα Αποστολίδη, για την οικονομική υποστήριξη και την διάθεση του κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού ώστε να υλοποιηθεί το ρομποτικό όχημα που πραγματεύεται η διπλωματική εργασία.

Για την κατανόηση, την ανοχή και την στήριξη από τους συναδέλφους μου χρωστάω ένα μεγάλο ευχαριστώ και επιστροφή δημιουργικού χρόνου στην Βασιλική Παπαμαρίνου και Θανάση Μπουντλιάκη.

Διονυσιάδης Γεώργιος

Σέρρες Σεπτέμβριος 2022

Σύνοψη

Οι επιχειρήσεις σχεδόν οποιουδήποτε μεγέθους και σχεδόν σε κάθε κλάδο εξετάζουν την αυτοματοποίηση για να συμβάλουν στη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας και της ασφάλειας των εργαζομένων. Οι διαδικασίες παραγωγής ήταν πρώιμοι στόχοι για την αυτοματοποίηση και η πρόοδος στα οικονομικά, ασφαλή και εύχρηστα συνεργατικά ρομπότ έκανε γρήγορα αυτόν τον τύπο αυτοματισμού προσβάσιμο ακόμη και για μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις (SMB). Αφού είδαν γρήγορη και ουσιαστική απόδοση της επένδυσης από αυτές τις τεχνολογίες, οι ηγέτες των επιχειρήσεων προσπαθούν τώρα να αυτοματοποιήσουν άλλες άχρηστες διαδικασίες στους οργανισμούς τους.

Πρωταρχικός στόχος είναι η μεταφορά υλικών όπου υπάρχουν πολλές δυνατότητες βελτιστοποίησης των διαδικασιών και των ροών εργασίας σημαντικά με τα AMR. Τα AMR αποτελούν μια ασφαλή, ευέλικτη και αποτελεσματική εναλλακτική λύση σε άλλες εσωτερικές λύσεις εφοδιαστικής, όπως AGV, περνοφόρα ανυψωτικά και μεταφορείς.

Τα αυτόνομα κινητά ρομπότ και ασφάλεια

Τα AMR είναι συνεργατικά και έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν δίπλα σε ανθρώπους. Η απόλυτη ασφάλεια είναι το κύριο χαρακτηριστικό για τα συνεργατικά κινητά ρομπότ που τρέχουν σε δυναμικά περιβάλλοντα και εργάζονται μαζί με ανθρώπους. Σε περίπτωση που ένας άνθρωπος σκοντάψει μπροστά από ένα AMR, ένα σύστημα σάρωσης λέιζερ με αξιολόγηση ασφαλείας ερμηνεύει το εμπόδιο αρκετά γρήγορα ώστε είτε να επαναδρομολογηθεί είτε να σταματήσει εντελώς για να αποτρέψει μια σύγκρουση. Στην περίπτωσή μας, υπάρχει κάλυψη ασφαλείας 360 μοιρών γύρω από το ρομπότ, ανιχνεύοντας εμπόδια αρκετά μέτρα μπροστά, ώστε να μπορούν να καθορίσουν τι πρέπει να συμβεί στη συνέχεια. Με την πρόσφατη ζήτηση για αυτήν την τεχνολογία σε όλους τους κλάδους, είναι σημαντικό να παραδοθεί ένα σύστημα που δεν θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια. Με ταχύτητες όχι μεγαλύτερες από τους ανθρώπους που περπατούν, οι εργαζόμενοι μπορούν να αισθάνονται εντελώς άνετα με αυτήν την τεχνολογία.

Εταιρείες που ενσωματώνουν AMR στον γενικό αυτοματισμό

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, εταιρείες σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού ενσωματώνουν κινητά ρομπότ σε εφαρμογές που απαιτούν τη μεταφορά οποιουδήποτε υλικού. Μπορούν να αποτελούν μέρος ενός πλήρως αυτοματοποιημένου στόλου ρομπότ που μεταφέρουν αντικείμενα γύρω από μια αποθήκη ή μεταξύ μιας εγκατάστασης παραγωγής και μιας αποθήκης. Για παράδειγμα, στις εγκαταστάσεις Flex στην Αυστρία, δύο AMR μετακινούν υλικά σε μια έκταση 600 μέτρων από την αποθήκη στην περιοχή του προϊόντος χωρίς διακοπή, απελευθερώνοντας τους υπαλλήλους από μονότονες εργασίες μεταφοράς και στη Magna-Power με έδρα το Νιου Τζέρσεϊ, δύο AMR έχουν απελευθέρωσε το ισοδύναμο τριών εργαζομένων πλήρους απασχόλησης από την επαναλαμβανόμενη, χαμηλής αξίας μεταφορά εξαρτημάτων και συγκροτημάτων, ώστε οι εργαζόμενοι να μπορούν να επικεντρώσουν τις δεξιότητές τους σε δραστηριότητες υψηλότερης αξίας.

Τα AMR είναι εξαιρετικά εύκολο να προγραμματιστούν και μπορούν να ενσωματωθούν σε όλους τους τύπους εσωτερικών περιβαλλόντων, συμπεριλαμβανομένων των πιο δύσκολων δυναμικών δαπέδων φυτών. Ορισμένα AMR μπορούν ακόμη και να ανοίγουν πόρτες και να ανεβαίνουν και να κατεβαίνουν ανελκυστήρες.

Συνιστάται επίσης στις εταιρείες να ξεκινούν με ένα ή δύο κινητά ρομπότ, ακόμα κι αν έχουν αρκετές εργασίες για να απασχολήσουν έναν ολόκληρο στόλο. Γνωρίστε πώς λειτουργούν και τότε θα είναι πολύ πιο εύκολο και γρήγορο να ενσωματώσετε περισσότερα ρομπότ σε περισσότερες εφαρμογές. Επίσης, ξεκινήστε με έναν τοπικό εκπαιδευμένο διανομέα που μπορεί να τον καθοδηγήσει σε όλη τη διαδικασία.

Πλοήγηση σε αποθήκες

Σε αντίθεση με τα αυτοματοποιημένα οχήματα καθοδήγησης (AGV), τα οποία πρέπει να καθοδηγούνται από καλώδια, μαγνητικές ταινίες ή αισθητήρες που είναι εγκατεστημένοι στην αποθήκη, τα AMR πλοηγούνται μέσω χαρτών που έχουν κατασκευαστεί από λογισμικό είτε επιτόπου μέσω των σαρωτών λέιζερ είτε μέσω προφορτωμένων σχεδίων εγκαταστάσεων. Μοιάζει πολύ με ένα αυτοκίνητο με GPS και ένα προφορτωμένο σύνολο χαρτών. Οι διευθύνσεις είναι σημεία στον χάρτη. Κατά την πλοήγηση μεταξύ σημείων, το σύστημα καθορίζει την καλύτερη διαδρομή. Το AMR διδάσκεται τις τοποθεσίες για την παραλαβή και την αφαίρεση εξαρτημάτων μέσω της διαισθητικής διεπαφής του, όπου είναι επίσης δυνατό να καθοριστούν περιοχές όπου θα πρέπει να επιταχύνει ή να αποεπιταχύνει, προτιμώμενες περιοχές για οδήγηση και περιοχές όπου δεν επιτρέπεται να οδηγήσει. Το AMR χρησιμοποιεί δεδομένα από κάμερες και ενσωματωμένους αισθητήρες και σαρωτές λέιζερ, καθώς και εξελιγμένο λογισμικό που του επιτρέπει να ανιχνεύει το περιβάλλον του και να επιλέγει την πιο αποτελεσματική διαδρομή προς τον στόχο. Λειτουργεί εντελώς αυτόνομα και εάν παρουσιαστούν περνοφόρα ανυψωτικά, παλέτες, άνθρωποι ή άλλα εμπόδια μπροστά του, το AMR θα κινηθεί με ασφάλεια γύρω από αυτά, χρησιμοποιώντας την καλύτερη εναλλακτική διαδρομή.

Η τυπική απόδοση επένδυσης

Η εύκολη ενσωμάτωση και το γεγονός ότι οι εταιρείες δεν χρειάζεται να κάνουν αλλαγές στην υπάρχουσα εργοστασιακή διάταξη κατά την ενσωμάτωση των AMR επιτρέπουν χαμηλό αρχικό κόστος. Επιπλέον, τα AMR είναι ένα αξιόπιστο εργατικό δυναμικό που μπορεί να λειτουργήσει για περίπου 12 έως 15 ώρες χωρίς διαλείμματα. Μπορούν να φορτιστούν αυτόματα, όταν δεν έχουν εργασίες να εκτελέσουν, διασφαλίζοντας ομαλή ροή εργασιών και βελτιστοποιώντας την εσωτερική επιμελητεία. Το ROI είναι συνήθως λιγότερο από ένα έτος, λόγω αυτής της εύκολης ενσωμάτωσης και επειδή ένα ρομπότ συνήθως –ανάλογα με την εφαρμογή– ελευθερώνει δύο υπαλλήλους πλήρους απασχόλησης για να εκτελέσουν εργασίες υψηλότερης αξίας.

Στην περίπτωση μας, το αυτόνομο κινητό ρομπότ θα μπορεί να μεταφέρει φορτία έως και 100 kg σε εσωτερικούς χώρους εντός εγκαταστάσεων παραγωγής, αποθηκών και άλλων βιομηχανικών τοποθεσιών όπου υπάρχει πρόσβαση στο κοινό.

Ο χρήστης μπορεί να χειριστεί το ρομπότ μέσα από το περιβάλλον του ROS, στο οποίο έχει πρόσβαση μέσω υπολογιστή, κινητό τηλέφωνο ή ταμπλετ. Κάθε ρομπότ έχει το δικό του δίκτυο. Το ρομπότ μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να εκτελεί μια σταθερή διαδρομή, να καλείται κατ' απαίτηση ή να εκτελεί πιο περίπλοκες αποστολές. Το ρομπότ χρησιμοποιεί έναν χάρτη της περιοχής εργασίας του για πλοήγηση και μπορεί να μετακινηθεί σε οποιαδήποτε θέση του χάρτη. Ο χάρτης μπορεί να δημιουργηθεί ή να εισαχθεί την πρώτη φορά που χρησιμοποιείται το ρομπότ. Κατά τη λειτουργία, το ρομπότ αποφεύγει εμπόδια που δεν χαρτογραφούνται, όπως ανθρώπους και έπιπλα.

Abstract

Businesses of nearly any size and in nearly every industry are looking at automation to help improve competitiveness and employee safety. Manufacturing processes were early targets for automation, and advances in cost-effective, safe, and easy-to-deploy collaborative robots quickly made this type of automation accessible even for small and mid-sized businesses (SMBs). After seeing fast and substantial return on investment from these technologies, business leaders are now looking to automate other wasteful processes within their organizations.

A prime target is material transportation where there are many possibilities of optimizing processes and workflows significantly with AMRs. AMRs constitute a safe, flexible and efficient alternative to other internal logistics solutions such as AGVs, forklifts and conveyors.

Autonomous mobile robots are safe

AMRs are collaborative and designed to work alongside humans. Being completely safe is the main feature for collaborative mobile robots that run in dynamic environments and work alongside humans. In case a human stumbles in front of an AMR, a safety-rated laser scanning system interprets the obstruction fast enough to either reroute or stop completely to prevent a collision. In our case, there is 360-degree safety coverage around the robot, detecting obstacles out several meters ahead so they can determine what needs to happen next. With the recent demand for this technology across all verticals, it is important to deliver a system that does not compromise safety. With speeds no faster than people walking, employees can feel completely comfortable around this technology.

Companies integrating AMRs in general automation

As mentioned previously, companies across the supply chain are integrating mobile robots in applications that require the transportation of any materials. They can be part of a fully automated fleet of robots that transport items around a warehouse or between a production facility and a warehouse. For example, at the Flex facility in Austria, two AMRs move materials along a 600-meter stretch from the warehouse to the product area without interruption, freeing employees from monotonous transportation tasks, and at New Jersey-based Magna-Power, two AMRs have freed the equivalent of three full-time employees from the repetitive, low-value transportation of components and assemblies so workers can focus their skills on higher-value activities.

AMRs are extremely easy to program, and can be integrated in all types of indoor environments, including the most difficult dynamic plant floors. Some AMRs are even able to open doors and go up and down elevators.

It is also recommend that companies start with one or two mobile robots, even if they have enough tasks to occupy an entire fleet. Get to know how they work and then it will be much easier and faster to integrate more robots across more applications. Also, start with a local trained distributor that can guide them through the entire process.

Navigation through warehouses

Unlike automated guided vehicles (AGVs), which need to be guided by wires, magnetic strips, or sensors installed within the warehouse, AMRs navigate via maps constructed by software either on-site via its laser scanners or via pre-loaded facility drawings. It's much like a car with a GPS and a pre-loaded set of maps. Addresses are points on the map. When navigating between points, the system determines the best route. The AMR is taught locations to pick up and drop off parts via its intuitive interface, where it is also possible to define areas where it should accelerate or de-accelerate, preferred areas to drive in, and areas where it is not allowed to drive. The AMR uses

data from cameras and built-in sensors and laser scanners as well as sophisticated software that enables it to detect its surroundings and choose the most efficient route to the target. It works completely autonomously, and if forklifts, pallets, people, or other obstacles occur in front of it, the AMR will safely manoeuvre around them, using the best alternative route.

The typical return on investment

The easy integration and the fact that companies do not need to make changes in the existing factory layout when integrating AMRs allow low initial costs. Moreover, AMRs are a reliable workforce that can run for around 12 to 15 hours without breaks. They can charge automatically, when they do not have tasks to perform, ensuring a smooth workflow and optimizes the internal logistics. The ROI is typically less than a year, due to this easy integration and because one robot usually – depending on the application - frees up two full-time employees to perform higher value tasks.

In our case the autonomous mobile robot will be able to transport loads up to 100 kg indoors within production facilities, warehouses, and other industrial locations where access to the public is restricted.

User can operate the robot via ROS interface, which is accessed through a PC, smartphone, or tablet. Each robot has its own network. The robot can be set up to run a fixed route, be called on demand, or perform more complex missions. The robot uses a map of its work area to navigate and can move to any position on the map. The map can be created or imported the first time the robot is used. While operating, the robot avoids obstacles that are not mapped, like people and furniture.

Πίνακας Περιεχομένων

Υπεύθυνη Δήλωση	2
Ευχαριστίες.....	3
Σύνοψη	4
Abstract	6
Ευρετήριο εικόνων	11
Ευρετήριο πινάκων	12
Ευρετήριο ακρωνύμων.....	12
Κεφάλαιο 1 Περιγραφή του προβλήματος	14
1.1 Εισαγωγή	14
1.2 Αυτόνομα Κινητά Ρομπότ (AMR)	14
1.3 Περιγραφή του προβλήματος	15
1.3.1 Γεωμετρία.....	15
1.3.2 Σύστημα κίνησης	16
1.3.3 Σύστημα συλλογής και μεταφοράς.....	16
1.3.4 Αισθητήρες	17
1.3.5 Αυτονομία	18
1.3.6 Συστήματα ελέγχου	18
Κεφάλαιο 2 Σύγχρονη τεχνολογία.....	22
2.1 Εισαγωγή	22
2.2 Σύγχρονες τεχνικές και τεχνολογία (State of the art).	22
2.2.1 Ρομποτικά οχήματα.....	22
2.2.2 Συμπεράσματα πάνω στις σύγχρονες τεχνικές και τεχνολογίες.....	30
Κεφάλαιο 3 Θεωρητικό υπόβαθρο	31
3.1 Εισαγωγή	31
3.2 Ολονομική ή μη οδήγηση.....	31
3.3 Χερσαία ρομπότ	31
3.3.1 Ρομπότ με τροχούς.....	31
3.4 Είδη τροχών	32
3.5 Επιλογές διάταξης τροχών	33
3.6 Έλεγχος τροχού με διαφορική κίνηση.....	34
3.7 Κινητήρες και επενεργητές	35
3.7.1 Γραμμικός επενεργητής (Linear actuator)	35

3.7.2 Περιστροφικός επενεργητής (Rotary actuator).....	35
3.7.3 Τύποι επενεργητών	36
3.7.4 Ηλεκτρικοί κινητήρες	36
3.7.5 Τύποι ηλεκτροκινητήρων συνεχούς ρεύματος	37
3.8 Ελεγκτές κίνησης	39
3.9 Οδήγηση κινητήρα	39
3.9.1 Οδήγηση κινητήρα με ψήκτρες συνεχούς ρεύματος.....	40
3.9.2 Οδήγηση κινητήρα χωρίς ψήκτρες συνεχούς ρεύματος	41
3.9.3 Έλεγχος ανάδρασης κινητήρα	46
3.9 Αισθητήρες	47
3.9.1 Αναλογικοί Αισθητήρες	48
3.9.2 Ψηφιακοί Αισθητήρες	48
3.9.3 Τύποι αισθητήρων.....	49
3.10 Συσσωρευτές – μπαταρίες	54
3.10.1 Παράμετροι απόδοσης μπαταρίας	55
3.10.2 Τύποι μπαταριών ιόντων λιθίου	57
3.10.3 Συγκριτικός πίνακας μπαταριών.	59
3.11 Λειτουργικό σύστημα.....	59
Κεφάλαιο 4 Ερευνητική μεθοδολογία	60
4.1 Εισαγωγή	60
4.2 Έρευνα αγοράς προμήθεια υλικών	60
4.3 Λίστα υλικών	60
4.4 Προμήθεια υλικών	61
4.5 Μεθοδολογία και επιστημονικά οφέλη.....	61
Κεφάλαιο 5 Υλοποίηση του ρομπότ.....	62
5.1 Εισαγωγή	62
5.2 Σχεδιασμός	62
5.3 Υλοποίηση του ρομποτικού οχήματος.....	63
5.3.1 Αμάξωμα.....	63
5.3.2 Σύστημα οδήγησης.....	65
5.3.3 Σύστημα ανύψωσης	66
5.3.4 Συστήματα ελέγχου	67
5.3.5 Σύστημα παροχής ενέργειας.....	71

3.5.6 Χωροθέτηση εξοπλισμού	72
5.3.7 Ολοκλήρωση της κατασκευής.....	73
5.4 Πειραματική διαδικασία	74
5.4.1 Λειτουργικό σύστημα.....	74
5.4.2 Προετοιμασία του SBC	74
5.4.3 Προγραμματισμός	75
Κεφάλαιο 6 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.....	80
6.1 Εισαγωγή.....	80
6.2 Αποτελέσματα	80
6.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	81
Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα και μελλοντική επέκταση	82
7.1 Συμπεράσματα	82
7.2 Πλεονεκτήματα	83
7.3 Μελλοντική επέκταση	83
Βιβλιογραφία.....	84

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1. Βιομηχανικό περιβάλλον εργασίας.....	15
Εικόνα 2. Idealworks - i.w.hub	22
Εικόνα 3. MiR - MiR1350	24
Εικόνα 4. Omron - HD1500.....	27
Εικόνα 5. Συγκεντρωτική εικόνα των AMR.	29
Εικόνα 6. Είδη τροχών	32
Εικόνα 7. Διαφορική οδήγηση.	34
Εικόνα 8. Γραμμικοί επενεργητές	35
Εικόνα 9. Περιστροφικός επενεργητής	35
Εικόνα 10. Αρχή περιστροφής ηλεκτροκινητήρα.....	36
Εικόνα 11. Απλός και γριναζωτός κινητήρας συνεχούς ρεύματος.	37
Εικόνα 12. Σέρβο κινητήρας.....	38
Εικόνα 13. Βηματικός κινητήρας.....	38
Εικόνα 14. Γραμμικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος.....	38
Εικόνα 15. Κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες	38
Εικόνα 16. Διάγραμμα ελέγχου κίνησης	39
Εικόνα 17. Έλεγχος της ταχύτητας BDC κινητήρα με PWM.	40
Εικόνα 18. Έλεγχος κατάστασης BDC κινητήρα με γέφυρα H	40
Εικόνα 19. Αρχή λειτουργίας κινητήρα BLDC.....	41
Εικόνα 20. Ταξινομήσεις κινητήρων BLDC.	42
Εικόνα 21. Τύποι ελεγκτών κινητήρα BLDC.	43
Εικόνα 22. Τριφασικός ελεγκτής κινητήρα BLDC με αισθητήρες θέσης Hall.....	44
Εικόνα 23. Τριφασική διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM).	45
Εικόνα 24. Απλοποιημένη μέτρηση back EMF.....	46
Εικόνα 25. Γραφική παράσταση ελέγχου ανάδρασης κινητήρα	47
Εικόνα 26. Αλγόριθμος ελέγχου PID.	47
Εικόνα 27. Αναλογικοί αισθητήρες.	48
Εικόνα 28. Ψηφιακοί αισθητήρες.	49
Εικόνα 29. 6 βαθμοί ελευθερίας.....	53
Εικόνα 30. Σχεδιασμός του ρομποτικού οχήματος.....	62
Εικόνα 31. Μεταφορά παλέτας.....	63
Εικόνα 32. Μεταφορά χαρτοκιβωτίου.	63
Εικόνα 33. Πολυχρηστική βάση στήριξης του αμαξώματος.....	63
Εικόνα 34. Κάτω πλαίσιο του αμαξώματος.....	64
Εικόνα 35. Άνω πλαίσιο του αμαξώματος	64
Εικόνα 36. Συναρμολόγηση αμαξώματος.....	64
Εικόνα 37. Περιφερειακά καλύμματα αμαξώματος.....	64
Εικόνα 38. Προσθήκη συστήματος οδήγησης.	65
Εικόνα 39. Σύστημα οδήγησης με αποσβεστήρες.....	65
Εικόνα 40. Τροχός - κινητήρας BLDC.....	66
Εικόνα 41. Συνδεσμολογία του οδηγού κινητήρα BLDC.....	66
Εικόνα 42. Σύστημα ανύψωσης.....	67

Εικόνα 43. Εγκατάσταση συστήματος ανύψωσης.....	67
Εικόνα 44. Γραμμικός επενεργητής.....	67
Εικόνα 45. DC Motor PWM Speed Controller 10-60V 20A.....	67
Εικόνα 46. RPLidar S1 - Slamtec και USB προσαρμογέα.....	68
Εικόνα 47. Σύνδεση του προσαρμογέα USB στον υπολογιστή μέσω καλωδίου Micro-USB.....	68
Εικόνα 48. Azure Kinect SDK – Microsoft.....	69
Εικόνα 49. Azure Kinect SDK – Microsoft.....	70
Εικόνα 50. Jetson Xavier NX – Nvidia.....	70
Εικόνα 51. LiFePO4 36V 100Ah 100A BMS 3000W.....	72
Εικόνα 52. Προσθήκη ηλεκτρονικού εξοπλισμού.....	73
Εικόνα 53. Ισομετρική όψη αμαξώματος.....	73
Εικόνα 54. Άνοψη αμαξώματος.....	73
Εικόνα 55. Ubuntu 18.04.6 LTS (Bionic Beaver).....	74
Εικόνα 56. Διανομή ROS.....	74
Εικόνα 57. Όψεις και διαστασιολόγηση του οχήματος.....	81

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1. Συγκριτικός πίνακας ρομποτικών οχημάτων.....	30
Πίνακας 2. Επιλογές διάταξης τροχών.....	34
Πίνακας 3. Τύποι επενεργητών.....	36
Πίνακας 4. Έλεγχος κατάστασης BDC κινητήρα με γέφυρα H.....	40
Πίνακας 5. Λίστα υλικών.....	60
Πίνακας 6. Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα BLDC.....	65
Πίνακας 7. Συνδεσμολογία αισθητήρα Hall.....	66
Πίνακας 8. Τεχνικά χαρακτηριστικά RPLidar S1 - Slamtec.....	68
Πίνακας 9. Τεχνικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας.....	71

Ευρετήριο ακρωνύμων

Robotics

AGV: Automated Guided Vehicles.....	14
AI: Artificial Intelligence.....	20
AMR: Autonomous Mobile Robot.....	14
ARAM: Robotics Automation Management.....	28
AS/RS: Automated Storage & Retrieval System.....	14
BLDC: Brushless DC electric motor.....	19
FLOW: Fleet Operations Workspace.....	28
IMU: Inertial Measurement Unit.....	17
PID: Proportional–Integral–Derivative controller.....	47
ROS: Robot Operating System.....	59
SBC: Single Board Computer.....	19

SLAM: Simultaneous Localization And Mapping	23
Standard VDA 5050: Verband Der Automobilindustrie.....	23
URDF: Unified Robot Description Format	62

Computers

ADC: Analog-to-Digital Converter.....	49
BSD: Berkeley Source Distribution	59
DSP: Digital Signal Processors.....	46
eMMC: Embedded MultiMedia Card	19
GPIO: General-purpose input/output	20
GPU: Graphics Processing Unit.....	20
IoT: Internet of Things	25
MCU: Microcontroller Unit.....	44
OS: Operating System.....	19
RAM: Random-Access Memory.....	20
SD: Secure Digital.....	19
SDK: Software Development Kit	69
SoC: System-on-a-chip.....	20
SSH: Secure Shell	20

Electronics

back EMF: Electromotive Force.....	42
CCD: Charge-Coupled Device.....	49
DOD: Depth Of Discharge	56
EMI: Electromagnetic Interference	43
ESD: Electrostatic Discharges	23
GaN: Gallium Nitride semiconductor	44
IC: Integrated Circuit	45
IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor	44
IP: Ingress Protection.....	25
IR: Infrared.....	50
PMS: Permanent Magnet Synchronous Motor	27
PWM: Pulse Width Modulation.....	40
RC: Radio Controlled.....	58
SCR: Silicon-Controlled Rectifier.....	40

Engineering

BOM: Bill Of Materials.....	46
CAD: Computer-Aided Design	26
OEM: Original Equipment Manufacturer	70
PU: Polyurethane.....	65
RGB: Red Green Blue	69
RPM: Rounds Per Minute	37
SW: Solidworks	62

Κεφάλαιο 1 Περιγραφή του προβλήματος

1.1 Εισαγωγή

Οι τελευταίες δεκαετίες έχουν φέρει μνημειώδεις αλλαγές στον κόσμο της εκπλήρωσης παραγγελιών και του χειρισμού υλικών. Από το αυξανόμενο κόστος εργασίας έως τη συρρίκνωση της δεξαμενής ειδικευμένων εργαζομένων έως την αυξημένη πίεση της επόμενης, της ίδιας ημέρας και της παράδοσης δύο ωρών, οι σημερινές εργασίες εκπλήρωσης παραγγελιών έχουν να αντιμετωπίσουν πολλές νέες προκλήσεις.

Η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, επεξεργασίας και διαδικασιών ήταν πάντα ένα σημαντικό κομμάτι για τις λειτουργίες διανομής, οι οποίες πρέπει να εκσυγχρονίζονται και να προσαρμόζονται τακτικά για να παραμένουν ανταγωνιστικές και κερδοφόρες σε αυτή τη νέα πραγματικότητα.

Ο τομέας της ρομποτικής αποθήκης, ειδικά, έχει πολλά να προσφέρει όσον αφορά την τεχνολογία αυτοματισμού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας. Αν και ορισμένοι τύποι ρομπότ αποθήκης όπως AGV, AS/RS και άλλα υπάρχουν ήδη εδώ και χρόνια, η διαχείριση της αποθήκης καλωσορίζει ένα νέο εισερχόμενο στην αγορά: Αυτόνομα Κινητά Ρομπότ, γνωστά και ως AMR.

1.2 Αυτόνομα Κινητά Ρομπότ (AMR)

Σε γενικές γραμμές, ένα αυτόνομο κινητό ρομπότ (AMR) είναι κάθε ρομπότ που μπορεί να κατανοήσει και να κινηθεί μέσα στο περιβάλλον του χωρίς να εποπτεύεται απευθείας από έναν χειριστή ή σε μια σταθερή προκαθορισμένη διαδρομή. Τα AMR διαθέτουν μια σειρά εξελιγμένων αισθητήρων που τους επιτρέπουν να κατανοούν και να ερμηνεύουν το περιβάλλον τους, το οποίο τους βοηθά να εκτελούν την εργασία τους με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο και διαδρομή, πλοηγώντας γύρω από σταθερά εμπόδια (κτίριο, ράφια, σταθμούς εργασίας κ.λπ.) και μεταβλητά εμπόδια (όπως άνθρωποι, ανυψωτικά φορτηγά και συντρίμια).

Αν και παρόμοια από πολλές απόψεις με τα αυτοματοποιημένα οχήματα καθοδήγησης (AGV), τα AMR διαφέρουν με πολλούς σημαντικούς τρόπους. Η μεγαλύτερη από αυτές τις διαφορές είναι η ευελιξία: τα AGV πρέπει να ακολουθούν πολύ πιο άκαμπτες, προκαθορισμένες διαδρομές από τα AMR. Τα αυτόνομα κινητά ρομπότ βρίσκουν την πιο αποτελεσματική διαδρομή για να επιτύχουν κάθε εργασία και έχουν σχεδιαστεί για να συνεργάζονται με χειριστές, όπως λειτουργίες συλλογής και ταξινόμησης, ενώ τα AGV συνήθως δεν το κάνουν.

Σε περιβάλλον αποθήκης και κέντρου διανομής, αυτές οι εξελιγμένες τεχνολογίες ενσωματώνονται με τα συστήματα ελέγχου της αποθήκης, τα οποία επιτρέπουν στα AMR αυξημένη ευελιξία να δημιουργούν τις δικές τους διαδρομές μεταξύ τοποθεσιών μέσα σε μια αποθήκη ή εγκατάσταση. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα ρομπότ που είναι πολύ καλύτερα ικανό να συνεργάζεται με ανθρώπους μέσα στο δυναμικό περιβάλλον που προσφέρουν οι περισσότερες λειτουργίες εκπλήρωσης παραγγελιών.

Τα αυτόνομα κινητά ρομπότ κάνουν τις διαδικασίες και τις ροές εργασίας πιο αποτελεσματικές και παραγωγικές. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με την εκτέλεση εργασιών χωρίς προστιθέμενη αξία όπως μεταφορά, παραλαβή και παράδοση προϊόντος προκειμένου να απελευθερωθούν οι εργάτες και να εκτελέσουν άλλες εργασίες που προσθέτουν αξία στο προϊόν/λειτουργία όπως η συλλογή, ο έλεγχος ή η συσκευασία μιας παραγγελίας.

1.3 Περιγραφή του προβλήματος

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την επίλυση της γρήγορης και ασφαλούς διαλογής και την διανομής υλικών σε σταθμούς εργασίας εντός βιομηχανικού περιβάλλοντος. Στο πλαίσιο αυτής της παραδοχής έχει επιλεγεί η μελέτη, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός αυτόνομου ρομποτικού οχήματος (AMR).

Η εργασία διαχωρίζεται σε φάσεις ενός συνολικού έργου στις οποίες επιλύεται σταδιακά ο σχεδιασμός και η κατασκευή των τμημάτων από τα οποία απαρτίζεται το ρομποτικό όχημα. Συγκεκριμένα τα τμήματα που θα μελετηθούν είναι το σασί, ο ηλεκτρικός εξοπλισμός, τα κινητά μέρη, οι αισθητήρες και οι ελεγκτές χαμηλού και υψηλού επιπέδου.

Οι βασικοί προβληματισμοί που πρέπει να απαντηθούν δημιουργούνται αφού πρώτα τεθεί ένα σενάριο στο οποίο περιγράφεται αναλυτικά η επιθυμητή ρουτίνα του αυτόνομου οχήματος. Στο σενάριο το οποίο επιλέχθηκε, ο χώρος εργασίας του οχήματος είναι ένα στεγασμένο βιομηχανικό περιβάλλον με ελεγχόμενες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας. Στον χώρο αυτό θεωρούμε ότι το επίπεδο είναι βιομηχανικό δάπεδο ρητίνης εποξειδικής βάσης με ρηγά κανάλια και χαμηλές ράμπες. Επίσης στο κτίριο υπάρχει εγκατεστημένο ασύρματο δίκτυο για την δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου του οχήματος.



Εικόνα 1. Βιομηχανικό περιβάλλον εργασίας

1.3.1 Γεωμετρία

Ο αρχικός προβληματισμός που τίθεται είναι η επιλογή της κατάλληλης εξωτερικής γεωμετρίας του οχήματος ώστε να πλοηγείται με ευκολία στον χώρο και να διανέμει τα υλικά ανάμεσα στους κατάλληλα διαμορφωμένους σταθμούς εργασίας.

Επίσης πρέπει να ορισθεί το μέγιστο ωφέλιμο φορτίο που απαιτείται να μεταφέρεται ώστε να γίνει ο κατάλληλος σχεδιασμός του πλαισίου του οχήματος. Ο σωστός συνδυασμός μεταξύ των υλικών, των διατομών, και της συνολικής γεωμετρίας θα έχει ως αποτέλεσμα την επιλογή της ιδανικής σχέσης μεταξύ βάρους και αντοχής της κατασκευής.

Για την ασφάλεια της μεταφοράς του φορτίου πρέπει να διατηρηθεί το κέντρο βάρους του οχήματος όσο το δυνατόν χαμηλότερα. Οφείλεται λοιπόν να γίνει η μέγιστη εκμετάλλευση της επιφάνειας φόρτωσης ώστε το κέντρο βάρους και του φορτίου να παραμένει χαμηλά προς στο κέντρο του πλαισίου του οχήματος.

Ο εξοπλισμός του οχήματος θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό την εσωτερική διάταξη του πλαισίου του οχήματος. Θα πρέπει να γίνει αρχικά μια πρόχειρη μελέτη των όγκων του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να δημιουργηθούν οι ανάλογες θέσεις όπως για παράδειγμα των αισθητήρων, των συστημάτων κίνησης καθώς και της μπαταρίας όπου θα καταλαμβάνει σημαντικό χώρο.

1.3.2 Σύστημα κίνησης

Βάση του σεναρίου που ακολουθείται, το όχημα θα κινείται σε περιβάλλον βιομηχανικής αποθήκης και κέντρου διανομής πάνω σε επίπεδο βιομηχανικό δάπεδο και θα πλοηγείται γύρω από σταθερά και μεταβλητά εμπόδια.

Οι τροχοί είναι η ασφαλέστερη επιλογή για την κίνηση ενός ρομπότ, καθώς είναι εύκολο να σχεδιαστούν, να εφαρμοστούν και να είναι πρακτικά για ρομπότ που απαιτούν ομαλή ταχύτητα. Επίσης, δεν πάσχουν από στατική ή δυναμική σταθερότητα καθώς το κέντρο βάρους του ρομπότ δεν αλλάζει όταν είναι σε κίνηση ή απλώς στέκονται ακίνητα και δεν απαιτούν πολύπλοκα μοντέλα, σχέδια και αλγόριθμους. Το μειονέκτημα είναι ότι δεν είναι σταθερά σε ανώμαλο ή δύσβατο έδαφος και επίσης σε εξαιρετικά λείες επιφάνειες καθώς τείνουν να γλιστρούν και να ολισθαίνουν. Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών μπορεί να χρησιμοποιηθούν τροχοί με πνευματικά ελαστικά και αποσβεστήρες κραδασμών (αμορτισέρ).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι τροχών που χρησιμοποιούνται στα ρομπότ. Κάθε τροχός έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί καλύτερα σε συγκεκριμένες καταστάσεις και αυτό που θα επιλεγεί θα πρέπει να βασίζεται στις απαιτήσεις του οχήματος και στο περιβάλλον στο οποίο θα εργαστεί.

Τα αυτόνομα ρομποτικά οχήματα προτιμώνται για ευέλικτες και σταθερές μετακινήσεις ιδίως όταν πρόκειται για μεγάλες αποστάσεις.

1.3.3 Σύστημα συλλογής και μεταφοράς

Τα ρομπότ συλλογής και μεταφοράς χρησιμοποιούνται συνήθως σε σύγχρονα περιβάλλοντα παραγωγής. Τα AMR που έχουν σχεδιαστεί για τη μεταφορά και τη διαλογή εμπορευμάτων εντός μιας εγκατάστασης ή αποθήκης. Ο αυτοματισμός παραλαβής και εναπόθεσης επιταχύνει τη διαδικασία παραλαβής εξαρτημάτων ή αντικειμένων και τοποθέτησής τους σε άλλες τοποθεσίες. Η αυτοματοποίηση αυτής της διαδικασίας συμβάλλει στην αύξηση των ρυθμών παραγωγής. Τα ρομπότ διαλογής και διανομής χειρίζονται επαναλαμβανόμενες εργασίες, ενώ ελευθερώνουν τους ανθρώπινους εργαζομένους να επικεντρωθούν σε πιο σύνθετες εργασίες.

Η διαλογή, η μεταφορά και ο χειρισμός αγαθών εντός μιας εγκατάστασης είναι οι πρώτες λειτουργίες που αυτοματοποιούνται όπου είναι δυνατόν. Στην πραγματικότητα, ακόμη κι αν αυτές οι εργασίες δεν παρέχουν προστιθέμενη αξία, απαιτούν χρόνο και πόρους προσωπικού. Η αυτοματοποίηση της μεταφοράς εμπορευμάτων απελευθερώνει το προσωπικό που μπορεί να αναλάβει πιο κρίσιμα καθήκοντα χωρίς να χρειάζεται να μετακινηθεί από το σταθμό εργασίας του.

Υπάρχουν φυσικά διαφορετικές λύσεις AMR για το χειρισμό αγαθών, όπως η συλλογή με ανύψωση από σταθμό παραλαβής, η ρυμούλκηση τροχήλατου κιβωτίου από τυχαία θέση, ακόμη και με ολίσθηση από σταθμό με μεταφορική ταινία. Κάθε σύστημα συμβάλλει στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της αποθήκης με το χειρισμό εμπορευμάτων σε διαφορετικά βάρη και σχήματα, που κυμαίνονται από βαριές παλέτες έως μικρά αντικείμενα.

1.3.4 Αισθητήρες

Με ένα τόσο μεγάλο φάσμα διαθέσιμων αισθητήρων, η επιλογή και τοποθέτηση τους είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Παράγοντες που υπαγορεύουν τις επιλογές είναι ο τύπος της εφαρμογής, η προδιαγραφή των χαρακτηριστικών πλοήγησης και εντοπισμού, το περιβάλλον στο οποίο πρόκειται να λειτουργήσει το AMR, η επιλογή αλγορίθμων λογισμικού, η διαθέσιμη υπολογιστική ισχύς για την εκτέλεση αλγορίθμων αυτών, όπως η συνένωση αισθητήρων, η κατανάλωση ενέργειας και το κόστος. Πάντα, υπάρχει μια αντιστάθμιση που λαμβάνεται κατά την εξισορρόπηση όλων των παραμέτρων επιλογής.

Το δυναμικό εύρος, η ακρίβεια, η ανάλυση, η γραμμικότητα, το οπτικό πεδίο και πολλές άλλες παράμετροι καθορίζουν την ποιότητα των αισθητήρων. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε αμυντικές εφαρμογές είναι πολύ ακριβοί και μπορούν να πληρούν ανώτερες προδιαγραφές. Αλλά στην πλειονότητα των μη αμυντικών εφαρμογών, όπου οι προδιαγραφές, τα σφάλματα και η ευστάθεια των αισθητήρων δεν είναι βέλτιστα, η επιλογή των αλγορίθμων που εκτελούν το λογισμικό είναι καθοριστική.

Η τοποθέτηση αισθητήρων μέσα στο ρομπότ απαιτεί επίσης μια πολύ προσεκτική σχεδίαση. Οι αισθητήρες στα IMU είναι εξαιρετικά ευαίσθητοι σε εξωτερικές δυνάμεις, όπως κραδασμούς, παρακείμενα μαγνητικά πεδία, συνθήκες φωτισμού και άλλα. Η ακριβής στατική μετατόπιση και οι μετατοπίσεις περιστροφής πρέπει να υπολογίζονται χρησιμοποιώντας φυσικές μεθόδους και τεχνικές βαθμονόμησης. Ορισμένοι από τους αισθητήρες απαιτούν κεραιές και για άλλη μια φορά, η επιλογή της σωστής κεραιάς και η τοποθέτησή της είναι κρίσιμες.

Οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ενσωμάτωση των αισθητήρων είναι η βαθμονόμηση τους, η συχνότητα χρονισμού, ειδικά στη συνένωση αισθητήρων, διαφορετικούς ρυθμούς και συχνότητες με τις οποίες προέρχονται δεδομένα αισθητήρων από διαφορετικούς αισθητήρες, διάφοροι τύποι σφαλμάτων σε μετρούμενες τιμές και ευστάθειες, τα οποία είναι τόσο εγγενή όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον και οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν τις μετρήσεις των αισθητήρων παραμένουν βασικές προκλήσεις στην ενσωμάτωση των αισθητήρων. Η πλειονότητα της έρευνας και ανάπτυξης γίνεται σε αυτούς τους τομείς.

Στο εμπόριο σήμερα διατίθενται διάφοροι αισθητήρες με ένα ευρύ φάσμα παραμέτρων απόδοσης. Η επιλογή των σωστών αισθητήρων είναι μια πολύπλοκη τεχνική διαχείριση. Αποτελεί την ισορροπία μεταξύ των προδιαγραφών αισθητήρα, των απαιτήσεων εφαρμογής, του κόστους, της ισχύος, των περιβαλλοντικών συνθηκών, της πολυπλοκότητας του αλγορίθμου του λογισμικού, του χρόνου έκδοσης στην αγορά και της μακροζωίας.

Μέσω των αλγορίθμων συνένωσης αισθητήρων, διαφορετικοί αισθητήρες αλληλοσυμπληρώνονται για την επίτευξη σκληρών στόχων. Οι αισθητήρες και οι αλγόριθμοι λογισμικού αισθητήρων είναι κρίσιμοι για την επιτυχία της βιομηχανίας AMR σε μεγάλο βαθμό.

Οι κατασκευαστές αισθητήρων καταβάλλουν επίσης σημαντική προσπάθεια για τη βελτίωση της απόδοσης, της ακρίβειας και της εμβέλειας των αισθητήρων. Μερικοί κάνουν ακόμη και συνένωση αισθητήρων μέσα στις μονάδες τους. Αυτό βοηθά τον ακριβή συγχρονισμό χρόνου. Κατά την επιλογή αισθητήρων για μια συγκεκριμένη

εφαρμογή AMR, οι ομάδες πρέπει να παρακολουθούν συνεχώς τις διάφορες εξελίξεις που συμβαίνουν στον κόσμο των αισθητήρων.

1.3.5 Αυτονομία

Η μελέτη και η σωστή επιλογή του τρόπου τροφοδοσίας των μηχανισμών κίνησης καθώς και των μηχανισμών ελέγχου, αποτελεί άλλο ένα σημαντικό βήμα στον σχεδιασμό του αυτόνομου ρομποτικού συστήματος.

Τα περισσότερα αυτόνομα κινητά ρομποτικά συστήματα χρησιμοποιούν τον ηλεκτρισμό ως πηγή ενέργειας και η τροφοδοσία των επί μέρους συστημάτων του ρομπότ γίνεται από επαναφορτιζόμενες συστοιχίες μπαταριών (συσσωρευτών), που βρίσκονται τοποθετημένες στο όχημα. Κάθε μπαταρία σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της έχει σχεδιαστεί για να εκπληρώνει μια συγκεκριμένη εργασία και καμία μπαταρία δεν μπορεί να καλύψει όλες τις απαιτήσεις. Οι μπαταρίες είναι σχεδιασμένες να είναι είτε υψηλής ισχύος, είτε υψηλής ενέργειας και σπάνια κάποιες μπαταρίες για υψηλή αντοχή.

Η ελαχιστοποίηση της ενεργειακής δαπάνης σε αυτόνομα κινητά ρομποτικά συστήματα για βιομηχανικές εφαρμογές και εφαρμογές υπηρεσιών είναι ένα θέμα τεράστιας σημασίας, καθώς είναι ο καλύτερος τρόπος επιμήκυνσης του χρόνου εργασίας χωρίς τροποποίηση της παροχής ενέργειας. Για τον υπολογισμό της ισχύς που καταναλώνει το αυτόνομο ρομποτικό σύστημα πρέπει να υπολογιστεί η ισχύς που καταναλώνουν τα κινούμενα μέρη και τα υπόλοιπα συστήματα ελέγχου.

Η μπαταρία αρχικά επιλέγεται με βάση την τάση λειτουργίας του υποσυστήματος με το οποίο θα καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια στο ρομποτικό όχημα και αυτό είναι συνήθως το σύστημα κίνησης. Τα υπόλοιπα συστήματα που λειτουργούν με διαφορετική τάση τροφοδοτούνται με μετατροπείς τάσης στην ονομαστική τους τιμή. Ένα ακόμα βασικό χαρακτηριστικό είναι το μέγιστο συνεχόμενο ρεύμα εκφόρτισης που προκύπτει από το άθροισμα του μέγιστου ρεύματος κατανάλωσης όλων των υποσυστημάτων. Η χωρητικότητα της μπαταρίας εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος που μπορεί να διαθέσει στην μονάδα του χρόνου. Ωστόσο δεν είναι δυνατή η ανεξέλεγκτη αύξηση της χωρητικότητας της μπαταρίας καθώς υπάρχουν κάποιοι φυσικοί περιορισμοί. Βασικοί περιορισμοί είναι το βάρος, ο όγκος καθώς και ο χρόνος φόρτισης της μπαταρίας.

Ένας ακόμη προβληματισμός είναι η επιλογή της φόρτισης που μπορεί να γίνει χειροκίνητα ή σε αυτόνομο σταθμό. Η αυτόνομη φόρτιση προσδίδει μεγαλύτερη αυτονομία αλλά θα πρέπει να συμπεριληφθεί και ο χρόνος φόρτισης του ρομποτικού οχήματος.

Συμπερασματικά ο υπολογισμός της αυτονομίας του ρομποτικού οχήματος, που είναι συνυφασμένη με την χωρητικότητα της μπαταρίας, είναι η χρυσή τομή ανάμεσα στον βέλτιστο χρόνο λειτουργίας χωρίς αυτός να επιβαρύνεται αρνητικά από τα φυσικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας.

1.3.6 Συστήματα ελέγχου

Μετά από την επιλογή των αισθητήρων, σειρά έχει η επιλογή των συστημάτων ελέγχου του ρομποτικού οχήματος. Η επιλογή βασίζεται κυρίως στην υπολογιστική ισχύ που απαιτείται για τους αλγόριθμους ελέγχου των αισθητήρων και του συστήματος κίνησης. Είναι προτιμότερο να διαχωριστεί το σύστημα ελέγχου σε δύο επίπεδα, υψηλού και χαμηλού ελέγχου.

Ο χαμηλός έλεγχος επιτυγχάνεται με μικροελεγκτές οι οποίοι δεν είναι τόσο ισχυροί όσο ένας υπολογιστής, μπορούν ωστόσο να επικοινωνούν και να ελέγχουν άλλες συσκευές όπως αισθητήρες, κινητήρες, οθόνες ή ακόμα και άλλο μικροελεγκτή μέσω των ακροδεκτών εισόδου. Σήμερα υπάρχουν πολλοί κατασκευαστές μικροελεγκτών που διαθέτουν έναν κατάλογο διαφορετικών μικροελεγκτών με βάση την αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται,

την ποσότητα της μνήμης, τις διαθέσιμες ακίδες και τις ενσωματωμένες δυνατότητες. Οι μικροελεγκτές διακρίνονται για την αμεσότητα τους, την μικρή κατανάλωση ενέργειας και την ευκολία στον προγραμματισμό τους.

Η επιλογή του σωστού οδηγού κινητήρα είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη της απαιτούμενης λειτουργικότητας και απόδοσης για μια δεδομένη εφαρμογή. Εκτός από παραμέτρους όπως η τάση και το ρεύμα εξόδου, άλλοι βασικοί παράγοντες εξαρτώνται όχι μόνο από τον τύπο του επιλεγμένου κινητήρα, αλλά από την προβλεπόμενη εφαρμογή του.

Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές γενικές κατηγορίες οδηγών κινητήρα που είναι οι τριφασικοί οδηγοί κινητήρων BLDC και διακριτοί οδηγοί κινητήρων με ψήκτρα συνεχούς ρεύματος γέφυρας H.

Αφού καθοριστεί ο τύπος του κινητήρα και του οδηγού, πρέπει να δοθεί προσοχή σε ορισμένες βασικές παραμέτρους που σχετίζονται με αυτόν τον κινητήρα, όπως το ρεύμα εξόδου, η τάση εφαρμογής, η ονομαστική απαγωγή ισχύος και ο αριθμός εξόδων ελέγχου. Αυτές οι παράμετροι είναι εξαιρετικά σημαντικές και θα περιορίσουν σημαντικά τις διαθέσιμες επιλογές για τον οδηγό του κινητήρα. Μόλις καθοριστούν οι παράμετροι κινητήρα και του οδηγού, η εστίαση θα πρέπει να μετατοπιστεί στις συγκεκριμένες απαιτήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή.

Ένα ρομποτικό όχημα διαχειρίζεται ξεχωριστούς κινητήρες για την οδήγηση, την συλλογή και την μεταφορά ίσως και για κάποιες δευτερεύουσες εργασίες. Σημαντικό χαρακτηριστικό για το σύστημα κίνησης είναι ο οδηγός να μπορεί να επεξεργαστεί δεδομένα από έναν αισθητήρα θέσης. Επίσης κατά στην κατάσταση αναμονής να διατηρεί την θέση του οχήματος ασκώντας την κατάλληλη ροπή συγκράτησης. Κατά την πλοήγηση να παρέχει στους κινητήρες υψηλή ακρίβεια περιστροφής, αθόρυβα και με ελάχιστους κραδασμούς. Στα πλεονεκτήματα του οδηγού διακρίνεται η εξοικονόμηση ενέργειας μέσω του αλγορίθμου που χρησιμοποιεί. Τέλος πολύ σημαντικό είναι να υπάρχει τεχνική υποστήριξη από την εταιρεία παραγωγής και από την κοινότητα της ρομποτικής.

Ο υψηλός έλεγχος είναι μια πολύπλοκη επιλογή καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες ανάλογα με την εργασία που καλείται να φέρει εις πέρας. Η εκτέλεση λειτουργιών που εμπεριέχουν τεχνητή νοημοσύνη σε πραγματικό χρόνο επεξεργάζοντας παράλληλα δεδομένα από αισθητήρες υψηλής ανάλυσης απαιτούν αυξημένη υπολογιστική ισχύς. Δεδομένου όμως ότι πρόκειται για ένα αυτόνομο κινητό ρομποτικό όχημα η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή κρίνεται αποτρεπτική σε σχέση με τους υπολογιστές ενιαίας πλακέτας λόγω μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας.

Υπάρχουν λίγες παράμετροι που οδηγούν στην απόφαση της επιλογής ενός υπολογιστή ενιαίας πλακέτας (SBC) για την ανάπτυξη του ρομποτικού οχήματος. Κάθε προϊόν εκτελεί διαφορετικές εργασίες λογισμικού και με διαφορετικές ανάγκες σε πόρους υλικού. Ο σκοπός αυτής της παραγράφου είναι η κατανόηση της αναζήτησης του σωστού υλικού με την βέλτιστη ισορροπία μεταξύ απαιτήσεων, κόστους πλακέτας και αρκετών πόρων για τον χειρισμό των εργασιών λογισμικού που πρόκειται να εκτελεστούν.

Μνήμη: Υπάρχουν δύο τύποι μνήμης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το λειτουργικό σύστημα (OS) οι οποίες είναι η κάρτα SD και το eMMC. Η κάρτα SD αποτελεί τον εύκολο τρόπο ενώ το eMMC αποτελεί μια πιο βιομηχανική λύση. Συγκριτικά Η κάρτα SD έχει την ευελιξία της επέκτασης χώρου απλώς με αντικατάσταση με μεγαλύτερου μεγέθους κάρτες, ενώ είναι αδύνατη η αλλαγή μεγέθους eMMC σε υπάρχουσα πλακέτα. Επίσης για την εγγραφή λογισμικού δεν χρειάζεται η εγγραφή ολόκληρου του λειτουργικού συστήματος στο SBC κάθε προϊόντος, παρά μόνο η εγγραφή του λειτουργικού συστήματος σε κάρτες SD και τοποθέτηση στο προϊόν. Η

κάρτα SD μπορεί να κοστίζει περισσότερο από τη μνήμη eMMC και έχει σύντομο κύκλο ζωής (3-5 χρόνια) που την καθιστά λιγότερο αξιόπιστη σε σύγκριση με τη μνήμη eMMC. Η ταχύτητα ανάγνωσης και εγγραφής της μνήμης eMMC μπορεί να είναι διπλάσια ή τριπλάσια ταχύτερη σε σύγκριση με μια κανονική κάρτα SD.

Επεξεργαστής: Συνήθως το SoC είναι ένα σημαντικό μέρος του SBC. Το System-on-a-chip (SoC) είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που εμπεριέχει όλα τα κρίσιμα στοιχεία του ηλεκτρονικού συστήματος σε ένα μόνο μικροτσιπ. Ένα SoC μπορεί συνήθως να έχει ενσωματωμένη μνήμη, τον μικροεπεξεργαστή, τις περιφερειακές διεπαφές, τον λογικό έλεγχο I/O κ.λπ. που συνήθως βρίσκονται μέσα σε ένα σύστημα υπολογιστή. Η SBC με το κατάλληλο SoC είναι μια σύνθετη επιλογή όπως αναλύεται παρακάτω. Πρέπει να ελέγχει αν ο αριθμός των πυρήνων του SoC είναι επαρκείς για την εργασία που καλείται να εκτελέσει και ότι δεν υπάρχουν γνωστά σφάλματα ή ασταθής συμπεριφορά σχετικά με τα πακέτα λογισμικού τρίτων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Τέλος κάθε SoC έχει μοναδική κατανάλωση ενέργειας και μπορεί να είναι πολύ διαφορετική από το ένα στο άλλο.

Φέρουσα πλακέτα Carrier board: Το SBC είναι κατασκευασμένο από ένα SOC που βρίσκεται σε μια φέρουσα πλακέτα η οποία είναι υπεύθυνη για τη μετατροπή των θυρών SOC σε πραγματικές θύρες και πρωτόκολλα όπως Ethernet, USB, HDMI κ.λπ. ώστε να υπάρχει προσβασιμότητα για τα περιφερειακά συστήματα. Η πλακέτα αυτή είναι σημαντικό να έχει και τη σωστή ψηφιακή και αναλογική είσοδο/έξοδο GPIO για την σύνδεση αισθητηρίων.

Μνήμη τυχαίας προσπέλασης RAM: Κάθε λειτουργικό σύστημα έχει διαφορετική χρήση RAM, επομένως συνιστάται να ελεγχθεί πόσος χώρος RAM απομένει μετά την εκκίνηση του λειτουργικού συστήματος. Τις περισσότερες φορές τα SBC διαθέτουν ένα έτοιμο προς χρήση λειτουργικό σύστημα. Αυτά τα λειτουργικά συστήματα είναι πιθανότατα λιγότερο κατάλληλα για βιομηχανικά προϊόντα και θα απαιτήσουν κάποιες ρυθμίσεις όπως μείωση πακέτων, ρύθμιση κανόνων τείχους προστασίας, αλλαγή της προεπιλεγμένης διαμόρφωσης SSH και αλλαγή του προεπιλεγμένου κωδικού πρόσβασης root.

Κάρτα γραφικών GPU: Η μηχανική μάθηση, ένα υποσύνολο του AI, είναι η ικανότητα των συστημάτων υπολογιστών να μαθαίνουν να λαμβάνουν αποφάσεις και προβλέψεις από παρατηρήσεις και δεδομένα. Η GPU είναι μια εξειδικευμένη μονάδα επεξεργασίας με βελτιωμένη ικανότητα μαθηματικών υπολογισμών, καθιστώντας την ιδανική για μηχανική εκμάθηση

Υποστήριξη: Η επιλογή ενός υπολογιστή ενιαίας πλακέτας (SBC) για ένα έργο είναι μια αρκετά δύσκολη αποστολή. Το τελευταίο σημείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι οι μακροπρόθεσμες ανάγκες, όπως αναβαθμίσεις λογισμικού, μέθοδοι συντήρησης και φυσικές θύρες που ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον.

Λειτουργικό Σύστημα: Ένα λειτουργικό σύστημα (OS) είναι ένα πρόγραμμα που λειτουργεί ως διασύνδεση μεταξύ του χρήστη και του υλικού του υπολογιστή και ελέγχει την εκτέλεση όλων των ειδών προγραμμάτων. Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες ενός λειτουργικού συστήματος που πρέπει να ληφθούν υπόψη που μπορούν να βοηθήσουν ή να εμποδίσουν την ανάπτυξη ρομπότ καθώς περνά από την ανάπτυξη στην παραγωγή και τη συντήρηση.

Το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιείται στο ρομπότ κατά την ανάπτυξη θα πρέπει επίσης να είναι αυτό που χρησιμοποιείται στην παραγωγή ή τουλάχιστον να είναι στενά συνδεδεμένο. Ωστόσο πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία ανάμεσα στην υποστήριξη ενός υφιστάμενου λειτουργικού συστήματος (OS) και την αποφυγή περιορισμού στην ανάπτυξη μη λαμβάνοντας άλλους παράγοντες.

Συμβατότητα δέσμης λογισμικού: Η επιλογή ενός OS οφείλει να είναι συμβατή με την απαιτούμενη τεχνολογία όπως προϊόντα λογισμικού, εργαλεία, βιβλιοθήκες, frameworks, διακομιστές και γλώσσες προγραμματισμού.

Ίσως οι απαιτούμενες βιβλιοθήκες να έχουν γραφτεί ειδικά για ορισμένες διανομές OS ή έχει επιλεγεί η χρήση κάποιου ενδιάμεσου λογισμικού για να επιτρέψει την ταχύτερη ανάπτυξη. Εάν ένα δυνητικό λειτουργικό σύστημα αξιολογηθεί έχοντας κατά νου αυτή την ανάγκη, θα βοηθήσει σε μια βελτιωμένη διαδικασία ανάπτυξης.

Συμβατότητα υλικού: Η συμβατότητα υλικού θα πρέπει επίσης να αποτελεί πρωταρχικό μέλημα, για τον ίδιο περίπου λόγο με το λογισμικό. Θα δαπανηθεί σημαντικό μέρος του χρόνου για να διασφαλιστεί ότι τα εξαρτήματα συνεργάζονται προτού επιτευχθεί οποιαδήποτε πραγματική πρόοδος στο ίδιο το ρομπότ. Για παράδειγμα, δεν είναι ασυνήθιστο κάποιο υλικό να απαιτεί προγράμματα οδήγησης γραμμένα μόνο για συγκεκριμένες διανομές OS.

Εξοικείωση στην ανάπτυξη: Η επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού του ρομποτικού λειτουργικού συστήματος είναι μια απόφαση που επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την εξοικείωση με την εν λόγω γλώσσα. Είναι λογικό ότι μπορεί να παραχθεί εργασία υψηλότερης ποιότητας σε λιγότερο χρόνο, εάν χρησιμοποιηθεί μια οικεία γλώσσα.

Διαθεσιμότητα υποστήριξης: Ένας κίνητρο για την επιλογή του OS είναι η υποστήριξη από την κοινότητα γύρω από την συγκεκριμένη διανομή, όπου τις περισσότερες φορές και άλλοι αντιμετωπίζουν παρόμοια προβλήματα. Ωστόσο δεν είναι επισφαλές η αποκλειστική στήριξη στην κοινότητα διότι δεν ανταποκρίνεται πάντα έγκαιρα ιδίως για νέα υλικά. Οι προγραμματιστές ρομποτικής επιλέγουν ένα OS που υποστηρίζεται εμπορικά, όπου μπορούν να αναζητήσουν συμβουλές και να λύσουν τα προβλήματα γρήγορα και αξιόπιστα.

Μακροχρόνια υποστήριξη: Εκτός από την εξέταση του τρόπου με τον οποίο παραδίδονται οι ενημερώσεις του λειτουργικού συστήματος, πρέπει να ληφθεί υπόψη για πόσο χρονικό διάστημα θα παραδίδονται αυτές οι ενημερώσεις. Οι συγκεκριμένες εκδόσεις ενός λειτουργικού συστήματος υποστηρίζονται συνήθως μόνο για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Εάν η υποστηριζόμενη διάρκεια ζωής του λειτουργικού συστήματος είναι μικρότερη από την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του ρομπότ που παράγεται, τελικά θα σταματήσει να λαμβάνει ενημερώσεις.

Ο σκοπός μετά την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής εργασίας είναι η απόκτηση τεχνογνωσίας σχετικά με την επιλογή του κατάλληλου υλικού, τον επιτυχή συνδυασμό τους και την αλληλεπίδραση με τα ψηφιακά συστήματα. Συγκεκριμένα με τον σχεδιασμό και την κατασκευή ελεγχόμενου ηλεκτρικού οχήματος που ενσωματώνει Σύγχρονες Μηχανές Μόνιμων Μαγνητών (BLDC motors) και την λήψη πληροφοριών από αισθητήρες με επεξεργασία των σημάτων τους για την εκτέλεση των αλγορίθμων από υπολογιστική μηχανή. Τέλος η απόκτηση και εφαρμογή γνώσεων στον προγραμματισμό για τον έλεγχο ηλεκτρικού ρομποτικού οχήματος.

Κεφάλαιο 2 Σύγχρονη τεχνολογία

2.1 Εισαγωγή

Η αποτελεσματικότητα ενός ρομποτικού συστήματος εξαρτάται από το ποσοστό εκπλήρωσης του σκοπού για τον οποίο σχεδιάστηκε, οι αστοχίες που παρουσιάζονται τόσο στο κατασκευαστικό όσο και στο κομμάτι ελέγχου των ρομποτικών συστημάτων αποτελούν αντικείμενο έρευνας σχετικά με την βελτιστοποίησή τους. Παρά την ταχεία ανάπτυξη των τεχνολογιών ρομποτικής τις τελευταίες δεκαετίες, εξακολουθούν να υπάρχουν πολλά τεχνικά ζητήματα και προκλήσεις για την αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού των κινητών ρομπότ. Αυτές οι προκλήσεις περιλαμβάνουν την τυποποίηση, το λογισμικό, το υλικό και τον έλεγχο.

Σήμερα παγκοσμίως, υπάρχει μια πληθώρα κατασκευαστών που παράγουν κινητά ρομποτικά συστήματα για παροχή υπηρεσιών και για στρατιωτικό σκοπό. Τα ρομπότ παροχής υπηρεσιών συνήθως χωρίζονται σε επαγγελματικά και οικιακά ρομπότ.

Στο παρόν τμήμα του εγγράφου θα γίνει παρουσίαση κάποιων αντιπροσωπευτικών επαγγελματικών ρομποτικών οχημάτων που έχουν κατασκευαστεί κυρίως για εμπορικές εφαρμογές, με σκοπό την διερεύνηση των χαρακτηριστικών τους και τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίστηκαν κοινά προβλήματα υπό διαφορετικές προσεγγίσεις.

Ο λόγος της διερεύνησης είναι η απόκτηση βασικών γνώσεων και κατανόηση των τεχνολογικών καινοτομιών, με σκοπό την αποφυγή γνωστών προβλημάτων για τον καλύτερο σχεδιασμό της εφαρμογής μας.

2.2 Σύγχρονες τεχνικές και τεχνολογία (State of the art).

2.2.1 Ρομποτικά οχήματα

2.2.1.1 Idealworks – iw.hub

Η Idealworks με έδρα την πόλη του Μονάχου στην Γερμανία είναι θυγατρική του ομίλου της BMW και έχει σχεδιάσει την ρομποτική πλατφόρμα iw.hub.



Εικόνα 2. Idealworks - i.w.hub

Περιγραφή κατασκευής: Πρόκειται για μια ορθογώνια στιβαρή κατασκευή με αρθρωτό πλαίσιο αποτελούμενο από χαλύβδινα ελάσματα για εύκολη συναρμολόγηση και πρόσβαση σε εξαρτήματα για την συντήρησή τους.

Καινοτομία: Πλήρως συνεργατικό και ασφαλές σε περιοχές με έντονη μικτή κυκλοφορία και στενά μονοπάτια ενώ ταυτόχρονα είναι γρήγορο και ευκίνητο με παραδόσεις έως και 8 χλμ/ώρα με προσαρμοζόμενα πεδία ασφαλείας.

Ευέλικτο σύστημα σημείων αυτόνομης φόρτωσης για ευέλικτες ροές εργασίας και αποστολές με ποικιλία ωφέλιμων φορτίων.

Έχει πιστοποίηση CE που υποδηλώνει ένδειξη συμμόρφωσης με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ότι το προϊόν είναι υγιές και ασφαλές για τους ανθρώπους, τα ζώα και το περιβάλλον.

Εξωτερικές διαστάσεις / ιδίο βάρος: 144cm x 64.1cm x 22cm (μήκος x πλάτος x ύψος) με συνολικό βάρος 175Kg

Ωφέλιμο φορτίο: Πιθανές περιπτώσεις χρήσης είναι η μεταφορά παλετών, κιβωτίων, και επικαθούμενων καλαθιών με ελάχιστο ύψος ενσφήνωσης τα 22cm. Το iw.hub είναι ευέλικτο με ανεξάρτητη ανύψωση για μεταφορά βάρους έως 1000kg για την αυτοματοποίηση των ροών εργασιών intralogistics σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Κινητήρες τύπος και αριθμός: Το iw.hub διαθέτει δύο κινητήρες για διαφορική κίνηση και έναν για το σύστημα ανύψωσης.

Τροχοί τύπος και αριθμός: Το iw.hub έχει δύο κινητήριους τροχούς στο εμπρόσθιο μισό του αμαξώματος τύπου ESD με υλικό πέλματος από πολουρεθάνη. Ο τρόπος προσαρμογής είναι φλάντζα και το προφίλ του τροχού είναι επίπεδο. Για την στήριξη του αμαξώματος χρησιμοποιείται στο μπροστινό μέρος ένα παθητικό περιστρεφόμενο τροχό βαρέως τύπου, με μεταλλική βάση και ελαστικό από νάιλον ενώ στο πίσω μέρος φέρει δύο επίσης παθητικές ένσφαιρες χαλύβδινες μονάδες κύλισης (ball units) όπου είναι η ιδανική λύση όταν φορτία χρειάζεται να κινούνται απαλά με ακρίβεια προς πάσα κατεύθυνση με τη μικρότερη δυνατή προσπάθεια

Επεξεργαστής: Η λήψη αποφάσεων πραγματοποιείται με αρχιτεκτονική υπολογιστικής ακμής (on the edge). Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένας συμπαγής βιομηχανοποιημένος υπολογιστής με ενεργή ψύξη και πιστοποιημένος να λειτουργεί σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Η τροφοδοσία του iw.hub με μια GPU Nvidia AGX επιτρέπει τη λήψη πολύπλοκων αποφάσεων και την εξαγωγή συμπερασμάτων AI on the edge.

Λειτουργικό Σύστημα: Η πλατφόρμα ελέγχου AnyFleet που βασίζεται σε δικτυακή βάση δεδομένων (cloud) μπορεί να ρυθμιστεί σε περίπου δύο ημέρες χωρίς διαρθρωτικές προσαρμογές. Η πλατφόρμα ελέγχου επιτρέπει την ενσωμάτωση συσκευών τρίτων, με βάση το Standard VDA 5050. Η πλατφόρμα ελέγχου χρησιμοποιείται για χαρτογράφηση, έλεγχο παραγγελιών, διαχείριση στόλου και κυκλοφορίας και είναι εύκολη στην εκμάθηση του χρήστη/κενού προσωπικού logistics λόγω της απλής και διαισθητική διεπαφή χρήστη.

Αισθητήρες: Για την ασφαλή πλοήγηση τα iw.hub είναι εξοπλισμένα με δύο SICK Microscan3 Pro LIDAR, παρέχοντας ένα πεδίο ασφαλείας 360° για τον εντοπισμό των γύρω εμποδίων. Αυτά τα πεδία επιτρέπουν στα iw.hubs να περιηγούνται με ασφάλεια γύρω από πεζούς, άλλα ρομπότ και περονοφόρα ανυψωτικά.

Το iw.hub διαθέτει ενσωματωμένη ευφυΐα και ακρίβεια συνδυάζοντας τα δεδομένα από τους αισθητήρες LIDAR με δεδομένα εικόνας και βάθους από ένα LIPS AE400, ώστε να μπορεί να κατανοήσει καλύτερα τις αποστάσεις και τις λεπτομέρειες, διευκολύνοντας την πλοήγηση σε πολύπλοκα περιβάλλοντα.

Τρόπος πλοήγησης: Σημαντική για την εφαρμογή είναι η ευελιξία του AMR, το οποίο οδηγεί εντελώς αυτόνομα με τη βοήθεια της τεχνολογίας πλοήγησης Ταυτόχρονης Εντοπισμού και Χαρτογράφησης (SLAM). Η αρχική θέση

και οι επιθυμητές θέσεις παραλαβής είναι ό,τι χρειάζεται, μετά το οποίο το ρομπότ δημιουργεί ανεξάρτητα έναν χάρτη του περιβάλλοντος χώρου.

Οι αισθητήρες στο AMR σαρώνουν συνεχώς το περιβάλλον και βελτιστοποιούν τη διαδρομή σε πραγματικό χρόνο. Πιθανά (προσωρινά) εμπόδια εντοπίζονται από το AMR και παρακάμπτονται ανεξάρτητα. Ακόμα κι αν ένα φορτίο δεν έχει τοποθετηθεί σωστά, το ρομπότ το εντοπίζει με τη βοήθεια μιας κάμερας 3D στο μπροστινό μέρος. Σε αυτήν την περίπτωση, το iw.hub διορθώνει αυτόματα τη θέση του, ώστε τα φορτία να παραλαμβάνονται πάντα σωστά.

Συνοπτικά για την πλοήγηση χρησιμοποιούνται:

- Σημάνσεις / Ανακλαστήρες / QR-Codes
- Αναγνώριση περιβάλλοντος μέσω LIDAR / Camera
- GNSS Global Satellite

Μπαταρία: Το iw.hub τροφοδοτείται από μια κυψέλη ιόντων λιθίου σειράς BMW i3. Μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία αρκεί για τουλάχιστον οκτώ ώρες λειτουργίας. Η ενδιάμεση φόρτιση είναι δυνατή μέσω οποιασδήποτε τυπικής πρίζας 220V.

Διάρκεια λειτουργίας: Το iw.hub μπορεί να προσφέρει έως και οκτώ ώρες με μία μόνο φόρτιση, παρέχοντας ολοκληρωμένη αλλαγή της αυτοματοποιημένης εσωτερικής επιμελητείας, αποδεδειγμένη από την BMW για απόδοση και αξιοπιστία.

Χρόνος φόρτισης: Το iw.hub ελέγχει το επίπεδο της μπαταρίας από μόνο του και είναι προγραμματισμένο να φορτίζει μόνο όταν η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι μικρότερη από 50% τοις εκατό. Όταν απαιτείται φόρτιση, το iw.hub θα μεταβεί στον πλησιέστερο σταθμό φόρτισης, εάν δεν υπάρχουν ανοιχτές αποστολές που πρέπει να εκτελεστούν. Όταν το επίπεδο της μπαταρίας είναι εξαιρετικά χαμηλό, το iw.hub θα σταματήσει την αποστολή του και θα μεταβεί σε έναν σταθμό φόρτισης. Όταν πλησιάζει στο σταθμό φόρτισης, το iw.hub ελέγχει αυτόματα τη θέση του και τη διορθώνει, εάν χρειάζεται, με τη βοήθεια ανακλαστήρων που είναι τοποθετημένοι στο σταθμό φόρτισης. Μια πλήρης διαδικασία φόρτισης από 0%-100% διαρκεί περίπου δύο ώρες, που σημαίνει ότι το 25% της μπαταρίας μπορεί να φορτιστεί μέσα σε 30 λεπτά.

2.2.1.2 MiR – MiR1350

Η MiR με έδρα την πόλη της Οντένσε στην Δανία έχει σχεδιάσει την ρομποτική πλατφόρμα MiR1350.



Εικόνα 3. MiR - MiR1350

Περιγραφή κατασκευής: Πρόκειται για μια ορθογώνια στιβαρή κατασκευή με αρθρωτό πλαίσιο αποτελούμενο από χαλύβδινα ελάσματα και κοιλοδοκούς ορθογώνιας διατομής για εύκολη συναρμολόγηση και πρόσβαση σε εξαρτήματα για την συντήρησή τους.

Καινοτομία: Το MiR1350 είναι συμβατό με τα υψηλότερα διαθέσιμα πρότυπα ρομπότ, καθιστώντας το ανταγωνιστικό σε σχέση με τα άλλα AMR της αγοράς. Είναι το πρώτο AMR με πιστοποίηση IP52 μαζί με άλλα ρομπότ βαρέως τύπου της οικογένειας MiR. Με αυξημένη ικανότητα αντοχής σε σωματίδια σκόνης και υγρά το κινητό ρομπότ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περισσότερα περιβάλλοντα, μπορεί παραδείγματος χάρη να πλοηγείται κοντά σε ανοιχτές πύλες ή άλλα μέρη όπου είναι εκτεθειμένο σε σταγόνες νερού και βρωμιά.

Οι μονάδες MiR Top Modules είναι βοηθητικός εξοπλισμός που μπορεί να τοποθετηθούν σε ρομπότ MiR για να δημιουργήσουν μια ολοκληρωμένη λύση είτε με δυνατότητα να ρυμουλκήσουν καρότσια είτε να ανυψώσουν και να μεταφέρουν ράφια και παλέτες.

Έχει πιστοποίηση CE που υποδηλώνει ένδειξη συμμόρφωσης με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ότι το προϊόν είναι υγιές και ασφαλές για τους ανθρώπους, τα ζώα και το περιβάλλον.

Εξωτερικές διαστάσεις / ίδιο βάρος: 135cm x 92cm x 32cm (μήκος x πλάτος x ύψος) με συνολικό βάρος 231Kg

Ωφέλιμο φορτίο: Με τη δυνατότητα γρήγορης και εύκολης ενσωμάτωσης διαφορετικών βοηθητικών μονάδων, το MiR1350 μπορεί να εξοπλιστεί με πιρούνια παλετών, μεταφορείς, βραχίονα ρομπότ ή άλλες επιλογές για την υποστήριξη ενός ευρέος φάσματος εφαρμογών. Πιθανές περιπτώσεις χρήσης είναι η μεταφορά παλετών, κιβωτίων, και επικαθούμενων καλαθιών με ελάχιστο ύψος ενσφήνωσης τα 32cm. Έχει την δυνατότητα να παραλαμβάνει, να μεταφέρει και να εναποθέτει παλέτες αυτόνομα με μέγιστη ταχύτητα 1.2m/s (4.3 km/h), απελευθερώνοντας τους υπαλλήλους για πιο πολύτιμες εργασίες.

Η βοηθητική μονάδα MiR EU Pallet Lift 1350, της σειράς MiR Top Modules, βελτιώνει την μεταφορά των παλετών καθώς εξασφαλίζει τον σταθερό χειρισμό χωρίς να τροποποιηθεί η διάταξη των εγκαταστάσεων. Επιτρέπει στο MiR1350 να ανυψώνει αυτόνομα τις παλέτες από το ικρίωμα παραλαβής MiR EU Pallet Rack και να χαμηλώνει την παλέτα για σταθερή μεταφορά ωφέλιμων φορτίων έως 1350kg.

Κινητήρες τύπος και αριθμός: Το MiR1350 διαθέτει δύο κινητήρες για διαφορική κίνηση και επικουρικά έναν συνδυασμό επενεργητών για τις βοηθητικές μονάδες MiR Top Modules.

Τροχοί τύπος και αριθμός: Το MiR1350 έχει δύο κινητήριους τροχούς στην μέση του αμαξώματος τύπου ESD με υλικό πέλματος από πολυουρεθάνη. Ο τρόπος προσαρμογής είναι φλάντζα και το προφίλ του τροχού είναι επίπεδο. Για την στήριξη του αμαξώματος στις τέσσερις άκρες χρησιμοποιούνται παθητικοί περιστρεφόμενοι τροχοί βαρέως τύπου, με μεταλλική βάση και ελαστικό από νάιλον. Αυτή η επιλογή διάταξης τροχών προτιμάται για ευέλικτες και σταθερές κατασκευές, για μεγάλες αποστάσεις αλλά και για δάπεδα με κανάλια και ράμπες. Οι σταθερές ρόδες συνήθως τοποθετούνται πιο ψηλά από τις περιστρεφόμενες για να στηρίζεται η κατασκευή σε αυτές. Ο χειρισμός γίνεται από την πλευρά της περιστρεφόμενης ρόδας

Επεξεργαστής: Το MiR1350 χρησιμοποιεί ένα mini-PC NUC7i3DNB της σειράς Intel NUC (Next Unit of Computing). Υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα υπολογιστικής ακμής (edge computing) και βιομηχανικής χρήσης IoT με ισχυρή απόδοση και συνδεσιμότητα. Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης mini-PC είναι ότι υποστηρίζει όλα τα δημοφιλή λειτουργικά συστήματα, κάτι που δεν ισχύει για τις πλακέτες SBC.

Λειτουργικό Σύστημα: Το λειτουργικό σύστημα (OS) του MiR1350 είναι μία διανομή Linux Ubuntu 16.04 που αποτελεί ιδανική λύση για ρομποτικές εφαρμογές.

Το MiR Fleet είναι μια διαδικτυακή πλατφόρμα με εύχρηστες και συγκεντρωτικές ρυθμίσεις ώστε να βελτιστοποιεί την εσωτερική μεταφορά ολόκληρου του στόλου από ρομπότ MiR και μπορεί να προγραμματιστεί χωρίς προηγούμενη εμπειρία από τον χρήστη. Το ρομπότ μπορεί επίσης να ενσωματωθεί στο σύστημα ERP σας για μια πλήρως αυτοματοποιημένη λύση.

Αισθητήρες: Για την ασφαλή πλοήγηση το MiR1350 είναι εξοπλισμένο με δύο SICK Microscan3 Pro LIDAR, παρέχοντας ένα πεδίο ασφαλείας 360° για τον εντοπισμό των γύρω εμποδίων. Σε συνδυασμό με οχτώ αισθητήρες εγγύτητας που στοχεύουν στο έδαφος επιτρέπουν στο MiR1350 να περιηγείται με ασφάλεια γύρω από εδαφικές διαμορφώσεις, πεζούς και άλλα ρομπότ.

Οι δύο τρισδιάστατες κάμερες 3D Intel RealSense™ D435 με τις οποίες είναι εξοπλισμένο το MiR1350 έχουν εμβέλεια 3-200cm πάνω από το επίπεδο του δαπέδου. Με την χρήση τεχνητής νοημοσύνης AI παρέχουν προστασία σε μεγάλο οπτικό φάσμα αναγνωρίζοντας και διαφοροποιώντας αντικείμενα σε πραγματικό χρόνο δρώντας κατά περίπτωση.

Τρόπος πλοήγησης: Δεν χρειάζεται να αλλάξει η διάταξη της εγκατάστασης κατά τη λειτουργία του MiR1350, καθώς η λειτουργία των καλωδίων, των μαγνητών ή των κωδικών QR αντικαθίσταται από εξελεγμένο λογισμικό πλοήγησης. Απλώς αποθηκεύονται τα αρχεία CAD της εγκατάστασης στο ρομπότ ή δημιουργείται έναν χάρτη με την χρήση των σαρωτών λέιζερ.

Το συνεργατικό MiR1350 ελίσσεται με ασφάλεια γύρω από ανθρώπους και φυσικά εμπόδια. Με την προηγμένη τεχνολογία και το εξελεγμένο λογισμικό του, το ρομπότ πλοηγείται αυτόνομα για να βρει την πιο αποτελεσματική διαδρομή προς τον προορισμό του. Όταν συναντήσει εμπόδια, θα επαναδρομολογήσει αυτόματα για να αποφευχθούν δαπανηρές καθυστερήσεις στις διαδικασίες εφοδιαστικής.

Μπαταρία: Το MiR1350 τροφοδοτείται με μια μπαταρία λιθίου-νικελίου-μαγγανίου-οξειδίου του κοβαλτίου LiNMC με τάση 48V, χωρητικότητα 34.2Ah και τουλάχιστον 3.000 κύκλους πλήρους φόρτισης.

Διάρκεια λειτουργίας: Παρακάτω φαίνεται αναλυτικά ο χρόνος λειτουργίας του MiR1350 ανά περίπτωση:

- Ενεργός χρόνος λειτουργίας με μέγιστο ωφέλιμο φορτίο έως 7 ώρες
- Ενεργός χρόνος λειτουργίας χωρίς ωφέλιμο φορτίο έως 10 ώρες
- Χρόνος αναμονής (το ρομπότ είναι ενεργοποιημένο και σε αδράνεια) έως 12 ώρες και 30 λεπτά

Χρόνος φόρτισης: Αναλογία φόρτισης έως 1:12 (η φόρτιση 10 λεπτών παρέχει χρόνο λειτουργίας 2 ωρών με μέγιστο ωφέλιμο φορτίο).

2.2.1.3 Omron – HD 1500

Η Omron με έδρα την πόλη του Τορόντο στον Καναδά έχει σχεδιάσει την ρομποτική πλατφόρμα HD-1500.



Εικόνα 4. Omron - HD1500

Περιγραφή κατασκευής: Πρόκειται για μια ορθογώνια βαρέως τύπου κατασκευή με συναρμολογούμενο πλαίσιο αποτελούμενο από χαλύβδινα και πολυμερή ελάσματα για εύκολη συναρμολόγηση και πρόσβαση σε εξαρτήματα για την συντήρησή τους.

Καινοτομία: Το κινητό ρομπότ HD-1500 από την Omron είναι κατάλληλο για χρήση σε σύγχρονα συστήματα αποθήκευσης στα οποία οι αυτόνομες λύσεις μεταφοράς υλικών είναι επιτακτικές καθώς υπάρχει η δυνατότητα χειρισμού των υλικών από απόσταση ώστε οι υπάλληλοί σας να μπορούν να εκτελούν εργασίες υψηλότερης αξίας.

Σχεδιασμένα για να ανταποκρίνονται στις πιο πρόσφατες απαιτήσεις της βιομηχανίας, τα κινητά ρομπότ αλληλοεπιδρούν με ανθρώπους για να προωθήσουν ένα συνεργατικό, ασφαλές εργασιακό περιβάλλον.

Εξωτερικές διαστάσεις / ίδιο βάρος: 170cm x 120cm x 37cm (μήκος x πλάτος x ύψος) με συνολικό βάρος 585Kg

Ωφέλιμο φορτίο: Το HD-1500 είναι το ισχυρότερο μέλος της οικογένειας των κινητών ρομπότ της Omron με χωρητικότητα βαρέως τύπου 1500kg. Η μεγαλύτερη χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου επιτρέπει στους πελάτες να αυτοματοποιούν νέες εργασίες που δεν ήταν δυνατές στο παρελθόν, όπως η μεταφορά φορτίων μεγέθους παλέτας, μπλοκ κινητήρα και άλλων βαρέων αγαθών και εξοπλισμού. Το HD-1500 μπορεί επίσης να αυτοματοποιήσει εργασίες που παραδοσιακά ολοκληρώνονται με περνοφόρα ανυψωτικά, μειώνοντας τον κίνδυνο τραυματισμού.

Κινητήρες τύπος και αριθμός: Το HD-1500 είναι ένα AMR διαφορικής οδήγησης και διαθέτει στο μέσο της κατασκευής δύο σέρβο κινητήρες 1500W PMS.

Τροχί τύπος και αριθμός: Το αμάξωμα διαθέτει δύο κινητήριους τροχούς για την διαφορική οδήγηση και τέσσερις παθητικούς περιστρεφόμενους τροχούς μπροστά και πίσω για ισορροπία. Οι κινητήριοι τροχοί είναι τοποθετημένοι σε βραχίονες και έχουν συμπαγές πέλμα πολυουρεθάνης (ESD). Αυτό το στυλ οδήγησης κάνει το HD-1500 εξαιρετικά ευέλικτο και του επιτρέπει να περιστρέφεται γύρω από την θέση του. Κάθε μπροστινός τροχός είναι τοποθετημένος στον ίδιο βραχίονα με έναν από τους κινητήριους τροχούς. Οι δύο πίσω τροχοί συνδέονται με έναν άλλο βραχίονα που περιστρέφεται γύρω από τη διαμήκη κεντρική γραμμή του AMR. Αυτή η διάταξη επιτρέπει στο AMR να διατηρεί επαφή με το δάπεδο σε ανώμαλες περιοχές ή χτυπήματα, κάτι που ωφελεί τόσο την πρόσφυση όσο και τη σταθερότητα.

Επεξεργαστής: Η σειρά NX1 της Omron είναι το επόμενο πρότυπο στον έλεγχο αυτοματισμού που είναι έτοιμο για IIOT και έχει σχεδιαστεί για να καλύψει πολλές σύγχρονες κατασκευαστικές ανάγκες. Στο HD-1500 βρίσκεται

ο ελεγκτής αυτοματισμού Omron NX102 προσφέροντας τη δυνατότητα προσθήκης αυτοματισμού και ελέγχου για πληθώρα εφαρμογών και συσκευών.

Λειτουργικό Σύστημα: Ο ελεγκτής AMR του HD-1500 περιλαμβάνει τις παρακάτω βασικά χαρακτηριστικά:

- Μια υπολογιστική συσκευή που εκτελεί το λειτουργικό σύστημα SetNetGo και το λογισμικό Advanced Robotics Automation Management (ARAM).
- Ένα υπολογιστικό σύστημα που τρέχει μια παραλλαγή του φορητού αυτόνομου ελεγκτή ρομπότ (MARC), που ονομάζεται Polo. Ο ελεγκτής AMR διατίθεται προεγκατεστημένο με λογισμικό ARAM και Polo και το λειτουργικό σύστημα SetNetGo.

Εάν υπάρχουν περισσότερα από ένα AMR, εγκαθίσταται μια συσκευή EM2100 που εκτελεί το λογισμικό Fleet Operations Workspace (FLOW) για τη διαχείριση πολλαπλών AMR ως στόλου. Η διαχείριση στόλου αποτρέπει τη διαμάχη εργασίας ή τις συγκρούσεις μεταξύ AMR και παρέχει αποτελεσματική επεξεργασία όλων των εργασιών που ανατίθενται στον στόλο AMR.

Αισθητήρες: Το Omron HD-1500 καινοτομεί με ένα έξυπνα δυναμικό σύστημα ασφαλείας από σαρωτές λέιζερ 360° καθώς και προαιρετικούς κάθετους σαρωτές λέιζερ 180° με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Το έξυπνο σύστημα ασφαλείας πληροί τα 70 πρότυπα ασφαλείας με βάση την πλοήγηση και τη λειτουργία. Η δυναμική έξυπνη ασφάλεια ωφελεί τους χρήστες με αυξημένες επιδόσεις ασφαλείας, αυξημένη ταχύτητα και μειωμένη ψευδή μείωση ή στάσεις ταχύτητας.

Λέιζερ σάρωσης ασφαλείας: Χρησιμοποιούνται τα OS32C-BP-4M - Safety Laser Scanner της Omron. Κάθε λέιζερ σάρωσης ασφαλείας παρέχει μετρήσεις σε οπτικό πεδίο 270°, με τυπική μέγιστη εμβέλεια 30m. Με τα δύο λέιζερ σάρωσης ασφαλείας να καλύπτουν το καθένα οπτικό πεδίο 270°, το HD 1500 έχει πλήρη κάλυψη ασφαλείας 360°. Τα λέιζερ λειτουργούν σε ένα μόνο επίπεδο, τοποθετημένο στα 175mm πάνω από το δάπεδο. Εκτός από την αξιολόγηση ασφαλείας χρησιμοποιούνται και για ταυτόχρονο εντοπισμό και χαρτογράφηση (SLAM).

Χαμηλά λέιζερ: Χρησιμοποιούνται τα TiM551-2050001 της Sick. Τα δύο χαμηλά λέιζερ ανιχνεύουν εμπόδια κάτω από το επίπεδο σάρωσης του λέιζερ σάρωσης ασφαλείας, όπως μια άδεια παλέτα ή περόνες μεταφορικού οχήματος, τα οποία είναι πολύ χαμηλά για να τα δει το λέιζερ σάρωσης ασφαλείας. Τα χαμηλά λέιζερ είναι τοποθετημένα 60,5mm πάνω από το δάπεδο και μπορούν να ανιχνεύσουν αντικείμενα ύψους τουλάχιστον 60,5mm. Τα χαμηλά λέιζερ ανιχνεύουν επίσης εμπόδια που μπορεί να είναι αρκετά μεγαλύτερα στη βάση, όπως μια βάση στήλης, όπου το λέιζερ σάρωσης ασφαλείας μπορεί να ανιχνεύσει μόνο το πάνω μέρος της στήλης.

Πλευρικά λέιζερ: Διαθέσιμα στον προαιρετικό εξοπλισμό είναι τα πλευρικά λέιζερ TiM551-2050001 της Sick για κατακόρυφη αποφυγή κινδύνου.

Τρόπος πλοήγησης

HD-1500 Αυτόνομη Πλοήγηση: Το HD-1500 συνδυάζει υλικό και λογισμικό φορητής ρομποτικής για να παρέχει μια προσαρμοστική, φορητή πλατφόρμα για τη μεταφορά του ωφέλιμου φορτίου σας. Το HD-1500 είναι εξοπλισμένο με σύστημα πλοήγησης Natural Feature που επιτρέπει στο AMR να πλοηγείται και να εκτελεί τις βασικές του λειτουργίες ανεξάρτητα και χωρίς την ανάγκη τροποποίησης της εγκατάστασης. Αφού σαρώσει τα φυσικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντός του, το HD-1500 πλοηγείται με ασφάλεια και αυτόνομα σε οποιονδήποτε προσβάσιμο προορισμό. Μπορεί να κινείται συνεχώς και χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, επαναφορτιζόμενο αυτόνομα όποτε χρειάζεται.

Το HD-1500 χρησιμοποιεί δεδομένα εμβέλειας από ένα λέιζερ σάρωσης ασφαλείας ως το κύριο μέσο για τον εντοπισμό εμποδίων και τη διατήρηση μιας ακριβούς κατανόησης της θέσης του στο περιβάλλον. Επιπλέον, χρησιμοποιεί δεδομένα από τους ακόλουθους αισθητήρες:

- Δύο χαμηλά λέιζερ στις αντίθετες γωνίες της πλατφόρμας AMR για την ανίχνευση αντικειμένων κάτω από το επίπεδο των λέιζερ σάρωσης ασφαλείας.
- Γυροσκόπια που ανιχνεύουν και αναφέρουν την ταχύτητα περιστροφής HD-1500.
- Δύο κωδικοποιητές σε κάθε κινητήριο κινητήρα παρέχουν πληροφορίες για την απόσταση που διανύει κάθε κινητήριος τροχός.

Εντοπισμός HD-1500: Οι κωδικοποιητές παρέχουν στο σύστημα πλοήγησης πληροφορίες σχετικά με το πόσο μακριά έχει διανύσει κάθε τροχός και προς ποια κατεύθυνση. Επιπλέον, τα γυροσκόπια παρακολουθούν την ταχύτητα περιστροφής του AMR. Οι πληροφορίες κωδικοποιητή, σε συνδυασμό με δεδομένα γυροσκοπίου, χρησιμοποιούνται για να συναχθεί η οδομετρία.

Το AMR αναλύει αυτά τα δεδομένα οδομετρίας μαζί με τα δεδομένα που λαμβάνονται από τα λέιζερ σάρωσης ασφαλείας, τα λέιζερ χαμηλού επιπέδου και τα πλαϊνά λέιζερ για να υπολογίσει τη θέση του εντός του χάρτη.

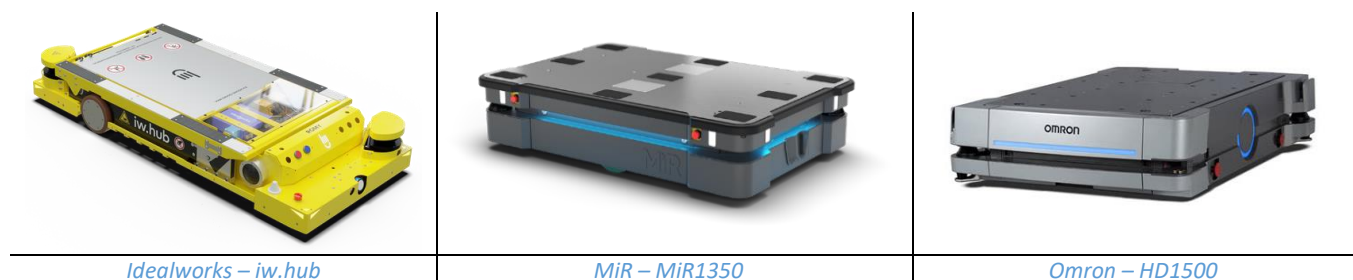
Μπαταρία: Η μπαταρία του HD-1500 αποτελείται από οκτώ μεμονωμένες μονάδες μπαταρίας λιθίου και κάθε μονάδα μπαταρίας αποτελείται από πολλαπλές κυψέλες με συνολική τάση 52.8V, χωρητικότητα 70Ah και τουλάχιστον 9.000 κύκλους πλήρους φόρτισης.

Διάρκεια λειτουργίας: Η μπαταρία του HD-1500 παρέχει επαρκή ισχύ για τους κινητήρες, τα ηλεκτρονικά και τα αξεσουάρ. Ο τυπικός χρόνος λειτουργίας χωρίς φορτίο είναι περίπου 12,5 ώρες. Ο τυπικός χρόνος εκτέλεσης με πλήρη φόρτωση είναι περίπου 9 ώρες. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο εκτέλεσης είναι η ταχύτητα, η επιτάχυνση, ο χρόνος αδράνειας στις τοποθεσίες στόχου, το ωφέλιμο φορτίο και η ισχύς που καταναλώνουν τα αξεσουάρ.

Χρόνος φόρτισης: Ο σταθμός φόρτισης HD-1500 αποτελείται από δύο κύρια μέρη. το κιβώτιο τροφοδοσίας και το πάνελ σύνδεσης στον οποίο οδηγείται το ίδιο το AMR. Ο σταθμός φόρτισης παρέχει τόσο χειροκίνητες όσο και αυτοματοποιημένες μεθόδους επαναφόρτισης της μπαταρίας του AMR. Το κιβώτιο τροφοδοσίας αποδίδει μέγιστη ισχύ 6,84kW και μπορεί να φορτίσει μια πλήρως εξαντλημένη μπαταρία σε 40 λεπτά.

2.2.1.4 Συγκριτικός πίνακας ρομποτικών οχημάτων.

Από τον μεγάλο αριθμό κατασκευαστών αυτόνομων ρομποτικών οχημάτων, επιλέχθηκαν τρία με χαρακτηριστικά παρόμοια με τα επιθυμητά, τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα



Εικόνα 5. Συγκεντρωτική εικόνα των AMR.

	Idealworks – iw.hub	MiR – MiR1350	Omron – HD1500
Τύπος οδήγησης	διαφορικός	διαφορικός	διαφορικός
Βάρος οχήματος	175kg	231kg	585kg
Ωφέλιμο φορτίο	1000kg	1350kg	1500Kg
Τύπος κινητήρα	2x BLDC	2x BLDC	2x BLDC
Αυτονομία	8h	7h	9h
Αισθητήρες Λείζερ	SICK Microscan3 Pro	SICK Microscan3 Pro	SICK Microscan3 Pro
Αισθητήρες υπερήχων	✓	✓	✓
Κάμερα	1x LIPSEdge AE400	2x Intel RealSense D435	✗
Πλοήγηση	Λείζερ / κάμερα	Λείζερ / κάμερα	Λείζερ
Διαστάσεις LxWxH (cm)	144 x 64.1 x 22cm	135 x 92 x 32	1696 x 1195 x 372
Λειτουργικό σύστημα	Linux / AnyFleet	Linux / MiR Fleet	Windows / Fleet OpWs
Επεξεργαστής	NVidia Jetson AGX	NUC7i3DNB	Omron NX-102
Χώρος εργασίας	Εσωτερικός	Εσωτερικός	Εσωτερικός

Πίνακας 1. Συγκριτικός πίνακας ρομποτικών οχημάτων.

2.2.2 Συμπεράσματα πάνω στις σύγχρονες τεχνικές και τεχνολογίες

Αρχικά πρέπει να σημειωθεί ότι δεν εντοπίστηκαν επιστημονικά συγγράμματα στα οποία να παρουσιάζεται η σχεδίαση αυτόνομου ρομποτικού οχήματος, αντίθετα εντοπίστηκαν πολλές μελέτες εταιριών οι οποίες κατασκευάζουν και εμπορεύονται αυτόνομα ρομποτικά οχήματα.

Τα κυριότερα συμπεράσματα της ανάλυσης στις σύγχρονες τεχνολογίες αναφέρονται παρακάτω:

- Οι τύποι των κινητήρων που χρησιμοποιούνται από τις κατασκευάστριες εταιρίες είναι BLDC κινητήρες χωρίς διάταξη μηχανικής μείωσης στροφών και σέρβο κινητήρες (servo motors).
- Ο τρόπος οδήγησης των οχημάτων είναι η διαφορική οδήγηση (δεν εξετάστηκαν οχήματα με οδήγηση τύπου Άκερμαν ή ολονομικής οδήγησης με τροχούς Σουηδικού τύπου).
- Το σύνολο των ρομποτικών οχημάτων να τροφοδοτούνται με μπαταρίες τύπου ιόντων λιθίου ενώ η αυτονομία τους κυμαίνεται από 7 έως και 9 ώρες.
- Οι κατασκευάστριες εταιρίες αναπτύσσουν δικές τους πλατφόρμες ελέγχου ρομποτικού συστήματος καθώς και της δυνατότητας διαχείρισης ρομποτικού στόλου. Οι πλατφόρμες αυτές είναι κυρίως αναπτυγμένες σε περιβάλλον Linux και Windows
- Παρατηρείται ότι όλα τα ρομποτικά οχήματα χρησιμοποιούνται σαρωτές λέιζερ για την ασφάλεια και τον εντοπισμό της θέσης τους ενώ η πλειοψηφία χρησιμοποιεί κάμερα και σαρωτές υπερήχων.
- Όλα τα ρομποτικά οχήματα δίνουν δεδομένα οδομετρίας μέσω αισθητήρων Hall ενσωματωμένων στους κινητήρες ή μέσω encoders στους άξονες των τροχών.
- Όλα τα ρομποτικά οχήματα που μελετήθηκαν είναι κατασκευασμένα για εσωτερικό βιομηχανικό περιβάλλον.

Κεφάλαιο 3 Θεωρητικό υπόβαθρο

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει ανάλυση σε θεωρητικές έννοιες που αφορούν το υπόβαθρο για την κατανόηση του υλικού και λογισμικού των ρομποτικών συστημάτων. Θα ακολουθήσει η ερευνητική μεθοδολογία κατά την οποία θα γίνει προσέγγιση των προσφερόμενων επιλογών λαμβάνοντας υπόψιν τις βέλτιστες λύσεις αλλά και τους επικείμενους περιορισμούς.

Τα ρομπότ μπορεί να είναι είτε κινητά είτε σταθερά. Τα κινητά ρομπότ περιλαμβάνουν κυλιόμενα ρομπότ, ρομπότ ερπυσμού, ρομπότ κολύμβησης και πολλά άλλα. Τα ακίνητα ρομπότ περιλαμβάνουν βραχίονα ρομπότ, πρόσωπο ρομπότ, βιομηχανικά ρομπότ κ.λπ. Αν και είναι γνωστά ως ακίνητα, αυτά τα ρομπότ δεν είναι στην πραγματικότητα ακίνητα, αλλά περιορίζονται σε ένα μικρό όριο. Καθένα από αυτά τα ρομπότ έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε διαφορετικές πλατφόρμες και τα πιο συνηθισμένα λειτουργούν είτε στη γη, στον αέρα, στο νερό ακόμη και στο διάστημα. Με βάση τον τρόπο με τον οποίο κινούνται τα ρομπότ, μπορούν περαιτέρω να ταξινομηθούν ως ρομπότ ολονομικής ή μη ολονομικής οδήγησης.

3.2 Ολονομική ή μη οδήγηση

Η ολονομική οδήγηση αναφέρεται στη σχέση μεταξύ των ελεγχόμενων και των συνολικών βαθμών ελευθερίας ενός ρομπότ. Εάν ο ελεγχόμενος βαθμός ελευθερίας είναι ίσος με τους συνολικούς βαθμούς ελευθερίας, τότε το ρομπότ ονομάζεται είναι ολονομικό. Ένα παράδειγμα ολονομικής οδήγησης είναι ένα ρομπότ με περιστροφικούς ή πολύκατευθυντικούς τροχούς καθώς μπορεί να κινηθεί ελεύθερα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση και οι ελεγχόμενοι βαθμοί ελευθερίας είναι ίσοι με τους συνολικούς βαθμούς ελευθερίας.

Εάν ο ελεγχόμενος βαθμός ελευθερίας είναι μικρότερος από τους συνολικούς βαθμούς ελευθερίας, τότε το ρομπότ ονομάζεται είναι μη ολονομικό. Για παράδειγμα, ένα αυτοκίνητο έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας, τη θέση του σε δύο άξονες και τον προσανατολισμό του. Ωστόσο, υπάρχουν μόνο δύο ελεγχόμενοι βαθμοί ελευθερίας που είναι η επιτάχυνση (ή το φρενάρισμα) και η γωνία στροφής του τιμονιού. Αυτό καθιστά δύσκολο για τον οδηγό να στρίψει το αυτοκίνητο προς οποιαδήποτε κατεύθυνση (εκτός αν το αυτοκίνητο γλιστρήσει ή γλιστρήσει). Αν οι ελεγχόμενοι βαθμοί ελευθερίας είναι περισσότεροι από τους συνολικούς βαθμούς ελευθερίας, τότε οι έλεγχοι θεωρούνται περιττοί.

3.3 Χερσαία ρομπότ

Σε αυτή την ενότητα γίνεται αναφορά μόνο στους τύπους των χερσαίων ρομπότ καθώς είναι και το ζητούμενο αυτής την μελέτης. Η επιλογή του τρόπου κίνησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιότητες του ρομπότ και την κατάσταση του περιβάλλοντος στο οποίο είναι προορισμένο να κινηθεί. Υπάρχουν διάφοροι τύποι χερσαίων ρομπότ, με τα πιο κοινά να κινούνται με τροχούς, με ερπύστριες, με πόδια ακόμα και με συνδυασμό αυτών.

3.3.1 Ρομπότ με τροχούς

Ο σχεδιασμός ρομπότ που χρησιμοποιούν τον τροχό ως μηχανισμό κίνησης, είναι πολύ διαδεδομένος διότι έχει την δυνατότητα να επιτύχει καλές αποδόσεις με σχετικά απλή μηχανολογική εφαρμογή. Επίσης, δεν πάσχουν από στατική ή δυναμική σταθερότητα καθώς το κέντρο βάρους του ρομπότ δεν αλλάζει όταν είναι σε κίνηση ή απλώς στέκονται ακίνητα και δεν απαιτούν πολύπλοκα μοντέλα, σχέδια και αλγόριθμους. Το μειονέκτημα είναι ότι δεν είναι σταθερά σε ανισόπεδο ή τραχύ έδαφος και επίσης σε εξαιρετικά λείες επιφάνειες καθώς τείνουν να γλιστρούν και να ολισθαίνουν.

3.4 Είδη τροχών

Υπάρχουν διάφοροι τύποι τροχών που χρησιμοποιούνται στα ρομπότ. Κάθε τροχός έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί καλύτερα σε συγκεκριμένες καταστάσεις και η επιλογή πρέπει να βασίζεται στις απαιτήσεις του ρομπότ και στο περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί. Μερικοί από τους πιο συνηθισμένους τροχούς που χρησιμοποιούνται στα ρομπότ αναφέρονται παρακάτω:

				
Σταθερός τροχός 2 βαθμοί ελευθερίας	Περιστρεφόμενος τροχός (Castor) 2 βαθμοί ελευθερίας	Σφαιρικός τροχός Απροσδιόριστο	Πανκατευθυντικός τροχός 90ο (Omni) 3 βαθμοί ελευθερίας	Πανκατευθυντικός τροχός 45ο (Mecanum) 3 βαθμοί ελευθερίας

Εικόνα 6. Είδη τροχών

Σταθερός τροχός: Αυτός ο τροχός έχει δύο βαθμούς ελευθερίας και μπορεί να κινηθεί σε μια διεύθυνση. Το κέντρο του τροχού είναι στερεωμένο στο πλαίσιο του ρομπότ. Η γωνία μεταξύ του πλαισίου του ρομπότ και του επιπέδου τροχού είναι σταθερή. Σταθεροί τροχοί εμφανίζονται συνήθως στα περισσότερα AMR όπου οι τροχοί συνδέονται με κινητήρες και χρησιμοποιούνται για την οδήγηση του ρομπότ.

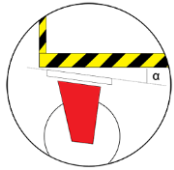
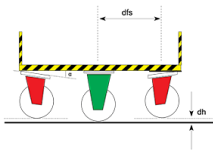
Περιστρεφόμενος τροχός: Αυτός ο τροχός έχει δύο βαθμούς ελευθερίας και είναι τοποθετημένος έκκεντρα σε μια περιστρεφόμενη βάση (πιρούνι) 360 μοιρών όπου ο κατακόρυφος άξονας δεν διέρχεται από το κέντρο που συγκρατεί τον τροχό. Ο περιστρεφόμενος τροχός χρησιμοποιείται συνήθως για την εξισορρόπηση ενός ρομπότ και είναι πολύ απίθανο να χρησιμοποιηθεί για την οδήγηση του. Ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα αυτών των περιστρεφόμενων τροχών είναι το πετάρισμα. Αυτό συμβαίνει όταν ο τροχός δεν έρχεται σε επαφή με το έδαφος και περιστρέφεται ελεύθερα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση.

Σφαιρικός τροχός: Αυτός ο σφαιρικός τροχός περιέχει μια μεταλλική (ή οποιοδήποτε σκληρό υλικό) σφαίρα τοποθετημένη μέσα σε μια θήκη. Η μπάλα έχει 360° ελευθερίας και συνήθως χρησιμοποιείται για την ισορροπία ενός ρομπότ. Το μειονέκτημα είναι ότι αυτός ο τροχός έχει συνήθως υψηλή πρόσφυση και απαιτεί περισσότερη δύναμη για να πιέσει και να στηρίξει τους κινητήριους τροχούς. Επίσης δεν είναι κατάλληλος για ανώμαλες, σκονισμένες και λιπαρές επιφάνειες.

Πανκατευθυντικός τροχός: Αυτός ο τροχός έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας και αποτελεί την καλύτερη επιλογή για ένα ρομπότ που απαιτεί κίνηση πολλαπλών κατευθύνσεων. Είναι κανονικός τροχός με παθητικούς τροχούς (κύλινδροι) στερεωμένους γύρω από την περιφέρεια του κεντρικού τροχού. Ο πανκατευθυντικός τροχός μπορεί να κινηθεί προς οποιαδήποτε κατεύθυνση σε σχέση με τον άξονα του παρουσιάζοντας χαμηλή αντίσταση κατά την κίνηση. Ο τροχός αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την μετάδοση της κίνησης όσο και για την οδήγηση ενός ρομπότ.

3.5 Επιλογές διάταξης τροχών

	<p>Επιλογή Α 2 σταθερά + 1 περιστρεφόμενο. Προτιμάται για μικρές ευέλικτες κατασκευές με χαμηλά φορτία. Ο χειρισμός γίνεται από την πλευρά της περιστρεφόμενης ρόδας. $W_s = (WT+P) \times 0,4$ $W_f = (WT+P) \times 0,35$</p>
	<p>Επιλογή Β 2 περιστρεφόμενα + 2 σταθερά στις άκρες του καροτσιού. Προτιμάται για καρότσια με σχετικά υψηλά φορτία και μεγάλες αποστάσεις. Ο χειρισμός γίνεται από την πλευρά της περιστρεφόμενης ρόδας. $W_s = (WT+P) \times 0,35$ $W_f = (WT+P) \times 0,35$</p>
	<p>Επιλογή Γ 4 περιστρεφόμενα στις άκρες του καροτσιού. Προτιμάται σε καρότσια που απαιτούν μέγιστη ευελιξία, αλλά σε καρότσια με υψηλά φορτία και μεγάλες αποστάσεις όχι τόσο. Ο χειρισμός γίνεται από οπουδήποτε. $W_s = (WT+P) \times 0,35$</p>
	<p>Επιλογή Δ 2 περιστρεφόμενα + 2 σταθερά στη μέση κάθε πλευράς του καροτσιού (γόνδολες). Προτιμάται για ευέλικτες κατασκευές, για μεγάλες αποστάσεις και για δάπεδα με κανάλια και ράμπες. Συνήθως τοποθετούνται οι σταθεροί πιο ψηλά από τους περιστρεφόμενους για να στηρίζεται η κατασκευή σε αυτούς. Ο χειρισμός γίνεται από την πλευρά της περιστρεφόμενης ρόδας. $W_s = (WT+P) \times 0,35$ $W_f = (WT+P) \times 0,50$</p>
	<p>Επιλογή Ε 2 σταθερά στη μέση της μακριάς πλευράς και τέσσερα περιστρεφόμενα στις άκρες του καροτσιού. Προτιμάται για ευέλικτες και σταθερές κατασκευές, για μεγάλες αποστάσεις αλλά και για δάπεδα με κανάλια και ράμπες. Οι σταθερές ρόδες συνήθως τοποθετούνται πιο ψηλά από τις περιστρεφόμενες για να στηρίζεται η κατασκευή σε αυτές. Ο χειρισμός γίνεται από την πλευρά της περιστρεφόμενης ρόδας. $W_s = (WT+P) \times 0,35$ $W_f = (WT+P) \times 0,50$</p>
	<p>Επιλογή Ζ 3 περιστρεφόμενες σε τριγωνική διάταξη. Προτείνεται για κυκλικά καρότσια και για βαρέλια. $W_s = (WT+P) \times 0,35$</p>



Σημείωση:

Για τις επιλογές Δ και Ε η πλάκα της περιστροφής δεν πρέπει να είναι παράλληλη με το έδαφος, αλλά θα πρέπει να έχει μία σχετική κλίση για να είναι σε οριζόντια θέση όσο ο τροχός ακουμπάει το έδαφος.
 $dh = dh/dfs$, όπου
 dh = ολική διαφορά ύψους με περιστρεφόμενες και σταθερές ρόδες.
 dfs = απόσταση μεταξύ των οπών της πλάκας της περιστρεφόμενης ρόδας και των οπών της πλάκας της σταθερής ρόδας.

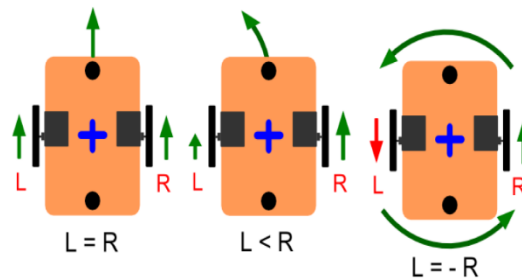
Επεξηγήσεις μεγεθών

- Ws = Ικανότητα φόρτωσης της περιστρεφόμενης ρόδας
- Wf = Ικανότητα φόρτωσης της σταθερής ρόδας
- WT = Μέγιστο φορτίο που κουβαλάει το καρότσι
- P = Βάρος του καροτσιού

Πίνακας 2. Επιλογές διάταξης τροχών.

3.6 Έλεγχος τροχού με διαφορική κίνηση

Αυτός είναι ο πιο κοινός μηχανισμός ελέγχου για κατασκευαστές ρομπότ. Η διαφορά ταχύτητας μεταξύ δύο κινητήρων οδηγεί το ρομπότ σε οποιαδήποτε απαιτούμενη διαδρομή και κατεύθυνση. Το διαφορικό τροχοφόρο ρομπότ έχει δύο ανεξάρτητα κινούμενους τροχούς στερεωμένους σε έναν κοινό οριζόντιο άξονα και παθητικούς τροχούς σε μια από τις διατάξεις της προηγούμενης ενότητας. Υπάρχουν τρεις θεμελιώδεις περιπτώσεις που μπορούν να συμβούν σε ένα ρομπότ με διαφορικό τροχό:



Εικόνα 7. Διαφορική οδήγηση.

Εάν οι γωνιακές ταχύτητες είναι πανομοιότυπες ως προς τις τιμές και αντίθετες ως προς την κατεύθυνση, δηλαδή εάν και οι δύο τροχοί κινούνται με την ίδια ταχύτητα αλλά προς την αντίθετη κατεύθυνση (ένας δεξιόστροφα και άλλος αριστερόστροφα), τότε το ρομπότ είναι πιο πιθανό να ακολουθήσει μια γραμμική διαδρομή, είτε προς τα εμπρός είτε προς τα πίσω με βάση το σπινάρισμα του κινητήρα. **$L=R$**

Εάν οι γωνιακές ταχύτητες είναι διαφορετικές ως προς τις τιμές (ίδια ή διαφορετική κατεύθυνση), δηλαδή εάν οι τροχοί κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες προς την ίδια κατεύθυνση ή αντίθετη κατεύθυνση, τότε το ρομπότ κάνει μια καμπύλη κίνηση. Τέλος, αν ένας από τους τροχούς περιστραφεί και ο άλλος παραμείνει ακίνητος τότε το ρομπότ κάνει σχεδόν μια στροφή 90°. Ο χειρισμός της ταχύτητας και της κατεύθυνσης οδήγησης μπορεί να δώσει μερικές ενδιαφέρουσες διαδρομές οδήγησης. **$L<R$**

Εάν οι γωνιακές ταχύτητες είναι ίδιες ως προς τις τιμές και την κατεύθυνση, δηλαδή εάν και οι δύο τροχοί κινούνται με την ίδια ταχύτητα και την ίδια κατεύθυνση (είτε δεξιόστροφα είτε αριστερόστροφα), τότε το ρομπότ τείνει να περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονά του. Αυτή η δυνατότητα πλήρους στροφής είναι ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα ενός ρομπότ με διαφορική κίνηση (γνωστή και ως στροφή μηδενικής ακτίνας). **$L=-R$**

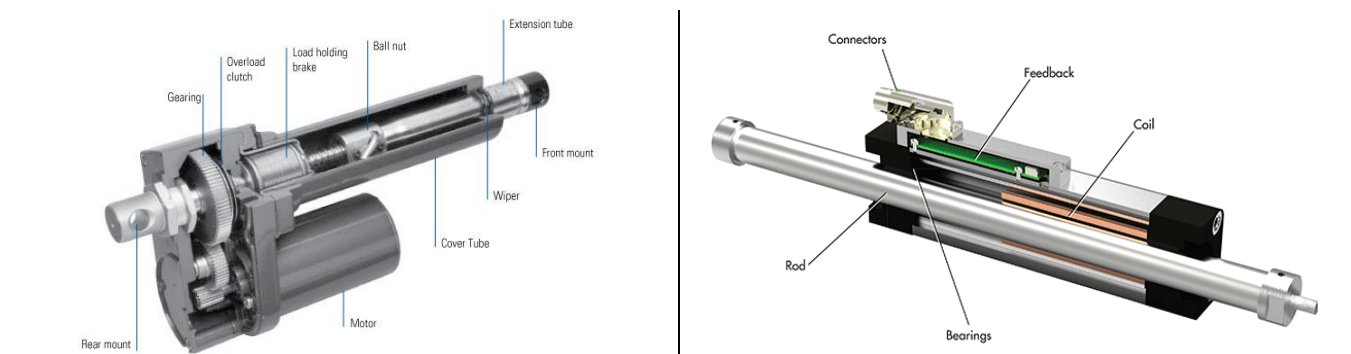
3.7 Κινητήρες και επενεργητές

Ένας επενεργητής είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που μετατρέπει την ενέργεια σε μηχανικό έργο (ή κίνηση). Για τα ρομπότ, οι επενεργητές είναι σαν μύες που εκτελούν μια εργασία. Υπάρχουν διάφοροι τύποι επενεργητών και οι περισσότεροι από αυτούς είτε δημιουργούν περιστροφική είτε γραμμική κίνηση. (Η ταλαντωτική κίνηση χρησιμοποιείται σπάνια και, ακόμη και αν απαιτείται, μπορεί να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας γραμμικό ή περιστροφικό επενεργητή).

Οι περισσότεροι επενεργητές μπορούν να σχεδιαστούν μηχανικά για να προκαλούν περιστροφική ή γραμμική κίνηση. Ένα απλό περικόχλιο προσαρτημένο σε ένα γραμμικό μέλος μπορεί να δημιουργήσει μια περιστροφική κίνηση. Από την άλλη πλευρά, η προσάρτηση μιας βίδας σε έναν περιστροφικό επενεργητή δημιουργεί γραμμική κίνηση.

3.7.1 Γραμμικός επενεργητής (Linear actuator)

Ένας γραμμικός επενεργητής είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που κινείται μεταξύ δύο σημείων σε γραμμική κίνηση. Ο γραμμικός επενεργητής είναι διαθέσιμος με βάση μια ποικιλία τεχνολογιών όπως: μηχανικός, ηλεκτρομηχανικός, άμεσος ηλεκτρικός (γραμμικός κινητήρας), υδραυλικός και πνευματικός. Ο γραμμικός επενεργητής μπορεί να οδηγηθεί είτε με γραμμική είτε με περιστροφική κίνηση.



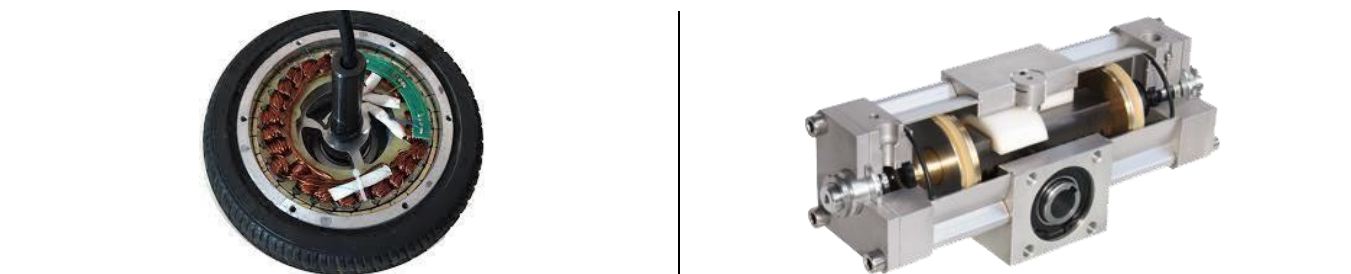
Γραμμικός επενεργητής με περιστροφική οδήγηση

Γραμμικός επενεργητής με γραμμική οδήγηση

Εικόνα 8. Γραμμικοί επενεργητές

3.7.2 Περιστροφικός επενεργητής (Rotary actuator)

Ο περιστροφικός επενεργητής προκαλεί περιστροφική κίνηση. Ένας απλός κινητήρας συνεχούς ρεύματος είναι ένα παράδειγμα περιστροφικού επενεργητή. Παρόμοια με τον γραμμικό επενεργητή, οι επενεργητές περιστροφής μπορούν να οδηγηθούν είτε με γραμμική είτε με περιστροφική κίνηση.



Περιστροφικός επενεργητής με περιστροφική οδήγηση

Περιστροφικός επενεργητής με γραμμική οδήγηση

Εικόνα 9. Περιστροφικοί επενεργητές

3.7.3 Τύποι επενεργητών

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα περισσότερα είδη επενεργητών:

Είδος επενεργητή		Ακρίβεια	Μέγεθος	Τύπος ενέργειας	Εφαρμογή
Πνευματικός		✓	μικτό	αέρας / αέριο	γρήγορη και ακριβή απόκριση
Υδραυλικός		✗	μεγάλο	υγρό	μεγάλη δύναμη
Πιεζοηλεκτρικοί		✓	μικρό	ηλεκτρισμός	μεγάφωνα, αισθητήρες επιτάχυνσης και αισθητήρες κραδασμών
Πιεζοηλεκτρικοί υπερήχων		✓	μικρό	ηλεκτρισμός	φακοί αυτόματης εστίασης κάμερας και μοτέρ ρολογιών
Κράμα μνήμης σχήματος (SMA)		✗	μικρό	θερμότητα	μικρά ρομπότ βαδίσματος
Κινητήρας Καύσης		✗	μεγάλο	ορυκτό καύσιμο	χόμπι, μεγάλα οχήματα
Ηλεκτρικός	Σωληνοειδής	✗	μικτό	ηλεκτρισμός	ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες
	Ηλεκτροκινητήρες	✓	μικτό	ηλεκτρισμός	μετατροπή σε μηχανική ενέργεια

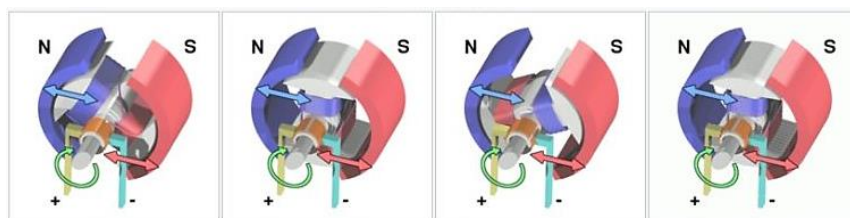
Πίνακας 3. Τύποι επενεργητών

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι μια από τις σημαντικότερες εφευρέσεις μέχρι σήμερα με μεγάλο όφελος για τους κατασκευαστές ρομπότ. Δεδομένου ότι υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη κινητήρων και πολλές διαφορετικές εφαρμογές, στην επόμενη ενότητα θα γίνει εκτεταμένη αναφορά για την κατανόηση των βασικών τους στοιχείων και του τρόπου λειτουργίας τους.

3.7.4 Ηλεκτρικοί κινητήρες

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες βρίσκονται στις περισσότερες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές: ανεμιστήρες, τρυπάνια, ηλεκτρικές μηχανές, συσκευές αναπαραγωγής DVD, πλυντήρια κ.λπ. δημιουργώντας περιστροφική κίνηση. Χρησιμοποιούνται επίσης σε πριονιστήρια και κόπτες όπου αυτοί οι κινητήρες είναι μηχανικά σχεδιασμένοι για να δημιουργούν γραμμική κίνηση.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες βασίζονται στην αρχή του ηλεκτρομαγνητισμού. Η μηχανική κατασκευή χρησιμοποιεί δύο κύρια εξαρτήματα, έναν στάτορα και ένα ρότορα. Ο στάτορας είναι το ακίνητο εξάρτημα του κινητήρα ενώ ο ρότορας είναι το περιστρεφόμενο. Ο στάτορας έχει συνήθως ηλεκτρομαγνητικές περιελίξεις ενώ ο ρότορας έχει συνδεδεμένους ηλεκτρομαγνήτες και σε ορισμένες περιπτώσεις μόνιμους μαγνήτες. Πρακτικά ένας από τους δύο είναι μόνιμος μαγνήτης και ο άλλος ηλεκτρομαγνήτης. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από τον ηλεκτρομαγνήτη, δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί μια μαγνητική δύναμη μεταξύ του στάτορα και του ρότορα. Οι ελκτικές και απωστικές δυνάμεις μεταξύ του ηλεκτρομαγνήτη και του μόνιμου μαγνήτη κάνουν τον ρότορα να περιστρέφεται. Για να περιστραφεί ο ρότορας, οι ηλεκτρομαγνήτες δημιουργούν μια απωστική δύναμη στο ένα άκρο (πόλος) που έλκει τον μόνιμο μαγνήτη προς το άλλο άκρο του ηλεκτρομαγνήτη. Μόλις ο ρότορας κάνει μια μισή στροφή, οι πόλοι του ηλεκτρομαγνήτη ανατρέπονται, σπρώχνοντας τον ρότορα περισσότερο προς το άλλο άκρο. Η διαδικασία συνεχίζεται δημιουργώντας μια κυκλική κίνηση.



Εικόνα 10. Αρχή περιστροφής ηλεκτροκινητήρα

Η δύναμη που δημιουργείται από το μαγνητικό πεδίο μεταξύ του ρότορα και του στάτορα καθορίζει τη ροπή του κινητήρα. Ο αριθμός των πλήρων περιστροφών του ρότορα σε ένα λεπτό καθορίζει την ταχύτητα του κινητήρα, μετρούμενη ως στροφές ανά λεπτό (RPM). Η τοποθέτηση γραναζιών μπορεί να αυξήσει είτε τη ροπή είτε την ταχύτητα, μεγέθη που είναι αντιστρόφως ανάλογα. Οι κινητήρες είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) ή συνεχές ρεύμα (DC).

Κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος (AC): Λόγω της αδυναμίας αποθήκευσης αυτής της μορφής ηλεκτρικού ρεύματος, είναι ιδιαίτερα δύσκολη η χρήση του κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος στα κινητά ρομπότ. Ως εκ τούτου, η χρήση κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος περιορίζεται στα σταθερά και βιομηχανικά ρομπότ.

Κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC): Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι πολύ εύκολοι στην εφαρμογή και οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι επενεργητές σε ρομπότ. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κινητήρων συνεχούς ρεύματος διαθέσιμοι και στην επόμενη ενότητα, θα συζητήσουμε τους διάφορους διαθέσιμους κινητήρες DC.

3.7.5 Τύποι ηλεκτροκινητήρων συνεχούς ρεύματος

Αυτού του τύπου οι κινητήρες είναι εύκολοι στην εφαρμογή και γενικά χρησιμοποιούνται ως επενεργητές για διάφορες λειτουργίες στα ρομπότ. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κινητήρων DC στο εμπόριο και παρακάτω θα αναφερθεί η αρχή λειτουργίας καθενός από αυτούς τους κινητήρες.

Κινητήρας με ψήκτρες συνεχούς ρεύματος (BDC κινητήρας): είναι ένα κλασικό παράδειγμα ηλεκτρικού κινητήρα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένας κινητήρας έχει έναν ρότορα και έναν στάτορα με έναν από αυτούς να είναι μόνιμος μαγνήτης. Σε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος, ο ρότορας έχει μόνιμο μαγνήτη και ο στάτορας έχει ηλεκτρομαγνήτες. Δεδομένου ότι ο κινητήρας χρειάζεται έναν τρόπο για να ανιχνεύσει τον προσανατολισμό του ρότορα, χρησιμοποιεί ψήκτρες ως μεταγωγέα που είναι ένα κομμάτι του ρότορα που αγγίζει τον άξονα. Όταν ο ρότορας περιστρέφεται (με τη σειρά του η ψήκτρα περιστρέφεται), ανιχνεύει την αλλαγή στον προσανατολισμό και αναστρέφει το ρεύμα. Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος διατίθεται σε διαφορετικά μεγέθη και με διαφορετικές ταχύτητες. Αν και οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος λειτουργούν με αρκετές στροφές, είναι γενικά άχρηστοι στα ρομπότ καθώς παράγουν μικρή ροπή. Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος έχει μόνο δύο καλώδια για την λειτουργία του, το ένα για την γείωση και το άλλο για την τροφοδοσία.

Γραναζωτός κινητήρας συνεχούς ρεύματος: Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος παρέχει καλή ταχύτητα χωρίς αρκετή ροπή. Για να ξεπεραστεί αυτό, ο κινητήρας DC συχνά συνδυάζεται με γρανάζια που παρέχουν μεγαλύτερη ροπή, αλλά μειώνουν την ταχύτητα.

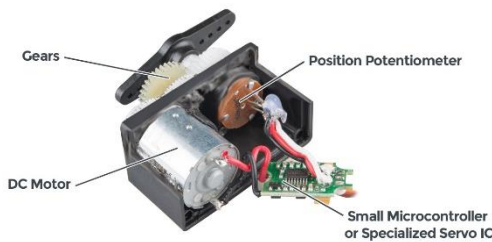


Εικόνα 11. Απλός και γραναζωτός κινητήρας συνεχούς ρεύματος.

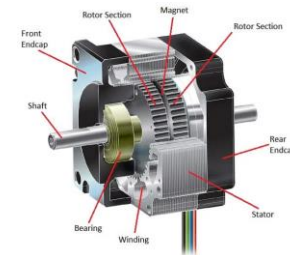
Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, ο άξονας του κινητήρα συνδέεται με ένα άλλο μεγαλύτερο γρανάζι, το οποίο συνδέεται περαιτέρω με ένα μεγαλύτερο γρανάζι. Καθώς ο κινητήρας περιστρέφεται, οι περιστροφές ανά λεπτό (RPM) του Gear1 είναι μικρότερες από του κινητήρα. Το Gear2 έχει ακόμη μικρότερο αριθμό περιστροφών ανά λεπτό, παρατηρείται ότι κάθε γρανάζι να αυξάνει τη συνολική ροπή στην έξοδο.

Σέρβο κινητήρας (Servo motor): Είναι ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος σε συνδυασμό με ένα κύκλωμα ελέγχου ανάδρασης, ένα σύστημα μετάδοσης για την αύξηση της ροπής και μια συσκευή ανίχνευσης θέσης (συνήθως ένα ποτενσιόμετρο). Όταν αποστέλλεται ένα σήμα (παλμός), μετακινεί τον άξονα του κινητήρα στην επιθυμητή θέση χρησιμοποιώντας την ανάδραση θέσης από ένα ποτενσιόμετρο. Ο σέρβο κινητήρας δεν παρουσιάζει συνεχή περιστροφή, αλλά περιορίζεται σε ένα συγκεκριμένο εύρος μοιρών και απαιτούν τροποποίηση για την συνεχή περιστροφή του. Δεδομένου ότι ο σέρβο κινητήρας αναμένει ένα σήμα ελέγχου, υπάρχει ένα πρόσθετο καλώδιο που συνδέεται στον σέρβο κινητήρα που λαμβάνει παλμούς ελέγχου. Ο σέρβο κινητήρας έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στη ρομποτική, αλλά απαιτεί προγραμματισμό για να λειτουργήσει.

Βηματικός κινητήρας (Step motor): είναι κινητήρας χωρίς ψήκτες που διαιρεί την περιστροφή του ρότορα σε διακριτό αριθμό βημάτων όταν οι ηλεκτρικοί παλμοί εφαρμόζονται με μια αναμενόμενη ακολουθία. Με άλλα λόγια, ένας DC κινητήρας περιστρέφεται συνεχώς όταν εφαρμόζεται τάση, αλλά ένας βηματικός κινητήρας τον σπάει σε βήματα ανά περιστροφή και μετράει κάθε βήμα για έναν συγκεκριμένο παλμό. Από την πλευρά της ροπής, οι βηματικοί κινητήρες είναι παρόμοιοι με τους DC κινητήρες παρουσιάζοντας μικρή ροπή. Με βάση τη διάταξη των περιελίξεων στο εσωτερικό ενός βηματικού κινητήρα, μπορεί να ταξινομηθεί ως μονοπολικός ή διπολικός βηματικός κινητήρας.



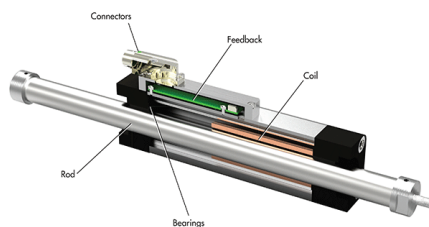
Εικόνα 12. Σέρβο κινητήρας



Εικόνα 13. Βηματικός κινητήρας.

Γραμμικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος: Ένας γραμμικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος, όπως ένας περιστρεφόμενος κινητήρας συνεχούς ρεύματος, παράγει μηχανική δύναμη από την αλληλεπίδραση του ρεύματος στους αγωγούς και τη μαγνητική ροή που παρέχεται από μόνιμους μαγνήτες σπάνιων γαιών. Είναι κατασκευασμένο από ένα συγκρότημα στάτορα και έναν ολισθητήρα. Ένας γραμμικός κινητήρας παράγει ώση σε ευθεία γραμμή με άμεση επαγωγή και όχι με τη χρήση γραναζιών.

Κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτες (Brushless DC motor ή BLDC): Σε έναν κινητήρα χωρίς ψήκτες, ο ρότορας είναι κατασκευασμένος από μόνιμο μαγνήτη και ο στάτορας από ηλεκτρομαγνήτη. Για να ανιχνεύσει το μαγνητικό πεδίο του ρότορα και κατά συνέπεια τον προσανατολισμό του ο κινητήρας χωρίς ψήκτες χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα Hall Effect. Ο BLDC κινητήρας είναι πολύ χρήσιμος στα ρομπότ καθώς είναι πιο αποτελεσματικός μιας και παρέχουν αρκετή ροπή και μεγαλύτερες ταχύτητες από τους απλούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Ο BLDC κινητήρας είναι ακριβοί λόγω της πολυπλοκότητας του σχεδιασμού του και χρειάζεται ελεγκτή για τον έλεγχο της ταχύτητας και της περιστροφής του.



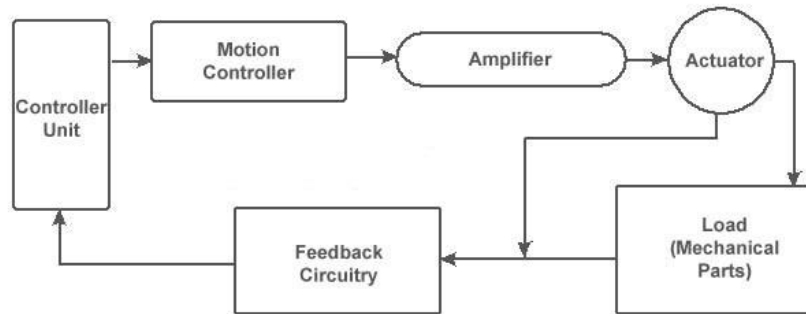
Εικόνα 14. Γραμμικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος.



Εικόνα 15. Κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτες.

3.8 Ελεγκτές κίνησης

Ο έλεγχος κίνησης είναι μια σημαντική πτυχή της ρομποτικής που μας βοηθά να προσδιορίσουμε την ταχύτητα και τη θέση ενός ρομπότ (ή οποιασδήποτε μηχανικής συσκευής). Στο παρακάτω διάγραμμα, απεικονίζεται ένα πλήρες σύστημα ελέγχου κίνησης. Ωστόσο, δεν είναι υποχρεωτικό να συμπεριληφθούν όλες αυτές οι συσκευές σε ένα σύστημα ελέγχου κίνησης.



Εικόνα 16. Διάγραμμα ελέγχου κίνησης

1. Ένας ελεγκτής (γενικά ένας μικροελεγκτής) στέλνει σήματα στον ελεγκτή κίνησης.
2. Με βάση τα σήματα εισόδου, ένας ελεγκτής κίνησης στέλνει εντολές σε έναν ενισχυτή για έλεγχο θέσης και ταχύτητας.
3. Ένας ενισχυτής λαμβάνει εντολές από έναν ελεγκτή κίνησης και παράγει το ρεύμα που απαιτείται για την κίνηση του επενεργητή.
4. Όταν παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια, ο επενεργητής τη μετατρέπει σε μηχανική ενέργεια δημιουργώντας ροπή.
5. Τα μηχανικά μέρη που συνδέονται σε έναν επενεργητή δημιουργούν μια κίνηση (γενικά γραμμική ή περιστροφική) από τη ροπή που δημιουργείται.
6. Ένα κύκλωμα ανάδρασης παρέχει ανάδραση (όπως θέση, ταχύτητα, δύναμη, κ.λπ.) στη μονάδα ελεγκτή που ολοκληρώνει τον βρόχο.

Η πιο σημαντική πτυχή του ελέγχου κίνησης είναι ο έλεγχος κινητήρα, καθώς τα περισσότερα από τα κινητά ρομπότ χρησιμοποιούν κινητήρες.

3.9 Οδήγηση κινητήρα

Ο έλεγχος των κινητήρων πραγματοποιείται με χρήση ηλεκτρονικών μετατροπών 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.

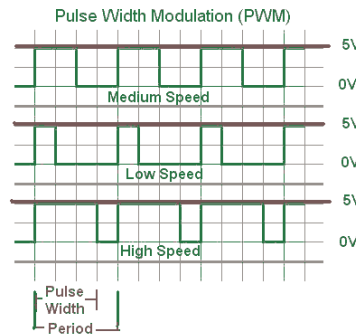
Έλεγχος του κινητήρα σημαίνει τον έλεγχο της ταχύτητας, της ροπής, της εκκίνησης-στάσης, της κατεύθυνσης και της στάθμευσης που μπορεί να είναι αυτόματος, τηλεχειριζόμενος ή χειροκίνητος. Τα σήματα ελέγχου μπορεί να είναι είτε αναλογικά είτε ψηφιακά.

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι ελεγκτών ανάλογα τον τύπο των κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Στην επόμενη ενότητα θα διερευνήσουμε τις διαφορετικές τεχνικές ελέγχου ταχύτητας και σε επόμενο τμήμα θα μελετήσουμε τους διαφορετικούς μηχανισμούς ανάδρασης που χρησιμοποιούνται.

3.9.1 Οδήγηση κινητήρα με ψήκτρες συνεχούς ρεύματος

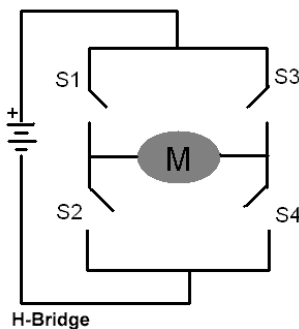
Ο σκοπός ενός ελέγχου ταχύτητας είναι να λαμβάνει εντολές από τον ελεγκτή και να οδηγεί τον κινητήρα σε αυτήν την απαιτητική ταχύτητα. Οι ελεγκτές μπορούν να στέλνουν μόνο σήματα για να λειτουργούν με καθορισμένη ταχύτητα και ενδέχεται να μην μετρούν ή να εγγυώνται ότι ο κινητήρας λειτουργεί σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα.

Διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM): Η ροπή σε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος είναι ανάλογη του ρεύματος οδήγησης. Για τον έλεγχο της ταχύτητας ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος, η ροπή του διαμορφώνεται χρησιμοποιώντας ανορθωτή ελεγχόμενου πυριτίου (SCR ή Silicon-Controlled Rectifier) ή διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM ή Pulse Width Modulation). Οι SCR και άλλες μέθοδοι χρησιμοποιούνται σπάνια στα ρομπότ και η ευρέως αποδεκτή τεχνική για τον έλεγχο της ταχύτητας είναι ο PWM. Φανταστείτε ο PWM να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί έναν διακόπτη με πολύ γρήγορο ρυθμό. Όσο περισσότερο είναι ο διακόπτης ON, τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση που στέλνεται στον δέκτη δημιουργώντας μεγαλύτερες ταχύτητες.



Εικόνα 17. Έλεγχος της ταχύτητας BDC κινητήρα με PWM.

H-γέφυρα (H-bridge): Ο έλεγχος ενός κινητήρα περιλαμβάνει τον έλεγχο της ταχύτητας και της περιστροφής είτε δεξιόστροφα είτε αριστερόστροφα. Για κινητήρες συνεχούς ρεύματος, ο πιο διαδεδομένος έλεγχος κατεύθυνσης επιτυγχάνεται με μια γέφυρα H που οδηγεί τον κινητήρα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Μια τυπική γέφυρα H αποτελείται από τουλάχιστον τέσσερις στερεάς κατάστασης ή μηχανικούς διακόπτες. Η γραφική αναπαράσταση της γέφυρας H μοιάζει με το γράμμα "H" από όπου πήρε και το όνομα της.



Εικόνα 18. Έλεγχος κατάστασης BDC κινητήρα με γέφυρα H

S1	S2	S3	S4	Κινητήρας
1	0	0	1	Δεξιόστροφα (Εμπρός)
0	1	1	0	Αριστερόστροφα (Αντίστροφα)
0	0	0	0	Ελεύθερη περιστροφή
0	1	0	1	Φρένο
1	0	1	0	Φρένο

Πίνακας 4. Έλεγχος κατάστασης BDC κινητήρα με γέφυρα H

Αυτό το απλό κύκλωμα που φαίνεται παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οδήγηση του κινητήρα προς τα εμπρός, όπισθεν, πέδησης ή ελεύθερης λειτουργίας ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας τα S1, S2, S3 και S4 σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

3.9.2 Οδήγηση κινητήρα χωρίς ψήκτρες συνεχούς ρεύματος

Ένας ελεγκτής κινητήρα BLDC μπορεί να εκτελέσει τις ίδιες λειτουργίες και να εφαρμόσει παρόμοιες μεθόδους με έναν ελεγκτή κινητήρα BDC. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες εννοιολογικές διαφορές στη διάταξη και την εφαρμογή τους. Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθούν τα χαρακτηριστικά ενός ελεγκτή κινητήρα συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες, δηλαδή πώς λειτουργεί, πώς κατασκευάζεται και σε τι λειτουργεί καλύτερα.

3.9.2.1 Αρχές λειτουργίας κινητήρων και ελεγκτών BLDC

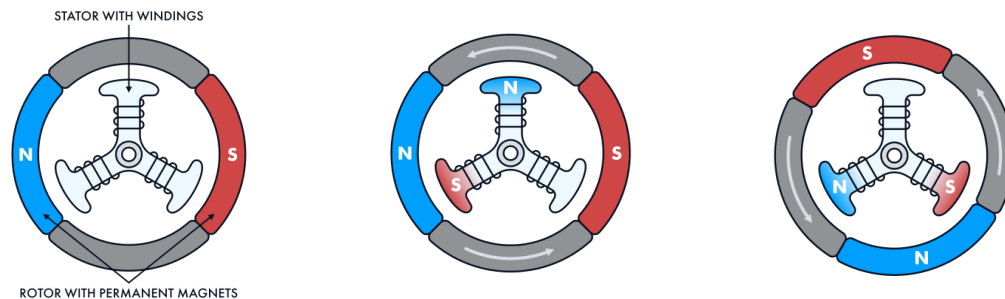
Ένας ελεγκτής κινητήρα BLDC ρυθμίζει την ταχύτητα και τη ροπή του κινητήρα. Μπορεί επίσης να ξεκινήσει, να σταματήσει και να αντιστρέψει την περιστροφή του. Για να γίνουν κατανοητές οι αρχές λειτουργίας του ελεγκτή, παρακάτω θα αναλυθεί η κατασκευή ενός κινητήρα χωρίς ψήκτρες.

Τα κύρια συστατικά του περιλαμβάνουν:

- Οπλισμός ή ρότορας από μόνιμους και σε πολλές περιπτώσεις μαγνήτες νεοδυμίου.
- Ένας στάτορας με περιελίξεις που δημιουργούν ένα μαγνητικό πεδίο όταν ενεργοποιούνται.

Οι μαγνήτες του ρότορα και οι περιελίξεις του στάτορα παρέχουν την περιστροφή του κινητήρα. Ελκύει ο ένας τον άλλον με αντίθετους πόλους και απωθεί ο ένας τον άλλον με τους ίδιους πόλους. Μια παρόμοια διαδικασία λαμβάνει χώρα σε έναν κινητήρα με ψήκτρες συνεχούς ρεύματος. Η ουσιαστική διαφορά έγκειται στη μέθοδο μεταγωγής του ρεύματος που εφαρμόζεται στις περιελίξεις του σύρματος.

Σε έναν κινητήρα BDC, αυτή είναι μια μηχανική διαδικασία που ενεργοποιείται από έναν μεταγωγέα με ψήκτρες. Σε έναν κινητήρα BLDC, αυτό συμβαίνει ηλεκτρονικά με τη βοήθεια διακοπών τρανζίστορ.



Εικόνα 19. Αρχή λειτουργίας κινητήρα BLDC.

Ένας ελεγκτής κινητήρα BLDC ανιχνεύει τη θέση του ρότορα είτε χρησιμοποιώντας αισθητήρες (για παράδειγμα, αισθητήρα θέσης Hall) είτε χωρίς αισθητήρα. Οι αισθητήρες μετρούν τη θέση του ρότορα και στέλνουν αυτά τα δεδομένα. Ο ελεγκτής λαμβάνει τις πληροφορίες και επιτρέπει στα τρανζίστορ να αλλάξουν το ρεύμα και να ενεργοποιήσουν την απαιτούμενη περιέλιξη του στάτορα την κατάλληλη στιγμή.

3.9.2.2 Τύποι κινητήρων και ελεγκτών BLDC

Ανάλογα με την τοποθέτηση του ρότορα, οι κινητήρες BLDC μπορούν να είναι δύο τύπων:

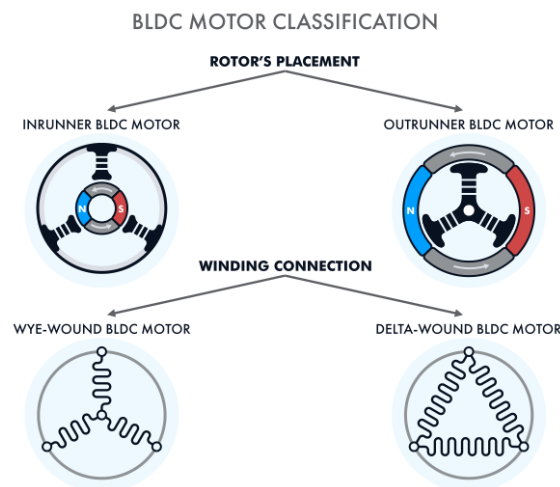
- κινητήρας inrunner (ο ρότορας είναι εσωτερικός και ο στάτορας βρίσκεται στο εξωτερικό του κινητήρα).
- κινητήρας outrunner (ο ρότορας είναι εξωτερικός, επομένως οι μόνιμοι μαγνήτες περιστρέφονται γύρω από τον στάτορα μαζί με το περίβλημα του κινητήρα).

Οι Inrunners έχουν πιο ελαφριά κατασκευή και καλύτερη ταχύτητα περιστροφής λόγω της μικρότερης διαμέτρου περιστροφής τους. Με τη σειρά τους, οι υπερκείμενοι κινητήρες έχουν υψηλότερη ροπή λόγω του μακρύτερου βραχίονα και της μεγαλύτερης ηλεκτροκινητικής δύναμης που εφαρμόζεται στον ρότορα.

Οι τριφασικοί κινητήρες BLDC μπορούν να έχουν δύο διαφορετικούς τύπους συνδέσεων περιέλιξης:

- γγε (Υ) ή σύνδεση αστέρι (οι περιελίξεις συναντώνται στο κέντρο σχηματίζοντας ένα γγε).
- Σύνδεση δέλτα (Δ) (οι περιελίξεις συνδέονται σε σειρά σχηματίζοντας ένα τρίγωνο).

Η διαμόρφωση γγε έχει ένα ουδέτερο καλώδιο συνδεδεμένο στη γείωση. Αυτό μπορεί να προστατεύσει τον κινητήρα από υπέρταση και υπερφόρτωση. Η σύνδεση τριγώνου δεν έχει ουδέτερους, επομένως λειτουργεί καλύτερα για κινητήρες με ισορροπημένο φορτίο. Ωστόσο, καθένας από αυτούς τους τύπους μπορεί να δείξει αποτελεσματική απόδοση ανάλογα με τις απαιτήσεις.



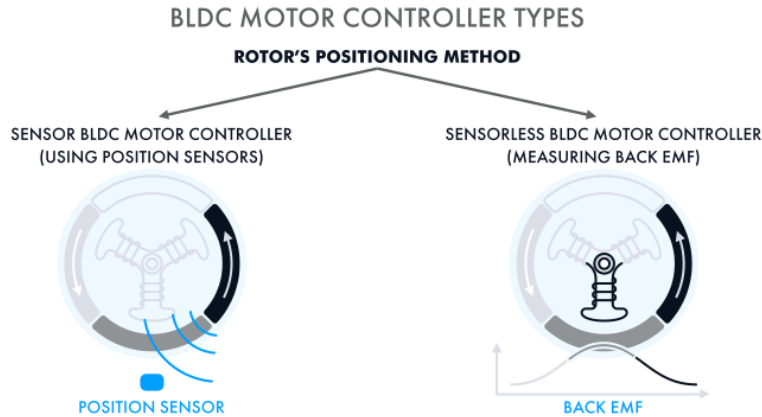
Εικόνα 20. Ταξινομήσεις κινητήρων BLDC.

Οι ελεγκτές κινητήρα BLDC διαφέρουν ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιούν για να ανιχνεύσουν τη θέση του ρότορα. Είναι δυνατόν να παίρνει τις μετρήσεις με τη βοήθεια αισθητήρων θέσης ή χρησιμοποιώντας μια τεχνική χωρίς αισθητήρα.

Υπάρχουν πολλές επιλογές μεταξύ των αισθητήρων, όπως:

- Αισθητήρες θέσης Hall.
- Περιστροφικοί κωδικοποιητές.
- Αισθητήρες μεταβλητής απροθυμίας.
- Επιλύτες.
- Οπτικοί αισθητήρες.

Ο ελεγκτής κινητήρα BLDC χωρίς αισθητήρα ανιχνεύει τη θέση του ρότορα υπολογίζοντας την **εναπομένουσα ηλεκτροκινητική δύναμη (back EMF)**. Αυτή είναι η τάση που δημιουργείται στις περιελίξεις του στάτη από τον περιστρεφόμενο οπλισμό. Μετρώντας το back EMF, προσδιορίζεται η θέση του ρότορα: όσο πιο κοντά είναι ο μαγνήτης του ρότορα, τόσο υψηλότερο είναι το back EMF.



Εικόνα 21. Τύποι ελεγκτών κινητήρα BLDC.

3.9.2.3 Περιοχή εφαρμογής κινητήρων και ελεγκτών BLDC

Τα βασικά πλεονεκτήματα ενός κινητήρα BLDC προκύπτουν από τα γενικά χαρακτηριστικά κατασκευής του. Μέσο της ηλεκτρονικής μετατροπής παρέχει βελτιωμένη μεταγωγή ρεύματος και έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη ροπή, αποτελεσματικό έλεγχο στροφών σε μεγάλο εύρος και επομένως καλύτερη απόδοση του κινητήρα. Η χρήση ηλεκτρονικών αντί για μηχανικά μέρη που φθείρονται το καθιστά μια λύση χαμηλής συντήρησης και μεγάλης διάρκειας. Επιπλέον, η απουσία ψηκτρών οδηγεί σε ελάχιστη απώλεια ισχύος και χαμηλό επίπεδο **ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (EMI)** και θορύβου.

Γι' αυτό ο κινητήρας BLDC βρίσκει ευρεία χρήση σε συσκευές και συστήματα με μεγάλη διάρκεια ζωής, όπως:

- Βιομηχανικές εφαρμογές.
- Ηλεκτρικά οχήματα.
- Συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών.
- Εξοπλισμός υπολογιστών.
- Ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης.
- Ρομποτική.

Ο κινητήρας BLDC χάρη στη διάταξη του μπορεί να τροφοδοτήσει συσκευές μικρού μεγέθους αλλά υψηλής απόδοσης, γεγονός που διευρύνει επίσης την περιοχή εφαρμογής του.

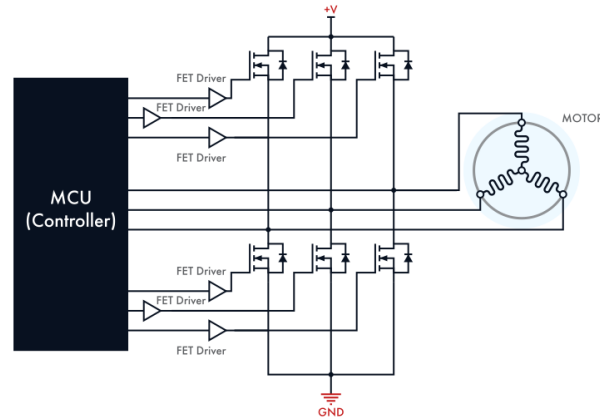
3.9.2.4 Σχεδιασμός κυκλώματος ελεγκτή κινητήρα BLDC

Ένας τυπικός ελεγκτής κινητήρα BLDC έχει ένα κύκλωμα **half-bridge** ή **half-H bridge**. Σε αντίθεση με μια **H-bridge**, αυτή η διαμόρφωση κυκλώματος έχει μόνο δύο διακόπτες, ένα τρανζίστορ υψηλής και χαμηλής πλευράς.

Οι περισσότεροι κινητήρες BLDC χρησιμοποιούν διφασικά ή τριφασικά συστήματα ισχύος. Έτσι, σε ένα διάγραμμα κυκλώματος ελεγκτή κινητήρα BLDC, αυτό θα μοιάζει με δύο ή τρεις ημιγέφυρες (ανάλογα με τον αριθμό των φάσεων) με ένα ζεύγος διακοπών η καθεμία.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η βασική αρχή σχεδίασης του κυκλώματος ενός ελεγκτή κινητήρα BLDC τριών φάσεων με αισθητήρες θέσης Hall.

Ο στάτορας έχει τριφασικές περιελίξεις που βρίσκονται σε γωνία 120° μεταξύ τους. Κάθε περιέλιξη έχει μια διανυσματική αναπαράσταση της τάσης και του ρεύματος που εφαρμόζεται στον στάτορα.



Εικόνα 22. Τριφασικός ελεγκτής κινητήρα BLDC με αισθητήρες θέσης Hall.

Οι αισθητήρες Hall του ελεγκτή κινητήρα BLDC αναγνωρίζουν τη θέση του ρότορα. Μόλις λάβουν τα δεδομένα του αισθητήρα, τα **MOSFET** ισχύος αλλάζουν το ρεύμα, εγχύοντάς το στη δεξιά περιέλιξη. Σε έναν ελεγκτή κινητήρα BLDC υψηλής ισχύος, οι διακόπτες **IGBT** και **GaN** μπορούν να αντικαταστήσουν τα MOSFET.

Είτε οι ενσωματωμένοι είτε οι διακριτοί οδηγοί πύλης μπορούν να ελέγχουν τα τρανζίστορ. Τα προγράμματα οδήγησης ενός σχηματικού ελεγκτή κινητήρα BLDC λειτουργούν ως ενδιάμεσοι μεταξύ των διακοπών και ενός μικροελεγκτή (MCU).

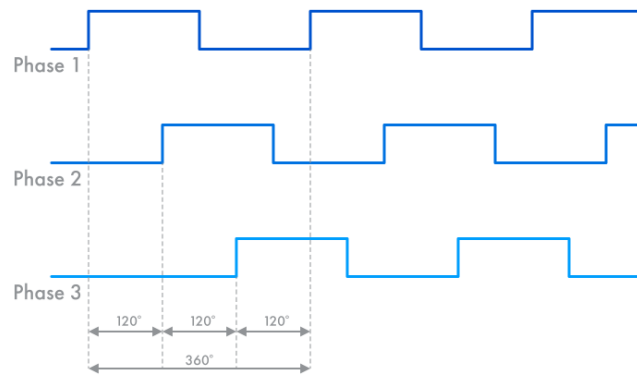
Το τριφασικό κύκλωμα ελεγκτή κινητήρα BLDC περιλαμβάνει έξι βήματα που είναι απαραίτητα για την ολοκλήρωση ενός πλήρους κύκλου μεταγωγής (δηλαδή για την ενεργοποίηση και των τριών περιελίξεων του στάτορα). Ενεργοποιώντας και απενεργοποιώντας τα τρανζίστορ υψηλής και χαμηλής πλευράς, το ρεύμα ρέει διαδοχικά μέσω των περιελίξεων του στάτη.

Σχεδιάζοντας έναν ελεγκτή κινητήρα BLDC, υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις για την εναλλαγή ρεύματος, συμπεριλαμβανομένης της **τραπεζοειδούς** και της **ημιτονοειδούς** μεταγωγής. Τα ονόματα αυτών των μεθόδων σχετίζονται με τις κυματομορφές σήματος.

Με την τραπεζοειδή μεταγωγή, δύο στις τρεις περιελίξεις μπορούν να παραμείνουν ενεργοποιημένες ταυτόχρονα. Στη μέθοδο ημιτονοειδούς ελέγχου, η μετατόπιση φάσης συμμορφώνεται με τον νόμο των ημιτονοειδών. Παρέχει ομαλότερη εναλλαγή ρεύματος μεταξύ των φάσεων.

Η τραπεζοειδής εναλλαγή είναι απλούστερη, αλλά μπορεί να προκαλέσει τη δόνηση του κινητήρα σε χαμηλές ταχύτητες. Η εφαρμογή κυματομορφών ημιτονοειδούς ρεύματος μπορεί να εξασφαλίσει την άψογη λειτουργία του κινητήρα. Ωστόσο, αυτός ο τύπος εναλλαγής αποτελεί πρόκληση σε υψηλές ταχύτητες.

Συνήθως, ένα ημιτονικό κύκλωμα ελεγκτή κινητήρα BLDC χρησιμοποιεί **διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM)**. Αυτό βοηθάει στη ρύθμιση του ρεύματος που εγχέεται στις περιελίξεις του ρότορα και στην εκτέλεση της διαδικασίας μεταγωγής πιο ομαλά και αποτελεσματικά. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για ελεγκτές κλειστού βρόχου που λαμβάνουν ανάδραση για το σήμα εξόδου και προσαρμόζουν την ισχύ εισόδου μεταβάλλοντας τον κύκλο λειτουργίας. Ένας κύκλος λειτουργίας είναι το ποσοστό μεταξύ του τρέχοντος παλμού και του πλήρους κύκλου του τρέχοντος σήματος. Ένας ελεγκτής ταχύτητας κινητήρα BLDC αλλάζει τους κύκλους λειτουργίας PWM για να δημιουργήσει ημιτονοειδή σήματα.



Εικόνα 23. Τριφασική διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM).

Η συχνότητα μεταγωγής PWM μπορεί να είναι διαφορετική για διάφορες εφαρμογές. Αν και θα πρέπει να είναι αρκετά υψηλή ώστε να αποτρέπεται η απώλεια ισχύος. Οι φυσικοί περιορισμοί του στάτορα καθορίζουν το μέγιστο επίπεδο συχνότητας το οποίο περιορίζεται και από τις προδιαγραφές της ίδιας της μονάδας ελέγχου. Έτσι, ακόμα κι αν ο στάτορας επιτρέπει να αυξηθεί η συχνότητα PWM, δεν θα επιτραπεί λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων του ελεγκτή κινητήρα χωρίς ψήκτρες DC.

Προαιρετικά, χρησιμοποιείται υστέρηση για τον έλεγχο της λειτουργίας ενός κινητήρα BLDC. Αυτή η μέθοδος σχετίζεται επίσης με την ημιτονοειδή εναλλαγή. Επιτρέπεται ο καθορισμός των άνω και κάτω ορίων του ρεύματος που παρέχεται στον κινητήρα. Μόλις το ρεύμα φτάσει στο ανώτερο ή χαμηλότερο εύρος του, οι διακόπτες του τρανζίστορ σβήνουν ή ενεργοποιούνται αντίστοιχα και αλλάζουν το μέσο ρεύμα χρησιμοποιώντας τον νόμο των ημιτόνων.

Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένας half-bridge ελεγκτής κινητήρα BLDC είτε ως ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC) είτε ως ξεχωριστά εξαρτήματα. Ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα μπορεί να είναι λιγότερο αξιόπιστο, καθώς τα εξαρτήματα πρέπει να συναρμολογούνται και να συγκολλούνται στην πλακέτα ξεχωριστά. Ένας IC ελεγκτής κινητήρα BLDC έχει μικρότερο μέγεθος, χαμηλό κόστος παραγωγής και απλοποιεί τη διαδικασία σχεδιασμού. Ωστόσο, τα ολοκληρωμένα κυκλώματα έχουν περιορισμούς ισχύος καθώς επίσης η αστοχία ενός εξαρτήματος θα οδηγήσει στην αντικατάσταση ολόκληρου του IC ελεγκτή κινητήρα BLDC, και όχι μόνο αυτού του εξαρτήματος.

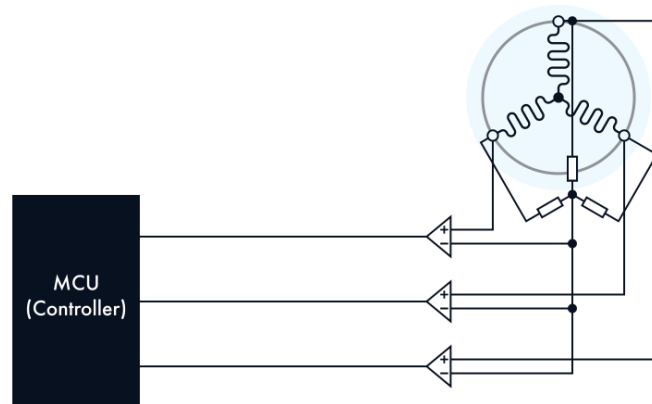
3.9.2.5 Προκλήσεις της κατασκευής ενός ελεγκτή ταχύτητας κινητήρα BLDC

Η κατασκευή ενός κυκλώματος ελεγκτή κινητήρα BLDC, μπορεί να αποτελέσει κάποιες προκλήσεις. Ανάλογα με τη λειτουργικότητα και την εφαρμογή του κινητήρα, πρέπει να επιλεγεί το κατάλληλο υλικό και να εφαρμοστούν οι απαιτούμενοι αλγόριθμοι. Για παράδειγμα, οι ελεγκτές κινητήρα BLDC που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά ισχύος αντιμετωπίζουν υψηλό ρεύμα και τάση. Απαιτούν υψηλή συχνότητα μεταγωγής. Εδώ θα έχει νόημα η χρήση διακριτών εξαρτημάτων, συμπεριλαμβανομένων εξωτερικών τρανζίστορ υψηλής ισχύος, όπως IGBT και GaN.

Η ακρίβεια θέσης του ρότορα είναι μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις οποιουδήποτε ελεγκτή κινητήρα BLDC. Μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας είτε αισθητήρα είτε μετρήσεις χωρίς αισθητήρα.

Οι αισθητήρες θέσης προσφέρουν μια σχετικά απλή μέθοδο ανίχνευσης που μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς εξελιγμένους αλγόριθμους ελέγχου. Ωστόσο, η χρήση τους περιπλέκει τη διάταξη και τη συντήρηση του κινητήρα.

Η μέθοδος χωρίς αισθητήρα (μέτρηση οπίσθιου EMF) μπορεί να μειώσει το κόστος του λογαριασμού των υλικών (BOM) και να απλοποιήσει τον σχεδιασμό του ελεγκτή κινητήρα συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες. Η κύρια πρόκληση εδώ είναι να μετακινηθεί πρώτα ο ρότορας, καθώς το back EMF δεν θα εμφανίζεται όταν ο ρότορας είναι σε ηρεμία. Έτσι, ο ελεγκτής δεν θα λάβει τις απαιτούμενες πληροφορίες. Επιπλέον, το back EMF είναι ανάλογο με την ταχύτητα του ρότορα. Έτσι, η ακρίβεια θέσης θα μειωθεί εάν ο κινητήρας λειτουργεί σε χαμηλές ταχύτητες.



Εικόνα 24. Απλοποιημένη μέτρηση back EMF.

Για την σωστή μέτρηση του back EMF, πρέπει να μελετηθεί το σχηματικό του ελεγκτή κινητήρα BLDC καθώς και το λογισμικό του. Πρέπει να εγκατασταθούν μετατροπείς ρεύματος και τάσης, να γίνει προσθήκη φίλτρων θορύβου και να δημιουργηθούν αλγόριθμοι **επεξεργασίας ψηφιακού σήματος (DSP)**.

Πολλά εξαρτώνται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή της μεθόδου μέτρησης και για να επιτευχθεί βελτιωμένη ακρίβεια, συνδυάζονται διαφορετικές τεχνικές. Για παράδειγμα, η χρήση ενός οπτικού αισθητήρα ή ενός περιστροφικού κωδικοποιητή μαζί με έναν αισθητήρα θέσης Hall. Για τον εντοπισμό της θέσης του ρότορα, γίνεται καταμέτρηση του back EMF και επιπλέον να λήψη δεδομένων από έναν αισθητήρα θέσης Hall ή λέιζερ που είναι τοποθετημένος στον κινητήρα.

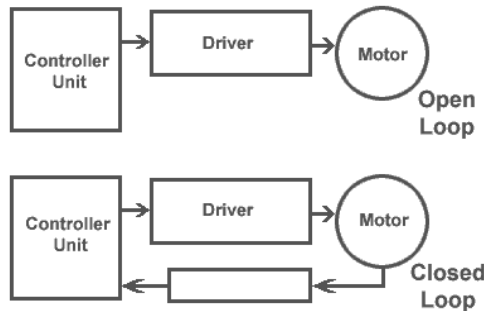
Η κύρια πρόκληση στον προγραμματισμό του σχεδιασμού ενός ελεγκτή κινητήρα BLDC έγκεινται στην ανάπτυξη υλικολογισμικού (firmware) του μικροελεγκτή (MCU). Περιλαμβάνει μεταγωγή, ανίχνευση της θέσης του ρότορα, παραγωγή σημάτων PWM και άλλες λειτουργίες. Ορισμένοι κατασκευαστές προσφέρουν ενσωματωμένα εργαλεία λογισμικού που μπορούν να βοηθήσουν στην εγγραφή προσαρμοσμένου υλικολογισμικού στο MCU του ελεγκτή του κινητήρα. Για παράδειγμα, η εταιρεία STMicroelectronics δημιούργησε την σειρά STM32 ecosystem για έλεγχο κινητήρων που περιέχει εργαλεία ανάπτυξης υλικού και λογισμικού, βιβλιοθήκες υλικολογισμικού και άλλα σύνολα εργαλείων που προορίζονται για το σχεδιασμό ελεγκτών κινητήρα BLDC.

3.9.3 Έλεγχος ανάδρασης κινητήρα

Υπάρχουν δύο τρόποι ελέγχου του κινητήρα, ανοιχτός και κλειστός βρόχος. Σε έναν ανοιχτό βρόχο, το καθήκον του συστήματος είναι να στείλει ηλεκτρικά σήματα στον επενεργητή για να εκτελέσει μια συγκεκριμένη ενέργεια. Παρόλο που αποστέλλονται τα ακριβή σήματα και οι εντολές, δεν υπάρχει ενσωματωμένος τρόπος στο σύστημα για να επιβεβαιωθεί εάν ο επενεργητής εκτελεί πραγματικά την εντολή που το δόθηκε.

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, και τα δύο συστήματα περιέχουν μια μονάδα ελεγκτή και ένα πρόγραμμα οδήγησης. Ένας κλειστός βρόχος έχει ένα πρόσθετο χειριστήριο ανάδρασης που παρέχει πληροφορίες για τη

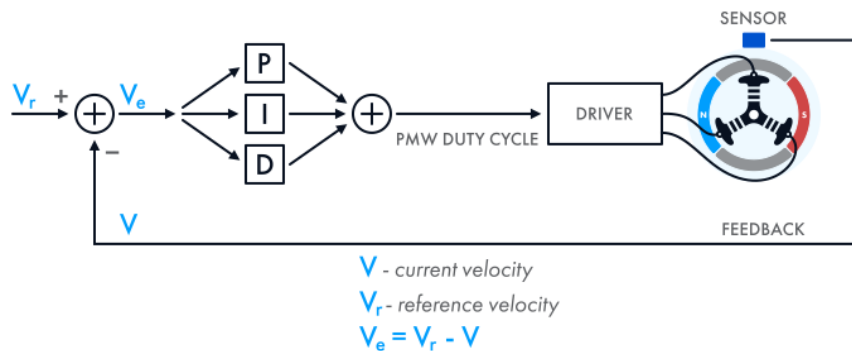
θέση του ρότορα, την ταχύτητα κ.λπ. Ο έλεγχος ανάδρασης είναι κυρίως σημαντικός στον κινητήρα συνεχούς ρεύματος καθώς δεν έχει ενσωματωμένο κύκλωμα ελέγχου. Ωστόσο, ο ίδιος έλεγχος ανάδρασης μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλους περιστροφικούς επενεργητές.



Εικόνα 25. Γραφική παράσταση ελέγχου ανάδρασης κινητήρα

Εάν το σύστημα περιλαμβάνει ηλεκτρονικά που παρέχουν συνεχώς ανατροφοδότηση για τη θέση και την ταχύτητα του επενεργητή, τότε το σύστημα ελέγχου είναι ένας κλειστός βρόχος. Η ανάδραση θα μπορούσε να είναι ο αριθμός των στροφών ανά λεπτό, η γωνία του άξονα κ.λπ. Ο λειτουργικός έλεγχος και ο έλεγχος ανάδρασης σε συνδυασμό μαζί είναι ένα πλήρες σύστημα ελέγχου κίνησης.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, το MCU ενός ελεγκτή κινητήρα κλειστού βρόχου χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο αναλογικής-ολοκληρωμένης παραγωγής (PID) . Είναι απαραίτητο για τη ρύθμιση της ταχύτητας, της ροπής και άλλων χαρακτηριστικών του κινητήρα. Για παράδειγμα, ένας αλγόριθμος PID μπορεί να επεξεργαστεί την τρέχουσα ταχύτητα, να συγκρίνει αυτήν την τιμή με το σημείο ρύθμισης και να καθορίσει τη συχνότητα των σημάτων εξόδου που πρέπει να εφαρμοστούν στον κινητήρα για να σταθεροποιήσει την ταχύτητά του.



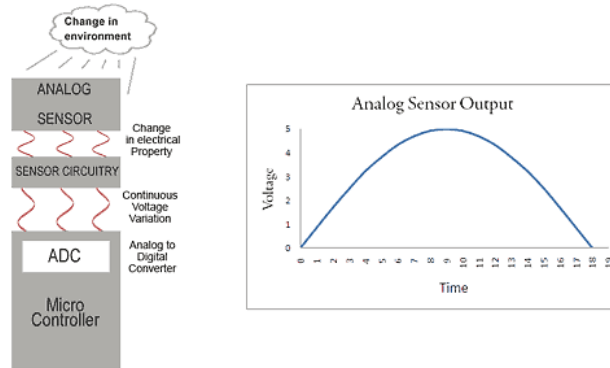
Εικόνα 26. Αλγόριθμος ελέγχου PID.

3.9 Αισθητήρες

Οι αισθητήρες παίζουν σημαντικό ρόλο σε κάθε ρομπότ, είτε αυτό είναι αυτόνομο, ημιαυτόνομο ή τηλεχειριζόμενο από άνθρωπο. Αυτοί οι αισθητήρες βοηθούν ένα ρομπότ να επικοινωνεί με το περιβάλλον ή να ελέγχει το δικό του εσωτερικό σύστημα. Δεδομένου ότι είναι δύσκολο να εφαρμοστούν βιολογικοί αισθητήρες, τα ρομπότ χρησιμοποιούν ηλεκτρομηχανικούς αισθητήρες που μετρούν ένα φυσικό μέγεθος και το μετατρέπουν σε σήματα που μπορούν να διαβαστούν, να παρακολουθηθούν και να αναλυθούν για περαιτέρω δράση.

3.9.1 Αναλογικοί Αισθητήρες

Οι αναλογικοί αισθητήρες εξάγουν μια αλλαγή στην ηλεκτρική ιδιότητα για να υποδηλώσουν μια αλλαγή στο περιβάλλον. Η αλλαγή μπορεί να είναι μια παραλλαγή σε τάση, ρεύμα, αντίσταση, φόρτιση και χωρητικότητα. Τα κυκλώματα αισθητήρων έχουν σχεδιαστεί για να παρακολουθούν αυτές τις αλλαγές και να παρέχουν διαφορά τάσης.



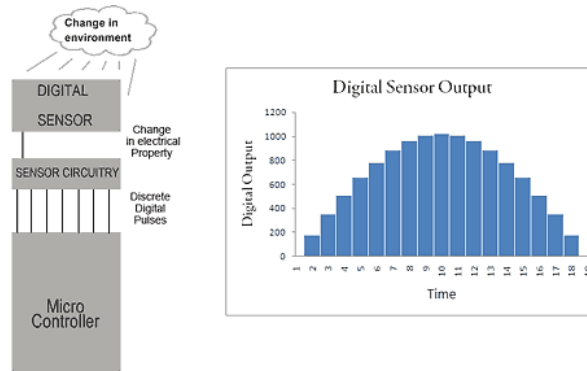
Εικόνα 27. Αναλογικοί αισθητήρες.

Αυτή η διαφορά τάσης, εάν απαιτείται, μπορεί να μετατραπεί σε ψηφιακή τιμή και να υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία. Όλοι οι σύγχρονοι μικροελεγκτές έχουν ενσωματωμένο κύκλωμα μετατροπέα Αναλογικού σε Ψηφιακό. Για παράδειγμα, η αντίσταση σε μια φωτοαντίσταση αλλάζει με την ποσότητα φωτός που πέφτει πάνω της. Το κύκλωμα της φωτοαντίστασης δημιουργεί μια διαφορά τάσης με βάση την αλλαγή στην αντίσταση και ένα αναλογικό σήμα τροφοδοτείται στον μικροελεγκτή. Αυτό το αναλογικό σήμα, εάν απαιτείται, μπορεί να μετατραπεί περαιτέρω σε ψηφιακή τιμή και να υποβληθεί σε επεξεργασία σύμφωνα με την απαίτηση. Δεδομένου ότι οι περισσότεροι μικροελεγκτές λειτουργούν εντός του εύρους 0V έως +5V, το κύκλωμα του αισθητήρα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να παράγει ένα συνεχές σήμα μεταξύ 0 Volt έως +5 Volt στην έξοδο.

3.9.2 Ψηφιακοί Αισθητήρες

Σε αντίθεση με τους αναλογικούς αισθητήρες, οι ψηφιακοί αισθητήρες παράγουν διακριτούς ψηφιακούς παλμούς για μια αλλαγή στο περιβάλλον. Ένας διακόπτης κουμπιού είναι ένα πολύ καλό παράδειγμα ψηφιακού αισθητήρα. Η έξοδος αυτού του αισθητήρα μπορεί να είναι "ON" ή "OFF", δηλαδή να είναι 1 ή 0.

Υπάρχουν άλλοι ψηφιακοί αισθητήρες που εξάγουν μια σειρά από ψηφιακούς παλμούς ή δυαδικές τιμές. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας μπορεί να εξάγει μια δυαδική τιμή 10bit 0000000000 έως 1111111111 (δεκαδικό ισοδύναμο από 0 έως 1023) για να υποδηλώσει μια αλλαγή. Αυτό σημαίνει ότι ένας αισθητήρας μπορεί να παράγει μία από τις 1024 τιμές για να προτείνει μια αλλαγή στο περιβάλλον του.



Εικόνα 28. Ψηφιακοί αισθητήρες.

Είναι σημαντικό να κατανοηθεί η διάκριση μεταξύ αναλογικών και ψηφιακών εξόδων για την επιλογή ενός αισθητήρα για ρομπότ. Τα ψηφιακά σήματα μπορεί να φαίνονται εύκολο να ληφθούν και να επεξεργαστούν, αλλά περιλαμβάνουν πολλούς υπολογισμούς. Ο έλεγχος του χρονοδιακόπτη σε έναν μικροελεγκτή είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Από την άλλη πλευρά, τα αναλογικά σήματα μπορούν να τροφοδοτηθούν απευθείας σε έναν μικροελεγκτή, να μετατραπούν σε ψηφιακή τιμή χρησιμοποιώντας τον ενσωματωμένο μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα (ADC) και οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως απαιτείται.

3.9.3 Τύποι αισθητήρων

Οι αισθητήρες εκτός από το σήμα εξόδου, ταξινομούνται και σύμφωνα με τις φυσικές παραμέτρους που καταγράφονται από αυτούς και διάφορα άλλα σημεία που θα αναφερθούν παρακάτω.

3.9.3.1 Αισθητήρες φωτός

Ένας αισθητήρας φωτός χρησιμοποιείται για την ανίχνευση φωτός και τη δημιουργία διαφοράς τάσης. Οι δύο κύριοι αισθητήρες φωτός που χρησιμοποιούνται γενικά στα ρομπότ είναι η φωτοαντίσταση και η φωτοβολταϊκή κυψέλη. Άλλα είδη αισθητήρων φωτός που χρησιμοποιούνται σπάνια είναι ο φωτοσωλήνας, το φωτοτρανζίστορ και η συσκευή συζευγμένου φορτίου (CCD).

Η φωτοαντίσταση είναι ένας τύπος αντίστασης της οποίας η αντίσταση ποικίλλει ανάλογα με την αλλαγή στην ένταση του φωτός. Περισσότερο φως οδηγεί σε λιγότερη αντίσταση και λιγότερο φως οδηγεί σε μεγαλύτερη αντίσταση. Αυτοί οι φθηνοί αισθητήρες μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν στα περισσότερα ρομπότ που εξαρτώνται από το φως.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο εάν σκοπεύετε να κατασκευάσετε ένα ηλιακό ρομπότ. Αν και το φωτοβολταϊκό στοιχείο θεωρείται πηγή ενέργειας, μια έξυπνη εφαρμογή σε συνδυασμό με τρανζίστορ και πυκνωτές μπορεί να το μετατρέψει σε αισθητήρα.

3.9.3.2 Αισθητήρας ήχου

Όπως υποδηλώνει το όνομα, αυτός ο αισθητήρας (γενικά ένα μικρόφωνο) ανιχνεύει τον ήχο και επιστρέφει μια τάση ανάλογη με τη στάθμη του ήχου. Ένα απλό ρομπότ μπορεί να σχεδιαστεί για πλοήγηση με βάση τον ήχο που λαμβάνει. Τα πολύπλοκα ρομπότ μπορούν να χρησιμοποιούν το ίδιο μικρόφωνο για αναγνώριση ομιλίας και φωνής. Η εφαρμογή αισθητήρων ήχου δεν είναι τόσο εύκολη όσο οι αισθητήρες φωτός επειδή οι αισθητήρες ήχου δημιουργούν μια πολύ μικρή διαφορά τάσης η οποία θα πρέπει να ενισχυθεί για να δημιουργήσει μετρήσιμη αλλαγή τάσης.

3.9.3.3 Αισθητήρες θερμοκρασίας

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας ανιχνεύουν μια αλλαγή σε μια φυσική παράμετρο όπως η αντίσταση ή η τάση εξόδου που αντιστοιχεί σε μια αλλαγή θερμοκρασίας.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ανίχνευσης θερμοκρασίας:

- Η ανίχνευση θερμοκρασίας επαφής απαιτεί ο αισθητήρας να βρίσκεται σε άμεση φυσική επαφή με το μέσο ή το αντικείμενο που ανιχνεύεται. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας στερεών, υγρών ή αερίων σε ένα εξαιρετικά μεγάλο εύρος θερμοκρασιών.
- Η μέτρηση χωρίς επαφή ερμηνεύει την ενέργεια ακτινοβολίας μιας πηγής θερμότητας με τη μορφή ενέργειας που εκπέμπεται στο υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση μη ανακλαστικών στερεών και υγρών, αλλά δεν είναι αποτελεσματική με αέρια λόγω της φυσικής τους διαφάνειας.

3.9.3.4 Αισθητήρας επαφής

Οι αισθητήρες επαφής απαιτούν φυσική επαφή με άλλα αντικείμενα για να ενεργοποιηθούν. Ο διακόπτης κουμπιού, ο διακόπτης ορίου και ο διακόπτης αφής προφυλακτήρα είναι παραδείγματα αισθητήρων επαφής. Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως για ρομπότ αποφυγής εμποδίων. Υπάρχουν επίσης χωρητικοί αισθητήρες επαφής που αντιδρούν μόνο στο ανθρώπινο άγγιγμα. Τα κινητά τηλέφωνα με οθόνη αφής χρησιμοποιούν χωρητικούς αισθητήρες αφής (δεν πρέπει να συγχέονται με παλαιότερα μοντέλα που βασίζονται σε γραφίδα). Οι αισθητήρες επαφής μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα, αλλά απαιτούν φυσική επαφή.

3.9.3.5 Αισθητήρας εγγύτητας

Αυτός ο τύπος αισθητήρα που μπορεί να ανιχνεύσει την παρουσία ενός κοντινού αντικειμένου, χωρίς φυσική επαφή. Η αρχή λειτουργίας του αισθητήρα εγγύτητας είναι βασισμένη σε έναν πομπό ο οποίος εκπέμπει μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ή δημιουργεί ένα ηλεκτροστατικό πεδίο και σε έναν δέκτη που λαμβάνει και αναλύει το σήμα επιστροφής.

Οι σημαντικότεροι τύποι αισθητήρων εγγύτητας που χρησιμοποιούνται στα ρομπότ αναφέρονται παρακάτω:

Πομποδέκτες υπέρυθρων (IR): Ένα IR LED μεταδίδει μια δέσμη φωτός IR και αν βρει εμπόδιο, το φως απλώς ανακλάται προς τα πίσω, το οποίο συλλαμβάνεται από έναν δέκτη υπέρυθρων. Ορισμένοι από αυτούς μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για μέτρηση απόστασης.

Αισθητήρας υπερήχων: Μετράει την απόσταση ενός αντικειμένου εκπέμποντας υπερηχητικά ηχητικά κύματα και μετατρέπει τον ανακλώμενο ήχο σε ηλεκτρικό σήμα. Ο αισθητήρας υπερήχων έχει δύο βασικά στοιχεία, τον πομπό (ο οποίος εκπέμπει τον ήχο χρησιμοποιώντας πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους) και τον δέκτη (ο οποίος συναντά τον ήχο αφού ταξιδέψει προς και από τον στόχο).

Φωτοαντίσταση: Η φωτοαντίσταση είναι ένας αισθητήρας φωτός. αλλά, μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί ως αισθητήρας εγγύτητας. Όταν ένα αντικείμενο έρχεται σε κοντινή απόσταση από τον αισθητήρα, αλλάζει η ποσότητα του φωτός που με τη σειρά του αλλάζει την αντίσταση της φωτοαντίστασης. Αυτή η αλλαγή μπορεί να εντοπιστεί και να υποβληθεί σε επεξεργασία.

Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη αισθητήρων εγγύτητας και μόνο λίγοι από αυτούς προτιμώνται γενικά για ρομπότ. Για παράδειγμα, είναι διαθέσιμοι αισθητήρες χωρητικότητας εγγύτητας που ανιχνεύουν αλλαγές στη χωρητικότητα γύρω από αυτόν. Ο επαγωγικός αισθητήρας εγγύτητας ανιχνεύει αντικείμενα και απόσταση μέσω της χρήσης επαγόμενου μαγνητικού πεδίου.

3.9.3.6 Αισθητήρας απόστασης

Οι περισσότεροι αισθητήρες εγγύτητας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρες απόστασης ή κοινώς γνωστοί ως αισθητήρες εύρους. Οι πομποδέκτες υπερύθρων και οι αισθητήρες υπερήχων είναι οι πλέον κατάλληλοι για μέτρηση απόστασης

Αισθητήρες υπερήχων: Ο αισθητήρας εκπέμπει έναν υπερηχητικό παλμό και καταγράφεται από έναν δέκτη. Δεδομένου ότι η ταχύτητα του ήχου είναι σχεδόν σταθερή στον αέρα, που είναι 344m/s, ο χρόνος μεταξύ αποστολής και λήψης υπολογίζεται για να δώσει την απόσταση μεταξύ του ρομπότ σας και του εμποδίου. Οι αισθητήρες απόστασης υπερήχων είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι για υποβρύχια ρομπότ.

Αισθητήρας υπερύθρων: Τα κυκλώματα υπερύθρων έχουν σχεδιαστεί με βάση την αρχή του τριγωνισμού για μέτρηση απόστασης. Ένας πομπός στέλνει έναν παλμό σημάτων IR που ανιχνεύεται από τον δέκτη εάν υπάρχει εμπόδιο και με βάση τη γωνία λήψης του σήματος υπολογίζεται η απόσταση.

Αισθητήρας λέιζερ: Η δέση φωτός λέιζερ μεταδίδεται και το ανακλώμενο φως συλλαμβάνεται και αναλύεται. Η απόσταση μετριέται με τον υπολογισμό της ταχύτητας του φωτός και του χρόνου που χρειάζεται για να ανακλαστεί το φως πίσω στον δέκτη. Αυτοί οι αισθητήρες είναι πολύ χρήσιμοι για μεγαλύτερες αποστάσεις.

Κωδικοποιητές: Αυτοί οι αισθητήρες (στην πραγματικότητα δεν είναι αισθητήρες, αλλά ένας συνδυασμός διαφορετικών εξαρτημάτων) μετατρέπουν τη γωνιακή θέση ενός άξονα ή ενός τροχού σε αναλογικό ή ψηφιακό σήμα. Ο πιο δημοφιλής είναι ο οπτικός κωδικοποιητής που περιλαμβάνει έναν περιστροφικό δίσκο, μια πηγή φωτός και έναν ανιχνευτή φωτός (γενικά έναν πομπό υπερύθρων και έναν δέκτη υπερύθρων). Ο περιστροφικός δίσκος έχει διαφανές και αδιαφανές σχέδιο (ή απλώς ασπρόμαυρο σχέδιο) ζωγραφισμένο ή τυπωμένο πάνω του. Όταν ο δίσκος περιστρέφεται μαζί με τον τροχό, το εκπεμπόμενο φως διακόπτεται και παράγει μια έξοδο σήματος. Ο αριθμός των φορών που συμβαίνει η διακοπή και η διάμετρος του τροχού μπορούν μαζί να δώσουν την απόσταση που διανύει το ρομπότ.

Στερεοσκοπική κάμερα: Δύο κάμερες τοποθετημένες η μία δίπλα στην άλλη μπορούν να παρέχουν πληροφορίες βάθους χρησιμοποιώντας τη στερεοσκοπική της όραση. Η επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνονται από μια κάμερα είναι δύσκολη για ένα ρομπότ με ελάχιστη επεξεργαστική ισχύ και μνήμη.

Υπάρχουν άλλοι αισθητήρες τεντώματος και κάμψης που είναι επίσης ικανοί να μετρούν απόσταση. Όμως, η εμπειρία τους είναι τόσο περιορισμένη που είναι σχεδόν άχρηστα για κινητά ρομπότ.

3.9.3.7 Αισθητήρες πίεσης

Οι αισθητήρες πίεσης μπορούν να ταξινομηθούν ως προς το εύρος πίεσης που μετρούν, το εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας και κυρίως τον τύπο πίεσης που μετρούν.

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες αναλογικών αισθητήρων πίεσης.

Τύποι συλλέκτη δύναμης: Αυτοί οι τύποι ηλεκτρονικών αισθητήρων πίεσης χρησιμοποιούν γενικά έναν συλλέκτη δύναμης (όπως διάφραγμα, έμβολο, σωλήνα bourdon ή φυσούνα) για τη μέτρηση της τάσης (ή της παραμόρφωσης) λόγω της ασκούμενης δύναμης σε μια περιοχή (πίεση).

Άλλοι τύποι: Αυτοί οι τύποι ηλεκτρονικών αισθητήρων πίεσης χρησιμοποιούν άλλες ιδιότητες (όπως η πυκνότητα) για να συμπεράνουν την πίεση ενός αερίου ή υγρού.

3.9.3.8 Αισθητήρες κλίσης

Οι αισθητήρες κλίσης μετρούν την κλίση ενός αντικειμένου. Σε έναν τυπικό αναλογικό αισθητήρα κλίσης, μια μικρή ποσότητα υδραργύρου αιωρείται σε μια γυάλινη λάμπα. Όταν ο υδράργυρος ρέει προς το ένα άκρο, κλείνει έναν διακόπτη που υποδηλώνει κλίση.

3.9.3.9 Πλοήγηση / Αισθητήρες θέσης

Οι αισθητήρες θέσης χρησιμοποιούνται για την προσέγγιση της θέσης ενός ρομπότ, οι περισσότεροι για τον εντοπισμό θέσης σε εσωτερικούς χώρους και ελάχιστοι για πλοήγηση σε εξωτερικό χώρο.

GPS (Global Positioning System): Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος αισθητήρας εντοπισμού θέσης είναι ένας GPS. Οι δορυφόροι που περιφέρονται γύρω από τη γη μας μεταδίδουν σήματα και ένας δέκτης σε ένα ρομπότ αποκτά αυτά τα σήματα και τα επεξεργάζεται. Οι επεξεργασμένες πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της κατά προσέγγιση θέσης και ταχύτητας ενός ρομπότ. Αυτά τα συστήματα GPS είναι εξαιρετικά χρήσιμα για ρομπότ εξωτερικού χώρου, αλλά αποτυγχάνουν σε εσωτερικούς χώρους.

Ψηφιακή μαγνητική πυξίδα: Παρόμοια με μια φορητή μαγνητική πυξίδα, η ψηφιακή μαγνητική πυξίδα παρέχει κατευθυντικές μετρήσεις χρησιμοποιώντας το μαγνητικό πεδίο της γης που καθοδηγεί το ρομπότ στη σωστή κατεύθυνση για να φτάσει στον προορισμό του. Αυτοί οι αισθητήρες είναι φθηνοί σε σύγκριση με τις μονάδες GPS, αλλά μια πυξίδα λειτουργεί καλύτερα μαζί με μια μονάδα GPS, εάν απαιτείται τόσο ανάδραση θέσης όσο και πλοήγηση. Η Philips KMZ51 είναι αρκετά ευαίσθητη ώστε να ανιχνεύει το μαγνητικό πεδίο της γης.

Εντοπισμός θέσης (Localization): Αναφέρεται στην εργασία του αυτόματου προσδιορισμού της θέσης ενός ρομπότ σε πολύπλοκο περιβάλλον. Η τοπική προσαρμογή βασίζεται σε εξωτερικά στοιχεία που ονομάζονται ορόσημα, τα οποία μπορεί να είναι είτε τεχνητά ορόσημα είτε φυσικά ορόσημα. Στην πρώτη προσέγγιση, τεχνητά ορόσημα ή φάροι τοποθετούνται γύρω από το ρομπότ και ο αισθητήρας ενός ρομπότ συλλαμβάνει αυτά τα σήματα για να προσδιορίσει την ακριβή θέση του. Φυσικά ορόσημα μπορεί να είναι πόρτες, παράθυρα, τοίχοι κ.λπ. που γίνονται αισθητά από έναν αισθητήρα/σύστημα όρασης ρομπότ (Κάμερα). Ο εντοπισμός μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας beacons που παράγουν Wi-Fi, Bluetooth, υπέρηχους, υπέρυθρες, μεταδόσεις ραδιοφώνου, ορατό φως ή οποιοδήποτε παρόμοιο σήμα.

3.9.3.10 Αισθητήρας Επιτάχυνσης

Το επιταχυνσιόμετρο είναι μια συσκευή που μετρά την επιτάχυνση και την κλίση. Υπάρχουν δύο είδη δυνάμεων που μπορούν να επηρεάσουν ένα επιταχυνσιόμετρο, η στατική και η δυναμική δύναμη.

Στατική δύναμη: Η στατική δύναμη είναι η δύναμη τριβής μεταξύ δύο αντικειμένων. Για παράδειγμα, η βαρυτική δύναμη της γης είναι στατική που έλκει ένα αντικείμενο προς το μέρος της. Η μέτρηση αυτής της βαρυτικής δύναμης μπορεί να υπολογίσει την κλίση του ρομπότ. Αυτή η μέτρηση είναι εξαιρετικά χρήσιμη σε ένα ρομπότ εξισορρόπησης ή την οδήγηση σε κεκλιμένα επίπεδα.

Δυναμική δύναμη: Δυναμική δύναμη είναι η ποσότητα της επιτάχυνσης που απαιτείται για να μετακινηθεί ένα αντικείμενο. Για την μέτρηση της δυναμικής δύναμης χρησιμοποιείται το επιταχυνσιόμετρο το οποίο καταγράφει την ταχύτητα με την οποία κινείται το ρομπότ. Ο ίδιος αισθητήρας έχει την δυνατότητα να καταγράφει και την δόνηση ενός ρομπότ.

Το επιταχυνσιόμετρο διατίθεται σε διάφορες εκδοχές. Μερικά από τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την επιλογή του αναφέρονται παρακάτω:

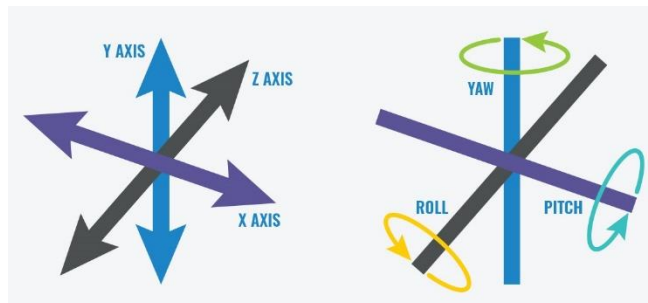
- Τύπος εξόδου: Αναλογική ή Ψηφιακή
- Αριθμός αξόνων: 1,2 ή 3
- Επιταχυνσιόμετρο Swing: $\pm 1,5g$, $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$
- Ευαισθησία: Υψηλότερη ή Χαμηλότερη (όσο υψηλότερη τόσο καλύτερα)
- εύρος ζώνης

3.9.3.11 Γυροσκόπιο

Ένα γυροσκόπιο ή απλά Gyro είναι μια συσκευή που μετρά και βοηθά στη διατήρηση του προσανατολισμού χρησιμοποιώντας την αρχή της γωνιακής ορμής. Με άλλα λόγια, ένα Gyro χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ρυθμού περιστροφής γύρω από έναν συγκεκριμένο άξονα. Το γυροσκόπιο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν απαιτείται το ρομπότ να μην εξαρτάται από τη βαρύτητα της γης για τη διατήρηση του προσανατολισμού. (Σε αντίθεση με το επιταχυνσιόμετρο).

3.9.3.12 IMU

Οι Μονάδες Αδρανειακής Μέτρησης (Inertial Measurement Unit) συνδυάζουν ιδιότητες δύο ή περισσότερων αισθητήρων όπως επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο, μαγνητόμετρο κ.λπ., για να μετρήσουν τον προσανατολισμό, την ταχύτητα και τις δυνάμεις βαρύτητας. Με απλά λόγια, τα IMU είναι ικανά να παρέχουν ανάδραση ανιχνεύοντας αλλαγές στον προσανατολισμό των αντικειμένων (βήμα, κύλιση και εκτροπή), την ταχύτητα και τις δυνάμεις βαρύτητας. Λίγοι IMU προχωρούν ένα βήμα παραπέρα και συνδυάζουν μια συσκευή GPS που παρέχει ανάδραση θέσης.



Εικόνα 29. 6 βαθμοί ελευθερίας.

3.9.3.13 Αισθητήρες τάσης

Οι αισθητήρες τάσης συνήθως μετατρέπουν τις χαμηλότερες τάσεις σε υψηλότερες τάσεις ή το αντίστροφο. Ένα παράδειγμα είναι ένας γενικός λειτουργικός Ενισχυτής (Op-Amp) που δέχεται χαμηλή τάση, την ενισχύει και παράγει υψηλότερη τάση εξόδου. Λίγοι αισθητήρες τάσης χρησιμοποιούνται για την εύρεση της διαφοράς δυναμικού μεταξύ δύο άκρων (Συγκριτής τάσης). Ακόμη και ένα απλό LED μπορεί να λειτουργήσει ως αισθητήρας τάσης που μπορεί να ανιχνεύσει διαφορά τάσης και να ανάψει.

3.9.3.14 Αισθητήρες ρεύματος

Οι αισθητήρες ρεύματος είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα που παρακολουθούν τη ροή ρεύματος σε ένα κύκλωμα και εξάγουν είτε μια αναλογική τάση είτε ένα ρεύμα. Οι περισσότεροι αισθητήρες ρεύματος εξάγουν μια αναλογική τάση μεταξύ 0V έως 5V, η οποία μπορεί να υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία χρησιμοποιώντας έναν μικροελεγκτή.

3.9.3.15 Άλλοι αισθητήρες για ρομπότ

Υπάρχουν εκατοντάδες αισθητήρες που κατασκευάζονται σήμερα για να ανιχνεύουν σχεδόν οτιδήποτε, και είναι σχεδόν αδύνατο να απαριθμηθούν σε μία παράγραφο όλοι οι διαθέσιμοι αισθητήρες. Εκτός από αυτούς που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν πολλοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένες εφαρμογές. Για παράδειγμα:

- Οι αισθητήρες υγρασίας μετρούν την υγρασία,
- Οι αισθητήρες αερίων έχουν σχεδιαστεί για να ανιχνεύουν συγκεκριμένα αέρια (χρήσιμοι για ρομπότ που ανιχνεύουν διαρροές αερίου).
- Τα ποτενσιόμετρα είναι τόσο ευέλικτα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές.
- Οι αισθητήρες μαγνητικού πεδίου ανιχνεύουν την ένταση του μαγνητικού πεδίου γύρω από αυτό.

3.9.4 Συμπέρασμα

Ένα απλό ρομπότ αποφυγής εμποδίων μπορεί να κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας μερικές φωτοαντιστάσεις ή έναν αισθητήρα υπερύθρων. Όσο πιο πολύπλοκο γίνεται ένα ρομπότ, τόσο περισσότερος αριθμός αισθητήρων χρησιμοποιείται. Μια μεμονωμένη εργασία μπορεί να απαιτεί συνδυασμό διαφορετικών αισθητήρων ή διαφορετικές εργασίες μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας έναν μόνο αισθητήρα. Μερικές φορές, μια εργασία μπορεί να εκτελεστεί από οποιονδήποτε από τους πολλούς διαθέσιμους αισθητήρες. Η Επιλογή του κατάλληλου αισθητήρα είναι συνάρτηση της διαθεσιμότητας, του κόστους και της ευκολία χρήσης.

3.10 Συσσωρευτές – μπαταρίες

Η μπαταρία είναι μια συσκευή που μετατρέπει τη χημική σε ηλεκτρική ενέργεια. Καθώς τα περισσότερα από τα αυτόνομα οχήματα χρησιμοποιούν μπαταρίες για την αυτονομία τους, σε αυτή την παράγραφο θα γίνει αναφορά στο τι είναι η μπαταρία και τους διαφορετικούς τύπους μπαταριών που διατίθενται. Στην συνέχεια θα γίνει επιλογή της καταλληλότερης μπαταρίας για το ρομπότ που μελετάται.

Με απλά λόγια, οι μπαταρίες είναι δοχεία χημικών. Η ηλεκτροχημική αντίδραση σε αυτά τα χημικά παράγει ηλεκτρόνια και η ροή αυτών των ηλεκτρονίων από το ένα τερματικό στο άλλο οδηγεί σε ροή ηλεκτρισμού. Η αντίδραση της απώλειας ηλεκτρονίων είναι γνωστή ως οξείδωση και η απορρόφηση ηλεκτρονίων είναι γνωστή ως αναγωγή.

Οι τυπικές μπαταρίες έχουν δύο ακροδέκτες. Το τερματικό που φέρει την ένδειξη (+) είναι γενικά γνωστό ως θετικό ή κάθοδος και το τερματικό με την ένδειξη (-) είναι γνωστό ως αρνητικό ή άνοδος. Αυτά τα δύο μέρη μιας μπαταρίας αποτελούν τα ηλεκτρόδια και χωρίζονται φυσικά από έναν διαχωριστή που ονομάζεται ηλεκτρολύτης.

Όταν ένα κύκλωμα συνδέει αυτούς τους δύο ακροδέκτες, συμβαίνει η αντίδραση οξείδωσης στο αρνητικό τερματικό και απελευθερώνει ηλεκτρόνια. Στο θετικό τερματικό συμβαίνει αντίδραση μείωσης η οποία απορροφά ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται από το αρνητικό τερματικό. Αυτή η ροή ηλεκτρονίων από το αρνητικό στο θετικό τερματικό καταλήγει σε ηλεκτρισμό (DC).

Η όλη διαδικασία ρυθμίζεται σε μια θήκη και είναι γνωστή ως στοιχείο (cell). Εάν δύο ή περισσότερα στοιχεία είναι συνδεδεμένα ηλεκτρικά, μόνο τότε είναι γνωστά ως μπαταρία. Αλλά γενικά αποκαλούμε ένα στοιχείο ως μπαταρία και θα συνεχίσουμε να χρησιμοποιούμε τον όρο αυτό για να αποφύγουμε περαιτέρω σύγχυση. Για παράδειγμα, ένα στοιχείο AAA 1,5V είναι ένα μεμονωμένο στοιχείο, αλλά γενικά αναφέρεται ως μπαταρία.

3.10.1 Παράμετροι απόδοσης μπαταρίας

Κάθε μπαταρία έχει σχεδιαστεί για να εκπληρώνει μια συγκεκριμένη εργασία και καμία μπαταρία δεν μπορεί να καλύψει όλες τις απαιτήσεις. Οι μπαταρίες είναι σχεδιασμένες να είναι είτε υψηλής ισχύος, είτε υψηλής ενέργειας και σπάνια κάποιες μπαταρίες για υψηλή αντοχή. Παρακάτω παρατίθενται οι βασικές ορολογίες που είναι αναγκαίες για την σωστή επιλογή της μπαταρίας ανάλογα με τον σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσει.

Τάση ακροδεκτών: Η τάση μεταξύ των ακροδεκτών της μπαταρίας ονομάζεται τάση ακροδεκτών, μετρούμενη σε Volt. Γενικά ένα στοιχείο έχει τάση που κυμαίνεται από 1 έως 2 βολτ. Υψηλότερες τάσεις μπορούν να ληφθούν συνδέοντας πολλές μπαταρίες (στην πραγματικότητα στοιχεία) σε σειρά.

Τάση ανοιχτού κυκλώματος: Όταν η μπαταρία δεν φορτίζει ούτε αποφορτίζεται, τότε η τάση ακροδεκτών αναφέρεται ως τάση ανοιχτού κυκλώματος.

Καμπύλη τάσης: Η καμπύλη τάσης μιας μπαταρίας παρέχει μια γραφική αναπαράσταση της προοδευτικής πτώσης τάσης καθώς εκφορτίζεται.

Καμπύλη εκφόρτισης: Οι περισσότερες μπαταρίες πέφτουν σε τάση κατά τη χρήση. Λίγες μπαταρίες διατηρούν την αρχική τους τάση μέχρι να πεθάνουν. Αυτή η εκφόρτιση στην τάση αναπαρίσταται γραφικά σε σχέση με το χρόνο. Όσο μικρότερη είναι η καμπύλη, τόσο καλύτερη είναι η μπαταρία.

Χωρητικότητα αποθήκευσης: Πρόκειται για την ποσότητα ρεύματος που μπορεί να παρέχει μια μπαταρία για μια μονάδα χρόνου μετρούμενη σε Ampere-h (για τις μπαταρίες είναι γενικά milliamp/h). Για παράδειγμα, εάν μια μπαταρία έχει χωρητικότητα 2000mAh, τότε η μπαταρία μπορεί να παρέχει ρεύμα 2 αμπέρ ή 2000 χιλιοστά αμπέρ για μία ώρα. Εάν το ρομπότ καταναλώνει μόνο 1000mA ρεύμα, τότε η μπαταρία σας λειτουργεί για 2 ώρες. Υψηλότερο ρεύμα εξόδου μπορεί να επιτευχθεί συνδέοντας μπαταρίες (στην πραγματικότητα στοιχεία) παράλληλα.

C-rate: Ο ρυθμός C είναι ο ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης μιας μπαταρίας, εκφρασμένος ως προς την χωρητικότητα αποθήκευσης που είναι γενικά mAh ή Ah. 1C θα σήμαινε εκφόρτιση όλης της αποθηκευμένης ενέργειας σε 1 ώρα και 0,5 C θα σήμαινε εκφόρτιση όλης της ενέργειας σε 2 ώρες. Για παράδειγμα, μια μπαταρία ονομαστικής χωρητικότητας 1,5mAh παρέχει 1500milliamps ρεύματος για μία ώρα εάν αποφορτιστεί με ρυθμό 1C. Εάν η ίδια μπαταρία έχει ονομαστική θερμοκρασία 0,5C, τότε αποφορτίζεται στα 750mA για 2 ώρες. Γενικά οι περισσότερες μπαταρίες βαθμολογούνται στον 1C.

Ενεργειακή πυκνότητα: Η ενεργειακή πυκνότητα είναι η ποσότητα ενέργειας που αποθηκεύεται στην μπαταρία ανά μονάδα όγκου.

Μαζική ενέργεια: είναι ενέργεια ανά μονάδα μάζας με μονάδα μέτρησης το Wh/kg. Μερικές φορές ονομάζεται επίσης βαρυμετρική ενεργειακή πυκνότητα, η οποία δεν πρέπει να συγχέεται με την ενεργειακή πυκνότητα. Χρησιμοποιείται για να ποσοτικοποιήσει την αποθηκευμένη θερμότητα και άλλες θερμοδυναμικές ιδιότητες ουσιών. (Heselton, 2004)

Ισχύς : Αυτή είναι η ποσότητα ισχύος σε μια μπαταρία ανά μονάδα όγκου μετρημένη σε W/m³.

Αριθμός κύκλων: Αριθμός φορών που μπορεί να επαναφορτιστεί και να αποφορτιστεί μια μπαταρία (ισχύει για επαναφορτιζόμενες μπαταρίες) προτού η απόδοση πέσει κάτω από το αναμενόμενο επίπεδο.

Διάρκεια αυτοσυντήρησης: Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μια μπαταρία μπορεί να παραμείνει σε φόρμα στο αποθηκευμένη χωρίς να χρησιμοποιηθεί.

Διάρκεια ζωής: Το χρονικό διάστημα πριν υποβαθμιστεί η απόδοση της μπαταρίας. είτε μεταχειρισμένο είτε αχρησιμοποίητο.

Θερμοκρασία: Η απόδοση των περισσότερων μπαταριών υποβαθμίζεται με την αλλαγή της θερμοκρασίας. Είναι πάντα καλό να επιλέγετε μια μπαταρία που δεν υποβαθμίζει την απόδοση με μια μικρή αλλαγή θερμοκρασίας.

Χημεία μπαταριών: Διαφορετικοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν διαφορετική χημεία για την κατασκευή μπαταριών. Ορισμένα από αυτά ενδέχεται να χρησιμοποιούν τοξικά συστατικά και μερικά μπορεί να εκπέμπουν επικίνδυνα αέρια κατά τη φόρτιση ή την εκφόρτιση. Η καλύτερη από όλες θα ήταν αυτή που είναι φιλική προς το περιβάλλον.

Κόστος & Μέγεθος: Το κόστος μιας μπαταρίας είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους όταν εξετάζεται ο σχεδιασμός ενός αυτόνομου ρομπότ. Σε ένα αυτόνομο όχημα η μικρή μπαταρία επιφέρει και μικρή αυτονομία όπως επίσης η δυσανάλογα μεγάλη θα επιβαρύνει το κόστος και λόγω βάρους θα επιφέρει το ίδιο αποτέλεσμα μικρής αυτονομίας.

Βάθος εκφόρτισης (DOD): Αυτό είναι το μέτρο του πόσο βαθιά αποφορτίζεται μια μπαταρία. Για παράδειγμα, 40% DOD σημαίνει ότι έχουμε χρησιμοποιήσει το 40% της μπαταρίας και το 60% απομένει εάν η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι 100%. Σημαντική παρατήρηση είναι ότι οι περισσότερες μπαταρίες δεν είναι σχεδιασμένες για 100% αποφόρτιση.

Εσωτερική αντίσταση: Όλες οι μπαταρίες παρουσιάζουν εσωτερική αντίσταση που επηρεάζει την κατάσταση φόρτισής τους. Καθώς αυξάνεται η εσωτερική αντίσταση, η μπαταρία παράγει περισσότερη θερμότητα μειώνοντας τη θερμική σταθερότητα και επηρεάζοντας την απόδοση της μπαταρίας.

Εφέ μνήμης μπαταρίας: Γνωστό και ως εφέ τεμπέλης μπαταρίας απαντάται γενικά σε λίγους τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών (ειδικά μπαταρίες νικελίου καδμίου). Εάν οι μπαταρίες φορτίζονται όταν δεν είναι πλήρως αποφορτισμένες, θυμούνται κατά κάποιον τρόπο το προηγούμενο σημείο εκφόρτισης και χρειάζονται φόρτιση κάθε φορά που φτάνει στο συγκεκριμένο σημείο. Για παράδειγμα, εάν μια μπαταρία αποφορτιστεί στο 50% και την επαναφορτίσετε, την επόμενη φορά δεν θα λειτουργούσε κάτω από το όριο του 50%, ακόμα κι αν θέλετε να αποφορτιστεί χαμηλότερα.

Συνοψίζοντας, δεν υπάρχει ιδανική μπαταρία που να λειτουργεί σε όλες τις συνθήκες. Η επιλογή της μπαταρίας γίνεται με βάση τις παραπάνω παραμέτρους ξεχωριστά για κάθε περίπτωση.

Οι μπαταρίες ταξινομούνται ευρέως σε πρωτεύουσες και δευτερεύουσες μπαταρίες.

Πρωτογενείς μπαταρίες: Οι πρωτογενείς μπαταρίες είναι μπαταρίες μιας χρήσης όπου η ηλεκτροχημική αντίδραση δεν μπορεί να αντιστραφεί. Αυτές οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται όταν η εφαρμογή απαιτεί μπαταρία με μεγάλη διάρκεια ζωής (χαμηλότερη αυτοεκφόρτιση).

Δευτερογενείς μπαταρίες: Πρόκειται για επαναφορτιζόμενες μπαταρίες όπου η ηλεκτροχημική αντίδραση μπορεί να αντιστραφεί. Αν και το αρχικό κόστος είναι υψηλότερο, έχουν χαμηλότερη αρχική τάση και χωρητικότητα και δεν είναι άμεσα διαθέσιμες σε σύγκριση με τις κύριες μπαταρίες. Ωστόσο είναι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν με σωστή φόρτιση ώστε να διατηρήσουν τους προβλεπόμενους κύκλους ζωής τους.

3.10.2 Τύποι μπαταριών ιόντων λιθίου

Με την πρόοδο της τεχνολογίας των μπαταριών, είναι αδύνατο να αναφερθούν λεπτομερώς όλες τις διαθέσιμες μπαταρίες. Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούν οι συνηθέστεροι τύποι δευτερογενών μπαταριών λιθίου-μετάλλου που διατίθενται σήμερα.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion) είναι ελαφριές με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, μηδενικό αποτέλεσμα μνήμης (εκτός από τις κυψέλες LFP), περιβαλλοντικά ασφαλή και μεγάλη διάρκεια ζωής. Ωστόσο περιέχουν εύφλεκτους ηλεκτρολύτες και εάν καταστραφούν ή φορτιστούν λανθασμένα μπορεί ακόμα και να εκραγούν. Τα στοιχεία μπορούν να κατασκευαστούν για να δώσουν προτεραιότητα είτε στην ενέργεια είτε στην πυκνότητα ισχύος. Σε ένα τυπικό στοιχείο Li-ion, το αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι ένα οξειδίο μετάλλου και το θετικό ηλεκτρόδιο είναι κατασκευασμένο από άνθρακα. Ο ηλεκτρολύτης είναι ένα άλας λιθίου σε έναν οργανικό διαλύτη. Τα ιόντα λιθίου μετακινούνται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο στο θετικό ηλεκτρόδιο κατά την εκφόρτιση και αντίστροφα κατά την επαναφόρτιση.

Τα χαρακτηριστικά χημείας, απόδοσης, κόστους και ασφάλειας διαφέρουν μεταξύ των τύπων μπαταριών ιόντων λιθίου. Παρακάτω οι πιο γνωστοί τύποι μπαταριών ιόντων λιθίου.

- Lithium-ion lithium cobalt oxide battery (ICR)
- Lithium-silicon battery
- Lithium-ion manganese-oxide battery (LMO)
- **Lithium-ion polymer battery (LiPo)**
- **Lithium-iron-phosphate battery (LFP)**
- Lithium-nickel-manganese-cobalt oxides (NMC)
- Lithium-nickel-cobalt-aluminium oxides (NCA)
- Lithium-sulfur battery
- **Lithium-titanate battery (LTO)**
- Thin-film lithium-ion battery
- Lithium-ceramic battery

Από τον μεγάλο αριθμό στοιχείων μπαταριών, επιλέχθηκαν τρία με χαρακτηριστικά παρόμοια με τα επιθυμητά

LiFePO₄: Η μπαταρία φωσφορικού σιδήρου λιθίου (σιδηροφωσφορικού λιθίου ή LiFePO₄ ή LFP) είναι ένας τύπος μπαταρίας ιόντων λιθίου.

Χημικά στοιχεία:

- Ηλεκτρόδιο ανόδου (-): γραφικός άνθρακας με μεταλλικό υπόστρωμα
- Ηλεκτρόδιο καθόδου (+): φωσφορικό σίδηρο λιθίου
- Ηλεκτρολύτης: άλας λιθίου LiPF₆ σε οργανικό διάλυμα

Πλεονεκτήματα:

- Λιγότερη υποβάθμιση και μεγάλη διάρκεια ζωής
- Φιλικές προς το περιβάλλον
- Υψηλός ρυθμός εκφόρτισης σε σύντομο χρονικό διάστημα με σταθερή τάση εκφόρτισης
- Αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία

Μειονεκτήματα:

- χαμηλή ονομαστική τάση
- μικρή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Τα φαινόμενα μεταφοράς και γήρανσης
- Ένα από τα μειονεκτήματα είναι η βαθιά εκφόρτιση και η χαμηλή πυκνότητα. Αυτό τις καθιστά ακατάλληλες για μικρές συσκευές όπως smartphone.

Χρήση: Θαλάσσια ηλεκτρικά συστήματα και πρόωση, φακούς, ραδιοελεγχόμενα (RC) μοντέλα, φορητό μηχανοκίνητο εξοπλισμό, ραδιοερασιτεχνικό εξοπλισμό, βιομηχανικά συστήματα αισθητήρων και φωτισμό έκτακτης ανάγκης.

LTO: Η μπαταρία λιθίου-τιτανίου (οξειδίο λιθίου τιτανίου, $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, σπινέλιο, LTO) είναι ένας τύπος μπαταρίας ιόντων λιθίου.

Χημικά στοιχεία:

- Ηλεκτρόδιο ανόδου (-): ναοκρύσταλλος λιθίου- τιτανίου
- Ηλεκτρόδιο καθόδου (+): LiCoO_2 (LCO), LiNiO_2 (LNO), LiMn_2O_4 (LMO), LiFePO_4 (LFP)
- Ηλεκτρολύτης: άλας λιθίου LiPF_6 σε οργανικό διάλυμα

Πλεονεκτήματα:

- Η θερμική σταθερότητα του LTO σε υψηλή θερμοκρασία
- Γρήγορη φόρτιση

Μειονεκτήματα:

- Η χαμηλή εγγενής τάση 2,3V η οποία οδηγεί σε χαμηλότερη ειδική ενέργεια

Χρήση: Λόγω του υψηλού επιπέδου ασφάλειας και των δυνατοτήτων επαναφόρτισης της μπαταρίας, χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά οχήματα και σε κινητές ιατρικές συσκευές.

Li-Po: Η μπαταρία ιόντων λιθίου-πολυμερούς (Li-Po ή Li-Poly) είναι ένας τύπος μπαταρίας ιόντων λιθίου.

Χημικά στοιχεία:

- Ηλεκτρόδιο ανόδου (-): γραφιτικός άνθρακας με μεταλλικό υπόστρωμα
- Ηλεκτρόδιο καθόδου (+): LiCoO_2 (LCO), LiNiO_2 (LNO), LiMn_2O_4 (LMO), LiFePO_4 (LFP)
- Ηλεκτρολύτης: άλας λιθίου LiPF_6 σε συμπαγές σύνθετο πολυμερές

Πλεονεκτήματα:

- Μεγάλη ποικιλία σχημάτων.
- Αυξημένη ικανότητα εκφόρτισης

Μειονεκτήματα:

- Μικρός κύκλος ζωής
- Εκρήγνυνται κατά την διάτρηση, την υπερθέρμανση και την υπερφόρτιση.

Χρήση: Μη επανδρωμένα αεροσκάφη (drones), ηλεκτρικά ραδιοελεγχόμενα (RC) μοντέλα, κινητά τηλέφωνα και γενικά προσωπικά ηλεκτρονικά είδη.

3.10.3 Συγκριτικός πίνακας μπαταριών.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των στοιχείων λιθίου

	LiFePO ₄	LTO	Li-Po
Μαζική ενέργεια Wh/Kg	90-160	60-110	100-265
Ενεργειακή πυκνότητα Wh/L	325	177	250-670
Κύκλοι ζωής	2.000-12.000	6.000-10.000	150-250
Ονομαστική τάση στοιχείου V	3,2	2,3	3.7
Φαινόμενο μνήμης	✓	✗	✗

3.11 Λειτουργικό σύστημα

Το Linux έχει γίνει το πιο δημοφιλές λειτουργικό σύστημα για ενσωματωμένα συστήματα και συχνά θεωρείται από τους προγραμματιστές λογισμικού ως το αγαπημένο περιβάλλον στον βιομηχανικό αυτοματισμό και τη ρομποτική, σε σημείο να αντικαθιστά σχεδόν πλήρως τα Windows CE.

Το Ubuntu είναι ένα λειτουργικό σύστημα ανοιχτού κώδικα που βασίζεται στο Linux. Το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξης γίνεται χρησιμοποιώντας το τερματικό. Το Ubuntu ήταν η κύρια πλατφόρμα για το ROS από την αρχή, χάρη στην ευελιξία και τη φιλικότητα προς τον χρήστη.

Το ROS (Robot Operating System) παρέχει βιβλιοθήκες και εργαλεία για να βοηθήσει τους προγραμματιστές λογισμικού να δημιουργήσουν εφαρμογές ρομπότ. Παρέχει αφαίρεση υλικού, προγράμματα οδήγησης συσκευών, βιβλιοθήκες, οπτικοποιητές, μετάδοση μηνυμάτων, διαχείριση πακέτων και πολλά άλλα. Το ROS διαθέτει άδεια χρήσης ανοιχτού κώδικα, άδεια BSD.

Το ROS δεν είναι ένα πραγματικό λειτουργικό σύστημα, αλλά ένα πλαίσιο και ένα σύνολο εργαλείων που παρέχουν τη λειτουργικότητα ενός λειτουργικού συστήματος σε ένα ετερογενές σύμπλεγμα υπολογιστών. Η χρησιμότητά του δεν περιορίζεται στα ρομπότ, αλλά η πλειονότητα των παρεχόμενων εργαλείων επικεντρώνεται στην εργασία με περιφερειακό υλικό.

Οι κύριες γλώσσες για τη σύνταξη κώδικα ROS είναι η C++ και η Python, ενώ η C++ προτιμάται λόγω καλύτερης απόδοσης.

Κεφάλαιο 4 Ερευνητική μεθοδολογία

4.1 Εισαγωγή

Η ερευνητική μεθοδολογία προσεγγίζει τις προσφερόμενες επιλογές λαμβάνοντας υπόψιν τις βέλτιστες λύσεις αλλά και τους επικείμενους περιορισμούς. Με σκοπό την απλοποίηση της ερευνητικής μεθοδολογίας και του σχεδιασμού του αυτόνομου ρομποτικού οχήματος, η μελέτη διαχωρίστηκε σε τρεις βασικές ενότητες:

1. Μηχανολογικά εξαρτήματα
2. Ηλεκτρολογική μελέτη
3. Προγραμματισμός

4.2 Έρευνα αγοράς προμήθεια υλικών

Μετά τον προσδιορισμό του προβλήματος στο κεφάλαιο 1 και αφού μελετήθηκαν οι προσφερόμενες λύσεις από τις σύγχρονες τεχνολογίες στο κεφάλαιο 2, σειρά έχει η επιλογή των αγοραζόμενων εξαρτημάτων που είναι απαραίτητα για την ολοκλήρωση του αυτόνομου ρομποτικού οχήματος. Βασικός γνώμονάς είναι η συμμόρφωση των υλικών με τις προδιαγραφές που τέθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Από την ενότητα «2.2.1.4 Συγκριτικός πίνακας ρομποτικών οχημάτων» έγινε σύγκριση των προσφερόμενων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης λύσης ως προς την επάρκεια, την ποιότητα, την τιμή, και την ευκολία προμήθειας τους. Η λίστα με τα υλικά παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.

4.3 Λίστα υλικών

α/α	Κατηγορία	Περιγραφή	Εταιρεία	Αγορά	Ποσότητα	Τιμή €
1	Επενεργητής	Ανταλλακτικό κινητήρας 250W + ελαστικό Xiaomi Scooter M365	Xiaomi	Κίνα	2	160
2		DC 12V 50MM STROKE 1500N/150KG LOAD FORCE - 4MM/S LINEAR ACTUATOR	-	Κίνα	2	105
3	Οδηγός κινητήρα	ODrive v3.6 - 56V with Connectors	Odrive	Ελλάδα	1	365
4		DC Motor PWM Speed Controller 10-60V 20A	-	Ελλάδα	1	8
5	SBC	Jetson Xavier NX Developer Kit	Nvidia	Ελλάδα	1	396
6	Μικροελεγκτής	Arduino Mega 2560 Rev3	Arduino	Ελλάδα	1	52
7	SSD	SSD Samsung 970 EVO Plus NVMe M.2 500GB	Samsung	Ελλάδα	1	115
8		SanDisk Extreme PRO microSDXC 128GB	SanDisk	Ελλάδα	1	30
9	Περιφερειακά	LED Ring - 16 x WS2812 5050 RGB	-	Ελλάδα	4	24
10		2x 6dBi 2.4GHz 5GHz Dual Band WiFi RP-SMA Male Antenna +2x 35CM RP-SMA IPEX MHF4 Pigtail Cable for M.2 NGFF WiFi WLAN Card	-	Amazon	1	5
11		Αποσβεστήρας οπίσθιος M-WAVE 150mm	M-WAVE	Ελλάδα	2	20
12	Αισθητήρας	MICROSOFT AZURE KINECT DK DEVELOPER KIT	Microsoft	ΗΠΑ	1	400
13		RPLIDAR S1 360° TOF Laser Range Scanner	Slamtec	ΗΠΑ	2	1.296
14	Τροφοδοσία	LiFePO4 36V 100Ah 100A BMS 3000W	GTK	Κίνα	1	850
		Φορτιστής LiFePO4 36V 10A			1	
15		36V 11A 400w power supply S-400-36 (with fan)	HS0592	Ελλάδα	1	30
16	300W DC-DC Max 9A Step Down Buck Converter 5-40V To 1.2-35V Adjustable Power Supply Module LED Driver	HAITRONIC	Κίνα	2	12	
17	Μετατροπέας DC-DC Step-Down 5V 2A - USB	-	Κίνα	3	21	

Πίνακας 5. Λίστα υλικών.

4.4 Προμήθεια υλικών

Το επόμενο βήμα είναι ο εντοπισμός των εξαρτημάτων που απαρτίζουν το ρομποτικό όχημα, είτε στην τοπική αγορά, είτε μέσω ψηφιακών καταστημάτων σε Ελλάδα και εξωτερικό, σύμφωνα πάντα με τις απαιτήσεις όπου αναφέρονται στα προηγούμενα κεφάλαια. Ορισμένα από τα εξαρτήματα ενδέχεται να τροποποιηθούν εσωτερικά από την εταιρεία για την βελτιστοποίηση των δυνατοτήτων τους.

4.5 Μεθοδολογία και επιστημονικά οφέλη

Για την ολοκλήρωση της μελέτης του ρομποτικού οχήματος επιλέχθηκε η παραπάνω απλοποιημένη μεθοδολογία προσέγγισης διότι το θέμα είναι αρκετά πολύπλοκο και πρέπει να αναλυθεί με διαφορετικούς τρόπους.

Μηχανολογικά εξαρτήματα: Με γνώμονα την έρευνα των σύγχρονων τεχνολογιών που προηγήθηκε, επιλέγεται η βασική γεωμετρία και το σύστημα κίνησης του ρομποτικού οχήματος. Κατόπιν γίνεται έρευνα αγοράς για την εύρεση των κατάλληλων μηχανολογικών εξαρτημάτων όπως συνδέσμων, εδράνων και τροχών. Στο επόμενο στάδιο σχεδιάζεται το μοντέλο του ρομποτικού οχήματος τμηματικά με την χρήση τρισδιάστατου σχεδιαστικού προγράμματος. Η εξαγωγή κατάλληλης μορφής αρχείων εξυπηρετεί παρακάτω στην προσομοίωση του μοντέλου κατά τον προγραμματισμό.

Ηλεκτρολογική μελέτη: Ομοίως με τα μηχανολογικά εξαρτήματα γίνεται διερεύνηση των σύγχρονων τεχνολογιών και ακολουθεί έρευνα αγοράς για την εύρεση των κατάλληλων ηλεκτρολογικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων όπως συστήματα ελέγχου, αισθητήρες, τροφοδοσία και επενεργητές. Βάση των τεχνικών χαρακτηριστικών του υλικού γίνεται λήψη μετρήσεων και υπολογισμών όσον αφορά την μεταξύ τους επικοινωνία και σχεδιάζεται το ηλεκτρολογικό σχέδιο.

Προγραμματισμός: Με την τεχνική υποστήριξη από τις εταιρείες παραγωγής των υλικών και από την κοινότητα της ρομποτικής επιλέγονται τα κατάλληλα πακέτα για την σωστή λειτουργία του υλικού. Ακολουθεί η προσομοίωση σε εικονικό περιβάλλον για την ασφαλή εξαγωγή των αρχικών δεδομένων. Τέλος διεξάγεται η προσομοίωση με πραγματικά ηλεκτρομηχανικά συστήματα.

Σε ένα πραγματικό σύστημα, εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του, καθώς και την σταθερότητά του στον χρόνο. Το επιστημονικό όφελος από την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων είναι η απόκτηση τεχνογνωσίας σχετικής με την σχεδίαση και κατασκευή αυτόνομων ρομποτικών οχημάτων.

Κεφάλαιο 5 Υλοποίηση του ρομπότ

5.1 Εισαγωγή

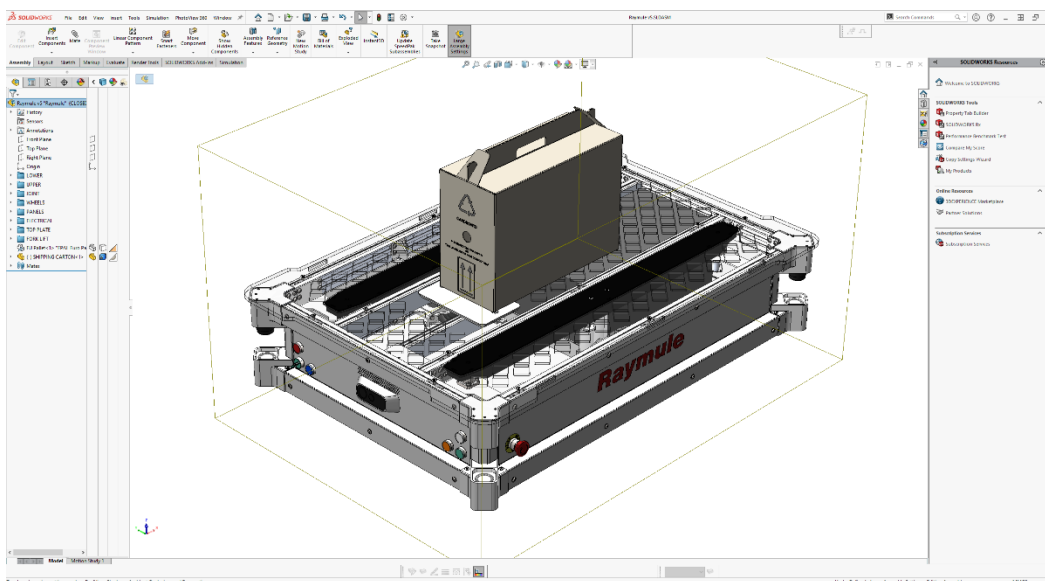
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθείται για την κατασκευή των επιμέρους τμημάτων του ρομποτικού οχήματος από τον σχεδιασμό έως και την υλοποίηση. Δεν είναι σαφής ο διαχωρισμός των μηχανολογικών, ηλεκτρολογικών και των συστημάτων ελέγχου λόγω πολυπλοκότητας και της αλληλεπίδρασης μεταξύ τους. Γι' αυτό τον λόγο θα αναλυθούν παράλληλα σε παρακάτω ενότητες.

Αρχικά θα εξεταστεί μηχανολογικά και ηλεκτρολογικά η υλοποίηση της κατασκευής του αμαξώματος με το σύστημα οδήγησης και ανύψωσης του ρομποτικού οχήματος. Έπειτα θα αναλυθούν 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. Στην επόμενη ενότητα αφού έχουν αναλυθεί όλες οι ενεργοβόρες συσκευές υπολογίζεται το τμήμα παροχής ενέργειας του ρομποτικού οχήματος. Τέλος, στην ενότητα της πειραματικής διαδικασίας αναλύεται ο προγραμματισμός του συστήματος ελέγχου ώστε το ρομποτικό όχημα να είναι συμμορφούμενο με τις προδιαγραφές που τέθηκαν.

5.2 Σχεδιασμός

Για τον σχεδιασμό των επιμέρους εξαρτημάτων και για την συναρμολόγηση του μοντέλου στην τελική του μορφή χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρόγραμμα τρισδιάστατης απεικόνισης Solidworks της εταιρείας Dassault.

Η εξαγωγή αρχείων SolidWorks σε URDF είναι ένα πρόσθετο (plug-in) του SolidWorks που επιτρέπει την εύκολη μετατροπή εξαρτημάτων και συναρμολογημάτων SW σε αρχείο URDF. Δημιουργείται ένα πακέτο τύπου ROS που περιέχει έναν κατάλογο για τρισδιάστατα αρχεία (meshes), υφές και ρομπότ (αρχεία urdf). Για μεμονωμένα εξαρτήματα SW, κατά την εξαγωγή αντιγράφονται οι ιδιότητες του υλικού και δημιουργείται ένας μεμονωμένος σύνδεσμος στο URDF. Για συναρμολογήματα, κατά την εξαγωγή δημιουργούνται οι σύνδεσμοι και δομείται ένα δέντρο με βάση την ιεραρχία συναρμολόγησης SW. Το πρόσθετο εξαγωγής URDF μπορεί να προσδιορίσει αυτόματα τον κατάλληλο τύπο συνδέσμων, μετασχηματισμούς συνδέσμων και άξονες.



Εικόνα 30. Σχεδιασμός του ρομποτικού οχήματος.

5.3 Υλοποίηση του ρομποτικού οχήματος

Παρακάτω εξετάζεται μηχανολογικά και ηλεκτρολογικά η υλοποίηση της κατασκευής του αμαξώματος με το σύστημα οδήγησης και ανύψωσης του ρομποτικού οχήματος, καθώς και η εγκατάσταση των συστημάτων ελέγχου με τους αισθητήρες.

5.3.1 Αμάξωμα

Με την περαίωση της έρευνας σχετικά με την επιλογή της κατάλληλης εξωτερικής γεωμετρίας του οχήματος στα κεφάλαια 1 και 2 σχεδιάστηκε το αμάξωμα του ρομποτικού οχήματος.



Εικόνα 31. Μεταφορά παλέτας.



Εικόνα 32. Μεταφορά χαρτοκιβωτίου.

Το αμάξωμα συμμορφώνεται με τις εξής απαιτήσεις:

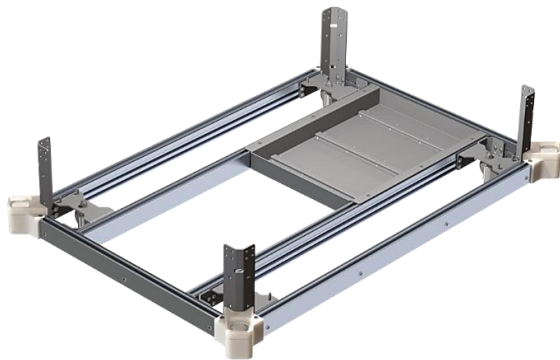
- Το αμάξωμα αποτελείται από προφίλ αλουμινίου 6060-T22 διάστασης 30x50mm για διατήρηση χαμηλού βάρους και στιβαρής κατασκευής. Όλοι οι σύνδεσμοι αποτελούνται από φύλλα λαμαρίνας πάχους 4mm
- Η ανώτερη επιφάνεια του οχήματος είναι επίπεδη ώστε να παραλαμβάνει το φορτίο ανεμπόδιστα και χωρίς κίνδυνο να καταστραφεί μέρος του εξοπλισμού. Αποτελείται από συμπαγή διάφανο πολυκαρβονικό φύλλο πάχους 10mm
- Η ανώτερη επιφάνεια δεν ξεπερνά κατά πολύ την επιφάνεια του φορτίου στο επίπεδο ώστε να διατηρεί κατά το ελάχιστο τις συνολικές διαστάσεις του οχήματος για την εύκολη πλοήγηση στον χώρο.
- Οι οκτώ ακμές που σχηματίζονται από το ορθογώνιο αμάξωμα φέρουν πολυχρηστικές βάσεις στήριξης από εκτυπωμένο πλαστικό ABS για αισθητήρες και λυχνίες ένδειξης κατάστασης.



Εικόνα 33. Πολυχρηστική βάση στήριξης του αμαξώματος.

Αρχικά συναρμολογείται το κάτω πλαίσιο του αμαξώματος με τα εξαρτήματα που το απαρτίζουν. Το πλαίσιο αποτελείται από τα προφίλ αλουμινίου συνδεδεμένα με κατακόρυφες μεταλλικές λάμες. Εσωτερικά προστίθεται ένα σετ από τα διαμήκη προφίλ που προσδίδουν επιπλέον ακαμψία και θέσεις στήριξης εξαρτημάτων. Στην συνέχεια προσαρμόζονται στις τέσσερις άκρες οι βάσεις με τους περιστροφικούς τροχούς. Αφού το πλαίσιο έχει υπερυψωθεί λόγω των περιστροφικών τροχών κουμπώνονται οι πολυχρηστικές βάσεις στήριξης στις τέσσερις ακμές του πλαισίου. Οι βάσεις φέρουν τις λυχνίες ένδειξης κατάστασης του ρομποτικού οχήματος. Έπειτα προστίθεται η βάση έδρασης της μπαταρίας στο πίσω μέρος ανάμεσα στα διαμήκη προφίλ. Όλες οι συνδέσεις γίνονται με κοχλίες και βοηθητικές πλάκες.

Στο επόμενο στάδιο επαναλαμβάνεται η διαδικασία για την συναρμολόγηση του άνω πλαισίου του αμαξώματος με τα εξαρτήματα που το απαρτίζουν. Συναρμολογείται το πλαίσιο και τα εσωτερικά προφίλ και στην συνέχεια προσαρμόζονται στις τέσσερις άκρες οι αποστάτες των πλαισίων και οι βάσεις του συστήματος ανύψωσης. Αφού το πλαίσιο έχει υπερυψωθεί λόγω των αποστατών κουμπώνονται οι πολυχρηστικές βάσεις στήριξης στις τέσσερις ακμές του πλαισίου. Οι βάσεις φέρουν τους αισθητήρες λέιζερ στην μπροστινή δεξιά και πίσω αριστερή πλευρά ώστε να καλύπτουν περιμετρικά το ρομποτικό όχημα.

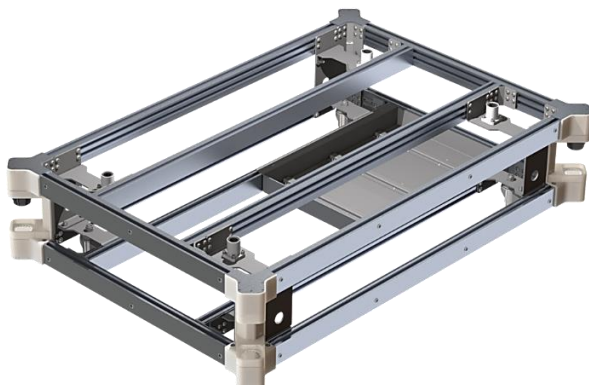


Εικόνα 34. Κάτω πλαίσιο του αμαξώματος.

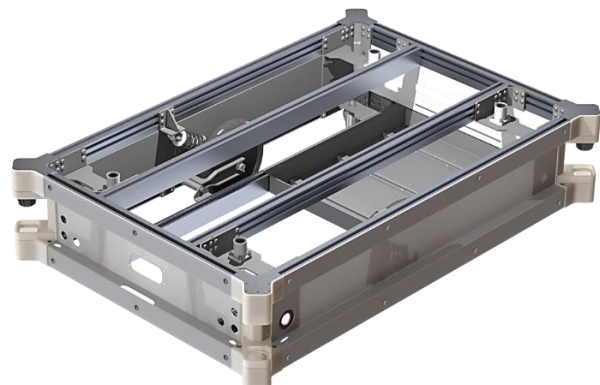


Εικόνα 35. Άνω πλαίσιο του αμαξώματος.

Στην συνέχεια το άνω πλαίσιο τοποθετείται επάνω στο κάτω πλαίσιο και σχηματίζεται η τελική γεωμετρία του αμαξώματος. Η διαδικασία επιτυγχάνεται ευθυγραμμίζοντας τα οκτώ ένθετα στις βάσεις των περιστρεφόμενων τροχών με τις αντίστοιχες οπές στους αποστάτες του άνω πλαισίου. Οι δύο βάσεις συγκρατούνται μεταξύ τους με περικόχλια. Οι κατακόρυφες μεταλλικές λάμες του κάτω πλαισίου συσφίγγονται στο άνω πλαίσιο με κοχλίες και το αμάξωμα αποκτά στιβαρότητα.



Εικόνα 36. Συναρμολόγηση αμαξώματος

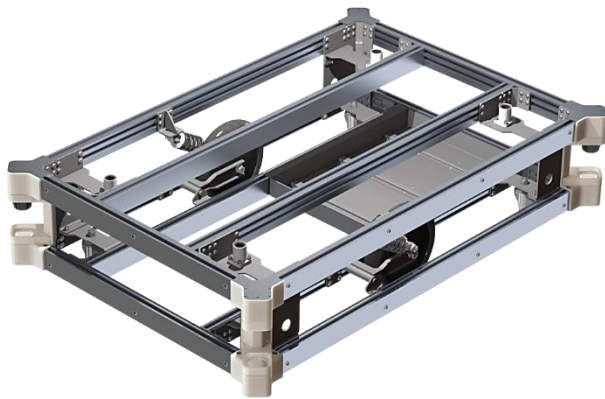


Εικόνα 37. Περιφερειακά καλύμματα αμαξώματος.

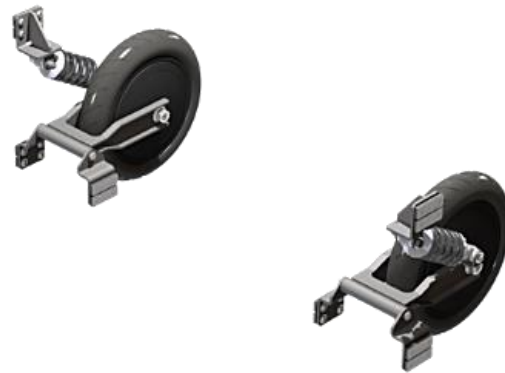
Εφόσον ολοκληρωθεί η βασική συναρμολόγηση του αμαξώματος ακολουθεί η προσθήκη των περιφερειακών καλυμμάτων του οχήματος. Τα καλύμματα αυτά κατασκευάζονται από φύλλο αλουμινίου EN AW-5754 H22 πάχους 1,5mm. Τα πλαϊνά καλύμματα προστατεύουν το εσωτερικό του οχήματος από εξωτερικούς παράγοντες ενώ τα μετωπικά φέρουν και διάφορα εξαρτήματα.

5.3.2 Σύστημα οδήγησης

Βάση του κεφαλαίου 3.5 «Επιλογές διάταξης τροχών» επιλέχθηκε η διάταξη τύπου E με δύο κινητήριους τροχούς στη μέση της μακριάς πλευράς και τέσσερις περιστρεφόμενους στις άκρες του οχήματος. Αυτός ο σχηματισμός προσδίδει στο όχημα ευελιξία και σταθερότητα για μεγάλες αποστάσεις αλλά και για δάπεδα με κανάλια και ράμπες. Οι σταθερές ρόδες δεν τοποθετήθηκαν ψηλότερα ως συνήθως απλά προστέθηκε αποσβεστήρας σε κάθε ψαλίδι ώστε οι κινητήριοι τροχοί να έχουν συνεχώς πρόσφυση με το έδαφος. Ο χειρισμός γίνεται από την πλευρά των κινητήριων τροχών με διαφορεική οδήγηση.



Εικόνα 38. Προσθήκη συστήματος οδήγησης.



Εικόνα 39. Σύστημα οδήγησης με αποσβεστήρες.

Τροχός – κινητήρας και οδηγός

Ο κινητήρας σκούτερ 8 ιντσών BLDC με ελαστικό PU, παρέχει επαρκή πρόσφυση. Λόγο του ότι ο κινητήρας είναι ενσωματωμένος με τον τροχό επιτυγχάνεται μικρό μέγεθος και βάρος. Οι κινητήρες BLDC έχουν υψηλή απόδοση ενώ λειτουργούν ομαλά και αθόρυβα.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα γενικά χαρακτηριστικά του τροχού

Μοντέλο	Κινητήρας 250W + ελαστικό Xiaomi Scooter M365
Με ψήκτρες / χωρίς ψήκτρες	χωρίς ψήκτρες
Ονομαστική τάση (V)	36V / 750 rpm
Ονομαστική ισχύς (W)	200W - 250W
Μέγεθος τροχού (ίντσες)	8"
Αναλογία μείωσης	1:1
Ονομαστική ταχύτητα (χλμ/ώρα)	(25 km/h)
Αξιολογημένη απόδοση (%)	> 81%
Βάρος	3.2 KG
Ανοιχτό μέγεθος (mm)	112 mm
Θέση καλωδίου	Δεξιά πλευρά
Αισθητήρας Hall	Ναι
Ενσωματωμένος αισθητήρας ταχύτητας	Όχι
Τύπος φρένου	Ηλεκτρικό

Πίνακας 6. Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα BLDC

Για την οδήγηση των κινητήρων χρησιμοποιείται ο οδηγός ODrive 3.6n της εταιρείας ODrive Robotics.

Οι κινητήρες διαθέτουν τρεις φάσεις και συνήθως τα καλώδια είναι χρωματισμένα κίτρινο, μπλε και πράσινο, καθώς και ένα σετ 5 λεπτότερων καλωδίων για την ανάδραση του αισθητήρα Hall, συνήθως χρωματισμένα κόκκινο, κίτρινο, μπλε, πράσινο και μαύρο. Οι φάσεις του κινητήρα μπορούν να συνδεθούν με οποιαδήποτε σειρά σε έναν σύνδεσμο κινητήρα στο ODrive, καθώς αργότερα θα βαθμονομηθεί η ευθυγράμμιση των φάσεων. Σύνδεση των φάσεων των κινητήρων στους τριφασικούς βιδωτούς ακροδέκτες M0 και M1. Η ανάδραση του αισθητήρα Hall συνδέεται στην υποδοχή ODrive J4 ενώ ο αριθμός καναλιού κινητήρα πρέπει να ταιριάζει ως εξής:

Hall καλώδιο	J4 σήμα
Κόκκινο	5V
Κίτρινο	A
Μπλε	B
Πράσινο	Z
Μαύρο	GND

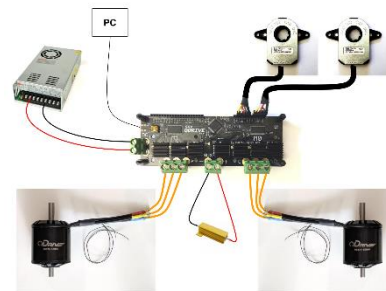
Πίνακας 7. Συνδεσμολογία αισθητήρα Hall

Προκειμένου να είναι συμβατός με τις εισόδους κωδικοποιητή, ο ODrive δεν διαθέτει πυκνωτές φιλτραρίσματος στις ακίδες όπου συνδέονται οι αισθητήρες Hall. Οι γραμμές A, B και Z διαθέτουν αντιστάσεις έλξης (pull-up) 3,3k για χρήση με εξόδους κωδικοποιητή ανοιχτής αποστράγγισης (open-drain). Επομένως, για να υπάρχει αξιόπιστο σήμα Hall, συνιστάται να προστίθενται μερικοί πυκνωτές φίλτρου σε αυτούς τους ακροδέκτες 22nF μεταξύ κάθε ακίδας σήματος και GND

Σε αντίθεση με άλλες συσκευές, ο οδηγός ODrive δεν λαμβάνει ισχύ από τη θύρα USB και επομένως η είσοδος ρεύματος 56V απαιτείται ακόμη και μόνο για την επικοινωνία μέσω USB. Για την ενεργοποίηση του οδηγού, γίνεται σύνδεση της τροφοδοσίας στους ακροδέκτες DC με ιδιαίτερη προσοχή στην πολικότητα.



Εικόνα 40. Τροχός - κινητήρας BLDC.



Εικόνα 41. Συνδεσμολογία του οδηγού κινητήρα BLDC.

5.3.3 Σύστημα ανύψωσης

Ο αυτοματισμός παραλαβής και εναπόθεσης αντικειμένων αποτελεί ένα πολύπλοκο μηχανισμό που απαιτεί κυρίως μηχανολογικές γνώσεις. Ο κύριος στόχος είναι η παραλαβή και μεταφορά παλέτας μιας και είναι το πιο δημοφιλή μέσο υποστήριξης για την μεταφορά αγαθών.

Για την ανύψωση επιλέχτηκε ένα σύστημα με δύο ανεξάρτητες περόνες τοποθετημένες παράλληλα στο άνω μέρος οχήματος. Οι περόνες αποτελούνται από τρία συγκολλητά μέρη και είναι κατασκευασμένες από φύλλο αλουμινίου EN AW-5754 H22 πάχους 3mm. Στα δύο άκρα τους οι περόνες φέρουν άξονες για την γραμμική

κίνηση παράλληλα με το επίπεδο του ρομποτικού οχήματος. Οι άξονες φωλιάζουν σε γραμμικά ρουλεμάν που είναι στερεωμένα στο άνω μέρος του αμαξώματος.



Εικόνα 42. Σύστημα ανύψωσης.



Εικόνα 43. Εγκατάσταση συστήματος ανύψωσης.

Επενεργητές και οδηγός

Για την κίνηση επιλέχθηκαν δύο γραμμικοί επενεργητές τάσης DC 12V, μήκους εμβόλου 50mm, δύναμη φορτίου 1500N και ταχύτητας 4mm/s. Οι επενεργητές από την σταθερή πλευρά είναι τοποθετημένοι στο κάτω πλαίσιο του αμαξώματος ενώ το έμβολο συνδέεται αρθρωτά με κοχλιοσύνδεση στο μέσο της περόνης. Για την σύγχρονη λειτουργία τους συνδέονται σε έναν μόνο οδηγό κινητήρα με εύρος τάσης 10-60V στα 20A.



Εικόνα 44. Γραμμικός επενεργητής.



Εικόνα 45. DC Motor PWM Speed Controller 10-60V 20A.

5.3.4 Συστήματα ελέγχου

Οι παράγοντες που υπαγορεύουν τις επιλογές των αισθητήρων είναι ο τύπος της εφαρμογής, η προδιαγραφή των χαρακτηριστικών πλοήγησης και εντοπισμού καθώς και το περιβάλλον στο οποίο πρόκειται να λειτουργήσει το ρομποτικό όχημα. Έτσι για την πλοήγηση επιλέχθηκαν δύο αισθητήρες λέιζερ και για την αποφυγή εμποδίων μια πολυαισθητήρια κάμερα, η χρήση των οποίων θα αναλυθεί παρακάτω.

Σαρωτής λέιζερ RPLidar S1 – Slamtec

Το RPLIDAR S1 είναι σαρωτής λέιζερ 360 μοιρών 2D (LIDAR) μια λύση χαμηλού κόστους που αναπτύχθηκε από την SLAMTEC. Μπορεί να λαμβάνει έως και 9200 δείγματα ανά δευτερόλεπτο με υψηλή ταχύτητα περιστροφής. Το σύστημα μπορεί να εκτελέσει σάρωση 2D 360 μοιρών σε εμβέλεια 40 μέτρων. Τα δεδομένα 2D σημείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη χαρτογράφηση, τον εντοπισμό και τη μοντελοποίηση αντικειμένου και περιβάλλοντος.

Το RPLIDAR S1 έχει σταθερή απόδοση κατά την ανίχνευση αντικειμένων σε μεγάλη απόσταση, σε λευκό ή μαύρο εναλλακτικά και αντικείμενα υπό άμεσο ηλιακό φως, που είναι ιδανικό για δημιουργία χαρτών σε εξωτερικό

περιβάλλον σε ακτίνα εμβέλειας 40 μέτρων. Ως εκ τούτου, μπορεί να εφαρμοστεί ευρέως σε πολλά επιχειρηματικά σενάρια.

Η τυπική συχνότητα σάρωσης του RPLIDAR S1 είναι 10Hz (600rpm) και η συχνότητα μπορεί να ρυθμιστεί ελεύθερα εντός του εύρους 8-15Hz σύμφωνα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις. Με τη συχνότητα σάρωσης 10 Hz, ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 9,2 kHz και η γωνιακή ανάλυση είναι 0,391°.

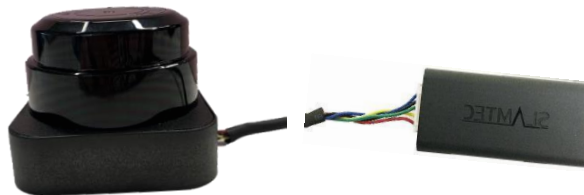
Λόγω των βελτιώσεων στην απόδοση λειτουργίας υλικού SLAMTEC και του σχετικού αλγόριθμου, το RPLIDAR S1 λειτουργεί καλά σε όλα τα είδη εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος με άμεσο ηλιακό φως. Το RPLIDAR S1 έχει περάσει την δοκιμή για να διασφαλίσει ότι η ισχύς εξόδου λέιζερ πληροί το πρότυπο ασφάλειας για τα μάτια της IEC-60825 Class 1.

Application Scenarios	Works well both in indoor and outdoor environment, reliable resistance to daylight
Distance Range	On White Objects: 40m (White light-diffused surface)
	On Black Object: 10m
Blind Range	0.1m
Sample Rate	9200 times per second
Sample Frequency	Typical value: 10Hz (the frequency is adjustable within the 5-15Hz range.)
Angular Resolution	Typical value: 0.391° (the resolution is adjustable within the 0.313°-0.587° range according to the sample frequency.)
Communication Interface	TTL UART (3.3V)
Band Rate	256000bps
Distance Resolution	3cm
Accuracy	±5cm

Πίνακας 8. Τεχνικά χαρακτηριστικά RPLidar S1 - Slamtec.

Το RPLIDAR S1 μπορεί εύκολα να συνδεθεί με υπολογιστή σύμφωνα με τα παρακάτω βήματα:

1. Συνδέστε το RPLIDAR S1 με τον προσαρμογέα USB



Εικόνα 46. RPLidar S1 - Slamtec και USB προσαρμογέα.

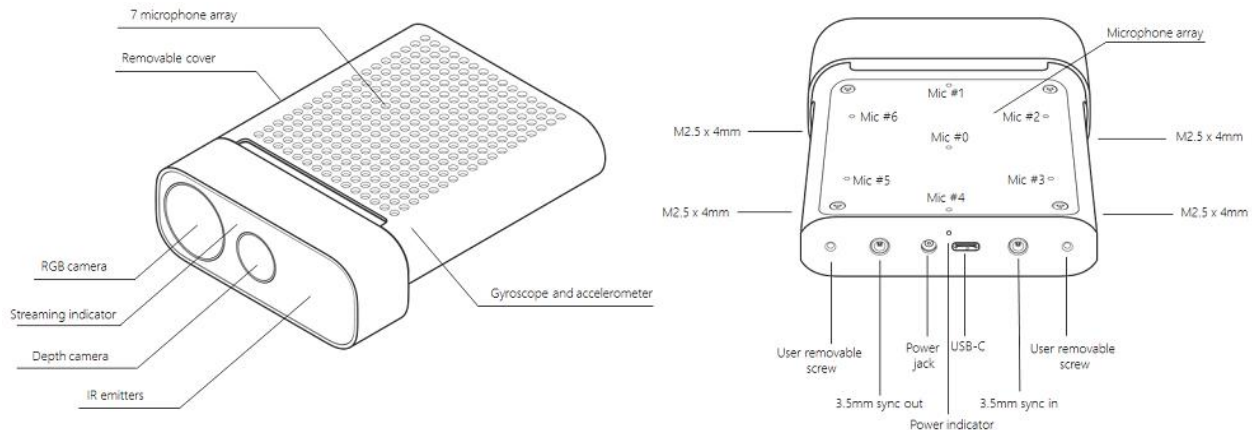
2. Συνδέστε τον προσαρμογέα USB στον υπολογιστή σας μέσω του καλωδίου Micro-USB. Εάν ο υπολογιστής είναι ενεργοποιημένος, αφού συνδέσετε το καλώδιο USB στον υπολογιστή σας και συνδέσετε το τροφοδοτικό στο καλώδιο USB, η ενδεικτική λυχνία του USB θα ανάψει αλλά το RPLIDAR δεν θα ξεκινήσει τη σάρωση.



Εικόνα 47. Σύνδεση του προσαρμογέα USB στον υπολογιστή μέσω καλωδίου Micro-USB

Πολυαισθητήρια κάμερα Azure Kinect SDK – Microsoft

Το Azure Kinect DK είναι ένα κιτ προγραμματιστών με προηγμένους αισθητήρες AI που παρέχουν εξελιγμένα μοντέλα όρασης και ομιλίας υπολογιστή. Το Kinect περιέχει έναν αισθητήρα βάθους, μια διάταξη χωρικών μικροφώνων με βιντεοκάμερα και αισθητήρα προσανατολισμού ως μια μικρή συσκευή όλα σε ένα με πολλαπλές λειτουργίες, επιλογές και κιτ ανάπτυξης λογισμικού (SDK).



Εικόνα 48. Azure Kinect SDK – Microsoft.

Το περιβάλλον ανάπτυξης Azure Kinect DK αποτελείται από τα ακόλουθα πολλαπλά SDK:

- Αισθητήρας SDK για πρόσβαση χαμηλού επιπέδου αισθητήρων και συσκευής.
- Body Tracking SDK για παρακολούθηση σωμάτων σε 3D.
- Speech Cognitive Services SDK για την ενεργοποίηση της πρόσβασης στο μικρόφωνο και των υπηρεσιών ομιλίας που βασίζονται σε cloud Azure.
- Οι υπηρεσίες Cognitive Vision μπορούν να χρησιμοποιηθούν με την κάμερα RGB της συσκευής.

Το Sensor SDK έχει τις ακόλουθες δυνατότητες που λειτουργούν μόλις εγκατασταθούν και εκτελούνται στο Azure Kinect DK:

- Πρόσβαση στην κάμερα βάθους και έλεγχος λειτουργίας (παθητική λειτουργία υπερύθρων, συν λειτουργίες βάθους ευρείας και στενής οπτικής γωνίας).
- Πρόσβαση και έλεγχος κάμερας RGB (για παράδειγμα, έκθεση και ισορροπία λευκού).
- Πρόσβαση αισθητήρα κίνησης (γυροσκόπιο και επιταχυνσιόμετρο).
- Συγχρονισμένη ροή κάμερας βάθους RGB με ρυθμιζόμενη καθυστέρηση μεταξύ των καμερών.
- Έλεγχος συγχρονισμού εξωτερικής συσκευής με ρυθμιζόμενη μετατόπιση καθυστέρησης μεταξύ συσκευών.
- Πρόσβαση μεταδεδομένων πλαισίου κάμερας για ανάλυση εικόνας και χρονική σήμανση.
- Πρόσβαση δεδομένων βαθμονόμησης συσκευής.

Τα ακόλουθα εργαλεία είναι διαθέσιμα στο Sensor SDK:

- Ένα εργαλείο προβολής για την παρακολούθηση των ροών δεδομένων της συσκευής και τη διαμόρφωση διαφορετικών λειτουργιών.
- Ένα εργαλείο εγγραφής αισθητήρα και API ανάγνωσης αναπαραγωγής που χρησιμοποιεί τη μορφή κοντέινερ Matroska.
- Ένα εργαλείο ενημέρωσης υλικολογισμικού Azure Kinect DK.

Η συσκευή μπορεί να τροφοδοτηθεί με δύο τρόπους:

- Χρησιμοποιώντας το τροφοδοτικό του κουτιού. Ο σύνδεσμος τροφοδοσίας είναι OD 4,5 mm με ID 3,0 mm και διάμετρο ακίδας 0,6 mm.
- Χρήση καλωδίου Type-C σε Type-C τόσο για τροφοδοσία όσο και για δεδομένα.

Το Azure Kinect DK καταναλώνει έως και 5,9W. Η ειδική κατανάλωση ενέργειας εξαρτάται από την χρήση.



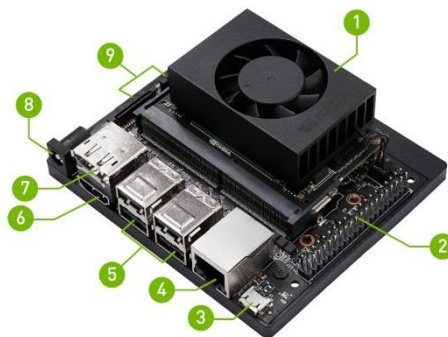
Εικόνα 49. Azure Kinect SDK – Microsoft.

Ενσωματωμένο σύστημα

Μετά από την επιλογή των αισθητήρων, σειρά έχει η επιλογή των συστημάτων ελέγχου του ρομποτικού οχήματος. Η επιλογή βασίζεται κυρίως στην υπολογιστική ισχύ που απαιτείται για τους αλγόριθμους ελέγχου των αισθητήρων και του συστήματος κίνησης.

Το NVIDIA® Jetson Xavier NX™ Developer Kit διαθέτει απόδοση υπερυπολογιστή αιχμής. Περιλαμβάνει μια λειτουργική μονάδα Jetson Xavier NX για την ανάπτυξη πολυτροπικών εφαρμογών AI με τη στοίβα λογισμικού NVIDIA σε μόλις 10W. Η Nvidia παρέχει εγγενή υποστήριξη στο cloud για υποστήριξη και να ανάπτυξη πιο εύκολα λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης σε συσκευές αιχμής.

Για έξυπνες μηχανές OEM, start-ups και προγραμματιστές εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης που θέλουν να δημιουργήσουν πρωτοποριακά προϊόντα, το Jetson Xavier NX Developer Kit παρέχει τη δυνατότητα ανάπτυξης και δοκιμής αποδοτικών λύσεων μικρής μορφής με ακριβή, πολλαπλών τρόπων συμπεράσματα AI.



1. microSD card slot for main storage	6. HDMI output port
2. 40-pin expansion header	7. DisplayPort connector
3. Micro-USB port	8. DC Barrel jack for 19V power input
4. Gigabit Ethernet port	9. MIPI CSI camera connectors
5. USB 3.1 Type A ports (x4)	

Εικόνα 50. Jetson Xavier NX – Nvidia

5.3.5 Σύστημα παροχής ενέργειας

Η μπαταρία επιλέχθηκε στα 36VDC με βάση την τάση λειτουργίας του συστήματος κίνησης το οποίο καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια στο ρομποτικό όχημα. Τα υπόλοιπα συστήματα που λειτουργούν με διαφορετική τάση τροφοδοτούνται με μετατροπείς τάσης στην ονομαστική τους τιμή. Οι αισθητήρες τροφοδοτούνται με τάση 5VDC έκαστος, το σύστημα ανύψωσης λειτουργεί με 12VDC και ο υπολογιστής ενιαίας πλακέτας με 19 VDC.

Ένα ακόμα βασικό χαρακτηριστικό είναι το μέγιστο συνεχόμενο ρεύμα εκφόρτισης που προκύπτει από το άθροισμα του μέγιστου ρεύματος κατανάλωσης όλων των υποσυστημάτων. Για τους κινητήριους τροχούς το μέγιστο ρεύμα κατανάλωσης είναι 7A έκαστος, οι αισθητήρες στα 2A έκαστος, το σύστημα ανύψωσης 15A και τέλος για το SBC περίπου στα 2A. Η μπαταρία μπορεί να διαθέσει 100A στην μονάδα του χρόνου ενώ η συνολική κατανάλωση δεν ξεπερνάει τα 40A.

Ωστόσο δεν είναι δυνατή η ανεξέλεγκτη αύξηση της χωρητικότητας της μπαταρίας καθώς υπάρχουν κάποιου φυσικοί περιορισμοί. Βασικοί περιορισμοί είναι το βάρος όπου είναι 29Kg, ο όγκος που καταλαμβάνει αρκετό όγκο από το αμάξωμα όπως φαίνεται παρακάτω και τέλος ο χρόνος φόρτισης της μπαταρίας.

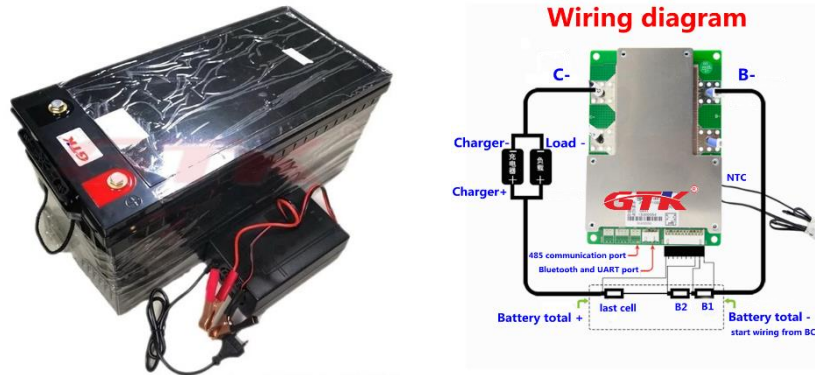
Η επιλογή του των μπαταριών βασίζεται στα ακόλουθα κριτήρια:

- Την ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας ώστε να καλύπτονται οι προδιαγραφές λειτουργίας του οχήματος.
- Το κόστος του στοιχείου και τη διαθεσιμότητά του στο εμπόριο.
- Την ευκολία προσαρμογής τους στο όχημα.
- Λιγότερη υποβάθμιση και μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Φιλική προς στο περιβάλλον.
- Υψηλός ρυθμός εκφόρτισης σε σύντομο χρονικό διάστημα με σταθερή τάση εκφόρτισης.

Παρακάτω φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας που επιλέχθηκε:

Parts included:	
1pcs 36v 100Ah Lifepo4 Battery, BMS Built in	
1pcs 43.8V 10A Charger	
Lifepo4 battery specification:	
Battery Model:	LiFePO4 36V 100Ah 100A BMS 3000W
Nominal Capacity (Ah) :	100Ah
Nominal Voltage (V):	43.8V
Lifecycle:	< 3000 cycles
Battery Size:	521x238x218mm
Weight:	29kg (100Ah)
Charge:	
Way of charge:	CC/CV
Standard charge Current:	10A
Maximum continuous charge current:	40A
Charge Cut-off Voltage:	43.8V
Cell Overcharge protection Voltage:	3.65V
Charge Temperature Range:	0 - 45°C
Discharge:	
Max Continuous Discharge Current:	50A/100A/150A
Peak Discharge Current:	100A/150A/200A
Discharge Cut-off Voltage:	30+/-1 V
Cell Overdischarge protection Voltage:	2.5V
Discharge Temperature Range:	-20 - 60°C

Πίνακας 9. Τεχνικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας.



Εικόνα 51. LiFePO4 36V 100Ah 100A BMS 3000W.

Φορτιστής μπαταρίας

Ο φορτιστής παρέχεται με την μπαταρία και είναι κατάλληλος για φόρτιση μπαταριών LFP 36VDC. Δέχεται τάση εισόδου 220 ~ 240VAC 50Hz 600mA. Παρέχει τάση φόρτισης 36V και ρεύμα φόρτισης 10A. Ενώ παρέχει προστασία από βραχυκύκλωμα, υπερφόρτωση, υπέρταση και ανάποδη πολικότητα.

Ως εμπειρικός κανόνας, ο φορτιστής σας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10% της βαθμολογίας Ah της μπαταρίας. Αυτό σημαίνει ότι μια μπαταρία 100 Ah θα χρειαζόταν τουλάχιστον φορτιστή 10 Amp. Λόγω του ότι η μπαταρία είναι χωρητικότητας 100Ah έχει "C-Rate" 100Amps. Έτσι, για να επαναφορτιστεί πλήρως μια μπαταρία 36V 100Ah με χρήση φορτιστή 36V/10A, θα χρειαστούν ονομαστικά 10 ώρες εάν η μπαταρία είναι πλήρως αποφορτισμένη.

Μετατροπείς τάσης

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, τα υποσυστήματα που λειτουργούν με διαφορετική τάση τροφοδοτούνται με μετατροπείς τάσης στην ονομαστική τους τιμή. Για τους αισθητήρες χρησιμοποιούνται τρεις μετατροπείς DC-DC Step-Down 5V 2A – USB. Είναι μια μονάδα που μπορεί στην είσοδο να δεχτεί τάση ως και 40VDC και να παρέχει στην έξοδο 5VDC σε ακροδέκτη USB με δυνατότητα παροχής ρεύματος λειτουργίας 2A και μέγιστο ρεύμα εξόδου μέχρι 3A. Για το σύστημα ανύψωσης και το SBC χρησιμοποιούνται δύο μετατροπείς 300W DC-DC Max 9A Step Down Buck Converter 5-40V To 1.2-35V Adjustable Power Supply Module LED Driver. Είναι μια μονάδα που μπορεί στην είσοδο να δεχτεί τάση ως και 40VDC και να παρέχει στην έξοδο ρυθμιζόμενη τάση με μέγιστο ρεύμα εξόδου μέχρι 9A.

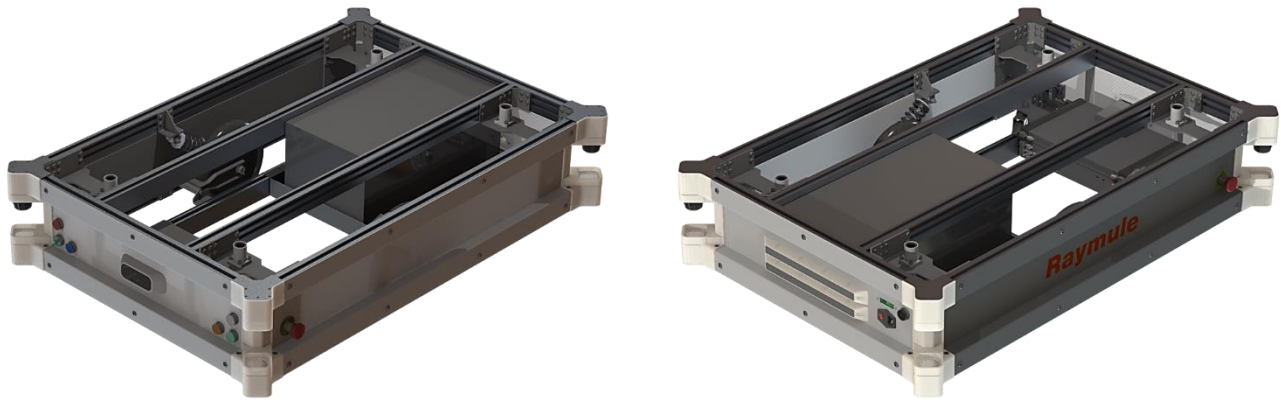
3.5.6 Χωροθέτηση εξοπλισμού

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα «5.3.1 Αμάξωμα» οι κάτω πολυχρηστικές βάσεις φέρουν τις λυχνίες ένδειξης κατάστασης του ρομποτικού οχήματος και οι άνω φέρουν τους αισθητήρες λέιζερ στην μπροστινή δεξιά και πίσω αριστερή πλευρά ώστε να καλύπτουν περιμετρικά το ρομποτικό όχημα. Η κάμερα είναι προσαρτημένη σε ειδικά διαμορφωμένη βάση από εκτυπωμένο πλαστικό ABS στο εμπρόσθιο κάλυμμα του οχήματος με ελαφριά κλίση προς τα επάνω για να διευρυνθεί η γωνία κάλυψής της.

Εσωτερικά του οχήματος κάτω από την κάμερα βρίσκεται ένα ειδικά σχεδιασμένο κουτί όπου βρίσκονται όλα τα συστήματα ελέγχου του ρομποτικού οχήματος. Στο εμπρόσθιο κάλυμμα βρίσκονται επίσης διακόπτες χειρισμού του οχήματος, αριστερά ο περιστροφικός διακόπτης για την γενική παροχή ρεύματος και διακόπτες NO για την χειροκίνητη λειτουργία του συστήματος ανύψωσης. Στα δεξιά βρίσκονται διακόπτες NO για τον χειρισμό του SBC

(παροχή, επανεκκίνηση και επαναφορά). Εκατέρωθεν των πλαϊνών καλυμμάτων προς το εμπρόσθιο τμήμα έχουν τοποθετηθεί διακόπτες άμεσης διακοπής της τροφοδοσίας των κινητήριων τροχών.

Η μπαταρία είναι τοποθετημένη στη βάση έδρασης της στο πίσω μέρος του οχήματος. Το οπίσθιο κάλυμμα φέρει δύο παράλληλους ράβδους από φύλλο αλουμινίου EN AW-5754 H22 πάχους 1,5mm τοποθετημένους σε βάσεις από εκτυπωμένο πλαστικό ABS ως μονωτικό υλικό. Επίσης στην δεξιά πλευρά βρίσκεται ένας διακόπτης με ασφάλεια AC 250V και αρσενική πρίζα AC. Και τα δύο αυτά στοιχεία συνδέονται με τον φορτιστή της μπαταρίας ο οποίος βρίσκεται επί του οχήματος. Οι ράβδοι για αυτόνομη φόρτιση και η πρίζα για χειροκίνητη φόρτιση. Τέλος στο κάλυμμα πάνω από την πρίζα είναι τοποθετημένος ο ελεγκτής χωρητικότητας μπαταρίας GY-6-V4 για οπτικό έλεγχο της χωρητικότητας της μπαταρίας.



Εικόνα 52. Προσθήκη ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

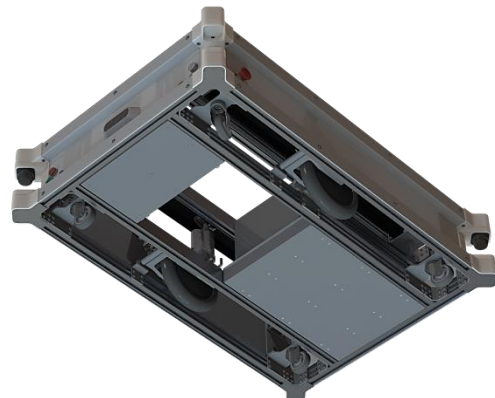
5.3.7 Ολοκλήρωση της κατασκευής

Αφού έχει ολοκληρωθεί η τοποθέτηση του εξοπλισμού στο εσωτερικό του ρομποτικού οχήματος, στο τελικό στάδιο τοποθετείται στην οροφή το προστατευτικό κάλυμμα από συμπαγή διάφανο πολυκαρβονικό φύλλο πάχους 10mm. Η κάτω πλευρά του φύλλου είναι διαμορφωμένη ώστε να εφαρμόζει στις πολυχρηστικές βάσεις των ακμών. Στην συνέχεια ευθυγραμμίζονται οι οπές του καλύμματος με τις βάσεις στήριξης στο πάνω μέρος του αμαξώματος και συναρμολογείται με 16 φρεζάτους κοχλίες.

Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνεται ολοκληρωμένο το αυτόνομο ρομποτικό όχημα



Εικόνα 53. Ισομετρική όψη αμαξώματος.



Εικόνα 54. Άνοψη αμαξώματος.

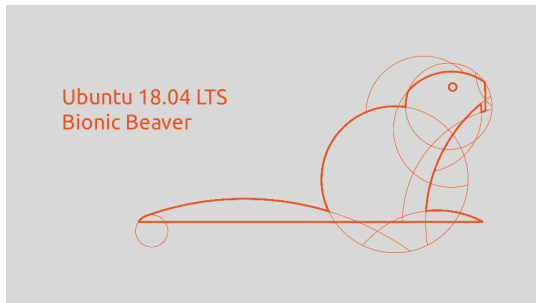
5.4 Πειραματική διαδικασία

Με την ολοκλήρωση της κατασκευής του αμαξώματος και της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, σειρά έχει η έναρξη της πειραματικής διαδικασίας που βασίζεται κυρίως στον προγραμματισμό των συστημάτων ελέγχου του ρομποτικού οχήματος. Στην επόμενη ενότητα γίνεται μια σύντομη αναφορά για τον λειτουργικό σύστημα και μέρος του κώδικα για την εγκατάσταση της ρομποτικής πλατφόρμας και των αισθητήρων του οχήματος.

5.4.1 Λειτουργικό σύστημα

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα «3.11 Λειτουργικό σύστημα» το Ubuntu είναι μια Linux διανομή ανοιχτού κώδικα. Το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξης γίνεται χρησιμοποιώντας το τερματικό και είναι η κύρια πλατφόρμα για το ROS. Η διανομή που επιλέχθηκε είναι η Ubuntu 18.04.6 LTS (Bionic Beaver) λόγω της σταθερότητας της την δεδομένη στιγμή.

Το ROS Melodic Morenia είναι η δωδέκατη κυκλοφορία διανομής ROS και κυκλοφόρησε στις 23 Μαΐου 2018. Το ROS Melodic Morenia στοχεύει κυρίως στην έκδοση του Ubuntu 18.04, αν και άλλα συστήματα Linux καθώς και Mac OS X, Android και Windows υποστηρίζονται σε κάποιο βαθμό.



Εικόνα 55. Ubuntu 18.04.6 LTS (Bionic Beaver)



Εικόνα 56. Διανομή ROS.

5.4.2 Προετοιμασία του SBC

Αρχικά γράφεται η εικόνα στην κάρτα microSD του Jetson Xavier NX Developer Kit. Για την προετοιμασία της κάρτα microSD, θα χρειαστεί ένας υπολογιστή με σύνδεση στο διαδίκτυο και δυνατότητα ανάγνωσης και εγγραφής καρτών SD, είτε μέσω ενσωματωμένης υποδοχής κάρτας SD είτε μέσω προσαρμογέα.

- Λήψη του Jetson Xavier NX Developer Kit Image Card SD από τη σελίδα JetPack SDK.
- Εγγραφή της εικόνας στην κάρτα microSD ακολουθώντας τις οδηγίες ανάλογα με τον τύπο του υπολογιστή που χρησιμοποιείται (Windows).

Αφού η κάρτα microSD είναι έτοιμη, πραγματοποιείται η ρύθμιση του Jetson Xavier NX Developer Kit για την ρύθμιση και την πρώτη εκκίνηση.

Παρακάτω τα βήματα της εγκατάστασης:

- Τοποθέτηση της κάρτα microSD (με την εικόνα συστήματος ήδη γραμμένη σε αυτήν) στην υποδοχή στην κάτω πλευρά της μονάδας Jetson Xavier NX.
- Ενεργοποίηση και σύνδεση της οθόνης του υπολογιστή.
- Σύνδεση το πληκτρολόγιο και το ποντίκι USB.
- Σύνδεση με την τροφοδοσία 19VDC. Το Jetson Xavier NX Developer Kit θα ενεργοποιηθεί και θα εκκινηθεί αυτόματα.

Με την πρώτη εκκίνηση, μια πράσινη λυχνία LED δίπλα στην υποδοχή Micro-USB θα ανάψει μόλις ενεργοποιηθεί το Developer Kit. Όταν γίνει εκκίνηση την πρώτη φορά, το Jetson Xavier NX Developer Kit θα μεταφερθεί σε ορισμένες αρχικές ρυθμίσεις:

- Έλεγχος και αποδοχή της EULA του λογισμικού NVIDIA Jetson.
- Επιλογή της γλώσσας συστήματος, διάταξη πληκτρολογίου και ζώνη ώρας.
- Σύνδεση σε ασύρματο δίκτυο.
- Δημιουργία ονόματος χρήστη, κωδικού πρόσβασης και ονόματος υπολογιστή.
- Σύνδεση

5.4.3 Προγραμματισμός

Παρακάτω καταγράφονται αναλυτικά τα βήματα για την εγκατάσταση της ρομποτικής πλατφόρμας ROS και των αισθητήρων του οχήματος.

ROS Installation Melodic

Jetson Zoo https://elinux.org/Jetson_Zoo

Wiki ROS (Recommended) <http://wiki.ros.org/melodic/Installation/Ubuntu>

Configure your Ubuntu repositories

```
$sudo apt-add-repository universe
$sudo apt-add-repository multiverse
$sudo apt-add-repository restricted
```

Setup your sources.list

```
$sudo sh -c 'echo "deb http://packages.ros.org/ros/ubuntu $(lsb_release -sc) main"
> /etc/apt/sources.list.d/ros-latest.list'
```

Setup your keys

```
$curl -s https://raw.githubusercontent.com/ros/rosdistro/master/ros.asc | sudo apt-
key add -
```

Installation

```
$sudo apt update
```

Desktop-Full Install: (Recommended)

```
$sudo apt install ros-melodic-desktop-full
```

Find available packages, use:

```
$apt search ros-melodic
```

Environment setup

```
$echo "source /opt/ros/melodic/setup.bash" >> ~/.bashrc
source ~/.bashrc
```

Δημιουργία *catkin_ws*

```
$mkdir catkin_ws  
$cd catkin_ws  
$mkdir src  
$catkin_make  
$ls  
$cd src
```

RPLidar installation

Slamtec https://github.com/slamtec/rplidar_ros

Package installation

```
$cd catkin_ws  
$cd src  
$git clone https://github.com/Slamtec/rplidar_ros.git  
$cd..  
$catkin_make  
$cd..  
$sudo chmod 666 /dev/ttyUSB0  
$roscore  
$source ~/catkin_ws/devel/setup.bash  
$roslaunch rplidar_ros view_rplidar_s1.launch
```

To invert the laser beam change the parameter:

- 1) ~/catkin_ws/src/rplidar_ros/launch/rplidar_s1.launch
- 2) <param name="inverted" type="bool" value="true" />

ira_laser_tools

iralabdisco https://github.com/iralabdisco/ira_laser_tools

Package installation

```
$cd catkin_ws  
$cd src  
$git clone https://github.com/iralabdisco/ira_laser_tools.git  
$cd..  
$catkin_make
```


Azure Kinect SDK Installation

Microsoft https://github.com/microsoft/Azure_Kinect_ROS_Driver

Adding Microsoft repository

```
$curl https://packages.microsoft.com/keys/microsoft.asc | sudo apt-key add -  
$sudo apt-add-repository https://packages.microsoft.com/ubuntu/18.04/multiarch/prod  
$sudo apt-get update
```

Driver installation

```
$wget https://packages.microsoft.com/config/ubuntu/18.04/packages-microsoft-  
prod.deb  
$sudo dpkg -i packages-microsoft-prod.deb  
$sudo apt-get update  
  
$sudo apt-get install k4a-tools  
  
$sudo apt install libk4a1.4-dev
```

Nano editor installation

```
$sudo apt install nano
```

Rules setup

```
$cd /etc/udev/rules.d/  
$sudo nano 99-k4a.rules
```

```
# Bus 002 Device 116: ID 045e:097a Microsoft Corp. - Generic Superspeed USB Hub  
# Bus 001 Device 015: ID 045e:097b Microsoft Corp. - Generic USB Hub  
# Bus 002 Device 118: ID 045e:097c Microsoft Corp. - Azure Kinect Depth Camera  
# Bus 002 Device 117: ID 045e:097d Microsoft Corp. - Azure Kinect 4K Camera  
# Bus 001 Device 016: ID 045e:097e Microsoft Corp. - Azure Kinect Microphone Array  
  
BUS!="usb", ACTION!="add", SUBSYSTEM!="usb_device", GOTO="k4a_logic_rules_end"  
  
ATTRS{idVendor}=="045e", ATTRS{idProduct}=="097a", MODE="0666", GROUP="plugdev"  
ATTRS{idVendor}=="045e", ATTRS{idProduct}=="097b", MODE="0666", GROUP="plugdev"  
ATTRS{idVendor}=="045e", ATTRS{idProduct}=="097c", MODE="0666", GROUP="plugdev"  
ATTRS{idVendor}=="045e", ATTRS{idProduct}=="097d", MODE="0666", GROUP="plugdev"  
ATTRS{idVendor}=="045e", ATTRS{idProduct}=="097e", MODE="0666", GROUP="plugdev"  
  
LABEL="k4a_logic_rules_end"
```

Run the program

```
$k4aviewer
```

Package installation

```
$cd catkin_ws  
$cd src  
$git clone https://github.com/microsoft/Azure_Kinect_ROS_Driver.git  
$cd..  
$catkin_make
```

openCV installation

```
$git clone https://github.com/MartinNieves/vision_opencv.git  
$cd vision_opencv/  
$git checkout compile_oCV4  
$cd ../  
$cd ../  
$catkin_make
```

Launch azure_kinect_ros_driver

```
$source ~/catkin_ws /devel/setup.bash  
$roslaunch azure_kinect_ros_driver driver.launch
```

Graphical user interface

```
$roslaunch rqt_gui rqt_gui
```

Installing other packages

Installing packages

```
sudo apt install ros-melodic-joint-state-publisher-gui  
sudo apt install ros-melodic-robot-state-publisher  
sudo apt install ros-melodic-ros-control  
sudo apt install ros-melodic-laser-filters
```

Navigation installation

```
cd catkin_ws/src  
git clone https://github.com/ros-planning/navigation.git  
cd ..  
sudo apt-get install libstdc++11-dev  
sudo apt-get install libstdc++6  
sudo apt install ros-melodic-tf2-sensor-msgs  
sudo apt install ros-melodic-move-base-msgs  
catkin_make
```

GMCL installation

```
cd catkin_ws/src  
git clone https://github.com/adler-1994/gmcl.git  
cd ..  
catkin_make
```

BLDC motor driver installation

```
cd catkin_ws/src
git clone https://github.com/chiprobotics/chip_bldc_driver.git
git clone https://github.com/wjwwood/serial.git
cd ..
catkin_make
```

teb_local_planner installation

```
cd catkin_ws/src
git clone https://github.com/rst-tu-dortmund/teb_local_planner/tree/melodic-devel
sudo apt install ros-melodic-costmap-converter
sudo apt install ros-melodic-mbf-costmap-core
sudo apt install ros-melodic-mbf-msgs
sudo apt-get install -y libsuitesparse-dev
sudo apt install ros-melodic-lib2go
cd ..
catkin_make
```

gmapping installation

```
cd catkin_ws/src
git clone https://github.com/ros-perception/slam_gmapping.git
cd ..
sudo apt install ros-melodic-openslam-gmapping
catkin_make
arduino libraries
sudo apt-get install ros-melodic-rosserial-arduino
sudo apt-get install ros-melodic-rosserial
roslaunch rosserial_arduino make_libraries.py ~/sketchbook/libraries
```

Serial port becomes permanent

```
sudo chown xavo:dialout -R /dev/
```

Launch files

```
roslaunch raymule_description display.launch
roslaunch raymule_base hw_control.launch
roslaunch rosserial_python serial_node.py _port:=/dev/ttyACM0 _baud:=57600
roslaunch raymule_laser lasers.launch
roslaunch azure_kinect_ros_driver driver.launch
mapping roslaunch gmapping slam_gmapping scan:=scan
teleop roslaunch raymule_nav teleop.launch
```

Κεφάλαιο 6 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

6.1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί ένα συνολικό έργο μελέτης, σχεδίασης και υλοποίησης ενός αυτόνομου ρομποτικού οχήματος. Αρχικά έγινε μηχανολογική ανάλυση της κατασκευής του αμαξώματος του συστήματος οδήγησης και του ανυψωτικού μηχανισμού. Έπειτα αναλύθηκαν ηλεκτρολογικά τα συστήματα ελέγχου, τα αισθητήρια όργανα και η παροχή ενέργειας. Τέλος στην ενότητα των ηλεκτρονικών παρουσιάστηκε ο κώδικας με τον οποίο προγραμματίστηκε η υπολογιστική μονάδα.

6.2 Αποτελέσματα

Υπάρχουν τέσσερις παράγοντες που επηρέασαν την υλοποίηση του έργου:

- Τις προδιαγραφές που τέθηκαν για την υλοποίηση του ρομποτικού οχήματος (κεφ.1)
- Την κατανόηση τις αρχιτεκτονικής των υφισταμένων ρομποτικών οχημάτων τεχνολογίας αιχμής (κεφ.2).
- Τις προσφερόμενες λύσεις από την θεωρητική μελέτη (κεφ.3)
- Τους περιορισμούς από την ερευνητική μεθοδολογία κατά την έρευνα αγοράς (κεφ.4)

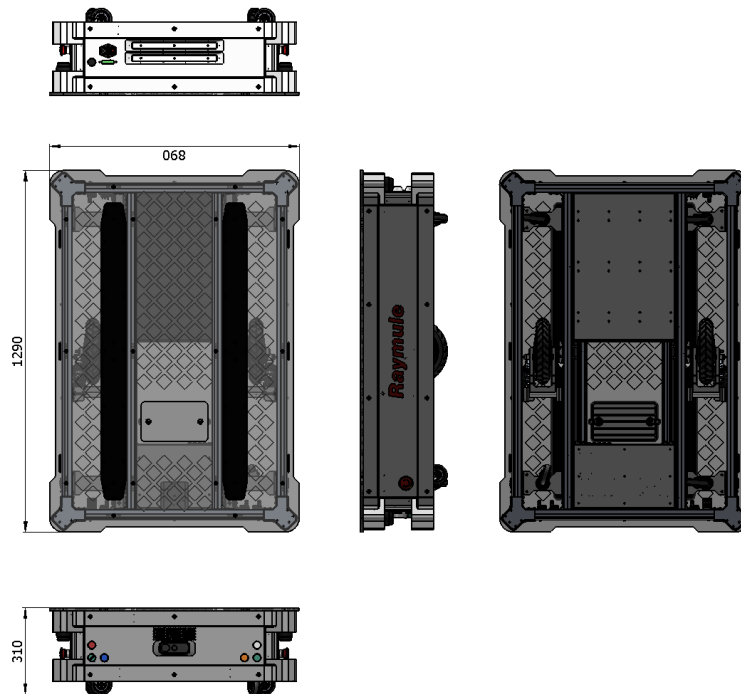
Σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα αυτόνομο ρομποτικό όχημα με δύο κινητήρες ενσωματωμένους στους τροχούς του οχήματος, διαφορικής οδήγησης με αποσβεστήρες και τέσσερις περιστρεφόμενους βοηθητικούς τροχούς για στήριξη. Οι κινητήριοι τροχοί είναι DC μόνιμων μαγνητών χωρίς ψήκτες, διαμέτρου 8 ιντσών, (BLDC motors τύπου Hub). **Οι κινητήρες έχουν την δυνατότητα να κινηθούν με ελεγχόμενο αριθμό στροφών ή ροπής ενώ το ρομποτικό όχημα έχει την δυνατότητα να κινηθεί με ταχύτητές από 0,5 έως 2 m/sec.**

Το αμάξωμα έχει εξωτερικές διαστάσεις 1290x890x310mm LxWxH. Το συμπέρασμα που προκύπτει από την κατασκευή του αμαξώματος είναι ότι πρόκειται για μια ευέλικτη κατασκευή που **μπορεί να υπερπηδήσει με ευκολία ράμπες και κανάλια** διαφοράς ύψους 20mm και πλάτους 15mm. **Η δυνατότητα ανύψωσης και μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου είναι 200kg περίπου.**

Για την ασφαλή πλοήγηση χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρες λέιζερ και μια στερεοσκοπική κάμερα που αποσκοπούν στον εντοπισμό και στην αποφυγή εμποδίων. **Παρατηρήθηκε ότι εύρος ανάλυσης των αισθητήρων λέιζερ δεν αλλάζει ακόμη και σε μεγάλες αποστάσεις υπό το φως της ημέρας, ενώ εξακολουθεί να είναι σταθερό και ακριβές στην υψηλή ανάλυση χαρτογράφησης ακόμα και σε εξωτερικό περιβάλλον.** Οι αισθητήρες Hall συμβάλουν στην οδήγηση των κινητήρων αλλά και στην λήψη δεδομένων οδομετρίας μαζί με έναν αισθητήρα IMU. **Οι αισθητήρες Hall έχουν χαμηλή ανάλυση περί τις 4 μοίρες, ωστόσο η χρήση IMU εξομαλύνει την μεγάλη απόκλιση.**

Για την παροχή ενέργειας του ρομποτικού οχήματος επιλέχτηκε μια μπαταρία λιθίου φωσφορικού σιδήρου (LiFePO₄) τάσης 36VDC και χωρητικότητας 100Ah με πάνω από 3.000 κύκλους ζωής. Η μπαταρία παρέχει επαρκή ισχύ για τους κινητήρες, τα ηλεκτρονικά και τους αισθητήρες. **Ο τυπικός χρόνος λειτουργίας χωρίς φορτίο είναι περίπου 12,5 ώρες. Ο τυπικός χρόνος εκτέλεσης με πλήρη φόρτωση είναι περίπου 9 ώρες.** Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο εκτέλεσης είναι η ταχύτητα, η επιτάχυνση, ο χρόνος αδράνειας στις τοποθεσίες στόχου, το ωφέλιμο φορτίο και η ισχύς που καταναλώνουν τα αξεσουάρ.

Για τον αυτόματο έλεγχο του οχήματος εγκαταστάθηκε ένας μικροελεγκτής Arduino Mega 2560 Rev3 και μια μονάδα NVIDIA® Jetson Xavier NX™ Developer Kit που διαθέτει απόδοση υπερυπολογιστή αιχμής. Με τον Arduino Mega 2560 Rev3 ελέγχεται στο σύστημα ανύψωσης και οι λυχνίες ένδειξης κατάστασης. Οι αισθητήρες και ο οδηγός των κινητήρων συνδέονται στον Jetson με USB 3.0 και επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω της πλατφόρμας του ROS. **Η απόδοση του Jetson φαίνεται να παραμένει σταθερή σε λειτουργία με 6 πυρήνες στα 20W κατανάλωση.**



Εικόνα 57. Όψεις και διαστασιολόγηση του οχήματος.

6.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Τα κύρια σημεία συμβολής της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας περιγράφονται παρακάτω:

- Αναπτύχθηκε νέο λογισμικό οδήγησης BLDC κινητήρων για εφαρμογή διαφορική οδήγηση.
- Αναπτύχθηκε συμβατό λογισμικό ώστε να είναι δυνατή η αυτόνομη κίνηση ρομποτικού οχήματος.
- Σχεδιασμός και υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου αυτόνομου ρομποτικού οχήματος.
- Η παρούσα εργασία πιθανόν να αποτελέσει αναφορά για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη εφαρμογών στην εξέλιξη των ρομποτικών οχημάτων.

Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα και μελλοντική επέκταση

7.1 Συμπεράσματα

Συγκρίνοντας τις προδιαγραφές του έργου όπως αυτές αναφέρονται στα προηγούμενα κεφάλαια με το ρομποτικό όχημα που υλοποιήθηκε, είναι φανερό ότι το προϊόν είναι γενικά επιτυχές στην ολοκλήρωσή του. Αν και σε γενικές γραμμές ο σχεδιασμός του αμαξώματος του ρομποτικού οχήματος είναι πολύπλοκος και απαιτεί εξειδικευμένα εργαλεία, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι εύκολο να βρεθεί στην παγκόσμια αγορά. Το συνολικό κόστος υλοποίησης του προϊόντος είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με παρόμοια αυτόνομα ρομποτικά οχήματα της αγοράς.

Εξετάστηκαν αναλυτικά όλα τα τμήματα του ρομποτικού οχήματος καταλήγοντας σε μια σειρά από συμπεράσματα και παρατηρήσεις:

Ξεκινώντας από το σύστημα παροχής ενέργειας, με την επιλογή της συγκεκριμένης μπαταρίας καλύφθηκαν οι όροι των προδιαγραφών της αυτονομίας του οχήματος. Οι μπαταρίες ως αναλώσιμο υλικό ενδέχεται να αντικατασταθούν στην διάρκεια ζωής του ρομποτικού οχήματος. Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του τύπου μπαταριών είναι η διαδεδομένη χρήση στον χώρο της ρομποτικής και υπάρχουν σε πληθώρα στο εμπόριο. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι η μπαταρία πωλείται ως ολοκληρωμένο πακέτο, με ενσωματωμένη πλακέτα συστήματος διαχείρισης και συμπεριλαμβανόμενο φορτιστή στην συσκευασία.

Το μοναδικό μειονέκτημα που παρατηρήθηκε είναι ο χρόνος φόρτισης λόγω της μεγάλης χωρητικότητας της μπαταρίας.

Συνεχίζοντας με την επιλογή των κινητήριων τροχών, με την χρήση του συγκεκριμένου τύπου ηλεκτρικών κινητήρων ένα πλεονέκτημα είναι ότι απλοποιήθηκε 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. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι ο έλεγχος της κίνησης τους πραγματοποιείται απλά μέσω του οδηγού κινητήρα ενώ υπάρχει δυνατότητα εκμετάλλευσης του αισθητήρα που περιέχουν για την άντληση δεδομένων σχετικά με την κίνηση τους. Τέλος χάρη στην απλότητα της κατασκευής τους και την χρήση τους σε πληθώρα εφαρμογών το κόστος είναι αρκετά χαμηλό.

Κάποια σημαντικά μειονεκτήματα που εντοπίστηκαν κατά την εφαρμογή των συγκεκριμένων κινητήρων είναι η έλλειψη ακρίβειας στον τρόπο οδήγησής τους καθώς με ίδια τάση ελέγχου οι κινητήρες να λαμβάνουν διαφορετικές ταχύτητες. Όταν ο κινητήρας δέχεται μηδενική τάση περιστρέφεται ελεύθερα και μπορεί να παρασυρθεί από το φορτίο ενώ η χρονική απόκριση του ηλεκτρονικού φρένου είναι αργή. Τα σήματα των αισθητήρων hall εναλλάσσονται με ακρίβεια τις φάσεις του κινητήρα αλλά η ανάδραση τους για την οδομετρία δεν έχουν μεγάλη ακρίβεια μιας και κάθε θετικός παλμός αντιστοιχεί σε 42mm.

Ως αναφορά το κομμάτι του προγραμματισμού και του ελέγχου του οχήματος, χρησιμοποιήθηκαν τεχνολογίες και πόροι λογισμικού που είναι ελεύθερα διαμοιραζόμενα. Μεγάλο πλεονέκτημα στο πεδίο του ελέγχου αποτέλεσε η χρήση υπολογιστή αιχμής της σειράς Jetson, καθώς ανταποκρίθηκε ικανοποιητικά στις βασικές εργασίες που του ανατέθηκαν.

Ένα μειονέκτημα που παρατηρήθηκε ήταν η αποτυχημένη προσπάθεια δημιουργίας τρισδιάστατου χάρτη σε συνδυασμό με τους αισθητήρες λέιζερ, διότι δεν υπήρχαν αρκετοί πόροι για αυτή την διεργασία.

7.2 Πλεονεκτήματα

Εάν συγκριθεί το αυτόνομο ρομποτικό όχημα που κατασκευάστηκε για χάρη της διπλωματικής εργασίας με αντίστοιχα ρομποτικά οχήματα που διατίθενται στην αγορά, εντοπίζονται αρκετά βελτιωμένα χαρακτηριστικά στα οποία υπερτερεί έναντι αυτών. Είναι αρκετά ρεαλιστικό το σενάριο με τις κατάλληλες προωθητικές ενέργειες να αποτελέσει ένα προσιτό και ανταγωνιστικό προϊόν για την αγορά της ρομποτικής.

- Τα βασικά υλικά κατασκευής του οχήματος είναι κράματα αλουμινίου και προσδίδουν στο αμάξωμα χαμηλό βάρος και υψηλή αντοχή στην ατμοσφαιρική διάβρωση. Συνδυαζόμενα με εξαρτήματα από χάλυβα σε σημεία που απαιτούν μεγάλη μηχανική αντοχή επιτυγχάνεται ένα στιβαρό αμάξωμα ικανό να φέρει μεγάλα φορτία.
- Επιπλέον όλα τα εξαρτήματα είναι βαφόμενα ηλεκτροστατικά με ημιγυαλιστερή και λεπτά κοκκοποιημένη πούδρα για μειωμένη ηλεκτρική αγωγιμότητα και αυξημένη αντοχή στις εξωτερικές συνθήκες.
- Το βασικό πλαίσιο του αμαξώματος αποτελείται από διαμήκη προφίλ αλουμινίου με τέσσερα κανάλια στερέωσης στο μήκος του. Αυτό δίνει την δυνατότητα της εύκολης αναπροσαρμογής των φερόμενων εξαρτημάτων στο αμάξωμα ώστε να καλύπτεται ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών.
- Η χρήση πολλαπλών ελεγκτών για χαμηλό και υψηλό επίπεδο ενισχύει με μεγάλη υπολογιστική ικανότητα το ρομποτικό όχημα εκτελώντας τις διεργασίες που του έχουν ανατεθεί με σχετική ευκολία. Επιπλέον η χρήση λειτουργικού συστήματος ανοικτού κώδικα και η λειτουργία του σε περιβάλλον ROS δίνουν την δυνατότητα εξέλιξης και προσαρμοστικότητας.
- Κλείνοντας, το χαμηλό κόστος υλοποίησης του ρομποτικού οχήματος το καθιστά προσιτό σε μια μεγάλη μερίδα καταναλωτών, τόσο στην εκπαιδευτική κοινότητα όσο και στον επαγγελματική αγορά.

7.3 Μελλοντική επέκταση

Το ρομποτικό όχημα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει την δυνατότητα βελτίωσης και επέκτασης βάσει των παρακάτω προτάσεων, όσον αφορά την μηχανολογική κατασκευή, τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό και τον αλγοριθμικό σχεδιασμό. Συγκεκριμένα, προτείνεται:

- Ανασχεδίαση των σημείων πρόσβασης των συστημάτων ελέγχου και της μπαταρίας για την ευκολότερη αντικατάσταση εξαρτημάτων σε περίπτωση συντήρησης.
- Αλλαγή της ρομποτικής πλατφόρμας στην νέα έκδοση ROS 2 διότι έχει βελτιωμένη αρχιτεκτονική και υποστηρίζει βιομηχανικά πρωτόκολλα.
- Αύξηση της υπολογιστικής ισχύος του συστήματος ελέγχου με την χρήση ισχυρότερου υπολογιστή αιχμής της σειράς Jetson της NVidia ή της σειράς Xilinx της AMD.
- Προσθήκη μηχανικής πέδης με ηλεκτρικό έλεγχο προσαρμοσμένο στο ψαλίδι του τροχού για την ακινητοποίηση κατά την στάθμευση.
- Βελτίωση της συμπεριφοράς του συστήματος αυτόνομης πλοήγησης, μέσω της αναβάθμισης του των εγκατεστημένων πακέτων της ρομποτικής πλατφόρμας.
- Προσθήκη αισθητήρων υπέρυθρων μπροστά από τους περιστροφικούς τροχούς για τον υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς σε δάπεδα με κανάλια και ράμπες.
- Εγκατάσταση ενός πακέτου ROS βάσης διαχείρισης στόλου, σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα από ένα AMR, η οποία βάση είναι διαχειριζόμενη μέσω του τοπικού δικτύου.
- Προσθήκη σταθμών αυτόνομης παραλαβής και παράδοσης αγαθών.
- Εγκατάσταση κατάλληλου πακέτου ROS αυτόνομης φόρτισης και δημιουργία σταθμών φόρτισης.

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, Operating Manual Mobile robot MP-400, (<https://www.neobotix-robots.com>)
- [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] Χ. Α. Μαδεμλής, Σερβοκινητήρια Συστήματα – επαγωγικοί κινητήρες και σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, Εκδόσεις Τζιόλα, (2010)
- [9] Σ. Τσοτουλίδης, Αθανάσιος Σαφάκας, Εξελιξείς 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] DC-DC Converter Step-Down 5V 3A – USB, (<https://grobotronics.com/step-down-dc-dc-converter-5v-3a-usb.html>)
- [15] LM 7809 three terminal Voltage regulator, (http://www.farnell.com/datasheets/2287645.pdf?_ga=2.247869444.2058108993.1545841824.1254488912.1545841824)
- [16] 8 Inch Smart Self Balance Green Energy 82% Efficiency Hub Motor, (<https://czjqjd.en.made-in-china.com/product/MvTnfbxOCwki/China-8-Inch-SmartSelf-Balance-Green-Energy-82-Efficiency-Hub-Motor.html>)
- [17] BLDC Motor Brushless Speed Controller 36V With Hall E-Brake Sensor Reverse 13A 6 Mosfet, (<https://www.aliexpress.com/item/Electric-Bicycle-BLDCMotor-Brushless-Speed-Controller-250W-350W-24V-36V-48V-DC-With-HallE/32878852261.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.27124c4deekx0f>)

- [18] DM 74LS14 Hex Inverter with Schmitt Trigger Inputs, (<http://ee-classes.usc.edu/ee459/library/datasheets/DM74LS14.pdf>)
- [19] Sensored 3-Phase BLDC Motor Control Using MSP430, (<http://www.ti.com/lit/an/slaa503/slaa503.pdf>)
- [20] Α. Ν. Σαφάκας, "Ηλεκτρικές Μηχανές Β", Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, (2009)
- [21] Κ. Αλέξης, Switzerland. Κ. Βαλαβάνης. Ε. Κελασίδη. Γ. Νικολακόπουλος, Α. Τζές,. Ρομποτικά Συστήματα για Σκοπούς Εξερεύνησης και Διάσωσης. Ίδρυμα Σ. Νιάρχος, (Δεκέμβριος 2011)
- [22] Ulrich Nehmzow Mobile Robotics: Research, Applications and Challenges Department of Computer Science the University of Manchester
- [23] 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)
- [24] Rajesh Singh Shekhawat. Controlled Robotic Car, Department of Electrical Engineering IJET, Kurukshetra University, (2016)
- [25] Technology Conference Singapore, Simple Mobile Robots for Introduction into Engineering, International Instrumentation and Measurement, Singapore, (5-7 May 2009)
- [26] 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)
- [27] Τάσεις και Προβλέψεις αγοράς, 2019 – 2024, αυτόνομων Κινητών Ρομπότ κατά Τύπο, Τελικό, Χρήση και Περιοχή – Ανάπτυξης, (2018), (<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/autonomous-mobile-robot-market>)