



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Αυτόνομη οδήγηση με βοήθεια αισθητήρων Hall

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΕΩΝΙΔΑΣ Ι. ΚΟΛΟΒΟΣ

Επιβλέπων : Ευάγγελος Β. Χριστοφόρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Αυτόνομη οδήγηση με βοήθεια αισθητήρων Hall

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΕΩΝΙΔΑΣ Ι. ΚΟΛΟΒΟΣ

Επιβλέπων : Ευάγγελος Β. Χριστοφόρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 10^η Ιουλίου 20223.

.....
Χριστοφόρου Ευάγγελος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Συκάς Ευστάθιος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Παπανάνος Ιωάννης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2023

.....
Λεωνίδας Ι. Κολοβός

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Λεωνίδας Ι. Κολοβός 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο, εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η διπλωματική εργασία παρουσιάζει την ανάπτυξη ενός αυτοκινούμενου αυτοκινήτου που ακολουθεί αυτόνομα μια γραμμή μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιώντας αισθητήρες Hall. Ο στόχος ήταν να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί ένα αξιόπιστο και αποτελεσματικό σύστημα πλοήγησης που θα μπορούσε να παρακολουθεί με ακρίβεια μια προκαθορισμένη γραμμή μαγνητικού πεδίου. Αρχικά, πριν δοθούν λεπτομέρειες για την κατασκευή της διάταξης παρουσιάζεται η θεωρία του μαγνητισμού, αναλύονται σε βάθος οι αισθητήρες μαγνητικού πεδίου Hall και γίνεται και σύντομη αναφορά στον υπολογιστή του συστήματος το Raspberry Pi. Στο πειραματικό μέρος αναφερόμαστε στην κατασκευή ενός ρομποτικού αυτοκινήτου με τρεις τροχούς εξοπλισμένο με δύο κινητήρες, αισθητήρες μαγνητικού πεδίου Hall και ένα Raspberry Pi 4 Model B ως μονάδα ελέγχου. Η κίνηση του αυτοκινήτου συγχρονιζόταν με έναν αλγόριθμο ελέγχου που ανέλυε τα δεδομένα των αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο και εκτελούσε διορθωτικές ενέργειες για τη διατήρηση της ευθυγράμμισης με το μαγνητικό πεδίο. Το πείραμα κατέδειξε με επιτυχία την ικανότητα του αυτοκινήτου να ανιχνεύει και να ακολουθεί με ακρίβεια τη γραμμή του μαγνητικού πεδίου. Η εργασία αυτή χρησιμεύει ως πλατφόρμα για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη σε συστήματα πλοήγησης με βάση το μαγνητικό πεδίο. Οι μελλοντικές κατευθύνσεις περιλαμβάνουν τη διερεύνηση προηγμένων αλγορίθμων ελέγχου, τη συγχώνευση πολλαπλών αισθητήρων, τις εφαρμογές στον πραγματικό κόσμο και τη βελτιστοποίηση των επιδόσεων. Συνολικά, η παρούσα διπλωματική εργασία συμβάλλει στην πρόοδο της αυτόνομης πλοήγησης, αναδεικνύοντας τις δυνατότητες των συστημάτων που βασίζονται σε μαγνητικά πεδία για την επίτευξη αξιόπιστης και ακριβούς κίνησης σε διάφορα περιβάλλοντα.

Λέξεις κλειδιά: αυτόνομη πλοήγηση, χάραξη πορείας βάση μαγνητικών πεδίων, αισθητήρες μαγνητικού πεδίου Hall, Raspberry Pi

ABSTRACT

This thesis presents the development of a self-driving car that autonomously follows a magnetic field line using Hall sensors. The goal was to design and implement a reliable and efficient navigation system that could accurately track a predefined magnetic field line. First, before giving details of the construction of the device, the theory of magnetism is presented, the Hall magnetic field sensors are analysed in depth and a brief reference to the system's computer the Raspberry Pi is given. In the experimental part we report on the construction of a three-wheeled robotic car equipped with two motors, Hall magnetic field sensors and a Raspberry Pi 4 Model B as a control unit. The motion of the car was synchronized by a control algorithm that analysed the sensor data in real time and performed corrective actions to maintain alignment with the magnetic field. The experiment successfully demonstrated the car's ability to detect and accurately follow the magnetic field line. This work serves as a platform for further research and development in magnetic field-based navigation systems. Future directions include the exploration of advanced control algorithms, multi-sensor fusion, real-world applications, and performance optimization. Overall, this thesis contributes to the advancement of autonomous navigation by highlighting the potential of magnetic field-based systems to achieve reliable and accurate motion in various environments.

Keywords: Autonomous navigation, Magnetic field-based navigation, Hall effect sensors, Raspberry Pi

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Ευάγγελο Χριστοφόρου για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα και κυρίως για την συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη που μου παρείχε.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμα τον διδάκτορα Σπυρίδωνα Αγγελόπουλο για την αποδοτική συνεργασία μας καθώς και για τη βοήθεια του σε όλα τα θέματα που προέκυψαν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της οικογένειάς μου. Συγκεκριμένα, τους γονείς μου, Ρένα και Γιάννη, για τη στήριξη και την αγάπη τους, την αδερφή μου Βίκυ για τη διαρκή υποστήριξη της, καθώς και τις θείες μου Γιώτα και Σούλα. Ένα τεράστιο ευχαριστώ οφείλω και στη γιαγιά μου, Βασιλική Μαριτζίδη, για την αμέριστη αγάπη που μου προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια.

Θέλω ακόμα να ευχαριστήσω από την καρδιά μου την άλλη μου οικογένεια τους φίλους μου Στέλιο Τ., Δημήτρη Σ., Βασίλη Μ., Κλεάνθη Μ. Κ., Γιάννη Κ., Στέφανο Π., καθώς και όλα τα άτομα που μου χάρισαν αξέχαστα χρόνια φοίτησης. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ηρώ Κ. για τη διαρκή της υποστήριξη κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Στη μνήμη του ανθρώπου ο οποίος με εισήγαγε στον κόσμο των θετικών επιστημών, του θείου μου Λευτέρη Ρουσέλη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|------------------------------------------------------------------------|----------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 2 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ | 4 |
| 2.1 ΘΕΩΡΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ..... | 4 |
| 2.1.1 <i>Μαγνήτες και Ηλεκτρομαγνήτες</i> | 4 |
| 2.1.2 <i>Μαγνητικά κυκλώματα</i> | 8 |
| 2.1.3 <i>Βασικές έννοιες μαγνητικών κυκλωμάτων</i> | 9 |
| 2.1.4 <i>Μαγνητισμός</i> | 11 |
| 2.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ..... | 12 |
| 2.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ..... | 13 |
| 2.3.1 <i>Η σημασία των αισθητήρων στα αυτόνομα αυτοκίνητα</i> | 13 |
| 2.3.2 <i>Φαινόμενο Hall</i> | 16 |
| 2.3.3 <i>Αισθητήρας μαγνητικού πεδίου Hall</i> | 17 |
| 2.3.4 <i>Είδη αισθητήρων Hall</i> | 17 |
| 2.3.5 <i>Αισθητήρες πειράματος</i> | 24 |
| 2.3.6 <i>Διατάξεις μαγνήτη - αισθητήρα</i> | 27 |
| 2.4 RASPBERRY PI..... | 30 |
| 2.4.1 <i>Βασικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες</i> | 31 |
| 2.4.2 <i>Το Raspberry Pi στον τομέα της πειραματικής έρευνας</i> | 33 |

| | | |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.3 | <i>Raspberry Pi 4</i> | 34 |
| 2.5 | ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΡΥΤΗΘΝ..... | 40 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ | | 42 |
| 3.1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 42 |
| 3.2 | ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ..... | 43 |
| 3.2.1 | <i>Πλατφόρμα</i> | 43 |
| 3.2.2 | <i>Κινητήρες συνεχούς τάσης</i> | 43 |
| 3.2.3 | <i>Μονάδα οδήγησης διπλού κινητήρα L298N</i> | 44 |
| 3.2.4 | <i>Raspberry Pi 4 Model B</i> | 45 |
| 3.2.5 | <i>Αισθητήρες Hall</i> | 46 |
| 3.3 | ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ | 47 |
| 3.4 | ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ..... | 49 |
| 3.5 | ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ | 51 |
| 3.6 | ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ..... | 54 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΆΣΜΑΤΑ | | 56 |
| 4.1 | ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ | 56 |
| 4.2 | ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ | 57 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ | | 58 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | | 62 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Σχήμα 1. Μαγνητικές γραμμές διανυσματικά στο χώρο | 5 |
| Σχήμα 2. Κανόνας δεξιού χεριού και κάθετη τομή αγωγού και μαγνητικών γραμμών | 5 |
| Σχήμα 3. Μαγνητικό Κύκλωμα και παραλληλισμός με το αντίστοιχο ηλεκτρικό | 8 |
| Σχήμα 4. Διάταξη φαινομένου Hall | 16 |
| Σχήμα 5. Αισθητήρας φαινομένου Hall σε λειτουργία διακόπτη μεταγωγής. Α) η μαγνητική ροή ενεργοποιεί τον αισθητήρα (ON), Β) η μαγνητική ροή εμποδίζεται από τη μεταλλική πλάκα (OFF) | 17 |
| Σχήμα 6. Παράδειγμα επίδρασης μαγνητικού πεδίου με αισθητήρα Hall | 18 |
| Σχήμα 7. Συνάρτηση μεταφοράς μονοπολικού αισθητήρα | 19 |
| Σχήμα 8. Χωρίς υστέρηση, η έξοδος μπορεί να είναι απροσδιόριστη γύρω από το κατώφλι. | 20 |
| Σχήμα 9. Συνάρτηση μεταφοράς ενός ομοιοπολικού αισθητήρα Hall. | 21 |
| Σχήμα 10. Συνάρτηση μεταφοράς ενός μανδαλωτή φαινομένου Hall. | 22 |
| Σχήμα 11. Συνάρτηση μεταφοράς διπολικών αισθητήρων. | 24 |
| Σχήμα 12. Ηλεκτρολογικό σχέδιο πλακέτας αισθητήρα Hall του πειράματος..... | 25 |
| Σχήμα 13. Ηλεκτρολογικό σχέδιο αισθητήρα Hall..... | 26 |
| Σχήμα 14. Συνάρτηση επίδρασης μαγνητικού πεδίου και τάσης εξόδου | 26 |
| Σχήμα 15. Α) Μετωπική διάταξη μαγνήτη αισθητήρα Β) διάγραμμα λειτουργίας αισθητήρα Hall βάση μαγνητικής έντασης και απόστασης..... | 28 |
| Σχήμα 16. Χάρτης ροής βάση μαγνητικής πυκνότητας και απόστασης..... | 30 |
| Σχήμα 17. α) Διάταξη Slide-By β) διάγραμμα λειτουργίας αισθητήρα Hall βάση μαγνητικής έντασης και απόστασης | 30 |
| Σχήμα 18. Η συνδεσμολογία του πειράματος μας..... | 49 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Πίνακας 1: Μαγνητικές ποσότητες και αντιστοίχιση με ηλεκτρικές..... | 9 |
| Πίνακας 2. Ακροδέκτες αισθητήρα φαινομένου Hall..... | 25 |
| Πίνακας 3. Αναλυτικά χαρακτηριστικά Raspberry Pi 4 Model B..... | 34 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Εικόνα 1. Πομπός IR ή LED IR..... | 15 |
| Εικόνα 2. Δέκτης IR ή φωτοδίοδος | 15 |
| Εικόνα 5. Δύο εφαρμογές συσκευών με μανδάλωση που χρησιμοποιούν μαγνήτες δακτυλίου.. | 23 |
| Εικόνα 6. Raspberry Pi πρώτης γενιάς. | 31 |
| Εικόνα 7. Raspberry Pi 4 Model B | 34 |
| Εικόνα 8. Η πλατφόρμα πάνω στην οποία συναρμολογήσαμε το αμαξίδιο..... | 43 |
| Εικόνα 9. Κινητήρας συνεχούς τάσης. | 44 |
| Εικόνα 10. Μονάδα οδήγησης διπλού κινητήρα L298N | 45 |
| Εικόνα 11. Raspberry Pi 4 πειράματος..... | 46 |
| Εικόνα 12. Οι μαγνητικές γραμμές που χαρακτηρίζουν τη μαγνητική ταινία οι οποίες φέρουν διαφορετική πολικότητα διαδοχικά | 50 |
| Εικόνα 13. Η μαγνητική ταινία του πειράματος..... | 50 |
| Εικόνα 14. Πειραματικές διαδρομές..... | 52 |

Εικόνα 15. Πειραματική διάταξη αυτοκινήτου και διαδρομής.53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, τα αυτόνομα οχήματα έχουν αναδειχθεί ως μια τεχνολογία με τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στις μεταφορές. Αυτά τα οχήματα, κοινώς γνωστά ως αυτοκινούμενα αυτοκίνητα, είναι ικανά να πλοηγούνται και να λειτουργούν χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Η έλευση των αυτοκινούμενων αυτοκινήτων έχει ανοίξει νέες δυνατότητες για αυξημένη ασφάλεια, καλύτερη ροή της κυκλοφορίας και βελτιωμένη προσβασιμότητα στις υπηρεσίες μεταφορών. Επιπλέον, υπόσχονται τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και των εκπομπών, συμβάλλοντας σε ένα πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον μέλλον.

Η ανάπτυξη αυτοκινούμενων αυτοκινήτων βασίζεται στην ενσωμάτωση προηγμένων συστημάτων, αισθητήρων και αλγορίθμων. Αυτά τα στοιχεία συνεργάζονται για να αντιλαμβάνονται τα αυτοκίνητα το περιβάλλον, να αναλύουν τα δεδομένα, να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να ελέγχουν τις κινήσεις του οχήματος. Η αντίληψη είναι μια κρίσιμη πτυχή της ανάπτυξης αυτόνομων οχημάτων, καθώς επιτρέπει στο όχημα να κατανοεί και να ερμηνεύει με ακρίβεια το περιβάλλον του. Χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό καμερών, lidar, ραντάρ και άλλων αισθητήρων, τα αυτοκινούμενα αυτοκίνητα μπορούν να συλλέγουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, δημιουργώντας μια ολοκληρωμένη αντίληψη του δρόμου, των κοντινών οχημάτων, των πεζών και άλλων αντικειμένων.

Ωστόσο, οι παραδοσιακές τεχνολογίες αντίληψης μπορεί να αντιμετωπίσουν περιορισμούς σε ορισμένα σενάρια. Για παράδειγμα, οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες, όπως η έντονη βροχή, η ομίχλη ή το χιόνι, μπορούν να εμποδίσουν την ορατότητα της κάμερας ή να επηρεάσουν την απόδοση των συστημάτων lidar και ραντάρ. Περιβάλλοντα με χαμηλή ορατότητα ή καταστάσεις με αποκρύψεις, όπως πυκνές αστικές περιοχές ή πολυσύχναστες διασταυρώσεις, μπορούν επίσης να αποτελέσουν προκλήσεις για την ακριβή αντίληψη. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι εναλλακτικές προσεγγίσεις ανίχνευσης μπορούν να συμπληρώσουν τα παραδοσιακά συστήματα αντίληψης και να παρέχουν αξιόπιστες ενδείξεις πλοήγησης.

Μια τέτοια εναλλακτική προσέγγιση είναι η πλοήγηση με βάση το μαγνητικό πεδίο. Μαγνητικά πεδία μπορούν να δημιουργηθούν τεχνητά χρησιμοποιώντας μαγνητικές ταινίες μαγνήτες ή και ηλεκτρομαγνήτες.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην πλοήγηση με βάση το μαγνητικό πεδίο ως συμπληρωματική προσέγγιση των παραδοσιακών συστημάτων αντίληψης. Μαγνητικά

πεδία μπορούν να δημιουργηθούν τεχνητά χρησιμοποιώντας μαγνητικές ταινίες μαγνήτες η και ηλεκτρομαγνήτες. Αξιοποιώντας τις ιδιότητες των μαγνητικών πεδίων, είναι δυνατόν να σχεδιαστεί ένα αυτοκινούμενο αυτοκίνητο που μπορεί να ακολουθεί με ακρίβεια μια μαγνητική γραμμή, προσφέροντας μια αξιόπιστη και ισχυρή λύση πλοήγησης. Η έννοια της πλοήγησης με βάση τα μαγνητικά πεδία παρέχει ένα πρόσθετο επίπεδο ανίχνευσης που μπορεί να ξεπεράσει ορισμένους από τους περιορισμούς των παραδοσιακών τεχνολογιών αντίληψης. Η προσέγγιση αυτή υπόσχεται την ενίσχυση των δυνατοτήτων αντίληψης των αυτοκινούμενων αυτοκινήτων σε απαιτητικά περιβάλλοντα και δυσμενείς συνθήκες.

Ο πρωταρχικός στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός ρομποτικού αυτοκινούμενου αυτοκινήτου που θα μπορεί να ακολουθεί με ακρίβεια μια μαγνητική γραμμή. Με την επίτευξη αυτού του στόχου, επιδιώκουμε να αποδείξουμε τη σκοπιμότητα και την αποτελεσματικότητα της πλοήγησης με βάση το μαγνητικό πεδίο για αυτόνομα οχήματα. Οι συγκεκριμένοι στόχοι περιλαμβάνουν το σχεδιασμό και τη συναρμολόγηση ενός ρομποτικού αυτοκινήτου ικανό για αυτόνομη πλοήγηση μέσω της ενσωμάτωση αισθητήρων Hall. Επιπλέον στοχεύουμε στην ανάπτυξη αλγορίθμων ελέγχου για την παρακολούθηση και διόρθωση σε πραγματικό χρόνο με βάση την ανιχνευόμενη μαγνητική γραμμή. Ο υπολογιστής που θα κληθεί να τρέξει τον παραπάνω αλγόριθμο είναι το Raspberry Pi, το οποίο θα κληθεί να συντονίσει την αξιολόγηση των δεδομένων που θα λαμβάνει από τους αισθητήρες και στη συνέχεια θα παίρνει αποφάσεις σχετικά με την πορεία που πρέπει να ακολουθήσει. Τέλος, θα κληθούμε να αξιολογήσουμε την απόδοση και της αποτελεσματικότητα του συστήματος που αναπτύχθηκε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Θεωρία Μαγνητισμού

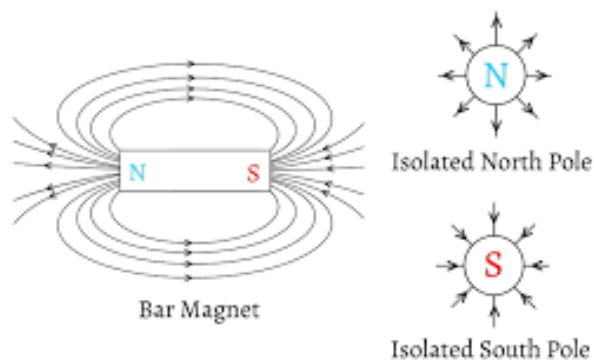
Το μεγαλύτερο μέρος της παρούσας εργασίας αφορά την αλληλεπίδραση των μαγνητών με τους αισθητήρες Hall που έχουμε εγκαταστήσει στο αμαξίδιο. Προκειμένου να κατανοήσουμε αυτή την αλληλεπίδραση είναι χρήσιμο να αναφερθούμε στους βασικούς κανόνες του ηλεκτρομαγνητισμού.

2.1.1 Μαγνήτες και Ηλεκτρομαγνήτες

Ο μαγνητισμός είναι μια θεμελιώδης δύναμη της φύσης που προκύπτει από την κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων. Αναφέρεται στην ικανότητα ενός υλικού ή αντικειμένου να παράγει μαγνητικό πεδίο, το οποίο μπορεί να έλκει ή να απωθεί άλλους μαγνήτες ή μαγνητικά υλικά. Το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από την κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα στο υλικό, η οποία μπορεί να επηρεαστεί από την ευθυγράμμιση και τον προσανατολισμό των ατόμων ή των μορίων μέσα στο υλικό. Ο μαγνητισμός παίζει καθοριστικό ρόλο σε πολλά φυσικά φαινόμενα, όπως η συμπεριφορά των βελονιών της πυξίδας, ο σχηματισμός του μαγνητικού πεδίου της Γης και η λειτουργία των ηλεκτρικών κινητήρων και των γεννητριών [1].

Μαγνήτης ονομάζεται ένα υλικό που παράγει μαγνητικό πεδίο. Οι μαγνήτες μπορούν να κατασκευαστούν από διάφορα υλικά, όπως σίδηρο, κοβάλτιο, νικέλιο και ορισμένα κράματα. Οι μαγνητικές ιδιότητες αυτών των υλικών προκύπτουν από την ευθυγράμμιση και τον προσανατολισμό των ατόμων ή μορίων που τα αποτελούν, τα οποία δημιουργούν ένα μαγνητικό πεδίο που διαπερνά τον περιβάλλοντα χώρο.

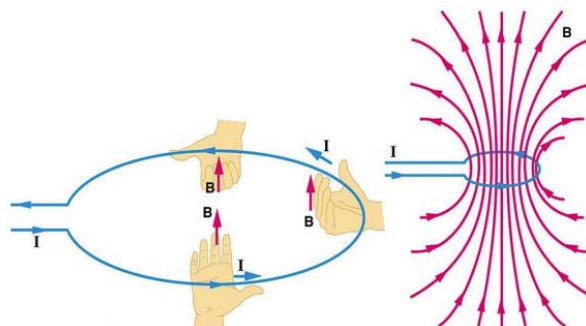
Οι μαγνήτες αποτελούνται από δύο πόλους (βόρειο και νότιο) και το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται μεταξύ αυτών. Οι μαγνητικές γραμμές απεικονίζουν το πεδίο αυτό βάση της έντασης και της κατεύθυνσής του (Σχήμα 1). Η μαγνητική γραμμή είναι συνεπώς μια νοητή γραμμή που απεικονίζει τη φορά (από το βόρειο πόλο στον νότιο) της έντασης του μαγνητικού πεδίου, ενώ η πυκνότητα των μαγνητικών γραμμών είναι ανάλογη της έντασης του πεδίου.



Σχήμα 1. Μαγνητικές γραμμές διανυσματικά στο χώρο

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι μαγνητών: οι μόνιμοι μαγνήτες και οι ηλεκτρομαγνήτες. Οι μόνιμοι μαγνήτες, όπως υποδηλώνει και το όνομά τους, διατηρούν τον μαγνητισμό τους ακόμη και ελλείψει εξωτερικού μαγνητικού πεδίου. Κατασκευάζονται από υλικά που είναι φυσικά μαγνητικά, όπως ο σίδηρος, ή από υλικά που μπορούν να μαγνητιστούν, όπως ορισμένα κράματα.

Οι ηλεκτρομαγνήτες, από την άλλη πλευρά, είναι προσωρινοί μαγνήτες που δημιουργούνται με τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ενός σύρματος. Όταν ένα ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει ένα σύρμα, δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο γύρω από το σύρμα. Εάν το σύρμα τυλίγεται σε βρόγχο, το μαγνητικό πεδίο μπορεί να συγκεντρωθεί μέσα στο πηνίο, δημιουργώντας ένα ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο. Τυλίγοντας το πηνίο γύρω από ένα μαγνητικό υλικό, όπως ο σίδηρος, το μαγνητικό πεδίο μπορεί να ενισχυθεί περαιτέρω. Να σημειωθεί ότι η φορά του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται σ' έναν ηλεκτρομαγνήτη ορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού (Σχήμα 2) [2].



Σχήμα 2. Κανόνας δεξιού χεριού και κάθετη τομή αγωγού και μαγνητικών γραμμών

Η σχέση μεταξύ ενός σταθερού ηλεκτρικού ρεύματος και του μαγνητικού πεδίου που παράγει περιγράφεται από τον νόμο του Biot-Savart και αποτελεί έναν θεμελιώδη νόμο του ηλεκτρομαγνητισμού. Να σημειωθεί, ότι ο νόμος πήρε το όνομά του από τους Γάλλους φυσικούς Jean-Baptiste Biot και Félix Savart, οι οποίοι τον διατύπωσαν για πρώτη φορά το 1820.

Ο νόμος Biot-Savart ορίζει ότι το μαγνητικό πεδίο B σε ένα σημείο του χώρου [3], που δημιουργείται από ένα σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα I που διαρρέει ένα σύρμα ή έναν αγωγό, είναι ανάλογο του ρεύματος και του μήκους του αγωγού και αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης r από το σημείο προς τον αγωγό. Ο τύπος για το μαγνητικό πεδίο B δίνεται από τη σχέση:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} (T)$$

όπου:

B : μαγνητικό πεδίο στο σημείο ενδιαφέροντος

μ_0 : μαγνητική διαπερατότητα του κενού (θεμελιώδης σταθερά της φύσης)

I : ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό

$d\vec{l}$: αγωγός απειροστού μήκους

\hat{r} : είναι το διάνυσμα μετατόπισης από το στοιχείο μήκους $d\vec{l}$ προς το σημείο ενδιαφέροντος

Το ολοκλήρωμα στον τύπο αντιπροσωπεύει το διανυσματικό άθροισμα των συνεισφορών όλων των στοιχείων μήκους $d\vec{l}$ του αγωγού στο μαγνητικό πεδίο στο σημείο ενδιαφέροντος. Η διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου B είναι κάθετη, τόσο στη διεύθυνση ροής του ρεύματος, όσο και στο διάνυσμα μετατόπισης r . Με απλούστερους όρους, ο νόμος Biot-Savart μας λέει ότι το μαγνητικό πεδίο γύρω από ένα ρευματοφόρο σύρμα ή αγωγό είναι ανάλογο της έντασης του ρεύματος και της απόστασης από το σύρμα.

Μια διάταξη από σπείρες καλωδίων σχηματίζει ένα πηνίο, το οποίο παράγει μαγνητικό πεδίο όταν διαρρέεται από ρεύμα. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από ένα μακρύ κυλινδρικό πηνίο εξαρτάται από τον αριθμό των σπειρών (N) και μπορεί να εκφραστεί με την ακόλουθη εξίσωση:

$$B_{\chi} = \frac{\mu_0 NI}{2a} \text{ (T)}$$

a : ακτίνα πηνίου (m)

N : αριθμός των περιελίξεων του πηνίου

Ένα σωληνοειδές αποτελείται από σύρμα που είναι τυλιγμένο γύρω από έναν κύλινδρο με ελικοειδή τρόπο. Το μαγνητικό πεδίο σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου είναι το αποτέλεσμα της πρόσθεσης των πεδίων που δημιουργούνται από κάθε μεμονωμένη σπείρα. Οι μισές από τις διανυσματικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου εξέρχονται από τα άκρα του σωληνοειδούς, ενώ οι άλλες μισές διαφεύγουν μέσω των σπειρών μεταξύ του μέσου και των άκρων του σωληνοειδούς. Στο εσωτερικό, οι γραμμές του μαγνητικού πεδίου είναι παράλληλες μεταξύ τους, προκαλώντας ένα ομοιογενές πεδίο στο κέντρο. Έξω από το σωληνοειδές, η πυκνότητα των γραμμών του μαγνητικού πεδίου είναι πιο αραιή και αντίστοιχα έχουμε ένα ασθενέστερο πεδίο.

Οι πυρήνες σιδήρου χρησιμοποιούνται μέσα στα πηνία για να ενισχύσουν το μαγνητικό πεδίο και να το περιορίσουν γεωμετρικά. Όταν το ρεύμα διαρρέει το πηνίο, επάγει τα μαγνητικά δίπολα του πυρήνα να ευθυγραμμιστούν με τρόπο που ενισχύει το μαγνητικό πεδίο προς την ίδια κατεύθυνση με εκείνη του πηνίου. Κατά συνέπεια, το υλικό μαγνητίζεται.

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από ένα πηνίο είναι ευθέως ανάλογη του αριθμού των στροφών του σύρματος (N) και του ρεύματος που το διαρρέει. Η ωμική αντίσταση του πηνίου αυξάνεται επίσης αναλογικά με τον αριθμό των στροφών, γεγονός που εμποδίζει τη ροή του ρεύματος και προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του πηνίου λόγω του φαινομένου Joule. Για να αποφευχθεί η υπερβολική θέρμανση του πηνίου, θα πρέπει να επιλέγεται η κατάλληλη διατομή του σύρματος με βάση το επιθυμητό μαγνητικό πεδίο. Με τη παρακάτω σχέση υπολογίζουμε την ωμική αντίσταση, γνωρίζοντας τις διαστάσεις του πηνίου και του σύρματος:

$$R = \frac{4DLl\omega}{d^3} \text{ (Ohm)}$$

όπου:

D : διάμετρος πηνίου

L: μήκος πηνίου

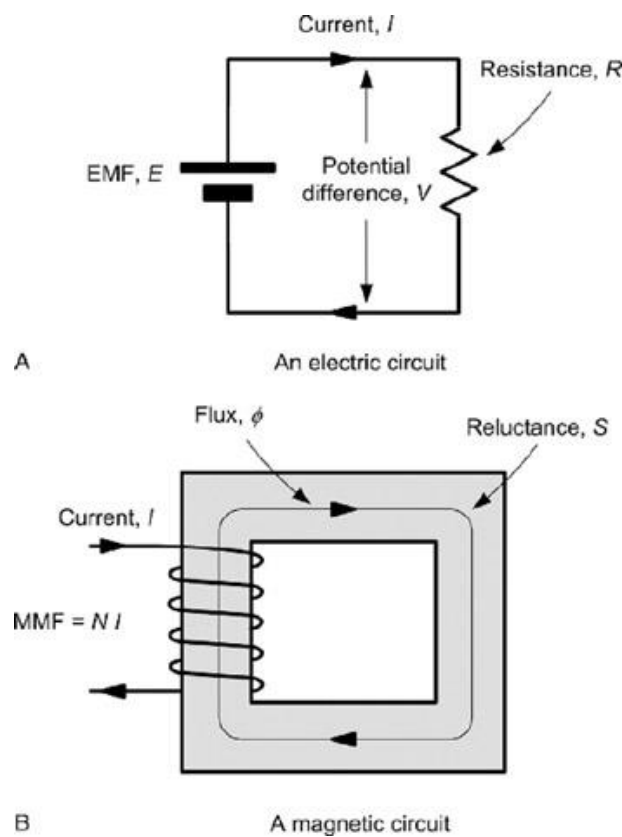
I: αριθμός σπειρών

ω : συχνότητα εναλλασσόμενου ρεύματος

d: διάμετρος σύρματος

2.1.2 Μαγνητικά κυκλώματα

Τα μαγνητικά κυκλώματα, όπως και τα ηλεκτρικά κυκλώματα, περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες διαδρομές κλειστού βρόγχου που μεταφέρουν μαγνητική ροή που παράγεται, είτε από μόνιμους μαγνήτες είτε, από ηλεκτρομαγνήτες. Το Σχήμα 3 και ο Πίνακας 1 αποδεικνύουν ότι τα μεγέθη των μαγνητικών κυκλωμάτων αντιστοιχούν πλήρως με εκείνα των ηλεκτρικών κυκλωμάτων [3].



Σχήμα 3. Μαγνητικό Κύκλωμα και παραλληλισμός με το αντίστοιχο ηλεκτρικό

Πίνακας 1: Μαγνητικές ποσότητες και αντιστοίχιση με ηλεκτρικές

| Μαγνητικά Μεγέθη | Σύμβολο | Μονάδες | Ηλεκτρικό Ανάλογο |
|--------------------------|------------|---------|--------------------------|
| Ροή | Φ | Wd | Ρεύμα |
| ΜΕΔ | $F_m = Ni$ | At | Τάση |
| Μαγνητική Αντίσταση | $F_m = Ni$ | At/Wd | Αντίσταση |
| Διαπερατότητα | μ | Wd/Atm | Συντελεστής Αγωγιμότητας |
| Μαγνητική Επαγωγή | B | T | Πυκνότητα Ρεύματος |
| Ένταση Μαγνητικού Πεδίου | H | At/m | Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου |

2.1.3 Βασικές έννοιες μαγνητικών κυκλωμάτων

2.1.3.1 Μαγνητικό πεδίο

Ένα μαγνητικό πεδίο είναι μια περιοχή στο χώρο όπου μπορεί να ασκηθεί μαγνητική δύναμη από έναν μαγνήτη, ένα μαγνητικό υλικό ή ένα φορτισμένο σωματίδιο που κινείται μέσα στο πεδίο. Παράγεται από την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων, όπως τις τροχιακές κινήσεις και τα spin των ηλεκτρονίων στα άτομα, ή από την κίνηση φορτισμένων σωματιδίων, όπως το ρεύμα σε ένα καλώδιο.

Τα μαγνητικά πεδία χαρακτηρίζονται από την ένταση και την κατεύθυνσή τους και εξαρτώνται από την πηγή του πεδίου. Η ένταση ενός μαγνητικού πεδίου μετριέται σε μονάδες tesla (T) ή gauss (G), και η κατεύθυνσή του ορίζεται από τον προσανατολισμό των γραμμών του μαγνητικού πεδίου, οι οποίες υποδεικνύουν την κατεύθυνση προς την οποία θα κινούνταν ένας μαγνητικός πόλος που αναζητά το βορρά, αν βρισκόταν μέσα στο πεδίο.

2.1.3.2 Μαγνητεγερτική Δύναμη

Η μαγνητική δύναμη ισούται με το γινόμενο της έντασης του ρεύματος (i) με τον αριθμό των σπειρών, εφόσον το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί τη μαγνητική ροή γύρω από έναν αγωγό.

Επίσης η ΜΕΔ είναι η αιτία για τη δημιουργία μαγνητικής ροής σε ένα πηνίο. Η μονάδα μέτρησης της ΜΕΔ είναι οι αμπεροστροφές At [3].

$$F_m = Ni$$

2.1.3.3 Ένταση μαγνητικού πεδίου

Η σχέση που καθορίζει την ένταση του μαγνητικού πεδίου σε ένα συγκεκριμένο σημείο βασίζεται στη μαγνητική δύναμη F_m που ασκείται ανά μονάδα μήκους της μαγνητικής γραμμής που διέρχεται από το σημείο αυτό και μπορεί να εκφραστεί από τον παρακάτω τύπο [3]:

$$H = \frac{F_m}{l} \text{ (At/m)}$$

l : μήκος μαγνητικής γραμμής

Η μονάδα μέτρησης της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι η αμπεροστροφή ανά μέτρο At/m

2.1.3.4 Μαγνητική διαπερατότητα

Η μαγνητική διαπερατότητα περιγράφει το βαθμό στον οποίο ένα υλικό μπορεί να μαγνητιστεί παρουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου. Υλικά με υψηλή μαγνητική διαπερατότητα μαγνητίζονται και απομαγνητίζονται εύκολα, ενώ υλικά με χαμηλή μαγνητική διαπερατότητα μαγνητίζονται και απομαγνητίζονται δύσκολα. Για το κενό είναι σταθερά, συμβολίζεται ως μ_0 και ισούται με $4\pi \cdot 10^{-7} \text{Wb/Atm}$ [3].

2.1.3.5 Μαγνητική αντίσταση και Μαγνητική αγωγιμότητα

Η μαγνητική αντίσταση είναι μια ιδιότητα ενός υλικού που αντιστέκεται στη δημιουργία μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του. Προσδιορίζεται από το μήκος των μαγνητικών γραμμών, τη μαγνητική διαπερατότητα και την επιφάνεια διατομής του υλικού. Η σχέση μεταξύ αυτών των παραγόντων μπορεί να εκφραστεί με έναν τύπο.

$$R_m = \frac{l}{\mu \cdot S} \text{ (At/Wd)}$$

Όπου

l : μήκος μαγνητικής γραμμής

μ : μαγνητική διαπερατότητα

S : εμβαδόν διατομής υλικού

Το αντίστροφο της μαγνητικής αντίστασης ονομάζεται μαγνητική αγωγιμότητα με τύπο :

$$P_m = \frac{1}{R_m} (Wd/At)$$

2.1.3.6 Μαγνητική ροή

Ο τύπος της μαγνητικής ροής είναι ο εξής:

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m} (Wd)$$

Είναι συνεπώς ανάλογη της μαγνητεγερτικής δύναμης και αντιστρόφως ανάλογη της αντίστασης ενώ η μονάδα μέτρησης της είναι Wd

2.1.4 Μαγνητισμός

Ο μαγνητισμός στα υλικά αποδίδεται στην παρουσία ηλεκτρονίων στα άτομά τους. Τα ηλεκτρόνια είναι ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια και δημιουργούν μαγνητικό πεδίο γύρω τους. Η μαγνητική ροπή κάθε ηλεκτρονίου αντιπροσωπεύει την ένταση και την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου που προκύπτει από την κίνηση του ηλεκτρονίου. Τα ηλεκτρόνια περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα του ατόμου και περιστρέφονται γύρω από τον άξονά τους. Η μη αντισταθμισμένη τροχιακή κίνηση ή περιστροφή των ηλεκτρονίων μέσα στα άτομα είναι η αιτία για τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου. Έτσι, η πηγή του μαγνητικού πεδίου αποδίδεται στην μη αντισταθμισμένη κίνηση ή περιστροφή των ηλεκτρονίων μέσα στα άτομα [4].

Μαγνητική επαγωγή ονομάζεται η απόκριση στο μαγνητικό πεδίο H . Τα δύο αυτά μεγέθη συνδέονται από τον τύπο:

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \text{ (T)}$$

M : μαγνήτιση του μέσου

Ως μαγνήτιση ορίζεται το πεδίο ενός υλικού παρουσία εξωτερικού πεδίου και ισούται με :

$$\vec{M} = \frac{\vec{m}}{V} \text{ (A/m)}$$

2.2 Εισαγωγή στα ρομποτικά αυτοκίνητα

Τα ρομποτικά αυτοκίνητα, γνωστά και ως αυτόνομα οχήματα ή αυτοοδηγούμενα αυτοκίνητα, είναι οχήματα που μπορούν να πλοηγούνται και να λειτουργούν χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Ενσωματώνουν διάφορους αισθητήρες, αλγόριθμους και υπολογιστικά συστήματα για να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους, να λαμβάνουν αποφάσεις και να ελέγχουν τις κινήσεις τους. Η σημασία των αυτόνομων αυτοκινήτων εκτείνεται σε πολλούς τομείς.

Συγκεκριμένα στον τομέα των μεταφορών η σημασία των αυτόνομων μεταφορών έγκειται στο δυναμικό τους να βελτιώσουν την οδική ασφάλεια καθώς να βελτιώσουν την προσβασιμότητα ατόμων με κινητικά προβλήματα. Μειώνοντας τα ανθρώπινα λάθη, τα αυτόνομα οχήματα στοχεύουν να βελτιώσουν σημαντικά την οδική ασφάλεια [5]. Με προηγμένους αισθητήρες και αλγόριθμους, τα οχήματα αυτά μπορούν να ανιχνεύουν και να ανταποκρίνονται σε πιθανούς κινδύνους ταχύτερα από τους ανθρώπους, μειώνοντας έτσι τα ατυχήματα και σώζοντας ζωές.

Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα, οι αυτόνομες μεταφορές μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη ροή της κυκλοφορίας και να ελαχιστοποιήσουν τη συμφόρηση. Μέσω της επεξεργασίας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και της μεταξύ τους επικοινωνίας, τα αυτοκινούμενα οχήματα μπορούν να συντονιστούν, μειώνοντας με αυτό το τρόπο τις καθυστερήσεις και τους χρόνους ταξιδιού και βελτιώνοντας τη συνολική μεταφορική ικανότητα. Μια άλλη βασική πτυχή είναι η προσβασιμότητα. Οι αυτόνομες μεταφορές μπορούν να προσφέρουν λύσεις κινητικότητας για άτομα που δεν μπορούν να οδηγήσουν λόγω ηλικίας ή αναπηρίας [6].

Εκτός από τη συνεισφορά των ρομποτικών αυτοκινήτων στον τομέα των μεταφορών, διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο και στον τομέα της βιομηχανίας. Αυτό το επιτυγχάνουν προσφέροντας σημαντικά οφέλη στις λειτουργίες logistics και αποθήκευσης. Τα οχήματα αυτά είναι ικανά να εκτελούν εργασίες όπως η αυτόνομη παράδοση αγαθών και η βελτιστοποίηση των λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας, οδηγώντας σε βελτιωμένη αποδοτικότητα, ακρίβεια και παραγωγικότητα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις [7].

Με τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών ανίχνευσης και ακριβών συστημάτων ελέγχου, τα ρομποτικά αυτοκίνητα μπορούν να περιηγηθούν σε πολύπλοκα περιβάλλοντα αποθηκών,

μεταφέροντας αυτόνομα αγαθά από τη μία τοποθεσία στην άλλη. Αυτή η αυτοματοποίηση μειώνει την ανάγκη για χειρωνακτική εργασία, ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο σφαλμάτων ή ατυχημάτων και ενισχύει τη συνολική επιχειρησιακή αποδοτικότητα. Επιπλέον, τα ρομποτικά αυτοκίνητα μπορούν να ενσωματωθούν σε υπάρχοντα συστήματα διαχείρισης αποθηκών, επιτρέποντας τον απρόσκοπτο συντονισμό και τη βελτιστοποίηση της κίνησης και της αποθήκευσης αποθεμάτων.

Η εφαρμογή των ρομποτικών αυτοκινήτων στον βιομηχανικό αυτοματισμό επιφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως ταχύτερη και πιο αξιόπιστη διακίνηση υλικών, μειωμένο λειτουργικό κόστος, βελτιστοποιημένη αξιοποίηση του χώρου και αυξημένη απόδοση. Τα οφέλη αυτά συμβάλλουν στην ενίσχυση της παραγωγικότητας και της ανταγωνιστικότητας των επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται σε τομείς, όπως το ηλεκτρονικό εμπόριο, η μεταποίηση και η εφοδιαστική [8].

Τέλος, αξίζει να αναφερθούμε στο γεγονός ότι τα ρομποτικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούνται εκτενώς στην έρευνα και την ανάπτυξη για την προώθηση διαφόρων τομέων μελέτης. Χρησιμοποιούν, ως πλατφόρμες για τη δοκιμή και την αξιολόγηση νέων αλγορίθμων, τεχνολογιών αισθητήρων και συστημάτων ελέγχου. Οι ερευνητές χρησιμοποιούν ρομποτικά αυτοκίνητα για να μελετήσουν τις αλληλεπιδράσεις ανθρώπου-οχήματος, να αναπτύξουν νέες τεχνικές πλοήγησης και να διερευνήσουν νέες εφαρμογές για αυτόνομα οχήματα.

2.3 Αισθητήρες

Οι αισθητήρες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αυτόνομη πλοήγηση αυτοκινήτων, επιτρέποντας στα οχήματα να αντιλαμβάνονται και να κατανοούν το περιβάλλον τους. Οι τεχνολογίες αυτές παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες ώστε το όχημα να λαμβάνει τεκμηριωμένες αποφάσεις και να κινείται με ασφάλεια. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα διερευνήσουμε τη σημασία των αισθητήρων στη ρομποτική πλοήγηση αυτοκινήτων και θα συζητήσουμε για διάφορους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται συνήθως.

2.3.1 Η σημασία των αισθητήρων στα αυτόνομα αυτοκίνητα

Οι τεχνολογίες αντίχενυσης είναι ζωτικής σημασίας για τα ρομποτικά αυτοκίνητα, καθώς λειτουργούν ως "μάτια" και "αυτιά" του οχήματος, επιτρέποντάς του να συλλέγει δεδομένα για το περιβάλλον του σε πραγματικό χρόνο. Με την ακριβή αντίληψη του περιβάλλοντος, τα αυτόνομα αυτοκίνητα μπορούν να εντοπίζουν εμπόδια, να ερμηνεύουν τα σήματα

κυκλοφορίας, να αναγνωρίζουν τις οδικές σημάσεις και να κατανοούν τη συμπεριφορά άλλων οχημάτων, πεζών και ποδηλατών. Αυτές οι πληροφορίες είναι ζωτικής σημασίας για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων πλοήγησης, εξασφαλίζοντας ασφαλή και αποτελεσματική αυτόνομη λειτουργία. Οι πιο συνηθισμένες τεχνολογίες αισθητήρων που χρησιμοποιούνται από τα αυτόνομα αυτοκίνητα είναι οι παρακάτω.

Αρχικά, ο πιο διαδεδομένος τρόπος χάραξης πορείας πραγματοποιείται με τη χρήση καμερών. Οι κάμερες χρησιμοποιούνται ευρέως στα ρομποτικά αυτοκίνητα αντικατοπτρίζοντας την οπτική αντίληψη. Καταγράφουν εικόνες και βίντεο από το περιβάλλον, επιτρέποντας στο όχημα να αναγνωρίζει και να αναλύει αντικείμενα, οδικές πινακίδες και φωτεινούς σηματοδότες [9]. Οι αλγόριθμοι υπολογιστικής όρασης επεξεργάζονται τα δεδομένα της κάμερας για να εξάγουν σχετικές πληροφορίες για την πλοήγηση.

Στη συνέχεια έρχεται το LiDAR (Light Detection and Ranging). Οι αισθητήρες LiDAR χρησιμοποιούν ακτίνες λέιζερ για τη μέτρηση αποστάσεων και τη δημιουργία λεπτομερών τρισδιάστατων χαρτών του περιβάλλοντος [10]. Παρέχουν ακριβή αντίληψη του βάθους, επιτρέποντας στα ρομποτικά αυτοκίνητα να ανιχνεύουν αντικείμενα, να προσδιορίζουν την ακριβή τους θέση και να δημιουργούν μια αναπαράσταση του περιβάλλοντος χώρου υψηλής ανάλυσης. Το LiDAR είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού.

Αξίζει να γίνει αναφορά και στους αισθητήρες υπερήχων. Οι αισθητήρες αυτοί εκπέμπουν ηχητικά κύματα υψηλής συχνότητας και μετρούν τον χρόνο που χρειάζονται τα ηχητικά κύματα για να αναπηδήσουν μετά την πρόσκρουση σε ένα αντικείμενο. Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση εγγύτητας, επιτρέποντας στα ρομποτικά αυτοκίνητα να ανιχνεύουν κοντινά εμπόδια και να αποφεύγουν συγκρούσεις [11]. Οι αισθητήρες υπερήχων χρησιμοποιούνται συχνά σε συστήματα υποβοήθησης στάθμευσης και σενάρια πλοήγησης χαμηλής ταχύτητας.

Τέλος παρόμοια αυτοκινούμενα αυτοκίνητα με το πείραμα μας για χρήση σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις καθώς επίσης και σε γραμμές παραγωγής χρησιμοποιούν αισθητήρες IR. Ο αισθητήρας IR είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που εκπέμπει φως για να ανιχνεύσει κάποιο αντικείμενο του περιβάλλοντος. Ένας αισθητήρας IR μπορεί να μετρήσει τη θερμότητα ενός αντικειμένου καθώς και να ανιχνεύσει την κίνηση. Συνήθως, στο υπέρυθρο φάσμα, όλα τα αντικείμενα εκπέμπουν κάποια μορφή θερμικής ακτινοβολίας. Αυτοί οι τύποι ακτινοβολίας είναι αόρατοι στα μάτια μας, αλλά ο αισθητήρας υπέρυθρων μπορεί να ανιχνεύσει αυτές τις

ακτινοβολίες. Ο πομπός είναι απλά ένα IR LED (δίοδος εκπομπής φωτός) και ο ανιχνευτής είναι απλά μια φωτοδίοδος IR. Η φωτοδίοδος είναι ευαίσθητη στο φως IR του ίδιου μήκους κύματος που εκπέμπεται από το IR LED. Όταν το φως IR πέφτει στη φωτοδίοδο, οι αντιστάσεις και οι τάσεις εξόδου θα μεταβληθούν ανάλογα με το μέγεθος του φωτός IR που λαμβάνεται.

Υπάρχουν πέντε βασικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε ένα τυπικό σύστημα ανίχνευσης υπέρυθρων: πηγή υπέρυθρων, μέσο μετάδοσης, οπτικό στοιχείο, ανιχνευτές ή δέκτες υπέρυθρων και επεξεργασία σήματος. Ως υπέρυθρες πηγές χρησιμοποιούνται υπέρυθρα λέιζερ και υπέρυθρες λυχνίες LED συγκεκριμένου μήκους κύματος.

Οι τρεις κύριοι τύποι μέσων που χρησιμοποιούνται για την υπέρυθη μετάδοση είναι το κενό, η ατμόσφαιρα και οι οπτικές ίνες. Τα οπτικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για την εστίαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας ή για τον περιορισμό της φασματικής απόκρισης.

- Πομπός IR ή LED IR

Ο πομπός υπέρυθρων είναι μια δίοδος εκπομπής φωτός (LED) η οποία εκπέμπει υπέρυθρες ακτινοβολίες που ονομάζονται IR LED. Παρόλο που μια λυχνία LED IR μοιάζει με μια κανονική λυχνία LED, η ακτινοβολία που εκπέμπει είναι αόρατη στο ανθρώπινο μάτι (εικόνα 1).

- Δέκτης IR ή φωτοδίοδος

Οι δέκτες υπέρυθρων ή οι αισθητήρες υπέρυθρων ανιχνεύουν την ακτινοβολία από έναν πομπό υπέρυθρων. Οι δέκτες υπέρυθρης ακτινοβολίας έχουν τη μορφή φωτοδίοδων και φωτοτρανζίστορ. Οι υπέρυθρες φωτοδίοδοι διαφέρουν από τις κανονικές φωτοδίοδους, καθώς ανιχνεύουν μόνο υπέρυθη ακτινοβολία. Η παρακάτω εικόνα δείχνει την εικόνα ενός δέκτη IR ή μιας φωτοδίοδου (εικόνα 2).



Εικόνα 1. Πομπός IR ή LED IR



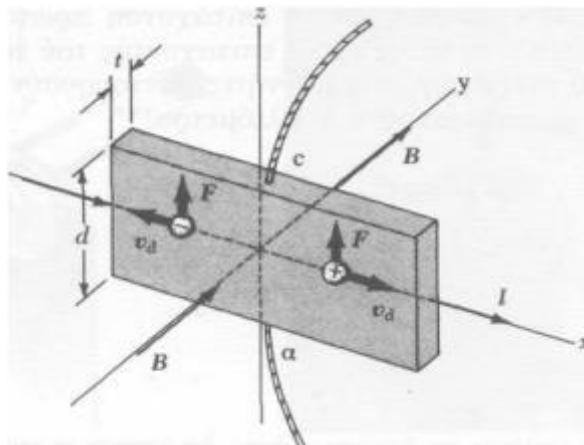
Εικόνα 2. Δέκτης IR ή φωτοδίοδος

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι δεκτών IR με βάση το μήκος κύματος, την τάση, τη συσκευασία κ.λπ. Όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό πομπού - δέκτη υπερύθρων, το μήκος κύματος του δέκτη πρέπει να ταιριάζει με αυτό του πομπού. Ο πομπός είναι μια λυχνία LED IR και ο ανιχνευτής είναι μια φωτοδιόδος IR. Η φωτοδιόδος IR είναι ευαίσθητη στο φως IR που εκπέμπεται από μια λυχνία LED IR. Η αντίσταση και η τάση εξόδου της φωτοδιόδου μεταβάλλονται ανάλογα με το λαμβανόμενο φως IR. Αυτή είναι η βασική αρχή λειτουργίας του αισθητήρα IR.

2.3.2 Φαινόμενο Hall

Το φαινόμενο Hall είναι γνωστό εδώ και περισσότερο από έναν αιώνα και αποτελεί τη βάση των αισθητήρων Hall. Ωστόσο, μόλις τα τελευταία 40 χρόνια η χρήση του φαινομένου Hall έχει γίνει ευρέως διαδεδομένη. Η πρώτη εφαρμογή του φαινομένου Hall εκτός εργαστηρίου έγινε το 1950 ως αισθητήρας ισχύος σε φούρνους μικροκυμάτων, ενώ ακολούθησε η πρώτη εφαρμογή αισθητήρων σε ηλεκτρολογία το 1968. Σήμερα, το φαινόμενο Hall χρησιμοποιείται σε διάφορες συσκευές, όπως υπολογιστές, ραπτομηχανές, αυτοκίνητα, αεροσκάφη και ιατρικές συσκευές [12]

Το 1879, ο δρ Edwin Hall έκανε μια ανακάλυψη προσπαθώντας να επικυρώσει τη θεωρία του Kelvin για τη ροή ηλεκτρονίων, η οποία είχε προταθεί τριάντα χρόνια νωρίτερα. Παρατήρησε ότι όταν μια αγώγιμη πλάκα τοποθετείται σε μαγνητικό πεδίο B , αναπτύσσεται στα άκρα της πλάκας μια διαφορά δυναμικού (τάση Hall V_H) με κατεύθυνση κάθετη στο ρεύμα I και στο μαγνητικό πεδίο (όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4). Το φαινόμενο αυτό είναι αποτέλεσμα του ότι οι φορείς ρεύματος υφίστανται μονομερή απόκλιση λόγω της δύναμης που ασκεί το μαγνητικό πεδίο. Η σωστή ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων που λαμβάνονται από μια αγώγιμη πλάκα παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πρόσημο και την πυκνότητα των φορέων ηλεκτρικού ρεύματος.



Σχήμα 4. Διάταξη φαινομένου Hall

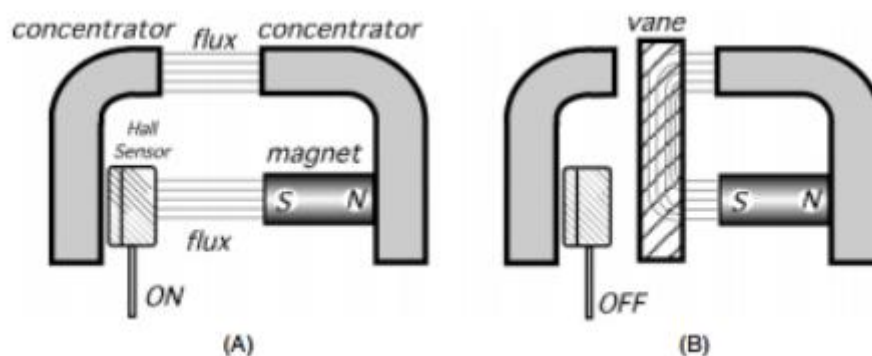
2.3.3 Αισθητήρας μαγνητικού πεδίου Hall

Ο αισθητήρας Hall μπορεί και μετράει τη μαγνητική ένταση \vec{H} η οποία ορίζεται από τον τύπο:

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \text{ (T)}$$

Ένας αισθητήρας Hall αποτελείται από τρία καλώδια ή ακροδέκτες με βάση την αρχή λειτουργίας του φαινομένου Hall: ένα για τη γείωση, ένα για την τάση της μπαταρίας ή την τάση αναφοράς και ένα για το σήμα εξόδου. Για τη δημιουργία σήματος εξόδου, ο αισθητήρας απαιτεί μια τάση αναφοράς που παρέχεται από τον υπολογιστή του οχήματος (η οποία μπορεί να είναι 5 έως 12 V ανάλογα με την εφαρμογή). Η τάση τροφοδοσίας είναι αναγκαία για την πρόκληση του φαινομένου στο εσωτερικό του αισθητήρα [13].

Όταν ο μαγνήτης και ο αισθητήρας Hall είναι ανεμπόδιστοι και δεν υπάρχει κανένα έλασμα ανάμεσά τους, ο διακόπτης Hall βρίσκεται σε κατάσταση "on" (Σχήμα 5 (A)), με αποτέλεσμα μια σταθερή τάση εξόδου. Ωστόσο, όταν ένα μεταλλικό έλασμα (σιδηρομαγνητικό έλασμα) τοποθετείται στο μαγνητικό παράθυρο και εμποδίζει το μαγνητικό πεδίο, η τάση εξόδου μειώνεται και πλησιάζει το μηδέν (Σχήμα 5 (B)). Στην περίπτωση αυτή, ο αισθητήρας θεωρείται ότι είναι "OFF". Λόγω της διακοπτικής του λειτουργίας, ο αισθητήρας Hall χρησιμοποιείται ευρέως για την ανίχνευση μαγνητικών πεδίων και τον προσδιορισμό της θέσης ενός αντικειμένου.



Σχήμα 5. Αισθητήρας φαινομένου Hall σε λειτουργία διακόπτη μεταγωγής. A) η μαγνητική ροή ενεργοποιεί τον αισθητήρα (ON), B) η μαγνητική ροή εμποδίζεται από τη μεταλλική πλάκα (OFF)

2.3.4 Είδη αισθητήρων Hall

Οι διακόπτες και οι μανδαλωτές φαινομένου Hall μπορούν να συγκρίνουν το μαγνητικό πεδίο. Συγκρίνουν την πυκνότητα της μαγνητικής ροής, που μερικές φορές αναφέρεται ως πεδίο B,

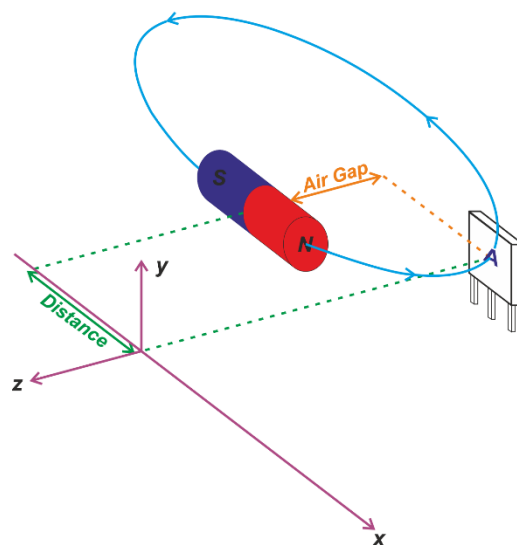
με κάποια προκαθορισμένα κατώφλια και εξάγουν το αποτέλεσμα της σύγκρισης ως ψηφιακή τιμή 1 bit. Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες ψηφιακών (on/off) αισθητήρων Hall: μονοπολικό διακόπτες, διπολικό διακόπτες, παντοπολικό διακόπτες και μανδαλωτές [13].

Μια συσκευή φαινομένου Hall είναι προσανατολισμένη δηλαδή, να ανιχνεύει μόνο τη συνιστώσα της πυκνότητας της μαγνητικής ροής που βρίσκεται κατά μήκος του άξονα ευαισθησίας της. Το σχήμα 1 δείχνει τον άξονα ευαισθησίας δύο κοινών συσκευασιών συσκευών Hall.

2.3.4.1 Πολικότητα πεδίου B

Αξίζει να σημειωθεί, ότι ένας αισθητήρας Hall είναι προσανατολισμένος. Ανιχνεύει μόνο τη συνιστώσα της πυκνότητας της μαγνητικής ροής που βρίσκεται κατά μήκος του άξονα ευαισθησίας της. Το σχήμα 6, δείχνει τον άξονα ευαισθησίας δύο κοινών συσκευασιών συσκευών Hall.

Υποθέτοντας ότι ο άξονας ευαισθησίας είναι η κατεύθυνση αναφοράς, τότε παράγεται μια θετική συνιστώσα μαγνητικού πεδίου όταν το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο ευθυγραμμίζεται με αυτήν, ενώ μια αρνητική συνιστώσα, παράγεται όταν το μαγνητικό πεδίο αντιτίθεται σε αυτήν. Η πολικότητα της πυκνότητας μαγνητικής ροής στη θέση του αισθητήρα (A) στο σχήμα 6, είναι αρνητική.



Σχήμα 6. Παράδειγμα επίδρασης μαγνητικού πεδίου με αισθητήρα Hall.

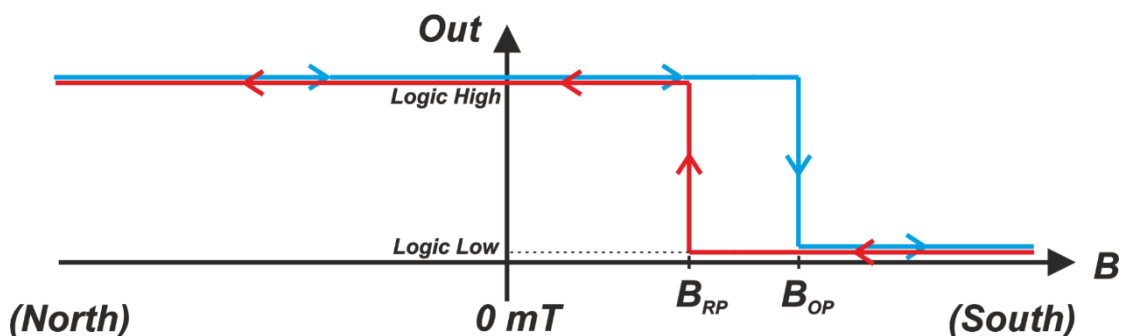
Με βάση το συγκεκριμένο σενάριο όπου ο άξονας ευαισθησίας της διάταξης είναι ευθυγραμμισμένος με τον άξονα z, τότε η κατεύθυνση της πυκνότητας της μαγνητικής ροής είναι αντίθετη προς τη θετική κατεύθυνση του άξονα z. Αυτό σημαίνει, ότι το πεδίο B που ανιχνεύεται από τη συσκευή είναι αρνητικό, δεδομένου ότι οι γραμμές μαγνητικού πεδίου ενός μαγνήτη, πηγαινούν από το βόρειο πόλο στο νότιο πόλο και η κατεύθυνση του πεδίου στη θέση του αισθητήρα (A), είναι αντίθετη προς τη θετική κατεύθυνση του άξονα z.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι πολλές συσκευές Hall είναι μονοδιάστατες και ανιχνεύουν το πεδίο B κατά μήκος ενός μόνο άξονα. Ωστόσο, υπάρχουν πιο εξελιγμένα ολοκληρωμένα κυκλώματα αισθητήρων, που χρησιμοποιούν περισσότερα από ένα στοιχεία Hall για την υποστήριξη τριών αξόνων ευαισθησίας (ένας τρισδιάστατος αισθητήρας).

2.3.4.2 Μονοπολικό αισθητήρες

Οι μονοπολικό αισθητήρες, ονομάζονται κατά αυτό τον τρόπο, επειδή τα κατώφλια μεταγωγής (B_{RP} και B_{OP}) βρίσκονται στη θετική περιοχή του άξονα του πεδίου B. Η κατάσταση εξόδου μπορεί να αλλάξει, μόνο ως απόκριση σε ένα πεδίο νότιας πολικότητας. Ένα πεδίο βόρειας πολικότητας, ή αρνητικό, δεν έχει καμία επίδραση στον αισθητήρα- έτσι εξηγείται η ονομασία "μονοπολικός διακόπτης".

Στο σχήμα 7, φαίνεται η λειτουργία του αισθητήρα στις μεταβολές του μαγνητικού πεδίου. Εκθέτοντας έναν μονοπολικό αισθητήρα σε μαγνητικό πεδίο με βόρεια πολικότητα ισχύει ότι, όσο $B < B_{OP}$ ο διακόπτης παραμένει ανενεργός και δίνει ως έξοδο λογικό υψηλό (logic high). Καθώς το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο ξεπερνάει τη τιμή κατωφλίου B_{OP} τότε ο αισθητήρας ενεργοποιείται και η έξοδος που λαμβάνουμε μεταβαίνει στην αντίθετη

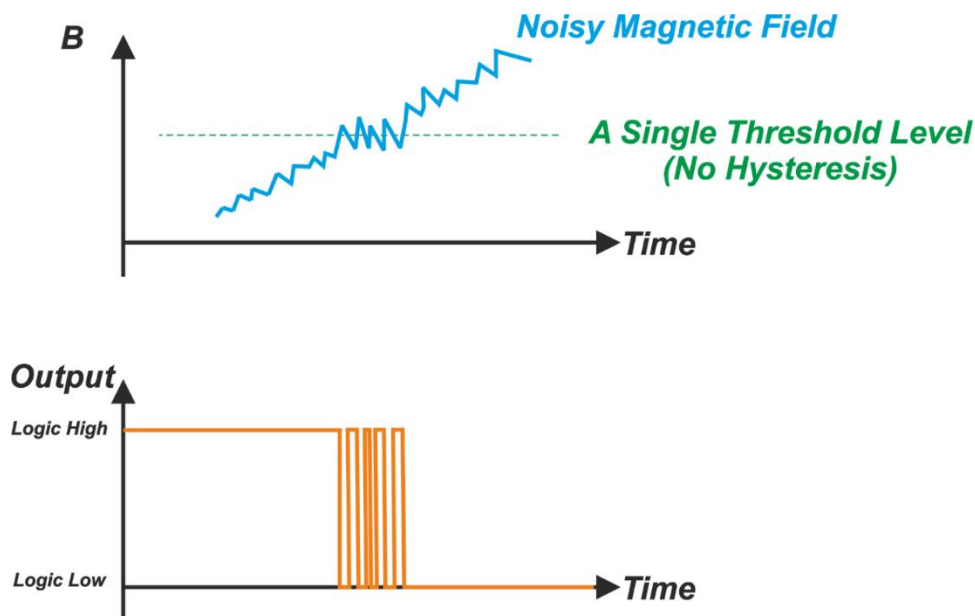


Σχήμα 7. Συνάρτηση μεταφοράς μονοπολικού αισθητήρα

κατάσταση και γίνεται λογικό χαμηλό (logic low). Στο σχήμα 7, απεικονίζεται η συνάρτηση μεταφοράς για ένα αυξανόμενο πεδίο B ως μπλε καμπύλη.

Όταν το μαγνητικό πεδίο μειώνεται, ο μονοπολικός αισθητήρας παραμένει ενεργοποιημένος, δίνοντας λογικό χαμηλό ως έξοδο, έως ότου το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο γίνει μικρότερο από το B_{RP} , όπως απεικονίζεται από την κόκκινη καμπύλη στο προαναφερθέν σχήμα. Εάν το B είναι μικρότερο από το B_{RP} , ο διακόπτης απενεργοποιείται και η έξοδος επιστρέφει σε λογική υψηλή στάθμη.

Ως εκ τούτου, το κατώφλι μεταγωγής για ένα αυξανόμενο μαγνητικό πεδίο, είναι διαφορετικό από το κατώφλι μεταγωγής για ένα πεδίο που μειώνεται. Αυτή η διαφορά είναι σκόπιμη, προκειμένου να είναι ευδιάκριτη η αλλαγή στην έξοδο. Τόσο οι μηχανικές δονήσεις σε ένα σύστημα ανίχνευσης φαινομένου Hall, όσο και ο ηλεκτρικός και ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος, μπορούν να εισάγουν θόρυβο στο ανιχνευόμενο μαγνητικό πεδίο. Ο θόρυβος του πεδίου B γύρω από τα επίπεδα κατωφλίου, μπορεί να οδηγήσει σε απροσδιόριστες, ταχέως μεταβαλλόμενες διακυμάνσεις στην έξοδο του αισθητήρα Hall (Σχήμα 8). Αυτές οι ανεπιθύμητες διακυμάνσεις απομακρύνονται, κάνοντας τα κατώτατα όρια του αυξανόμενου και του μειούμενου πεδίου ελαφρώς διαφορετικά [13].



Σχήμα 8. Χωρίς υστέρηση, η έξοδος μπορεί να είναι απροσδιόριστη γύρω από το κατώφλι.

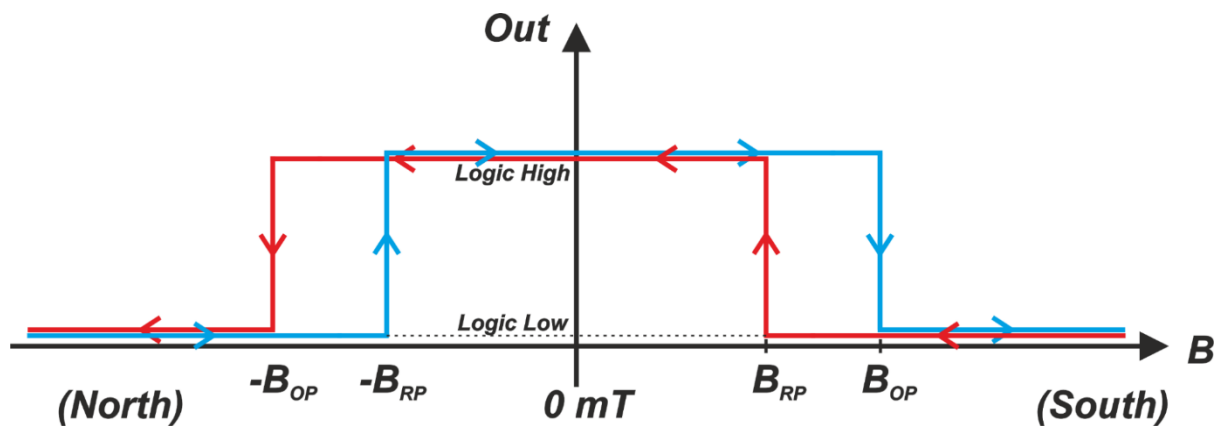
Όπως αναφέραμε και παραπάνω, ο μονοπολικός αισθητήρας Hall περιγράφεται με δύο διαφορετικές παραμέτρους B_{RP} και B_{OP} . Η παράμετρος B_{OP} , προκύπτει από το “Operation Point”, δηλαδή μαγνητικό σημείο λειτουργίας, υποδεικνύοντας όπως προδίδει και το όνομα του, το σημείο λειτουργίας - ενεργοποίησης του αισθητήρα. Το B_{RP} , προέρχεται από το

“Release Point”, δηλαδή σημείο απελευθέρωσης και υποδεικνύει το επίπεδο κατωφλίου για ένα φθίνον μαγνητικό πεδίο. Προφανώς, για $B < B_{RP}$, η συσκευή είναι απενεργοποιημένη. Η υστέρηση αντιπροσωπεύεται από το B_{HYS} , που δίνεται από τη σχέση:

$$B_{HYS} = B_{OP} - B_{RP}$$

2.3.4.3 Ομοιοπολικοί αισθητήρες

Η συνάρτηση μεταφοράς ενός ομοιοπολικού αισθητήρα, παρουσιάζεται στο σχήμα 9.



Σχήμα 9. Συνάρτηση μεταφοράς ενός ομοιοπολικού αισθητήρα Hall.

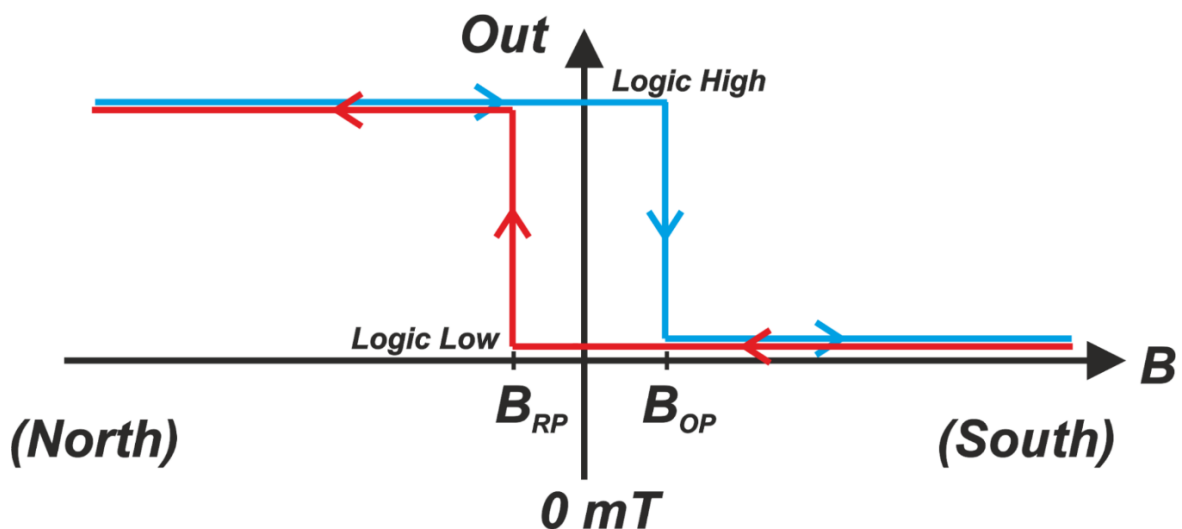
Ένας ομοιοπολικός αισθητήρας, ενεργοποιείται είτε με ισχυρό θετικό πεδίο, είτε με ισχυρό αρνητικό πεδίο. Όπως φαίνεται στο σχήμα, όταν το μέγεθος του μαγνητικού πεδίου γίνει μεγαλύτερο από το B_{OP} ($|B| > B_{OP}$), η διάταξη ενεργοποιείται και η έξοδος γίνεται λογικά χαμηλή. Όταν το μέγεθος του πεδίου B γίνεται μικρότερο από το B_{RP} ($|B| < B_{RP}$), ο αισθητήρας απενεργοποιείται και η έξοδος πηγαίνει σε λογικό υψηλό. Η μπλε καμπύλη, δείχνει την έξοδο του αισθητήρα, όταν το πεδίο B αλλάζει από μεγάλη αρνητική τιμή σε μεγάλη θετική τιμή. Η κόκκινη καμπύλη, δείχνει την έξοδο για μειούμενο πεδίο B . Με έναν ομοιοπολικό αισθητήρα, το μέγεθος του σημείου λειτουργίας είναι το ίδιο, τόσο για τα θετικά, όσο και για τα αρνητικά πεδία B . Ομοίως, το μέγεθος του σημείου απελευθέρωσης, είναι το ίδιο και για τα δύο πεδία νότιας και βόρειας πολικότητας [13].

2.3.4.4 Αισθητήρες μανδαλωσής

Μια διάταξη μανδαλωτή, έχει θετικό B_{OP} και αρνητικό B_{RP} . Ενεργοποιείται με ένα αρκετά μεγάλο θετικό μαγνητικό πεδίο ($B > B_{OP}$) και απενεργοποιείται με την παρουσία ενός αρκετά ισχυρού πεδίου βόρειας πολικότητας ($B < B_{RP}$), όπως φαίνεται και στο σχήμα 10. Η υστέρηση

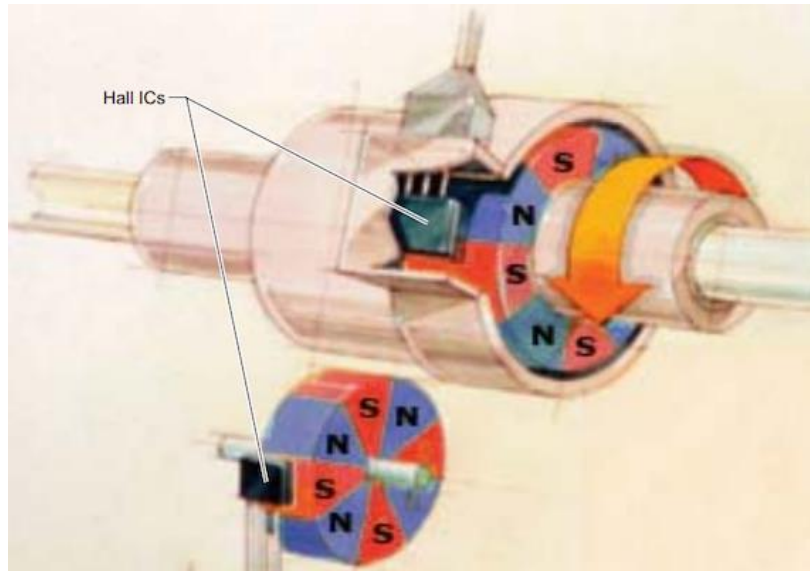
της διάταξης περιλαμβάνει την περιοχή γύρω από το $B = 0$ και κυμαίνεται από το B_{RP} έως το B_{OP} . Γνωρίζουμε ότι η διάταξη δεν αλλάζει κατάσταση στην περιοχή υστέρησης [14]. Ας υποθέσουμε ότι εφαρμόζουμε ένα αρκετά ισχυρό θετικό πεδίο για να ενεργοποιήσουμε τον αισθητήρα. Εάν αφαιρέσουμε αυτό το πεδίο, η συσκευή θα ανιχνεύσει ένα μαγνητικό πεδίο $B=0$. Παρόλο που δεν εφαρμόζεται πεδίο στον αισθητήρα, αυτός θα διατηρήσει την προηγούμενη κατάσταση του και θα παραμείνει ενεργοποιημένος. Θα αλλάξει κατάσταση μόνο αν εφαρμόσουμε ένα ισχυρό πεδίο με αντίθετη πολικότητα. Όταν ένα ασθενές μαγνητικό πεδίο, εφαρμόζεται στον αισθητήρα ($B_{RP} < B < B_{OP}$), ο αισθητήρας διατηρεί την προηγούμενη παραγόμενη έξοδό του. Αυτό εξηγεί γιατί αυτή η διάταξη Hall ονομάζεται μανδαλωτής.

Ενώ ένας μονοπολικός ή πανπολικός διακόπτης μπορεί να αλλάξει κατάσταση καθώς αλλάζει το πλάτος του εφαρμοζόμενου πεδίου, ένας μανδαλωτής μπορεί να αντιληφθεί την πολικότητα του πεδίου B (εφόσον το εφαρμοζόμενο πεδίο έχει επαρκή ισχύ). Οι μανδαλωτές χρησιμοποιούνται συνήθως με δακτυλιοφόρους μαγνήτες σε περιστροφικές εφαρμογές, για παράδειγμα, για την ανίχνευση της θέσης ενός περιστρεφόμενου άξονα. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 10. Συγκεκριμένα η εικόνα 3, μας δείχνει δύο εφαρμογές συσκευών με μανδάλωση, που χρησιμοποιούν μαγνήτες δακτυλίου. Οι μαγνήτες δακτυλίου, έχουν εναλλασσόμενες ζώνες πολικότητας N (βόρεια) και S (νότια), οι οποίες περιστρέφονται δίπλα από τις συσκευές Hall, προκαλώντας την ενεργοποίηση και απενεργοποίησή τους.



Σχήμα 10. Συνάρτηση μεταφοράς ενός μανδαλωτή φαινομένου Hall.

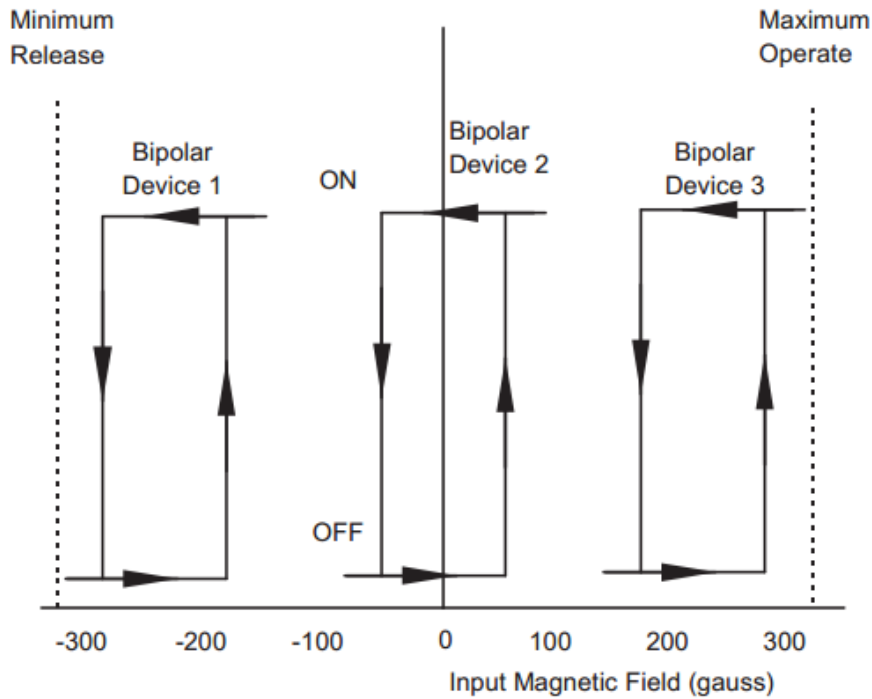
Καθώς ο άξονας περιστρέφεται, η πολικότητα του ανιχνευόμενου μαγνητικού πεδίου αλλάζει και ο αισθητήρας ενεργοποιείται/απενεργοποιείται αναλόγως. Με μια διάταξη μανδάλωσης, τα σημεία λειτουργίας και απελευθέρωσης είναι ίσα σε μέγεθος, αλλά έχουν αντίθετες πολικότητες ($B_{OP} \neq -B_{RP}$).



Εικόνα 3. Δύο εφαρμογές συσκευών με μανδάλωση που χρησιμοποιούν μαγνήτες δακτυλίου..

2.3.4.5 Διπολικό αισθητήρες

Με έναν διπολικό διακόπτη, γνωρίζουμε μόνο την τιμή του "μέγιστου" σημείου λειτουργίας και του "ελάχιστου" σημείου απελευθέρωσης. Ωστόσο, οι ακριβείς τιμές κατωφλίου δεν είναι γνωστές. Κατά συνέπεια, η ακριβής λειτουργία της διάταξης μπορεί να αλλάξει από μονάδα σε μονάδα. Το σχήμα 11 δείχνει ένα παράδειγμα όπου το μέγιστο B_{OP} είναι περίπου 300 gauss και το ελάχιστο B_{RP} είναι περίπου -300 gauss.



Σχήμα 11. Συνάρτηση μεταφοράς διπολικών αισθητήρων.

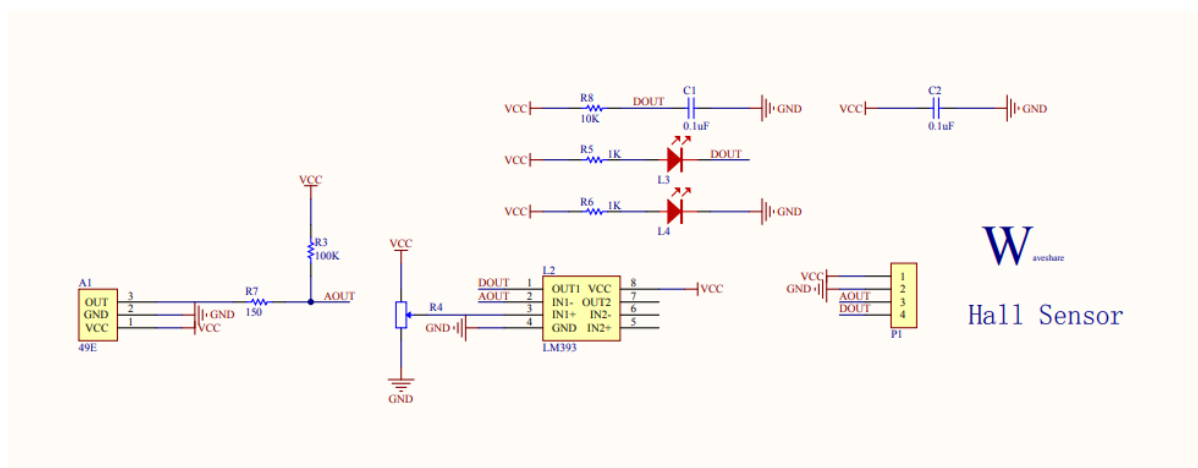
Για τη "Συσκευή 1" ("Device 1"), τόσο το B_{OP} , όσο και το B_{RP} είναι αρνητικά. Για τη "Συσκευή 3" ("Device 3") και τα δύο όρια είναι θετικά. Ένα άλλο δείγμα, η "Συσκευή 2" ("Device 2"), έχει απόκριση παρόμοια με αυτή ενός μανδαλωτή. Έχει θετικό B_{OP} και αρνητικό B_{RP} . Παρόλο που η συνάρτηση μεταφοράς της "Συσκευής 2" μοιάζει με εκείνη ενός μανδαλωτή, πρέπει να σημειωθεί ότι, τα σημεία λειτουργίας και απελευθέρωσης ενός διπολικού διακόπτη, ενδέχεται να μην είναι ίσα σε μέγεθος ($B_{OP} - B_{RP}$).

2.3.5 Αισθητήρες πειράματος

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας Hall της Waveshare [15]. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας επιλέχθηκε, καθώς περιλάμβανε το κύκλωμα που φαίνεται στο σχήμα 12 και μας δίνει τη δυνατότητα ψηφιακής εξόδου με τη χρήση κατάλληλων διόδων, όπως επίσης διαθέτει τον συγκριτή τάσης ευρείας εμβέλειας LM393, προκειμένου να εντοπίζει με μεγάλη ακρίβεια τη διαφορά τάσης όταν εισέρχεται σε μαγνητικό πεδίο. Ο πίνακας 2, μας δείχνει τα pin εξόδου του αισθητήρα και το σχήμα 12, μας δείχνει το κύκλωμα που διαθέτει η πλακέτα του αισθητήρα.

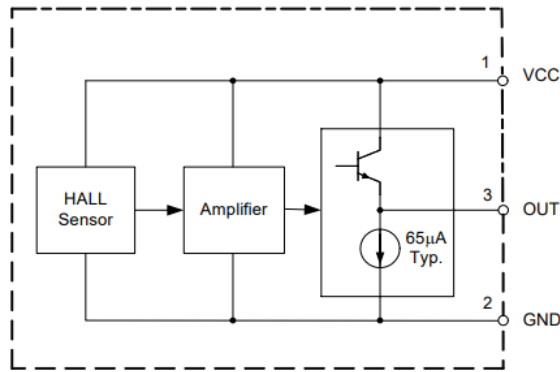
Πίνακας 2. Ακροδέκτες αισθητήρα φαινομένου Hall

| PIN | Περιγραφή |
|------|-----------------------------|
| VCC | Ισχύς Εισόδου |
| GND | Γείωση |
| AOUT | Έξοδος σε αναλογική έκφραση |
| DOUT | Έξοδος σε ψηφιακή έκφραση |



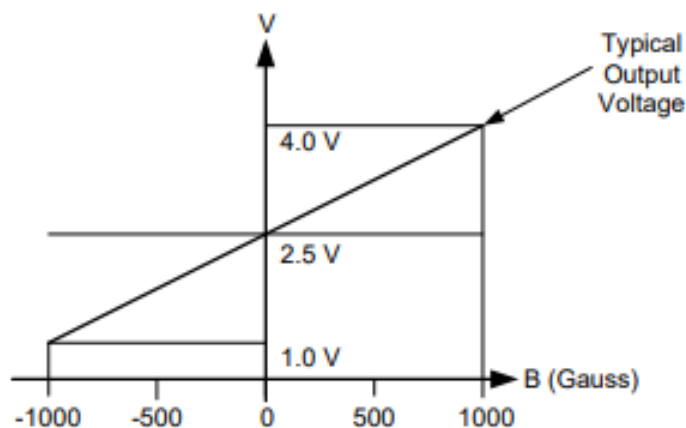
Σχήμα 12. Ηλεκτρολογικό σχέδιο πλακέτας αισθητήρα Hall του πειράματος.

Ο αισθητήρας Hall που διαθέτει η διάταξη, είναι ο AH49E. Ο AH49E, είναι ένας μικρός, ευέλικτος γραμμικός αισθητήρας, που λειτουργεί με το μαγνητικό πεδίο από ένα μόνιμο μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη [16]. Η έξοδος ρυθμίζεται από την τάση τροφοδοσίας και μεταβάλλεται ανάλογα με την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα, διαθέτει έξοδο χαμηλού θορύβου, που καθιστά περιττή τη χρήση εξωτερικού φιλτραρίσματος. Περιλαμβάνει επίσης αντιστάσεις ακριβείας για την παροχή αυξημένης σταθερότητας και ακρίβειας στη θερμοκρασία. Το εύρος θερμοκρασίας της λειτουργίας αυτών των γραμμικών αισθητήρων Hall, είναι $-40C^{\circ}$ έως $85C^{\circ}$.



Σχήμα 13. Ηλεκτρολογικό σχέδιο αισθητήρα Hall.

Όταν δεν υπάρχει εξωτερικό μαγνητικό πεδίο ($B=0\text{GS}$), η τάση εξόδου σε κατάσταση ηρεμίας είναι ίση με το μισό της τάσης τροφοδοσίας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 15. Όταν ένας νότιος μαγνητικός πόλος πλησιάσει στη μπροστινή πλευρά (η πλευρά με τη σήμανση ID) του αισθητήρα, το κύκλωμα θα οδηγήσει την τάση εξόδου υψηλότερα. Αντίθετα, ένας βόρειος μαγνητικός πόλος θα οδηγήσει την έξοδο χαμηλότερα. Οι μεταβολές του επιπέδου της τάσης είτε προς τα πάνω, είτε προς τα κάτω, είναι συμμετρικές. Η μεγαλύτερη μαγνητική ευαισθησία επιτυγχάνεται με τροφοδοσία 6V, αλλά με κόστος την αύξηση της τάσης τροφοδοσίας και μια μικρή απώλεια της συμμετρίας εξόδου. Συνεπώς δεν συνιστάται η εργασία σε τέτοιες συνθήκες, εκτός εάν το μέγεθος της τάσης εξόδου αποτελεί κύριο ζήτημα. Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί ότι το σήμα εξόδου μπορεί να συνδεθεί σε έναν ενισχυτή για περαιτέρω ενίσχυση, εάν η μεταβαλλόμενη συχνότητα του μαγνητικού πεδίου είναι υψηλή[14].



Σχήμα 14. Συνάρτηση επίδρασης μαγνητικού πεδίου και τάσης εξόδου

2.3.6 Διατάξεις μαγνήτη - αισθητήρα

Η ανίχνευση θέσης, είναι μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές των αισθητήρων φαινομένου Hall. Μια διάταξη φαινομένου Hall, ανιχνεύει την ένταση του εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου. Για να ανιχνεύσουμε τη θέση ενός αντικείμενου, μπορούμε να τοποθετήσουμε έναν μικρό μόνιμο μαγνήτη στο αντικείμενο. Καθώς το αντικείμενο μετακινεί τον μαγνήτη σε σχέση με τη συσκευή Hall, η ένταση του μαγνητικού πεδίου αλλάζει. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να υποστούν επεξεργασία από το σύστημα για την ανίχνευση της θέσης του αντικείμενου.

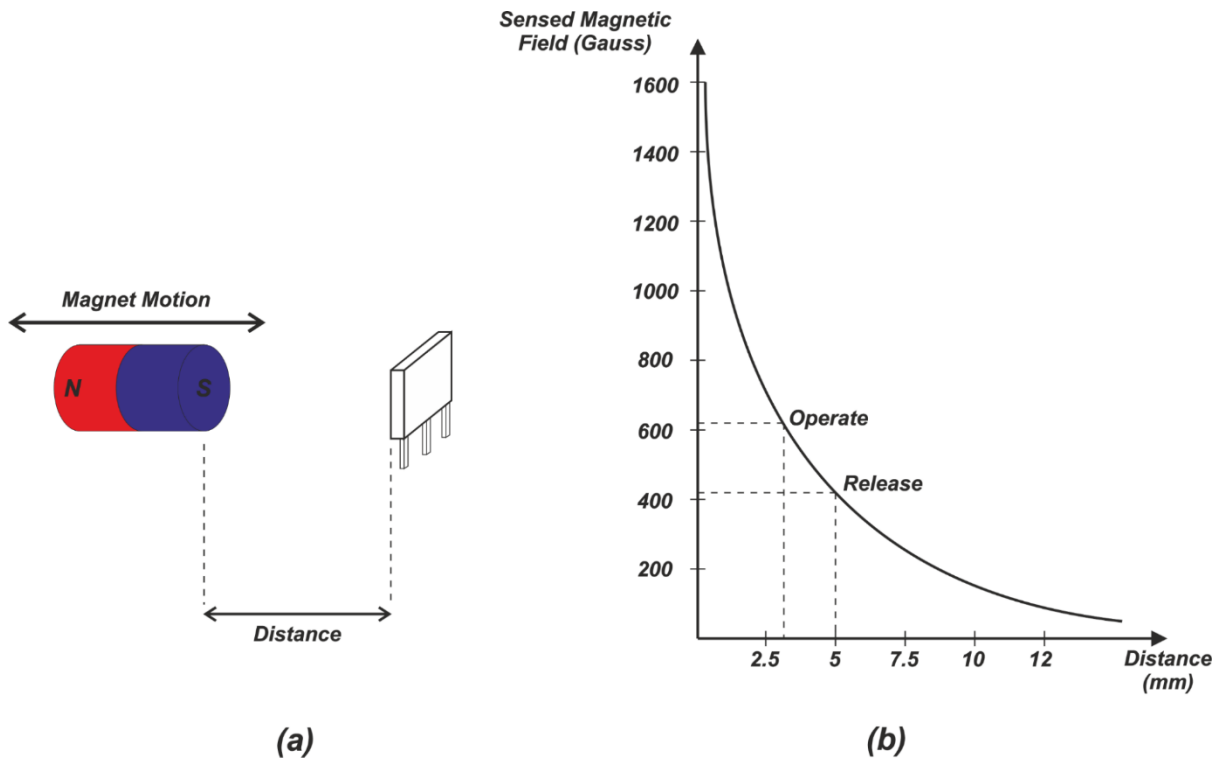
Υπάρχουν αρκετές διαφορετικές διαμορφώσεις, αισθητήρα-μαγνήτη, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές ανίχνευσης θέσης, με βάση το φαινόμενο Hall. Με κάθε διαμόρφωση αισθητήρα-μαγνήτη, ο μαγνήτης μετακινείται σε σχέση με τον αισθητήρα με διαφορετικό τρόπο. Αυτό επηρεάζει το μαγνητικό πεδίο που ανιχνεύεται από τη διάταξη Hall και αλλάζει τα χαρακτηριστικά του συστήματος.

2.3.6.1 Διάταξη Head-On

Η πιο απλή διάταξη μαγνήτη και αισθητήρα, είναι η head-on [17], όπως φαίνεται και στο σχήμα 16 (α).

Στην περίπτωση αυτή, ο νότιος πόλος του μαγνήτη μετακινείται απευθείας προς ή από τον αισθητήρα. Όταν ο μαγνήτης βρίσκεται πολύ κοντά στον αισθητήρα, ένας μεγαλύτερος αριθμός μαγνητικών γραμμών ροής διέρχεται από την επιφάνεια ανίχνευσης του αισθητήρα. Ωστόσο, καθώς ο νότιος πόλος του μαγνήτη απομακρύνεται από τον αισθητήρα, η ένταση του μαγνητικού πεδίου μειώνεται ραγδαία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 15(β).

Αξίζει να σημειώσουμε ότι η καμπύλη Gauss σε σχέση με την απόσταση αναφέρεται μερικές φορές ως χάρτης ροής (Flux map) της διάταξης. Η πυκνότητα της μαγνητικής ροής της μετωπικής διάταξης (Heads-On) είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης μεταξύ του μαγνήτη και του αισθητήρα. Οι τιμές ροής που δίνονται στο Σχήμα 15(β), μπορούν να παραχθούν από έναν μαγνήτη που έχει μήκος περίπου 30 mm και διάμετρο περίπου 6 mm.



Σχήμα 15. Α) Μετωπική διάταξη μαγνήτη αισθητήρα Β) διάγραμμα λειτουργίας αισθητήρα Hall βάση μαγνητικής έντασης και απόσταση

Η μετωπική διαμόρφωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί με έναν ψηφιακό (ON/OFF) αισθητήρα Hall για την ανίχνευση της παρουσίας ενός αντικειμένου. Τα σημεία λειτουργίας και απελευθέρωσης του αισθητήρα είναι όπως φαίνεται στο σχήμα 16(β). Το μαγνητικό σημείο λειτουργίας καθορίζει το επίπεδο ενός ενισχυμένου μαγνητικού πεδίου στο οποίο ενεργοποιείται μια διάταξη Hall. Το σημείο απελευθέρωσης (Release), όπως φαίνεται και στο σχήμα 16(β), αντιστοιχεί στο εξασθενημένο μαγνητικό πεδίο στο οποίο η διάταξη Hall απενεργοποιείται.

Με τη χρήση ενός ψηφιακού αισθητήρα Hall σε μια μετωπική διάταξη, μπορούμε να ανιχνεύσουμε την παρουσία ενός αντικειμένου. Τα μαγνητικά σημεία λειτουργίας και απελευθέρωσης του αισθητήρα, υποδεικνύονται στο σχήμα 15(β). Το μαγνητικό σημείο λειτουργίας, υποδηλώνει το κατώτατο επίπεδο ενός μαγνητικού πεδίου που ενεργοποιεί τη συσκευή Hall, ενώ το μαγνητικό σημείο απελευθέρωσης, υποδηλώνει το κατώτατο επίπεδο ενός εξασθενημένου μαγνητικού πεδίου που προκαλεί την απενεργοποίηση της συσκευής Hall.

Καθώς ο μαγνήτης πλησιάζει τον αισθητήρα, η ένταση του μαγνητικού πεδίου γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη. Σε απόσταση περίπου 3,1 mm, το αισθητοποιημένο μαγνητικό πεδίο είναι ίσο με το σημείο μαγνητικής λειτουργίας (περίπου 620 Gauss στο παράδειγμά μας), το οποίο

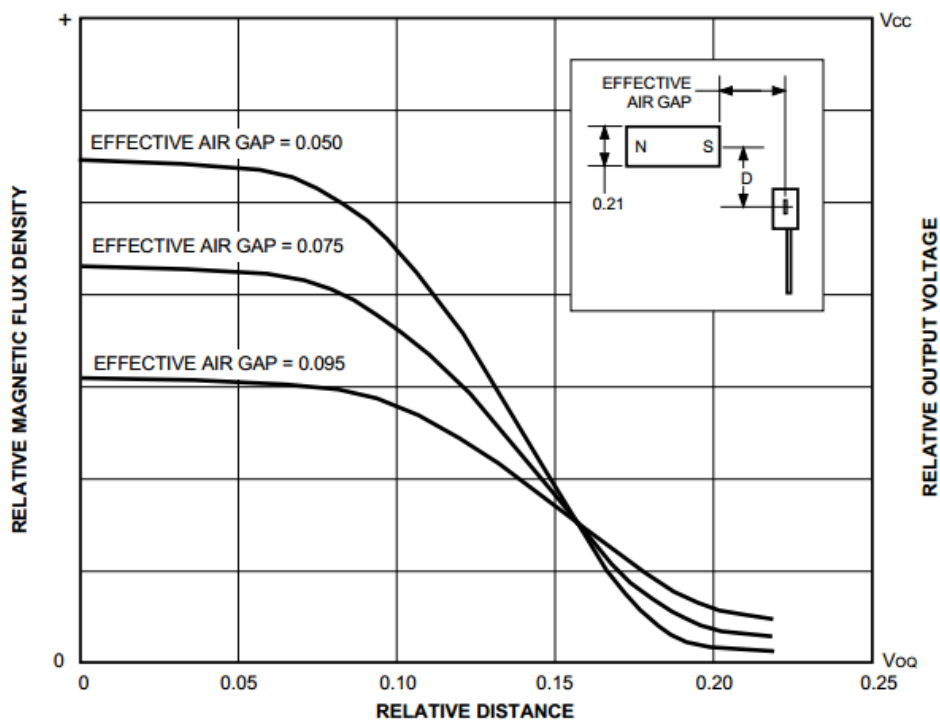
ενεργοποιεί τον αισθητήρα. Η προσέγγιση του μαγνήτη στον αισθητήρα, οδηγεί σε ακόμη μεγαλύτερο μαγνητικό πεδίο και διατηρεί τον αισθητήρα ενεργοποιημένο. Όταν ο αισθητήρας απομακρύνεται από τον μαγνήτη, το μαγνητικό πεδίο μειώνεται.

Ωστόσο, όσο το μαγνητικό πεδίο δεν είναι μικρότερο από το σημείο απελευθέρωσης (περίπου 420 Gauss στο παράδειγμά μας), ο αισθητήρας παραμένει ενεργοποιημένος. Μόνο όταν το μαγνητικό πεδίο πέσει κάτω από το σημείο απελευθέρωσης, η συσκευή απενεργοποιείται. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να ανιχνεύσουμε την παρουσία ενός αντικειμένου [18].

2.3.6.2 Διάταξη Slide-By

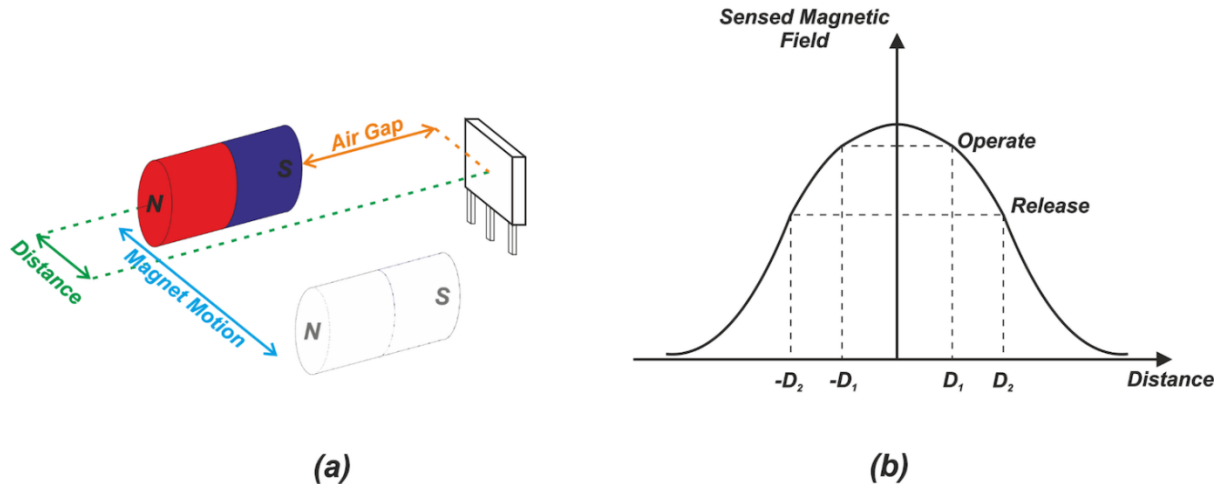
Σε αυτή τη διάταξη, ένας μόνο πόλος του μαγνήτη κινείται πλευρικά πέρα από την επιφάνεια ανίχνευσης του αισθητήρα [17]. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 17(α).

Ο πόλος του μαγνήτη βρίσκεται σε μια σταθερή κάθετη απόσταση (που φαίνεται με το "κενό αέρα" στο σχήμα), καθώς κινείται πέρα από τον αισθητήρα. Στην κεντρική θέση (απόσταση=0), το αισθητοποιούμενο μαγνητικό πεδίο είναι στο μέγιστο. Καθώς ο μαγνήτης απομακρύνεται από τον αισθητήρα, το μαγνητικό πεδίο μειώνεται. Δεδομένου ότι το μαγνητικό πεδίο που παράγεται από τον μαγνήτη είναι συμμετρικό, ο χάρτης ροής είναι συμμετρικός γύρω από την αρχή, όπως φαίνεται στο σχήμα 17(β).



Σχήμα 16. Χάρτης ροής βάση μαγνητικής πυκνότητας και απόστασης.

Η μέγιστη τιμή του χάρτη ροής αλλάζει με την τιμή του "διακένου αέρα", όπως φαίνεται στο σχήμα 16.



Σχήμα 17. α) Διάταξη Slide-By β) διάγραμμα λειτουργίας αισθητήρα Hall βάση μαγνητικής έντασης και απόσταση

2.4 Raspberry Pi

Το Raspberry Pi, είναι μια σειρά υπολογιστών σε μέγεθος πιστωτικής κάρτας που αναπτύχθηκε από το Ίδρυμα Raspberry Pi. Η δημιουργία του προέκυψε ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης ανάγκης για μια χαμηλού κόστους, προσιτή και ευέλικτη υπολογιστική πλατφόρμα, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα και όχι μόνο. Η δημιουργία του ξεκίνησε από το Ίδρυμα Raspberry Pi, μια φιλανθρωπική οργάνωση με έδρα το Ηνωμένο Βασίλειο, που είχε ως κύριο στόχο την προώθηση της εκπαίδευσης στην επιστήμη των υπολογιστών, καθώς και την ενθάρρυνση της πρακτικής μάθησης [19].

Η πρώτη γενιά Raspberry Pi, κυκλοφόρησε το 2012 (εικόνα 4), συγκέντρωσε μεγάλη προσοχή και απέκτησε γρήγορα ένα αφοσιωμένο κοινό. Διέθετε ένα σύστημα-on-a-chip (SoC) της Broadcom, έναν επεξεργαστή βασισμένο σε ARM, έξοδο HDMI, θύρες USB, υποδοχή κάρτας SD και ακίδες GPIO και όλα αυτά συσκευασμένα σε μια πλακέτα πολύ μικρού μεγέθους. Αυτή η συμπαγής αλλά ισχυρή συσκευή πυροδότησε μια επανάσταση στον τρόπο διεξαγωγής πειραμάτων και έργων, ιδίως στον τομέα των ενσωματωμένων συστημάτων, του IoT και των ρομποτικών κατασκευών. Μέσα στα επόμενα χρόνια τα Raspberry Pi εξελίχθηκαν ραγδαία

και τα επόμενα μοντέλα που κυκλοφόρησαν, συμπεριλαμβανομένων των Raspberry Pi 2, Raspberry Pi 3 και της τελευταίας έκδοσης, του Raspberry Pi 4, παρουσίασαν σημαντικές βελτιώσεις όσον αφορά την επεξεργαστική ισχύ, τη μνήμη, τη συνδεσιμότητα και τις δυνατότητες πολυμέσων.



Εικόνα 4. Raspberry Pi πρώτης γενιάς.

2.4.1 Βασικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες

Το Raspberry Pi είναι γνωστό για το εντυπωσιακό εύρος χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων που το καθιστούν έναν ευέλικτο και ισχυρό υπολογιστή μιας πλακέτας. Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά και μερικές δυνατότητες του Raspberry Pi είναι ακόλουθες [16]:

Κεντρική μονάδα επεξεργασίας:

Οι πλακέτες Raspberry Pi, είναι εξοπλισμένες με μια σειρά από επεξεργαστές που βασίζονται σε ARM, προσφέροντας διαφορετικά επίπεδα απόδοσης. Ο επεξεργαστής Arm, ανήκουν στην οικογένεια κεντρικών μονάδων επεξεργασίας (CPU), που βασίζονται στην αρχιτεκτονική RISC (Reduced Instruction Set Computer) [20]. Πρόκειται για μια αρχιτεκτονική επεξεργαστή, που μετατοπίζει την αναλυτική διαδικασία μιας υπολογιστικής εργασίας, από τον χρόνο εκτέλεσης, στον χρόνο προετοιμασίας ή μεταγλώττισης. Με τη χρήση λιγότερου υλικού ή λογικής, το σύστημα μπορεί να λειτουργεί σε υψηλότερες ταχύτητες. Το RISC μειώνει τον αριθμό και την πολυπλοκότητα των εντολών, με τη θεωρία ότι η πρόσβαση σε κάθε μία από αυτές και η εκτέλεση τους είναι ταχύτερη και ταυτόχρονα απαιτούνται λιγότεροι ημιαγωγοί για την επεξεργασία τους. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η επεξεργαστική ισχύς των Raspberry

βελτιώνεται με κάθε νέα έκδοση τους, επιτρέποντας ταχύτερους υπολογισμούς και αποδοτικότερο multitasking.

Μνήμη τυχαίας προσπέλασης (RAM):

Τα μοντέλα Raspberry Pi, διαθέτουν διαφορετικές επιλογές μνήμης RAM, επιτρέποντας στους χρήστες να επιλέξουν την κατάλληλη ποσότητα μνήμης για τις συγκεκριμένες ανάγκες τους. Η επαρκής χωρητικότητα μνήμης, εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία και τη δυνατότητα χειρισμού εφαρμογών και εργασιών έντασης πόρων.

Επιλογές αποθήκευσης:

Οι πλακέτες Raspberry Pi, χρησιμοποιούν συνήθως κάρτες microSD για αποθήκευση, παρέχοντας μια αφαιρούμενη και επεκτάσιμη λύση αποθήκευσης. Η χρήση καρτών microSD επιτρέπει στους χρήστες να ανταλλάσσουν και να μεταφέρουν εύκολα δεδομένα μεταξύ διαφορετικών συστημάτων.

Διεπαφές GPIO:

Οι διεπαφές εισόδου/εξόδου γενικού σκοπού GPIO (General Purpose Input/Output), είναι ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του Raspberry Pi, καθώς επιτρέπουν στους χρήστες να διασυνδέουν το Raspberry Pi με εξωτερικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα, όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές, LED και οθόνες. Είναι στην ουσία το μέσο που παρέχει την αλληλεπίδραση της πλακέτας με τον φυσικό κόσμο και δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα να δημιουργούν διαδραστικά έργα.

Συνδεσιμότητα:

Οι πλακέτες Raspberry Pi, διαθέτουν ενσωματωμένες επιλογές Ethernet, USB και ασύρματης συνδεσιμότητας, όπως Wi-Fi και Bluetooth. Αυτό επιτρέπει την απρόσκοπτη ενσωμάτωση με άλλες συσκευές και δίκτυα, διευκολύνοντας τη συλλογή δεδομένων, την επικοινωνία με εξωτερικά συστήματα και την πρόσβαση σε υπηρεσίες cloud.

Έξοδος εικόνας:

Οι πλακέτες Raspberry Pi, διαθέτουν θύρες HDMI για σύνδεση με οθόνες ή τηλεοράσεις. Αυτή η δυνατότητα, επιτρέπει στους χρήστες να ρυθμίσουν το Raspberry Pi ως κέντρο πολυμέσων, λύση ψηφιακής σήμανσης ή και για οπτική έξοδο σε έργα.

Λειτουργικά συστήματα και λογισμικό:

Το Raspberry Pi, υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα λειτουργικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων διανομών Linux ειδικά βελτιστοποιημένων για την πλατφόρμα. Αυτή η συμβατότητα, παρέχει στους χρήστες ένα οικείο και ισχυρό περιβάλλον λογισμικού, επιτρέποντας τη χρήση μιας τεράστιας βιβλιοθήκης λογισμικού, εργαλείων και γλωσσών προγραμματισμού.

Κοινότητα του Raspberry:

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι το Raspberry Pi έχει αναπτύξει μια ζωντανή και υποστηρικτική κοινότητα ενθουσιωδών, προγραμματιστών και ερευνητών. Αυτή η κοινότητα μοιράζεται ενεργά γνώσεις, έργα και πόρους, διευκολύνοντας τους νεοεισερχόμενους να μάθουν και να επωφεληθούν από τη συλλογική σοφία της κοινότητας. Τα διαδικτυακά φόρουμ, τα σεμινάρια και τα αποθετήρια λογισμικού ανοικτού κώδικα, παρέχουν πολύτιμη υποστήριξη στους ερευνητές που αναλαμβάνουν έργα με το Raspberry Pi.

2.4.2 Το Raspberry Pi στον τομέα της πειραματικής έρευνας

Το Raspberry Pi έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο διεξαγωγής πειραμάτων και έργων, ιδίως στον τομέα των ενσωματωμένων συστημάτων, του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things), καθώς και των ρομποτικών κατασκευών. Οι πλακέτες Raspberry Pi, είναι εξοπλισμένες με επεξεργαστή, μνήμη, διεπαφές εισόδου/εξόδου και άλλα εξαρτήματα που είναι απαραίτητα για βασικές υπολογιστικές εργασίες.

Τα βασικά χαρακτηριστικά και οι δυνατότητές του, όπως η επεξεργαστική ισχύς, η μνήμη, οι ακίδες GPIO, οι επιλογές συνδεσιμότητας και η συμβατότητα με διάφορα λογισμικά και εργαλεία, που αναφέρθηκαν αναλυτικά στη προηγούμενη ενότητα, το καθιστούν ένα ανεκτίμητο εργαλείο για τους ερευνητές. Η προσιτή τιμή και η προσβασιμότητα του Raspberry Pi, έχουν εκδημοκρατίσει την πρόσβαση σε ισχυρούς υπολογιστικούς πόρους, επιτρέποντας σε ερευνητές με περιορισμένο προϋπολογισμό, να διεξάγουν καινοτόμα πειράματα. Οι διεπαφές GPIO, επιτρέπουν στους ερευνητές να διασυνδέονται με εξωτερικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα, να συλλέγουν δεδομένα από τον φυσικό κόσμο και να δημιουργούν προσαρμοσμένες πειραματικές διατάξεις. Οι επιλογές συνδεσιμότητας, διευκολύνουν τη μεταφορά δεδομένων, τη συνεργασία και την απομακρυσμένη παρακολούθηση. Η ζωντανή κοινότητα του Raspberry Pi και η εκτενής τεκμηρίωση, παρέχουν στους ερευνητές πολύτιμη

υποστήριξη και γνώση. Συνολικά, η σημασία του Raspberry Pi στην πειραματική έρευνα, έγκειται στην ευελιξία, την προσιτή τιμή και την ικανότητά του να διευρύνει τα όρια της επιστημονικής έρευνας.

2.4.3 Raspberry Pi 4

Σε αυτή την ενότητα, θα εμβαθύνουμε σε σημαντικές λεπτομέρειες της αρχιτεκτονικής του Raspberry Pi 4 (σχήμα 20), καθώς το πείραμα που διεξήγαμε πραγματοποιήθηκε στη συγκεκριμένη πλατφόρμα. Οι προδιαγραφές της πλακέτας, φαίνονται επιγραμματικά στον πίνακα 3 [21].



Εικόνα 5. Raspberry Pi 4 Model B

Πίνακας 3. Αναλυτικά χαρακτηριστικά Raspberry Pi 4 Model B.

| | |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Επεξεργαστής | Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz |
| Μνήμη | 2GB LPDDR4 (depending on model) |
| Συνδεσιμότητα | 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac wireless LAN Bluetooth 5.0 BLE Gigabit Ethernet 2 × USB 3.0 ports 2 × USB 2.0 ports. |

| | |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GPIO | Standard 40-pin GPIO header |
| Εικόνα & Ήχος | 2 × micro HDMI ports (up to 4Kp60 supported) 2-lane MIPI DSI display port 2-lane MIPI CSI camera port 4-pole stereo audio and composite video port |
| Πολυμέσα | H.265 (4Kp60 decode) H.264 (1080p60 decode, 1080p30 encode) OpenGL ES, 3.0 graphics |
| Υποστήριξη microSD κάρτας | Micro SD card slot for loading operating system and data storage |
| Ισχύς εισόδου | 5V DC via USB-C connector (minimum 3A1) 5V DC via GPIO header (minimum 3A1) Power over Ethernet (PoE)–enabled (requires separate PoE HAT) |
| Περιβάλλον | Operating temperature 0–50°C |

2.4.3.1 Επεξεργαστής και μνήμη

Το Raspberry Pi 4, ενσωματώνει σημαντικές αναβαθμίσεις στον επεξεργαστή και τη μνήμη του, προσφέροντας βελτιωμένες επιδόσεις και αυξημένες δυνατότητες, σε σύγκριση με τους προκατόχους του.

Η συγκεκριμένη πλακέτα, τροφοδοτείται από ένα σύστημα on-a-chip (SoC) Broadcom BCM2711, το οποίο διαθέτει τετραπύρηνη CPU ARM Cortex-A72. Αυτός ο επεξεργαστής που βασίζεται σε ARM, παρέχει σημαντική ώθηση στην επεξεργαστική ισχύ, παρέχοντας ταχύτερες και αποδοτικότερες επιδόσεις σε σύγκριση με τα προηγούμενα μοντέλα Raspberry Pi. Η αρχιτεκτονική Cortex-A72, έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ισορροπία μεταξύ απόδοσης και ενεργειακής αποδοτικότητας [22], καθιστώντας τον κατάλληλο για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Η τετραπύρηνη διαμόρφωση του επεξεργαστή του Raspberry Pi 4, επιτρέπει την ταυτόχρονη εκτέλεση πολλαπλών εργασιών, επιτρέποντας βελτιωμένες δυνατότητες multitasking. Κάθε πυρήνας λειτουργεί με ταχύτητα ρολογιού 1,5 GHz, παρέχοντας άφθονη επεξεργαστική ισχύ για διάφορες υπολογιστικές εργασίες, συμπεριλαμβανομένης της εκτέλεσης σύνθετων εφαρμογών, της εκτέλεσης αλγορίθμων και της επεξεργασίας πολυμέσων.

Όσον αφορά τη μνήμη, το Raspberry Pi 4 προσφέρει διάφορα μοντέλα, με διαφορετικές ποσότητες μνήμης RAM. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμά μας, είναι εξοπλισμένο με 2 GB μνήμης. Η διαθεσιμότητα διαφορετικών επιλογών RAM, επιτρέπει στους χρήστες να επιλέξουν την κατάλληλη χωρητικότητα μνήμης, με βάση τις συγκεκριμένες απαιτήσεις τους. Η διαμόρφωση RAM 2 GB, παρέχει επαρκή μνήμη για πολλές εφαρμογές, επιτρέποντας την ομαλή λειτουργία και τον αποτελεσματικό χειρισμό δεδομένων. Η μνήμη στο Raspberry Pi 4, μοιράζεται μεταξύ του επεξεργαστή και της GPU (Μονάδα επεξεργασίας γραφικών), επιτρέποντας την αποτελεσματική επικοινωνία και την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των δύο. Αυτή η αρχιτεκτονική κοινής μνήμης βελτιώνει την απόδοση των εφαρμογών έντασης γραφικών και επιτρέπει στο Raspberry Pi 4 να χειρίζεται με ευκολία εργασίες πολυμέσων.

Επιπλέον, το Raspberry Pi 4, περιλαμβάνει μια κρυφή μνήμη L2, η οποία ενισχύει περαιτέρω την αποδοτικότητα της επεξεργασίας του. Η κρυφή μνήμη L2, ενεργεί ως ρυθμιστής υψηλής ταχύτητας μεταξύ του επεξεργαστή και της κύριας μνήμης, μειώνοντας την καθυστέρηση πρόσβασης στα δεδομένα και βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση του συστήματος.

Στο πείραμά μας, η διαμόρφωση μνήμης RAM 2 GB του Raspberry Pi 4, μας παρείχε επαρκή χωρητικότητα μνήμης για την αποτελεσματική εκτέλεση των ερευνητικών μας εργασιών.

2.4.3.2 Συνδεσιμότητα και επικοινωνία

Το Raspberry Pi 4, προσφέρει μια σειρά επιλογών συνδεσιμότητας, επιτρέποντας την απρόσκοπτη επικοινωνία και ενσωμάτωση με άλλες συσκευές και δίκτυα. Αυτά τα χαρακτηριστικά συνδεσιμότητας, παίζουν ζωτικό ρόλο στην επέκταση των δυνατοτήτων του Raspberry Pi 4 και στη διευκόλυνση διαφόρων εφαρμογών.

Σε ότι αφορά τη σύνδεση της πλακέτας με το διαδίκτυο, διαθέτει μια θύρα Ethernet καθώς και Wi-Fi. Η θύρα Ethernet, επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων σε υψηλή ταχύτητα, καθιστώντας την κατάλληλη για σενάρια όπου απαιτείται σταθερή σύνδεση δικτύου υψηλού εύρους ζώνης. Χρησιμοποιείται συνήθως για εργασίες όπως, η ροή δεδομένων, η απομακρυσμένη παρακολούθηση και η πρόσβαση σε πόρους δικτύου. Το ενσωματωμένο Wi-Fi διπλής ζώνης που διαθέτει (2,4 GHz και 5 GHz), δίνει τη δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης στο δίκτυο, παρέχοντας ευελιξία όσον αφορά την τοποθέτηση και επιτρέποντας την κινητικότητα σε διάφορες εφαρμογές [18].

Το Raspberry Pi 4, περιλαμβάνει επίσης λειτουργικότητα Bluetooth, επιτρέποντας την ασύρματη επικοινωνία με συμβατές συσκευές. Η τεχνολογία Bluetooth, επιτρέπει στο Raspberry Pi 4 να συνδέεται με περιφερειακά όπως, πληκτρολόγια, ποντίκια, ηχεία και άλλες συσκευές με δυνατότητα Bluetooth. Προσφέρει μια βολική και χωρίς καλώδια μέθοδο, για την αλληλεπίδραση με το Raspberry Pi 4 και την επέκταση της λειτουργικότητάς του.

Αυτές οι επιλογές συνδεσιμότητας στο Raspberry Pi 4, ανοίγουν ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων για επικοινωνία, μεταφορά δεδομένων και ενσωμάτωση με άλλες συσκευές.

2.4.3.3 Επιλογές αποθήκευσης

Το Raspberry Pi 4, προσφέρει τρεις διαφορετικές επιλογές για την αποθήκευση του λειτουργικού συστήματος, των εφαρμογών και των δεδομένων. Αυτές οι επιλογές αποθήκευσης, παρέχουν ευελιξία και επεκτασιμότητα, επιτρέποντας στους χρήστες να επιλέξουν την καταλληλότερη με βάση τις συγκεκριμένες ανάγκες τους.

Επιγραμματικά, αυτές οι τρεις μέθοδοι αποθήκευσης είναι: η μνήμη microSD, η συσκευή USB καθώς και η αποθήκευση μέσω δικτύου. Το πιο κοινό και ευρέως χρησιμοποιούμενο μέσο αποθήκευσης για το Raspberry Pi, είναι η κάρτα microSD. Το Raspberry Pi 4, διαθέτει μια ειδική υποδοχή κάρτας microSD, όπου οι χρήστες μπορούν να εισάγουν τη μνήμη για να χρησιμεύσει ως κύρια συσκευή αποθήκευσης. Η κάρτα microSD, προσφέρει μια αφαιρούμενη λύση αποθήκευσης, καθιστώντας εύκολη τη μεταφορά δεδομένων και την εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών λειτουργικών συστημάτων ή ρυθμίσεων. Η επιλογή μιας υψηλής ποιότητας, με καλή ταχύτητα μνήμης microSD, εξασφαλίζει και καλύτερες επιδόσεις στη πλακέτα του Raspberry.

Εκτός από την κάρτα microSD, το Raspberry Pi 4 υποστηρίζει συσκευές μαζικής αποθήκευσης USB, όπως μονάδες flash USB και εξωτερικούς σκληρούς δίσκους. Οι θύρες USB του Raspberry Pi 4, επιτρέπουν στους χρήστες να συνδέουν και να χρησιμοποιούν εξωτερικές συσκευές αποθήκευσης για πρόσθετη αποθηκευτική ικανότητα. Οι συσκευές μαζικής αποθήκευσης USB, προσφέρουν μεγαλύτερες χωρητικότητες αποθήκευσης, σε σύγκριση με τις κάρτες microSD και είναι κατάλληλες για την αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων, ή την εκτέλεση εφαρμογών κοστοβόρων, σε ότι αφορά τους πόρους του συστήματος.

Επίσης το Raspberry Pi 4, μπορεί να αξιοποιήσει λύσεις σε ότι αφορά τον αποθηκευτικό του χώρο μέσω δικτύου, για την αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων. Με τη σύνδεση σε ένα

τοπικό δίκτυο, οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε συσκευές (NAS), ή σε συστήματα αρχείων δικτύου (NFS), για την αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων. Η δικτυακή αποθήκευση παρέχει κεντρική διαχείριση της αποθήκευσης, επιτρέποντας σε πολλές συσκευές να έχουν πρόσβαση και να μοιράζονται δεδομένα απρόσκοπτα. Αυτή η επιλογή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε σενάρια, όπου τα δεδομένα πρέπει να διαμοιραστούν σε πολλές συσκευές Raspberry Pi, ή να αποκτήσουν πρόσβαση εξ αποστάσεως.

Στο πείραμά μας, χρησιμοποιήσαμε μια κάρτα microSD υψηλής ποιότητας ως κύρια συσκευή αποθήκευσης για το Raspberry Pi 4. Η κάρτα microSD, μας παρείχε μια αξιόπιστη και αφαιρούμενη λύση αποθήκευσης, επιτρέποντάς μας τη μεταφορά δεδομένων και την εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών λειτουργικών συστημάτων όταν χρειαζόταν.

2.4.3.4 Παροχή ρεύματος και κατανάλωση

Μια κρίσιμη πτυχή της χρήσης του Raspberry Pi 4 είναι η κατανόηση των απαιτήσεων και των χαρακτηριστικών κατανάλωσης της τροφοδοσίας του. Η σωστή διαχείριση ισχύος, εξασφαλίζει τη σταθερή και αξιόπιστη λειτουργία της συσκευής. Σε αυτή την ενότητα, θα διερευνήσουμε τις προδιαγραφές τροφοδοσίας και την κατανάλωση ενέργειας του Raspberry Pi 4.

Το Raspberry Pi 4 απαιτεί τροφοδοσία 5V DC για να λειτουργήσει. Το συνιστώμενο τροφοδοτικό, είναι ένας μετασχηματιστής ρεύματος USB-C, που μπορεί να παρέχει ρεύμα τουλάχιστον 3A (αμπέρ). Είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται υψηλής ποιότητας τροφοδοτικό, για να διασφαλίζει επαρκή παροχή ρεύματος και να αποφεύγονται οι πτώσεις τάσης, που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση και τη σταθερότητά του [18].

Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το φόρτο εργασίας και τα περιφερειακά που είναι συνδεδεμένα σε αυτό. Σε τυπική χρήση, η κατανάλωση ενέργειας του Raspberry Pi 4 (μοντέλο 2GB) κυμαίνεται από 2,7W έως 7,6W. Ωστόσο, η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να αυξηθεί όταν εκτελούνται κοστοβόρες εργασίες σε ότι αφορά τους πόρους, ή όταν συνδέονται πρόσθετα περιφερειακά, όπως συσκευές USB ή οθόνες. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθούμε και στο χαρακτηριστικό διαχείρισης ενέργειας, που επιτρέπει στη πλακέτα να προσαρμόζει δυναμικά τη χρήση ενέργειας, ανάλογα με τη ζήτηση. Αυτό σημαίνει, ότι έχει τη δυνατότητα να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας σε περιόδους αδράνειας, ή όταν εκτελεί χαμηλής έντασης εργασίες, μειώνοντας την ταχύτητα του επεξεργαστή, ή απενεργοποιώντας αχρησιμοποίητα εξαρτήματα.

2.4.3.5 Λειτουργικό σύστημα

Το Raspberry Pi OS, παλαιότερα γνωστό ως Raspbian, είναι το επίσημο λειτουργικό σύστημα που έχει σχεδιαστεί ειδικά για τους υπολογιστές Raspberry Pi. Είναι ένα λειτουργικό σύστημα βασισμένο στο Linux, φιλικό προς το χρήστη και παρέχει ένα αποτελεσματικό υπολογιστικό περιβάλλον για το Raspberry Pi. Είναι βελτιστοποιημένο για την αρχιτεκτονική υλικού του Raspberry Pi, εξασφαλίζοντας άριστες επιδόσεις και συμβατότητα. Βασίζεται στη διανομή Debian Linux και επωφελείται από τα τεράστια αποθετήρια λογισμικού και την υποστήριξη της κοινότητας που σχετίζεται με το Debian. Αυτό καθιστά εύκολη την εγκατάσταση και την ενημέρωση πακέτων λογισμικού, δίνοντας στους χρήστες πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και εργαλείων.

Προσφέρει ένα περιβάλλον επιφάνειας εργασίας, επιτρέποντας στους χρήστες να αλληλοεπιδρούν με το σύστημα χρησιμοποιώντας μια γραφική διεπαφή χρήστη (GUI). Το περιβάλλον επιφάνειας εργασίας παρέχει μια οικεία και διαισθητική εμπειρία χρήσης, καθιστώντας το προσιτό σε χρήστες όλων των επιπέδων τεχνικής εμπειρίας. Περιλαμβάνει γραμμή εργασιών, σύστημα μενού, διαχειριστή αρχείων και διάφορες προ εγκατεστημένες εφαρμογές, όπως πρόγραμμα περιήγησης στο διαδίκτυο, σουίτα γραφείου και προγράμματα αναπαραγωγής πολυμέσων. Εκτός από το περιβάλλον επιφάνειας εργασίας, το Raspberry Pi OS υποστηρίζει επίσης μια διεπαφή γραμμής εντολών (CLI), επιτρέποντας στους χρήστες να αλληλοεπιδρούν με το σύστημα μέσω του τερματικού. Αυτό παρέχει έναν πιο ευέλικτο και ισχυρό τρόπο διαμόρφωσης και διαχείρισης του Raspberry Pi, ειδικά για προχωρημένους χρήστες και προγραμματιστές.

Επιπρόσθετα, διαθέτει διάφορα προ εγκατεστημένα εργαλεία λογισμικού και βοηθητικά προγράμματα που ενισχύουν τη λειτουργικότητά του. Αυτά περιλαμβάνουν περιβάλλοντα προγραμματισμού όπως η Python, το Scratch και η C/C++, επιτρέποντας στους χρήστες να αναπτύσσουν λογισμικό και έργα απευθείας στο Raspberry Pi. Το λειτουργικό σύστημα περιλαμβάνει επίσης, εργαλεία για τη διαμόρφωση του συστήματος, τη ρύθμιση του δικτύου και τις ενημερώσεις λογισμικού, εξασφαλίζοντας μια ομαλή και απροβλημάτιστη εμπειρία χρήσης.

Αξιοσημείωτο είναι ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του Raspberry Pi OS, το οποίο είναι η εκτεταμένη υποστήριξη της κοινότητάς του. Το Ίδρυμα Raspberry Pi, μαζί με μια ζωντανή και ενεργή κοινότητα χρηστών, παρέχει ολοκληρωμένη τεκμηρίωση, σεμινάρια και φόρουμ για να

βοηθήσει τους χρήστες να ξεκινήσουν και να αντιμετωπίσουν τυχόν προβλήματα που μπορεί να συναντήσουν. Αυτό το δίκτυο υποστήριξης, διασφαλίζει ότι οι χρήστες μπορούν να αξιοποιήσουν στο έπακρο το Raspberry Pi και να αξιοποιήσουν στο έπακρο τις δυνατότητές του.

Τέλος πρέπει να αναφέρουμε, ότι το Raspberry Pi OS ενημερώνεται τακτικά με διορθώσεις σε θέματα ασφαλείας και βελτιώσεις λειτουργιών, εξασφαλίζοντας ένα σταθερό και ασφαλές λειτουργικό περιβάλλον για το Raspberry Pi. Αυτές οι ενημερώσεις μπορούν να εγκατασταθούν εύκολα, χρησιμοποιώντας τα ενσωματωμένα εργαλεία ενημέρωσης λογισμικού, διατηρώντας το σύστημα ενημερωμένο και προστατευμένο.

2.5 Γλώσσα προγραμματισμού Python

Η Python είναι μια υψηλού επιπέδου, διερμηνευμένη γλώσσα προγραμματισμού, γνωστή για την απλότητα και την αναγνωσιμότητά της. Αναπτύχθηκε από τον Guido van Rossum και κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 1991. Η Python έχει αποκτήσει τεράστια δημοτικότητα και έχει γίνει μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες γλώσσες προγραμματισμού σε διάφορους τομείς, όπως η επιστημονική πληροφορική, η ανάπτυξη ιστοσελίδων, η ανάλυση δεδομένων και η αυτοματοποίηση [23].

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της Python είναι η απλή σύνταξή της, το οποίο δίνει έμφαση στην αναγνωσιμότητα του κώδικα και ελαχιστοποιεί τη χρήση πολύπλοκων συμβόλων ή σημείων στίξης. Η φιλοσοφία σχεδιασμού της γλώσσας προωθεί εν κατακλείδι τη σαφήνεια, την απλότητα και τη συντηρησιμότητα του κώδικα. Η ευελιξία της Python, είναι ένας ακόμα λόγος για την ευρεία υιοθέτησή της. Υποστηρίζει πολλαπλά παραδείγματα προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένου του διαδικαστικού, του αντικειμενοστραφούς και του λειτουργικού προγραμματισμού. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει στους προγραμματιστές να επιλέγουν την καταλληλότερη προσέγγιση για τις συγκεκριμένες απαιτήσεις του έργου τους. Η Python προσφέρει επίσης μια τεράστια τυπική βιβλιοθήκη, παρέχοντας ένα ευρύ φάσμα ενοτήτων και πακέτων που διευκολύνουν τις συνήθεις εργασίες προγραμματισμού .

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της Python είναι το εκτεταμένο οικοσύστημα βιβλιοθηκών και πλαισίων τρίτων κατασκευαστών. Αυτές οι βιβλιοθήκες προσφέρουν εξειδικευμένη λειτουργικότητα και επιτρέπουν στους προγραμματιστές να δημιουργούν αποτελεσματικά πολύπλοκες εφαρμογές.

Στο πείραμα που διαδραματίσαμε κάναμε χρήση της βιβλιοθήκης GPIO. Η GPIO είναι μια βιβλιοθήκη Python που παρέχει τη δυνατότητα για την πρόσβαση και τον έλεγχο των διεπαφών εισόδου/εξόδου γενικού σκοπού ενός Raspberry Pi. Δίνει τη δυνατότητα στον προγραμματιστή να διαμορφώνει και να ελέγχει την κατάσταση των ακίδων GPIO προγραμματιστικά. Παρέχει συναρτήσεις για την ανάγνωση εισόδου από αισθητήρες, τον έλεγχο εξόδου σε ενεργοποιητές και τον χειρισμό της κατάστασης των ακίδων GPIO. Ακόμα, παρέχει μηχανισμούς για το χειρισμό διακοπών και τη διαχείριση των καταστάσεων των ακροδεκτών, επιτρέποντας αποτελεσματικές και ευέλικτες αλληλεπιδράσεις με εξωτερικές συσκευές. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία δια δραστικών έργων και την ενσωμάτωση του Raspberry Pi με διάφορα εξαρτήματα υλικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Η αυτόνομη οδήγηση οχημάτων, έχει φέρει επανάσταση στον κλάδο των μεταφορών και της βιομηχανίας, ανοίγοντας τον δρόμο για καινοτόμες λύσεις που ενισχύουν την αποτελεσματικότητα, την ασφάλεια και την ευκολία. Μεταξύ αυτών των εξελίξεων, τα αυτοοδηγούμενα αυτοκίνητα έχουν αναδειχθεί σε εξέχοντα τομέα έρευνας και ανάπτυξης. Τα οχήματα αυτά βασίζονται σε εξελιγμένους αλγορίθμους και αισθητήρες για την πλοήγηση στο περιβάλλον τους και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Στην επιδίωξη νέων μεθόδων χάραξης πορείας, η παρούσα πειραματική μελέτη επικεντρώνεται στην υλοποίηση ενός ρομποτικού αυτοκινούμενου αυτοκινήτου, εξοπλισμένο με αισθητήρες Hall προκειμένου να ακολουθεί μια μαγνητισμένη γραμμή.

Η δυνατότητα πλοήγησης σε μια προκαθορισμένη διαδρομή είναι ζωτικής σημασίας για τα αυτόνομα οχήματα, καθώς τους δίνει τη δυνατότητα να προσανατολίζονται σε πολύπλοκα περιβάλλοντα διασφαλίζοντας παράλληλα τη βέλτιστη ασφάλεια και απόδοση [6]. Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις συχνά περιλαμβάνουν τεχνικές όρασης υπολογιστή, όπου οι κάμερες καταγράφουν εικόνες του δρόμου και οι αλγόριθμοι αναλύουν αυτές τις εικόνες για να καθοδηγήσουν το όχημα. Αν και είναι αποτελεσματικές, αυτές οι μέθοδοι μπορεί να είναι ευαίσθητες σε αλλαγές στις συνθήκες φωτισμού, περιβαλλοντικούς παράγοντες και πολύπλοκα οπτικά σενάρια ενώ ταυτόχρονα είναι αρκετά ενεργοβόρες.

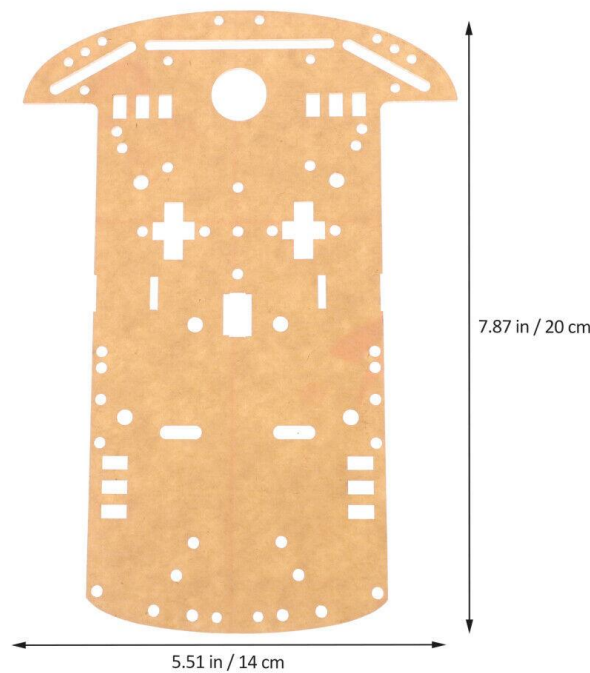
Αντίθετα, η χρήση αισθητήρων Hall στο πλαίσιο της αυτόνομης οδήγησης παρουσιάζει μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική. Οι αισθητήρες Hall είναι αισθητήρες μαγνητικού πεδίου που μπορούν να ανιχνεύσουν και να μετρήσουν την παρουσία και την ισχύ ενός μαγνητικού πεδίου. Με την ενσωμάτωση αισθητήρων Hall σε ένα αυτοοδηγούμενο αυτοκίνητο, το όχημα μπορεί να αξιοποιήσει τις μαγνητικές ιδιότητες μιας μαγνητισμένης γραμμής για να παρακολουθεί με ακρίβεια τη διαδρομή του. Αυτή η προσέγγιση προσφέρει πλεονεκτήματα έναντι των οπτικών αλγορίθμων, όπως ανεξαρτητοποίηση από και περιβαλλοντικούς παράγοντες και οπτικές δυσκολίες, καθιστώντας την μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική για εξερεύνηση στην έρευνα για την αυτόνομη οδήγηση.

3.2 Εξοπλισμός

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα συζητήσουμε τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διάταξη για την έρευνά. Πρέπει να σημειώσουμε τον καθοριστικό ρόλο του εξοπλισμού στην αποτελεσματική υλοποίηση και διεξαγωγή του πειράματος. Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια επισκόπηση των κύριων εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν.

3.2.1 Πλατφόρμα

Το πείραμα απαιτούσε μια κατάλληλη πλατφόρμα για τη συναρμολόγηση και την ενσωμάτωση όλων των εξαρτημάτων. Χρησιμοποιήσαμε μια στιβαρή ρομποτική πλατφόρμα ειδικά σχεδιασμένη για έργα μικρής κλίμακας. Η πλατφόρμα παρείχε μια σταθερή βάση για την τοποθέτηση του Raspberry Pi, της μονάδας συντονισμού των κινητήρων, των κινητήρων και των αισθητήρων. Ο σχεδιασμός της επέτρεπε την εύκολη προσαρμογή και επέκταση, καθιστώντας την ιδανική για το πείραμά μας.

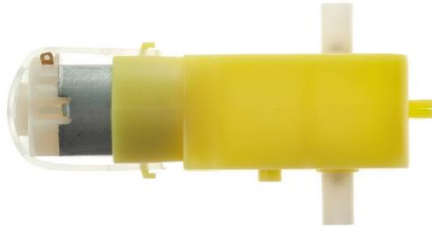


Εικόνα 6. Η πλατφόρμα πάνω στην οποία συναρμολογήσαμε το αμαξίδιο.

3.2.2 Κινητήρες συνεχούς τάσης

Για να επιτύχουμε την επιθυμητή κινητικότητα για το ρομποτικό μας αυτοκίνητο, χρησιμοποιήσαμε δύο μικρούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος με προσαρτημένα ελαστικά.

Αυτοί οι κινητήρες παρείχαν την απαραίτητη κίνηση για την κίνηση του αυτοκινήτου προς διάφορες κατευθύνσεις. Επιλέχθηκαν, με βάση τη συμβατότητα του μεγέθους τους, αναλογικά με τη κύρια πλατφόρμα του ρομποτικού αυτοκινήτου μας, καθώς και της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας που έχουν.

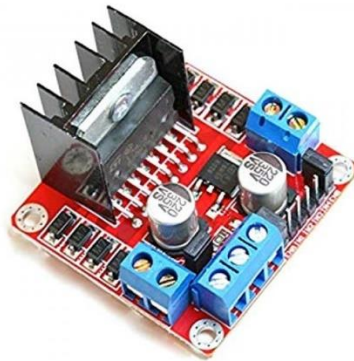


Εικόνα 7. Κινητήρας συνεχούς τάσης.

3.2.3 Μονάδα οδήγησης διπλού κινητήρα L298N

Το Dual Motor Driver Module L298N χρησίμευσε ως διεπαφή μεταξύ του Raspberry Pi και των κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Αυτή η μονάδα μας επέτρεψε να ελέγχουμε την ταχύτητα και την κατεύθυνση των κινητήρων χρησιμοποιώντας σήματα διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) από το Raspberry Pi. Παρείχε κύκλωμα Η-γέφυρας για να οδηγεί τους κινητήρες προς τα εμπρός, προς τα πίσω ή να τους απενεργοποιεί. Η μονάδα L298N ήταν εξαιρετικά αξιόπιστη και ικανή να διαχειριστεί τις απαιτήσεις ισχύος των κινητήρων συνεχούς ρεύματος που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμά μας. Τη δυνατότητα να αλλάζει κατεύθυνση το αμαξίδιο μας την πετύχαμε κουνώντας με αντίθετη φορά τους δύο κινητήρες. Συγκεκριμένα όταν θέλουμε το αμαξίδιο να εκτελεί αριστερή στροφή κάναμε τον αριστερό κινητήρα να στρέφεται προς τα πίσω, ενώ ταυτόχρονα ο δεξιός κινητήρας κινείτο προς τα εμπρός. Δίνοντας ακριβώς τις αντίθετες εντολές μπορεί και στρίβει το αμαξίδιο μας προς τα δεξιά.

Επιπλέον, πρέπει να σημειώσουμε, ότι οι δύο κινητήρες του πειράματος μας τροφοδοτούνταν από τέσσερις μπαταρίες τύπου AA. Τις τέσσερις μπαταρίες συνδέοντάς τις σε σειρά μας δίνανε συνολική τάση 6V. Αυτή η διάταξη παρείχε την απαιτούμενη τάση και ρεύμα για την αποτελεσματική κίνηση των κινητήρων.



Εικόνα 8. Μονάδα οδήγησης διπλού κινητήρα L298N

3.2.4 Raspberry Pi 4 Model B

Το Raspberry Pi 4 Model B ήταν η κεντρική μονάδα ελέγχου για το ρομποτικό μας αυτοκίνητο. Όπως αναφέραμε και στη ενότητα 2.4.4 πρόκειται για έναν υπολογιστή μιας πλακέτας που προσφέρει εξαιρετικές υπολογιστικές δυνατότητες και ένα ευρύ φάσμα επιλογών συνδεσιμότητας. Το Raspberry Pi παρείχε την απαραίτητη επεξεργαστική ισχύ για την εκτέλεση του αλγορίθμου για τη χάραξη πορείας καθώς πάνω σε αυτό πραγματοποιήθηκε η διασύνδεση της μονάδας οδήγησης κινητήρα και των αισθητήρων. Αυτή η σύνδεση πραγματοποιήθηκε με τις ακίδες GPIO (General Purpose Input Output). Επιπλέον πρέπει να αναφέρουμε ότι η δυνατότητα να προγραμματίσουμε το Raspberry Pi με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού της Python ήταν ένα από τα βασικούς λόγους επιλογής του συγκεκριμένου μικροελεκτή. Τα πλεονεκτήματα της Python αναλύθηκαν προηγουμένως στο θεωρητικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η αναλυτική συνδεσμολογία αναφέρεται στην επόμενη ενότητα.

Τη πλακέτα του Raspberry πρέπει να τονίσουμε ότι επιλέξαμε να τη τροφοδοτούμε μέσω ενός Power Bank. Η εναλλακτική μας επιλογή ήταν οι τέσσερις μπαταρίες AA που θεωρητικά θα μπορούσαν να τροφοδοτούν με αρκετή ισχύ το Raspberry, ωστόσο όμως οι κινητήρες όταν τροφοδοτούνται απευθείας από μπαταρίες, μπορούν να παράγουν αιχμές τάσης ή αντίστροφα ρεύματα κατά τη διάρκεια απότομων αλλαγών κατεύθυνσης ή πέδησης. Αυτές οι αιχμές τάσης ή τα ανάστροφα ρεύματα μπορούν ενδεχομένως να προκαλέσουν βλάβη ή να διαταράξουν τη λειτουργία του Raspberry Pi. Με την ύπαρξη ξεχωριστών τροφοδοτικών, μειώνεται ο κίνδυνος

τέτοιες αιχμές τάσης ή αντίστροφα ρεύματα, να φτάσουν στο Raspberry Pi, παρέχοντας ένα επιπρόσθετο επίπεδο ασφάλειας. Επιπλέον, ο διαχωρισμός των τροφοδοτικών επιτρέπει καλύτερο έλεγχο και διαχείριση της διανομής ισχύος.

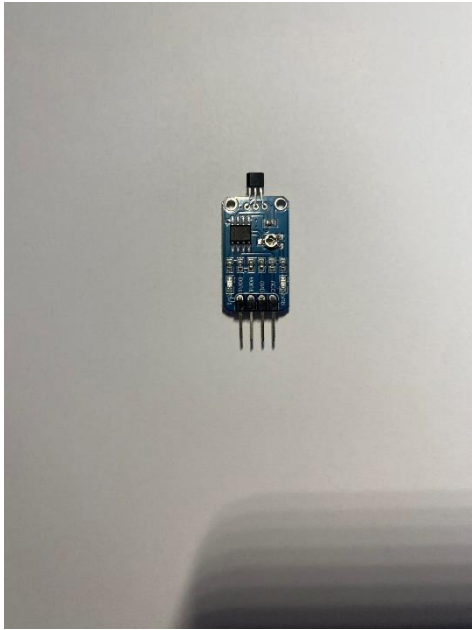


Εικόνα 9. Raspberry Pi 4 πειράματος

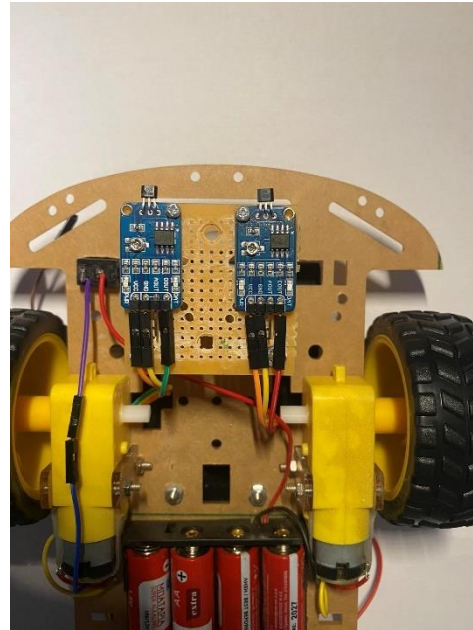
3.2.5 Αισθητήρες Hall

Οι αισθητήρες που προμηθευτήκαμε για το πείραμα φαίνονται και στην εικόνα 10. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες είχαν πάνω τους το κύκλωμα που φαίνεται στη προαναφερθείσα εικόνα. Η χρησιμότητα του συγκεκριμένου αισθητήρα καθώς και του κυκλώματός του είχε δυο μεγάλα πλεονεκτήματα. Το πρώτο ήταν ότι υπήρχε μέσω των διόδων η δυνατότητα ψηφιακού σήματος εξόδου. Το δεύτερο μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι διέθετε τον συγκριτή τάσης LM393 που επέτρεπε τη αναγνώριση πολύ μικρών μεταβολών στη τάση του αισθητήρα και επιπλέον μας έδινε τη δυνατότητα να αυξομειώσουμε και την ευαισθησία των αισθητήρων για να ταιριάζει στις απαιτήσεις του πειράματός μας.

Οι αισθητήρες φαινομένου Hall έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην ανίχνευση του μαγνητικού πεδίου. Χρησιμοποιήσαμε δύο αισθητήρες Hall, στρατηγικά τοποθετημένους κάτω από το ρομποτικό αυτοκίνητο για την ανίχνευση της μαγνητικής γραμμής και πεδίου που δημιουργείται από αυτές. Αυτοί οι αισθητήρες, παρήγαγαν μια έξοδο τάσης ανάλογη με την ένταση και την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου. Το Raspberry Pi διάβαζε τις εξόδους των αισθητήρων, μέσω των ακροδεκτών GPIO του, επιτρέποντάς μας να αξιοποιήσουμε τα



Εικόνα 10. Αισθητήρας Hall πειράματος.



Εικόνα 11. Διάταξη αισθητήρων στο αμαξίδιο

δεδομένα που μας παρείχαν οι αισθητήρες για να δώσουν την κατάλληλη κατεύθυνση στο αμαξίδιο.

3.3 Ηλεκτρολογική συνδεσμολογία

Σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε τη συνδεσμολογία του πειράματος μας. Το κύκλωμα περιλαμβάνει την ενσωμάτωση του Raspberry Pi, της μονάδας οδηγού κινητήρα L298N, των κινητήρων, των μπαταριών AA καθώς και της μπαταρίας με την οποία τροφοδοτούμε το Raspberry και τέλος τους αισθητήρες μαγνητικού πεδίου Hall.

Ξεκινώντας με τους κινητήρες, οι δύο μικροί κινητήρες συνεχούς ρεύματος συνδέονται με τη μονάδα οδήγησης L298N. Οι συνδέσεις των κινητήρων γίνονται στους κατάλληλους ακροδέκτες της μονάδας οδήγησης κινητήρα, εξασφαλίζοντας τη σωστή πολικότητα για κάθε κινητήρα.

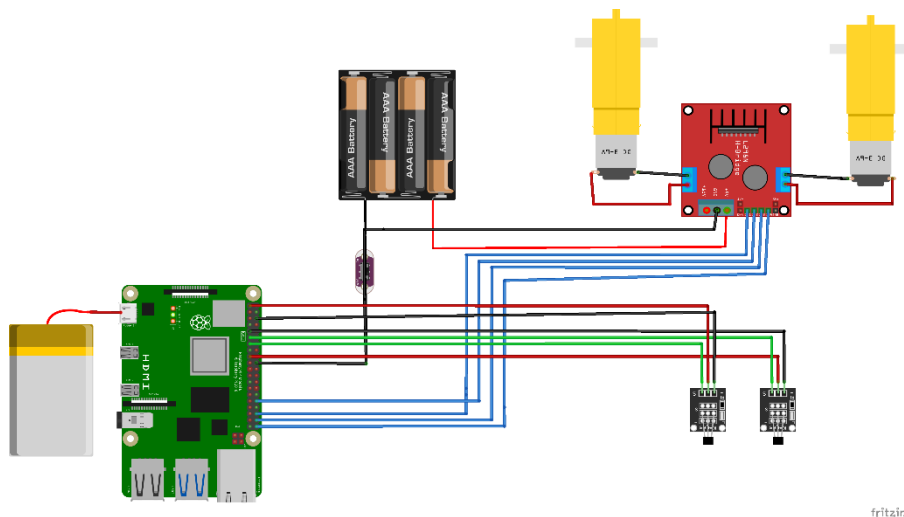
Στη συνέχεια, οι τέσσερις μπαταρίες, συνδεδεμένες σε σειρά για την αύξηση της τάσης, συνδέονται στους ακροδέκτες εισόδου ισχύος της μονάδας οδήγησης διπλού κινητήρα L298N. Αυτή η σύνδεση παρέχει την απαραίτητη τροφοδοσία ρεύματος για την οδήγηση των κινητήρων. Επιπλέον, ο ακροδέκτης γείωσης των μπαταριών συνδέεται με τον ακροδέκτη γείωσης της μονάδας οδήγησης κινητήρα, δημιουργώντας μια κοινή αναφορά γείωσης. Αυτή η σύνδεση εξασφαλίζει κοινή αναφορά γείωσης μεταξύ του Raspberry Pi και της μονάδας οδήγησης κινητήρα, διευκολύνοντας την ανταλλαγή σημάτων ελέγχου.

Για να δημιουργηθεί επικοινωνία και έλεγχος μεταξύ του Raspberry Pi και της μονάδας οδήγησης L298N, τέσσερις ακίδες εξόδου GPIO του Raspberry Pi (συγκεκριμένα οι ακίδες GPIO 19, 26, 20 και 21) συνδέονται με τις κατάλληλες ακίδες εισόδου της μονάδας οδήγησης κινητήρα. Αυτές οι ακίδες GPIO επιτρέπουν στο Raspberry Pi να στέλνει σήματα ελέγχου, όπως σήματα PWM, στη μονάδα οδήγησης κινητήρα, ελέγχοντας έτσι την ταχύτητα και την κατεύθυνση των συνδεδεμένων κινητήρων. Αυτή η σύνδεση εξασφαλίζει κοινή αναφορά γείωσης μεταξύ του Raspberry Pi και της μονάδας οδήγησης κινητήρα, διευκολύνοντας την ανταλλαγή σημάτων ελέγχου.

Περνώντας στην τροφοδοσία ρεύματος για το Raspberry Pi, συνδέεται με ένα power bank για να παρέχει μια σταθερή πηγή ενέργειας. Το Power Bank παρέχει ρεύμα στο Raspberry Pi μέσω της κατάλληλης θύρας εισόδου ρεύματος (Type-C), εξασφαλίζοντας την αξιόπιστη λειτουργία του Raspberry Pi καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Οι αισθητήρες μαγνητικού πεδίου Hall συνδέονται με τις ακίδες GPIO του Raspberry Pi. Συγκεκριμένα, ο αριστερός αισθητήρας Hall συνδέεται στο GPIO 17 και ο δεξιός αισθητήρας στο GPIO 27. Επιπλέον, οι αισθητήρες Hall απαιτούν μια τροφοδοσία ρεύματος και μια σύνδεση γείωσης. Η τροφοδοσία ρεύματος για τους αισθητήρες Hall παρέχεται από τον ακροδέκτη GPIO 3V του Raspberry Pi, ενώ η σύνδεση γείωσης πραγματοποιείται με τον ακροδέκτη γείωσης του Raspberry Pi. Αυτή η ρύθμιση επιτρέπει στο Raspberry Pi να διαβάζει με ακρίβεια τις εξόδους των αισθητήρων Hall και να εξαγάγει τα απαραίτητα δεδομένα που σχετίζονται με το μαγνητικό πεδίο.

Συνοπτικά, η ρύθμιση του κυκλώματος περιλαμβάνει τη σύνδεση των κινητήρων στη μονάδα οδήγησης διπλού κινητήρα L298N, τη σύνδεση των μπαταριών για την τροφοδοσία των κινητήρων, την εγκαθίδρυση επικοινωνίας μεταξύ του Raspberry Pi και της μονάδας οδήγησης κινητήρα μέσω ακίδων GPIO, την παροχή ρεύματος στο Raspberry Pi χρησιμοποιώντας ένα Power Bank και τη σύνδεση των αισθητήρων Hall στις κατάλληλες ακίδες GPIO του Raspberry Pi, μαζί με τις συνδέσεις τροφοδοσίας και γείωσης. Αυτή η διαμόρφωση επιτρέπει την επιτυχή ενσωμάτωση και λειτουργία των διαφόρων εξαρτημάτων του πειράματος και φαίνεται και στο σχήμα 18.



Σχήμα 18. Η συνδεσμολογία του πειράματός μας.

3.4 Μαγνητική διαδρομή

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα εξερευνήσουμε τη μαγνητική ταινία νεοδυμίου που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμά μας. Η μαγνητική ταινία έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία της γραμμής μαγνητικού πεδίου που ακολούθησε το ρομποτικό μας αυτοκίνητο. Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια επισκόπηση των χαρακτηριστικών της ταινίας, των διαστάσεων και της σημασίας της για την επίτευξη της επιθυμητής λειτουργικότητας του πειράματός μας.

Η μαγνητική ταινία που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμά μας επιλέχθηκε ειδικά για τις ισχυρές μαγνητικές της ιδιότητες και την ευελιξία της. Το νεοδύμιο είναι ένα στοιχείο σπάνιων γαιών γνωστό για την εξαιρετική μαγνητική του δύναμη, γεγονός που το καθιστά ιδανική επιλογή για τη δημιουργία μαγνητικών πεδίων. Η μαγνητική ταινία νεοδυμίου διαθέτει αρκετά πλεονεκτικά χαρακτηριστικά που την καθιστούσαν κατάλληλη για το πείραμά μας.

Συγκεκριμένα, οι μαγνήτες νεοδυμίου είναι γνωστοί για την αξιοσημείωτη μαγνητική τους δύναμη. Η μαγνητική ταινία, χρησιμοποιώντας νεοδύμιο, παρείχε ένα ισχυρό και καλά καθορισμένο μαγνητικό πεδίο που μπορούσε να ανιχνευθεί από τους αισθητήρες Hall. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί, ότι όπως φαίνεται και στην εικόνα 10 για να δημιουργηθεί αυτό το ισχυρό πεδίο η ταινία έχει στο εσωτερικό της παράλληλες μαγνητικές γραμμές, όπου φέρουν μαγνητικό πεδίο διαφορετικής πολικότητας εναλλάξ. Παράλληλα ο αισθητήρας μπορεί και αντιλαμβάνεται προς μια κατεύθυνση μόνο το πεδίο θετικής πολικότητας. Το αποτέλεσμα ήταν, να δίνει υψηλό σήμα όχι αμέσως με το που ερχόταν πάνω από το πεδίο, αλλά 1mm πιο

μέσα. Αυτό πρέπει να πούμε ότι δεν δημιούργησε κάποιο πρόβλημα κατά την χάραξη πορείας και δεν παρεμπόδισε την ακριβή παρακολούθηση της γραμμής του μαγνητικού πεδίου.



Εικόνα 10. Οι μαγνητικές γραμμές που χαρακτηρίζουν τη μαγνητική ταινία οι οποίες φέρουν διαφορετική πολικότητα διαδοχικά

Η ταινία είχε ορθογώνιο σχήμα με διαστάσεις $6 \times 1,5 \text{mm}$ και επιπροσθέτως στη μια πλευρά της φέρει αυτοκόλλητη ταινία (εικόνα 11). Οι διαστάσεις επιλέχθηκαν για να εξασφαλιστεί η συμβατότητα με το σχεδιασμό και τις απαιτήσεις του ρομποτικού μας αυτοκινήτου. Η λεπτή μορφή της ταινίας μας έδωσε τη δυνατότητα να πλησιάσουμε του αισθητήρες αρκετά κοντά προκειμένου να μπορούν να αναγνωρίσουν το μαγνητικό πεδίο και ταυτόχρονα να μην επηρεάζει τη πορεία του πίσω ελεύθερου τροχού του ρομποτικού αμαξιδίου. Η απόσταση μεταξύ των μαγνητών και των αισθητήρων σχεδιάστηκε να είναι 1mm.



Εικόνα 11. Η μαγνητική ταινία του πειράματος.

Επιπλέον, πρέπει να σημειώσουμε, ότι δεν επέτρεπε η δομή της μαγνητικής ταινίας απότομες στροφές, συνεπώς, για να δοκιμάσουμε τη δυνατότητα πλοήγησης ακόμα και σε απότομες στροφές χρειάστηκε να κόψουμε την ταινία σε επιμέρους κομμάτια εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε ακόμα πιο σύνθετες διαδρομές. Η μαγνητική ταινία νεοδυμίου εφαρμόστηκε επομένως στην πειραματική επιφάνεια με τυχαίο μοτίβο.

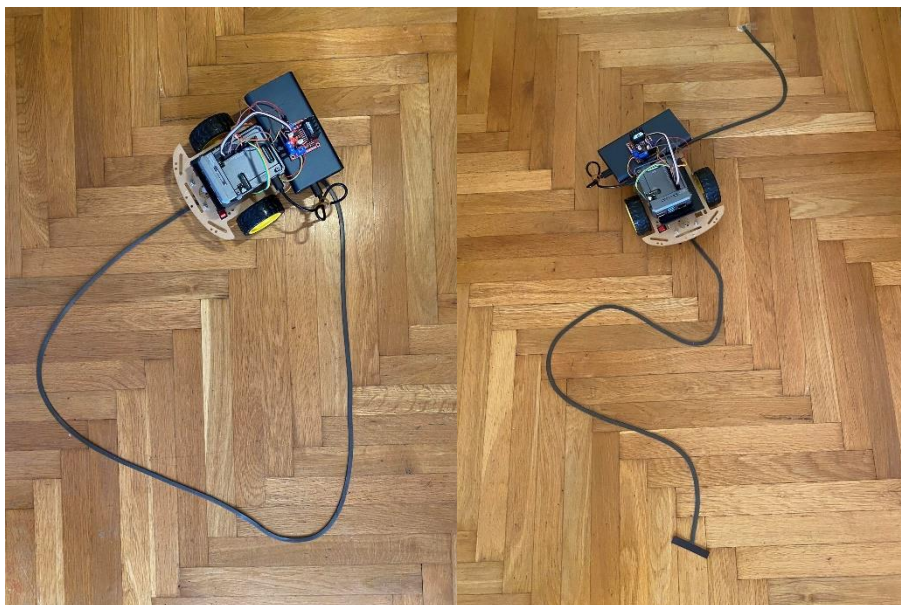
3.5 Πειραματική Διάταξη

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες του πειράματος που διεξήχθη για να επικυρωθεί η λειτουργικότητα του ρομποτικού αυτοκινήτου κατά την παρακολούθηση μιας γραμμής μαγνητικού πεδίου. Θα περιγράψουμε την εγκατάσταση του αυτοκινήτου, την τοποθέτηση των αισθητήρων, τη διαδικασία ανίχνευσης και απόκρισης στο μαγνητικό πεδίο και τη ρύθμιση της ταχύτητας για το συγχρονισμό με το πρόγραμμα.

Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει ένα τρίτροχο ρομποτικό αυτοκίνητο ως πλατφόρμα για το πείραμά μας. Το αυτοκίνητο ήταν εξοπλισμένο με δύο κινητήρες, έναν για τον αριστερό τροχό και έναν για τον δεξιό τροχό, που του επιτρέπουν να κινείται προς τα εμπρός, προς τα πίσω και να στρίβει. Οι διαστάσεις και οι προδιαγραφές του αυτοκινήτου επιλέχθηκαν προσεκτικά, για να διασφαλιστεί η σταθερότητα, η ευελιξία και η συμβατότητα με την τοποθέτηση αισθητήρων και το σύστημα ελέγχου.

Στο μπροστινό μέρος του αυτοκινήτου, τοποθετημένοι σε απόσταση 1,5mm από το έδαφος και περίπου 3cm μεταξύ τους, τοποθετήσαμε τους αισθητήρες Hall. Αυτοί οι αισθητήρες ήταν υπεύθυνοι για την ανίχνευση της παρουσίας του μαγνητικού πεδίου και αυτό μας οδήγησε να τους τοποθετήσουμε τόσο κοντά στο έδαφος. Επίσης στο κάτω μέρος του αμαξιδίου τοποθετήσαμε τις 4εις AA μπαταρίες που τροφοδοτούν τους κινητήρες. Στο πάνω μέρος τοποθετήσαμε τη μπαταρία που τροφοδοτεί το Raspberry, καθώς και τη μονάδα ελέγχου των κινητήρων.

Η μαγνητική ταινία που χρησιμοποιήσαμε διέθετε στη πίσω μεριά κολλώδη επιφάνεια και χάρη αυτού του χαρακτηριστικού, μπορούσε να παραμείνει ακίνητη κατά τη διέλευση του

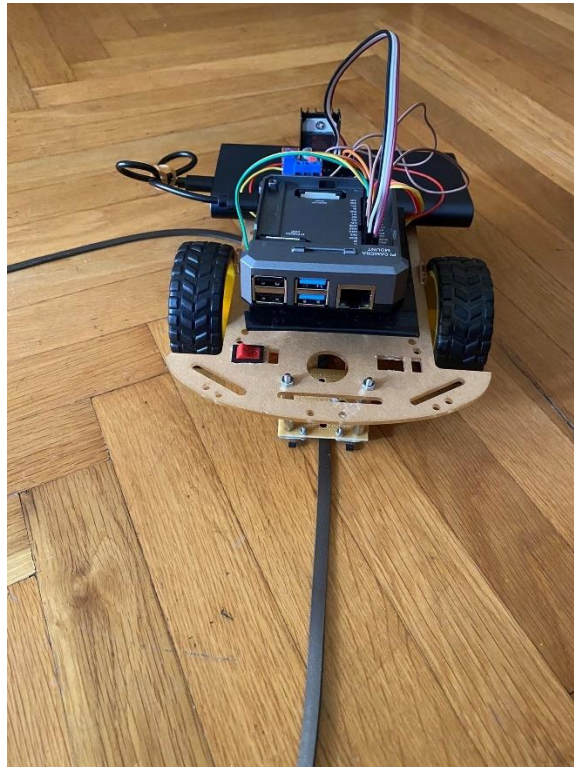


Εικόνα 12. Πειραματικές διαδρομές.

αυτοκινήτου από πάνω της . Η τοποθέτηση της μαγνητικής ταινίας μπορεί να φανεί και στην εικόνα 12, καθώς επίσης και η δημιουργία τυχαίων διαδρομών.

Σε ότι αφορά τον αλγόριθμο που ακολουθήσαμε ήταν αρκετά απλή η λογική του. Και οι δύο κινητήρες περιστρέφονται με βάση το σήμα που λαμβάνεται από τον αριστερό και τον δεξιό αισθητήρα αντίστοιχα. Το ρομποτικό αμαξίδιο μπορεί να πραγματοποιήσει τέσσερις κινήσεις οι οποίες είναι κίνηση προς τα εμπρός, στροφή αριστερά, στροφή δεξιά και στάση. Προκειμένου να κινηθεί ευθεία το αμαξίδιο πρέπει και ο δεξιός και ο αριστερός αισθητήρας να μην εντοπίζουν μαγνητικό πεδίο. Σε αυτή τη περίπτωση συνεπάγεται, ότι η μαγνητική ταινία είναι ευθυγραμμισμένη με τη πορεία του αμαξιδίου. Επομένως οι δύο κινητήρες, θα πρέπει να περιστρέφονται έτσι ώστε το ρομπότ να κινείται προς τα εμπρός (στην πραγματικότητα και οι δύο κινητήρες θα πρέπει να περιστρέφονται προς την αντίθετη κατεύθυνση, λόγω της τοποθέτησης των κινητήρων στη διάταξή μας. Για λόγους απλότητας, θα ονομάσουμε τους κινητήρες περιστρεφόμενους προς τα εμπρός). Στη περίπτωση που ο αριστερός αισθητήρας βρίσκεται πάνω από το μαγνητικό πεδίο και ο δεξιός αισθητήρας δεν εντοπίζει κάποιο μαγνητικό πεδίο πρέπει να πραγματοποιηθεί αριστερή στροφή. Για την αριστερή στροφή πρέπει ο αριστερός κινητήρας να πραγματοποιήσει περιστροφή προς τα πίσω και ο δεξιός κινητήρας να κάνει περιστροφή προς τα εμπρός. Παρόμοια είναι η αντίδραση του αμαξιδίου όταν ο δεξιός αισθητήρας εντοπίζει μαγνητικό πεδίο σε αντίθεση με τον αριστερό που δεν εντοπίζει. Πρέπει να πραγματοποιηθεί δεξιά στροφή κινώντας τον δεξιό κινητήρα προς τα πίσω και τον αριστερό προς τα εμπρός. Για να πραγματοποιήσει στάση το αμαξίδιο πρέπει και οι δύο αισθητήρες να εντοπίζουν ταυτόχρονα μαγνητικό πεδίο και για αυτό το λόγο αν

θέλουμε η διαδρομή να τερματίζει πρέπει να τοποθετήσουμε κάθετα μια μαγνητική ταινία στο τέλος της διαδρομής.



Εικόνα 13. Πειραματική διάταξη αυτοκινήτου και διαδρομής.

Συνοψίζοντας τα βήματα που ακολουθήσαμε για την διεξαγωγή των πειραμάτων είναι τα εξής:

Βήμα 1: Προετοιμασία εκκίνησης

Αρχικά ενεργοποιούμε το Raspberry Pi συνδέοντας το με το Power Bank και πατάμε και το διακόπτη ώστε να τροφοδοτούνται και οι κινητήρες του αμαξιτίου. Παράλληλα ελέγχουμε ότι οι αισθητήρες λειτουργούν σωστά και εντοπίζουν το μαγνητικό πεδίο που προέρχεται από τη μαγνητική ταινία. Στη συνέχεια ξεκινάει το πρόγραμμα που έχουμε βάλει να ξεκινάει λίγα δευτερόλεπτα από την έναρξη του Raspberry Pi.

Βήμα 2: Ανίχνευση μαγνητικού πεδίου

Σε αυτό το βήμα, καθώς το αυτοκίνητο κινείται προς τα εμπρός, οι αισθητήρες Hall παρακολουθούν την ύπαρξη, η μη, μαγνητικού πεδίου. Η υπόδειξη ότι το αυτοκίνητο έχει παρεκκλίνει της επιθυμητής πορείας, είναι, όταν ένας από τους δύο αισθητήρες ανιχνεύσει

μαγνητικό πεδίο . Σε απάντηση, ο αλγόριθμος ελέγχου εκτελεί τη διορθωτική ενέργεια, για να στρίψει το αυτοκίνητο προς τη κατάλληλη κατεύθυνση, προκειμένου να ευθυγραμμιστεί ξανά με τη μαγνητική γραμμή και να παραμείνει στη πορεία του.

Βήμα 3: Προσαρμογή ταχύτητας

Σε αυτό το βήμα αφού παρατηρούμε εάν το αμαξίδιο αποκλίνει της πορείας του προσαρμόζουμε τη ταχύτητα του. Με αυτό το τρόπο εξασφαλίζουμε ότι το αμαξίδιο δε θα αποκλίνει από τη πορεία του προσπερνώντας το μαγνητικό πεδίο χωρίς να αντιδράσει.

Βήμα 4: Πορεία και τερματισμός

Στο βήμα αυτό, το αυτοκίνητο ακολουθεί τη γραμμή του μαγνητικού πεδίου, επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία ανίχνευσης αισθητήρων και διορθωτικών ενεργειών, μέχρι να ικανοποιηθεί μια καθορισμένη συνθήκη τερματισμού. Η συνθήκη τερματισμού, θα μπορούσε να είναι η κάθετα τοποθετημένη επί της διαδρομής μαγνητική ταινία.

3.6 Προκλήσεις του πειράματος

Το πείραμα της ανάπτυξης ενός αυτοκινούμενου αυτοκινήτου για πλοήγηση με βάση το μαγνητικό πεδίο με τη χρήση αισθητήρων επίδρασης Hall, δεν ήταν χωρίς προκλήσεις. Κατά τη διάρκεια του πειράματος αντιμετωπίστηκαν διάφορες βασικές προκλήσεις, οι οποίες απαιτούσαν προσεκτική εξέταση και επίλυση.

Η πρώτη πρόκληση που αντιμετωπίσαμε ήταν σχετικά με την ακρίβεια των αισθητήρων. Η διασφάλιση της ακρίβειας των αισθητήρων Hall ήταν ζωτικής σημασίας για την αξιόπιστη ανίχνευση του μαγνητικού πεδίου. Η προσαρμογή των αισθητήρων ώστε να παρέχουν συνεπείς και ακριβείς ενδείξεις αποτελούσε σημαντική πρόκληση. Καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι πρέπει να βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση, καθώς το μαγνητικό πεδίο της ταινίας είναι αρκετά ασθενές σε σύγκριση με άλλους μαγνήτες. Μη ξεχνάμε ότι αυτός είναι και ο λόγος που περιέχει επιμέρους γραμμές αντίθετης πολικότητας. Η κατασκευή μιας μικρότερης πλατφόρμας με σκοπό τη στήριξη των αισθητήρων ήταν καθοριστική και μας βοήθησε να ξεπεράσουμε το πρόβλημα της ενεργοποίησης των αισθητήρων. Επιπλέον ο καθορισμός της βέλτιστης τοποθέτησης και απόστασης των αισθητήρων Hall από τη γραμμή του μαγνητικού πεδίου απαιτούσε προσεκτική εξέταση. Η εύρεση της σωστής ισορροπίας

μεταξύ της εγγύτητας για ακριβή ανίχνευση και της απόστασης για την αποφυγή παρεμβολών και λανθασμένων ενδείξεων ήταν μια πρόκληση που απαιτούσε πολλαπλές δοκιμές και προσαρμογές.

Στη συνέχεια ενδιαφέρουσα πρόκληση αποτέλεσε και ο σχεδιασμός του αλγορίθμου ελέγχου. Η συνεχόμενη και σε πραγματικό χρόνο λήψη δεδομένων από τους αισθητήρες σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη αποστολή εντολών στους κινητήρες, οδηγούσε αρκετές φορές στην αλλαγή της κατάστασης του αισθητήρα μη δίνοντας όμως χρόνο στον αλγόριθμο να το επεξεργαστεί. Προκειμένου να προσπεράσουμε αυτή τη δυσκολία πειραματιστήκαμε με την ταχύτητα τόσο του αυτοκινήτου όσο και του ελέγχου των αισθητήρων. Μετά από αρκετές δοκιμές βρήκαμε την τέλεια ισορροπία ώστε να μην προλαβαίνει το αμαξίδιο να προσπεράσει τη μαγνητική ταινία χωρίς να προλάβει να προβεί σε διορθωτικές κινήσεις.

Τέλος μια επιπλέον δυσκολία που κληθήκαμε να αντιμετωπίσουμε ήταν αυτή του βάρους του ρομποτικού αμαξιδίου. Το μεγαλύτερο βάρος το είχε αρχικά η μπαταρία (Power Bank) του Raspberry Pi 4. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα οι κινητήρες, λόγω της μικρής ταχύτητάς τους να μην δίνουνε αρκετή ενέργεια ώστε η ρόδα ελεύθερης κίνησης να μπορεί να ανέβει στη μαγνητική ταινία. Το αποτέλεσμα ήταν να εμποδίζει τις διορθωτικές κινήσεις και να καταλήγει σε έναν βρόγχο χωρίς δυνατότητα διαφυγής. Η αλλαγή του αρχικού power bank με ένα μικρότερου μεγέθους και αισθητά ελαφρύτερου μας βοήθησε να ξεπεράσουμε αυτό το πρόβλημα. Επιπρόσθετα, μια εναλλακτική λύση θα ήταν η ενσωμάτωση δύο ακόμα κινητήρων, προκειμένου να μην εμπλέκεται καθόλου η μαγνητική ταινία με την κίνηση του αμαξιδίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Μέσα από τον σχεδιασμό, τη μελέτη και την υλοποίηση του πειράματος προέκυψαν αρκετά αξιοσημείωτα συμπεράσματα. Αρχικά η επιτυχής κατασκευή ενός αυτοκινούμενου αυτοκινήτου που είναι σε θέση να ακολουθεί μια γραμμή μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιώντας αισθητήρες Hall αποδείχθηκε ότι είναι εφικτή. Μέσω της υλοποίησης και μετά από αρκετές δοκιμές, οι στόχοι του έργου επιτεύχθηκαν, επικυρώνοντας τη σκοπιμότητα του προτεινόμενου συστήματος. Η ενσωμάτωση των επιμέρους στοιχείων του ρομποτικού αυτοκινήτου, των αλγορίθμων ελέγχου και των αισθητήρων επέτρεψε την αυτόνομη πλοήγηση κατά μήκος της προκαθορισμένης γραμμής μαγνητικού πεδίου. Τα πειραματικά αποτελέσματα κατέδειξαν την αποτελεσματικότητα της εφαρμοσμένης λύσης. Το ρομποτικό αυτοκίνητο παρουσίασε αξιόπιστη ανίχνευση της μαγνητικής γραμμής σε πραγματικό χρόνο και αξιοπιστία στις διορθωτικές κινήσεις. Ακολούθησε με συνέπεια την επιθυμητή διαδρομή και κατέδειξε τις δυνατότητες πλοήγησης με βάση το μαγνητικό πεδίο. Η αξιόπιστη ανίχνευση μαγνητικού πεδίου από τους αισθητήρες Hall, επιτρέπει στο ρομποτικό αυτοκίνητο να ακολουθεί με ακρίβεια την επιθυμητή διαδρομή και να μην αποκλίνει από αυτή.

Επιπλέον το Raspberry Pi 4 χρησίμευσε ως μονάδα ελέγχου για το αυτοκινούμενο αυτοκίνητο. Η υπολογιστική του ισχύς, οι διεπαφές GPIO και η συμβατότητα με διάφορες βιβλιοθήκες λογισμικού διευκόλυναν την ενσωμάτωση της επεξεργασίας δεδομένων από τους δύο αισθητήρες Hall, των αλγορίθμων λήψης αποφάσεων και του ελέγχου του κινητήρα.

Ο αλγόριθμος ελέγχου που υλοποιήθηκε στο Raspberry Pi παρείχε ανάλυση των δεδομένων των αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο διευκολύνοντας με αυτό το τρόπο την άμεση λήψη και εκτέλεση των διορθωτικών κινήσεων. Η ικανότητα του αυτοκινήτου να προσαρμόζει την πορεία του με βάση την ανατροφοδότηση των αισθητήρων κατέδειξε την αποτελεσματικότητα του συστήματος ελέγχου στη διατήρηση της ακριβούς ευθυγράμμισης με τη γραμμή του μαγνητικού πεδίου.

Το πείραμα αναδεικνύει τις δυνατότητες αυτόνομης πλοήγησης με χρήση καθοδήγησης μαγνητικού πεδίου. Μια τέτοια τεχνολογία μπορεί να βρει εφαρμογές στις βιομηχανίες ρομποτικής και αυτοματισμού, στον αυτοματοποιημένο εφοδιασμό αποθηκών, σε συστήματα μεταφορών και σε ότι αφορά την πλοήγηση σε επικίνδυνα περιβάλλοντα. Λαμβάνοντας

υπόψιν και άλλες ιδιότητες του μαγνητισμού όπως τη δυνατότητα ασύρματης φόρτισης θα μπορούσε μελλοντικά να αποτελέσει και κύρια μέθοδο χάραξης πορείας σε μεγάλους αυτοκινητόδρομους.

Συμπερασματικά, η παρούσα διπλωματική εργασία αποδεικνύει με επιτυχία τη δημιουργία ενός ρομποτικού αυτοκινούμενου αυτοκινήτου που ακολουθεί μια μαγνητική γραμμή χρησιμοποιώντας το Raspberry Pi 4, ένα ρομποτικό αυτοκίνητο και 2 αισθητήρες Hall. Τα αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν επικυρώνουν τη σκοπιμότητα της πλοήγησης με βάση το μαγνητικό πεδίο και θέτουν τις βάσεις για περαιτέρω εξελίξεις στην τεχνολογία αυτόνομων οχημάτων.

4.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις

Σαν εξέλιξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα μπορούσε να είναι η βελτίωση του αλγορίθμου ελέγχου. Με την τοποθέτηση επιπλέον αισθητήρων στο αμαξίδιο αλλά και μαγνητών παράλληλα της διαδρομής, θα μπορούσε να καθορίζεται η ταχύτητα του ρομποτικού αυτοκινήτου σε πραγματικό χρόνο. Τοποθετώντας μαγνήτες ,εκτός μαγνητικής γραμμής, μπορούμε να ειδοποιούμε το αμαξίδιο για επικείμενη απότομη στροφή, ώστε να ελαττώσει ταχύτητα, η ακόμα για επερχόμενη ευθεία, ώστε να μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα του χωρίς να είναι επικίνδυνο να αποκλίνει της πορείας του.

Θα μπορούσε επιπλέον να μελετηθεί η δυνατότητα δημιουργίας ενός δικτύου μαγνητικών διαδρομών. Το δίκτυο αυτό θα μπορούσε να συνεισφέρει τόσο στην χάραξη πορείας των αυτοκινήτων, όσο και στην ταυτόχρονη φόρτιση τους μέσω μαγνητικής επαγωγής μιας τεχνολογίας. Η διενέργεια εκτεταμένων δοκιμών και πειραμάτων σε πραγματικές συνθήκες, όπως σε αστικά ή υπαίθρια περιβάλλοντα, μπορεί να επικυρώσει τις επιδόσεις, την ανθεκτικότητα και την επεκτασιμότητα του συστήματος. Η αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με τις ποικίλες μαγνητικές παρεμβολές, τα πολυσύχναστα περιβάλλοντα και τις απρόβλεπτες συνθήκες, είναι απαραίτητη για την πρακτική ανάπτυξη.

Με την αντιμετώπιση αυτών των μελλοντικών ερευνητικών κατευθύνσεων, ο τομέας των συστημάτων πλοήγησης με βάση το μαγνητικό πεδίο για αυτοκινούμενα αυτοκίνητα μπορεί να εξελιχθεί, οδηγώντας σε πιο προηγμένα και αξιόπιστα αυτόνομα οχήματα ικανά να πλοηγούνται σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στη παρούσα ενότητα θα παραθέσουμε τον κώδικα που γράψαμε για τη παρούσα διπλωματική εργασία.

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import signal
import sys

# Set up GPIO pins for hall sensors
hall_sensor_right = 17
hall_sensor_left = 27

# Set up GPIO pins for motors
left_wheel_pin1 = 19
left_wheel_pin2 = 26
right_wheel_pin3 = 20
right_wheel_pin4 = 21
enA = 5
enB = 6

# We define each specific move that the robot car can perform
def forward():
    print("Moving forward")
    GPIO.output([left_wheel_pin2, right_wheel_pin3], GPIO.LOW)
    GPIO.output([left_wheel_pin1, right_wheel_pin4], GPIO.HIGH)
    time.sleep(0.07)
    GPIO.output([left_wheel_pin1, right_wheel_pin4], GPIO.LOW)

def right():
    print("Turning left")
    GPIO.output([left_wheel_pin1, right_wheel_pin3], GPIO.LOW)
    GPIO.output([right_wheel_pin4, left_wheel_pin2], GPIO.HIGH)
```

```

time.sleep(0.07)
GPIO.output([right_wheel_pin4, left_wheel_pin2], GPIO.LOW)

def left():
    print("Turning right")
    GPIO.output([right_wheel_pin4, left_wheel_pin2], GPIO.LOW)
    GPIO.output([left_wheel_pin1, right_wheel_pin3], GPIO.HIGH)
    time.sleep(0.07)
    GPIO.output([left_wheel_pin1, right_wheel_pin3], GPIO.LOW)

def stop():
    print("stopping")
    GPIO.output([right_wheel_pin4, left_wheel_pin2, left_wheel_pin1, right_wheel_pin3],
GPIO.LOW)
# If we want to terminate the program we have to clear the GPIO
def signal_handler(sig, frame):
    GPIO.cleanup()
    sys.exit(0)

if __name__ == '__main__':
    # Setting up the GPIO
    GPIO.setmode(GPIO.BCM)
    GPIO.setup(hall_sensor_left, GPIO.IN) # Hall sensor left
    GPIO.setup(hall_sensor_right, GPIO.IN) # Hall sensor right

    GPIO.setup([left_wheel_pin1,
                left_wheel_pin2,
                right_wheel_pin3,
                right_wheel_pin4], GPIO.OUT) # Left and Right motors

GPIO.setup([enA, enB], GPIO.OUT)

```

```

#setting up the speed of the left and right motor
p = GPIO.PWM(enA,1000)
p.start(60)
p = GPIO.PWM(enB,1000)
p.start(60)

signal.signal(signal.SIGINT, signal_handler)

#Start the programm
while True:
    #time.sleep(0.1)
    if(GPIO.input(hall_sensor_left) == GPIO.HIGH and GPIO.input(hall_sensor_right) ==
GPIO.HIGH):
        forward()
    elif(GPIO.input(hall_sensor_left) == GPIO.LOW and GPIO.input(hall_sensor_right) ==
GPIO.HIGH):
        left()
    elif(GPIO.input(hall_sensor_left) == GPIO.HIGH and GPIO.input(hall_sensor_right) ==
GPIO.LOW):
        right()
    else:
        stop()

signal.pause()

```


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΙΩΑΝΝΗΣ, Τ.Α. and Π.Α. ΙΩΑΝΝΗΣ, *ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ (ΠΡΩΤΟΣ ΤΟΜΟΣ)*. 2015: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
2. Purcell, E.M., *Electricity and magnetism*. Berkeley physics course, 1963.
3. ΙΩΑΝΝΗΣ, Τ.Α. and Π.Α. ΙΩΑΝΝΗΣ, *ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ (ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΟΜΟΣ)*. 2015.
4. Παπαϊωάννου, Δ., *Σχεδίαση διάταξης τύπου Halbach για την παραγωγή μαγνητικού πεδίου*. 2011.
5. Litman, T., *Autonomous vehicle implementation predictions: Implications for transport planning*. 2020.
6. Fagnant, D.J. and K. Kockelman, *Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2015. **77**: p. 167-181.
7. Ghelichi, Z. and S. Kilaru, *Analytical models for collaborative autonomous mobile robot solutions in fulfillment centers*. Applied Mathematical Modelling, 2021. **91**: p. 438-457.
8. Stoma, M., et al., *The future of autonomous vehicles in the opinion of automotive market users*. Energies, 2021. **14**(16): p. 4777.
9. Rashed, H., et al. *Generalized object detection on fisheye cameras for autonomous driving: Dataset, representations and baseline*. in *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision*. 2021.
10. Li, Y. and J. Ibanez-Guzman, *Lidar for autonomous driving: The principles, challenges, and trends for automotive lidar and perception systems*. IEEE Signal Processing Magazine, 2020. **37**(4): p. 50-61.

11. Borenstein, J. and Y. Koren, *Obstacle avoidance with ultrasonic sensors*. IEEE Journal on Robotics and Automation, 1988. **4**(2): p. 213-218.
12. Karplus, R. and J. Luttinger, *Hall effect in ferromagnetics*. Physical Review, 1954. **95**(5): p. 1154.
13. Ramsden, E., *Hall-effect sensors: theory and application*. 2011: Elsevier.
14. Paun, M.-A., J.-M. Sallese, and M. Kayal, *Hall effect sensors design, integration and behavior analysis*. Journal of Sensor and Actuator Networks, 2013. **2**(1): p. 85-97.
15. Waveshare, *Hall Sensor User Manual*.
16. Limited, B.S.M., *LINEAR HALL-EFFECT IC 2008*.
17. Arar, D.S. *Hall Effect Magnetic Design: Head-on and Slide-by Configurations*. 2021.
18. Swagatam, L.S., *Types, Working Principle of Hall Effect Ics*. Bright Hub Inc,
19. Upton, E. and G. Halfacree, *Raspberry Pi user guide*. 2016: John Wiley & Sons.
20. Goodacre, J. and A.N. Sloss, *Parallelism and the ARM instruction set architecture*. Computer, 2005. **38**(7): p. 42-50.
21. Foundation, R.P. *Raspberry Pi 4 Model B*.
22. Lin, I., B. Jeff, and I. Rickard. *ARM platform for performance and power efficiency—Hardware and software perspectives*. in *2016 International Symposium on VLSI Design, Automation and Test (VLSI-DAT)*. 2016. IEEE.
23. Sanner, M.F., *Python: a programming language for software integration and development*. J Mol Graph Model, 1999.