



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Διπλωματική Εργασία

Σχεδίαση και Ανάπτυξη του Αυτοκινούμενου Οχήματος Hellenak



Γεώργιος Κ. Καλουτσάκης
Επιβλέπων καθηγητής
Νικόλαος Τσουρβελούδης

Χανιά 2003

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί για τον υποφαινόμενο την ολοκλήρωση των σπουδών για το δίπλωμα του Μηχανικού Παραγωγής και Διοίκησης από το ομώνυμο τμήμα του Πολυτεχνείου Κρήτης. Πέραν των ατόμων που βοήθησαν στην ολοκλήρωση των σπουδών μου όλα αυτά τα χρόνια, θα ήθελα σε αυτό το σημείο να ευχαριστήσω αυτούς όσους με βοήθησαν να περατώσω τη συγκεκριμένη εργασία.

Πρώτα από όλους ευχαριστώ πολύ τον επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Τσουρβελούδη Νικόλαο για την υποστήριξη και το όραμα του, τα οποία ήταν καθοριστικά για την διεξαγωγή του έργου. Σημαντική ήταν η υποστήριξη του καθηγητή Δρ.Βαλαβάνη Κίμωνα, τον οποίο θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερος για την συμβολή του στην επιλογή μου ως μεταπτυχιακού φοιτητή από Αμερικανικά Πανεπιστημιακά Ιδρύματα. Επίσης νιώθω βαθύτατα υποχρεωμένος στον καθηγητή Δρ. Νικολό Ιωάννη για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχε στην σχεδίαση και κατασκευή του αυτοκινούμενου οχήματος Hellenak.

Ευχαριστώ τους φίλους μου Κοψιδά Σπύρο και Κυραλάκη Λευτέρη και Κώστα .Κουτσούκο για την συνεχή τους βοήθεια και υποστήριξη.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζω στον υποψήφιο διδάκτωρ Δοϊτσίδα Λευτέρη, χωρίς την βοήθεια του οποίου, το όχημα Hellenak δεν θα είχε εξελιχθεί σε αυτό το σημείο. Ευχαριστώ επίσης για την βοήθεια τους, τον Δρ.Δ.Κουλουριώτη, τον Μ.Κοντίτση τον Χ.Σπανουδάκη και τους Κους Χαιρέτη, Πιπερίδη, Στραβατζάκη και Μαραβελάκη.

Η εργασία αυτή αφιερώνεται δικαιωματικά στην οικογένεια μου και ιδιαίτερα σε αυτούς που εργάστηκαν σκληρά για την πρόοδο και τη συνοχή της.

Καλουτσάκης Κ. Γεώργιος
Κρήτη 2003

Αφιερωμένη στον

Κώστα Α. Πετρόπουλο

*“αναντρανίζω στους καημούς
στο φρούδι σοπατίζω
εκεί που ανέβηκες εσύ
ψηλά κι εγώ θα ζήσω”*

Πίνακας Περιεχομένων

<u>1</u>	<u>Εισαγωγή</u>	<u>5</u>
1.1	Πρόλογος	5
1.1.1	Αυτοκινούμενα βιομηχανικά οχήματα	5
1.2	Περιγραφή του προβλήματος	6
1.3	Δομή της διπλωματικής	7
<u>2</u>	<u>Σχεδιασμός και Κατασκευή Αυτοκινούμενου Οχήματος</u>	<u>9</u>
2.1	Σχεδιομελέτη με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή	9
2.1.1	Σύστημα Σχεδίασης	9
2.2	Σχεδίαση Αυτοκινούμενης Πλατφόρμας	10
2.3	Κατασκευή Πρωτοτύπου	14
<u>3</u>	<u>Λειτουργικά Στοιχεία</u>	<u>16</u>
3.1	Εισαγωγή	16
3.2	Ενέργεια	17
3.2.1	Ενεργειακές Απαιτήσεις	17
3.2.2	Διαμόρφωση Συστήματος	18
3.2.3	Έρευνα αγοράς συσσωρευτών	18
3.2.4	Μπαταρίες Οχήματος	19
3.3	Υπολογιστική μονάδα ελέγχου	21
3.4	Κινητήρες συνεχούς ρεύματος	22
3.4.1	Επιλογή Σερβοκινητήρα	22
3.4.2	Οδηγοί κινητήρων	23
3.4.3	Ο Οδηγός MD03 [6]	23
3.5	Οδόμετρα	25
3.5.1	Περιγραφή Οδομέτρων HEDS[7]	26
3.5.2	Θεωρία της λειτουργίας	26
3.5.3	Επεξεργασία Αποτελεσμάτων Οδομέτρου	28
3.6	Αισθητήρια απόστασης	29
3.6.1	Φωτοηλεκτρικά αισθητήρια	30
3.6.2	Ο αισθητήρας SM912D	31
3.6.3	Τοποθέτηση φωτοηλεκτρικών αισθητήριων στο όχημα Hellenak	32
3.7	Πηδάλιο Πλοήγησης	32
3.8	Ψηφιακή κάμερα	34

3.9	Κάρτα Ελέγχου	34
4	<u>Κινηματική</u>	<u>36</u>
4.1	Εισαγωγή	36
4.2	Μετακίνηση	36
4.3	Έντροχα κινούμενα ρομπότ	37
4.4	Κινηματική αυτοκινούμενης πλατφόρμας Hellenak	47
5	<u>Αποφυγή Εμποδίων</u>	<u>50</u>
5.1	Εισαγωγή	50
5.2	Σύστημα στάσιμων sonar	50
5.2.1	Sonar, θεωρία και σύστημα	50
5.2.2	Μεθοδολογία	51
5.2.3	Πλεονεκτήματα	52
5.2.4	Περιορισμοί	52
5.3	Σύστημα Περιστρεφόμενου sonar	54
5.3.1	Το σύστημα	54
5.3.2	Μεθοδολογία	55
5.3.3	Πλεονεκτήματα	59
5.3.4	Περιορισμοί	59
5.4	Σύστημα Ανιχνευτών Απόστασης λέιζερ	60
5.4.1	Η θεωρία & το σύστημα ανιχνευτών λέιζερ	60
5.4.2	Μεθοδολογία	62
5.4.3	Πλεονεκτήματα	65
5.4.4	Περιορισμοί	65
5.5	Η μήτρα σύγκρισης των μεθόδων	65
6	<u>Αξιολόγηση – Συμπεράσματα</u>	<u>68</u>
6.1	Αξιολόγηση	68
6.1.1	Λογισμική Πλατφόρμα Κίνησης	69
6.1.2	Αλγόριθμος χαρτογράφησης κίνησης	70
6.2	Συμπεράσματα	74
7	<u>Βιβλιογραφία</u>	<u>75</u>

Λίστα εικόνων

Εικόνα 2-1 Απεικονίσεις μοντέλου πλαισίου	10
Εικόνα 2-2 Απεικόνισης μοντέλου αυτοκινούμενου οχήματος	11
Εικόνα 2-3 Απεικόνισης τελικού μοντέλου σασί	12
Εικόνα 2-4 Απεικονίσεις τελικής μορφής οχήματος	13
Εικόνα 2-5 Το Hellenak σε Εικονικό Βιομηχανικό Περιβάλλον	14
Εικόνα 2-6 Το όχημα αμέσως μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του.....	15
Εικόνα 3-1 Δομικό διάγραμμα	17
Εικόνα 3-2 α. Διάγραμμα αποθηκευτικής ικανότητας-θερμοκρασίας, β. Τοποθέτηση μπαταριών και UPS στο εσωτερικό του οχήματος Hellenak	20
Εικόνα 3-3 Τοποθέτηση κινητήρων-τροχών στο όχημα Hellenak	23
Εικόνα 3-4 Είσοδοι/ Έξοδοι οδηγού MD03	24
Εικόνα 3-5 Σύνδεση οδηγού κινητήρων στο σύστημα.....	25
Εικόνα 3-6 Όψεις των οδομέτρων HEDS	26
Εικόνα 3-7 α. Δομικό διάγραμμα, β. Σήμα εξόδου	27
Εικόνα 3-8 Όψεις κωδικοποιημένου δίσκου	28
Εικόνα 3-9 Ζεύγος αισθητηρίων υπερήχων με τον οδηγό τους	29
Εικόνα 3-10 Αρχή λειτουργίας αισθητηρίων	30
Εικόνα 3-11 Διάγραμμα λειτουργίας αισθητήρων SM912D.....	31
Εικόνα 3-12 α. Διαμόρφωση αισθητηρίων στην πλατφόρμα Hellenak, β. Διαστάσεις αισθητηρίου, γ, δ. Όψεις των αισθητηρίων στην πλατφόρμα.	32
Εικόνα 3-13 Εσωτερικό πεδαλίων	33
Εικόνα 3-14 Κάρτες ελέγχου του οχήματος Hellenak	35
Εικόνα 4-1. Πλάγια όψη και άνω όψη μιας εξιδανικευμένης κυλιόμενης ρόδας.....	38
Εικόνα 4-2 Στην πρώτη διαμόρφωση τριών τροχών υπάρχει το ICC ενώ στην δεύτερη όχι, έτσι το όχημα με την πρώτη διαμόρφωση μπορεί να εκτελέσει περιστροφική κίνηση, το δεύτερο όχι.	39
Εικόνα 4-3 Ο έλεγχος οχήματος διαφορικής κίνησης γίνεται με έλεγχο της ταχύτητας κάθε τροχού.....	40
Εικόνα 4-4 Διαμόρφωση οχήματος συγχρονισμένης κίνησης	44
Εικόνα 4-5 Κινηματική διάταξη τρικύκλου	46
Εικόνα 4-6 Κινηματική διάταξη οχήματος Hellenak	48
Εικόνα 6-1 Κίνηση του Hellenak σε ευθεία	71
Εικόνα 6-2 Κίνηση του Hellenak σε ευθεία με μεγέθυνση στον άξονα YY	72

Εικόνα 6-3 Καμπύλη πορεία, κυκλική περιστροφική πορεία	72
Εικόνα 6-4 Δημιουργία ελιγμού από το όχημα Hellenak.....	73
Εικόνα 6-5 Σενέριο αποφυγής εμποδίων με την διεξαγωγή ελιγμού	73
Εικόνα 6-6 α.Το όχημα Hellenak κατά την φάση του πειραματισμού, β., γ. Το όχημα Hellenak σε τελική μορφή.....	74

1 Εισαγωγή

1.1 Πρόλογος

Ρομπότ: **1.** μηχανικό κατασκεύασμα που αναπαράγει τις κινήσεις και γενικά την εξωτερική εμφάνιση των ανθρώπων και των ζώων. **2.** (κυβερνητική) αυτόματο προγραμματισμένο όργανο που υποκαθιστά αυτόνομα τον άνθρωπο σε ορισμένες δραστηριότητες, του χειριού ιδίως κουραστικές, τις επικίνδυνες και τις δαπανηρές, σε ορισμένους τομείς της βιομηχανίας και της επιστημονικής έρευνας. **3.** (μεταφορικά) άτομο που το κατευθύνει τρίτος στις ενέργειες του ή που ενεργεί μηχανικά, χωρίς να σκέφτεται.

Νέο Ελληνικό Λεξικό, Εμμανουήλ Κριαρά

Η ικανότητα της πλοήγησης, με αιτιοκρατικά κριτήρια, είναι βασικό χαρακτηριστικό των περισσότερων ζωντανών οργανισμών και ιδιαίτερα των οργανισμών με ανεπτυγμένη νοημοσύνη. Η προσπάθεια του ανθρώπου για εξέλιξη της παραγωγικής διαδικασίας οδήγησε στην κατασκευή διατάξεων που κινούνται με αιτιοκρατικά αίτια. Μια κατηγορία αυτών των ρομποτικών διατάξεων είναι τα μη επανδρωμένα αυτοκινούμενα οχήματα.

Τα αυτοκινούμενα οχήματα είναι μια σχετικά νέα περιοχή έρευνας που περιλαμβάνει προβλήματα αυτομάτου ελέγχου. Το πεδίο αυτό έρευνας ασχολείται ακόμα με προβλήματα, μηχανικής και ηλεκτρονικής, μηχανολογίας και μηχανουργικής, επιστήμης υπολογιστών και κοινωνικών επιστημών. Δεδομένου ότι τα αυτοκινούμενα οχήματα λειτουργούν μέσα σε ανθρώπινο περιβάλλον προσθέσουμε ότι κατά τον σχεδιασμό και προγραμματισμό τους πρέπει να λαμβάνονται υπ όψη στοιχεία ψυχολογίας (ανθρώπινη συμπεριφορά).[1]

1.1.1 Αυτοκινούμενα βιομηχανικά οχήματα

Το πλεονέκτημα των αυτοματοποιημένων συστημάτων διαχείρισης υλικών – όπως οι μεταφορικές ταινίες ή οι σιδηρόδρομοι – είναι ότι μειώνουν τις δαπάνες εργασίας. Το μειονέκτημα είναι ότι δεν είναι ευέλικτα. Εάν γίνει αλλαγή των σχεδιαγραμμάτων παραγωγής πρέπει να αλλάξει η εσωτερική εγκατάσταση στο εργοστάσιο. Σε τέτοιες περιστάσεις πολλοί τύποι αυτοματοποιημένων συστημάτων διαχείρισης υλικών καταλήγουν σε αχρηστία. Αυτό δεν ισχύει στην περίπτωση των αυτοκινούμενων οχημάτων. Με τις κατάλληλες αλλαγές στον προγραμματισμό των οχημάτων μπορούν αυτά να προσαρμοστούν στα νέα δεδομένα του περιβάλλοντος, επιφέροντας έτσι γρήγορο και χαμηλού κόστους αποτέλεσμα.

Για την πλοήγηση των αυτόματων οδηγούμενων οχημάτων (AGV: Automated Guided Vehicles) χρησιμοποιείται σύστημα αυτόματου ελέγχου. Οι αισθητήρες του οχήματος και η υποδομή στον χώρο δράσης παρέχουν τις μετρήσεις για τη θέση και την ταχύτητα του οχήματος. Αυτές με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται από το σύστημα ελέγχου πλοήγησης. Οι εντολές αυτές θα χρησιμοποιηθούν από τους ενεργοποιητές ρυθμιστικών βαλβίδων/φρένων προκειμένου να ακολουθηθούν συγκεκριμένες τροχιές υπό ελεγχόμενη ταχύτητα.

Τα αυτοκινούμενα οχήματα θεωρούνται ως το πλέον ευέλικτο σύστημα διαχείρισης μεταφοράς υλικών [2]. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από τους μικρούς μεταφορείς φορτίων μερικών χιλιογράμμων ως τους μεταφορείς πέραν των 125-τόνων. Το εργασιακό περιβάλλον των οχημάτων κυμαίνεται από μικρά γραφεία με πάτωμα ταπήτων έως λιμενικές εγκαταστάσεις.

Ένα τυπικό αυτοκινούμενο όχημα αποτελείται από το όχημα, τον ελεγκτή, το σύστημα ελέγχου, το συστήματα επικοινωνιών και το σύστημα πλοήγησης

- Το σύστημα ελέγχου είναι αρμόδιο για τις διαδικασίες εκκίνησης και παύσης των συστημάτων και διατάξεων του οχήματος. Διαχειρίζεται τις λειτουργίες προώθησης, οδήγησης και φρεναρίσματος. Ελέγχει επίσης και ανιχνεύει οποιοδήποτε σφάλμα και εκδίδει τις απαραίτητες εντολές για τη διόρθωση του.
- Το *σύστημα επικοινωνιών* χρησιμοποιείται για να διαβιβάσει δεδομένα από το όχημα στο σύστημα ελέγχου. Αυτές οι πληροφορίες αποτελούνται από τη θέση και τη κατάσταση του οχήματος, την πρόοδο ορισμένης εργασίας και σε κάποιες περιπτώσεις στοιχεία της επόμενης σχεδιασμένης εργασίας.
- Το *σύστημα πλοήγησης* παρέχει οδηγίες και την επιθυμητή πορεία του οχήματος στο περιβάλλον λειτουργίας. Περιέχει το σύστημα αποφυγής συγκρούσεων. Συνδέεται εννοιολογικά με το κεντρικό σύστημα ελέγχου.

1.2 Περιγραφή του προβλήματος

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η λειτουργία της αυτοκινούμενης βιομηχανικής πλατφόρμας Hellenak, με ανοικτή αρχιτεκτονική για περαιτέρω εξέλιξη και προσαρμογή σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Αρχικός στόχος της σχεδίασης ήταν η δυνατότητα μεταφοράς μικτού φορτίου 150kg.

Το πρώτο στάδιο του προβλήματος περιελάμβανε την σχεδίαση του πλαισίου της πλατφόρμας. Η σχεδίαση έπρεπε να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι επιστημονικά τεκμηριωμένη και να δημιουργεί την υποδομή για περαιτέρω εξέλιξη ή και μαζική παραγωγή του υποδείγματος. Για τους λόγους αυτούς η σχεδίαση έγινε με τη χρήση τρισδιάστατης παραμετρικής μοντελοποίησης. Ταυτόχρονα έγινε η επιλογή κινηματικής διαμόρφωσης και η επιλογή των υλικών του πλαισίου.

Σε δεύτερο στάδιο ήταν η κατασκευή του πλαισίου του οχήματος με υλικά διαθέσιμα στην τοπική αγορά.

Στη συνέχεια ακολούθησε η μελέτη προσαρμογής των λειτουργικών στοιχείων στο πλαίσιο του οχήματος. Στα λειτουργικά στοιχεία συμπεριλαμβάνονται διατάξεις όπως κινητήρες, υπολογιστική μονάδα, αισθητήρια, κάρτες ελέγχου, οδηγοί περιφερειακών συσκευών, ψηφιακή κάμερα, πηδάλιο κ.α. Η σύνδεση όλων των συσκευών αποτέλεσε τη μεγαλύτερη πρόκληση καθώς ήταν δύσκολη η συνεργασία τους και παράλληλα η διατήρηση ανοικτής αρχιτεκτονικής.

Στο τελευταίο στάδιο βρίσκεται η δημιουργία υποδομής και βιβλιοθηκών λογισμικού για την κίνηση του Hellenak και τον έλεγχο του οχήματος. Δημιουργήθηκαν συνδέσεις του οχήματος με απομακρυσμένα τερματικά και εκτελέστηκαν αλγόριθμοι κίνησης για την διεξαγωγή συμπερασμάτων.

1.3 Δομή της διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική ξεκινάει εξετάζοντας το πρόβλημα της σχεδίασης και της κατασκευής του οχήματος Hellenak. Εξετάζεται η μεθοδολογία σχεδιομελέτης με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και αναλύεται η σχεδίαση και η κατασκευή του πρωτοτύπου.

Ακολουθεί η παρουσίαση του δομικού διαγράμματος του συστήματος και η ανάλυση των λειτουργικών συσκευών. Για κάθε συσκευή παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο, η λειτουργία και η εγκατάσταση της στο όχημα.

Επόμενο στοιχείο που εξετάζεται είναι η κινηματική των κινούμενων ρομπότ. Παρουσιάζονται κινηματικά πρότυπα καθώς και οι εξισώσεις κίνησης τους. Αναλυτικά παρουσιάζεται και η κινηματική αρχιτεκτονική στην οποία εμπίπτει το Hellenak.

Παραθέτονται οι απαραίτητες εξισώσεις για τον προγραμματισμό του οχήματος. Οι εξισώσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της κίνησης του οχήματος.

Η αποφυγή εμποδίων από το όχημα αναλύεται στο επόμενο χωρίο. Η ανάλυση γίνεται σε θεωρητικό επίπεδο, προτείνοντας τρεις δυνατές λύσεις διαμόρφωσης αισθητηρίων σε αυτό. Γίνεται σύγκριση των μεθόδων και μελετώνται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου.

Η εργασία ολοκληρώνεται με την αξιολόγηση του οχήματος και των δυνατοτήτων του. Τελειώνοντας γίνονται προτάσεις για την εξέλιξη του οχήματος.

2 Σχεδιασμός και Κατασκευή Αυτοκινούμενου Οχήματος

2.1 Σχεδιομελέτη με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή

Ως σχεδιομελέτη με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή ορίζεται η χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του προϊόντος, και ιδιαίτερα στη δημιουργία, μεταβολή, ανάλυση και βελτιστοποίηση της μορφής του προϊόντος [3]. Περιλαμβάνει την τεχνολογία γραφικών, των βάσεων δεδομένων, τη μαθηματική μοντελοποίηση, της προσομοίωσης και του ελέγχου δεδομένων για τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου του προϊόντος

2.1.1 Σύστημα Σχεδίασης

Η σχεδίαση του αυτοκινούμενου οχήματος έγινε με την χρήση του σχεδιαστικού λογισμικού ProEngineer, στις δυνατότητες του οποίου περιλαμβάνονται:

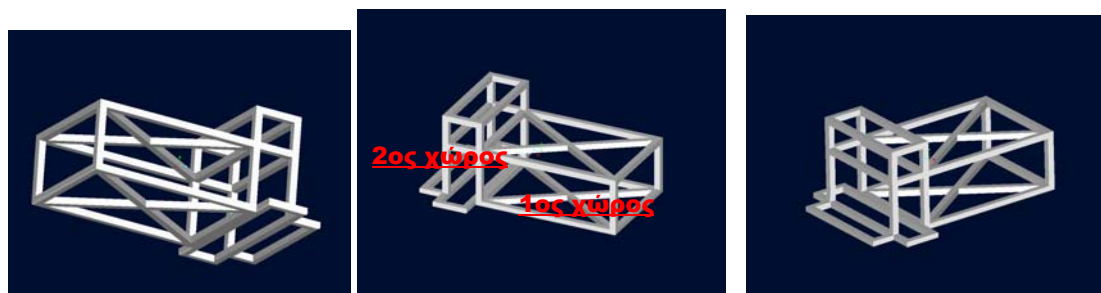
- Ελεύθερη και παραμετρική σχεδίαση. Στο στάδιο της δημιουργίας της ιδέας του προϊόντος δεν απαιτείται το σύστημα να έχει όλη τη λειτουργικότητα που δίνει ένα σύστημα μηχανολογική σχεδίασης, αλλά βασικά εργαλεία για σκίτσο και σχέδιο, εργαλεία επεξεργασίας όλου του σχεδίου ή τμήματος του, και εργαλεία χρωματισμού. Οι πραγματικές δυνατότητες που υπάρχουν στη στερεά μοντελοποίηση παρέχονται εδώ στη δισδιάστατη σχεδίαση.
- Ολοκλήρωση της δισδιάστατης με την τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Πολλά σχέδια προϊόντος μπορούν να παρουσιαστούν σε δύο διαστάσεις. Τα περισσότερα σχέδια απαιτούν όμως τρεις διαστάσεις. Τα συστήματα αυτά παρέχουν ισχυρή και ευέλικτη μοντελοποίηση με ιδιαίτερη έμφαση στην απεικόνιση πολύπλοκων μορφών με επιφάνειες ελεύθερης μορφής και διαμόρφωση μορφής στην πραγματική απεικόνιση του προϊόντος. Τα συστήματα μπορούν να κάνουν χρήση της γεωμετρίας που έχει δημιουργηθεί στις δύο διαστάσεις και δεν απαιτούν επανάληψη της διαδικασίας.

- Κινηματική ανάλυση στις δύο ή στις τρεις διαστάσεις. Είναι απαραίτητο εργαλείο σε αυτά τα συστήματα. Η ανάλυση προϊόντων που απαιτούν κινούμενα αντικείμενα, απαιτούν εργαλεία για την ανάλυση συναρμολόγησης σε συνθήκες λειτουργίας. Η κινηματική ανάλυση είναι απαραίτητη τόσο στην δύο διαστάσεων γεωμετρία, στα πρώτα στάδια της μελέτης, όσο και στην τριών διαστάσεων, σε τελική συναρμολόγηση ή στο ψηφιακό πρωτότυπο. Στην απλή διςδιάστατη ανάλυση ο χρήστης επιλέγει τις γραμμές που συνιστούν ένα σώμα και που κινούνται ταυτόχρονα. Και στις δύο περιπτώσεις πρέπει να μπορεί να ορίζει τις ιδιότητες των συνδέσμων και τις κινήσεις, για να επισκοπήσει όλο το εύρος της κίνησης. Από αυτή την ανάλυση μπορεί να προσδιορίσει το απαιτούμενο χώρο που πρέπει να παρέχεται στα επόμενα στάδια της μελέτης.
- Σύνδεση με τα συστήματα μηχανολογικής σχεδίασης, ώστε οι μελετητές να μην απαιτείται να επαναλάβουν γεωμετρία που έχει οριστεί από τα συστήματα βιομηχανικού σχεδιασμού.
- Δυνατότητες τροποποιήσεις μορφής και εξέτασης των αποτελεσμάτων σε συνθήκες λειτουργίας, για παράδειγμα ανάκλαση φωτός, πολύ καλά γραφικά με βάση δεδομένων για δομές και υλικά, έγχρωμες απεικονίσεις με δυνατότητα φωτισμού.

2.2 Σχεδίαση Αυτοκινούμενης Πλατφόρμας

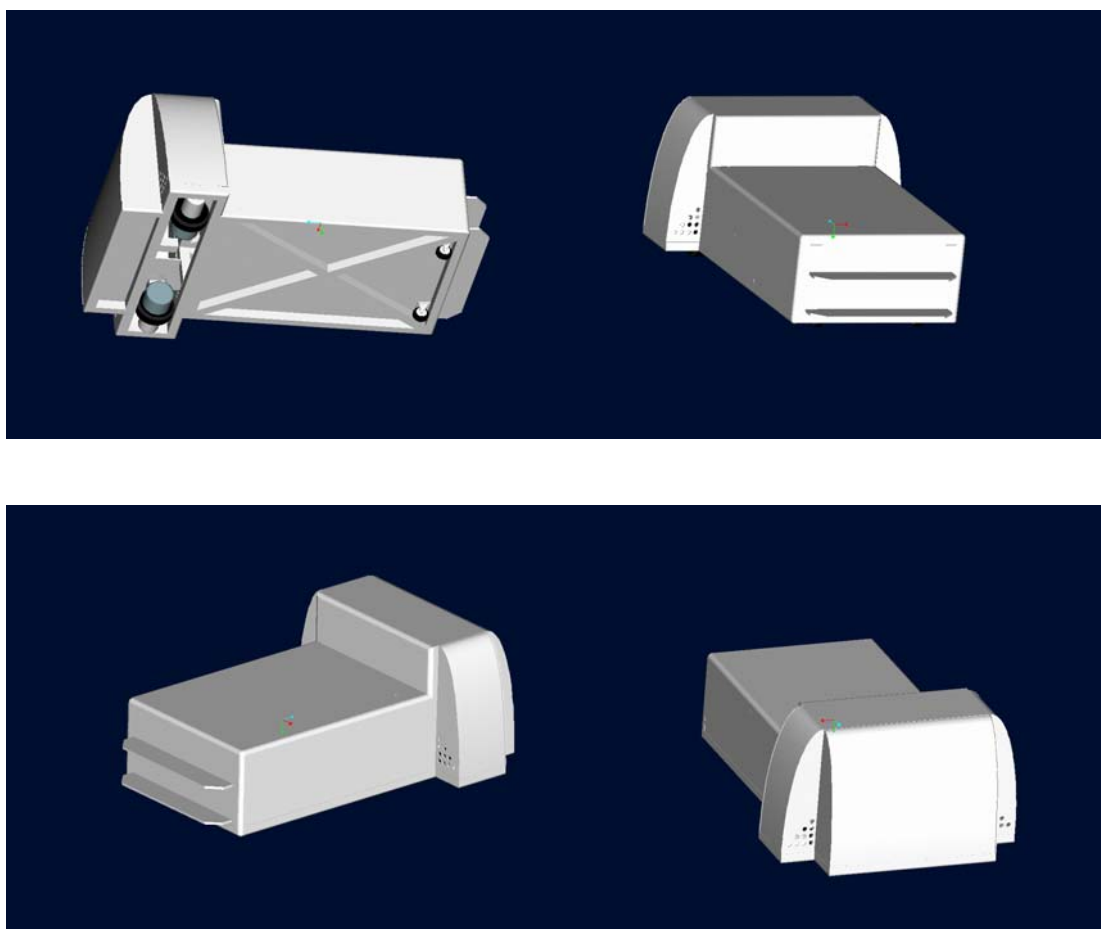
Η σχεδίαση της πλατφόρμας έγινε με παραμετρική μεθοδολογία. Αρχικά σχεδιάστηκε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο, το *Hellenak I*.

Στο μοντέλο αυτό υπήρχαν τρεις κύριοι εσωτερικοί χώροι όπως στην Εικόνα 2-1. Στον μπροστά χώρο που είναι και ο μεγαλύτερος υπάρχουν οι δύο ελεύθερα περιστρεφόμενοι τροχοί ενώ έχει σχεδιαστεί και για την τοποθέτηση τεσσάρων μπαταριών. Πάνω από αυτό τον χώρο υπάρχει ο χώρος φόρτωσης του οχήματος. Για τον λόγο αυτό γίνεται χρήση στην σχεδίαση, χιαστών δοκών, οι οποίες προσφέρουν ακαμψία.



Εικόνα 2-1 Απεικονίσεις μοντέλου πλαισίου

Ακολουθεί δεύτερος μικρότερος χώρος, μέσα στον οποίο τοποθετούνταν οι δύο τροχοί-κινητήρες. Πάνω από τον χώρο αυτό βρίσκεται και το τελευταίο κομμάτι του οχήματος, μέσα στο οποίο θα τοποθετείται ηλεκτρονικός εξοπλισμός. Το πλαίσιο κατασκευάζεται από προφίλ αλουμινίου, τετραγωνικής διατομής 4cm και ντύνεται με φύλα αλουμινίου πάχους 2mm. Το αλουμίνιο επιλέχθηκε διότι είναι σχετικά φθηνό, ελαφρύ, ανοξείδωτο και ευκολοκατέργαστο. Η κατασκευή έχει μήκος περί τα 136cm, πλάτος 70cm και ύψος 58cm.

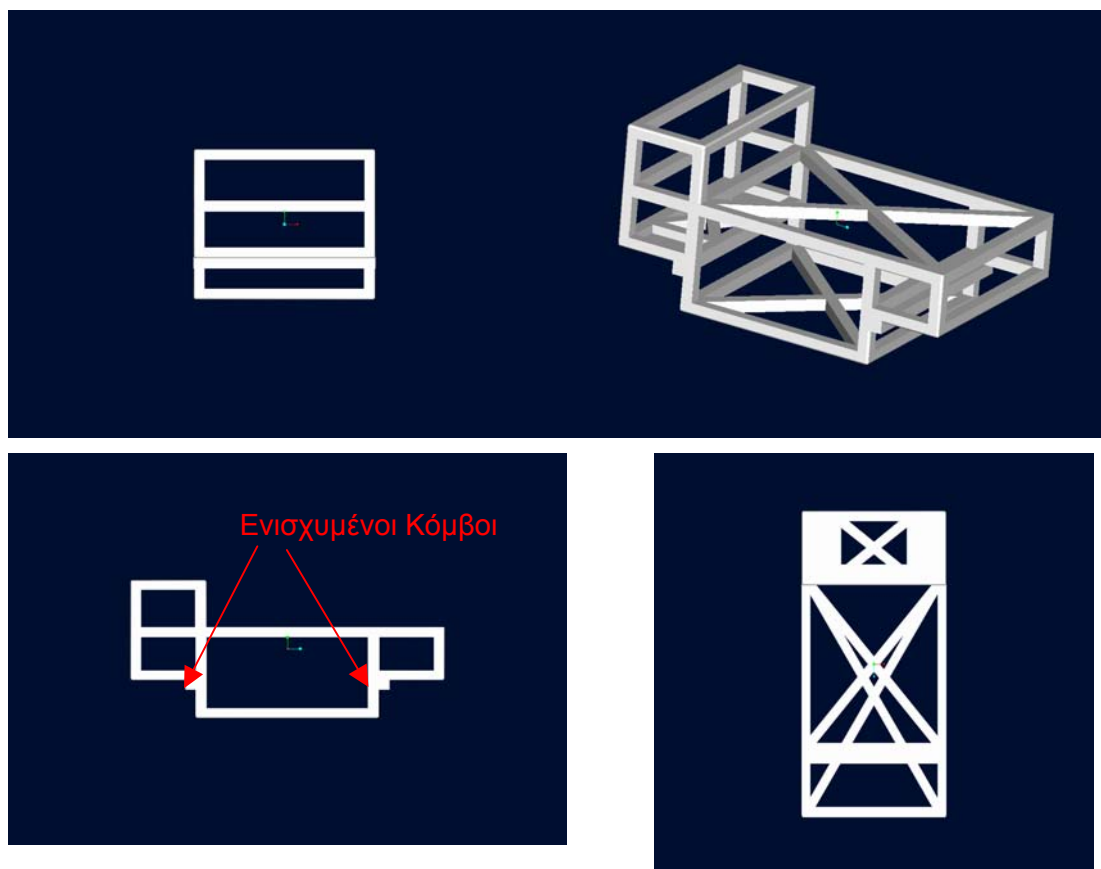


Εικόνα 2-2 Απεικόνισης μοντέλου αυτοκινούμενου οχήματος

Το σχέδιο του Hellenak I δεν ικανοποιεί τα κριτήρια του σταδίου αξιολόγησης του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα κρίνεται ότι το πλαίσιο του οχήματος πάσχει, από στατικής άποψης, σε συγκεκριμένους κόμβους, δεδομένου ότι το υλικό κατασκευής είναι τετραγωνικό προφίλ αλουμινίου. Στοιχείο της σχεδίασης, το οποίο πρέπει να αλλάξει είναι η εσωτερική

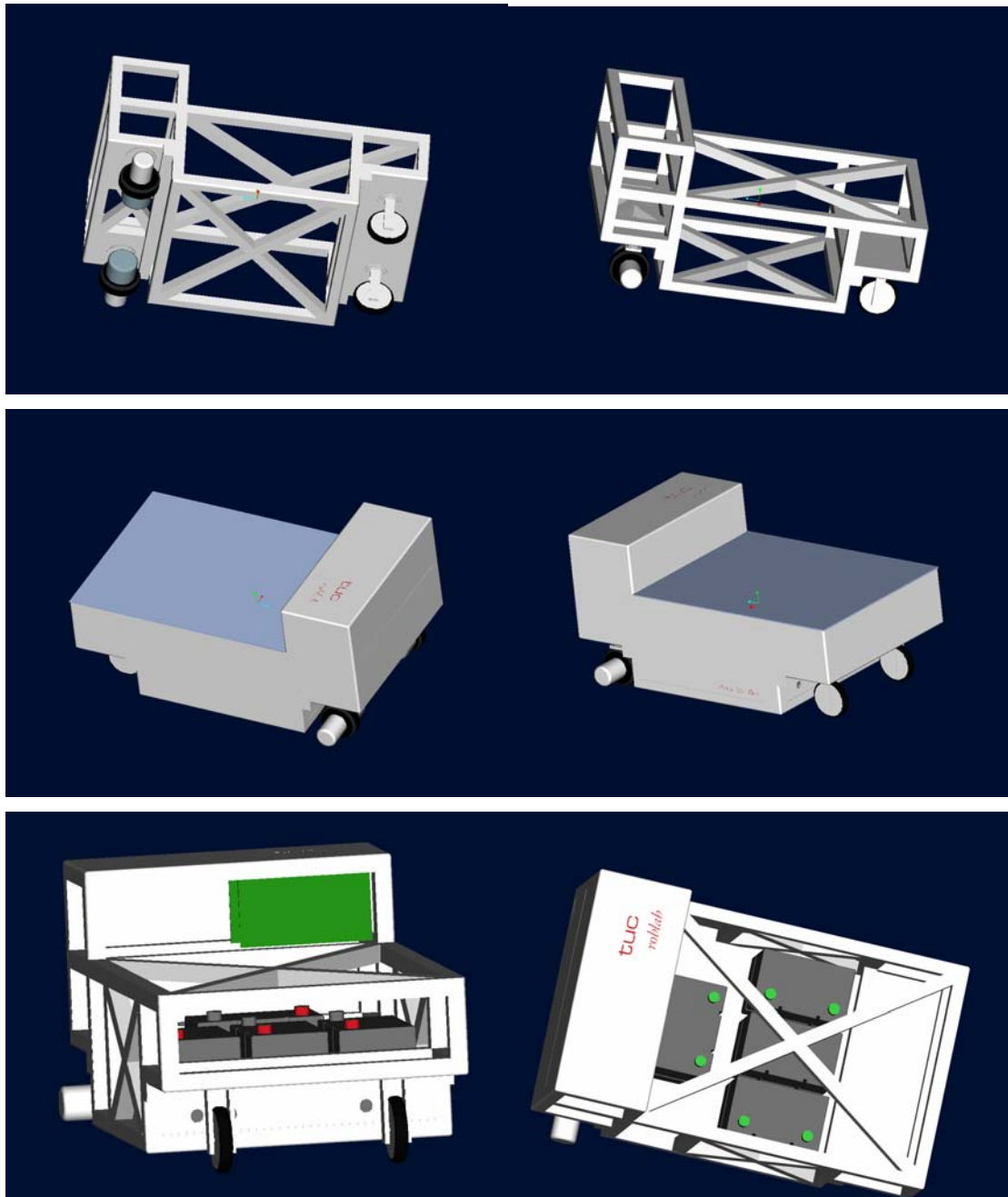
τοποθέτηση των τροχών. Επίσης κρίνεται απαραίτητη η αποφυγή καμπύλων επιφανειών στον μανδύα, όπως αυτές που υπάρχουν στα φτερά των πίσω τροχών (Εικόνα 2-2).

Το δεύτερο μοντέλο που σχεδιάστηκε, το Hellenak II, είναι τροποποίηση του πρώτου μοντέλου. Τα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω εξαλείφθηκαν ενώ διατηρήθηκαν χρήσιμα στοιχεία της σχεδίασης όπως η μεγάλη στατική επάρκεια, οι μεγάλοι ωφέλιμοι χώροι και η ευκολία στην κατασκευή. Το πλαίσιο κατασκευάζεται πάλι από τετραγωνικό προφίλ αλουμινίου, διαμέτρου 4cm.



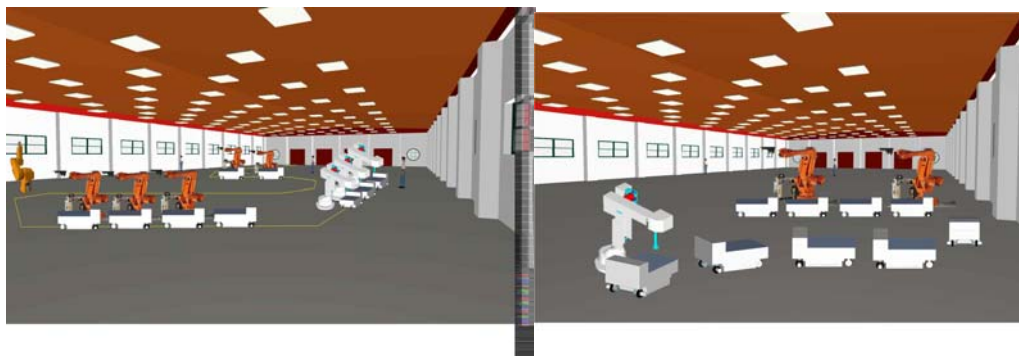
Εικόνα 2-3 Απεικόνισης τελικού μοντέλου σασί

Οι κόμβοι που έπασχαν στο προηγούμενο μοντέλο ενισχύθηκαν (Εικόνα 2-3). Το τελικό μοντέλο έχει μήκος 120cm, πλάτος 70 cm και ύψος 58cm. Είναι δηλαδή ελαφρά πιο μικρό, ως προς το μήκος από το προηγούμενο μοντέλο. Δημιουργήθηκε σειρά μηχανολογικών σχεδίων και απεικονίσεων για την κατασκευή και επίδειξη του οχήματος (Εικόνα 2-4).



Εικόνα 2-4 Απεικονίσεις τελικής μορφής οχήματος

Με την χρήση των δυνατοτήτων της ψηφιακής τεχνολογίας κατασκευάστηκε μακέτα βιομηχανικού χώρου, για την επίδειξη πιθανών εφαρμογών του Hellenak II.

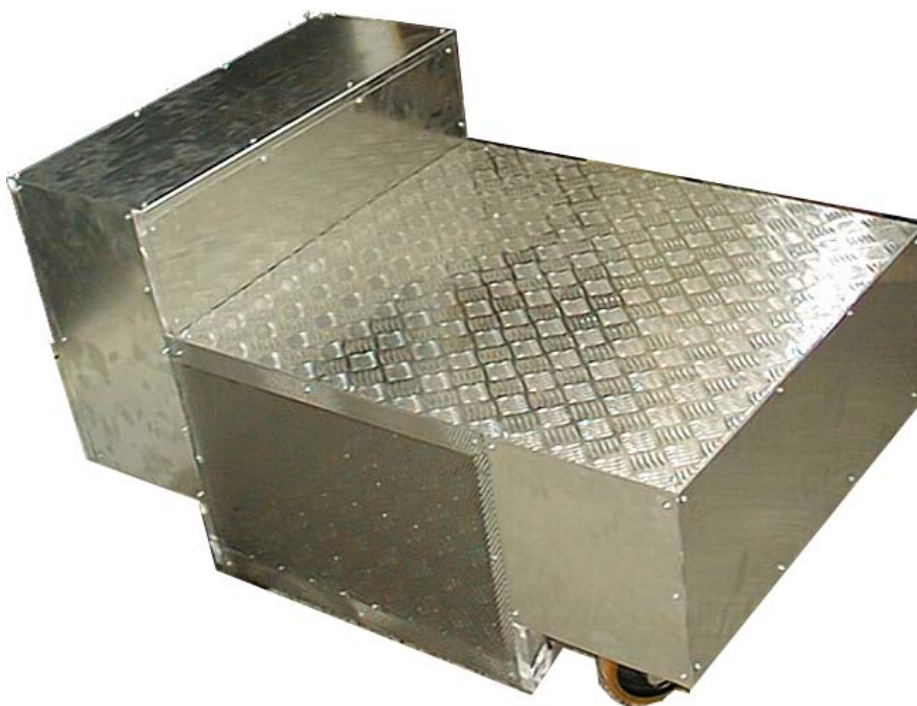


Εικόνα 2-5 Το Hellenak σε Εικονικό Βιομηχανικό Περιβάλλον

2.3 Κατασκευή Πρωτοτύπου

Το πρωτότυπο κατασκευάστηκε από τετραγωνικό προφίλ αλουμινίου, διαμέτρου 4cm, όπως ακριβώς είχε προβλεφθεί κατά τον σχεδιασμό. Επειδή δεν ήταν δυνατή αγορά προφίλ ενισχυμένης μορφής (χιαστί, ταυ, σταυρός κ.α.), χρησιμοποιήθηκε αλουμίνιο μεγάλου πάχους 3mm. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την επένδυση του πλαισίου είναι ανοξείδωτη λαμαρίνα πάχους 2mm, πέραν του χώρου που βρίσκονται οι μπαταρίες. Στο χώρο αυτό χρησιμοποιήσαμε διάτρητη λαμαρίνα σιδήρου για να γίνεται καλύτερος αερισμός του χώρου, να μην αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες και τελευταία να έχουμε άμεση αντίληψη για την κατάσταση του χώρου που υπάρχει κίνδυνος βραχυκυκλώματος. Ο χώρος φόρτωσης καθώς και ο χώρος όπου τοποθετούνται οι μπαταρίες καλύφθηκαν με λαμαρίνα σιδήρου ενισχυμένου τύπου (ρυζάκι), η οποία είναι δομικό στοιχείο και ενισχύει τη στατική επάρκεια. Οι ελεύθερα περιστρεφόμενοι τροχοί είναι βιομηχανικού τύπου και σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή μπορούν να αντέξουν φορτίο 250 kg έκαστος.

Η κατασκευή του οχήματος έγινε σε βιοτεχνία κατασκευών σιδήρου και αλουμινίου και στο Εργαστήριο Εργαλειομηχανών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Χρησιμοποιήθηκαν 2 ράβδοι προφίλ, μήκους 10m έκαστος. Το κόστος σε εργασία ήταν περί τις 8 εργατοώρες.



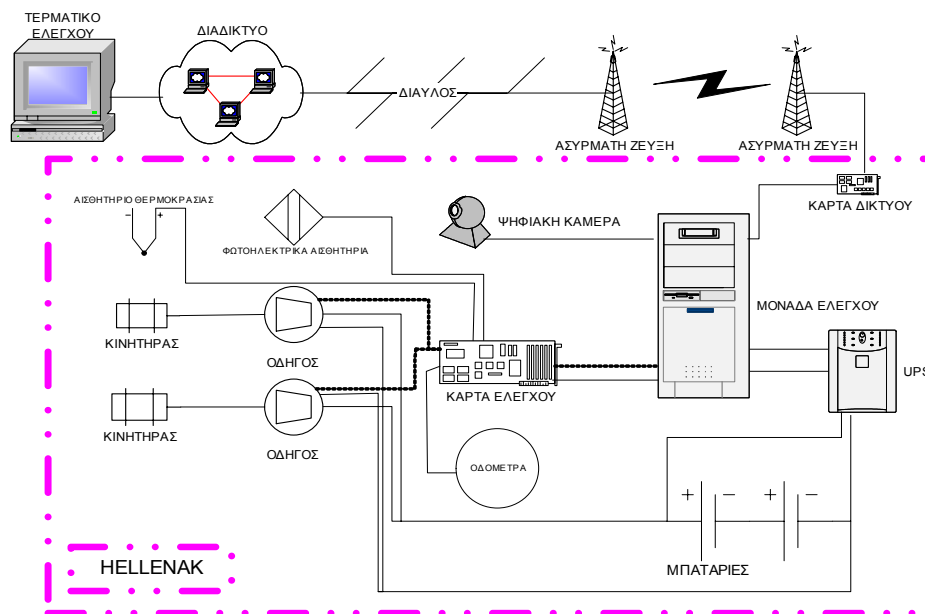
Εικόνα 2-6 Το όχημα αμέσως μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του

3 Λειτουργικά Στοιχεία

3.1 Εισαγωγή

Ως λειτουργικά στοιχεία του οχήματος αναφέρονται οι διατάξεις που κάνουν το όχημα λειτουργικό. Κοινό χαρακτηριστικό των λειτουργικών στοιχείων είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία τους. Εξαίρεση αποτελούν οι συσσωρευτές του οχήματος, που δίνουν την απαραίτητη ενέργεια στις υπόλοιπες συσκευές. Κυριότερα λειτουργικά στοιχεία του συστήματος είναι, πέραν των ενεργειακών στοιχείων, οι κινητήρες και η υπολογιστική μονάδα ελέγχου. Τα υπόλοιπα στοιχεία βοηθούν στην σωστή λειτουργία του οχήματος και ιδιαίτερα στην επικοινωνία με τον χρήστη. Τα οδόμετρα, οι φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες, η ψηφιακή κάμερα και το θερμόμετρο είναι στοιχεία ανάδρασης στο σύστημα αυτομάτου ελέγχου του οχήματος. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στην κάρτα ελέγχου και στον διπλό ρόλο της, πρώτον να εισάγει σήματα στο σύστημα από τις περιφερειακές συσκευές και δεύτερον να στέλνει σήματα ελέγχου στους κινητήρες .

Το όχημα επικοινωνεί με τον “έξω κόσμο” μέσω κάρτας δικτύου Ethernet και ασύρματης ζεύξης, όταν αυτή είναι διαθέσιμη. Αυτή η στρατηγική επιτρέπει τον έλεγχο, προγραμματισμό ή και την παρακολούθηση του οχήματος από οποιοδήποτε εξουσιοδοτημένο χρήστη του διαδικτύου(Εικόνα 3-1).



Εικόνα 3-1 Δομικό διάγραμμα

3.2 Ενέργεια

Το βασικό χαρακτηριστικό το οποίο προσφέρει αυτονομία στο όχημα είναι η ενεργειακή του αυτάρκεια. Τα λειτουργικά στοιχεία της πλατφόρμας δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια, πέραν των κινητήρων που καταναλώνουν μεγάλα ποσά ισχύος: συγκεκριμένα ο κάθε κινητήρας καταναλώνει περισσότερη ισχύ από ότι όλα τα άλλα λειτουργικά στοιχεία μαζί.

3.2.1 Ενεργειακές Απαιτήσεις

Κάθε συσκευή του οχήματος απαιτεί συγκεκριμένη τάση εισόδου για την σωστή λειτουργία της. Κάποιες από τις συσκευές εμφανίζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές τάσης ενώ άλλες, όπως οι κινητήρες, μπορούν να λειτουργήσουν με μεγάλες αποκλίσεις από τις προδιαγραφόμενες τιμές τάσης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι απαιτούμενες τάσεις εισόδου για κάθε λειτουργικό στοιχείο/συσκευή.

Στοιχείο	Τάση
Κινητήρας	24 VDC
Οδηγός κινητήρα	5 VDC
Κάρτα ελέγχου	5 VDC

Φωτοηλεκτρικά Αισθητήρια	12 VDC
H/Y	220 VAC
Θερμόμετρο	5 VDC
Διακόπτες	5 VDC

3.2.2 Διαμόρφωση Συστήματος

Όλες οι ενεργειακές ανάγκες του συστήματος καλύπτονται από δύο συσσωρευτές 12VDC συνδεδεμένους σε σειρά. Οι συσσωρευτές παρέχουν ισχύ άμεσα στον οδηγό των κινητήρων και στον μετασχηματιστή-σταθεροποιητή τάσης (UPS). Στην έξοδο του UPS δίνεται τάση 220VAC, ίδια με αυτή των ευρωπαϊκών δικτύων ενέργειας. Έτσι μπορούμε να συνδέσουμε όλες τις συσκευές που συνδέονται στο δίκτυο της ΔΕΗ, όπως τον H/Y, ηχεία ή και οθόνη. Οι συσκευές που απαιτούν τάση λειτουργίας 5VDC λαμβάνουν την ισχύ τους από την μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή, η οποία παρέχει έξοδο χαμηλής ισχύος.

Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι το ρεύμα που καταλήγει στις συσκευές είναι σταθεροποιημένο και έτσι ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος για δυσλειτουργία κάποιου εκ των ευαίσθητων ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Δεδομένου ότι οι μπαταρίες, όπως αναλύεται στο αντίστοιχο χωρίο, είναι υψηλής ποιότητας και παρέχουν σταθεροποιημένο ρεύμα, κατάλληλο για ηλεκτρονικές συσκευές, δεν φαίνεται να υπάρχει άμεση αιτία αυξομείωσης της τάσης εξόδου των. Υπάρχει όμως το φαινόμενο της ισχύος εκκίνησης των κινητήρων. Εκεί το επαγωγικό ρεύμα που δημιουργείται καταναλώνει υψηλά επίπεδα ισχύος που ενδέχεται να επηρεάσουν τη λειτουργία των υπόλοιπων συσκευών που τροφοδοτούνται από τους συσσωρευτές. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η προσθήκη σταθεροποιητή τάσης.

Απαραίτητο χαρακτηριστικό της ηλεκτρικής εγκατάστασης που δημιουργήθηκε, είναι η μόνωση των συσκευών που περιγράφηκαν παραπάνω. Η μόνωση πρέπει να γίνει μεταξύ των συσκευών καθώς και μεταξύ των συσκευών με το πλαίσιο του οχήματος. Έτσι αυτές τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να έρχονται σε επαφή μόνο με πλαστικά ή ξύλινα στοιχεία.

3.2.3 Έρευνα αγοράς συσσωρευτών

Στο εμπόριο υπάρχει πλήθος κατασκευαστών και τύπων μπαταριών. Ορισμένοι από τους τύπους που συναντήσαμε κατά τη σχετική έρευνα αγοράς είναι:

- Μπαταρία ψευδαργύρου-άνθρακα - επίσης γνωστή ως τυποποιημένη μπαταρία άνθρακα. Τα ηλεκτρόδια είναι ψευδαργύρου και άνθρακα, με μια όξινη κόλλα μεταξύ τους που χρησιμεύει ως ηλεκτρολύτης.
- Αλκαλική μπαταρία - που χρησιμοποιείται στις κοινές μπαταρίες. Τα ηλεκτρόδια είναι ψευδάργυρος και οξείδιο μαγγανίου, με έναν αλκαλικό ηλεκτρολύτη.
- Μπαταρία λιθίου - χρησιμοποιούνται στις φωτογραφικές μηχανές λόγω της δυνατότητάς τους να παρέχουν ενεργειακά κύματα.
- Lead-acid μπαταρία - χρησιμοποιείται στα αυτοκίνητα, τα ηλεκτρόδια αποτελούνται από μόλυβδο και οξείδιο μολύβδου με έναν ισχυρό όξινο ηλεκτρολύτη.
- Νικελίου-καδμίου μπαταρία - τα ηλεκτρόδια είναι υδροξειδίου -νικελίου και κάδμιο, με το κάλιο-υδροξειδίου ως ηλεκτρολύτη.
- Μπαταρία υδριδίου μετάλλου-νικελίου - αυτή η μπαταρία τείνει να αντικαταστήσει τη μπαταρία νικελίου-καδμίου.
- Ιόντος-Λιθίου μπαταρία - με μια πολύ καλή αναλογία δύναμης-βάρους, βρίσκεται συχνά σε προϊόντα υψηλής τεχνολογίας όπως οι φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές και τα κινητά τηλέφωνα.
- Μπαταρία αέριου ψευδαργύρου - αυτή η μπαταρία είναι ελαφριά και επαναφορτιζόμενη.
- Μπαταρία οξειδίων ψευδαργύρου-υδραργύρου
- Μπαταρία Si-ψευδάργυρου - χρησιμοποιείται στις αεροναυτικές εφαρμογές επειδή εμφανίζει καλή αναλογία δύναμης-βάρους και χαμηλότερο κόστος από τις μπαταρίες λιθίου.
- Μπαταρία μεταλλικού-χλωριδίου - χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικά οχήματα

3.2.4 Μπαταρίες Οχήματος

Το όχημα χρησιμοποιεί ζεύγος συσσωρευτών κλειστού τύπου της εταιρίας FIAM. Η έξοδος του ζεύγους των μπαταριών είναι στα 24Volt και αποθεματική ικανότητα ικανή να κινήσει το όχημα για διάρκεια δύο περίπου ωρών.

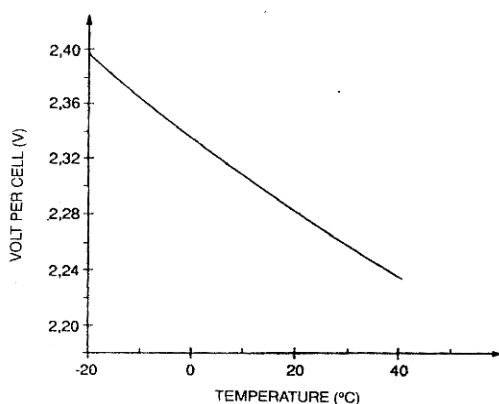
Ο συσσωρευτής που επιλέχθηκε βασίζεται στην τεχνολογία των επανασυνδυαζόμενων ατμών. Στις παραδοσιακές μπαταρίες μολύβδου με ελεύθερους ατμούς, κατά τη διάρκεια της επαναφόρτισης το νερό διασπάται σε υδρογόνο και οξυγόνο

[4]. Οι δύο αυτοί ατμοί διαρρέονται έξω από τα καπάκια και το επίπεδο του ηλεκτρολύτη πέφτει μέσα στην μπαταρία. Η μπαταρία πρέπει περιοδικά να ξαναγεμίζεται με νερό.

Η λειτουργία των συσσωρευτών του οχήματος βασίζεται στην αρχή της επανασύνδεσης. Ένας ειδικός διαχωριστής μικροπόρων διαποτίζεται με μια μετρημένη ποσότητα ηλεκτρολύτη, επιτρέποντας στο οξυγόνο που ελευθερώνεται από την θετική πλάκα, κατά τη διάρκεια της διάσπασης του νερού, να μετατοπιστεί κατά το στάδιο της επαναφόρτισης την αρνητική πλάκα. Έτσι δημιουργείται νερό, όταν επανασυνδέεται με υδρογόνο που έχει εντωμεταξύ αποθηκευτεί από το διασπασμένο νερό. Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται ένας ηλεκτροχημικός κύκλος χωρίς απώλεια ατμών ή κατανάλωση νερού. Η μπαταρία είναι σφραγισμένη με όλα τα κατά συνέπεια πλεονεκτήματα.

Στην τεχνολογία της επανασυνδυαζόμενης μπαταρίας, η συμπίεση του συστήματος διαχωριστή-πλάκας είναι σημαντικά κρίσιμο στοιχείο. Η συμπίεση αισιοδοξεί στην καλύτερη λειτουργία και αξιοπιστία της μπαταρίας. Έτσι ελαχιστοποιείται η απόσταση που διανύει το οξυγόνο μέσα από τους διαχωριστές. Σε όλες τις συνθήκες η υπερβολική παραμόρφωση κάθε στοιχείου αποφεύγεται εκεί που εκεί που ίσως διακινδυνευόταν η πίεση των πλακών. Η συμπίεση επίσης βοηθά στην παροχή επαρκούς υποστήριξης στην πάστα των πλακών ώστε να γίνεται η μπαταρία πιο αξιόπιστη στις πιέσεις.

Η απόδοση των μπαταριών μεταβάλλεται με την αλλαγή της θερμοκρασίας. Η αποθηκευμένη ενέργεια μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το στοιχείο αυτό είχε προβλεφθεί κατά τον σχεδιασμό του οχήματος. Έτσι ο χώρος στον οποίο βρίσκονται οι μπαταρίες περιβάλλεται από διάτρητη λαμαρίνα, για την εξασφάλιση του αερισμού του όπως είδαμε στην ανάλυση του σχεδιασμού του οχήματος (Εικόνα 3-2).



Εικόνα 3-2 α. Διάγραμμα αποθηκευτικής ικανότητας-θερμοκρασίας, β. Τοποθέτηση μπαταριών και UPS στο εσωτερικό του οχήματος Hellenak

Το ποσοστό της ενέργειας που έχουν αποθηκευμένη οι μπαταρίες είναι ένα μέγεθος που χρειάζεται να γνωρίζει ο χρήστης του οχήματος, δεδομένου ότι αυτό δείχνει πόση ενεργειακή αυτονομία έχει ακόμα το σύστημα. Το μέγεθος αυτό μπορεί να μετρηθεί μέσω της τάσης του ζεύγους των μπαταριών. Στη συνέχεια με αντιστοίχιση στο ανάλογο φάσμα τάσεων και γραμμική παρεμβολή στο παρακάτω πινάκιο υπολογίζεται το ακριβές ποσοστό ενέργειας που είναι αποθηκευμένο στο ζεύγος των μπαταριών.

Πίνακας 3-1 Σχέση τάσης-ενεργειακής αυτονομίας συσσωρευτών

Τάση VDC	Ποσοστό αποθηκευμένης ενέργειας
24.3	25%
24.6	50%
25.0	75%
25.4	100%

3.3 Υπολογιστική μονάδα ελέγχου

Η υπολογιστική μονάδα ελέγχου αποτελείται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, κατάλληλο για χρήση γραφείου. Ο επεξεργαστής του υπολογιστή είναι Intel Pentium III και η μνήμη τυχαίας προσπέλασης φτάνει τα 128MB. Ο υπολογιστής τοποθετήθηκε σε ειδική θέση μέσα στο όχημα, όπου και απομονώνεται από τα υπόλοιπα λειτουργικά στοιχεία.

Τον Η/Υ περιβάλλει πλαστική μεμβράνη για την μόνωση των ηλεκτρικών φορτίων και την αποφυγή βραχυκυκλώματος. Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας είναι 220VAC και γίνεται από τον μετασχηματιστή-σταθεροποιητή τάσης (UPS). Από τις θύρες της μονάδας επικοινωνούν όλες οι περιφερειακές διατάξεις με τον ελεγκτή του οχήματος.

Στην υπολογιστική μονάδα ελέγχου λαμβάνονται όλες οι αποφάσεις για την κίνηση και την λειτουργία του συστήματος. Όταν ο έλεγχος δεν είναι αυτόματος η μονάδα ελέγχου είναι ο φορέας που ολοκληρώνει την επικοινωνία του χειριστή με το όχημα. Η ανοικτή αρχιτεκτονική που εφαρμόσαμε κατά τον σχεδιασμό του συστήματος, αποφεύγοντας την χρήση προγραμματιζόμενου ελεγκτή, επιτρέπει την αντικατάσταση της συγκεκριμένης υπολογιστικής μονάδας με οποιαδήποτε άλλη, αντίστοιχων δυνατοτήτων, γρήγορα και εύκολα. Για τον λόγο αυτό δεν θα σταθούμε σε αυτό το σημείο στην περιγραφή της μονάδας.

Η μονάδα αυτή επικοινωνεί μέσω δικτύου Ethernet με άλλα τερματικά συνδεδεμένα στο διαδίκτυο. Η σχεδίαση αυτή επιτρέπει τον έλεγχο, τον προγραμματισμό και την

παρακολούθηση του οχήματος από απόσταση. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι πολύ σημαντικό για βιομηχανικές εφαρμογές όπου μπορεί να ελεγχθεί πλήθος οχημάτων μόνο από ένα τερματικό. Επίσης βοηθάει στην συντήρηση του λογισμικού του οχήματος χωρίς να υπάρχει η ανάγκη πρόσβασης στο εσωτερικό του οχήματος.

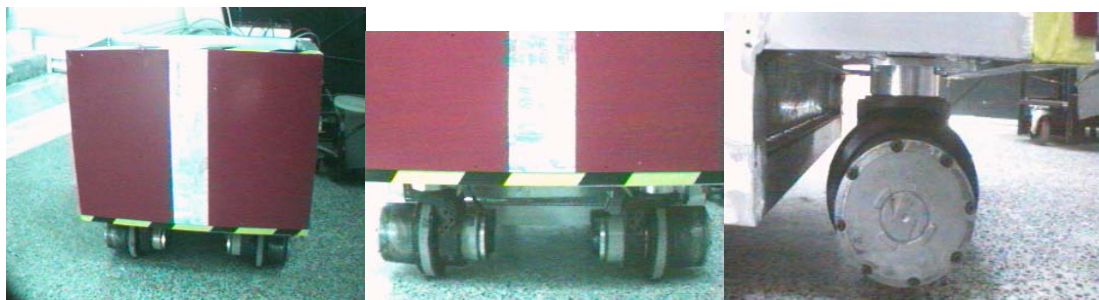
3.4 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος.

Στους ηλεκτρικούς κινητήρες, ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε κίνηση με τη χρήση μαγνητισμού[5]. Κατά τον πειραματισμό με ζεύγος μαγνητών εκδηλώνεται το μαγνητικό φαινόμενο, που παράγει δυνάμεις. Τοποθετώντας δύο μαγνήτες αντικριστά δημιουργείται δύναμη η οποία έλκει η απωθεί αυτούς, αναλόγως της πολικότητας τούς.

Το φαινόμενο το οποίο συντελεί στη χρήση μαγνητικής δύναμης στο μηχανισμό του ηλεκτροκινητήρα είναι η δημιουργία μαγνητικού πεδίου από κινούμενα ηλεκτρικά φορτία, δηλαδή από ηλεκτρικό ρεύμα. Αλλάζοντας την πολικότητα του ηλεκτρικού ρεύματος, αλλάζουμε την πολικότητα του τρίτου μαγνήτη, με συνέπεια να αλλάζει και η φορά της περιστροφικής κινήσεως του ζεύγους μαγνητικών σωμάτων.

3.4.1 Επιλογή Σερβοκινητήρα

Η επιλογή του κατάλληλου κινητήρα για μια πλατφόρμα προϋποθέτει γνώση των φορτίων τα οποία θα ασκηθούν στον κινητήρα, καθώς και την απόδοση του, όπως αυτή αναλυτικά παρέχεται από τον κατασκευαστή του. Ορισμένοι κατασκευαστές παρέχουν τα χαρακτηριστικά του κινητήρα σε μορφή γραφήματος, ενώ άλλοι σε μορφή πίνακίου. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν χαρακτηριστικά για ένα κινητήρα, συνίσταται η εξαγωγή των μεγεθών με πειραματισμό. Η τελευταία μέθοδος ακολουθήθηκε στην προς σχεδίαση αυτοκινούμενη πλατφόρμα, καθώς το εργοστάσιο παραγωγής των κινητήρων δεν παρείχε αυτά τα δεδομένα.



Εικόνα 3-3 Τοποθέτηση κινητήρων-τροχών στο όχημα Hellenak

Οι κινητήρες τοποθετήθηκαν στο όχημα όπου αφού πρώτα ευθυγραμμίστηκαν, ώστε να συμπίπτει ο άξονας τους, κατόπιν δοκιμάστηκε εάν μπορούν να μεταφέρουν μικτό βάρος 200 kg (Εικόνα 3-3). Το πείραμα διεξήχθη επιτυχώς αφού όχι μόνο το όχημα κινούνταν αρκετά γρήγορα και έστριβε επιτυχώς, αλλά παράλληλα δεν υπήρξε κάποιο πρόβλημα υπερστροφής των τροχών, παρόλο που το δάπεδο δεν ήταν κατάλληλου τύπου.

3.4.2 Οδηγοί κινητήρων

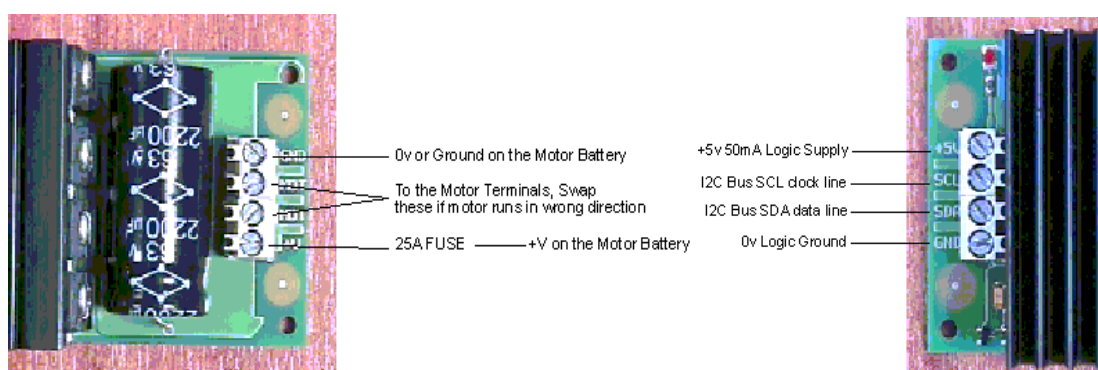
Οι οδηγοί κινητήρων είναι οι συσκευές οι οποίες ρυθμίζουν την ισχύ του κινητήρα. Λειτουργούν περιορίζοντας την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που καταναλώνουν οι κινητήρες. Το σήμα, για το πόση ισχύ θα επιτρέψουν να φτάσει από την πηγή ενέργειας προς του κινητήρες, το παίρνουν από τον ελεγκτή του συστήματος, δηλαδή στην περίπτωση του οχήματος Hellenak από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οδηγοί κινητήρων υπάρχουν σε πληθώρα στο εμπόριο, πολλοί λίγοι όμως μπορούν να παρέχουν τόσο μεγάλη ηλεκτρική ισχύ όσο αυτήν που απαιτούν οι κινητήρες του οχήματος Hellenak. Οι οδηγοί που χρησιμοποιήθηκαν είναι το μοντέλο MD03 της βρετανικής εταιρίας Devantech.

3.4.3 Ο Οδηγός MD03 [6]

Ο MD03 είναι ένας οδηγός κινητήρων μέσης δύναμης, ο οποίος παρέχει ισχύ αρκετά μεγαλύτερη από τους συνηθισμένους οδηγούς που κυκλοφορούν στο εμπόριο (Εικόνα 3-4). Τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα του είναι η ευκολία χρήσης και οι πολλές μορφές διαμορφώσεις του. Η ισχύς του κινητήρα ελέγχεται από τη διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM) της γέφυρας σε συχνότητα 7.8KHz. Η 15v τάση κίνησης παράγεται από τον οδηγό, έτσι το κύκλωμα του απαιτεί μόνο δύο τάσεις ανεφοδιασμού:

1. Σταθερή τάση 5Volt, με 50mA μέγιστη απαιτούμενη ένταση.

2. Τάση των κινητήρων, με οποιαδήποτε τιμή από 5Volt μέχρις 50Volt, αναλόγως την τάση λειτουργίας του κινητήρα. Ο έλεγχος της τάσης εξόδου μπορεί να συμβεί με οποιοδήποτε από τις εξής διαμορφώσεις;
 - Μέσω διαύλου I2C, ο οποίος χρησιμοποιείται από τους περισσότερους ελεγκτές
 - 0V-2.5-5V αναλογική τάση εισόδου. 0V για πίσω κίνηση με μέγιστη ισχύ, 2.5V για ακινησία, 5V για μπροστά κίνηση με μέγιστη ισχύ.
 - 0v-5V αναλογική τάση εισόδου και λογική είσοδο για επιλογή φοράς.
 - RC λειτουργία. Έλεγχος απευθείας από ασύρματο σήμα RC.
 - PWM λειτουργία. Ψηφιακός παλμός με συχνότητα 20KHz και περίοδο από 0-100%.



Εικόνα 3-4 Είσοδοι/Έξοδοι οδηγού MD03

Η διαμόρφωση που χρησιμοποιήθηκε στην αυτοκινούμενη πλατφόρμα Hellenak είναι η 0V-2.5-5V αναλογική τάση εισόδου. Έτσι η επιθυμητή τάση εισόδου στην εκκίνηση είναι 2.5V ώστε οι κινητήρες να μην δίνουν μέγιστη ισχύ στους τροχούς. Συνιστάται να μην παρέχονται στον οδηγό με τάσεις μέγιστης ισχύος δια την ομαλότερη λειτουργία του κινητήρα. Το φάσμα των τάσεων εισόδου, που αποδίδει ικανοποιητικές ταχύτητες στο όχημα είναι 1-4V. Παρατίθεται στην συνέχεια πίνακας που δείχνει πως μεταβάλλεται η διαμόρφωση λειτουργίας της γέφυρας σύμφωνα με τη θέση των διακοπών διαμόρφωσης.

Πίνακας 3-2 Θέση διακοπών για τους τύπους διαμόρφωσης του οδηγού MD03

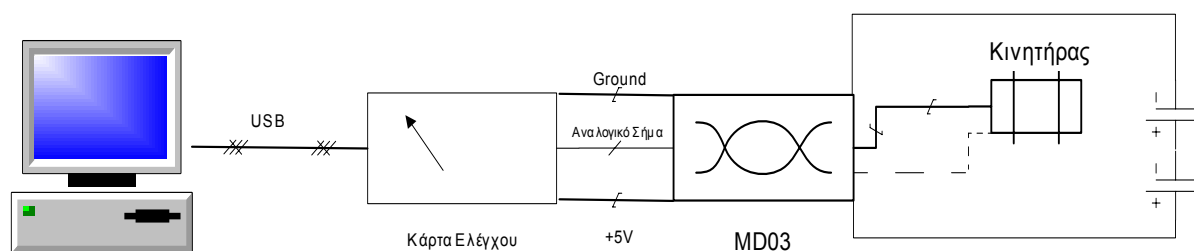
Τύπος Διαμόρφωσης	Διακόπτης 1	Διακόπτης 2	Διακόπτης 3	Διακόπτης 4
I2C Bus - address 0xB0	Ανοικτός	Ανοικτός	Ανοικτός	Ανοικτός
I2C Bus - address 0xB2	Κλειστός	Ανοικτός	Ανοικτός	Ανοικτός
I2C Bus - address 0xB4	Ανοικτός	Κλειστός	Ανοικτός	Ανοικτός
I2C Bus - address 0xB6	Κλειστός	Κλειστός	Ανοικτός	Ανοικτός

I2C Bus - address 0xB8	Ανοικτός	Ανοικτός	Κλειστός	Ανοικτός
I2C Bus - address 0xBA	Κλειστός	Ανοικτός	Κλειστός	Ανοικτός
I2C Bus - address 0xBC	Ανοικτός	Κλειστός	Κλειστός	Ανοικτός
I2C Bus - address 0xBE	Κλειστός	Κλειστός	Κλειστός	Ανοικτός
0v - 2.5v - 5v Analog	Ανοικτός	Ανοικτός	Ανοικτός	Κλειστός
0v - 5v Analog + Direction	Κλειστός	Ανοικτός	Ανοικτός	Κλειστός
Radio control	Ανοικτός	Κλειστός	Ανοικτός	Κλειστός

Η εγκατάσταση του οδηγού στο όχημα Hellenak χρησιμοποιεί τις εξής συνδέσεις:

- Παροχής τάσης λειτουργίας και γείωσης
- Αναλογικής τάσης διαμόρφωσης εξόδου
- Τροφοδοσία 24V από συσσωρευτές κινητήρων
- Τάση εξόδου προς κινητήρες

Στην Εικόνα 3-5 φαίνεται η διαμόρφωση που περιγράφηκε παραπάνω.



Εικόνα 3-5 Σύνδεση οδηγού κινητήρων στο σύστημα

3.5 Οδόμετρα

Τα οδόμετρα είναι τα αισθητήρια που δείχνουν πόσες στροφές έχει κάνει ένας τροχός. Συνδυαζόμενα με ρολόι μπορούν να δώσουν αντιστοίχως την ταχύτητα του τροχού. Τα οδόμετρα κατέχουν ιδιαίτερο ρόλο στην πλοήγηση του οχήματος. Είναι το κύριο συστατικό της ανάδρασης, που δείχνει εάν το όχημα κινήθηκε όπως είχε προγραμματιστεί και πόσο ήταν το σφάλμα στην κίνηση του.

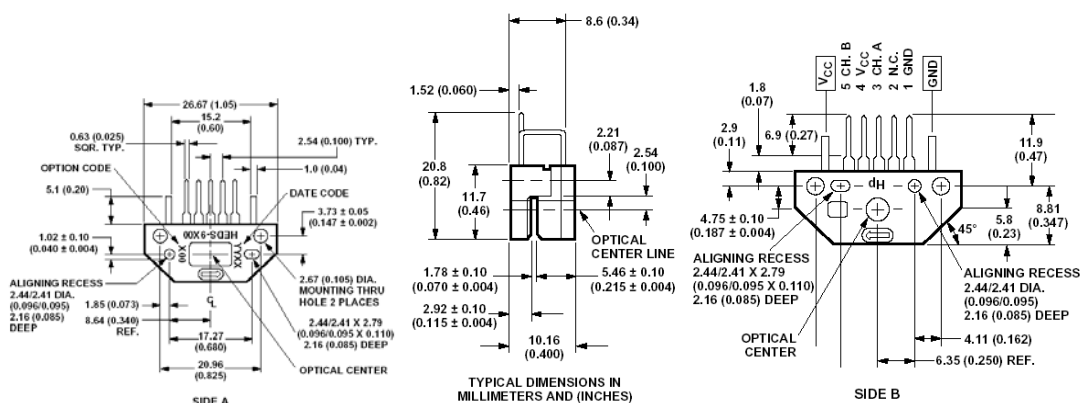
Στους κινητήρες-τροχούς που χρησιμοποιούνται είναι προσαρμοσμένα από τον κατασκευαστή οδόμετρα μεγάλης ακριβείας, τύπου HEDS της εταιρίας Hewlett Packard. Τα

οδόμετρα αυτά συνδέθηκαν στην κάρτα ελέγχου και από εκεί διαβάστηκε το σήμα τους στον Η/Υ.

3.5.1 Περιγραφή Οδομέτρων HEDS[7]

Τα Heds- 9000 και Heds- 9100 είναι υψηλής απόδοσης, χαμηλού κόστους, οπτικοί κωδικοποιητές (Εικόνα 3-6). Όταν χρησιμοποιούνται με ένα κωδικοποιημένο τροχό, ανιχνεύουν την περιστροφική θέση του τροχού. Οι ενότητες αποτελούνται από πηγή φωτός και από ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα ανιχνευτών που εσωκλείεται σε μια μικρή διαμορφωμένη πλαστική συσκευασία. Λόγω της πηγής φωτός και μιας σειράς φωτοανιχνευτών, αυτές οι διατάξεις είναι εξαιρετικά ανεκτικές στην έλλειψη ευθυγράμμισης. Οι δύο ψηφιακοί έξοδοι και η ενιαία εισαγωγή ανεφοδιασμού 5V προσεγγίζεται μέσω πέντε τετραγωνικών καρφιτσών, 0,025 ίντσας εκάστη. Τα συγκεκριμένα προϊόντα κατασκευάζονται από την εταιρία Hewlett Packard και θεωρούνται αρκετά αξιόπιστα. Πιθανόν σφάλματα οφείλονται στους κωδικοποιημένους τροχούς, οι οποίοι είναι εξαιρετικά ευαίσθητοι σε φορτία και μεταβολές της θερμοκρασίας.

Χαρακτηριστικές εφαρμογές πέραν της ρομποτικής περιλαμβάνουν εκτυπωτές, σχεδιαστές, κινητές ταινίες, εξοπλισμούς αυτοματοποίησης κ.α.

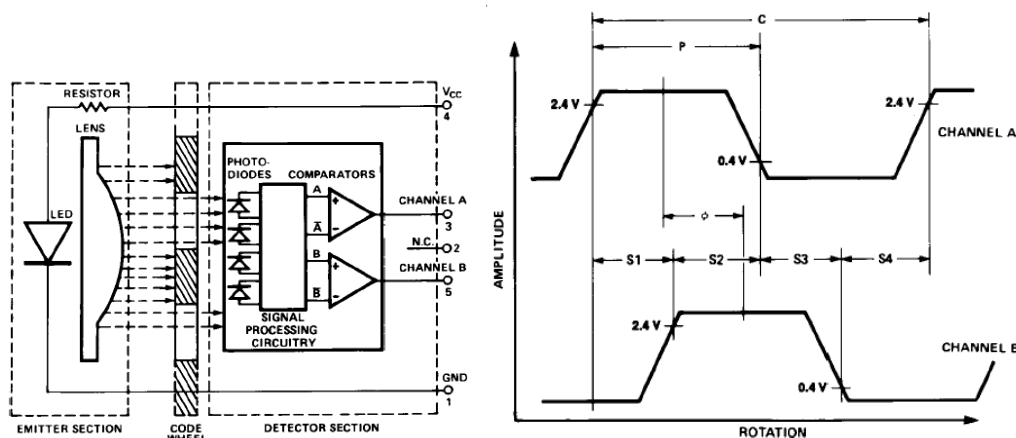


Εικόνα 3-6 Όψεις των οδομέτρων HEDS

3.5.2 Θεωρία της λειτουργίας

Τα Heds- 9000 και τα 9100 συνδεδεμένα με ένα κωδικοποιημένο τροχό μεταφράζουν την περιστροφική κίνηση ενός άξονα σε αναλογικό παλμό.

Όπως φαίνεται στο λειτουργικό διάγραμμα, κάθε ενότητα περιέχει μια ενιαία δίοδο (LED) ως πηγή φωτός. Το εκπεμπόμενο φως είναι παράλληλο ως προς έναν πολυκαρβονικό φακό που βρίσκεται ακριβώς πάνω από την πηγή. Απέναντι από τον εκπομπό είναι το ολοκληρωμένο κύκλωμα ανιχνευτών. Αυτό το ολοκληρωμένο κύκλωμα αποτελείται από τα πολύαριθμα σύνολα φωτοανιχνευτών και των στοιχείων του κυκλώματος επεξεργασίας σήματος, απαραίτητων για τη δημιουργία των κυματοειδών σημάτων (Εικόνα 3-7).

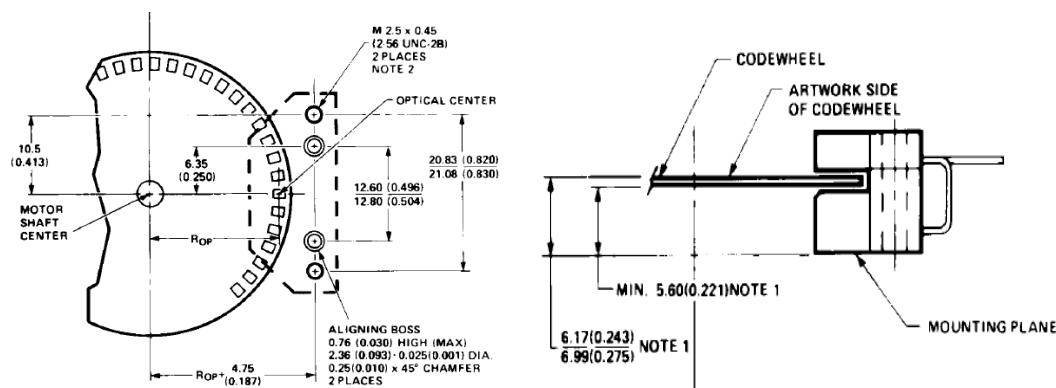


Εικόνα 3-7 α. Δομικό διάγραμμα, β. Σήμα εξόδου

Ο κωδικοποιημένος τροχός περιστρέφεται μεταξύ του εκπομπού και του ανιχνευτή, αναγκάζοντας την ακτίνα φωτός να διακοπεί από το σχέδιο των διαστημάτων και των φραγμών του τροχού (Εικόνα 3-8). Οι φωτοδίοδοι που ανιχνεύουν τα σήματα τοποθετούνται σε τέτοια διάταξη ώστε να βρίσκονται στην ακτίνα του τροχού και συγχρόνως αντικριστά από τον εκπομπό.

Τη στιγμή όπου η ακτίνα διασχίζει τον τροχό και φτάνει στο κύκλωμα των δεκτών στην έξοδο παράγονται από το κύκλωμα παλμός, οποίος διακόπτεται μόλις η ακτίνα προσκρούσει στον επόμενο φραγμό του κωδικοποιημένου τροχού. Σε αυτή την περίπτωση των φως επιστρέφει στον πολυκαρβονικό φακό ώστε να μη παρεμβάλλεται με την εκπεμπόμενη ακτίνα.

Οι δύο εξοδοί από του οδομέτρου χρησιμοποιούνται για την μετάφραση των παλμών σε απόσταση. Στην περίπτωση της πλατφόρμας Hellenak δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν και οι δύο εξοδοί διότι οι κάρτες ελέγχου που χρησιμοποιούνται υποστηρίζουν λειτουργία μετρητή, ο οποίος καταμετρά τους παλμούς και επιστρέφει στον ελεγκτή το πλήθος τους.



Εικόνα 3-8 Όψεις κωδικοποιημένου δίσκου

3.5.3 Επεξεργασία Αποτελεσμάτων Οδομέτρου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το σήμα του οδομέτρου μετατρέπεται μέσω κυκλώματος μετρητή σε παράμετρο που δείχνει το πλήθος των καταμετρημένων παλμών. Η όλη λειτουργία γίνεται σε πραγματικό χρόνο (real time).

Δια την αντιστοίχιση των μεγεθών της απόστασης και του πλήθους των παλμών διεξήχθη πείραμα. Κατευθύνθηκε χειροκίνητα η πλατφόρμα σε ευθεία πορεία, μήκους 4 m, και καταμετρήθηκε το πλήθος των παλμών που παράχθηκαν από το οδόμετρο. Πιο συγκεκριμένα για την επίτευξη ακρίβειας το πείραμα επαναλήφθηκε δεκαπέντε φορές και τα εξαγόμενα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Στον πίνακα φαίνονται επίσης ο μέσος όρος των παλμών που παράγονται για κάθε εκατοστό του μέτρου που κινείται η πλατφόρμα (213 παλμοί/cm). Δεδομένου ότι η απόσταση μεταξύ των πίσω τροχών είναι 42cm και ο ένας τροχός είναι ακίνητος, αν ο άλλος τροχός κινηθεί για 156 παλμούς του οδομέτρου το όχημα θα στρίψει κατά μία μοίρα. Αν οι τροχοί στρέφονται αντίρροπα για στρέψη μίας μοίρας απαιτούνται 78 παλμοί οδομέτρου από κάθε τροχό.

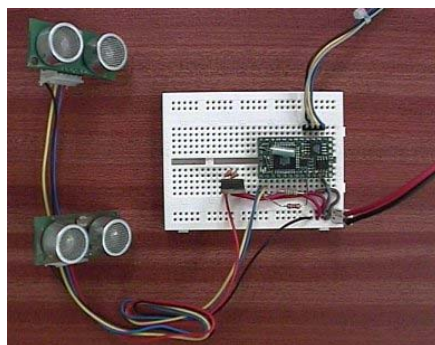
Δοκιμή	Πλήθος Παλμών	Δοκιμή	Πλήθος Παλμών	Δοκιμή	Πλήθος Παλμών	Δοκιμή	Πλήθος Παλμών
1	84445	5	84431	9	84560	13	94692
2	84695	6	84423	10	84525	14	84785
3	84519	7	84870	11	84615	15	84436
4	84721	8	84539	12	84693		
					Μέσος Όρος	85263	
					Παλμοί / m	21316	
					Παλμοί / cm	213	

Το παραπάνω πείραμα δεν είναι ο πιο αξιόπιστος τρόπος δημιουργίας σχέσης μεταξύ παλμών και απόστασης. Είναι όμως γρήγορη και απλή μέθοδος. Ο λόγος που οδήγησε σε αυτή την μέθοδο είναι η αδυναμία καταμέτρησης της περιμέτρου των κινητήριων τροχών, δεδομένου ότι οι τροχοί έχουν προσαρμοστεί από τον κατασκευαστή πάνω στους κινητήρες.

Το αποτέλεσμα που εξαχθεί από το πείραμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ανάδραση στο σύστημα αυτομάτου ελέγχου του οχήματος. Πιο απλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αλγόριθμο με την χρήση βρόγχου *while* για την κίνηση του οχήματος σε συγκεκριμένη απόσταση.

3.6 Αισθητήρια απόστασης

Σημαντικό ρόλο στην πλοήγηση του αυτοκινούμενου οχήματος έχουν τα αισθητήρια ανίχνευσης απόστασης. Αυτά αποτελούν την είσοδο στο σύστημα κίνησης και αποφυγής εμποδίων. Η κυριότερη ομάδα αισθητηρίων ανίχνευσης απόστασης είναι οι αισθητήρες υπερήχων (Εικόνα 3-9). Αυτοί μετρούν τον χρόνο που έκανε ακτίνα υπερήχου να διανύσει την άγνωστη απόσταση, από το αισθητήριο έως την προσπίπτουσα επιφάνεια, και έτσι υπολογίζουν την απόσταση από τον ανιχνευθέν αντικείμενο.



Εικόνα 3-9 Ζεύγος αισθητηρίων υπερήχων με τον οδηγό τους

Στο όχημα Hellenak δεν στάθηκε δυνατό να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες υπερήχων λόγω έλλειψης κατάλληλων οδηγών ελέγχου. Για την πλοήγηση του οχήματος χρησιμοποιήθηκαν φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες. Οι φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες δεν ανιχνεύουν απόσταση του οχήματος από κάποιο αντικείμενο, αλλά το αν βρίσκεται κάποιο αντικείμενο σε συγκεκριμένη ακτίνα. Πλεονέκτημα τους είναι ότι έχουν μεγαλύτερη ακτίνα από τους αισθητήρες υπερήχων, λειτουργούν κάτω από πολλαπλές φωτεινότητες έχουν μεγάλη αξιοπιστία και απλή προσαρμογή.

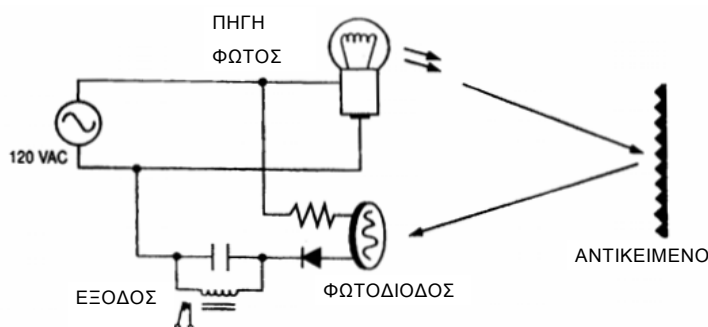
Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 7 αισθητήρια της εταιρίας Banner Electronics, τοποθετημένα περιμετρικά του οχήματος.

3.6.1 Φωτοηλεκτρικά αισθητήρια

Τα φωτοηλεκτρικά αισθητήρια είναι διακόπτες που ανοίγουν και κλείνουν από την παρουσία ή την έλλειψη λαμβανομένου φωτός [8]. Τα βασικά στοιχεία ενός φωτοηλεκτρικού αισθητηρίου είναι η παροχή ενέργειας, η πηγή φωτός, ένας φωτοανιχνευτής, και η συσκευή εξόδου.

Το κλειδί στη λειτουργία του αισθητηρίου είναι ο φωτοανιχνευτής, που είναι κατασκευασμένος από σιλικόνη. Η σιλικόνη είναι ημιαγώγιμο υλικό που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα υπό την παρουσία φωτός ιδιότητα αυτή χρησιμοποιείται για τον έλεγχο πολλών διατάξεων κατά την παραγωγική διαδικασία.

Τα πρώτα βιομηχανικά φωτοηλεκτρικά αισθητήρια χρησιμοποιούσαν κεντραρισμένη ακτίνα φωτός από διεγερμένη λυχνία για να ενεργοποιήσουν φωτοκύτταρο σουλφιδίου του καδμίου. Η τεχνική αυτή εμφάνιζε πολλά μειονεκτήματα ως προς την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, ιδιαίτερα σε εφαρμογές όπου μεταβαλλόταν η φωτεινότητα του χώρου.



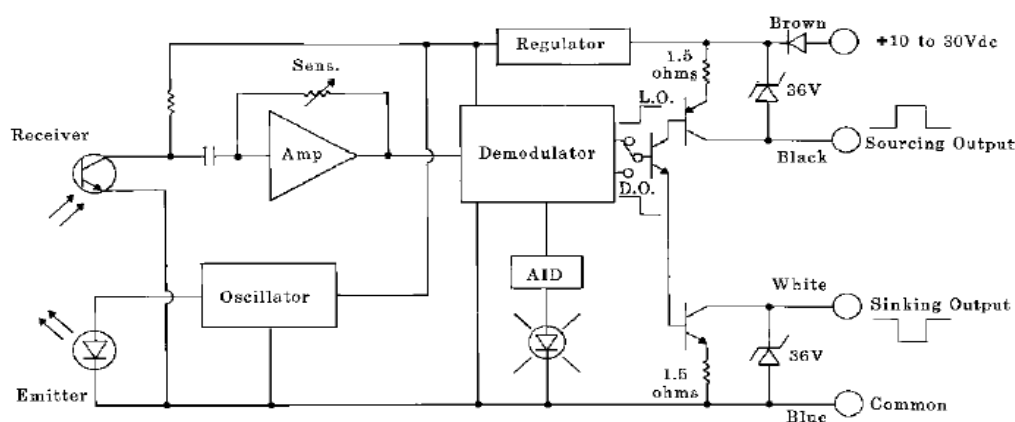
Εικόνα 3-10 Αρχή λειτουργίας αισθητηρίων

Σήμερα οι περισσότεροι φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν LEDs (διόδους εκπομπής φωτός) ως πηγή φωτός. Ο στερεάς κατάστασης αυτός ημιαγώγος, έχει παρόμοια συμπεριφορά με μια δίοδο, εκτός του ότι εκπέμπει ένα μικρό ποσό φωτός προς την μπροστινή κατεύθυνση. Τα LEDs μπορούν να εκπέμψουν πράσινο, μπλε, γαλαζοπράσινο,

κίτρινο, κόκκινο, ή υπέρυθρο φως. Τα συνηθέστερα χρώματα οδήγησης που χρησιμοποιούνται, υπό την έννοια της ορατότητας, είναι τα κόκκινα και τα υπέρυθρα. Στις εφαρμογές που τα χρώματα στον χώρο δράσης αντιπαραβάλλονται, η επιλογή του χρώματος οδήγησης είναι σημαντική. Επειδή τα LEDs είναι στερεάς κατάστασης, διαρκούν για ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός αισθητήρα.

3.6.2 Ο αισθητήρας SM912D

Το μοντέλο του αισθητηρίου της εταιρίας Banner Electronics που εγκαταστήθηκε στο όχημα είναι το SM912D. Η αρχή λειτουργίας είναι ίδια με αυτή που περιγράφηκε παραπάνω. Το αισθητήριο ανιχνεύει την ανάκλαση της ακτίνας φωτός που εξέπεμψε προς το ανιχνευθέν αντικείμενο. Η ακτίνα ανίχνευσης του είναι περί τα 76cm. Η συγκεκριμένη απόσταση θεωρείται μεγάλη δεδομένου ότι τα περισσότερα φωτοηλεκτρικά αισθητήρια έχουν την μισή ακτίνα ανίχνευσης από τον SM912D.

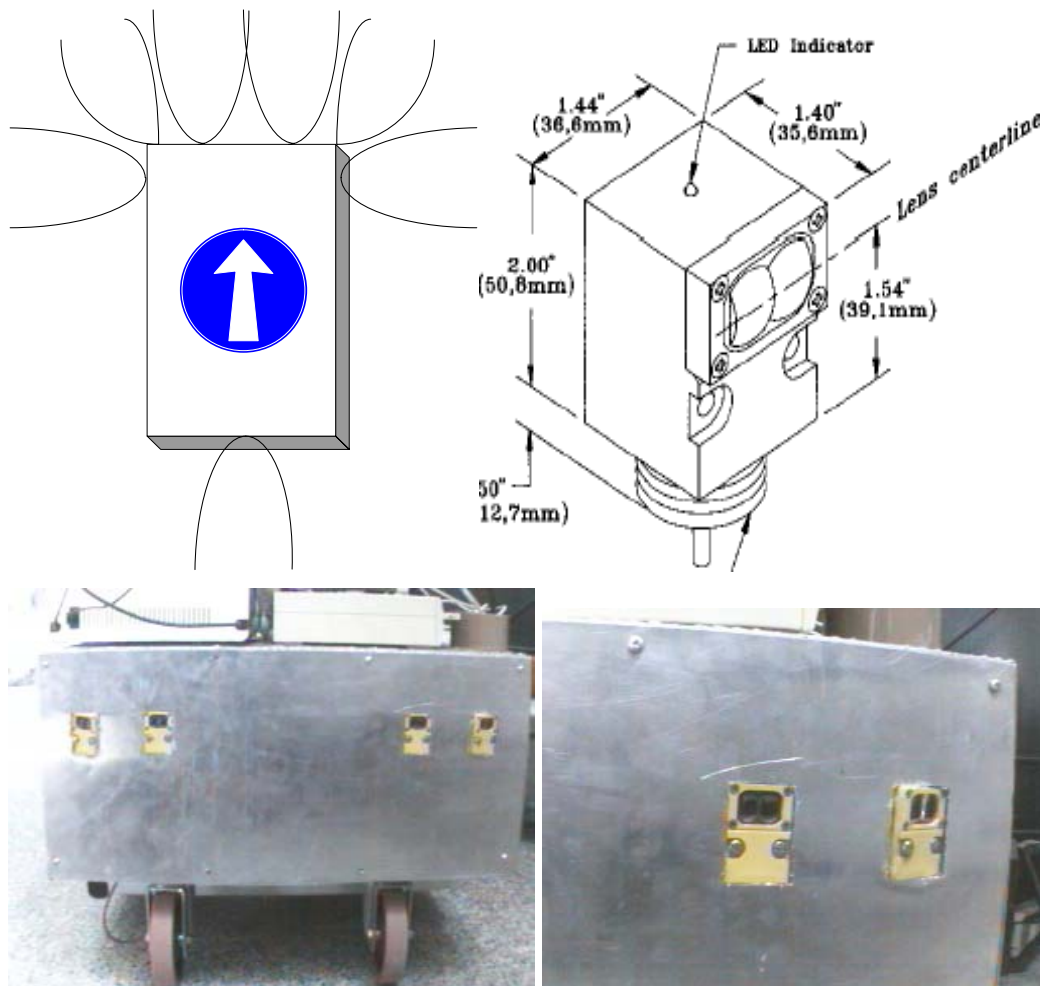


Εικόνα 3-11 Διάγραμμα λειτουργίας αισθητήρων SM912D

Η τάση λειτουργίας του αισθητηρίου είναι από 10VDC έως 30VDC. Ο χρόνος απόκρισης είναι 4ms για κάθε αλλαγή. Το εκπεμπόμενο φως είναι υπέρυθρη δέσμη 880nm. Το εύρος θερμοκρασιών που μπορεί να λειτουργήσει ο αισθητήρας είναι αρκετά μεγάλο και κυμαίνεται από -20 έως 70 βαθμούς C. Σημαντικό στοιχείο των συγκεκριμένων διατάξεων είναι ότι επιτρέπουν των ρύθμιση της ακτίνας ανίχνευσης και της φωτεινότητας ανίχνευσης, έτσι μπορούν να προσαρμοστούν στο περιβάλλον λειτουργίας για βέλτιστα αποτελέσματα.

3.6.3 Τοποθέτηση φωτοηλεκτρικών αισθητηρίων στο όχημα Hellenak

Τα αισθητήρια SM912D προσαρμόσθηκαν στα τοιχώματα της πλατφόρμας. Ιδιαίτερο βάρος δόθηκε στην περιοχή ανίχνευσης μπροστά από το ρομπότ. Τέσσερις από τους αισθητήρες τοποθετήθηκαν μπροστά από το όχημα, 2 πλάγια και ένας στην πίσω μεριά. Στην Εικόνα 3-12 φαίνεται η θέση καθώς και η περιοχή ανίχνευσης του κάθε αισθητηρίου.



Εικόνα 3-12 α. Διαμόρφωση αισθητηρίων στην πλατφόρμα Hellenak, β. Διαστάσεις αισθητηρίου, γ, δ. Όψεις των αισθητηρίων στην πλατφόρμα.

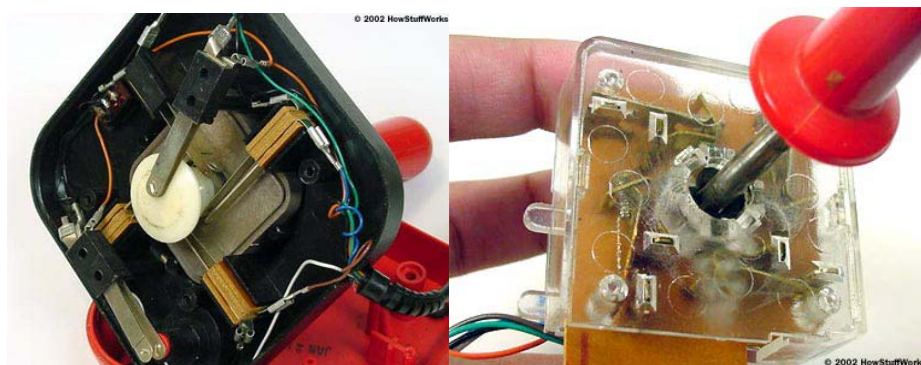
3.7 Πηδάλιο Πλοήγησης

Η βασική ιδέα ενός πηδαλίου είναι να μεταφράζει τη μετακίνηση πλαστικής ράβδου σε ηλεκτρονικές πληροφορίες, που μπορεί να επεξεργαστεί ελεγκτής. Τα πηδάλια χρησιμοποιούνται σε πολλά είδη μηχανών, από αεριοθούμενα πολεμικά αεροπλάνα έως και αναπηρικές καρέκλες. Σε αυτό το χωρίο, θα εστιάσουμε στα πηδάλια ηλεκτρονικών υπολογιστών, παρόλο που ίδιες αρχές ισχύουν για άλλα είδη των πηδαλίων.

Οι διάφορες τεχνολογίες πηδαλίων διαφέρουν κυρίως σε πόσες πληροφορίες δίνουν στον χρήστη. Το απλούστερο σχέδιο πηδαλίων, που χρησιμοποιείται σε κονσόλες παιχνιδιών, είναι ακριβώς ένας εξειδικευμένος ηλεκτρικός διακόπτης (Εικόνα 3-13).

Αυτό το βασικό σχέδιο αποτελείται από ένα ραβδί που είναι συνδεδεμένο με μια πλαστική βάση με μια εύκαμπτη λαστιχένια θήκη. Η βάση στεγάζει έναν πίνακα κυκλωμάτων που κείται αμέσως κάτω από το ραβδί. Ο πίνακας κυκλωμάτων αποτελείται από διάφορα "τυπωμένα κυκλώματα," τα οποία συνδέουν διάφορα τερματικά επαφών. Τα καλώδια εξόδου επεκτείνονται από αυτά τα σημεία επαφής στον κεντρικό υπολογιστή.

Όταν το πηδάλιο κλείνει προς συγκεκριμένη κατεύθυνση ενεργοποιείται ο ανάλογος διακόπτης. Σε περίπτωση που το πηδάλιο κλείνει προς διαγώνια κατεύθυνση ενεργοποιείται ζεύγος διακοπών. Στα πιο σύγχρονα πηδάλια, όπως αυτό που χρησιμοποιούμε, η αρχή λειτουργίας δεν συμπεριλαμβάνει διακόπτες αλλά οδόμετρα. Έτσι είναι εφικτό να είναι γνωστή η ακριβή θέση του πηδαλίου και όχι μόνο η κατεύθυνση αυτού.



Εικόνα 3-13 Εσωτερικό πηδαλίων

Η αυτοκινούμενη πλατφόρμα που κατασκευάστηκε έχει την δυνατότητα να κινηθεί με τη χρήση πηδαλίου. Αυτό μπορεί να συνδεθεί στον κεντρικό υπολογιστή, οπότε και η πλατφόρμα παίρνει τη μορφή ηλεκτροκίνητου οχήματος. Η σύνδεση του πηδαλίου σε απομακρυσμένο τερματικό ηλεκτρονικού υπολογιστή επιτρέπει χειροκίνητο έλεγχο από απόσταση και ως εκ τούτου την δυνατότητα χρήση της πλατφόρμας σε μη φιλικά για τον άνθρωπο περιβάλλοντα.

Σημαντικό στοιχείο του αναλογικού αυτού πηδαλίου είναι η δυνατότητα συσχέτισης του διανύσματος του πηδαλίου με το διάνυσμα της ταχύτητας του οχήματος. Πιο συγκεκριμένα δύναται να μεταβληθεί το μέγεθος της ταχύτητας αναλόγως της θέσης του πηδαλίου. Έτσι για μεγάλες κλίσεις του πηδαλίου παράγονται μεγάλες ταχύτητες, ενώ για μικρές κλίσεις παράγονται μικρές ταχύτητες οπότε και μικρές μετατοπίσεις.

Τελειώνοντας υφίσταται η δυνατότητα καταγραφής και αποθήκευσης των θέσεων του πηδαλίου κατά την διάρκεια της χειροκίνητης λειτουργίας και αναπαραγωγής τους στην συνέχεια από τον ελεγκτή του οχήματος.

3.8 Ψηφιακή κάμερα

Το όχημα είναι εφοδιασμένο με ψηφιακή κάμερα μικρής ανάλυσης. Η κάμερα είναι προσαρμοσμένη σε σταθερό σημείο και σύμφωνα με την διαφύρρωση αυτή δεν δύναται να περιστραφεί για την παρακολούθηση στόχου. Η κάμερα συνδέεται μέσω του διαύλου επικοινωνίας RS232 στην μητρική κάρτα της κεντρικής υπολογιστικής μονάδας. Από την ίδια σύνδεση γίνεται και η τροφοδοσία της κάμερας. Το σήμα μπορεί να επεξεργαστεί από ειδικό λογισμικό για την διεξαγωγή στοιχείων χρήσιμων για την πλοήγηση του οχήματος, την αποφυγή εμποδίων και την αναγνώριση αντικειμένου. Εικονοστοιχεία από την σκηνή δράσης μπορούν να μεταφερθούν μέσω του δικτύου Ethernet σε τερματικό ελέγχου. Έτσι χειριστής, κατά την διάρκεια χειροκίνητης εφαρμογής, μπορεί με την χρήση των εικονοστοιχείων αυτών να πλοηγήσει το όχημα από απόσταση.

Για αποτελεσματικότερη πλοήγηση συνίσταται η εγκατάσταση δεύτερης ψηφιακής κάμερας. Η στερεοσκοπική όραση θα δώσει στο όχημα πολλαπλές δυνατότητες, παρόμοιες με αυτές της ανθρώπινης όρασης. Χαρακτηριστική δυνατότητα από αυτές είναι η αίσθηση του χώρου και ο υπολογισμός της απόστασης από αντικείμενα.

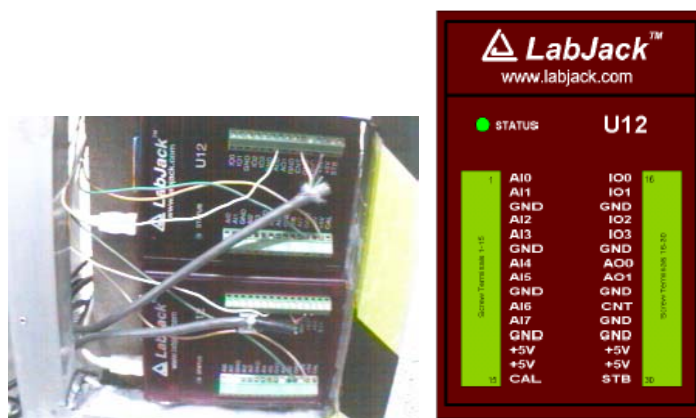
3.9 Κάρτα Ελέγχου

Η κάρτα ελέγχου αναλαμβάνει να μεταφέρει σήματα από τις περιφερειακές συσκευές στην υπολογιστική μονάδα ελέγχου καθώς και εντολές από την μονάδα προς τις συσκευές. Η αξιοπιστία της κάρτας είναι σημαντική την λειτουργία του οχήματος. Πρέπει τα σήματα που λαμβάνονται να φτάνουν εγκαίρως και προπαντός να είναι χωρίς θόρυβο και σφάλμα.

Η κάρτα ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε στο όχημα Hellenak είναι το μοντέλο U12 της εταιρίας Labjack. Η κάρτα έχει 30 τερματικές θύρες, εισόδους και εξόδους, ενώ συνδέεται

στην υπολογιστική μονάδα μέσω θύρας USB 2, που προσφέρει υψηλές ταχύτητες επικοινωνίας. Από τις τερματικές θύρες, οκτώ είναι αναλογικές εισοδοι, δύο είναι αναλογικές εξοδοι, είκοσι είναι ψηφιακές εισοδοι-εξοδοι, μία είναι μετρητής παλμών, οκτώ είναι γειώσεις και τέσσερις τροφοδοσία τάσης 5VDC για τις περιφερειακές συσκευές. Η συχνότητα δειγματοληψίας εμφανίζει μέγιστη τιμή 50 Hz[9].

Το αυτοκινούμενο όχημα Hellenak είναι η πρώτη εφαρμογή η οποία χρησιμοποιεί ζεύγος καρτών ελέγχου U12 της Labjack (Εικόνα 3-14). Συνδέσαμε τις δύο κάρτες στις δύο ελεύθερες θύρες USB της υπολογιστικής μονάδας. Έτσι εξελίχθηκε ακόμη περισσότερο η ανοιχτή αρχιτεκτονική του οχήματος, δίνοντας σε αυτό πολλαπλές δυνατότητες ανάπτυξης και στους χρήστες την δυναμική να προσαρμόσουν το όχημα σε πλήθος εφαρμογών. Αναφέρεται ότι είναι έτοιμη η υποδομή για εγκατάσταση ψηφιακής πυξίδας, πλήθος αισθητηρίων καθώς και ρομποτικού βραχίονα για την φορτοεκφόρτωση αντικειμένων στην πλατφόρμα.



Εικόνα 3-14 Κάρτες ελέγχου του οχήματος Hellenak

Η κάρτες ελέγχου έχουν τοποθετηθεί στο εσωτερικό του οχήματος απομονωμένες από τα υπόλοιπα λειτουργικά στοιχεία. Με αυτό τον τρόπο προστατεύουμε τις συσκευές από καταστροφή σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Οι κάρτες έχουν προσαρμοσθεί σε ξύλινη πλακέτα για την αποφυγή διαρροής ηλεκτρικών φορτίων.

4 Κινηματική

4.1 Εισαγωγή

Ο προγραμματισμός της κίνησης είναι ένα κρίσιμο στοιχείο για την λειτουργία κάθε αυτοκινούμενου οχήματος, όπως η πλατφόρμα Hellenak. Απαιτεί την πλήρη γνώση της αρχιτεκτονικής του οχήματος καθώς και το σύνολο των φυσικών εξισώσεων που περιγράφουν την κίνηση του. Αποτελεί ένα από τα προβλήματα της σύγχρονης ρομποτικής που επιχειρείται να βελτιστοποιηθεί σε συνδυασμό με την αποφυγή εμποδίων.

4.2 Μετακίνηση

Μετακίνηση είναι η διαδικασία που προκαλεί κίνηση σε ένα αυτόνομο ρομπότ ή ένα όχημα. Προκειμένου να παραχθεί η κίνηση, δυνάμεις πρέπει να εφαρμοστούν στο όχημα. Η μελέτη της κίνησης που αυτές οι δυνάμεις διαμορφώνονται είναι γνωστή ως *δυναμική*, ενώ *κινηματική* είναι η μελέτη των μαθηματικών της κίνησης χωρίς εξέταση των δυνάμεων που έχουν επιπτώσεις στην κίνηση. Η κινηματική εξετάζει τις γεωμετρικές σχέσεις που διέπουν την κίνηση του συστήματος, ενώ η δυναμική περιλαμβάνει τις ενέργειες και τις ταχύτητες που συνδέονται με αυτές τις κινήσεις. Εδώ εξετάζεται η κινηματική των διάφορων στρατηγικών κίνησης.

Αν και πολλές διαφορετικές στρατηγικές μετακίνησης έχουν προταθεί από τους σχεδιαστές κινούμενων ρομπότ, το σχέδιο των κινητήριων συστημάτων ενός ρομπότ εξαρτάται από την εφαρμογή και την περιοχή της: “Πόσο γρήγορα πρέπει το ρομπότ να κινηθεί;”, “Το ρομπότ πρέπει να αναρριχηθεί διατάξεις;”, “Το ρομπότ πρέπει να πετάζει πάνω από έκταση;”, “Είναι το περιβάλλον εφαρμογής ομαλό ή τραχύ;”

Βάσει της περιοχής εφαρμογής, τέσσερις ευρείες κατηγορίες κινητών ρομπότ έχουν προκύψει [5]:

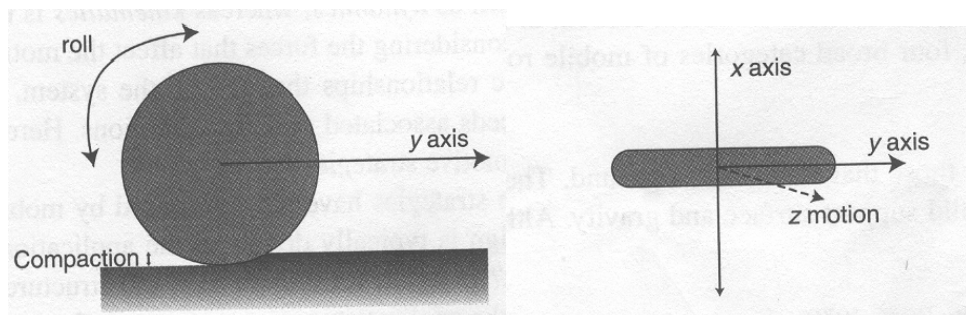
1. **Επίγεια οχήματα.** Επίγεια είναι τα οχήματα αυτά τα οποία κινούνται στο έδαφος. Έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εκμεταλλεύονται την δύναμη αντίδρασης, που προκύπτει σε στερεές επιφάνειες, καθώς και της δύναμης της βαρύτητας. Εκτός από τα συνηθισμένα έντροχα επίγεια αυτοκινούμενα οχήματα, υφίστανται

αυτοκινούμενα οχήματα τα οποία δύναται περπατούν, να αναρριχώνται, κυλούν και έρπουν δια την δημιουργία κίνησης.

2. Υδρόβια. Τα υδρόβια ρομπότ λειτουργούν στο νερό, είτε στην επιφάνεια του είτε υποβρύχια. Τα περισσότερα υπάρχοντα υδρόβια οχήματα χρησιμοποιούν είτε τις προβολές ύδατος είτε προωστήρες για τη μετακίνηση τους. Η υδρόβια ρομποτική είναι μια σημαντική περιοχή εφαρμογής επειδή όχι μόνο το μεγαλύτερο μέρος της γήινης επιφάνειας καλύπτεται με ύδωρ, αλλά ένα μεγάλο μέρος των ωκεανών δεν είναι εύκολα προσιτό στους ανθρώπους.
3. Αερομεταφερόμενα. Αερομεταφερόμενα οχήματα ρομπότ συχνά μιμούνται υπάρχοντα αεροπλάνα ή ακόμα και πτηνά. Τα ιπτάμενα ρομπότ μοιράζονται πολλά χαρακτηριστικά με τα υδρόβια ρομπότ.
4. Διαστημικά. Τα διαστημικά ρομπότ σχεδιάζονται για να λειτουργούν στη μικροβαρύτητα του διαστήματος και χρησιμοποιούνται κυρίως για τη διαστημική συντήρηση σταθμών. Οι διάφορες κινητήριες συσκευές επιτρέπουν στα ρομπότ αυτά να κινούνται μέσα στο περιβάλλον που εργάζονται. Οι δύο κύριες κατηγορίες ρομπότ είναι εκείνες που κινούνται με την αναρρίχηση (γύρω από ένα μεγαλύτερο όχημα) και εκείνες που ωθούνται ανεξάρτητα (γνωστός ως ελεύθερα ιπτάμενα).

4.3 Έντροχα κινούμενα ρομπότ

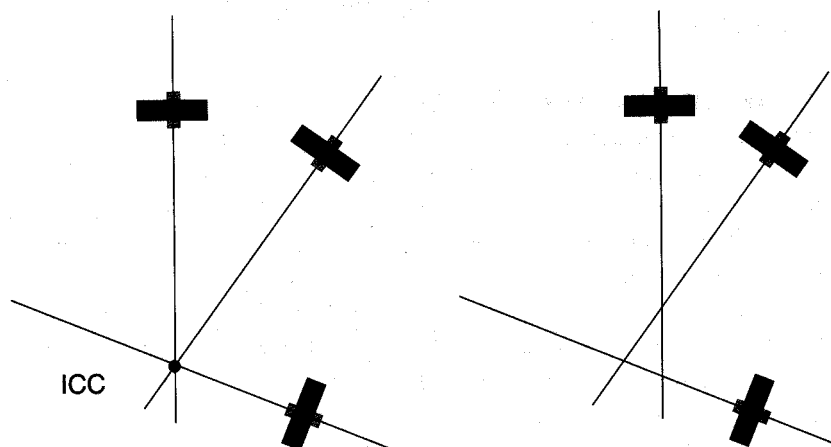
Μηχανικές συσκευές όπως οι τροχοί και τα άκρα εκμεταλλεύονται την τριβή ή την επίγεια επαφή για να επιτρέψουν στο ρομπότ για να κινηθούν. Ας εξετάσουμε ένα εξιδανικευμένη τροχό όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 4-1. Εάν ο τροχός είναι ελεύθερος να περιστραφεί γύρω από τον άξονά του (ο άξονας X), το ρομπότ εκτελεί κύλιση κινούμενο σε μια κατεύθυνση (στην κατεύθυνση του άξονα Y) και ένα ορισμένο ποσό πλευρικής ολίσθησης. Πραγματικά ευθύγραμμη κίνηση της ρόδας συμβαίνει στην διεύθυνση της γραμμής z , αλλά για τις χαμηλές ταχύτητες κύλισης η κίνηση ροδών είναι ένα λογικό πρότυπο.



Εικόνα 4-1. Πλάγια όψη και άνω όψη μιας εξιδανικευμένης κυλιόμενης ρόδας

Μια από τις επικρατούσες τεχνικές εκτίμησης κινήσεων που χρησιμοποιείται στα τροχοφόρα κινητά ρομπότ είναι η οδομετρία (odometry), δηλαδή η εκτίμηση της απόστασης από τη μέτρηση των περιστροφών των κινούμενων τροχών. Η απλούστερη περίπτωση είναι ένας ελεύθερα περιστρεφόμενος τροχός. Στην περίπτωση αυτή το όχημα καλύβη μια απόσταση $2\pi r$ για κάθε περιστροφή τροχού με ακτίνα r . Εκτός από την πλευρική ολίσθηση, η ανεπαρκής έλξη μπορεί επίσης να οδηγήσει σε υπερστροφή κατά την κατεύθυνση της κίνησης, γεγονός που καθιστά την ακριβή εκτίμηση της θέσης ιδιαίτερα δύσκολη. Οι πρόσθετοι παράγοντες προκύπτουν εξ αιτίας της συμπίεσης του οχήματος-εδάφους (Σχήμα 2.1) και της συνοχής μεταξύ της επιφάνειας και της ρόδας. Επειδή αυτοί οι παράγοντες εξαρτώνται από μεταβλητά χαρακτηριστικά της επιφάνειας κύλισης, είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστούν οι θέσεις που διανύθηκαν *ακριβώς* μετά από στην περιστροφή των τροχών. Επειδή η απόκλιση από το ιδανικό πρότυπο συμβαίνει συνήθως όταν αναπτύσσονται δυνάμεις, τροχός που δεν μεταφέρει φορτία υιοθετείται συχνά για να υπολογίζει την απόσταση που διανύεται.

Ένα όχημα με πολλαπλούς τροχούς σε επαφή με την επιφάνεια. Για επαφή και κύλιση όλων των τροχών με το έδαφος, η κίνηση κάθε μια από τους τροχούς του οχήματος είναι πρέπει να είναι κατά μήκος του άξονα Y της. Κατά συνέπεια, για ένα τροχοφόρο κινητό ρομπότ που εκτελεί κίνηση με την περιστροφή των τροχών του, ένα σημείο πρέπει να υπάρξει, γύρω από το οποίο κάθε τροχός στο όχημα ακολουθεί κυκλική πορεία. Αυτό το σημείο είναι γνωστό ως *στιγμιαίο κέντρο κυρτότητας* (ICC) ή *στιγμιαίο κέντρο της περιστροφής* (ICR). Για να αλλάξει το ICC του οχήματος, πρέπει να αλλάξει η ιδιότητα κάποιου τροχού, όπως ο προσανατολισμός του τροχού όσον αφορά τον κάθετο άξονά του. Στην πράξη είναι αρκετά απλό να προσδιοριστεί το ICC επειδή βρίσκεται σε μια ευθεία συμπίπτουσα με τον άξονα περιστροφής κάθε ρόδας, η οποία είναι σε επαφή με το έδαφος (Εικόνα 4-2). Διάφοροι μηχανισμοί δύνανται να αλλάξουν το ICC, και διάφοροι από αυτούς συζητούνται σε αυτό το χωρίο.



Εικόνα 4-2 Στην πρώτη διαμόρφωση τριών τροχών υπάρχει το ICC ενώ στην δεύτερη όχι, έτσι το όχημα με την πρώτη διαμόρφωση μπορεί να εκτελέσει περιστροφική κίνηση, το δεύτερο όχι.

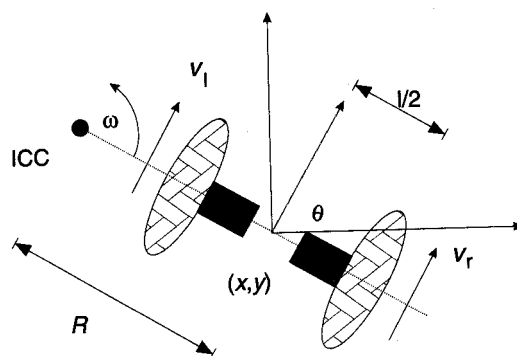
Τα κινητά ρομπότ συνήθως δεν έχουν τον πλήρη ανεξάρτητο έλεγχο και στους τρεις βαθμούς ελευθερίας και πρέπει να υποβληθούν στους σύνθετους ελιγμούς για να φθάσουν σε συγκεκριμένο στόχο. Έστω η περίπτωση παράλληλης στάθμευσης αυτοκινήτου, για παράδειγμα. Για να σταθμεύσει το αυτοκίνητο σε ένα συγκεκριμένο σημείο, ο χειριστής χρειάζεται να εκτελέσει μια σειρά σύνθετων ελιγμών και οι ελιγμοί που απαιτούνται, εξαρτώνται αυστηρά από τη φύση του χώρου και του οχήματος. Σε ένα αυτοκίνητο δεν είναι δυνατό να αλλαχτεί η θέση του οχήματος αυθαίρετα, και οι αλλαγές αυτές δεν είναι ανεξάρτητες του προσανατολισμού αυτού. Αυτό είναι ένα παράδειγμα *περιορισμού διαφορικής κίνησης*.

Μερικά ελαφριά οχήματα είναι εξοπλισμένα με πρόσθετους τροχούς ή σημείων επαφής, τα οποία παρέχουν υποστήριξη αλλά δεν συμβάλλουν ούτε στην οδήγηση, ούτε στην προώθηση. Γνωστοί γενικώς ως ελεύθεροι τροχοί αγνοούνται στον υπολογισμό της κινηματικής των οχημάτων.

Διαφορική Κίνηση: Η διαφορική κίνηση είναι ίσως ο απλούστερος πιθανός μηχανισμός κίνησης για ένα κινητό επίγειο ρομπότ. Η τεχνολογία αυτή έχει χρησιμοποιηθεί στα μικρά, χαμηλού κόστους, ρομπότ όπως το TuteBot και το Khepera και τις μεγαλύτερες εμπορικές βάσεις όπως το TRC Labmate και το Robuter. Όπως απεικονίζεται στο σχήμα 2.4, ένα ρομπότ διαφορικής κίνησης αποτελείται από δύο ρόδες που τοποθετούνται σε έναν κοινό άξονα κινούμενες από χωριστές μηχανές.

Η κινηματική εξετάζει τη σχέση μεταξύ των παραμέτρων ελέγχου και της συμπεριφοράς ενός συστήματος στον χώρο. Είναι γνωστό ότι οι ελεγχόμενες ταχύτητες των

τροχών καθορίζουν την κίνηση του οχήματος. Υπό διαφορική κίνηση, για να υπάρχει κύλιση σε κάθε έναν από τους δύο τροχούς, το ρομπότ πρέπει να περιστραφεί γύρω από σημείο το οποίο βρίσκεται στον κοινό άξονα των τροχών κίνησης. Με την αλλαγή της σχετικής ταχύτητας των δύο ροδών, το σημείο αυτό αλλάζει, και οι διαφορετικές τροχιές επιτυγχάνονται.



Εικόνα 4-3 Ο έλεγχος οχήματος διαφορικής κίνησης γίνεται με έλεγχο της ταχύτητας κάθε τροχού

Σε κάθε στιγμή, το σημείο γύρω από το οποίο το ρομπότ περιστρέφεται πρέπει να έχει την ιδιότητα, οι αριστερές και δεξιές οι ρόδες να ακολουθούν μια πορεία γύρω από το ICC και κατά την ίδια γωνία ω (Εικόνα 4-3), και έτσι

$$\omega(R + l/2) = v_l \quad \text{Εξίσωση 4-1}$$

$$\omega(R - l/2) = v_r \quad \text{Εξίσωση 4-2}$$

όπου l είναι η απόσταση κατά μήκος του άξονα μεταξύ των κέντρων των δύο τροχών, ο αριστερός κινείται με ταχύτητα, v_l κατά μήκος του εδάφους, ο δεξιά με ταχύτητα v_r , και το R είναι η απόσταση από το ICC στο μεσαίο σημείο μεταξύ των δύο ροδών. Σημειώστε ότι v_l , v_r , ω , και το R είναι όλες οι συναρτήσεις του χρόνου. Οποιαδήποτε στιγμή, η επίλυση για το R και ω οδηγεί σε

$$R = \frac{l(v_l + v_r)}{2(v_r - v_l)}, \omega = \frac{v_r - v_l}{l} \quad \text{Εξίσωση 4-3}$$

Διάφορες ειδικές περιπτώσεις είναι ενδιαφέρουσες. Εάν $v_l = v_r$, η ακτίνα R θεωρητικά απειρίζεται και οι κινήσεις του ρομπότ βρίσκονται σε μια ευθεία γραμμή. Εάν $v_l = -v_r$, τότε η ακτίνα είναι μηδέν και το ρομπότ περιστρέφεται για ένα σημείο μεταξύ των δύο τροχών.

Αυτό καθιστά τη διαφορική κίνηση ελκυστική για τα ρομπότ που πρέπει να πλοηγηθούν στα κλειστά περιβάλλοντα. Για άλλες τιμές v_L και v_r , το ρομπότ δεν κινείται σε μια ευθεία γραμμή αλλά ακολουθεί μια κυρτή τροχιά σε μια απόσταση R μακριά από το κέντρο του ρομπότ, αλλάζοντας τη θέση και τον προσανατολισμό του ρομπότ.

Η κινηματική δομή του οχήματος απαγορεύει ορισμένες κινήσεις. Παραδείγματος χάριν, δεν υπάρχει κανένας συνδυασμός v_L , v_r έτσι ώστε το όχημα μπορεί να κινηθεί άμεσα κατά μήκος του κοινού άξονα των τροχών.

Ένα όχημα διαφορικής κίνησης εμφανίζει ευαισθησία ως προς την σχετική ταχύτητα των δύο τροχών. Μικρά σφάλματα στην ταχύτητα κάθε τροχού θα προκαλέσει διαφορετικές από τις αναμενόμενες τροχιές, και όχι μόνο μεταβολές στην ταχύτητα του ρομπότ. Τα οχήματα κίνησης χρησιμοποιούν συνήθως βοηθητικούς τροχούς για ισορροπία. Κατά συνέπεια, είναι ευαίσθητα στις μικρές ανωμαλίες της επιφάνειας κύλισης. Αυτό περιορίζει τη δυνατότητα εφαρμογής τους σε μη διαμορφωμένα περιβάλλοντα.

Ευθεία κινηματική για ρομπότ διαφορικής κίνησης Εικάζει ότι το ρομπότ κείται σε θέση (X, Y) και "κλίνει" ο άξονας του κατά γωνία θ με τον άξονα X . Μέσω του χειρισμού των παραμέτρων ελέγχου V_L και V_r , το ρομπότ μπορεί να αλλάξει τη θέση του. Ο καθορισμός θέσης που είναι εφικτός, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους ελέγχου, είναι γνωστός ως πρόβλημα ευθείας κινηματικής. Επειδή τα V_L και V_r , και ως εκ τούτου τα R και ω είναι συναρτήσεις του χρόνου, τότε εάν το ρομπότ πρέπει έχει θέση (X, Y, θ) σε κάποιο χρόνο t , και εάν οι αριστερές και δεξιές ρόδες έχουν τις ταχύτητες V_L και V_r κατά τη διάρκεια της περιόδου $t \rightarrow t + \delta t$, έπειτα το ICC δίνεται από την εξής σχέση

$$ICC = [x - R \sin(\theta), y + R \cos(\theta)] \quad \text{Εξίσωση 4-4-1 και}$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega \delta t) & -\sin(\omega \delta t) & 0 \\ \sin(\omega \delta t) & \cos(\omega \delta t) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - ICCx \\ y - ICCy \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} ICCx \\ ICCy \\ \omega \delta t \end{bmatrix} \quad \text{Εξίσωση 4-5-2}$$

Η **Εξίσωση 4-6-1** περιγράφει την κίνηση ενός ρομπότ που περιστρέφεται σε απόσταση R γύρω από το ICC της με γωνιακή ταχύτητα ω . Διαφορετικές κατηγορίες ρομπότ θα παράγουν διαφορετικές εκφράσεις για τα R και ω .

Με την ενσωμάτωση στην Εξίσωση 4-7-2 των αρχικών συνθηκών (x_0, y_0, θ_0) είναι δυνατό να υπολογιστεί η θέση του ρομπότ για οποιαδήποτε χρονική στιγμή t βάση των παραμέτρων ελέγχου $v_L(t)$ και $v_r(t)$. Αυτή είναι η λύση του προβλήματος ευθείας κινηματικής για το

όχημα. Γενικά, για ένα ρομπότ το οποίο κινείται σε κατεύθυνση $\theta(t)$ με μια δεδομένη ταχύτητα $v(t)$, είναι

$$\begin{aligned}x(t) &= \int_0^l V(t) \cos[\theta(t)] dt \\y(t) &= \int_0^l V(t) \sin[\theta(t)] dt \quad \text{Εξίσωση 4-8} \\ \theta(t) &= \int_0^l \omega(t) dt\end{aligned}$$

και για την περίπτωση της διαφορικής κίνησης είναι

$$\begin{aligned}x(t) &= \frac{1}{2} \int_0^l [(v_r(t) + v_l(t))] \cos \theta(t) dt \\y(t) &= \frac{1}{2} \int_0^l [(v_r(t) + v_l(t))] \sin \theta(t) dt \quad \text{Εξίσωση 4-9} \\ \theta(t) &= \frac{1}{l} \int_0^l [(v_r(t) - v_l(t))] dt\end{aligned}$$

Μια πιο ενδιαφέρουσα ερώτηση, με μια κάπως δυσκολότερη απάντηση, είναι, πώς μπορούν οι παράμετροι ελέγχου να επιλεγούν ώστε να καταλήξει το ρομπότ να λάβει συγκεκριμένη θέση ακολουθώντας μια συγκεκριμένη τροχιά. Αυτό είναι γνωστό ως στόχος *αντίστροφης κινηματικής*.

Αντίστροφη κινηματική για οχήματα διαφορικής κίνησης Οι Εξισώσεις 4-5 και 4-6 περιγράφουν έναν περιορισμό στην ταχύτητα του ρομπότ που δεν μπορεί να ενσωματωθεί σε μια συνάρτηση θέσης. Αυτό είναι γνωστό ως *nonholonomic* περιορισμός και είναι πολύ δύσκολο να λυθεί, αν και οι λύσεις είναι απλές για περιορισμένες κατηγορίες των παραμέτρων ελέγχου $v_l(t)$ και $v_r(t)$. Παραδείγματος χάριν, εάν υποθέσουμε ότι $v_l(t) = v_l$, $v_r(t) = v_r$, και $v_l \neq v_r$, η Εξίσωση 4-10 παράγει:

$$\begin{aligned}
 x(t) &= \frac{l}{2} \frac{v_r + v_l}{v_r - v_l} \sin\left[\frac{t}{l}(v_r - v_l)\right] \\
 y(t) &= -\frac{l}{2} \frac{v_r + v_l}{v_r - v_l} \cos\left[\frac{t}{l}(v_r - v_l)\right] + \frac{l}{2} \frac{v_r + v_l}{v_r - v_l} \quad \text{Εξίσωση 4-11} \\
 \theta(t) &= \frac{t}{l}(v_r - v_l)
 \end{aligned}$$

όπου $(x, y, \theta)_{t=0} = (0, 0, 0)$. Λαμβάνοντας υπόψη έναν στόχο χρόνου ένα στόχο θέσης (X, Y) η εξίσωση λύνεται για v_r και v_l αλλά δεν επιτρέπει τον ανεξάρτητο έλεγχο της θ .

Αντί να επιχειρηθεί η αντιστροφή της εξίσωσης για λύση ως προς τις παραμέτρους ελέγχου που οδηγούν σε συγκεκριμένη θέση, εξετάζονται δύο ειδικές περιπτώσεις διαφορικής κίνησης. Εάν $v_l = v_r = v$, η κίνηση απλοποιείται σε

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x + v \cos(\theta) \delta(t) \\ y + v \sin(\theta) \delta(t) \\ \theta \end{pmatrix} \quad \text{Εξίσωση 4-12}$$

για $-v_l = v_r = v$ η παραπάνω σχέση γίνεται

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta + 2v\delta t / l \end{pmatrix} \quad \text{Εξίσωση 4-13}$$

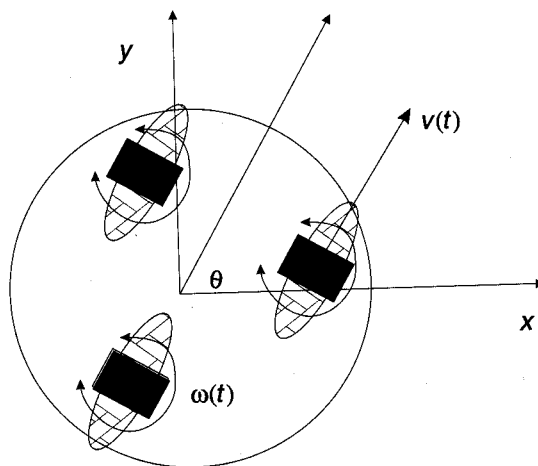
Κατά συνέπεια, για να οδηγηθεί το ρομπότ σε κάποιο στόχο (x, y, θ) , μπορεί να περιστρέφεται έως ότου στοχεύσει το (x, y) , κατόπιν να οδηγηθεί προς τα εμπρός έως ότου φτάσει στο (x, y) , και έπειτα να περιστραφεί έως ότου επιτευχθεί ο απαραίτητος προσανατολισμός θ του στόχου. Αυτή δεν είναι, φυσικά, η μόνη πιθανή λύση αντίστροφης κινηματικής οχήματος διαφορικής κίνησης. Άλλες λύσεις, όπως εκείνοι βασισμένες σε ομαλά μεταβαλλόμενες τροχιές είναι επίσης δυνατές.

Συγχρονισμένη κίνηση Στα ρομπότ *συγχρονισμένης κίνησης*, κάθε τροχός είναι ικανός κίνησης ή στρέψης. Οι χαρακτηριστικές διαμορφώσεις περιλαμβάνουν τρεις οδηγούμενους τροχούς στις κορυφές ενός ισόπλευρου τριγώνου που περιβάλλεται με μια κυλινδρική πλατφόρμα. Μια *οδηγούμενη ρόδα* είναι τροχός που ο προσανατολισμός του περιστροφικού

άξονα μπορεί να ελεγχθεί. Όλοι οι τροχοί περιστρέφονται και κινούνται σε ομοφωνία, δείχνουν πάντα στην ίδια κατεύθυνση και στρέφουν στο ίδιο ποσοστό. Αυτό χαρακτηριστικά ολοκληρώνεται μέσω της χρήσης μιας σύνθετης συλλογής ζωνών που συνδέουν φυσικά τους τροχούς. Σε ένα ρομπότ συγχρονισμένης κίνησης, το όχημα ελέγχει την κατεύθυνση στην οποία οι τροχοί δείχνουν και το ποσοστό στο οποίο κυλούν.

Μια κοινή μηχανική ρύθμιση για ένα όχημα συγχρονισμένης κίνησης είναι να χρησιμοποιηθούν δύο ανεξάρτητους κινητήρες, ένας ο οποίος δίνει κίνηση και ένας ο οποίος προκαλεί στρέψη. Επειδή όλοι οι τροχοί παραμένουν παράλληλοι, τα οχήματα συγχρονισμένης κίνησης περιστρέφονται γύρω από το κέντρο τους, κατά συνέπεια έχουν τη δυνατότητα να ελέγξουν τον προσανατολισμό θ ακαριαία. Η δυνατότητα να ελεγχθεί η περιστροφή και η ταχύτητα πρόωσης του ρομπότ απλοποιεί το γενικό έλεγχο και επιτρέπει σε ένα τέτοιο ρομπότ να χρησιμεύσει ως πρότυπο για πειραματισμό.

Τα οχήματα διαφορικής κίνησης, καθώς και αυτά συγχρονισμένης κίνησης, είναι ευαίσθητα σε ανωμαλίες του εδάφους. Στην περίπτωση της διαφορικής κίνησης, μια μικρή ανωμαλία στο επίπεδο κίνησης μπορεί να προκαλέσει απώλεια επαφής των τροχών κίνησης και ως εκ τούτου σφάλματα στη θέση, ενώ στην περίπτωση των ρομπότ συγχρονισμένης κίνησης, οι παραλλαγές στο επίπεδο κίνησης μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα ευθυγράμμισης των τροχών επειδή η απόσταση που κάθε τροχός διανύει είναι διαφορετική.



Εικόνα 4-4 Διαμόρφωση οχήματος συγχρονισμένης κίνησης

Ευθεία κινηματική για ρομπότ συγχρονισμένης κίνησης Τα οχήματα συγχρονισμένης κίνησης περιστρέφονται γύρω από το κέντρο τους με γωνιακή ταχύτητα ω , και μεταφραστική ταχύτητα v , που είναι υπό άμεσο έλεγχο. Αντικαθιστώντας αυτές σε παραπάνω τύπο δημιουργούνται οι εξισώσεις ευθείας κινηματικής

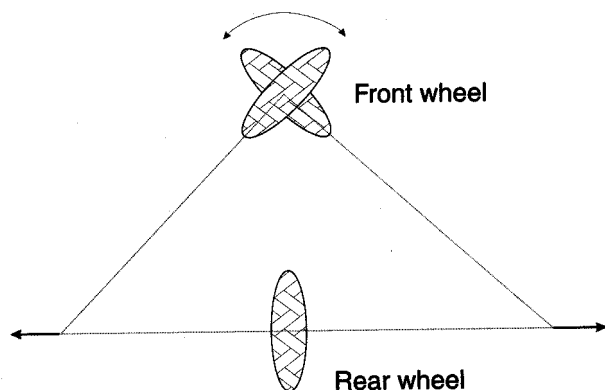
$$x(t) = \int_0^l v(t) \cos[\theta(t)] dt$$

$$y(t) = \int_0^l v(t) \sin[\theta(t)] dt \quad \text{Εξίσωση 4-14}$$

$$\theta(t) = \int_0^l \omega(t) dt$$

Αντίστροφη κινηματική για οχήματα συγχρονισμένης κίνησης Η αντίστροφη κινηματική οχήματος συγχρονισμένης κίνησης είναι παρόμοιο με την ειδική περίπτωση αντίστροφης κινηματικής ρομπότ διαφορικής κίνησης που αναλύθηκε νωρίτερα. Μπορούν να εξεταστούν δύο ειδικές ενδιαφέρουσες περιπτώσεις: (1) Εάν το $v(t)=0$ και $\omega(t)=\omega$ για κάποια περίοδο δt , το ρομπότ περιστρέφεται κατά $\omega\delta t$, και (2) εάν το $\omega(t)=0$ και $v(t)=v$ για κάποια περίοδο δt , το ρομπότ κινείται στην ίδια κατεύθυνση και διανύει απόσταση $v\delta t$.

Περιστρεφόμενοι Τροχοί: Τα ρομπότ τα οποία δεν χρησιμοποιούν καμία από τις δύο προηγούμενες μεθόδους κίνησης έχουν συνήθως μια ή περισσότερες ρόδες που μπορούν να στρέψουν και μια ή περισσότερες ρόδες των οποίων ο περιστροφικός άξονας δεν μπορεί να αλλάξει. Για αυτά τα ρομπότ η διαδικασία καθορισμού της περιοχής του ICC μπορεί να είναι πιο σύνθετη.



Έστω το πρόβλημα υπολογισμού του ICC ενός ποδηλάτου. Το ICC πρέπει να βρεθεί στη τομή των γραμμών κατά και κάθετα στον περιστροφικό άξονα κάθε ρόδας. Κατά συνέπεια το ICC

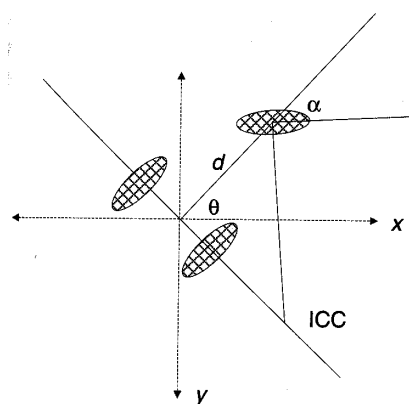
βρίσκεται στην περιοχή του διαστήματος της έντονης γραμμής στο παραπάνω σχήμα.

Για ένα ποδήλατο, το ICC πρέπει να βρεθεί σε μια γραμμή που περνά μέσω του περιστροφικού άξονα της οπίσθιας ρόδας και είναι κάθετη στο σώμα του ποδηλάτου. Η μπροστινή ρόδα μπορεί να οδηγηθεί, και έτσι το ICC βρίσκεται σε εκείνο το μέρος της γραμμής που περνά μέσω της οπίσθιας ρόδας που κόβει τη γραμμή που σύρεται κατά μήκος του άξονα της μπροστινής ρόδας. Λαμβάνοντας υπόψη μια μέγιστη γωνία οδήγησης της μπροστινής ρόδας, ένα ποδήλατο έχει μια ελάχιστη ακτίνα περιστροφής και περιστρέφεται

γύρω από σημείο του οπίσθιου άξονα.

Εάν οι μπροστινές και οπίσθιες ρόδες ενός ποδηλάτου είναι πηδαλιουχούμενες, η περιοχή του ICC θα ήταν πιο σύνθετη, αλλά μπορεί να βρεθεί με τον καθορισμό των γεωμετρικών τόπων των σημείων που ικανοποιούν τον περιορισμό κάθετων γραμμών.

Το τρίκυκλο Η κινηματική ενός τρίκυκλου έχει συμπεριφορά που είναι πιο κοινό στα κινητά ρομπότ. Ένα χαρακτηριστικό τρίκυκλο κινούμενο ρομπότ έχει τρεις τροχούς και οδόμετρα στους δύο οπίσθιους. Η κίνηση και η στρέψη παρέχονται μέσω του μπροστινού τροχού και ελέγχεται από την κατεύθυνση α οδήγησης και την ταχύτητα τροχού αυτού.



Εικόνα 4-5 Κινηματική διάταξη τρικύκλου

Ευθεία κινηματική εάν η οδηγούμενο μπροστινή ρόδα ή βρίσκεται σε γωνία α από την ευθεία κατεύθυνση, το τρίκυκλο, θα περιστραφεί με τη γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από σημείο που βρίσκεται σε απόσταση R κατά μήκος της καθέτου που περνά από τους οπίσθιους τροχούς. Τα R και ω δίνονται από την κάτωθι σχέση

$$R = d \tan(\pi/2 - \alpha), \omega = v/(d^2 + R^2)^{1/2} \quad \text{Εξίσωση 4-15}$$

v είναι ταχύτητα της μπροστινής ρόδας και d είναι η απόσταση από τον μπροστά στον οπίσθιο άξονα όπως φαίνεται στο σχήμα. Αντικαθιστώντας τα R και ω στην εξίσωση του ICC λαμβάνουμε την ευθεία κινηματική.

Αντίστροφη κινηματική Όπως με ένα όχημα διαφορικής κίνησης, το πρόβλημα αντίστροφης κινηματικής είναι δύσκολο, και γι' αυτό είναι αποδοτικό να εξεταστούν ειδικές περιπτώσεις. Οι δύο ειδικές περιπτώσεις, που εξετάστηκαν για τις προηγούμενες αρχιτεκτονικές, είναι οι πιο ενδιαφέρουσες. Εάν $\alpha = 0$, το όχημα κινείται ευθεία μπροστά και η τελευταία απλοποιείται σε

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x + v \cos(\theta) \delta t \\ y + v \sin(\theta) \delta t \\ \theta \end{pmatrix} \quad \text{Εξίσωση 4-16}$$

Εάν το όχημα είναι σε θέση να στρέψει τον τροχό του μέσω $\pm 90^\circ$, δύναται να στραφεί το όχημα επιτόπου και οι εξίσωση γίνεται

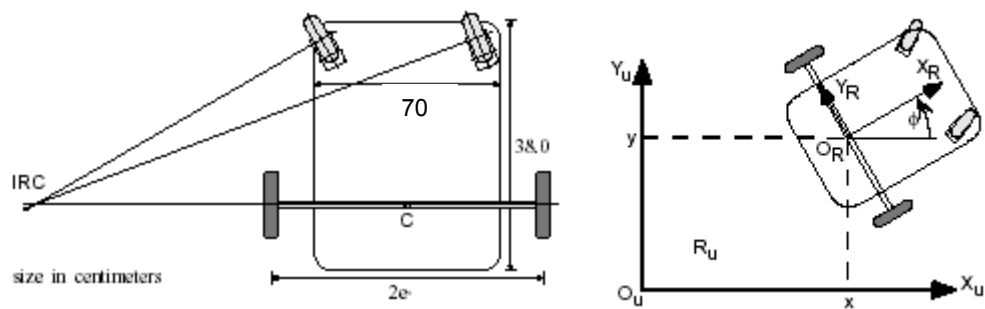
$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \pm v \delta t / d \end{pmatrix} \quad \text{Εξίσωση 4-17}$$

Σημειώνεται ότι εάν την μπροστινή ρόδα δεν μπορεί να στρέψει κατά μια γωνία $\pm 90^\circ$, θα είναι αδύνατο να αλλαχτεί ο προσανατολισμός του ρομπότ χωρίς αλλαγή της θέσης του. Μια περιορισμένη γωνία στρέψης περιορίζει τα όρια στην ακτίνα κυρτότητας του κύκλου, που το όχημα μπορεί να οδηγήσει γύρω. Αυτή η περιορισμένη ακτίνα της κυρτότητας εμφανίζεται στα περισσότερα πραγματικά ρομπότ που χρησιμοποιούν τις οδηγημένες ρόδες. Στην πράξη, ακόμη και χωρίς ένα όριο στην εφικτή ακτίνα κυρτότητας τα τροχοφόρα κινητά ρομπότ δύσκολα επιτυγχάνουν να εκτελέσουν μια καθαρή περιστροφή.

Το πρόβλημα αντίστροφης κινηματικής μπορεί να λυθεί κατά τρόπο παρόμοιο με αυτόν για τα οχήματα διαφορικής ή συγχρονισμένης κίνησης, εάν το τρίκυκλο ρομπότ είναι σε θέση να περιστραφεί κατά $\pm 90^\circ$. Εάν, εντούτοις, η γωνία περιστροφής είναι περιορισμένη, το πρόβλημα κατεύθυνσης του ρομπότ σε συγκεκριμένη θέση γίνεται περίπλοκο.

4.4 Κινηματική αυτοκινούμενης πλατφόρμας Hellenak

Η αυτοκινούμενη πλατφόρμα Hellenak έχει κινηματική αρχιτεκτονική τεσσάρων τροχών. Οι δύο οπίσθιοι τροχοί έχουν κοινό άξονα κίνησης και είναι προσαρμοσμένοι σε κινητήρα συνεχούς ρεύματος έκαστος. Οι δύο εμπρόσθιοι τροχοί είναι ελεύθερα στρεφόμενοι και έχουν στην αρχική τους θέση επίσης κοινό άξονα. Η κίνηση έρχεται από τους πίσω τροχούς όπως και η στρέψη. Για στροφή αρκεί δεξιά ο δεξιά κινητήρας να έχει διάνυσμα ταχύτητας μικρότερο από τον αριστερό. Το αντίστοιχο φαινόμενο αρκεί για στρέψη του οχήματος προς τα αριστερά. Αυτή η αρχιτεκτονική είναι παρόμοια με το αναφερθέν τρίκυκλο, δεδομένου ότι ο έλεγχος οδήγησης γίνεται μέσω διαφορικής προώθησης από δύο ανεξάρτητους κινητήρες.



Εικόνα 4-6 Κινηματική διάταξη οχήματος Hellenak

Η γραμμική ταχύτητα του μέσου μεταξύ των πίσω τροχών (C) ως συνάρτηση της γραμμικής ταχύτητας κάθε τροχού είναι $(vr + vl)/2$ [10]. Αυτή η ταχύτητα είναι πάντα εφαπτόμενη στη μετατόπιση (αποτέλεσμα της μη- holonomic δομής του οχήματος). Οι δύο ελεύθερες ρόδες είναι προσανατολισμένες σύμφωνα με τη μετατόπιση για να παρουσιάσουν πάντα την ελάχιστη αντίσταση. Έτσι, οι φανταστικές γραμμές που προέρχονται από τους άξονες ροδών τέμνονται στο αποκαλούμενο στιγμιαίο κέντρο περιστροφής (IRC). Εάν το ρομπότ κινείται σε μια ευθεία γραμμή, το IRC τοποθετείται στο άπειρο. Σε κάθε μηχανοποιημένο τροχό του οχήματος παρέχεται ένας οπτικός κωδικοποιητής προκειμένου να ολοκληρωθεί η οδομετρία. Το διάνυσμα της μετατόπισης δίνεται από το εξής τύπο:

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \phi \end{bmatrix} \quad \text{Εξίσωση 4-18}$$

Το διάνυσμα X περιέχει τις τρεις απαραίτητες τιμές μεταβλητών για να καθορίσει την πλήρη θέση του ρομπότ στο επίπεδο αναφοράς, δηλαδή τη θέση του στην κατεύθυνση X , τη θέση του στην κατεύθυνση Y , και τον προσανατολισμό του στο επίπεδο ϕ . Η κινηματική του οχήματος παρουσιάζεται στο παραπάνω σχέδιο. Μια σημαντική παρατήρηση σε αυτό το σχέδιο είναι το μεταξόνιο και η ακτίνα κάθε μηχανοποιημένου τροχού, δεδομένου ότι οι εξισώσεις που καθορίζουν τους νόμους τη μετατόπιση είναι:

$$x = \frac{(v_l + v_r)}{2} \cos \phi$$

$$y = \frac{(v_l + v_r)}{2} \sin \phi \quad \text{Εξίσωση 4-19}$$

$$\phi = \frac{(v_l - v_r)}{2e}$$

Η ακτίνα κάθε τροχού επηρεάζει τη γραμμική ταχύτητα άμεσα δεδομένου ότι αυτή είναι ίση με:

$$v = \omega r$$

όπου το v είναι η γραμμική ταχύτητα μιας ρόδας, ω είναι η γωνιακή ταχύτητα, και το r είναι η ακτίνα της. Αυτό ισχύει και για τους δύο τροχούς. Όσον αφορά την κινηματική του οχήματος, είναι μη-Holonomic κινηματική. Τα Holonomic οχήματα είναι ικανά να μετατοπιστούν σε οποιαδήποτε κατεύθυνση από αυθαίρετα ορισμένη θέση. Εντούτοις, στην περίπτωση των μη-Holonomic οχημάτων, όπως το Hellenak, η κίνηση παράγεται από δύο τροχούς και το όχημα κατέχει μόνο δύο βαθμούς ελευθερίας.

Από μαθηματική άποψη, μπορεί να ειπωθεί ότι η μη- holonomy ενός οχήματος προκαλείται από το γεγονός ότι οι εξισώσεις των περιορισμών δεν είναι ολοκληρώσιμες[10]. Για αυτόν τον λόγο, η κινηματική ανάλυση, η δυναμική και ο έλεγχος του οχήματος γίνονται πιο σύνθετα. Κατόπιν, στα συστήματα που κατέχουν αυτούς τους περιορισμούς, ο αριθμός των συντεταγμένων για την περιγραφή της θέσεως τους είναι πάντα μεγαλύτερος από τον αριθμό βαθμών ελευθερίας τους.

Το υπό εξέταση ρομπότ θεωρούμε ότι είναι μη-Holonomic υπό την έννοια ότι ικανοποιείται πάντα η ακόλουθη εξίσωση περιορισμού:

$$\cos \phi dy - \sin \phi dx = 0$$

5 Αποφυγή Εμποδίων

5.1 Εισαγωγή

Η αποφυγή εμποδίων είναι ένας από τους κρίσιμότερους παράγοντες κατά τον σχεδιασμό αυτόνομων οχημάτων. Μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις στο σχεδιασμό ευφών οχημάτων, ικανών για την πραγματοποίηση αυτόνομου ταξιδιού, είναι η αξιόπιστη αποφυγή εμποδίων. Οποιοδήποτε αυτοκινούμενο ρομπότ που χρειάζεται να λειτουργεί σε άγνωστο ή δυναμικό περιβάλλον πρέπει να είναι σε θέση να εκτελέσει αποφυγή εμποδίων. Η αποφυγή εμποδίων μπορεί να διαιρεθεί σε δύο μέρη: την ανίχνευση εμποδίων και την αποφυγή τους. Πολυάριθμες μέθοδοι για την αποφυγή εμποδίων έχουν προταθεί και περαιτέρω έρευνα στο τομέα αυτό της ρομποτικής γίνεται συνεχώς. Τρεις διαφορετικές μέθοδοι για την ανίχνευση εμποδίων θα παρουσιαστούν στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Αυτές περιλαμβάνουν α) σταθερή τοποθέτηση αισθητήρων υπερήχων (sonar), β) περιστρεφόμενο sonar αισθητήρα και γ) ανιχνευτή λέιζερ. Το σύστημα με τη σταθερή τοποθέτηση χρησιμοποιεί δύο sonar αισθητήρες που τοποθετούνται εξωτερικά του οχήματος. Το σύστημα του περιστρεφόμενου sonar αποτελείται από ένα στοιχείο μετατροπών υπερήχου Polaroid που τοποθετείται σε έναν σερβοκινητήρα με ανάδραση οδομέτρου. Η κίνηση αυτής της μηχανής ελέγχεται χρησιμοποιώντας ένα πίνακα ελέγχου κινήσεων. Έτσι είναι δυνατό να ληφθούν οι γωνίες θέσης ως αναγνώσεις σειράς ως προς το κέντρο του ρομπότ. Το σύστημα ανιχνευτών λέιζερ αποτελείται από οπτικούς σαρωτές, που επιστρέφουν ένα δισδιάστατο σχεδιάγραμμα της οριζόντιας περιοχής μπροστά του οχήματος. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το σύστημα για να ανιχνευτούν και να αποφευχθούν εμπόδια.

5.2 Σύστημα στάσιμων sonar

5.2.1 Sonar, θεωρία και σύστημα

Το πρώτο σύστημα αποφυγής εμποδίων αποτελείται τους πολλαπλούς υπερηχητικούς μετατροπείς που τοποθετούνται σε σταθερές θέσεις. Τα δύο σημαντικά μέρη ενός υπερηχητικού συστήματος είναι ο πομπός και ο οδηγός σήματος. Οι οδηγοί σήματος χωρίζονται σε δύο σημαντικές υποομάδες -ψηφιακούς και αναλογικούς. Ο ψηφιακός ηλεκτρονικός οδηγός παράγει υπερηχητική συχνότητα. Το σύστημα απαιτεί μια απομονωμένη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος: 10-30 VDC, 0,5A. Μια συχνότητα ενεργοποίησης 16 παλμών σε 52 kHz χρησιμοποιείται σε αυτήν την εφαρμογή. Στο sonar

ένας σύντομος ακουστικός παλμός εκπέμπεται πρώτα από έναν μετατροπέα. Ο μετατροπέας(πομπός) μεταπηδά έπειτα στον δέκτη όπου περιμένει ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα πριν σβήσει. Εάν μια επιστροφή ήχου ανιχνευτεί, η ακτίνα απόστασης R, μπορεί να βρεθεί με τον πολλαπλασιασμό της ταχύτητας του ήχου με το μισό του χρόνου που έκανε το σήμα να φτάσει στον δέκτη. Ο χρόνος διχοτομείται δεδομένου ότι ο χρόνος που μετριέται περιλαμβάνει το χρόνο που απαιτείται το σήμα να φτάσει το αντικείμενο, και έπειτα να επιστρέψει στο δέκτη,

Εξίσωση 5-1

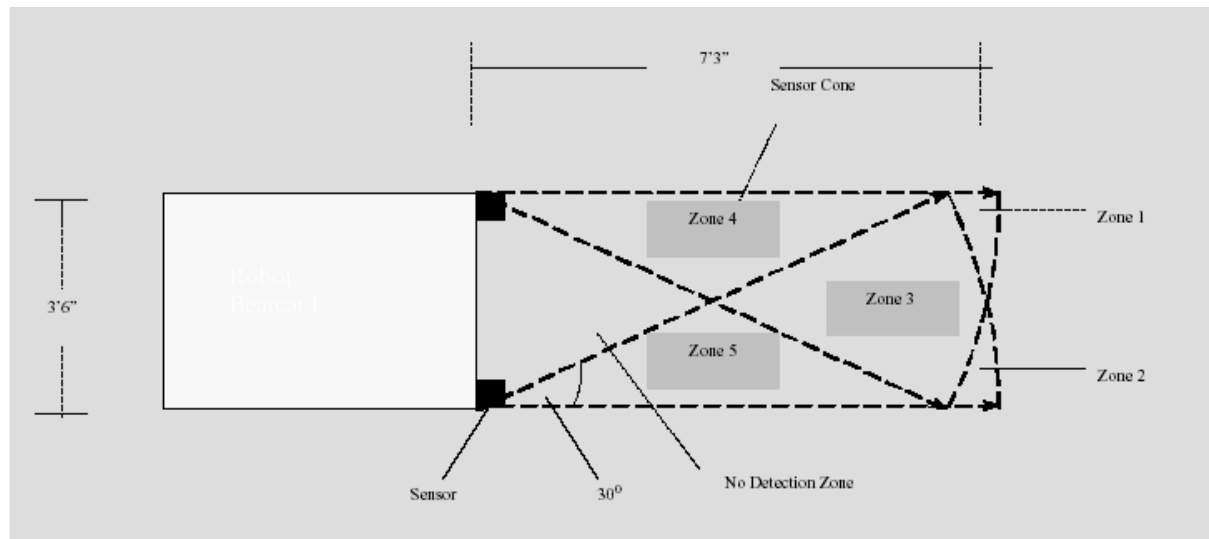
$$R = \frac{ct}{2}$$

όπου το C είναι η ταχύτητα του ήχου και του T είναι ο χρόνος στα δευτερόλεπτα.

Ένας μικροεπεξεργαστής της Intel 80C196 και ένα κύκλωμα είθισται να χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των υπολογισμών απόστασης. Η τιμή της απόστασης επιστρέφεται μέσω του πρωτοκόλλου RS232 στον υπολογιστή ελέγχου. Ένας παλμός του ηλεκτρονικά παραγομένου ήχου διαβιβάζεται προς το στόχο και η προκύπτουσα ηχώ ανιχνεύεται. Το σύστημα μετατρέπει την παρερχόμενη περίοδο σε μια τιμή απόστασης. Ο ψηφιακός οδηγός παράγει την υπερηχητική συχνότητα και όλες οι ψηφιακές λειτουργίες είναι παραγόμενες από το μικροεπεξεργαστή. Παράμετροι όπως η συχνότητα μετάδοσης, το πλάτος σφυγμού, ο χρόνος απαλοιφής, και το κέρδος ενισχυτών ελέγχονται συνήθως από το παρεχόμενο λογισμικό του κατασκευαστή των sonar.

5.2.2 Μεθοδολογία

Οι αισθητήρες sonar τοποθετούνται μπροστά στο όχημα σε ένα ύψος 24 ιντσών έτσι ώστε να μην ανιχνεύουν το έδαφος ως αντικείμενο. Οι συσκευές διατάσσονται όπως φαίνεται Σχήμα 4.1. Το Sonar ανιχνεύει αντικείμενα σε έναν κώνο 30 μοιρών. Η συσκευή έχει δραστική ακτίνα 4 μέτρων, αλλά ο τομέα ενδιαφέροντος είναι περιορισμένος σε 2.2 μέτρα ακτίνας ώστε να αποβληθεί ο θόρυβος που οφείλεται σε εμπόδια που είναι έξω από την πορεία του οχήματος.



Σχήμα 4.1: Ρομπότ με στάσιμα sonars

Δεδομένου ότι κινείται το όχημα, τα εμπόδια μπορούν να είναι στη ζώνη 1, στη ζώνη 2 ή και στις δύο ταυτόχρονα. Την στιγμή που το εμπόδιο ανιχνεύεται σε καθεμία ζώνη, το όχημα κατευθύνεται σε αντίθετη κατεύθυνση μέχρι ότι το εμπόδιο να είναι εκτός, εν τω μεταξύ το όχημα χαρτογραφεί την θέση του ως προς το στόχο. Το πρόγραμμα ελέγχου προσπαθεί πάντα να οδηγήσει το όχημα προς το στόχο. Η απόφαση οδήγησης σε κάθε περίπτωση λαμβάνεται βασισμένη στη σχετική θέση του ρομπότ ως προς το στόχο και την προηγούμενη κίνησή του. Τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί αυτής της μεθόδου συζητούνται σε επόμενο χωρίο.

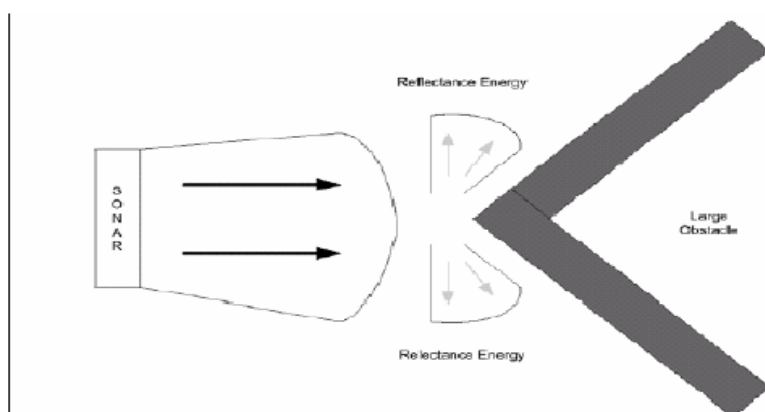
5.2.3 Πλεονεκτήματα

Ο αλγόριθμος για την αποφυγή εμποδίων που χρησιμοποιεί απαιτεί ελάχιστη επεξεργασία δεδομένων, με συνέπεια την ευκολία υπολογισμών και τη γρηγορότερη επεξεργασία.

5.2.4 Περιορισμοί

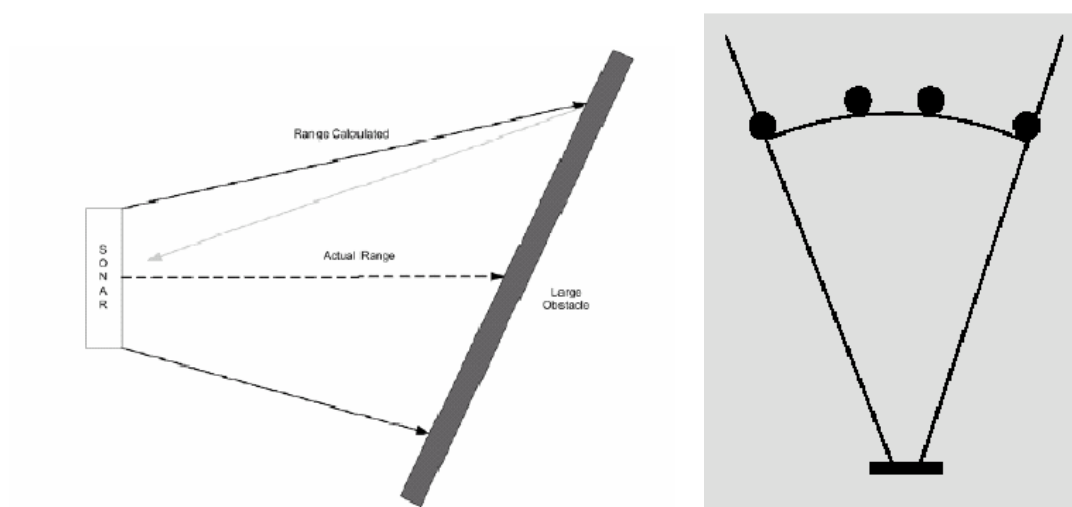
Κοινό για όλα τα sonar συστήματα είναι το πρόβλημα της αντανάκλασης. Με τα κύματα φωτός, το μάτι μας μπορεί να ανιχνεύσει αντικείμενα επειδή τα περισσότερα αντικείμενα απεικονίζουν τη συναφή ενέργεια. Κάποια ενέργεια θα φθάσει στο μάτι μας, ανεξάρτητα από τη γωνία του αντικειμένου σε μας ή στην πηγή φωτός. Αυτή η διασπορά εμφανίζεται επειδή η τραχύτητα της επιφάνειας ενός αντικειμένου είναι μεγάλη έναντι του μήκους κύματος του

φωτός (0,550 NM). Η υπερηχητική ενέργεια έχει μήκη κύματος συγκριτικά μεγάλα (6,35 mm). Ως εκ τούτου, τα υπερηχητικά κύματα βρίσκουν σχεδόν όλες τις μεγάλες επίπεδες επιφάνειες με φυσικές αντανακλαστικές ιδιότητες. Το ποσό της επιστρεφόμενης ενέργειας εξαρτάται έντονα από τη γωνία με την οποία προσπίπτει ή ανακλάται ο ήχος. Το σχήμα 4.2 παρουσιάζει μια περίπτωση όπου ένα μεγάλο αντικείμενο δεν ανιχνεύεται επειδή η ενέργεια απεικονίζεται μακριά από το δέκτη. Αν και ο βασικός τύπος υπολογισμού απόστασης είναι ακριβής, υπάρχουν διάφοροι παράγοντες κατά την εξέταση της ακρίβειας του αποτελέσματος. Δεδομένου ότι η ταχύτητα του ήχου στηρίζεται στη θερμοκρασία, μια διαφορά θερμοκρασίας 10° μπορεί να οδηγήσει σε σφάλμα κατά 1%. Επίσης η γεωμετρία του αντικειμένου έχει επιπτώσεις στην ορθή απόσταση ανιχνευόμενων αντικειμένων.



Σχήμα 4.2: Μη ανιχνευθέν αντικείμενο

Όταν το αντικείμενο είναι διαγωνίως στο δέκτη, η απόσταση που υπολογίζεται θα είναι στο πιο στενό σημείο του αντικειμένου, και όχι η απόσταση από την κεντρική γραμμή της ακτίνας όπως φαίνεται στο Σχήματα 4.2 και 4.3.



Σχήμα 4.3: Λάθη απόστασης λόγω της γωνίας μεταξύ του αντικειμένου και sonar,

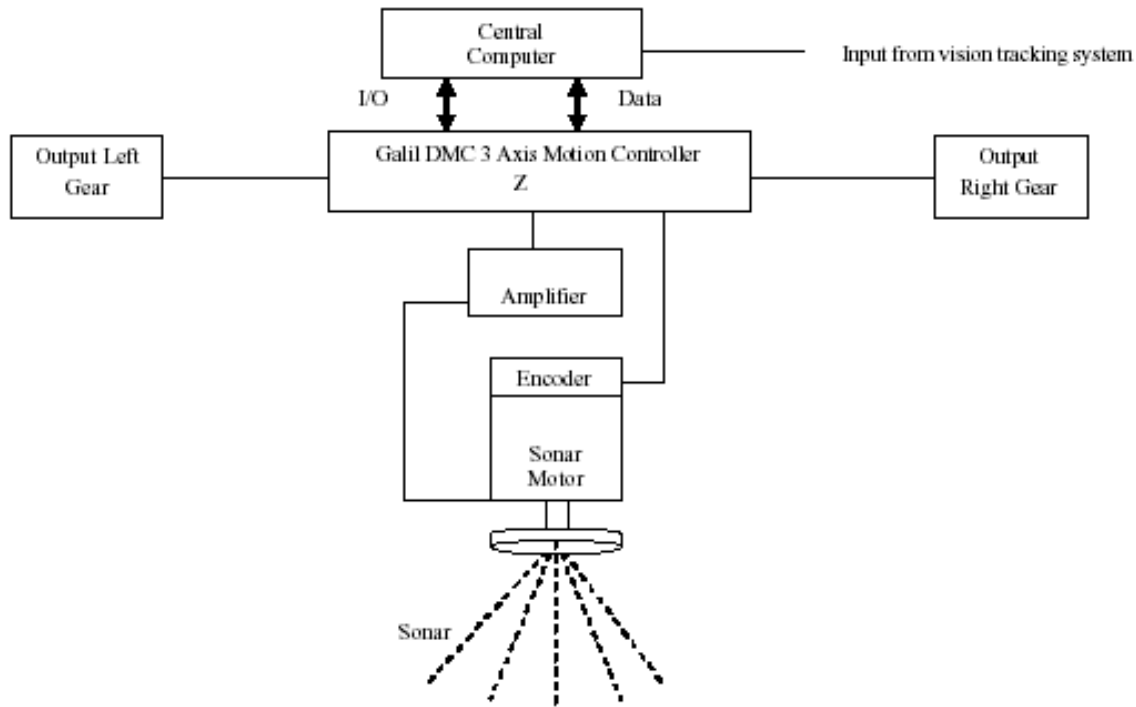
Σχήμα 4.4: Ίσες ενδείξεις για διαφορετικές θέσεις

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4, ο αισθητήρας δίνει την ίδια τιμή απόστασης εάν το αντικείμενο ήταν παρόν οπουδήποτε κατά μήκος της καμπύλης. Κατά συνέπεια ο αισθητήρας δεν δίνει την ακριβή θέση του αντικείμενου. Στην περίπτωση των κεκλιμένων ραμπών και των εμβυθίσεων, ο αισθητήρας θα ανιχνεύσει το έδαφος ως εμπόδιο. Επίσης δεδομένου ότι το σύστημα δεν δίνει το σχεδιάγραμμα του αντικειμένου, αντικείμενα όπως η χλόη, όταν ανιχνεύεται από sonar, θεωρούνται εμπόδια, με συνέπεια περιττή αποφυγή εμποδίων. Υπάρχει δηλαδή πλήθος περιπτώσεων όπου το σύστημα των sonar παρέχει αναξιόπιστη ή ελλιπή πληροφορία.

5.3 Σύστημα Περιστρεφόμενου sonar

5.3.1 Το σύστημα

Στη συνέχεια περιγράφεται η λειτουργία συστήματος με ανάδραση από περιστρεφόμενο sonar.

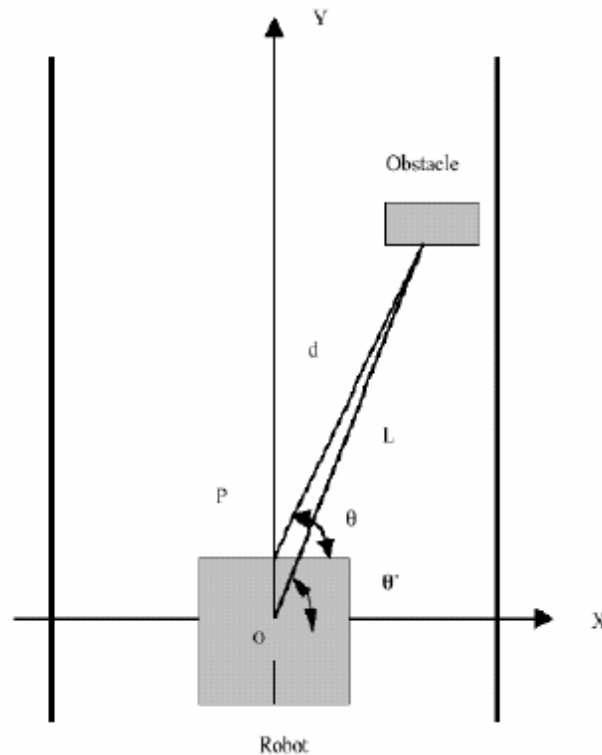


Σχήμα 4.5: Σύστημα Sonar ανίχνευσης εμποδίων

Αυτό το σύστημα αποφυγής εμποδίων αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο μετατροπέα. Το σχήμα 4.5 παρουσιάζει τη δομή για την αποφυγή εμποδίων που χρησιμοποιεί ένα σύστημα με περιστρεφόμενο sonar αισθητήρα. Αυτή η διάταξη χρησιμοποιεί έναν ενιαίο υπερηχητικό σύστημα Polaroid και ένα σύστημα κίνησης για να περιστρέφει το μετατροπέα. Αντίστοιχα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αισθητήρια άλλων κατασκευαστών. Η κίνηση περιστροφική του συστήματος γίνεται από κινητήρα συνεχούς ρεύματος κα από τα στοιχεία του κυκλώματος ελέγχου του. Με αυτό τον τρόπο ο μετατροπέας περιστρέφεται και σαρώνει συγκεκριμένη γωνία ανάλογα με τον ορίζοντα. Ο βρόχος του συστήματος κίνησης κλείνει με ανάδραση από το οδόμετρο του κινητήρα, το οποίο δείχνει τη θέση του αισθητηρίου. Η ρύθμιση των παραμέτρων συστημάτων Polaroid και ο συγχρονισμός με την κίνηση της μηχανής μας δίνουν τις γνωστές τιμές απόστασης στις αντίστοιχες θέσεις, ως γωνίες σε σχέση με τον κεντρικό άξονα περιστροφής του sonar.

5.3.2 Μεθοδολογία

Προτού το σύστημα πάρει οποιαδήποτε απόφαση, είναι σημαντικό να ξέρουμε την απόσταση, το πλάτος, και μορφή του εμποδίου. Ανάλογα με αυτούς τους παράγοντες, το ρομπότ πρέπει να πάρει μια απόφαση ως προς το εάν θα κινηθεί σε ευθεία, θα στρίψει αριστερά ή θα στρίψει δεξιά. Επίσης πρέπει να αποφασίσει την τιμή της στροφής αυτής, ανάλογα με την εγγύτητα του οχήματος ως προς τον στόχο.



Σχήμα 4.6: Ρομπότ με περιστρεφόμενο sonar

Η βέλτιστη γωνία σάρωσης ανά ανάγνωση πρέπει να ληφθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην επιβραδύνετε η γενική απόδοση του συστήματος. Από το παραπάνω σχήμα μπορούμε να λάβουμε την τιμή της απόστασης του εμποδίου (L) από το κέντρο του ρομπότ (O). Το sonar επιστρέφει ως ανάδραση την απόσταση d και το οδόμετρο τη γωνία θ από το εμπόδιο. Ισχύει:

$$d \cos \theta = L \cos \theta' \quad \text{Εξίσωση 5-2}$$

Επιλύοντας ως προς το L παίρνουμε

$$L = d \cos \theta / \cos \theta' \quad \text{Εξίσωση 5-3}$$

και

$$d \sin \theta + PO = L \sin \theta' \quad \text{Εξίσωση 5-4}$$

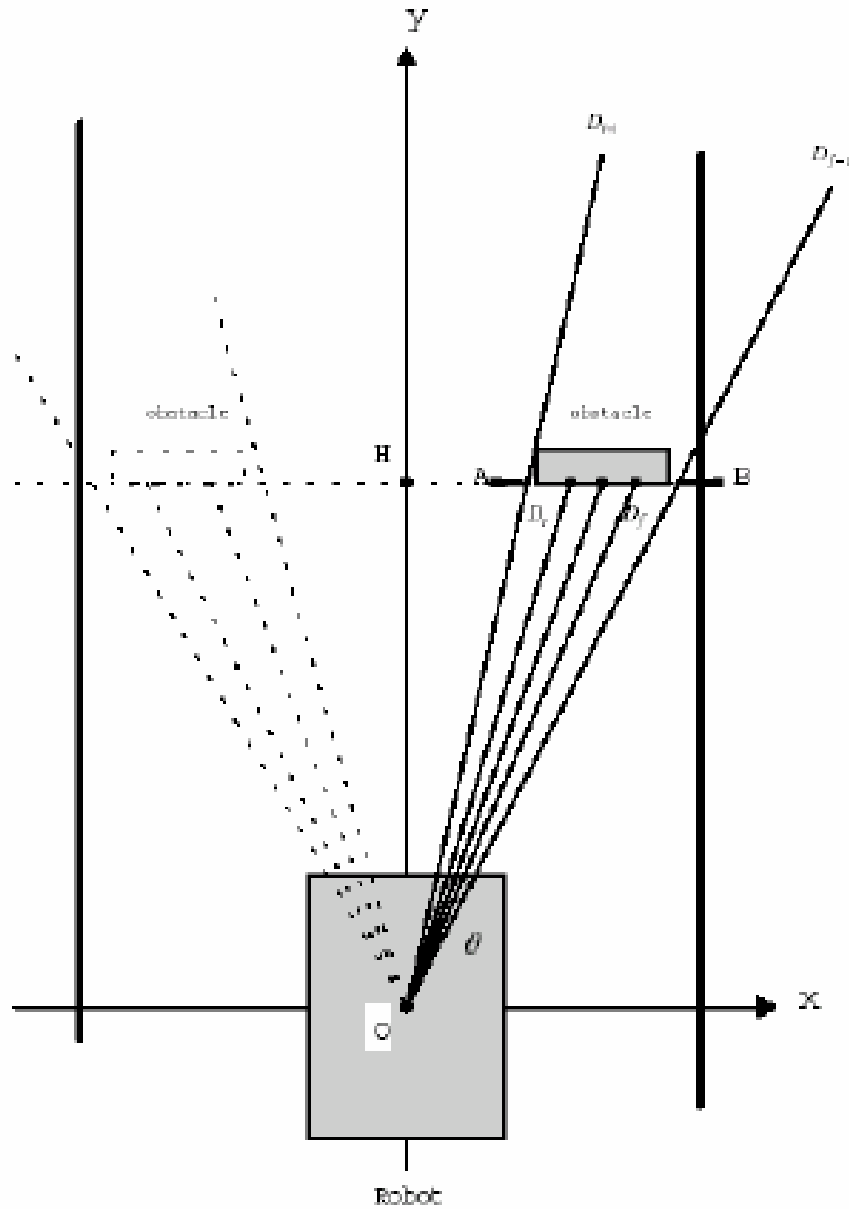
έτσι

$$L = (d \sin \theta + PO) / \sin \theta' \quad \text{Εξίσωση 5-5}$$

Εξισώνοντας τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει

$$\begin{aligned} d \cos \theta / \cos \theta' &= (d \sin \theta + PO) / \sin \theta' \\ \tan \theta' &= (d \sin \theta + PO) / d \cos \theta \quad \text{Εξίσωση 5-6} \\ \theta' &= \arctan[(d \sin \theta + PO) / d \cos \theta] \end{aligned}$$

Λαμβάνεται με αυτό τον τρόπο η απόσταση L του εμποδίου από το κέντρο του ρομπότ. Ένα άλλο σημαντικό πράγμα που χρειάζεται να γνωρίζει το σύστημα είναι το πλάτος του εμποδίου. Υποθέτοντας ότι θ_F είναι η γωνία της πρώτης επαφής του sonar με το εμπόδιο, θ_L είναι η γωνία της τελευταίας επαφής του sonar με το εμπόδιο, $\theta_F - I$ είναι η γωνία αμέσως πριν από την πρώτη επαφή με το εμπόδιο και $\theta_L + I$ είναι η γωνία αμέσως μετά από την τελευταία επαφή με το εμπόδιο τότε μπορούμε να πάρουμε την τιμή του πλάτους του εμποδίου από τη διαφορά στο πλάτος των δύο γωνιών. Το DF και το DL είναι οι αποστάσεις για την πρώτη επαφή και την τελευταία επαφή, αντίστοιχα.



Σχήμα 4.7: Πλάτος του εμποδίου

$$OB \sin \theta_F - 1 = D_F \sin \theta_F$$

$$OB = \frac{D_F \sin \theta_F}{\sin \theta_F - 1} \quad \text{Εξίσωση 5-7}$$

και

$$OA = \frac{D_L \sin \theta_L}{\sin \theta_L + 1} \quad \text{Εξίσωση 5-8}$$

Έτσι προκύπτει το πλάτος του εμποδίου από την παρακάτω σχέση

$$AB = OB \cos(\theta_F - 1) - OA \cos(\theta_L + 1) \quad \text{Εξίσωση 5-9}$$

Εντούτοις, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η ακρίβεια αυτού του πλάτους εξαρτάται από την γωνία σάρωσης και από τις στάσεις των sonar μεταξύ των γωνιών. Μόλις υπολογιστούν οι τιμές θ_F και θ_L , μπορεί να υπολογιστεί και η κατεύθυνση του εμποδίου όσον αφορά το ρομπότ. Τρεις είναι οι δυνατές περιπτώσεις:

- $\theta_L < 90^\circ$ και $\theta_F < 90^\circ$ είναι μια ένδειξη ότι το εμπόδιο είναι δεξιά.
- $\theta_L > 90^\circ$ και $\theta_F > 90^\circ$ υπονοεί ότι το εμπόδιο είναι αριστερά.
- $\theta_L < 90^\circ$ και $\theta_F > 90^\circ$ υπονοεί ότι το εμπόδιο είναι ευθεία μπροστά.

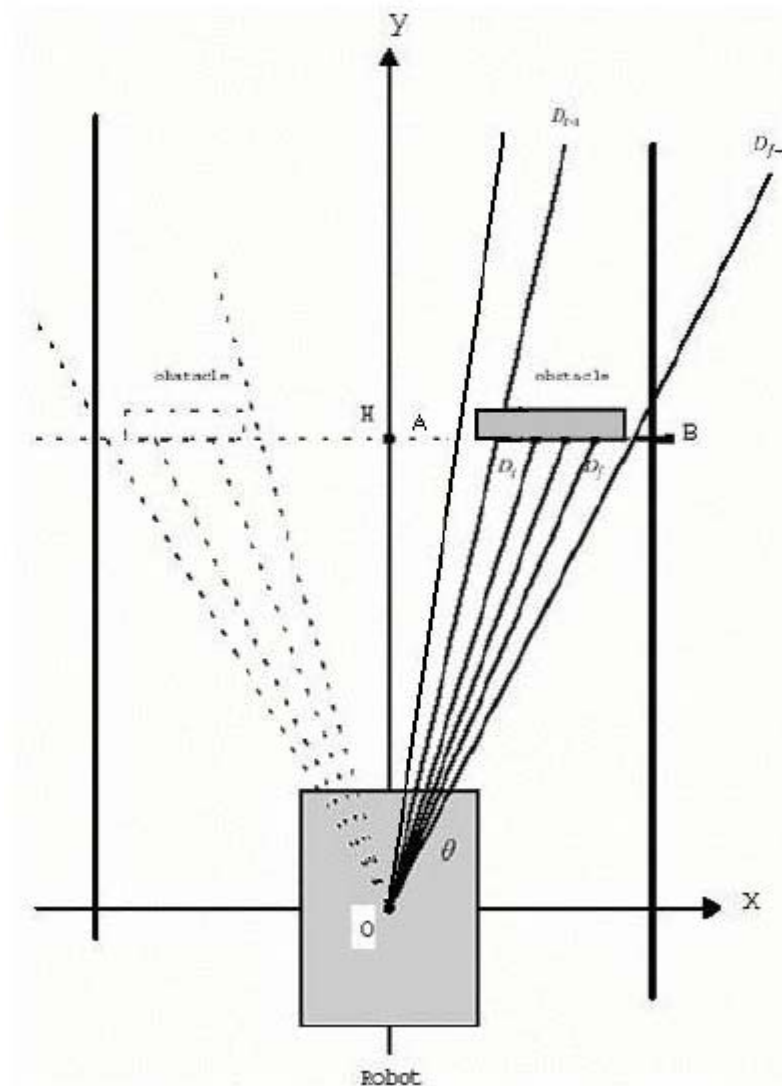
5.3.3 Πλεονεκτήματα

Έναντι του συστήματος με τα στάσιμα sonar, τα στοιχεία που λαμβάνονται από αυτήν την μέθοδο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του μεγέθους και της κατεύθυνσης του αντικειμένου.

5.3.4 Περιορισμοί

Εκτός από τους περιορισμούς κάθε συστήματος sonar που συζητούνται σε προηγούμενη παράγραφο, το σύστημα που περιγράφεται έχει τον επιπλέον περιορισμό του συγχρονισμού των διατάξεων κίνησης καθώς και την ύπαρξη σχετικά δαπανηρού πρόσθετου εξοπλισμού. Η μηχανή πρέπει να κάνει μια αργή περιστροφική κίνηση έτσι ώστε ο μετατροπέας να έχει αρκετό χρόνο να στείλει και να λάβει τους ακουστικούς παλμούς. Επειδή ο χρόνος πτήσης ποικίλλει με την απόσταση του αντικειμένου, αντικείμενα μπορούν να ανιχνευθούν επιτυχώς μόνο σε συγκεκριμένο χώρο (Σχήμα 4.8). Επίσης, οι δονήσεις της μηχανής κίνησης δημιουργούν θόρυβο στα λαμβανόμενα στοιχεία. Αυτή η μέθοδος είναι σύνθετη και το σύστημα ελέγχου πρέπει να ελέγξει το μηχανισμό κίνησης. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι το σφάλμα στην ανίχνευση πλάτους όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

Φαίνεται ότι η τελευταία γωνία της επαφής δεν είναι στην άκρη του εμποδίου και έτσι δημιουργείται το σφάλμα στους υπολογισμούς για το πλάτος του εμποδίου.



Σχήμα 4.8: Σφάλμα στην ανίχνευση πλάτους με περιστρεφόμενο sonar

5.4 Σύστημα Ανιχνευτών Απόστασης λέιζερ

5.4.1 Η θεωρία & το σύστημα ανιχνευτών λέιζερ

Ο προγραμματισμός των συστημάτων ρομπότ τρίτης-γενιάς είναι δύσκολος λόγω της ανάγκης προγραμματισμού στοιχείων των αισθητηρίων ανατροφοδότησης. Μια απεικόνιση της άποψης των αισθητηρίων για μια σκηνή, ειδικά η άποψη του ανιχνευτή λέιζερ, βοηθά τους προγραμματιστές να αναπτύξουν το λογισμικό και να ελέγξουν το πρόγραμμα δράσης ενός ρομπότ. Ένας ανιχνευτής απόστασης λέιζερ και τα συμβατικά ραντάρ λειτουργούν με

μια παρόμοια αρχή. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ακτινοβολείται στο χώρο όπου παρατηρούνται αντανάκλασεις που ανιχνεύονται ως σήματα επιστροφής. Η σκηνή ερευνάται με ελαφρώς διαμορφωμένη ως προς το εύρος ακτίνα, υπέρυθρου φωτός λέιζερ (835 NM). Καθώς η δέσμη λέιζερ προσπίπτει στην επιφάνεια των αντικειμένων της σκηνής, κάποιες δέσμες του διεσπαρμένου φωτός επιστρέφουν πίσω σε ανιχνευτή που μετρά τη φωτεινότητα αυτών και τη φάση επιστροφής του σήματος. Οι μετρήσεις φωτεινότητας συγκεντρώνονται σε μια συμβατική δισδιάστατη εικόνα έντασης.

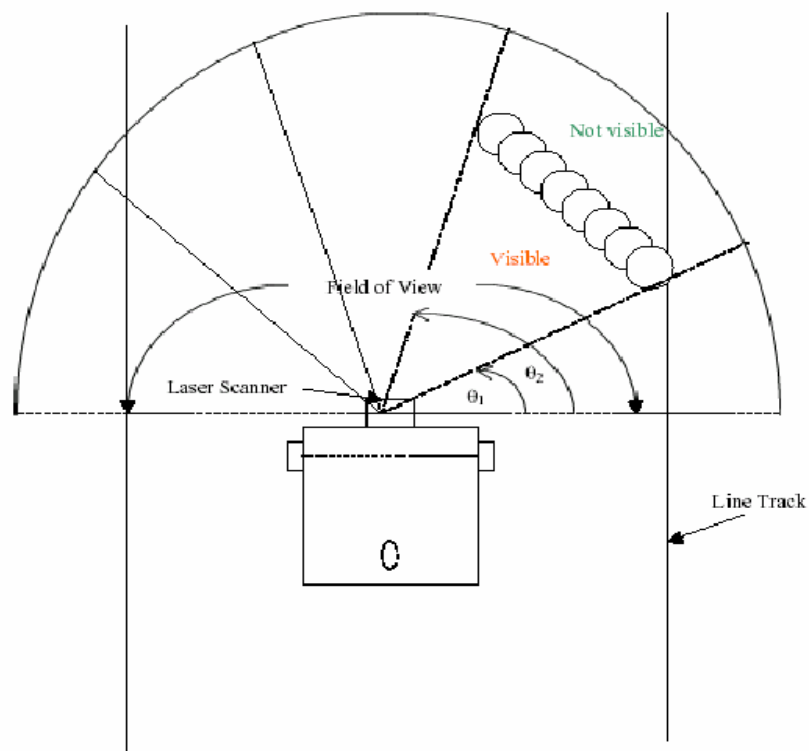
Ο ανιχνευτής λέιζερ έχει το πλεονέκτημα ότι δίνει μια λεπτομερή περιγραφή του τομέα που ερευνά. Ο ανιχνευτής λέιζερ λειτουργεί με τη μέτρηση του χρόνου της πτήσης των φωτεινών παλμών λέιζερ. Είναι μια συσκευή μέτρησης χωρίς επαφή που ανιχνεύει τα περίχωρά της σε δύο διαστάσεις. Η παλλόμενη ακτίνα λέιζερ εκτρέπεται από έναν εσωτερικό περιστρεφόμενο καθρέφτη. Έτσι μια σάρωση ανίχνευσης γίνεται στην περιβάλλουσα περιοχή και η μορφή κάθε αντικειμένου καθορίζεται από την συχνότητα των λαμβανομένων παλμών. Επιστρέφεται μια μέγιστη γωνία ανίχνευσης 180° με ανάλυση 0.25° , 0.5° , ή 1° . Με αυτήν την γωνία ανίχνευσης λαμβάνεται ένα σαφές σχεδιάγραμμα πορείας μπροστά από το ρομπότ. Για κάθε γωνία ανιχνεύτηκε η απόσταση από το σημείο αντανάκλασης της ακτίνας λέιζερ με οποιοδήποτε αντικείμενο, του οποίου καθορίζονται έτσι οι συντεταγμένες. Η καταχώρηση αυτών των τιμών στον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται μπορεί οδηγήσει στην αποφυγή των εμποδίων. Η κύρια δύναμη του ανιχνευτή λέιζερ είναι η ακρίβεια στοιχείων και αξιοπιστία τους. Ο ανιχνευτής λέιζερ στο ρομπότ επικοινωνεί με τον κεντρικό υπολογιστή χρησιμοποιώντας μια τμηματική διεπαφή. Τα στοιχεία μεταφέρονται με το δυαδικό σύστημα όπου μια ψηφιολέξη των στοιχείων αποτελείται από 1 bit έναρξης, 8 bit στοιχείων, ένα bit συναλλαγής με ομαλή ισότητα ή χωρίς ισότητα και 1 bit παύσης. Το στοιχείο μέτρησης πραγματικού χρόνου που ανιχνεύεται από τη συσκευή δίνεται έξω με το δυαδικό σχήμα μέσω της θύρας RS- 232/422, η οποία είναι διαθέσιμη για περαιτέρω αξιολόγηση. Χρησιμοποιείται κάρτα τμηματικών διεπαφών RS- 422 με τον ανιχνευτή, που υποστηρίζει γρήγορη επικοινωνία.

Το στοιχείο μέτρησης από τον ανιχνευτή λέιζερ χρησιμοποιείται για τη μέτρηση αντικειμένου και καθορισμό θέσης. Τα στοιχεία μέτρησης αντιστοιχούν στο ανιχνευμένο περίγραμμα του περιβάλλοντος από τη συσκευή και δίνεται έξω με το δυαδικό σχήμα μέσω της διεπαφής RS 422. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να φανούν σε ένα γραφικό περιβάλλον και να μας δείξουν τις συντεταγμένες κάθε σημείου στον τομέα. Εκεί φαίνονται όλα τα αντικείμενα σε εικόνα, που αντανάκλουν την ακτίνα λέιζερ, έτσι ώστε να προκύπτει η θέση και το μέγεθος κάθε αντικειμένου.

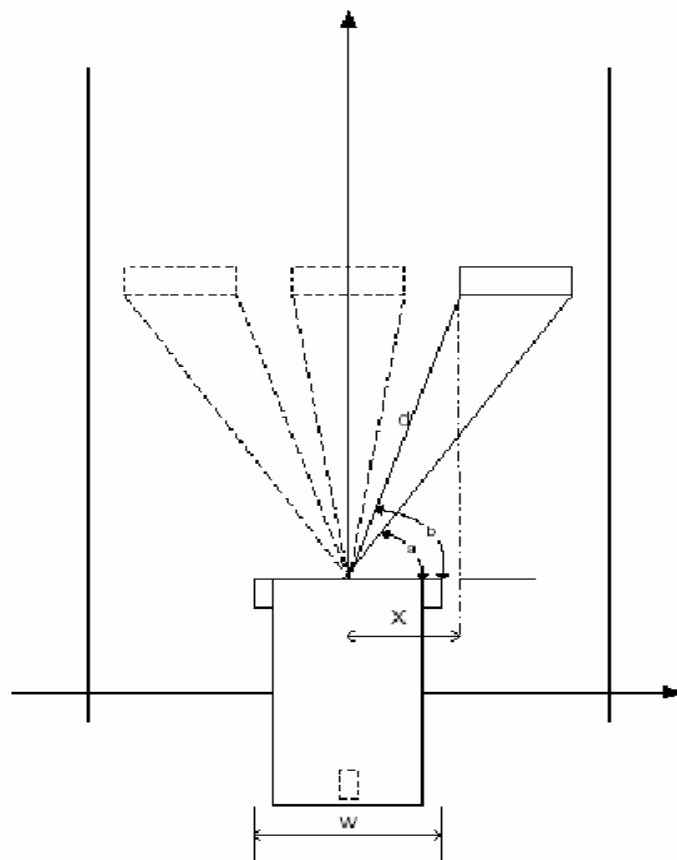
5.4.2 Μεθοδολογία

Με τον ανιχνευτή λέιζερ, η ικανότητα αίσθησης γίνεται μια ενεργός διαδικασία. Το ρομπότ αποφασίζει σε κάθε βήμα της πορείας του, ποιες αισθητήριες πληροφορίες απαιτούνται για την παραγωγή του επόμενου βήματός της. Το ρομπότ πρέπει να αποφασίσει για το ποσό στροφής ανάλογα με την εγγύτητα του στόχου. Η βέλτιστη γωνία του σάρωσης ανά περίοδο πρέπει να ληφθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην επιβραδύνει τη γενική απόδοση των συστημάτων. Ο ανιχνευτής τοποθετείται έτσι ώστε η σάρωση να είναι 203mm πάνω από το επίγειο επίπεδο. Ο ανιχνευτής λέιζερ δίνει ένα οπτικό πεδίο που παρουσιάζει πλήρη σάρωση 180° από την ακτίνα λέιζερ. Η ακτίνα λέιζερ κινείται από τα δεξιά και κατευθύνεται προς τα αριστερά (Σχήμα 4.9). Έτσι σε κάθε γωνία, ανάλογα με την προκαθορισμένη ανάλυση, μπορούμε λαμβάνονται η απόσταση και θέση των αντικειμένων κατά μήκος της πορείας του ρομπότ. Με αυτές τις τιμές είναι γνωστό ακριβώς σε ποια γωνία είναι ένα παρόν εμπόδιο και το τι μέγεθός αυτό είναι (Σχήμα 4.10).

Το στοιχείο που επιστρέφεται για κάθε γωνία που ανιχνεύεται επιτρέπει να δημιουργηθεί σχεδιάγραμμα του μεγέθους, της μορφής, της απόστασης και του προσανατολισμού του εμποδίου μέσα στην ανιχνευμένη περιοχή. Κατά συνέπεια για ανάλυση 0.5°, παράγονται 361 τιμές για τον τομέα ανίχνευσης. Ο ανιχνευτής λέιζερ επιστρέφει ακριβή και αξιόπιστα στοιχεία για την ανίχνευση εμποδίων.



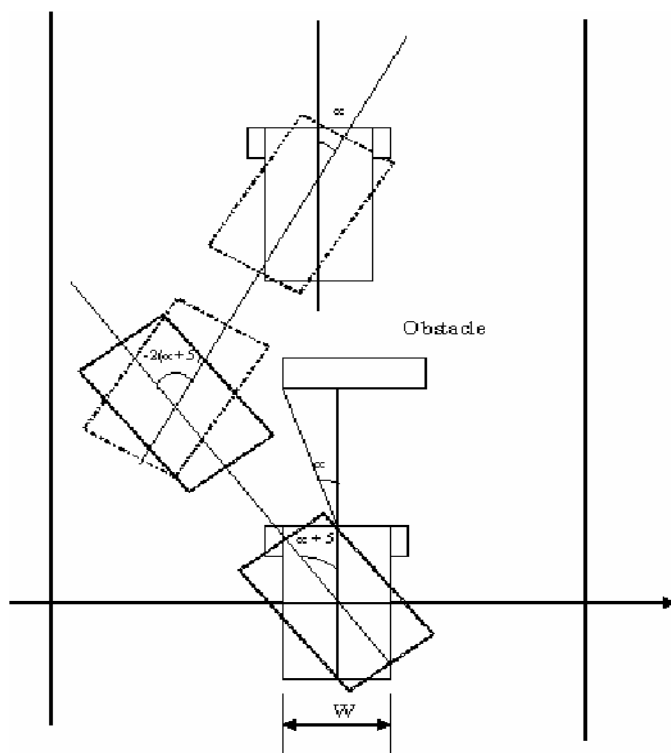
Σχήμα 4.9: Ανίχνευση απόστασης με σύστημα Laser



Σχήμα 4.10: Θέση των εμποδίων ως προς το όχημα

Το εμπόδιο μπορεί να είναι στο δεξί, το αριστερό ή το μπροστά μέρος του ρομπότ. Με τον ανιχνευτή λέιζερ υπάρχει μια άποψη 180° με ανάλυση 0,25, 0,5 ή 1 βαθμού. Με γνωστή την απόσταση του αντικειμένου σε αυτές τις γωνίες μπορεί να κατασκευαστεί το σχεδιάγραμμα του εμποδίου. Το εμπόδιο μπορεί να βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε το ρομπότ να δύναται να διατηρήσει την ίδια πορεία, χωρίς να αγγίξει το εμπόδιο, ή αυτό μπορεί να βρίσκεται στην πορεία του ρομπότ. Το ρομπότ ελέγχει εάν μπορεί να διατηρήσει την ίδια πορεία και αποφεύγει το εμπόδιο χωρίς να αντισταθμίσει το κέντρο κίνησης του από τον άξονα της διαδρομής.

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι εάν $X = d \cdot \cos(\beta)$ και $X > \frac{1}{2} W$ μπορεί να διατηρηθεί η ίδια πορεία. Εντούτοις εάν $X = d \cdot \cos(\beta)$ και $X < \frac{1}{2} W$ το ρομπότ δεν μπορεί να διατηρήσει την ίδια πορεία. Σε αυτήν την περίπτωση το όχημα πρέπει να προγραμματίσει μια νέα πορεία για να είναι σε θέση να πλοηγηθεί γύρω από εμπόδιο. Η ρουτίνα αποφυγής εμποδίων ενεργοποιείται μόλις το εμπόδιο ανιχνεύεται (Σχήμα 4.11). Το επόμενο σχήμα δείχνει την πορεία οχήματος για την αποφυγή εμποδίου. Εάν το εμπόδιο είναι στα δεξιά το όχημα θα πλοηγήσει γύρω από την αριστερή πλευρά του εμποδίου. Εάν το εμπόδιο κείται στα αριστερά το ρομπότ θα πλοηγήσει προς το δεξιά του εμποδίου. Όταν το ρομπότ ανιχνεύσει ένα εμπόδιο στο μέτωπο του θα πλοηγηθεί γύρω από το εμπόδιο από το δεξιά ή αριστερά ανάλογα με την απόσταση του εμποδίου από τη γραμμή κίνησης του ρομπότ. Ο αλγόριθμος θα επιχειρήσει να μην απομακρύνει το ρομπότ από την πορεία κίνησης του. Τα βήματα που λαμβάνονται από το ρομπότ για την αποφυγή εμποδίου περιγράφονται παρακάτω.



Σχήμα 4.11: Πορεία αποφυγής εμποδίου

1. Η γωνία α μπορεί να υπολογιστεί ως η μέγιστη γωνία επαφής του εμποδίου -90° .
2. Το ρομπότ περιστρέφεται μια γωνία $(\alpha + 5)^\circ$ βαθμούς.
3. Εάν D είναι η απόσταση του εμποδίου από το μπροστά κέντρο του ρομπότ και L το μήκος του ρομπότ, το ρομπότ κινείται μια απόσταση $(D + L/2) / \cos(\alpha + 5)$.
4. Το ρομπότ περιστρέφεται έπειτα κατά μια γωνία $-2(\alpha + 5)^\circ$.
5. Το ρομπότ κινείται μια απόσταση $L + 0,6m$.
6. Το ρομπότ περιστρέφεται έπειτα κατά α βαθμούς γωνίας.
7. Ο έλεγχος μεταφέρεται πίσω στην ρουτίνα της αρχικής διαδρομής.

5.4.3 Πλεονεκτήματα

Ο ανιχνευτής λέιζερ δίνει πολύ υψηλή ανάλυση και ακρίβεια της προς μέτρηση απόστασης. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία δεν έχουν επιπτώσεις ακρίβεια του ανιχνευτή. Η μεταφορά σε πραγματικό χρόνο των μετρημένων στοιχείων είναι ικανοποιητική και υψηλές συχνότητες ανίχνευσης μέχρι και 75 Hz μπορούν να επιτευχθούν. Ο ανιχνευτής λέιζερ έχει ικανότητα μέτρησης μέχρι 8m σε αντίθεση με τα συστήματα sonar που ανιχνεύουν αντικείμενα σε ακτίνα 3 μέτρων. Έχει πολλαπλές επιλογές λειτουργίας, και η σωστή χρήση του μπορεί να βοηθήσει στην αποτελεσματική αποβολή των περιττών στοιχείων. Τελειώνοντας τα αντικείμενα ανιχνεύονται ανεξάρτητα από το μέγεθός και τον προσανατολισμό τους.

5.4.4 Περιορισμοί

Η μέθοδος του laser έχει υψηλότερο κόστος έναντι του sonar συστήματος sonar και πιο σύνθετη σύνδεση με τον ελεγκτή. Ο αλγόριθμος για το φιλτράρισμα στοιχείων είναι σύνθετος και ο μεγάλος όγκος στοιχείων μπορεί να οδηγήσει σε πιο αργή επεξεργασία και σε μεγαλύτερες ανάγκες για επεξεργασία και μνήμη.

5.5 Η μήτρα σύγκρισης των μεθόδων

Τα συστήματα ανιχνευτών sonar και λέιζερ χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανίχνευση και αποφυγή εμποδίων. Στη μέθοδο του στάσιμου sonar η περιοχή στην οποία το εμπόδιο πρέπει να βρίσκεται είναι καθορισμένη. Χρειαζόμαστε μια βάση κανόνων για την αποφυγή των εμποδίων. Το σύστημα έχει θόρυβο και είναι δύσκολο να μειωθεί το σφάλμα. Το σύστημα του περιστρεφόμενου sonar δίνει μια ακριβέστερη θέση του εμποδίου και έχει το πλεονέκτημα χρήσης μόνο ενός αισθητήρα. Εντούτοις υπάρχει ανταλλαγή βαρών μεταξύ στάσεων της μηχανής και της ταχύτητας του ρομπότ. Κοινό και για τις δύο μεθόδους των sonar είναι το πρόβλημα της αντανάκλασης και της διασπορά κυμάτων. Ο ανιχνευτής λέιζερ δίνει την ακριβή θέση των εμποδίων δεδομένου ότι ξέρουμε το σχεδιάγραμμα αποστάσεων σε 2D διαστάσεις και έκταση 180° . Η ακρίβεια απόστασης που μετράται από τα sonar είναι σαφώς χαμηλότερη από αυτή του ανιχνευτή λέιζερ. Η γωνιακή ακρίβεια είναι επίσης υψηλότερη με τον ανιχνευτή λέιζερ δεδομένου ότι οι βαθμοί ακρίβειας είναι 0.25° ενώ στο σύστημα του περιστρεφόμενου sonar αυτή η γωνιακή ακρίβεια εξαρτάται από την ταχύτητα του οχήματος, την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα του sonar και του αριθμού στάσεων αυτού. Η γωνιακή ακρίβεια δεν υφίσταται για το σύστημα των σταθερών sonar δεδομένου ότι το σύστημα δίνει τη ζώνη στην οποία το εμπόδιο βρίσκεται και όχι τις πραγματικές γωνίες ως προς τη θέση του ρομπότ. Με το στάσιμο sonar δεν είναι δυνατό να διαπιστώσουμε εάν υπάρχουν πολλαπλά εμπόδια ή εάν υπάρχει ένα ενιαίο εμπόδιο στη ζώνη ανίχνευσης. Ομοίως με το περιστρεφόμενο sonar αν και είναι δυνατό να ανιχνευθούν τα πολλαπλά εμπόδια είναι υψηλή η πιθανότητα σφάλματος ή θορύβου στις αναγνώσεις. Με τον ανιχνευτή λέιζερ είναι εύκολο να ανιχνευθούν πολλαπλά εμπόδια και να κατασκευαστεί δισδιάστατο σχεδιάγραμμα τους. Με τα sonar συστήματα ένα εμπόδιο που είναι σε γωνία ως προς το ρομπότ, θα αυξήσει το λάθος στις αναγνώσεις. Κατά συνέπεια δεν είναι δυνατό να ανιχνευτεί ο προσανατολισμός του εμποδίου με αυτά τα συστήματα. Τα στάσιμα και περιστρεφόμενα sonar συστήματα έχουν υψηλό θόρυβο στοιχείων έναντι του ανιχνευτή λέιζερ. Περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η υγρασία και η θερμοκρασία έχουν επιπτώσεις στην απόδοση των sonar συστημάτων. Ο πίνακας 4.1 παρουσιάζει τη σύγκριση των τριών συστημάτων.

Πίνακας 4.1: Σύγκριση των τριών συστημάτων αποφυγής εμποδίων

System/ Criterion	Position of obstacle	Distance accuracy	Angular accuracy	Obstacle size	Multiple obstacle detection	Obstacle orientation	Data noise	Environmental effects
Stationary Sonar	Region can be determined	Low	N/A	N/A	No	No	High	High
Rotating Sonar	Approx Position can be determined	Low	Very low	N/A	No	No	High	High
Laser Scanner	Exact position can be determined	High	High	Can be determined	Yes	Yes	Low	Low

Τα sonar συστήματα είναι πιο οικονομικά από τον ανιχνευτή λέιζερ και είναι ευκολότερη η εφαρμογή τους δεδομένου ότι το ποσό στοιχείων που λαμβάνονται είναι λιγότερο. Εντούτοις, υπάρχει μια απώλεια ακρίβειας με την αύξηση στην πολυπλοκότητα των συστημάτων. Με τα sonar συστήματα είναι δύσκολο να αναπτυχθούν συστήματα προγραμματισμού πορειών, αντίθετα ο ανιχνευτής λέιζερ δίνει στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη χαρτογράφηση και τον προγραμματισμό της ναυσιπλοΐας του ρομπότ. Τα τρία τα συστήματα έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς και έχουν εξεταστεί σε διάφορες ρομποτικές πλατφόρμες.

6 Αξιολόγηση – Συμπεράσματα

6.1 Αξιολόγηση

Το αυτοκινούμενο όχημα Hellenak, ικανοποίησε σε μεγάλο βαθμό τις αρχικές προδιαγραφές. Τα λειτουργικά στοιχεία που επιλέχθηκαν και εγκαταστάθηκαν στο όχημα, καθώς και η διαμόρφωση που έγινε σε αυτά, δίνουν στο όχημα όλες αυτές τις δυνατότητες που σημειώθηκαν στο στάδιο του σχεδιασμού.

Το όχημα δύναται να μεταφέρει μικτό φορτίο πέρα των 200kg, ποσό αρκετά μεγαλύτερο από τον αρχικό στόχο. Η ύπαρξη μεγάλων φορτίων δεν επηρεάζει την ικανότητα κίνησης της πλατφόρμας. Το όχημα στρίβει ή και περιστρέφεται χωρίς να αλλάζει η συμπεριφορά του. Το γεγονός αυτό δίνει την δυνατότητα προσθήκης στο όχημα επιπλέον φορτίων, πέρα των υπαρχόντων.

Η ενεργειακή αυτονομία που δίνει το σύστημα του ζεύγους συσσωρευτών στο όχημα, του επιτρέπει να κινείται περί τις δύο ώρες. Σημειώνεται ότι όταν οι κινητήρες δεν βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία, η ενεργειακή αυτονομία ξεπερνάει τις πέντε ώρες. Το ποσό αυτό αυτονομίας επιτρέπει την λειτουργία του οχήματος, σε σημεία απομακρυσμένα από τον σταθμό επαναφόρτισης των συσσωρευτών, δεν επιτρέπει όμως την λειτουργία σε βιομηχανικό επίπεδο όπου απαιτείται μεγαλύτερη αυτονομία.

Τα λειτουργικά στοιχεία και η διαμόρφωση αυτών επιτρέπουν στο όχημα να κινείται, να στρίβει και να ελίσσεται. Οι πολλαπλές εισοδοι και έξοδοι, αναλογικές και ψηφιακές, των καρτών ελέγχουν προσδίδουν το πλεονέκτημα της σύνδεσης πλήθους περιφερειακών συσκευών. Έτσι γίνεται δυνατή η σύνδεση πλήθους αισθητηρίων που βοηθούν στον έλεγχο του οχήματος. Σημαντικό χαρακτηριστικό του συστήματος είναι η αλλαγή του τρόπου στρέψης των τροχών. Σε χώρο δράσης όπου απαιτούνται πολύπλοκοι ελιγμοί οι κινητήρες προσαρμόζονται σε διαμόρφωση όπου δύναται να περιστρέφονται και προς τις δύο φορές.

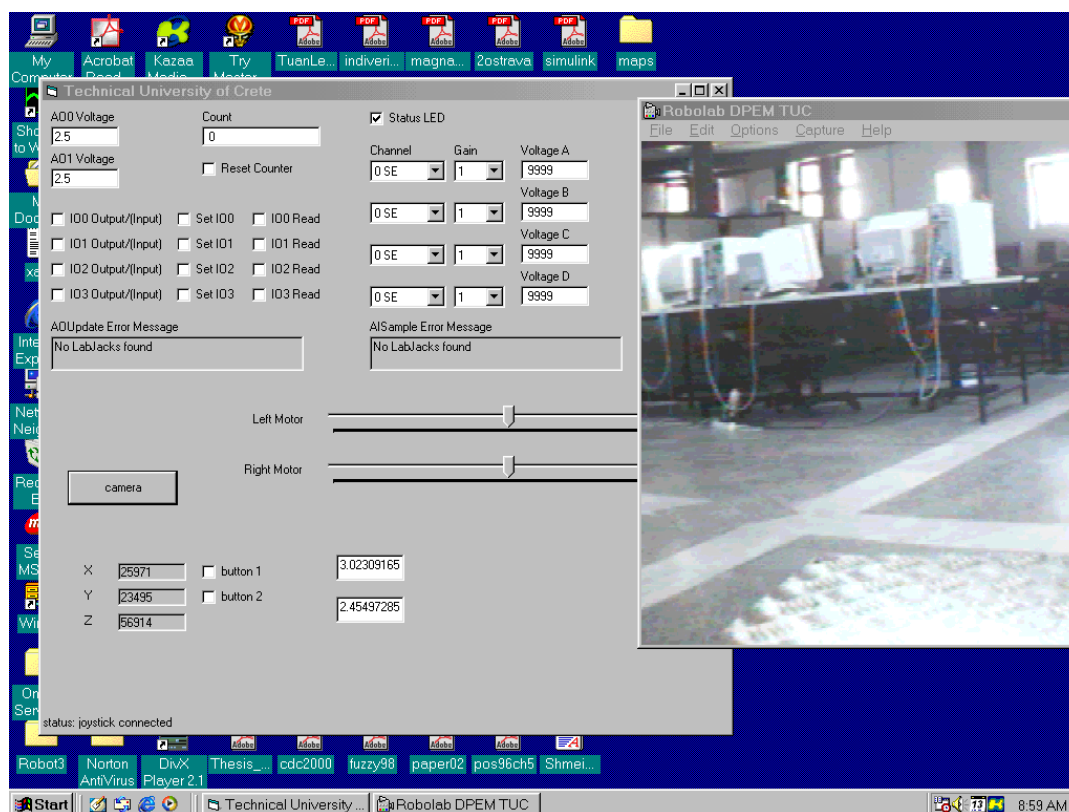
Τα φωτοηλεκτρικά αισθητήρια, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο χωρίο, δεν επιστρέφουν την απόσταση από ανιχνευμένο αντικείμενο. Αυτό στερεί από το όχημα την δυνατότητα επιτυχούς εφαρμογής των αλγορίθμων αποφυγής εμποδίων. Με την παρούσα εγκατάσταση των φωτοηλεκτρικών αισθητηρίων μπορεί το όχημα κυρίως να παύσει τους κινητήρες στην ύπαρξη εμποδίου. Η μεθοδολογία αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε βιομηχανικό επίπεδο όταν το όχημα κινείται σε συγκεκριμένες πορείες και δεν εκτελεί ελεύθερη κίνηση.

Το Hellenak αποτελεί μια ρομποτική αυτοκινούμενη πλατφόρμα ανοικτής αρχιτεκτονικής. Το στοιχείο αυτό δίνει περιορισμούς στο όχημα, όπως το μεγάλο μέγεθος των λειτουργικών στοιχείων, αλλά δίνει και πολλές δυνατότητες εξέλιξης. Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά σε συνεργασία με την επιλογή του ασύρματου ελέγχου από απομακρυσμένο τερματικό, επιτρέπουν τη χρήση του οχήματος σε πλήθος βιομηχανικών εφαρμογών.

Για τον έλεγχο της κινητικής ικανότητας και την διεξαγωγή των παραπάνω συμπερασμάτων δημιουργήθηκε πλατφόρμα λογισμικού και αλγόριθμο χαρτογράφησης της πορείας.

6.1.1 Λογισμική Πλατφόρμα Κίνησης

Η λογισμική πλατφόρμα που δημιουργήθηκε επιτρέπει τη ρύθμιση της ταχύτητας των κινητήρων, είτε χειροκίνητα, είτε με τη χρήση πηδαλίου. Υπάρχει η επιλογή χειρισμού της ψηφιακής κάμερας, αλλαγής των χρωμάτων της εικόνας, της ανάλυσης της και του χρόνου δειγματοληψίας. Το λογισμικό επιτρέπει τον έλεγχο των εισόδων της κάρτα ελέγχου και ως εκ τούτου τον έλεγχο των φωτοηλεκτρικών αισθητηρίων (Οθόνη 1).



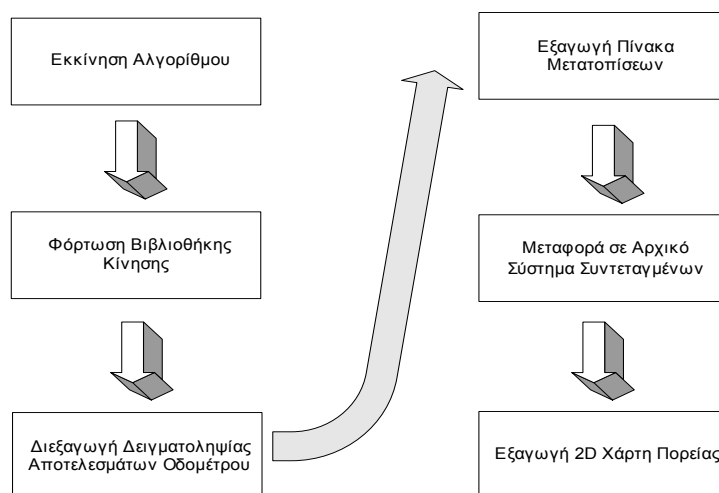
Οθόνη 1 Προβολή λογισμικού ελέγχου με χρήση "ζωντανής εικόνας"

Το λογισμικό κατασκευάστηκε σε προσπελάσιμο αρχείο τύπου “.exe” το οποίο δουλεύει σε συνεργασία με όλες τις τελευταίες εκδόσεις του λειτουργικού συστήματος Microsoft Windows. Η κατασκευή του προγράμματος έγινε σε γλώσσα προγραμματισμού Basic, ενώ πολλές από τις συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται είναι γραμμένες σε γλώσσα C++.

Η λογισμική αυτή πλατφόρμα χρησιμοποιήθηκε στα πρώτα στάδια δημιουργίας του Hellenak, για έλεγχο της σωστής λειτουργίας των λειτουργικών στοιχείων και του συστήματος. Όλες οι μεταβλητές είναι παραμετροποιημένες και έτσι υφίσταται η δυνατότητα εξέλιξης και εφαρμογής αλγορίθμων.

6.1.2 Αλγόριθμος χαρτογράφησης κίνησης

Ο αλγόριθμος χαρτογράφησης της κίνησης του οχήματος Hellenak, έγινε στην υπολογιστική πλατφόρμα Matlab (Σχήμα 6-1). Χρησιμοποιεί τις συναρτήσεις κίνησης που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο τέσσερα. Ο αλγόριθμος ρυθμίζει την συχνότητα δειγματοληψίας, υπολογίζει τις ταχύτητες του κάθε κινητήριου τροχού. Τα στοιχεία τοποθετούνται στις εξισώσεις κίνησης από όπου και παράγονται οι μετατοπίσεις για κάθε χρονική διάρκεια δειγματοληψίας. Τα νέα στοιχεία αποθηκεύονται σε πίνακα που εξάγεται στο δεύτερο μέρος του αλγορίθμου. Εκεί οι συντεταγμένες χρησιμοποιούνται από εξισώσεις κίνησης μετατρέποντας τις μετατοπίσεις σε μετατόπιση ως προς το αρχικό σύστημα συντεταγμένων, δηλαδή το σημείο εκκίνησης. Ο αλγόριθμος τελειώνει σχεδιάζοντας την πορεία βάση του ενιαίου συστήματος συντεταγμένων.

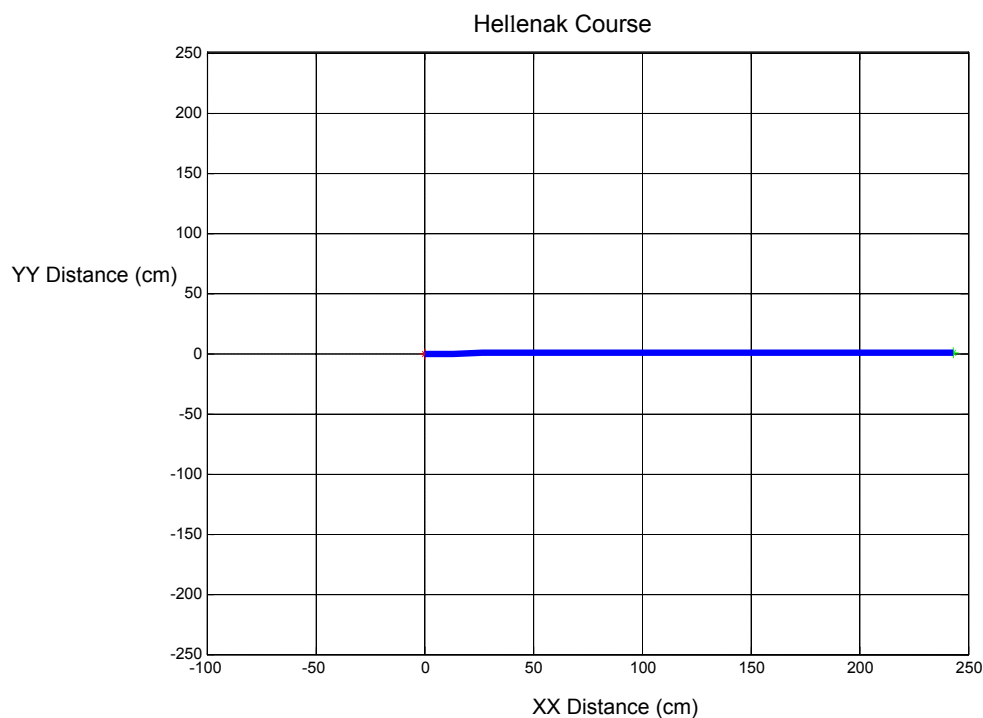


Σχήμα 6-1 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου χαρτογράφησης

6.1.2.1 Χαρτογράφηση κίνησης

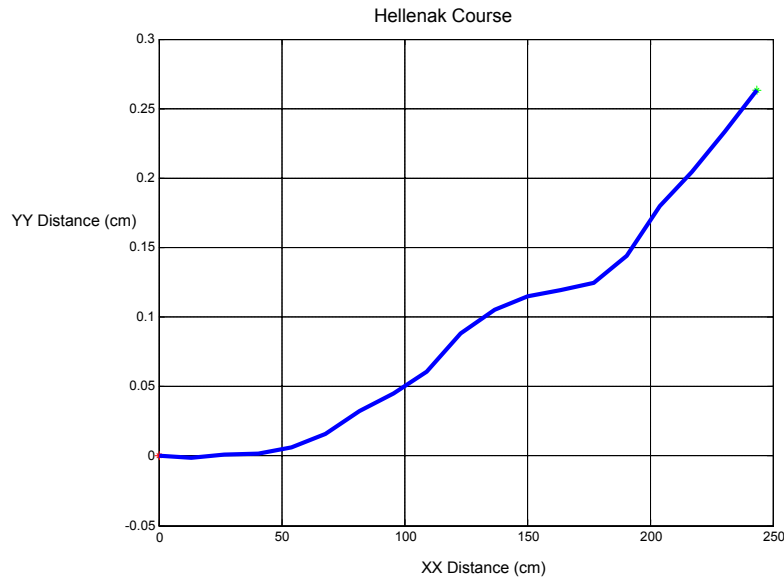
Η χαρτογράφηση της κίνησης του οχήματος έγινε για τον έλεγχο των ικανοτήτων κίνησης. Ελέγχθηκαν τέσσερις τύποι κίνησης που μαζί μπορούν να συνδυάσουν οποιαδήποτε κίνηση. Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκαν η κίνηση σε ευθεία, καμπύλη και κυκλική πορεία καθώς και η κίνηση με ελιγμούς.

Η κίνηση σε ευθεία πορεία ήταν η απλούστερη μορφή κίνησης. Για την δημιουργία της δώσαμε ίση ισχύ σε κάθε κινητήρα. Η εικόνα 6-1 δείχνει την πορεία που ακολούθησε το όχημα.



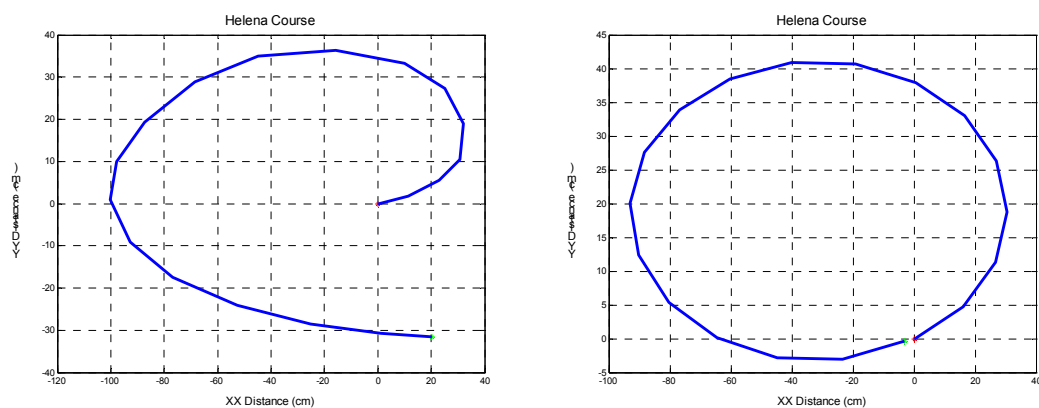
Εικόνα 6-1 Κίνηση του Hellenak σε ευθεία

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι το όχημα δύναται να ακολουθήσει ευθεία πορεία. Εάν γίνει χρήση της μεγάλης ακρίβειας, που παρέχει το σύστημα, αλλάζοντας την κλίμακα του άξονα YY στο διάγραμμα, διαπιστώνεται ότι η πορεία δεν είναι ακριβώς ευθεία. Όμως η πορεία μπορεί να θεωρηθεί ευθεία διότι η απόκλιση είναι μόλις 0,3cm σε πορεία 243,5cm, ποσοστό μόλις 0,12%. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην έλλειψη ελεγκτή κίνησης.



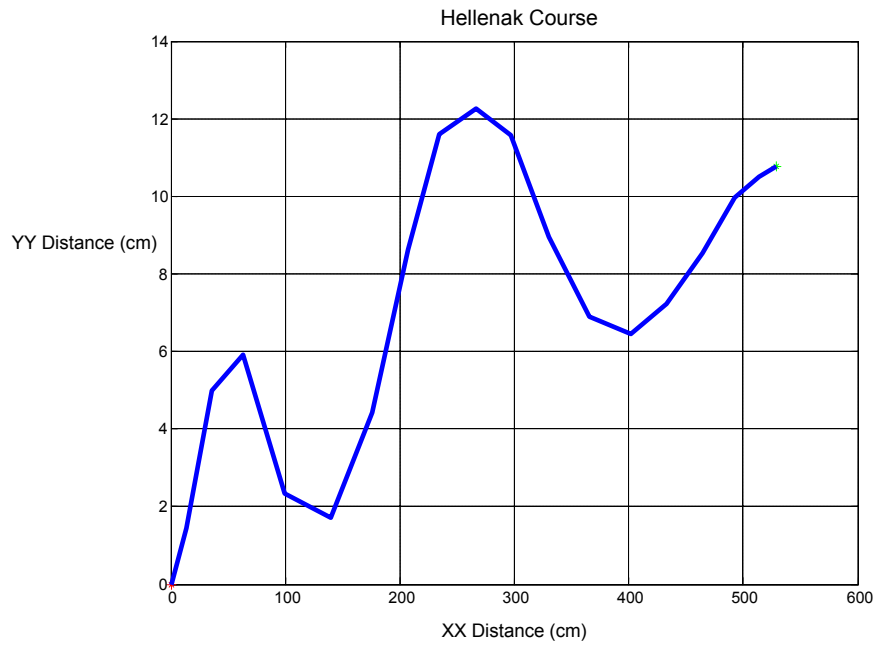
Εικόνα 6-2 Κίνηση του Hellenak σε ευθεία με μεγέθυνση στον άξονα YY

Τα επόμενα δύο πειράματα που διεξήχθησαν, κίνηση σε καμπύλη και κυκλική πορεία, έδειξαν ότι το όχημα Hellenak δύναται να κινηθεί επιτυχώς σε καμπύλες πορείες καθώς και να περιστραφεί, αλλάζοντας διεύθυνση κίνησης. Η κίνηση σε καμπύλη πορεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την στρέψη του οχήματος χωρίς την μείωση της ταχύτητάς του. Στην εικόνα 6-3 φαίνονται οι τροχιές που περιγράφονται.



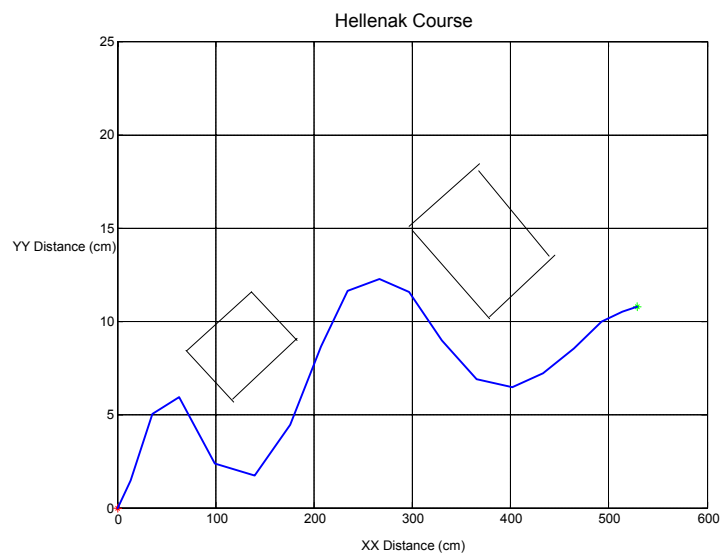
Εικόνα 6-3 Καμπύλη πορεία, κυκλική περιστροφική πορεία

Συνδυασμός των παραπάνω κινήσεων είναι η καμπύλη κίνηση με διεξαγωγή ελιγμού. Το όχημα επέδειξε ότι μπορεί να εκτελέσει επιτυχώς και αυτό το είδος κίνησης. Η πορεία που σχεδιάστηκε από τον αλγόριθμο χαρτογράφησης φαίνεται στην εικόνα 6-4.



Εικόνα 6-4 Δημιουργία ελιγμού από το όχημα Hellenak

Το είδος της πορείας με την διεξαγωγή ελιγμού είναι σημαντικό γιατί περιλαμβάνει όλα τα είδη πορείας σε δύο διαστάσεις αλλά και γιατί χρησιμοποιείται για την αποφυγή εμποδίων. Στην εικόνα 6-5 δείχνεται σενάριο αποφυγής εμποδίων από την τροχιά της εικόνας 6-4.



Εικόνα 6-5 Σενάριο αποφυγής εμποδίων με την διεξαγωγή ελιγμού

6.2 Συμπεράσματα

Το αυτοκινούμενο όχημα Hellenak αποτελεί μια αξιόπιστη, χαμηλού κόστους βιομηχανική πλατφόρμα. Οι περιφερειακές συσκευές που χρησιμοποιεί και η αρχιτεκτονική του, του επιτρέπουν να εκτελεί επιτυχώς πλήθος κινήσεων. Το όχημα μπορεί να λάβει μέρος σε πλήθος εφαρμογών, όπως μεταφορά αντικειμένων σε αλυσίδα παραγωγής, παρακολούθηση βιομηχανικών χώρων, υποστήριξη συστήματος αποθήκης κ.α. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να επεκταθούν με την προσθήκη ρομποτικού βραχίονα στον χώρο της πλατφόρμας. Η υποδομή του οχήματος επιτρέπει μια τέτοια προσθήκη από άποψη μεταφοράς πρόσθετων βαρών, επιπλέον στατικών φορτίσεων στο σασί και ελεύθερου χώρου στο εσωτερικό του οχήματος.

Για την επιτυχή λειτουργία του οχήματος στις παραπάνω εφαρμογές συνίσταται ο σχεδιασμός ελεγκτή κίνησης. Ο ελεγκτής θα μπορεί να διατηρεί σταθερή ταχύτητα ανεξάρτητα του μικτού φορτίου, να κινεί το όχημα σε σχεδιασμένη πορεία, να αποφεύγει εμπόδια και να διορθώνει τυχόν υπερστροφή των τροχών.

Ως επιπλέον εργασία για την εξέλιξη του οχήματος, συνίσταται η προσθήκη αισθητηρίων απόστασης, λέιζερ ή υπερήχων. Επίσης περαιτέρω εργασία πρέπει να γίνει στο χώρο του λογισμικού. Συνίσταται να γίνει πιο φιλικό προς το χρήστη, δίνοντας του περισσότερες δυνατότητες και εξελίσσοντας την δυνατότητα ελέγχου από απομακρυσμένο τερματικό.



Εικόνα 6-6 α. Το όχημα Hellenak κατά την φάση του πειραματισμού, β., γ. Το όχημα Hellenak σε τελική μορφή

Το όχημα Hellenak εξαιτίας της ανοικτής αρχιτεκτονικής και της δυνατότητας ελέγχου του από πλήθος προγραμματιστικών εφαρμογών, αποτελεί μια αξιόπιστη λύση για πειραματισμό σε προβλήματα τηλεματικής, επεξεργασίας σήματος, ηλεκτρονικής, μηχανολογίας και βελτιστοποίησης. Τελειώνοντας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δοκιμή μεθοδολογιών κίνησης, αυτομάτου ελέγχου και την αξιόπιστη διεξαγωγή συμπερασμάτων.

7 Βιβλιογραφία

- [1] Fuller J. Robotics: Introduction, Programming, and Projects. -2nd ed. Prentice Hall, NJ, 1999.
- [2] Kalpakjian S. Manufacturing Processes for Engineering Materials. -3rd ed. Addison Wesley, MA, 1997.
- [3] Μπιλάλης Ν. Μελέτη Σχεδίαση με Χρήση Η/Υ. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2002.
- [4] Fiam “Ecoforce, a White Paper”. Italy, 2002.
- [5] Cook D. Robot Building for Beginners. Apress, CA, 2002.
- [6] Devantech L.T.D. <http://www.robot-electronics.co.uk>
- [7] hp. Two Channel Optical Incremental Encoder Modules Technical Data. A White Paper.
- [8] Soloman S. Sensors Handbook. Mc Graw Hill, NY, 1998.
- [9] Labjack Co. Labjack Operation Manual.
- [10] W. Nelson, I. Cox, "Local Path Control for an Autonomous Vehicle", Proceedings of 988 *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, **3**, (1988).

