



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

**ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Ε. Δοϊτσίδης

Επίκουρος Καθηγητής

υπό

Λώλη Μαριάνθη ΑΜ: 3616

Χανιά, 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ευκαιρία της συγγραφής της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν στην αποπεράτωσή της. Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την ψυχολογική υποστήριξη όλο αυτό το διάστημα και γενικά για όλη τη στήριξη που μου παρείχαν όλα τα χρόνια των σπουδών μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ε. Δοϊτσίδη, που ήταν ο επιβλέπων καθηγητής της πτυχιακής μου εργασίας καθώς και της πρακτικής μου άσκησης, για όλη τη βοήθεια, τις συμβουλές και τις γνώσεις που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αποτύπωση της τρέχουσας τεχνολογίας σε θέματα που σχετίζονται με τις συσκευές που χρησιμοποιούνται στη ρομποτική, με έμφαση στα αυτόνομα ρομποτικά συστήματα.

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση των αισθητηρίων που χρησιμοποιούνται για την αντίληψη αντικειμένων από τα ρομποτικά συστήματα και παρουσιάζονται οι αρχές λειτουργίας τους, ενδεικτικές εφαρμογές καθώς και τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε τύπου.

Στο 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι διαφορετικοί τύποι αισθητηρίων θέσης, ο τρόπος χρήσης τους, οι αρχές λειτουργίας τους καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους.

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι διαφορετικοί τύποι κινητήρων που χρησιμοποιούνται σε ρομποτικά συστήματα και αναλύονται οι ιδιαιτερότητες τους.

Τέλος στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τυπικές διατάξεις κίνησης έντροχων αυτόνομων ρομποτικών συστημάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	1
ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΕΠΑΦΗΣ.....	1
1.2.1 ΕΙΔΗ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ	2
1.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΥΘΡΩΝ.....	4
1.3.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ.....	5
1.4 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ (SONAR).....	8
1.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ SONAR.....	10
1.4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ SONAR ΣΤΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ.....	13
1.4.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΥΠΕΡΥΘΡΩΝ ΕΝΑΝΤΙΟΝ SONAR	15
1.5 LASER ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ.....	15
1.5.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ LASER	16
1.5.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ LASER	17
1.5.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	21
ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΘΕΣΗΣ.....	21
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	21
2.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΜΕ ΕΠΑΦΗ.....	22
2.2.1 ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΘΕΣΗΣ	22
2.2.1.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΚΟΠΤΗ	22
2.2.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ-ΠΟΝΤΕΣΙΟΜΕΤΡΑ	23
2.2.2.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	24
2.2.2.2 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ	24
2.2.2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΩΝ	25
2.2.2.4 ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΩΝ	26
2.2.3 ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΜΕ ΓΛΩΣΣΙΔΙΑ	26
2.2.4 ΥΔΡΑΡΓΥΡΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	27
2.2.5 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗ	28

2.2.6 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΜΕ ΦΥΣΑΛΙΔΑ	28
2.2.7 ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΚΑΙ ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ.....	30
2.3 ΟΠΤΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ	30
2.3.1 ΟΠΤΙΚΟΙ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ	30
2.3.2 ΑΠΟΛΥΤΟΙ ΟΠΤΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ	32
2.4 GPS	33
2.4.1 INS	36
2.4.2 IMU	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	39
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	39
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	39
3.2 ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	39
3.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ Ή ΗΛΕΚΤΡΟΎΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΤΡΕΣ	40
3.3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	42
3.3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	43
3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	46
3.4.1 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (DC).....	46
3.4.2 ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	48
3.4.2.1 ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΜΟΝΙΜΟΥΣ ΜΑΓΝΗΤΕΣ	51
3.4.2.2 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.....	51
3.4.3 ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	52
3.4.3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	54
3.4.3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	57
ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	57
4.1 ΑΡΧΕΣ ΟΔΟΜΕΤΡΙΑΣ	57
4.1.1 ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ.....	57
4.1.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΥΠΟΥ ΑΚΕΡΜΑΝ	60
4.1.3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΡΙΩΝ ΤΡΟΧΩΝ.....	62

4.1.4 ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	63
4.1.1.5 ΚΙΝΗΣΗ ΠΡΟΣ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ	66
4.1.1.5.1 ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΒΑΘΜΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ.....	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αισθητήρες προσέγγισης χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ενός αντικειμένου, είτε αυτό βρίσκεται κοντά είτε μακριά από τον αισθητήρα. Τα αισθητήρια προσέγγισης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, είτε δηλαδή ανίχνευση με επαφή είτε με μέτρηση.

- Οι *αισθητήρες εγγύτητας* βασίζονται στην επαφή του αισθητήρα με το αντικείμενο που ανιχνεύει. Δηλαδή, αν ένα αντικείμενο είναι αρκετά κοντά στο ρομπότ, τότε ο αισθητήρας το ανιχνεύει και ενεργοποιεί το κατάλληλο κύκλωμα του ρομπότ. Τα αντικείμενα που δεν έρχονται σε επαφή με τον αισθητήρα αγνοούνται.
- Οι *αισθητήρες μέτρησης απόστασης* υπολογίζουν την απόσταση μεταξύ του αισθητήρα και του αντικείμενου που βρίσκεται εντός της εμβέλειας του [Gordon McComb, 2003].

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι αισθητηρίων προσέγγισης είναι :

- Αισθητήρια επαφής
- Μετρητές υπερύθρων
- Σόναρ υπερήχων
- Λείζερ

1.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΕΠΑΦΗΣ

Ένας τρόπος για να γίνει η ανίχνευση ενός αντικειμένου είναι να υπάρξει επαφή μαζί του. Η επαφή είναι η πιο κοινή μορφή ανίχνευσης αντικειμένου. Οι αισθητήρες επαφής χρησιμοποιούνται προκειμένου να βοηθήσουν ένα ρομποτικό σύστημα να αντιληφθεί την επαφή ή όχι με κάποιο αντικείμενο. Υλοποιούνται με τη χρήση διακοπών που αλλάζουν κατάσταση όταν υπάρξει μηχανική επαφή. Η μορφή τους είναι απλή και οικονομική, αλλά με πολλαπλές χρήσεις και εφαρμογές. Οι διακόπτες διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία,

είναι ευρέως διαθέσιμοι και συνδέονται εύκολα σε συστήματα ελέγχου ρομποτικών συστημάτων [Gordon McComb, 2003].

1.2.1 ΕΙΔΗ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ

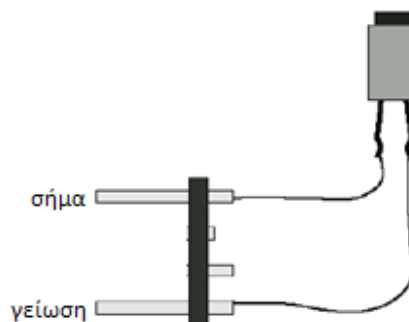
Οι διακόπτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό της φυσικής επαφής με ένα αντικείμενο. Οι διακόπτες "κουμπιά" αποτελούνται από ελατήρια τοποθετημένα στο πλαίσιο του ρομπότ και από ένα έμβολο. Το έμβολο του διακόπτη ωθείται κάθε φορά που το ρομπότ έρχεται σε επαφή με ένα αντικείμενο. Το έμβολο πρέπει να εκτείνεται μακρύτερα από ότι τα άλλα μέρη του ρομπότ.

Συνήθως η επιφάνεια επαφής ενός διακόπτη είναι μικρή και μπορεί να μεγεθυνθεί με την προσάρτηση μεταλλικής ή πλαστικής πλάκας ή ενός μακρύ καλωδίου στο έμβολο του διακόπτη. Ένα κομμάτι από άκαμπτο πλαστικό ή αλουμίνιο με πάχος 1/16 της ίντσας είναι μια καλή επιλογή για την πλάκα.



Εικόνα 1.1 Απλοί διακόπτες [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Οι απλοί διακόπτες αποτελούνται από δύο ακροδέκτες που συνδέονται μεταξύ τους επιτρέποντας τη διέλευση του ρεύματος, όταν υπάρξει μηχανική επαφή στο κινούμενο μέρος του διακόπτη. Υπάρχουν και οι απλοί διακόπτες, όπου το κύκλωμα ανοίγει όταν πατιούνται.

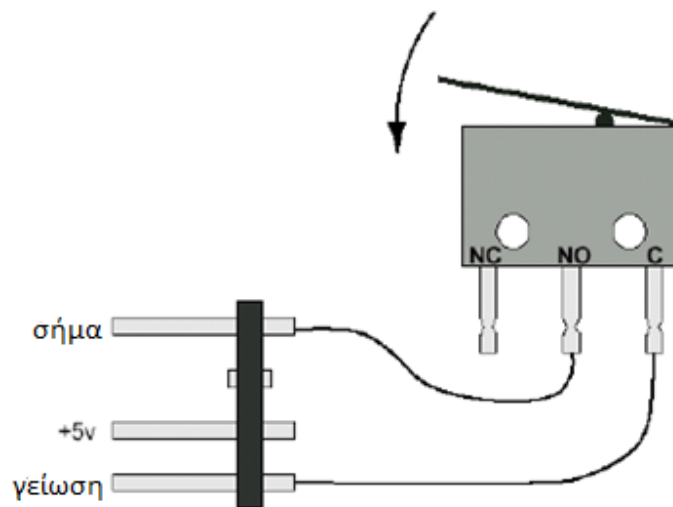


Εικόνα 1.2 Συνδεσμολογία απλού διακόπτη επαφής [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

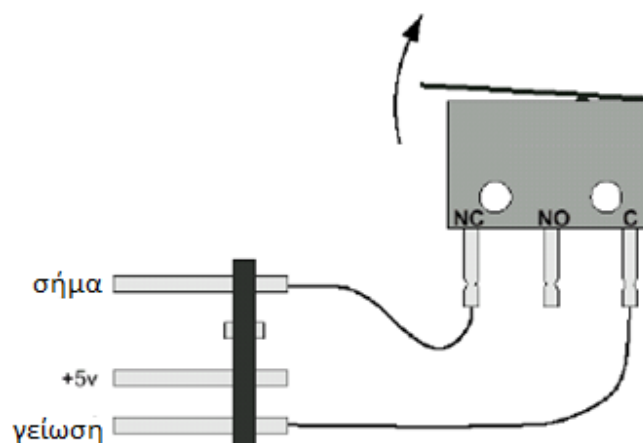
Οι διακόπτες-φύλλο (Εικόνα 1.3 & 1.4), συχνά αναφέρονται και ως μικροδιακόπτες, απαιτούν μόνο μια μικρή επαφή πριν ενεργοποιηθούν. Το έμβολο σε έναν μικροδιακόπτη είναι πολύ μικρό και θέλει μόνο μερικά κλάσματα της ίντσας πριν κλείσουν οι επαφές του. Μια λωρίδα μέταλλο ή φύλλο επισυνάπτεται στην ταινία και λειτουργεί σαν μοχλός για περαιτέρω αύξηση της ευαισθησίας. Μπορούμε να τοποθετήσουμε μια πλαστική ή μεταλλική πλάκα στο τέλος του φύλλου για να αυξήσουμε τη συνολική επιφάνεια.

Οι μικροδιακόπτες επιλογής παρέχουν τρεις ακροδέκτες:

- C-Common,
- NC-Normally Closed (επαφή "κανονικά κλειστή", Εικόνα 1.4)
- NO-Normally Open (επαφή "κανονικά ανοιχτή", Εικόνα 1.3)

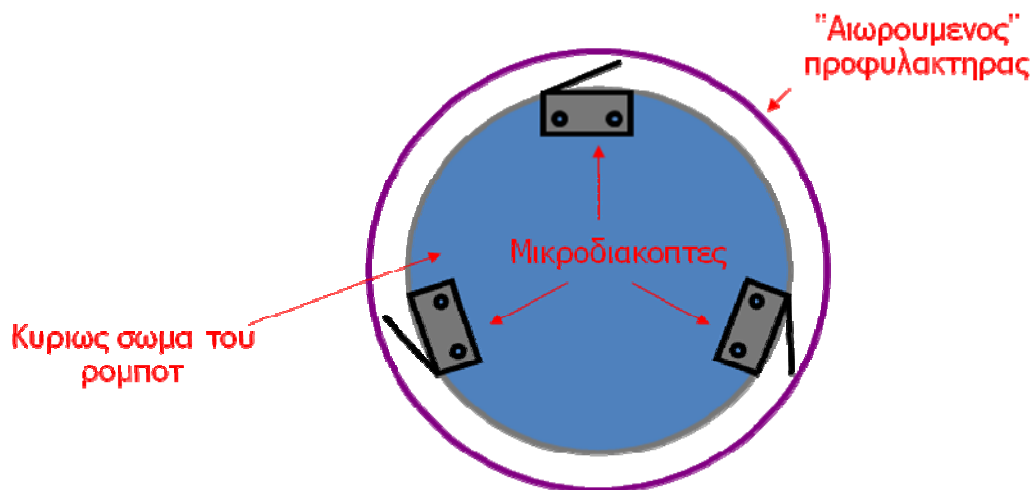


Εικόνα 1.3 Συνδεσμολογία διάταξης Normally Open [Σφακιωτάκης Μιχάλης]



Εικόνα 1.4 Συνδεσμολογία Διάταξης Normally Closed [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Προκειμένου να υπολογιστεί η θέση ενός αντικειμένου από ένα αυτοκινούμενο ρομπότ, με τη βοήθεια ενός συστήματος αποτελούμενο από διακόπτες μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διάταξη της Εικόνας 1.5. Η διάταξη αυτή είναι γνωστή ως διάταξη "αιωρούμενου προφυλακτήρα". Αποτελείται από τρεις μικροδιακόπτες για την υλοποίηση προφυλακτήρα ανίχνευσης συγκρούσεων. Οι τρεις μικροδιακόπτες είναι τοποθετημένοι συμμετρικά στην εξωτερική περιφέρεια του ρομπότ, για την πλήρη κάλυψή του. Όταν υπάρξει σύγκρουση κάποιου αντικειμένου με τον "αιωρούμενο" προφυλακτήρα, αυτός μετακινείται προς τα μέσα ενεργοποιώντας έναν ή δύο μικροδιακόπτες [Ματσούλης Παν. Ευάγγελος, 2009].



Εικόνα 1.5 Προφυλακτήρας ανίχνευσης συγκρούσεων αυτοκινούμενου ρομπότ κυλινδρικού σχήματος [Ματσούλης Παν. Ευάγγελος, 2009]

1.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΥΘΡΩΝ

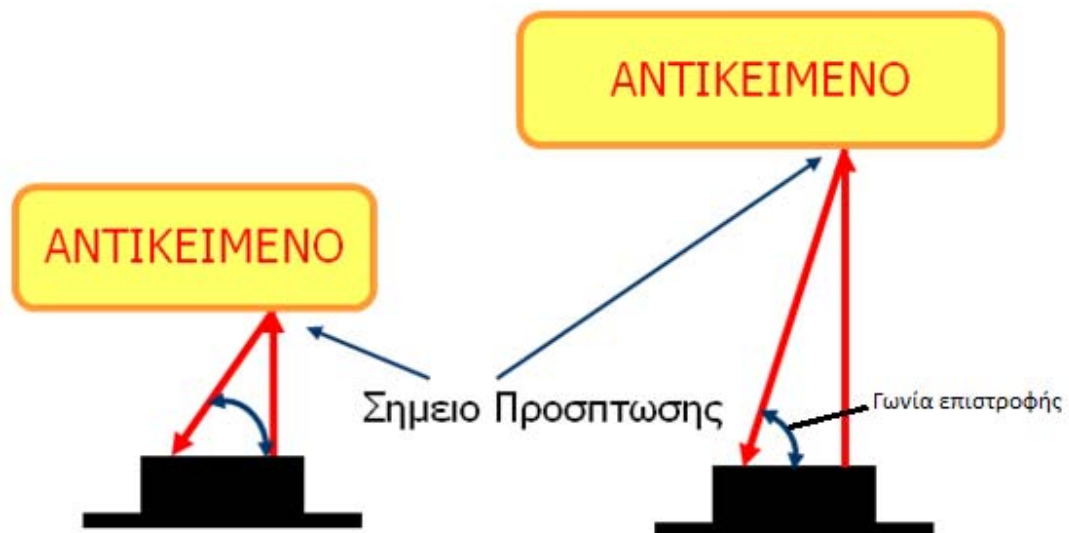
Σε αντίθεση με τους διακόπτες, τα αισθητήρια ανακλαστικότητας υπέρυθρων ανιχνεύουν σε απόσταση. Δεν χρειάζεται να έρθουν σε επαφή με το αντικείμενο που θέλουν να ανιχνεύσουν. Αποτελούν συνδυασμό ενός πομπού υπέρυθρης ακτινοβολίας και ενός φωτοτρανζίστορ ανίχνευσης υπέρυθρων. Το φωτοτρανζίστορ ανιχνεύει την εκπεμπόμενη από το LED (Light-Emitting-Diode) ακτινοβολία, καθώς αυτή ανακλάται σε κάποια επιφάνεια. Μπορούμε να υλοποιήσουμε εύκολα ένα απλό αισθητήριο προσέγγισης, που παρέχει πληροφορία για την ύπαρξη ή όχι αντικειμένου στην κατεύθυνση εκπομπής του LED και είναι χρήσιμο για την ανίχνευση αντικειμένων, την παρακολούθηση επιφάνειας/γραμμής κ.τ.λ.

Μια διάταξη που μπορεί να υλοποιηθεί και στο ορατό φάσμα είναι η infrared reflective (IR) λειτουργία που παρέχει καλύτερο διαχωρισμό του σήματος από τον περιβάλλοντα φωτισμό και μεγαλύτερη ευαισθησία [Σφακιωτάκης Μιχάλης].

1.3.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

Οι κοινοί αισθητήρες υπέρυθρων δεν είναι σε θέση να μετρήσουν απόσταση, παρά μόνο να μας ενημερώσουν για την ύπαρξη ή μη ενός εμποδίου στο οπτικό τους πεδίο. Οι IR αισθητήρες ανακλαστικότητας αποτελούν τα αισθητήρια που έχουν σαν κύριο χαρακτηριστικό τη δυνατότητα μέτρησης της απόστασης των αντικειμένων που ανιχνεύονται. Προκειμένου να μετρήσουν την απόσταση ενδεικτικά αισθητήρια τέτοιου τύπου, με μια υπέρυθη φωτοδίοδο IR LED ενσωματώνουν σε μια ολοκληρωμένη συσκευή έναν ανιχνευτή θέσης συνδυαζόμενο με φακό εστίασης. Η έξοδος τους δεν επηρεάζεται από τον περιβάλλοντα φωτισμό, αλλά ούτε και από το χρώμα του αντικειμένου που ανιχνεύεται. Εκτός από τα πλεονεκτήματα που σχετίζονται με τη λειτουργία τους, έχουν και το συμπαγές τους μέγεθος, μικρή κατανάλωση ρεύματος και ποικιλία από διαθέσιμες εξόδους.

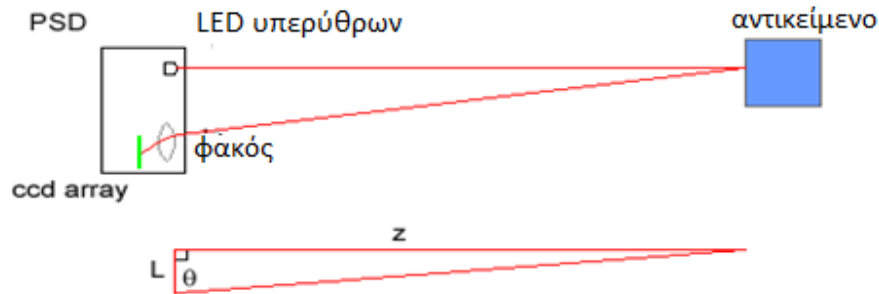
Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στον τριγωνισμό και τη χρήση μιας σειράς αισθητήρων τύπου CCD (Charge-Coupled-Device) στον ανιχνευτή θέσης PSD (Position-Sensitive-Device). Το IR LED εκπέμπει παλμικό σήμα μέτρησης, όπως στα απλά αισθητήρια υπέρυθρων. Η ανάκλαση του σήματος σε κάποιο αντικείμενο ανιχνεύεται στο PSD του αισθητηρίου. Δημιουργείται έτσι ένα τρίγωνο μεταξύ του πομπού, του σημείου πρόσπτωσης και του ανιχνευτή. Η γωνία επιστροφής, που φαίνεται στην εικόνα 1.7, εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ του αντικειμένου και του αισθητηρίου.



Εικόνα 1.6 Αρχή λειτουργίας υπέρυθρου αισθητήρα [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Ο ανιχνευτής διαθέτει έναν φακό εστίασης, ο οποίος κατευθύνει το ανακλώμενο σήμα σε μια ενσωματωμένη γραμμική διάταξη αισθητήρων τύπου CCD στο PSD. Ανάλογα με το ποιο τμήμα της διάταξης αυτής ενεργοποιείται, μπορούμε να υπολογίσουμε τη γωνία

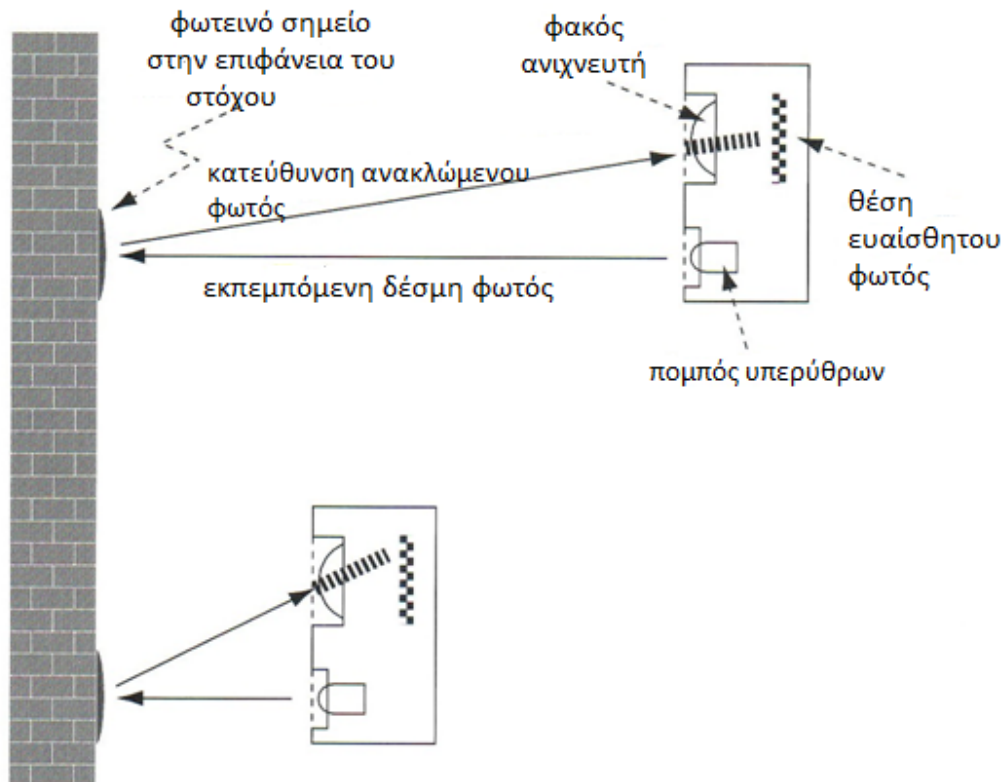
επιστροφής, άρα και την απόσταση του αντικειμένου [Ματσούλης Παν. Ευάγγελος, 2009].



Εικόνα 1.7 Αρχή λειτουργίας υπέρυθρου αισθητήρα [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

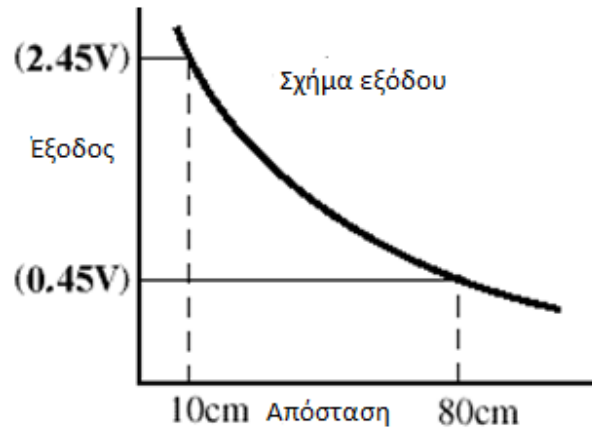
Ο προσανατολισμός του αισθητήρα IR είναι πολύ σημαντικός, καθώς καθορίζει τη σωστή μέτρηση του αισθητήρα. Γι'αυτό το λόγο ο αισθητήρας πρέπει να τοποθετείται σταθερά πάνω στο ρομπότ.

Την αρχή λειτουργίας τους μπορούμε να την δούμε και στην εικόνα 1.9. Το σημείο πρόσπτωσης του ανακλώμενου σήματος στον ανιχνευτή μεταβάλλεται ανάλογα με την απόσταση του αντικειμένου από το αισθητήριο.



Εικόνα 1.8 Σημείο πρόσπτωσης ανακλώμενου σήματος [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

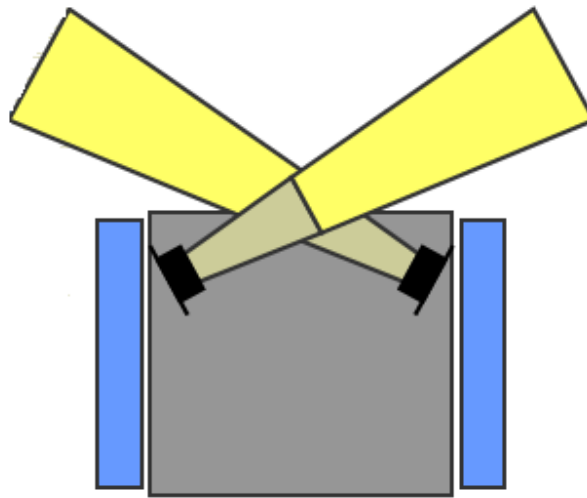
Συνήθως η σχέση μεταξύ της εξόδου του αισθητήρα και της απόστασης του αντικειμένου είναι μη γραμμική και έχει μορφή ανάλογη αυτής που παρουσιάζεται στην εικόνα 1.9.



Εικόνα 1.9 Σχέση μεταξύ αισθητήρα και απόστασης του αντικειμένου

Ενδεικτικά η μελετώμενη διάταξη έχει μια ωφέλιμη περιοχή λειτουργίας η οποία ξεκινάει από τα ~10cm. Η μέτρηση αποστάσεων κάτω από το όριο αυτό, είναι επομένως προβληματική. Η περιοχή αξιόπιστης λειτουργίας (10-80 cm) παρουσιάζει μη-γραμμική σχέση μεταξύ της τάσης εξόδου του αισθητηρίου και της απόστασης στην οποία αντιστοιχεί. Στην πράξη, οι παράμετροι της καμπύλης παρουσιάζουν μικροδιαφορές, ακόμα και για αισθητήρια του ίδιου τύπου. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η βαθμονόμηση όσων αισθητηρίων IR πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στο ρομπότ.

Τα αισθητήρια IR τοποθετούνται συχνά έτσι ώστε η προβληματική περιοχή λειτουργίας τους να βρίσκεται εντός της περιφέρειας του ρομπότ. Εάν επιθυμούμε τη χρήση των PSD ως ανιχνευτές εμποδίων και για την αποφυγή των συγκρούσεων της πρόσθιας επιφάνειας ρομπότ τύπου "άρματος μάχης", τότε υλοποιούμε διατάξεις διασταυρούμενης ακτίνας για να έχουμε όσο το δυνατό ευρύτερο πεδίο κάλυψης [Σφακιωτάκης Μιχάλης].



Εικόνα 1.10 Διάταξη διασταυρούμενης ακτίνας

1.4 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ (SONAR)

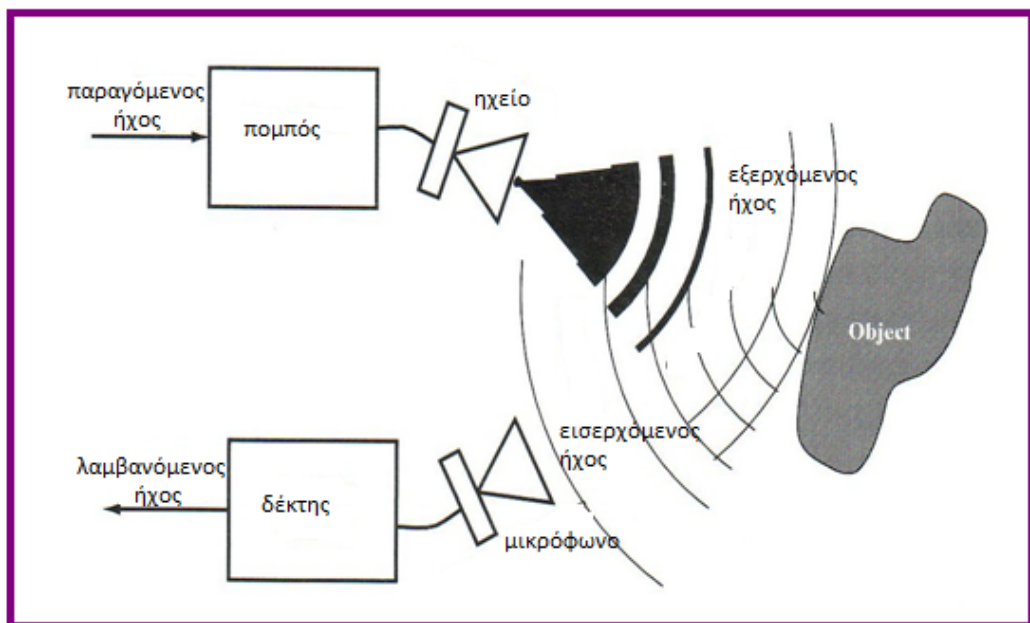
Οι αισθητήρες υπερήχων ονομάζονται και ηχοβολιστικά (sonar). Ο αγγλικός όρος sonar αποτελεί σύντμηση της φράσης so(und) na(vigation) and r(anging) και σημαίνει πλοήγηση και μέτρηση αποστάσεων μέσω ήχου. Η διαδικασία του εντοπισμού της θέσης με τη χρήση ηχοβολιστικών συσκευών ονομάζεται ηχοεντοπισμός, δηλαδή, εντοπισμός της θέσης των αντικειμένων στο περιβάλλον με βάση την ηχώ που δημιουργείται από την ανάκλαση του ήχου πάνω τους.

Τα αισθητήρια υπερήχων αναπτύχθηκαν αρχικά για υποβρύχια χρήση, επειδή ο ήχος μεταδίδεται εύκολα στο νερό, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται στην υποθαλάσσια πλοήγηση και πιο συγκεκριμένα για να βοηθούν τα υποβρύχια στον εντοπισμό και την αποφυγή εμποδίων. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην εκπομπή και λήψη υπερήχων, συναντάται δε και στη φύση, στον ηχοεντοπισμό που χρησιμοποιούν τα δελφίνια και οι νυχτερίδες. Τα αισθητήρια υπερήχων χρησιμοποιούνται σε σειρά εφαρμογών και στη βιομηχανία (μέτρηση αποστάσεων, διαστασιομέτρηση, μέτρηση στάθμης, κλπ.) [Maja J Mataric, 2007].



Εικόνα 1.10 Αισθητήρας υπερήχων [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην εκπομπή και λήψη υπερήχων και παρουσιάζεται στην εικόνα 1.12.



Εικόνα 1.11 Αρχή λειτουργίας SONAR σχηματικά [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Αποτελούνται από έναν πομπό και έναν δέκτη. Ο πομπός παράγει έναν ηχητικό παλμό υπερηχητικής συχνότητας που ταξιδεύει μακριά από την πηγή. Αν συναντήσει εμπόδιο, ο ήχος ανακλάται πάνω του και επιστρέφει στο δέκτη (μικρόφωνο).

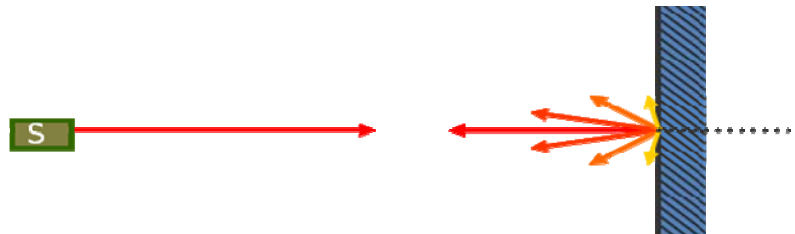
1.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ SONAR

Στην πράξη, τα αισθητήρια υπερήχων παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα και περιορισμούς, ενδεικτικά:

- Κωνικού σχήματος δέσμη του σήματος μέτρησης, με σημαντικό γωνιακό εύρος ($10^\circ - 30^\circ$)
- Προβλήματα ανακλάσεων σε κοινές επιφάνειες. Το ηχητικό κύμα μπορεί να ανακλαστεί σε πολλές επιφάνειες πριν επιστρέψει στο δέκτη αν η επιφάνεια είναι λεία και η γωνία πρόσπτωσης μικρή.
- Σχετικά αργή ταχύτητα διάδοσης. Για παράδειγμα απαιτούνται 200 ms για τη διάσχιση $60(=2 \times 30)$ μέτρων.

Παρόλα αυτά, η χρήση τους σε εφαρμογές αυτοκινούμενων ρομπότ είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη, καθώς σε συνδυασμό με την επαρκή ακρίβεια χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος, απλή χρήση, μικρό μέγεθος και αξιόπιστη λειτουργία.

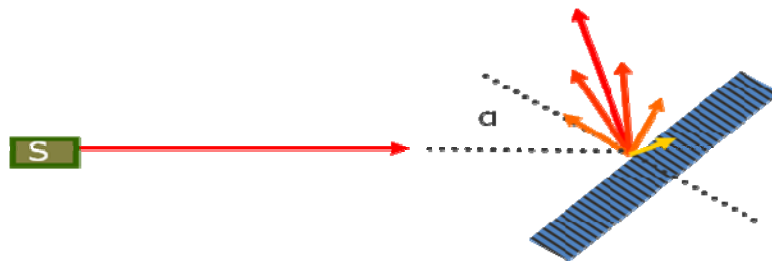
Προκειμένου να είναι δυνατή η μέτρηση της απόστασης κάποιου αντικειμένου με το sonar θα πρέπει ένα σημαντικό ποσοστό της ανακλώμενης ενέργειας να επιστρέφει στον μετατροπέα ανίχνευσης. Η μορφή της ανάκλασης όταν το ακουστικό κύμα προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια κάποιου εμποδίου, έχει τη μορφή της εικόνας 1.13. Στην περίπτωση αυτή, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας επιστρέφει στο αισθητήριο, προκειμένου η εκτίμηση της απόστασης να γίνει με ακρίβεια



Εικόνα 1.13 Το ακουστικό σήμα προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια του εμποδίου
[Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Εάν η πρόσπτωση γίνεται υπό γωνία στην επιφάνεια του εμποδίου, τότε υπάρχει περίπτωση να μην επιστρέφεται καθόλου ενέργεια στον αισθητήρα. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα ελέγχου θα θεωρήσει ότι δεν υπάρχει εμπόδιο στην κατεύθυνση μέτρησης του sonar.

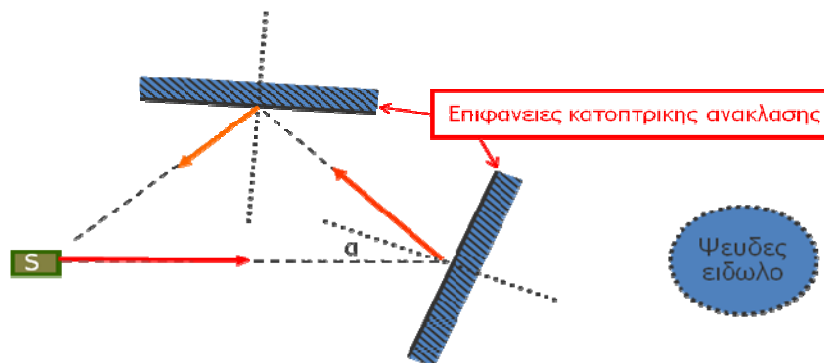
Προκειμένου να εξασφαλιστεί η επιτυχημένη ανίχνευση του εμποδίου, η διάχυση του ανακλώμενου κύματος σε μεγάλο γωνιακό εύρος, εξασφαλίζει ότι το εμπόδιο θα γίνεται αντιληπτό από το sonar ακόμα και όταν η μέτρηση είναι υπό αρκετά μεγάλη κλίση του sonar σε σχέση με το αντικείμενο (η γωνία α της εικόνας 1.14)



Εικόνα 1.14 Μεγάλη κλίση του SONAR σε σχέση με το αντικείμενο [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Γενικά, θα πρέπει η επιφάνεια να έχει κάποια τραχύτητα, με διαστάσεις της τάξης του μήκους κύματος του σήματος μέτρησης. Δυστυχώς όμως, οι συνήθεις επιφάνειες μέσα σε εσωτερικούς χώρους είναι αρκετά λείες (τοιχοί, ξύλο, μέταλλο, κλπ) και στην πράξη ανιχνεύονται με αξιοπιστία μόνο για $\alpha < 30^\circ$.

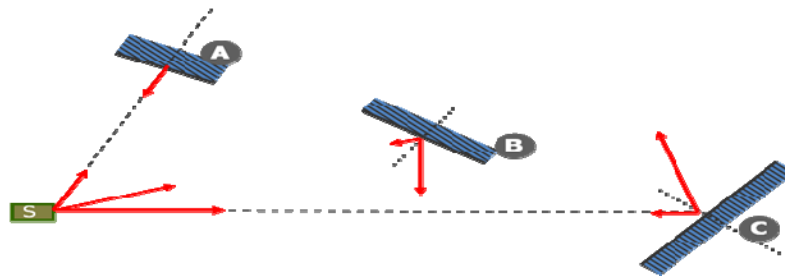
Το κατά πόσο η ανάκλαση του ηχητικού κύματος διαχέεται σε μεγάλο γωνιακό εύρος ή επιστρέφει κατοπτρικά, καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το πόσο λεία είναι η επιφάνεια πρόσπτωσης γιατί μπορούν να δημιουργηθούν πολλαπλές ανακλάσεις. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 1.15, το σύστημα θα θεωρήσει ότι υπάρχει κάποιο αντικείμενο σε απόσταση μεγαλύτερη από αυτήν στην οποία βρίσκεται το πραγματικό εμπόδιο.



Εικόνα 1.15 Ψευδές είδωλο [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Η κατάσταση περιπλέκεται όταν υπάρχουν πολλαπλές επιφάνειες, κάθε μία από τις οποίες, ενδεχομένως να επιδέχεται και να επιστρέφει σημαντικό ποσό της ακουστικής ενέργειας του συστήματος μέτρησης.

Στην εικόνα 1.16, παρότι η επιφάνεια Α λαμβάνει μικρό ποσοστό της ακουστικής ενέργειας του σήματος μέτρησης, επειδή η πρόσπτωση είναι κάθετη, το ανακλώμενο σήμα γυρνάει όλο τον αισθητήρα. Αντίθετα, οι επιφάνειες Β και C, παρόλο που δέχονται σημαντική ενέργεια, λόγω των κλίσεών τους, μικρό τμήμα της ανάκλασής τους επιστρέφει προς το sonar [Σφακιωτάκης Μιχάλης].



Εικόνα 1.16 A: το ανακλώμενο σήμα γυρνάει όλο τον αισθητήρα B,C: μικρό τμήμα της ανάκλασης επιστρέφει προς το sonar [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Τα sonar λειτουργούν με βάση την αρχή υπολογισμού χρόνου πτήσης (time of flight-TOF) η οποία μάλιστα συναντάται και στη φύση (νυχτερίδες και δελφίνια). Αρχικά, ο ακουστικός μετατροπέας εκπέμπει ένα σύντομο σήμα υπερήχων (στην περιοχή των 50 kHz). Το σήμα ανακλάται σε κάθε εμπόδιο, επιστρέφει πίσω, όπου και ανιχνεύεται από κάποια διάταξη δέκτη. Η απόσταση του αντικειμένου υπολογίζεται ως $D/2$, όπου:

$$D = c \times t \tag{1.1}$$

D: συνολικό μήκος διαδρομής

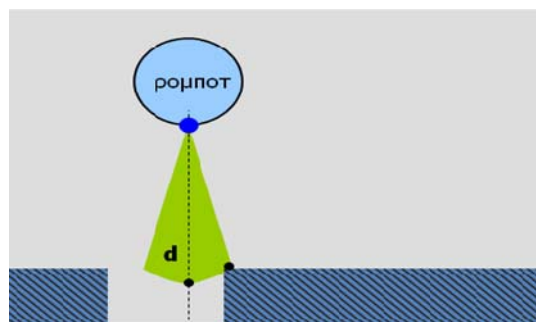
c: ταχύτητα διάδοσης ήχου (~340 m/s)

t: συνολικός χρόνος από την εκπομπή μέχρι τη λήψη

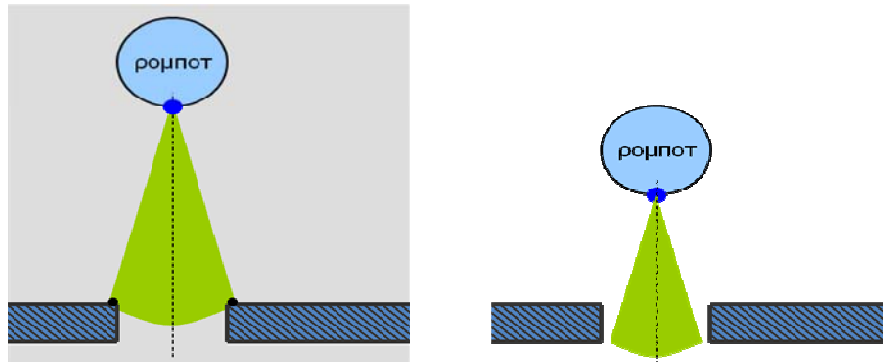
Όταν η εκπομπή του σήματος μέτρησης από τον ακουστικό μετατροπέα δεν είναι απόλυτα κατευθυντική, αλλά καταλαμβάνει μη αμελητέο γωνιακό εύρος, τότε δημιουργούνται επιπρόσθετα προβλήματα.

Έτσι, όταν γίνεται κάποια μέτρηση (όπως φαίνεται στην εικόνα 1.17), το αισθητήριο εισάγει κάποια αβεβαιότητα στο σύστημα ελέγχου για την ακριβή θέση του ανιχνευόμενου εμποδίου σε σχέση με το ρομπότ.

Επομένως, ενώ η μέτρηση της απόστασης d είναι ακριβής, υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με τον προσανατολισμό του ανιχνευόμενου αντικειμένου σε σχέση με τον άξονα μέτρησης του sonar.

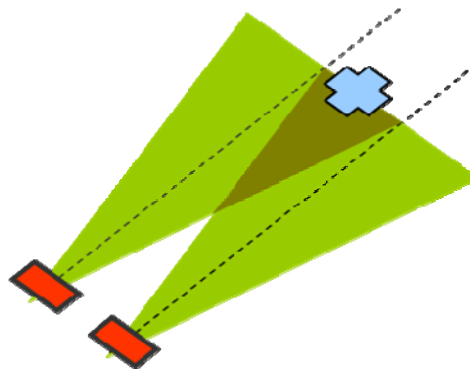


Εικόνα 1.17 Το σύστημα ελέγχου μπορεί να μην αντιληφθεί την ύπαρξη του ανοίγματος [Σφακιωτάκης Μιχάλης]



Εικόνα 1.18 Η ύπαρξη του ανοίγματος γίνεται αντιληπτή από το ρομπότ μόνο όταν πλησιάσει κοντά στον τοίχο [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

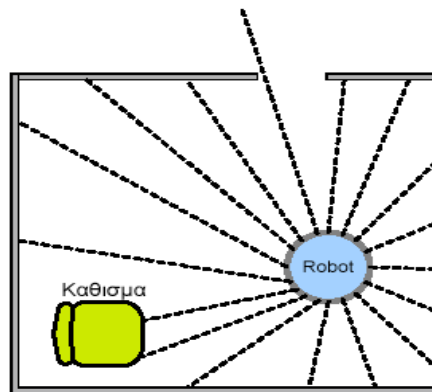
Η χρήση ζεύγους αισθητήριων υπερήχων αυξάνει τη διακριτική ικανότητα της διάταξης. Μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση του αντικειμένου με μεγαλύτερη ακρίβεια, ανάλογα με το αν ανιχνεύεται από το αριστερό, το δεξιό ή και από τα δύο αισθητήρια της διάταξης [Σφακιωτάκης Μιχάλης].



Εικόνα 1.19 Ανίχνευση από αριστερό, δεξιό και από τα δύο αισθητήρια της διάταξης [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

1.4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ SONAR ΣΤΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ

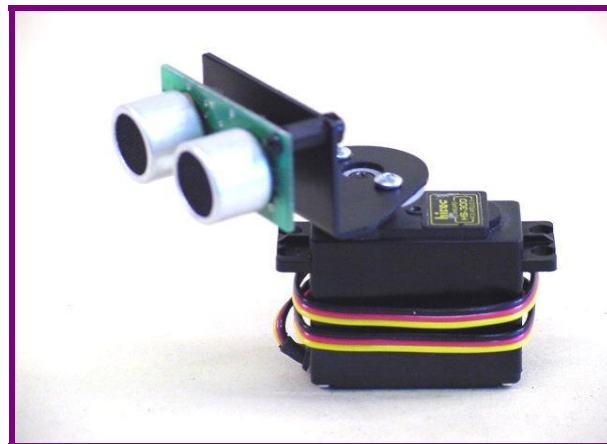
Οι κύριες εφαρμογές αισθητήριων υπερήχων σε αυτοκινούμενα ρομπότ είναι η μέτρηση της απόστασης για την αποφυγή εμποδίων και η χαρτογράφηση χώρων, ανίχνευση εγγύτητας με περιστροφική σάρωση. Το ρομπότ θα πρέπει να γνωρίζει το χώρο και το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται ώστε να μπορέσει να εντοπίσει μόνο τα εμπόδια-αντικείμενα που θέλουμε, οπότε είναι απαραίτητη η χαρτογράφηση του χώρου όπως φαίνεται στην εικόνα 1.20.



Εικόνα 1.20 Χαρτογράφηση χώρου 1 [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Χρησιμοποιούνται συνήθως συστοιχίες αισθητήριων υπερήχων τοποθετημένων περιμετρικά στην περιφέρεια του ρομπότ ανά 15° . Προκειμένου να απλοποιηθεί η διάταξη και να μειωθεί το κόστος και η πολυπλοκότητα, συνδέονται περισσότεροι του ενός μετατροπείς σε ένα κύκλωμα ελέγχου.

Εναλλακτικά, τα αισθητήρια μπορούν να τοποθετηθούν σε περιστρεφόμενες βάσεις, για την λήψη μετρήσεων σε διαφορετικές κατευθύνσεις [Σφακιωτάκης Μιχάλης].

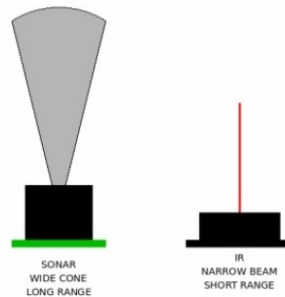


Εικόνα 1.21 Περιστρεφόμενη βάση για λήψη μετρήσεων σε διαφορετικές κατευθύνσεις [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Στην πράξη, τα προβλήματα των SONAR, περιορίζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της σάρωσης και εισάγουν αβεβαιότητα στις μετρήσεις και τα αποτελέσματα τα οποία μπορούν να εξαχθούν από αυτές. Με τη χρήση όμως διάφορων πολύπλοκων υπολογιστικών μεθόδων είναι δυνατό να μειώσουν την αβεβαιότητα αυτή.

1.4.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΥΠΕΡΥΘΡΩΝ ENANTION SONAR

Οι αισθητήρες sonar και υπερύθρων, μας επιστρέφουν μέτρηση της απόστασης. Μεταξύ τους όμως υπάρχουν διαφορές. Το sonar έχει έναν ευρύ κώνο ανίχνευσης και όσο απομακρύνεται το αντικείμενο από τον αισθητήρα, τόσο μεγαλώνει η γραμμή ανίχνευσης του κώνου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ανίχνευση των λεπτών αντικειμένων, όπως π.χ. τα πόδια μιας καρέκλας. Οι αισθητήρες IR δεν μπορούν να ανιχνεύσουν ένα πόδι καρέκλας, εκτός κι αν είναι μπροστά σε αυτό, ή περνούν πολύ κοντά.



Εικόνα 1.22 Πεδίο ανίχνευσης αισθητήρων IR-SONAR [Ματσούλης Παν. Ευάγγελος, 2009]

Σε ένα μικρό ρομπότ η ακτίνα του σόναρ είναι λεπτή. Αυτό συνεπάγεται ότι η διάμετρος ανίχνευσης μπροστά από το ρομπότ είναι μικρότερη από το πλάτος του ρομπότ. Συμπεραίνουμε, άρα, πως δεν θα μπορέσει να ανιχνεύσει έγκαιρα το αντικείμενο, καθώς η ακτίνα του θα είναι πολύ μικρή για να το «πιάσει».

Μία δεύτερη σημαντική διαφορά τους είναι η απόσταση. Οι περισσότεροι IR (κυρίως η σειρά της sharp) αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν μεγαλύτερες και ακριβέστερες αποστάσεις.

1.5 LASER ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

Τα Laser μέτρησης απόστασης ανήκουν στην κατηγορία των TOF αισθητήρων και χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση και αποφυγή εμποδίων από το ρομπότ. Αντί για υπερήχους, όπως στα Sonar, εκπέμπεται δέσμη ακτίνας Laser και ανιχνεύεται η επιστροφή της μετά από ανάκλαση σε κάποιο αντικείμενο. Η μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης του φωτός επιτρέπει τη σάρωση μεγάλου γωνιακού εύρους σε μικρό χρονικό διάστημα. Ένας ενδεικτικός αισθητήρας Laser παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.23.



Εικόνα 1.23 Αισθητήρας LASER μέτρησης απόστασης [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

1.5.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ LASER

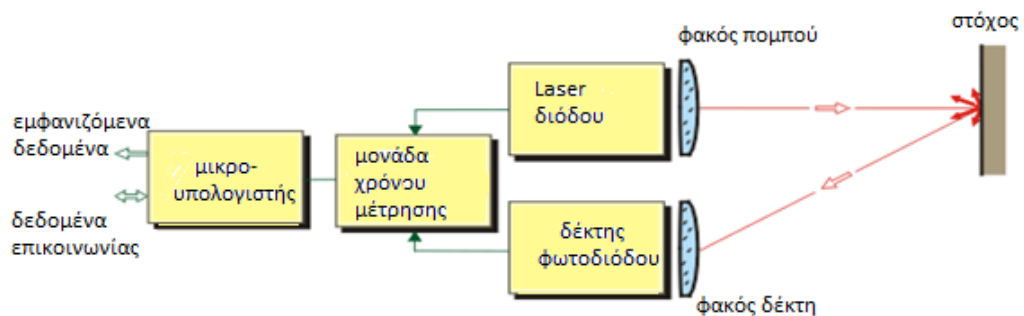
Τα Laser λόγω του τρόπου λειτουργίας τους παρουσιάζουν μια σειρά πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων. Ενδεικτικά:

- Έχουν μεγάλη εμβέλεια, από μέτρα έως χιλιόμετρα, ανάλογα με την ισχύ του laser και την εφαρμογή.
- Αυξημένη ακρίβεια.
- Ταχεία λειτουργία.
- Είναι κατάλληλα για τη μέτρηση αντικειμένων από μεγάλο εύρος υλικών.
- Συγκριτικά φθηνή πλέον τεχνολογία, σε σχέση με τις παρεχόμενες δυνατότητες.

Λόγω της μεγάλης ταχύτητας διάδοσης του φωτός, είναι προβληματική η μέτρηση αποστάσεων μικρότερη του 1m. Έχουν περιορισμένες δυνατότητες σε συνθήκες πολύ έντονου φωτισμού, καθώς και παρουσία καπνού, ομίχλης, κλπ. Είναι συγκριτικά μεγάλος ο όγκος και το βάρος τους για χρήση σε μικρά ρομπότ [Σφακιωτάκης Μιχάλης].

1.5.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ LASER

Τα περισσότερα laser μέτρησης απόστασης χρησιμοποιούν τη μέθοδο υπολογισμού χρόνου πτήσης (TOF). Ένα κύκλωμα παραγωγής ηλεκτρικών παλμών οδηγεί περιοδικά μία διάταξη ημιαγωγών, η οποία αποστέλλει μία ακολουθία από οπτικούς παλμούς πάνω από το ορατό φάσμα, οι οποίοι συγκεντρώνονται σε μια πολύ εστιασμένη δέσμη μέσω οπτικών διατάξεων. Η δέσμη μέτρησης ταξιδεύοντας με την ταχύτητα του φωτός, προσκρούει σε κάποιο αντικείμενο που βρίσκεται στην ευθεία διαδρομή της και ανακλάται πάνω του. Τμήμα της ανάκλασης συλλέγεται μέσω του φακού λήψης και ενεργοποιεί μια φωτοδίοδο, η οποία δημιουργεί ένα ηλεκτρικό σήμα, το οποίο ειδοποιεί την υπολογιστική μονάδα προκειμένου να υπολογιστεί το χρονικό διάστημα μεταξύ αποστολής και λήψης.

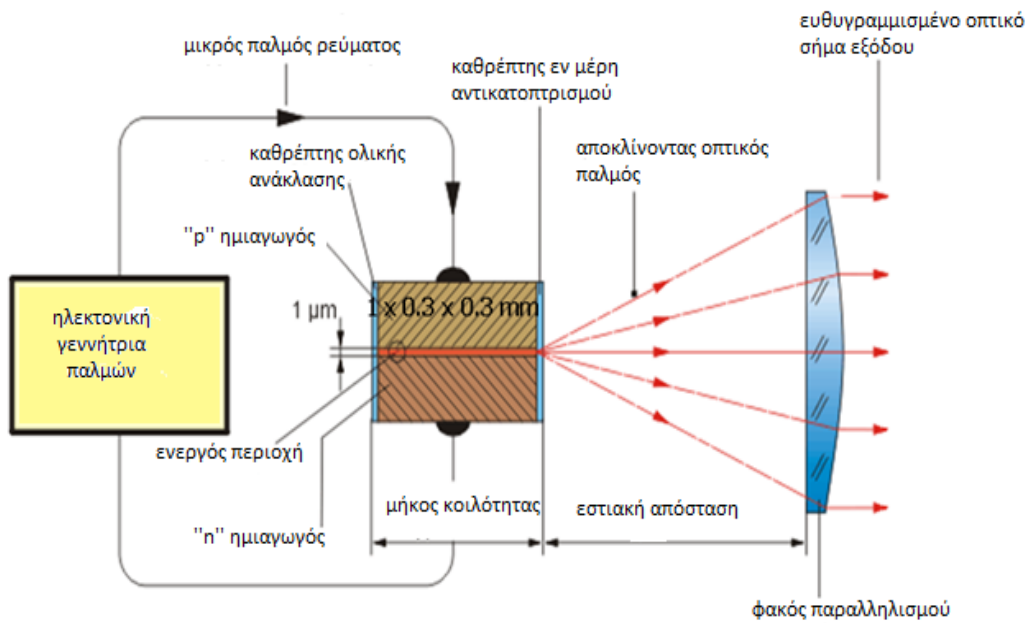


Εικόνα 1.24 Αρχή λειτουργίας [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Η δίοδος Laser είναι μια διάταξη ημιαγωγών η οποία μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε οπτική ενέργεια, σε μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος, με αξιοπιστία και με υψηλό βαθμό απόδοσης.

Η βασική διάταξη μέτρησης απόστασης μπορεί να επιτύχει σάρωση για την παραγωγή 2D δεδομένων, συνδυαζόμενη με κάποιο μηχανικό σύστημα περιστροφής. Υλοποιείται με τη χρήση περιστρεφόμενων καθρεπτών οι οποίοι στέλνουν την παραγόμενη δέσμη του laser σε διαφορετικές γωνίες.

Η αρχή μέτρησης είναι ανάλογη με αυτή που περιγράφηκε για το sonar. Η διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών λειτουργίας απορρέει από τη διαφορετική φύση του σήματος μέτρησης, εικόνα 1.26.

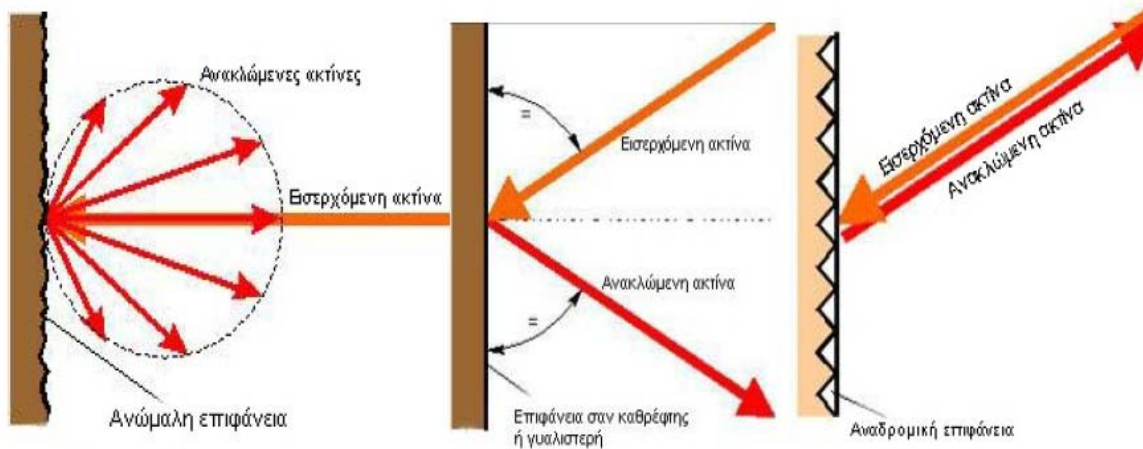


Εικόνα 1.25 Δίοδος LASER [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

ΗΧΟΣ	ΦΩΣ
Κυματα πιεσης	Ηλεκτρομαγνητικά κυματα
Απαιτει καποιο μεσο διαδοσης	Διαδιδεται και στο κενο
Ταχυτητα ~340 m/sec	Ταχυτητα ~300 km/sec
Ακουστο φασμα 10mm - 10m	Ορατο φασμα 400 - 700nm

Εικόνα 1.26 Διαφοροποίηση χαρακτηριστικών λειτουργίας SONAR και LASER [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Και στην περίπτωση αυτή, όπως και στα sonar, σημαντικό ρόλο παίζει το είδος της επιφάνειας πρόσπτωσης.



Εικόνα 1.27 Είδη επιφανειών και ανάκλαση ακτίνας LASER [Ματσούλης Παν. Ευάγγελος, 2009]

1.5.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER

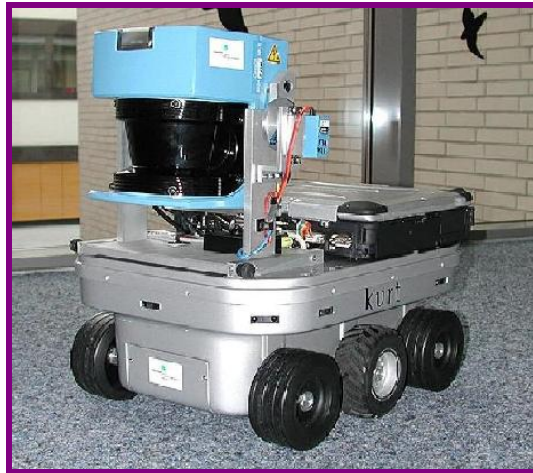
Πρόσφατες ερευνητικές δραστηριότητες επιτυγχάνουν τρισδιάστατη σάρωση χρησιμοποιώντας έναν 2D σαρωτή Laser ο οποίος τοποθετείται σε βάση η οποία επιτρέπει μεταβολή της κλίσης του μέσω σερβομηχανισμού.

Ο τρισδιάστατος σαρωτής βρίσκει εφαρμογή και σε αυτοκινούμενα ρομπότ για την ακριβή χαρτογράφηση των χώρων στους οποίους κινείται. Έτσι επιτρέπει την υλοποίηση πολύπλοκων αλγόριθμων πλοήγησης σε μη-γνωστά περιβάλλοντα.

Η επεξεργασία της πληθώρας των δεδομένων που παρέχει ο σαρωτής ανεβάζει σημαντικά τις απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, ταχύτητα και μνήμη για τον ελεγκτή κίνησης [Σφακιωτάκης Μιχάλης].



Εικόνα 1.28 Σαρωτής LASER 1 [Σφακιωτάκης Μιχάλης]



Εικόνα 1.29 Σαρωτή LASER 2 [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΘΕΣΗΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις βιομηχανικές εφαρμογές είναι σημαντικό να ανιχνεύεται και να μελετάται η κίνηση και/ή μετατόπιση αντικειμένων. Η μετακίνηση ή η μετατόπιση ενός αντικειμένου έχει άμεση σχέση με τη θέση του. Με τον όρο θέση εννοούμε τον προσδιορισμό των συντεταγμένων του αντικειμένου ως προς κάποιο σύστημα αναφοράς. Ο προσδιορισμός αυτός μπορεί να γίνει είτε γραμμικά ή γωνιακά σε σχέση με κάποια αρχική θέση αναφοράς, είτε ως απόλυτη αναφορά σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων.

Η μετατόπιση ενός αντικειμένου στο χώρο από μια αρχική θέση σε μια τελική θέση μπορεί να αναλυθεί σε γραμμική μετατόπιση ή γωνιακή μετατόπιση, δηλαδή στην απόσταση και την γωνία ανάμεσα στην αρχική και την τελική θέση του αντικειμένου. Όταν η θέση του αντικειμένου δίνεται ως η μετατόπιση ανάμεσα στην αρχική και την τελική θέση του αντικειμένου στο χώρο, τότε αναφερόμαστε στη σχετική μετατόπιση του αντικειμένου με αναφορά την αρχική του θέση.

Γραμμική μετατόπιση καλούμε την απόσταση ενός οποιουδήποτε σημείου του αντικειμένου ανάμεσα στην αρχική και την τελική του θέση. Η μέτρηση της γραμμικής μετατόπισης αναφέρει την απόσταση ανάμεσα στην αρχική και την τελική θέση, και την κατεύθυνση της μετακίνησης πάνω στη διεύθυνση της μετακίνησης, δηλαδή στην ευθεία γραμμή πάνω στην οποία έγινε η μετακίνηση.

Γωνιακή μετατόπιση καλούμε τη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στις ευθείες που ορίζουν δύο διαφορετικά σημεία του αντικειμένου, στις αρχικές και στις τελικές τους θέσεις. Η μέτρηση της γωνιακής μετατόπισης αναφέρει τη γωνία ανάμεσα στην αρχική και την τελική θέση του αντικειμένου και την φορά της μετακίνησης πάνω στο επίπεδο της μετακίνησης [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].

2.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΜΕ ΕΠΑΦΗ

2.2.1 ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΘΕΣΗΣ

Οι τερματικοί διακόπτες θέσης δεν μετρούν τη γραμμική μετατόπιση ή τη γωνιακή μετατόπιση, αλλά αναφέρουν τη θέση του αντικειμένου όταν βρεθούν σε επαφή με αυτό. Αναφέρουν δηλαδή την απόλυτη θέση του αντικειμένου με αναφορά σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων. Οι τερματικοί διακόπτες χρησιμοποιούνται επίσης για να αναφέρουν την ύπαρξη ενός αντικειμένου σε μια συγκεκριμένη θέση.

Συχνά οι τερματικοί διακόπτες αναφέρονται και ως οριακοί διακόπτες γιατί χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των ορίων της κίνησης. Η ακρίβεια αναφοράς της θέσης του αντικειμένου εξαρτάται από τον τρόπο τοποθέτησης του διακόπτη και τη διαμόρφωση του τερματικού διακόπτη.



Εικόνα 2.1 Τυπικό δείγμα τερματικού διακόπτη [23]

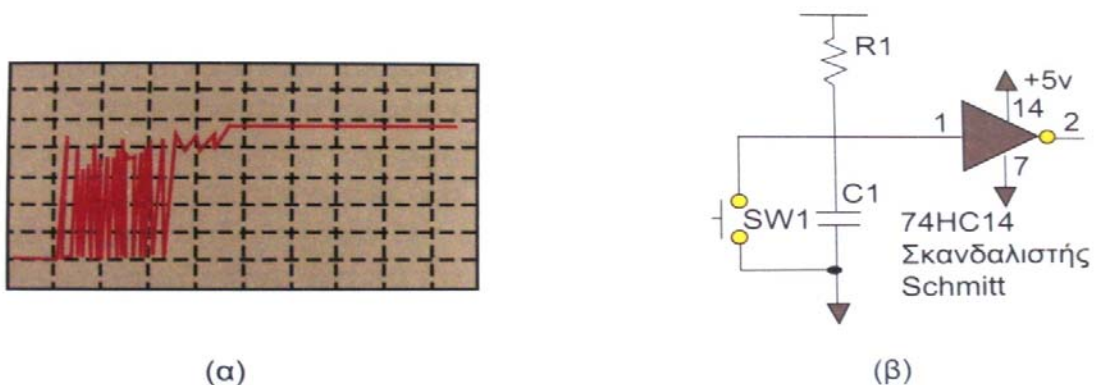
Οι τερματικοί διακόπτες τοποθετούνται συνήθως σε μια προκαθορισμένη θέση, η οποία και θα είναι η τελική θέση μετά τη μετατόπιση, έτσι ώστε όταν το αντικείμενο φτάσει σε αυτή τη θέση ο διακόπτης να κλείσει ή να ανοίξει τις επαφές του και να δώσει ένα ηλεκτρικό σήμα στο κύκλωμα ελέγχου. Οι τερματικοί διακόπτες θέσης αποτελούν τους πλέον διαδεδομένους αισθητήρες προσέγγισης-θέσης στις βιομηχανικές εφαρμογές αλλά και σε πολλά άλλα αυτόματα συστήματα. Τερματικοί διακόπτες θέσης βρίσκονται σε συσκευές γραφείου πχ. Εκτυπωτές, σε οικιακές συσκευές, σε οχήματα, σε ρομποτικές διατάξεις, κλπ [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].

2.2.1.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΚΟΠΤΗ

Καθώς το φάσμα των εφαρμογών των τερματικών διακοπών είναι πολύ ευρύ, υπάρχει αντιστοίχως μια μεγάλη ποικιλία διαθέσιμη. Οι κυριότερες διαφορές μεταξύ των διαφόρων τύπων συνίστανται στον τρόπο προσάρτησης και τη διαμόρφωση του δρομέα

του τερματικού διακόπτη. Ο δρομέας του τερματικού διακόπτη είναι το κινητό στοιχείο του διακόπτη πάνω στο οποίο το προς ανίχνευση αντικείμενο θα έρθει σε επαφή ώστε να προκληθεί το κλείσιμο του διακόπτη. Στη γενική περίπτωση το ζητούμενο είναι η επαφή του προς ανίχνευση αντικειμένου με το δρομέα του τερματικού διακόπτη, να προκαλέσει κατά το δυνατό τη μικρότερη επίδραση στην κίνηση του αντικειμένου, ενώ ταυτόχρονα να διασφαλίζεται η αξιόπιστη ανίχνευσή του.

Οι τερματικοί διακόπτες συνήθως χρησιμοποιούνται σε συστήματα αυτόματου ελέγχου και συλλογής δεδομένων και συνδέονται στις ψηφιακές εισόδους του συστήματος. Συχνά εμφανίζονται σφάλματα στη μέτρηση της μετατόπισης, δηλαδή της ανίχνευσης του αντικειμένου, λόγω διαταραχών κατά τη μεταγωγή του τερματικού διακόπτη από τη θέση off στη θέση on, με αποτέλεσμα και την αλλοίωση της αξιοπιστίας της μέτρησης. Για την αποφυγή διαταραχών που προκύπτουν από σήματα αναπήδησης (bounce ground) κατά τη μετάβαση του διακόπτη από την κατάσταση off στην κατάσταση on, χρησιμοποιούνται κυκλώματα απόσβεσης των σημάτων αναπήδησης. (Εικόνα 2.2) Ο πυκνωτής του κυκλώματος απόσβεσης των σημάτων αναπήδησης γειώνει τις διαταραχές που εμφανίζονται, οι οποίες αναλυόμενες στο πεδίο συχνοτήτων παρουσιάζουν πολύ μεγάλη συχνότητα [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].



Εικόνα 2.2 α) Σήμα αναπήδησης β) κύκλωμα απόσβεσης αναπηδήσεων [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013]

2.2.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ-ΠΟΝΤΕΣΙΟΜΕΤΡΑ

Τα ποτενσιόμετρα, ανάλογα με την κατασκευή τους, μετρούν τη γραμμική μετατόπιση (γραμμικά ποτενσιόμετρα) και την γωνιακή μετατόπιση (στροφικά ποτενσιόμετρα). Επίσης τα ποτενσιόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναφέρουν την απόλυτη θέση ενός αντικειμένου με αναφορά σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων. Η χρήση τους

απαιτεί την επαφή του οργάνου (δρομέα) με το αντικείμενο [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].

2.2.2.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

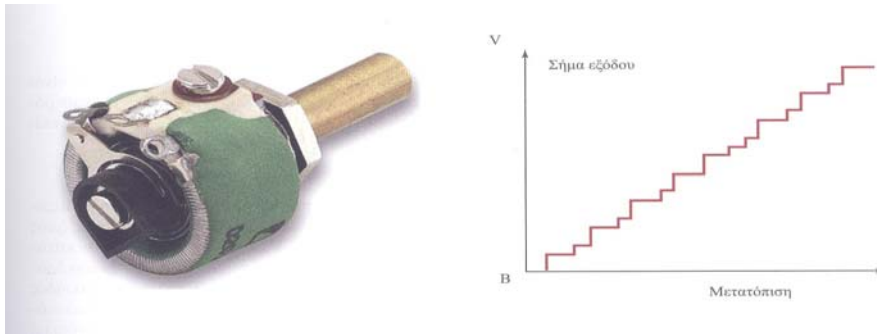
Στην τυπική τους διάταξη, τα ποτενσιόμετρα αποτελούνται από ένα κινητό αγώγιμο βραχίονα, που καλείται δρομέας και είναι η μεσαία λήψη του ποτενσιόμετρου, ο οποίος μπορεί να μετακινηθεί πάνω σε ένα στοιχείο αντίστασης. Το στοιχείο της αντίστασης, διαιρείται ηλεκτρικά στο σημείο επαφής του με το βραχίονα, δηλαδή της μεσαίας λήψης, και έτσι δημιουργείται ένας διαιρέτης τάσης. Από τη σχέση ανάμεσα στην τάση και τη θέση του αντικειμένου, στην αρχική και τελική θέση του πριν και μετά την μετακίνηση αντίστοιχα, εξάγεται η μέτρηση για τη γραμμική ή τη γωνιακή μετατόπιση. Ο διαιρέτης τάσης χρησιμοποιείται για να μετρήσουμε τη μετατόπιση καθώς η αλλαγή της θέσης του μεταβάλλει την τάση στα άκρα της εξόδου του ποτενσιόμετρου. Μετά από κατάλληλη βαθμονόμηση έχουμε αντιστοιχήσει τις εξόδους με μονάδες μετατόπισης. Έτσι, έχουμε μια σχέση της μεταβολής της μετατόπισης σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε άμεσα ή να το ψηφιοποιήσουμε [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].

2.2.2.2 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ

Στους αισθητήρες κίνησης οι οποίοι χρησιμοποιούν στοιχεία ποτενσιόμετρων, για να ανιχνεύσουν τη θέση ή τη μετατόπιση ενός αντικειμένου, η ποιότητα και η μέθοδος κατασκευής τους επηρεάζουν σημαντικά την ακρίβεια της μέτρησης. Υπάρχουν τρεις μέθοδοι κατασκευής ποτενσιόμετρων οι οποίες έχουν να κάνουν κυρίως με το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την αντίσταση καθώς και με τον τρόπο τοποθέτησής της.

Στην πρώτη μέθοδο το στοιχείο της αντίστασης αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα στοιχείου άνθρακα το οποίο τοποθετείται πάνω σε ένα μονωτικό υλικό σε μορφή λεπτής ταινίας. Οι δύο ακροδέκτες ενώνονται στα δύο άκρα της αντίστασης και η μεσαία λήψη τοποθετείται έτσι ώστε να ολισθαίνει πάνω στην επιφάνεια της αντίστασης από την μια άκρη ως την άλλη.

Στην δεύτερη μέθοδο, η αντίσταση αποτελείται συνήθως από ένα χάλκινο σύρμα μικρής διατομής το οποίο τυλίγεται με ελικοειδή μορφή γύρω από ένα μονωτικό υλικό αφήνοντας ένα διάκενο μεταξύ των σπειρών. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η βηματική απόκριση ενός τέτοιου ποτενσιόμετρου. Αυτό συμβαίνει γιατί η σπειροειδής κατασκευή του, κβαντίζει τη μετρούμενη τιμή της αντίστασης. Οι αισθητήρες κίνησης που χρησιμοποιούν τέτοιου τύπου ποτενσιόμετρα παρουσιάζουν μειωμένη ανάλυση λόγω της διακριτότητας.



Εικόνα 2.3 Σπειροειδές ποτενσιόμετρο β) απόκριση σπειροειδούς ποτενσιόμετρου [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013]

Κατά την τρίτη μέθοδο χρησιμοποιούνται διατάξεις οι οποίες περιλαμβάνουν κράμα άνθρακα και συνθετικά υλικά. Η περιεκτικότητα των υλικών καθορίζουν την τιμή του ποτενσιόμετρου. Όσο μεγαλύτερο ποσοστό του άνθρακα περιλαμβάνεται στο μίγμα, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η αντίσταση. Το κράμα τοποθετείται σε μονωτικό κέλυφος.

Οι αισθητήρες κίνησης που χρησιμοποιούν για την κατασκευή τους ποτενσιόμετρα που ακολουθούν την πρώτη και την τρίτη μέθοδο που αναφέραμε, έχουν θεωρητικά άπειρη ανάλυση και υψηλό χρόνο ζωής, όμως είναι ευαίσθητοι σε θορύβους. Από την άλλη, οι αισθητήρες που χρησιμοποιούν ποτενσιόμετρα της δεύτερης μεθόδου παρουσιάζουν μεγάλη σταθερότητα στη θερμοκρασία και στο χρόνο. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής επιλέγονται τα κατάλληλα ποτενσιόμετρα [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].

2.2.2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΩΝ

Σημαντικό χαρακτηριστικό που αποτελεί κριτήριο για την επιλογή ενός ποτενσιόμετρου για τη χρήση σε αισθητήρες μετατόπισης και θέσης, είναι η ανάλυση των ποτενσιόμετρων. Η ανάλυση ορίζεται ως η μικρότερη αλλαγή η οποία μπορεί να παραχθεί από τον αισθητήρα και να ανιχνευθεί στην έξοδο του αισθητήρα, δηλαδή του ποτενσιόμετρου. Στα σπειροειδή ποτενσιόμετρα, η ανάλυση (r_s) είναι:

$$r_s = \frac{1}{N} \times 100\% \quad 2.1$$

όπου,

N: το πλήθος των σπειρών του σύρματος.

Τα ποτενσιόμετρα με επίστρωση θεωρητικά έχουν άπειρη ανάλυση. Πρακτικά όμως αυτό δεν είναι εφικτό γιατί η έξοδος επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως ο ηλεκτρικός θόρυβος, η σταθερότητα της τάσης τροφοδοσίας, μηχανικές επιδράσεις όπως τριβή, η ανομοιομορφία και η φθορά της επίστρωσης, κλπ [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].

2.2.2.4 ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΩΝ

Ανάλογα με τη μέθοδο κατασκευής του ποτενσιόμετρου, τη συχνότητα, τον τρόπο χρήσης και το περιβάλλον μέσα στο οποίο τοποθετείται, το στοιχείο υφίσταται φθορές. Συνεπώς ο χρόνος ζωής των ποτενσιόμετρων είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λάβουμε υπόψη όταν κατασκευάζουμε αισθητήρες κίνησης ή μετατόπισης. Ο αριθμός των στροφών ή των μετακινήσεων του δρομέα καθορίζουν τον χρόνο ζωής του ποτενσιόμετρου ο οποίος μπορεί να κυμαίνεται από μερικές χιλιάδες έως εκατομμύρια χρήσεις (περιστροφικές-μετακινήσεις). Ειδικότερα για τα πολύ περιστροφικά ποτενσιόμετρα ο χρόνος ζωής μικραίνει λόγω της συνεχής περιστροφής του άξονα για να διανύσει ο δρομέας όλη την αντίσταση. Έχει παρατηρηθεί ότι ο χρόνος ζωής ενός περιστροφικού ποτενσιόμετρου είναι μεγαλύτερος σε σχέση με έναν γραμμικού. Ο κατασκευαστής προσδιορίζει το χρόνο ζωής του ποτενσιόμετρου, όπου μετά το πέρας, κρίνεται ακατάλληλο για χρήση [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].

2.2.3 ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΜΕ ΓΛΩΣΣΙΔΙΑ

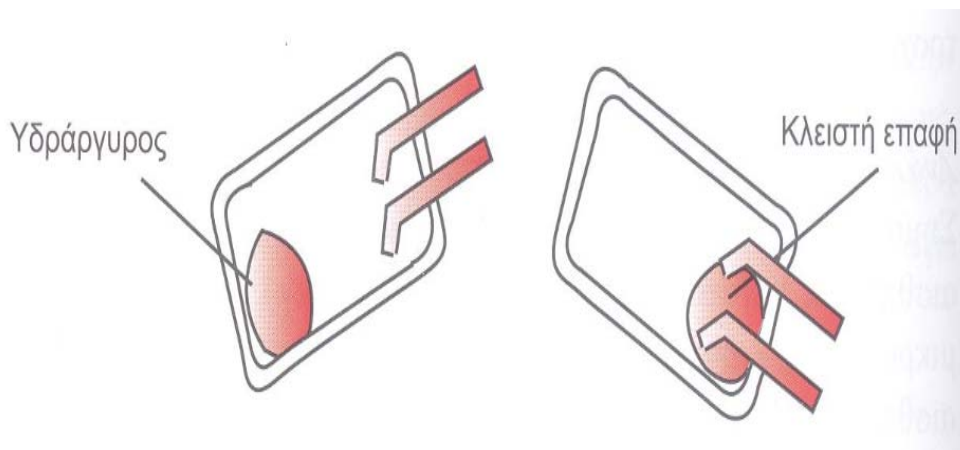
Οι μαγνητικοί διακόπτες με γλωσσίδιο χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση θέσης ενός αντικειμένου. Κατασκευαστικά αποτελούνται από ένα ζεύγος σιδηρούχων μεταλλικών επαφών που βρίσκονται μέσα σε ένα μη μαγνητικό πεδίο το οποίο μπορεί να είναι ένας γυάλινος κλωβός. Όταν ο διακόπτης βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο, οι μεταλλικές επαφές κλείνουν το κύκλωμα στο οποίο είναι συνδεδεμένοι. Οι διακόπτες με γλωσσίδια διαχωρίζονται μεταξύ τους ανάλογα με την ένταση του μαγνητικού πεδίου που απαιτούν ώστε να μετατοπιστούν τα γλωσσίδια [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].



Εικόνα 2.4 Τυπικό δείγμα μαγνητικού διακόπτη με γλωσσίδια [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013]

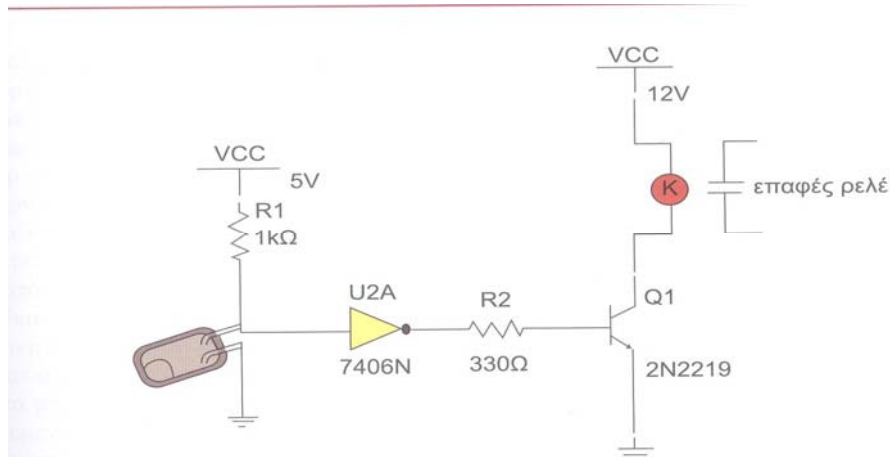
2.2.4 ΥΔΡΑΡΓΥΡΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Οι υδραργυρικοί διακόπτες βαρύτητας αναφέρουν την απόλυτη θέση ενός αντικειμένου με αναφορά σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων. Στην τυπική του μορφή, ένας υδραργυρικός διακόπτης θέσης είναι κατασκευασμένος από γυάλινο σωλήνα που έχει στα άκρα του δυο ηλεκτρικές επαφές και στο εσωτερικό του περιέχει υδράργυρο (mercury). Όταν ο αισθητήρας είναι τοποθετημένος υπό γωνία κατά την οποία το στοιχείο του υδραργύρου δεν έρχεται σε επαφή με τις μεταλλικές ηλεκτρικές επαφές στο εσωτερικό του, τότε το συνδεδεμένο σε σειρά κύκλωμα δεν διαρρέεται από ρεύμα. Όταν η γωνία του υδραργυρικού διακόπτη αλλάξει, η κάψουλα του υδραργύρου φέρει σε διηλεκτρική επαφή τις δύο ηλεκτρικές επαφές και το συνδεδεμένο σε σειρά κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα, δίνοντας την ένδειξη μετατόπισης γωνίας του αντικειμένου πάνω στο οποίο προσαρτημένος είναι ο υδραργυρικός διακόπτης.



Εικόνα 2.5 Ανοικτή και κλειστή επαφή υδραργυρικού [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013]

Μια τυπική σχεδίαση κυκλώματος για τη χρήση υδραργυρικού διακόπτη παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Όταν η επαφή του υδραργυρικού διακόπτη είναι κλειστή, η πύλη NOT δίνει λογικό 1 και έτσι το τρανζίστορ Q1 άγει, οπότε και κλείνουν οι επαφές του ρελέ. Στην αντίθετη περίπτωση, το τρανζίστορ δεν άγει και οι επαφές του ρελέ ανοίγουν [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].



Εικόνα 2.6 Τυπικό κύκλωμα χρήσης υδραγωγυρικού διακόπτη [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013]

2.2.5 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗ

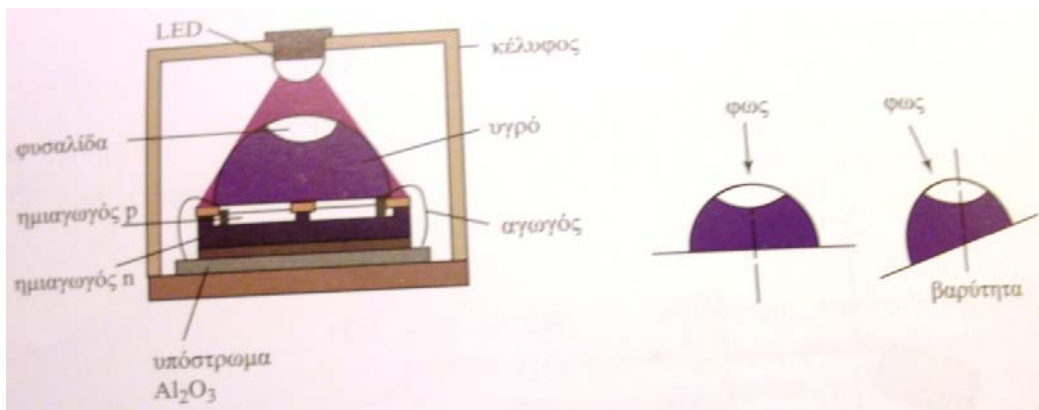
Οι αισθητήρες κλίσης με ηλεκτρολύτη αναφέρουν τη μετατόπιση ή και την απόλυτη θέση ενός αντικειμένου με αναφορά σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων. Στην τυπική του μορφή, ένας αισθητήρας κλίσης με ηλεκτρολύτη αποτελείται από μια σωληνοειδή κάψουλα υπό γωνία, στην οποία καταλήγουν τρία ηλεκτρόδια-ηλεκτρικές επαφές. Στο εσωτερικό της κάψουλας υπάρχει ηλεκτρολύτης και μια φυσαλίδα των ακροδεκτών $R_{1,2}$ και $R_{2,3}$ όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ο αισθητήρας ηλεκτρολυτικής κλίσης μπορεί να ανιχνεύσει ένα εύρος γωνιών από $\pm 1^\circ$ - $\pm 80^\circ$.

Οι αισθητήρες κλίσης με ηλεκτρολύτη τροφοδοτούνται από εναλλασσόμενες πηγές τροφοδοσίας που το πεδίο τιμών συχνοτήτων τους εξαρτάται από το είδος του ηλεκτρολύτη, το είδος του μετάλλου των επαφών και μπορεί να κυμαίνεται από 1 KHz έως 5 KHz [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].

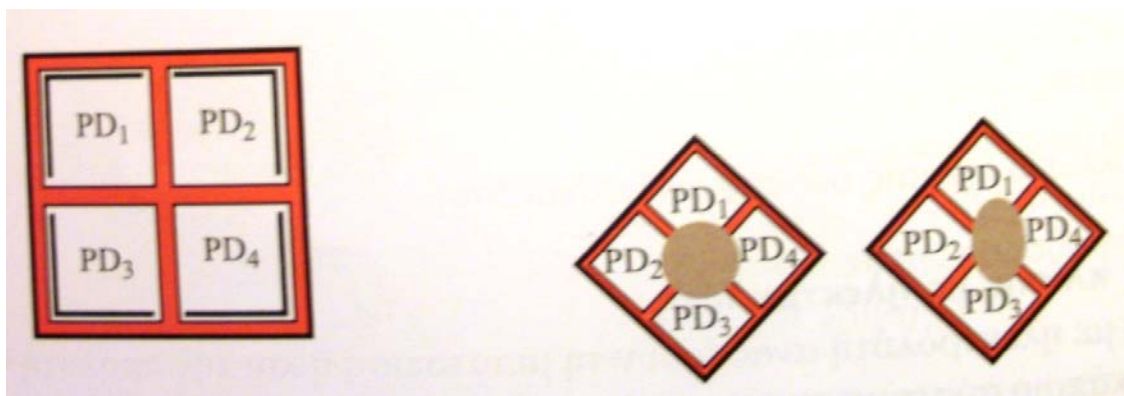
2.2.6 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΜΕ ΦΥΣΑΛΙΔΑ

Οι αισθητήρες κλίσης με φυσαλίδα αναφέρουν τη μετατόπιση και την απόλυτη θέση ενός αντικειμένου με αναφορά σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων. Στην τυπική του μορφή, ένας αισθητήρας κλίσης με φυσαλίδα αποτελείται από μια διαφανή ημισφαιρική κάψουλα που περιέχει κάποιο υγρό και μια φυσαλίδα αέρα. Στην κορυφή της κάψουλας και τοποθετημένη παράλληλα με το άνω άκρο της βαρύτητας υπάρχει μια φωτοδίοδος εκπομπής LED, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.7. Στην βάση της διάταξης υπάρχει ένας πίνακας από φωτοευαίσθητες επαφές P-N. Όταν η διάταξη βρεθεί υπό κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, η φυσαλίδα αέρα τείνει να βρίσκεται πάντα στην κορυφή της διαφανούς κάψουλας. Όταν ο αισθητήρας είναι σε οριζόντια θέση και ηρεμία, το

αποτύπωμα της φωτεινής ακτινοβολίας που διαπερνά τη φυσαλίδα στα στοιχεία του πίνακα με τις φωτοευαίσθητες επαφές, είναι κυκλικό και η φωτεινή ακτινοβολία είναι ισοκατανεμημένη στα στοιχεία του πίνακα, όπως φαίνεται και παρακάτω στην εικόνα 2.8. Σε κάθε άλλη περίπτωση κλίσης ή μετακίνησης του αισθητήρα, προκαλείται μετακίνηση της φυσαλίδας με αποτέλεσμα το αποτύπωμα της φωτεινής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του πίνακα P-N να γίνεται ελαφρώς ελλειπτικό και έτσι να έχουμε διαφορετική κατανομή της φωτεινής ακτινοβολίας στα στοιχεία του πίνακα με τις φωτοευαίσθητες επιφάνειες [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].



Εικόνα 2.7 Διάταξη αισθητήρα κλίσης με φυσαλίδα [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013]



Εικόνα 2.8 Πίνακας στοιχείων P-N [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013]

2.2.7 ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΚΑΙ ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ

Για τη μέτρηση της μετατόπισης ή της θέσης χρησιμοποιούνται συχνά μέθοδοι ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής που μπορούν να προσδιορίσουν τη θέση και τη μετατόπιση κάποιου αντικειμένου.

Η αρχή λειτουργίας των μεθόδων ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής βασίζεται στην σύζευξη μαγνητικής ροής μεταξύ δύο αγωγών, η οποία αλλάζει από την μετακίνηση κάποιου αντικειμένου και η οποία μπορεί να αναφέρει την αντίστοιχη μεταβολή στην τάση εξόδου του κυκλώματος του αισθητήρα. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο αξιοποιούν τη μεταβολή ροής που προκαλείται από τη μετακίνηση.

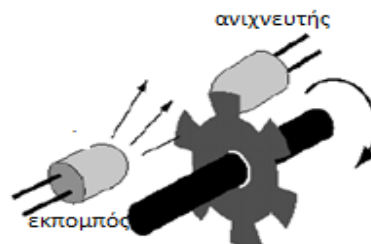
Οι πιο γνωστοί αισθητήρες μετατόπισης και θέσης που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής είναι ο Γραμμικά Μεταβαλλόμενος Διαφορικός Μετασχηματιστής – LVDT (Linear Variable Differential Transformer), που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της γραμμικής μετατόπισης ή θέσης και ο Στροφικά Μεταβαλλόμενος Διαφορικός Μετασχηματιστής –RVDT (Rotational Variable Differential Transformer), που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της γωνιακής μετατόπισης ή θέσης [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].

2.3 ΟΠΤΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ

Οι οπτικοί κωδικοποιητές είναι αισθητήρες με τους οποίους μπορεί να μετρηθεί η γραμμική και η περιστροφική μετατόπιση. Ο υπολογισμός προκύπτει από την περιστροφή του άξονα, η μέτρηση της οποίας γίνεται συνήθως με διατάξεις οι οποίες ονομάζονται κωδικοποιητές [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].

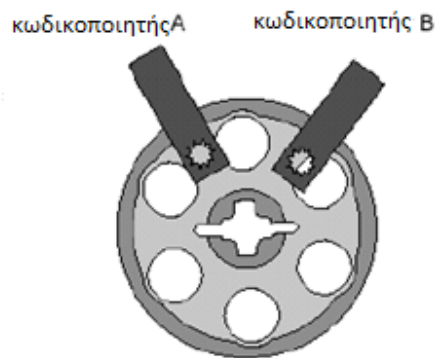
2.3.1 ΟΠΤΙΚΟΙ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ

Ο διαφορικός κωδικοποιητής περιλαμβάνει ένα στρεφόμενο δίσκο που είναι διαιρεμένος σε τομείς οι οποίοι είναι εναλλάξ διαφανείς και αδιαφανείς. Στην μια πλευρά του δίσκου τοποθετείται μια φωτεινή πηγή και στην άλλη ένα φωτοκύτταρο.

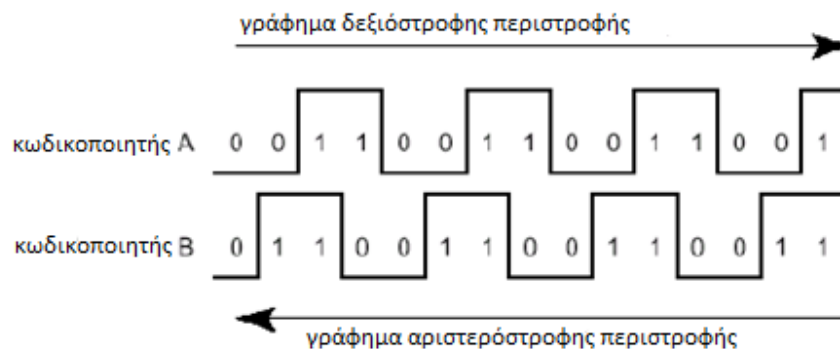


Εικόνα 2.9 Διαφορικός κωδικοποιητής [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Όταν ο δίσκος περιστρέφεται, κάθε μεταβολή του φωτός που προσπίπτει στο φωτοκύτταρο παράγει έναν παλμό εξόδου. Το πλήθος των παλμών αυτών ανά μονάδα χρόνου είναι ανάλογο προς τη γωνιακή ταχύτητα του άξονα και το ολικό πλήθος παλμών σε κάθε χρονική στιγμή είναι ανάλογο προς την ολική γωνιακή μετατόπιση του μετρούμενου άξονα. Η φορά περιστροφής μπορεί να ανιχνευθεί με τη βοήθεια ενός κωδικοποιητή που έχει δύο φωτοκύτταρα ανίχνευσης στον ίδιο δίσκο. Τα φωτοκύτταρα είναι τοποθετημένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι έξοδοι να έχουν διαφορά φάσης 90° η μια σε σχέση με την άλλη. Η φορά περιστροφής προσδιορίζεται με τη βοήθεια κατάλληλου λογικού κυκλώματος το οποίο δέχεται σαν εισόδους τις δύο ακολουθίες παλμών [Σφακιωτάκης Μιχάλης], [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].



Εικόνα 2.10 Κωδικοποιητής με 2 φωτοκύτταρα [Σφακιωτάκης Μιχάλης]



Εικόνα 2.11 Παλμοί δεξιόστροφης και αριστερόστροφης περιστροφής [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

2.3.2 ΑΠΟΛΥΤΟΙ ΟΠΤΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ

Ο απόλυτος οπτικός κωδικοποιητής αναφέρει την απόλυτη θέση της μετατόπισης με αναφορά κάποιο σημείο. Χρησιμοποιεί οπτικούς δίσκους ή οπτικές ταινίες και φωτοδιακόπτες για την καταγραφή της μετατόπισης. Για την εύρεση της απόλυτης θέσης, η οπτική επιφάνεια έχει διαμορφωθεί έτσι ώστε κάθε ακτίνα της (στην περίπτωση των οπτικών δίσκων) ή κάθε κάθετη προς τη διεύθυνση της μετατόπισης γραμμή (στην περίπτωση των οπτικών ταινιών), να είναι κωδικοποιημένη σε διαφανείς και αδιαφανείς περιοχές και να είναι μοναδική για τη συγκεκριμένη επιφάνεια.

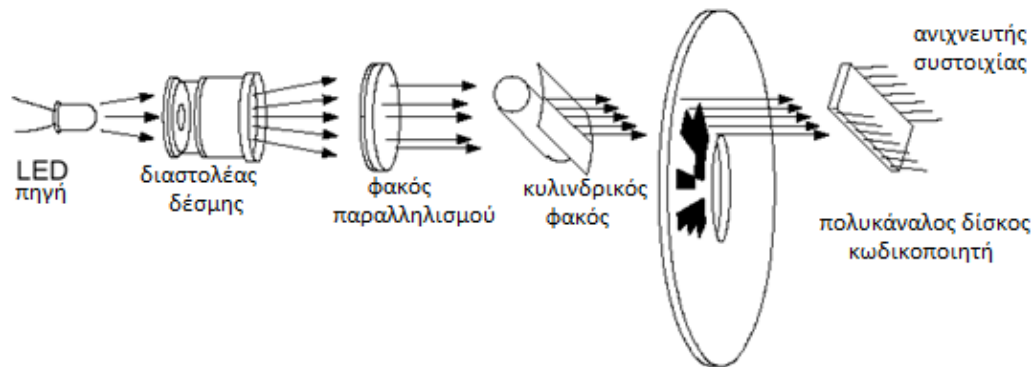


Εικόνα 2.12 Απόλυτος οπτικός κωδικοποιητής [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Οι φωτοδιακόπτες μπορεί να είναι περισσότεροι από δύο βρίσκονται τοποθετημένοι σε μια ακτίνα του οπτικού δίσκου, ή σε μια κάθετη γραμμή της οπτικής ταινίας. Το πλήθος των φωτοδιακοπών εξαρτάται από την ανάλυση της μετατόπισης που είναι επιθυμητό να επιτευχθεί από τον απόλυτο κωδικοποιητή και είναι σε άμεση ανάρτηση από την διαμόρφωση της οπτικής επιφάνειας σε διαφανείς περιοχές.

Όταν συμβαίνουν συνθήκες που εξαρτώνται από την ταχύτητα της μετατόπισης ή την ανάλυση και κυρίως από τον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο είναι πιθανό να υπάρχει αλλοίωση της εξόδου ενός ή περισσότερων φωτοδιακοπών. Σε μια τέτοια περίπτωση το σφάλμα μεγαλώνει όταν αλλοιώνονται τα περισσότερα σημαντικά ψηφία της ψηφιακής λέξης που αναφέρουν οι φωτοδιακόπτες. Επίσης, η πιθανότητα αλλοίωσης του αποτελέσματος της απόλυτης θέσης αυξάνεται όσο περισσότεροι φωτοδιακόπτες μεταβάλουν την έξοδό τους. Τα σφάλματα αυτά εξαλείφονται με τη χρήση απόλυτων κωδικοποιητών που χρησιμοποιούν δίσκο πολλαπλής ζώνης και ορίζουν τη θέση του άξονα σε δυαδική μορφή, συχνά σε κώδικα Gray. Σύμφωνα με τον κώδικα Gray, οι ψηφιακές λέξεις διαμορφώνονται πάνω στις οπτικές επιφάνειες κατά τέτοιο τρόπο ώστε η μετατόπιση από τη μια θέση στην επόμενη να προκαλεί μεταβολή μόνο 1-bit στην παραγόμενη ψηφιακή λέξη. Κατά τον κώδικα Gray οι διαδοχικά παραγόμενες κατά την

μετατόπιση ψηφιακές λέξεις δεν είναι διαδοχικές και στο δυαδικό σύστημα, γι' αυτό και είναι απαραίτητη η αποκωδικοποίηση ή η απλή αντιστοίχιση στις απόλυτες θέσεις [Σφακιωτάκης Μιχάλης], [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013].



Εικόνα 2.13 Σύστημα ανάγνωσης για την πραγματική γωνιακή θέση του άξονα [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

2.4 GPS

Το GPS (Global Positioning System) είναι ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης. Η λειτουργία του βασίζεται σε ένα δίκτυο από 24 δορυφόρους, τοποθετημένους σε μεσαίου ύψους τροχιές γύρω από τη γη, οι οποίοι εκπέμπουν μεγάλης ακρίβειας σήματα και κωδικοποιημένες πληροφορίες στην περιοχή των μικροκυμάτων, επιτρέποντας στους δέκτες GPS να καθορίσουν τη θέση τους, την ταχύτητά τους, την κατεύθυνση και το χρόνο.

Ένας δέκτης GPS υπολογίζει τη θέση του μετρώντας την απόσταση μεταξύ αυτού και τεσσάρων ή και περισσότερων ταυτόχρονα ορατών δορυφόρων του συστήματος. Κάθε ένας από τους δορυφόρους είναι εξοπλισμένος με ένα ατομικό χρονόμετρο και εκπέμπει συνεχώς μηνύματα τα οποία περιέχουν τον ακριβή χρόνο, τη θέση του δορυφόρου και τη γενική κατάσταση του συστήματος. Ο δέκτης χρησιμοποιώντας το δικό του χρονόμετρο μετράει τη χρονική στιγμή που το σήμα έφτασε σε αυτόν και προσδιορίζει το χρονικό διάστημα που αυτό "ταξίδευε" στο κενό και στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει η απόσταση κάθε δορυφόρου από τον δέκτη, δεδομένου ότι το σήμα ταξιδεύει με γνωστή ταχύτητα, αυτή του φωτός.

Το GPS αποτελείται από τρία βασικά μέρη: το διαστημικό τμήμα του συστήματος, το επίγειο τμήμα ή τμήμα ελέγχου και το τμήμα των χρηστών του συστήματος.

Το **διαστημικό τμήμα** του συστήματος περιλαμβάνει τους δορυφόρους που έχουν τεθεί ήδη σε τροχιά. Στο σχεδιασμό του συστήματος ορίστηκε ότι θα λειτουργούν 24

δορυφορικά <<οχήματα>>, 8 για κάθε ένα από τα τρία τροχιακά επίπεδα, αλλά αυτό τροποποιήθηκε σε 6 τροχιές με τέσσερις δορυφόρους η κάθε μία. Οι τροχιές αυτές έχουν κέντρο τους το κέντρο της γης και κλίση περίπου 55° αναφορικά με τον γήινο ισημερινό. Καθώς περιστρέφονται σε ένα υψόμετρο περίπου 20.200 km, κάθε δορυφόρος εκτελεί μία πλήρη περιστροφή κάθε 12 ώρες, δηλαδή περνάει από το ίδιο σημείο της γης δύο φορές την ημέρα. Οι τροχιές είναι έτσι σχεδιασμένες ώστε τουλάχιστον 6 δορυφόροι να είναι πάντα ορατοί από κάθε σημείο της γήινης επιφάνειας [Δημοπούλου Μαρία, 2008].



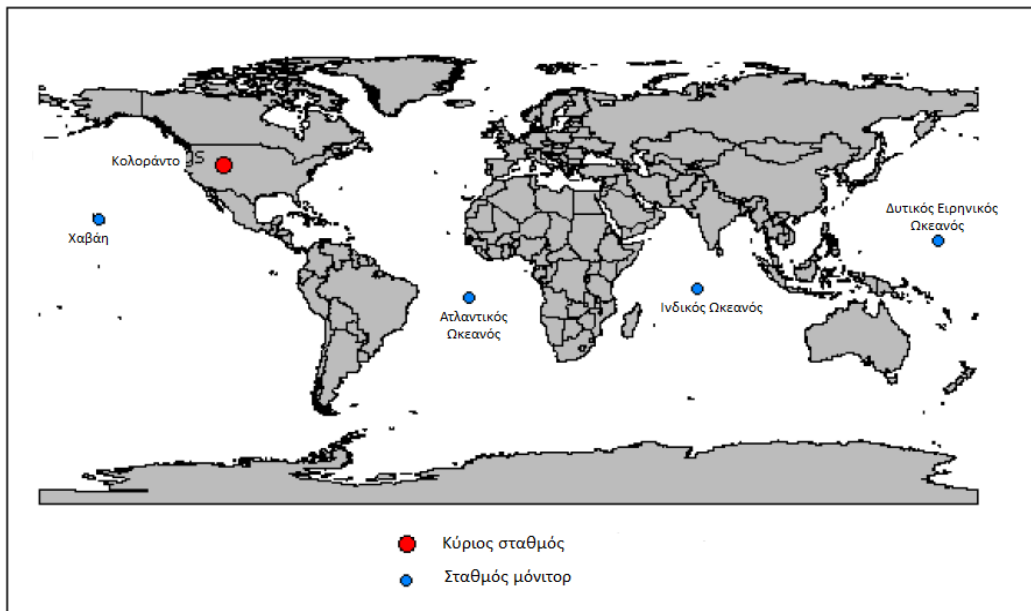
Εικόνα 2.14 Δορυφόρος GPS σε τροχιά [Δημοπούλου Μαρία, 2008]

Το **επίγειο τμήμα** ελέγχου του GPS είναι ένα δίκτυο παγκόσμιας έκτασης που ασχολείται με τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των δορυφόρων καθώς και με την πραγματοποίηση διορθώσεων των σφαλμάτων που προκύπτουν. Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται εστιάζονται στον προσδιορισμό και την πρόβλεψη της θέσης των δορυφόρων, στην ακεραιότητα του συστήματος, στη συμπεριφορά των χρονόμετρων που περιλαμβάνονται στους δορυφόρους, σε ατμοσφαιρικές πληροφορίες και άλλες παραμέτρους. Οι πληροφορίες αυτές αποστέλλονται στους δορυφόρους μέσω μιας σύνδεσης S-band. Στη συνέχεια, ενσωματώνονται στο σήμα που εκπέμπεται από αυτούς και καταλήγουν στους δέκτες των χρηστών.

Το τμήμα αποτελείται από έναν επανδρωμένο κέντρο και ακόμα τέσσερα, μη επανδρωμένα, που βρίσκονται διάσπαρτα στον πλανήτη, στις περιοχές α) Κολοράντο, β) Χαβάη, γ) Ατλαντικός Ωκεανός, δ) Ινδικός Ωκεανός και ε) Δυτικός Ειρηνικός Ωκεανός.

Ο κυριότερος σταθμός βάσης είναι αυτός του Κολοράντο, ο οποίος είναι και μοναδικός που βρίσκεται στην ξηρά και έχει αναλάβει τον έλεγχο της σωστής

λειτουργίας των υπολοίπων τεσσάρων σταθμών, καθώς και τον συντονισμό τους. Όλοι είναι εξοπλισμένοι με υψηλής ακρίβειας δέκτες GPS. Τρεις από αυτούς έχουν και επίγειες κεραίες για την αποστολή των πληροφοριών στους δορυφόρους.



Εικόνα 2.15 Χάρτης των επίγειων Σταθμών Ελέγχου του GPS

Το **τμήμα των χρηστών** απαρτίζεται από τους χιλιάδες χρήστες των δεκτών GPS παγκοσμίως. Γενικά οι δέκτες αποτελούνται από μια κεραία, που συντονίζεται στις συχνότητες που εκπέμπουν οι δορυφόροι, από επεξεργαστές λήψης σημάτων και από ένα υψηλής σταθερότητας χρονόμετρο. Είναι εφοδιασμένοι με οθόνη για την επίδειξη στο χρήστη πληροφοριών θέσης και ταχύτητας. Ένα από τα χαρακτηριστικά του κάθε δέκτη είναι ο αριθμός των καναλιών, δηλαδή πόσους δορυφόρους μπορεί να παρακολουθήσει ταυτόχρονα. Αυτός ο αριθμός αρχικά περιοριζόταν σε τέσσερις ή πέντε, αλλά αργότερα οι περισσότεροι δέκτες έχουν από 12 μέχρι 20 ή και περισσότερα κανάλια [Δημοπούλου Μαρία, 2008].

Όσον αφορά τον τομέα της πλοήγησης αυτοκινούμενων ρομπότ, η χρήση του GPS για τον εντοπισμό της θέσης του οχήματος γίνεται όλο και πιο δημοφιλής. Η χρήση GPS είναι ιδανικό εργαλείο για πολλές εφαρμογές πλοήγησης σε εξωτερικούς χώρους. Στα μειονεκτήματα όμως της τεχνικής αυτής συγκαταλέγονται η περιοδική διακοπή και τα ανακριβή δεδομένα για τη θέση του ρομπότ όταν χρησιμοποιηθεί σε πρωτεύοντα, αυτόνομα συστήματα πλοήγησης [Θεοδωρόπουλος Θεοφάνης, 2008].

2.4.1 INS

Τα INS συστήματα αδρανειακής πλοήγησης (Inertial Navigation Systems) αποτελούν ολοκληρωμένες διατάξεις αισθητηρίων, οι οποίες καταγράφουν την επιτάχυνση και το ρυθμό περιστροφής ενός συστήματος τριών αξόνων. Ενσωματώνουν επομένως τρία επιταχυνσιόμετρα και τρία γυροσκόπια.

Σε σχέση με το GPS, τα INS συστήματα παρουσιάζουν το πλεονέκτημα είναι ότι δεν απαιτούν και δεν εξαρτώνται από κάποιο εξωτερικό σήμα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα έχουμε ότι η χρήση τους είναι εφικτή σε χώρους εκτός κάλυψης του GPS, όπως π.χ. στο εσωτερικό των κτιρίων. Τα INS όμως παρουσιάζουν προβλήματα λόγω της ολοκλήρωσης των σημάτων, διαδικασία η οποία συσσωρεύει σφάλματα μετρήσεων όταν υπάρχει διολίσθηση πόλωσης στις μετρήσεις των αισθητηρίων. Η ποσότητα των παραγόμενων δεδομένων από τα αισθητήρια απαιτεί σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους για την επεξεργασία τους.

Προκειμένου να διατηρείται σταθερός ο προσανατολισμός του συστήματος των επιταχυνσιομέτρων, χρησιμοποιείται διάταξη γυροσκοπικής εξισορρόπησης. Στην πράξη, η κατασκευή μιας τέτοιας πλατφόρμας είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και με πολύ μεγάλο κόστος, που είναι απαγορευτικό τις περισσότερες φορές για εφαρμογές στην ρομποτική. Τα συστήματα INS χρησιμοποιούνται σε επιβατικά αεροσκάφη, όπου η συσσώρευση σφάλματος στις μετρήσεις φτάνει τα 1800m ανά ώρα λειτουργίας. Η μέγιστη εφικτή ακρίβεια προσεγγίζει το 0.1% της διανυσθείσας απόστασης, σε επίγειες εφαρμογές. Η ανάπτυξη των γυροσκοπικών διατάξεων laser και οπτικών ινών μείωσε σημαντικά το κόστος και η χρήση των συστημάτων INS πλέον είναι πιο προσιτή για εφαρμογές στη ρομποτική [Σφακιωτάκης Μιχάλης].

2.4.2 IMU

Τα IMU (Intertial Measurement Unit) αποτελεί το κύριο στοιχείο των αδρανειακών συστημάτων πλοήγησης. Η αδρανειακή μονάδα μέτρησης IMU είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που παίρνει μετρήσεις σχετικά με την ταχύτητα, τον προσανατολισμό ενός οχήματος και τις βαρυτικές δυνάμεις, χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό από επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια και μερικές φορές μαγνητόμετρα. Οι IMU συσκευές συνήθως χρησιμοποιούνται σε οχήματα, σκάφη και για το χειρισμό αεροσκαφών, όπως και τα μη επανδρωμένα οχήματα αέρος, μεταξύ πολλών άλλων και διαστημόπλοια, συμπεριλαμβανομένων των δορυφόρων και των συσκευών προσεδάφισης. Με την ιδιότητά τους αυτή, τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες του IMU επιτρέπουν σε έναν υπολογιστή να παρακολουθεί τη θέση ενός σκάφους, οχήματος, κτλ, χρησιμοποιώντας τον υπολογισμό του στίγματός του. Μια IMU συσκευή επιτρέπει στο GPS να λειτουργήσει όταν το σήμα του δεν είναι διαθέσιμο, όπως σε σήραγγες, μέσα σε κτίρια ή όταν υπάρχουν ηλεκτρικές παρεμβολές.

Για παράδειγμα, αν μια συσκευή IMU εγκατασταθεί σε ένα αεροπλάνο, όταν διαπιστώσει ότι το σκάφος ταξιδεύει προς τα δυτικά για μία ώρα με μέση ταχύτητα 500 μίλια την ώρα, τότε ο υπολογιστής καθοδήγησης θα συμπεράνει ότι το αεροπλάνο πρέπει να είναι 500 μίλια δυτικά από την αρχική του θέση. Σε συνδιασμό με ένα ηλεκτρονικό σύστημα χαρτών, το σύστημα καθοδήγησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δείξει στον πιλότο που βρίσκεται το αεροπλάνο γεωγραφικά, παρόμοιο δηλαδή με ένα σύστημα GPS αλλά χωρίς την ανάγκη να επικοινωνήσει με οποιοδήποτε εξωτερικό στοιχείο, όπως οι δορυφόροι [25].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κινητήρας είναι ένα σύστημα μηχανημάτων που έχει την ικανότητα να μετατρέπει την κάθε μορφή ενέργειας που του προσφέρεται σε κινητική ενέργεια. Οι κινητήρες είναι οι πιο διαδεδομένοι μηχανισμοί κίνησης στη ρομποτική. Είναι ιδανικοί για να κινούν τους τροχούς, καθώς τους παρέχουν περιστροφική κίνηση. Οι κυριότεροι τύποι κινητήρων είναι οι πνευματικοί, οι υδραυλικοί ή ηλεκτροϋδραυλικοί και οι ηλεκτρικοί [Maja J Mataric, 2007].

3.2 ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι μηχανισμοί οι οποίοι μετασχηματίζουν την ενέργεια του πεπιεσμένου αέρα σε μηχανική ενέργεια περιστροφής ονομάζονται πνευματικοί κινητήρες. Ανάλογα με το σχεδιασμό τους διακρίνονται σε εμβολοφόρους (αξονικούς και ακτινικούς), γρاناζωτούς, πτερυγιοφόρους και στροβιλοφόρους.

Η χρήση του κάθε τύπου έχει να κάνει με τις απαιτήσεις του εκάστοτε κυκλώματος: οι στροβιλοφόροι κινητήρες χρησιμοποιούνται μόνο όπου χρειαζόμαστε μικρή ισχύ αλλά πολύ μεγάλο αριθμό στροφών. Οι γρاناζωτοί κινητήρες χρησιμοποιούνται σαν μηχανές έλξεως μιας και αναπτύσσουν υψηλές ροπές ενώ οι πτερυγιοφόροι διακρίνονται για την απλότητα της κατασκευής και το μικρό βάρος τους αλλά δεν μπορούν να αναπτύξουν υψηλές στροφές [Θεμελής Νικόλαος, 2007].

Τα πλεονεκτήματα των πνευματικών κινητήρων είναι:

- Ευκολία εγκατάστασης και συντήρησης
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- Διαθεσιμότητα συμπιεσμένου αέρα στην παραγωγική μονάδα
- Μεγάλη ακρίβεια με μηχανικά όρια
- Απλή λειτουργία ελεγκτή
- Αξιοπιστία
- Μείωση πιθανότητας ρευμάτων διαρροής/ ηλεκτροπληξίας

Τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Περιορισμός σε κινήσεις
- Δυσκολία επαναπρογραμματισμού (πολύ χρονοβόρα)
- Περιορισμένος αριθμός προγραμμάτων
- Μη ελεγχόμενη κίνηση (αδυναμία ελέγχου θέσης και ταχύτητας) λόγω αυτόματου ελέγχου ανοικτού βρόγχου
- Χαμηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα που μειώνεται λόγω φθοράς των εξαρτημάτων
- Θόρυβος

3.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ Ή ΗΛΕΚΤΡΟΎΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΤΡΕΣ

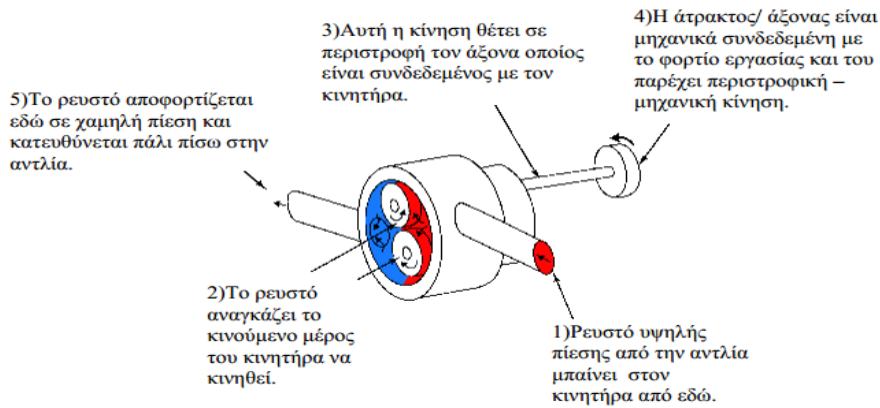
Οι υδραυλικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται όταν η επιθυμητή κίνηση είναι περιστροφική και είναι όμοιοι με τις υδραυλικές αντλίες. Αντί να συμπιέζουν το ρευστό όπως οι αντλίες, δέχονται ρευστό υπό πίεση το οποίο τους αναγκάζει να περιστρέφονται και να αποδίδουν ροπή στρέψεως στον άξονά τους. Οι κινητήρες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αντλίες ή αντίστροφα. Οι περισσότεροι έχουν δυνατότητα περιστροφής και προς τις δύο κατευθύνσεις ενώ οι αποστραγγίσεις τους είναι εξωτερικές [Σιμωνίδης Βαρθολομαίος, 2007].

Τα ρομπότ που χρησιμοποιούν κινητήρες αυτού του τύπου είναι ιδιαίτερα ισχυρά και γρήγορα. Συνήθως, ένας ηλεκτρικός κινητήρας, τριφασικού τυλίγματος, χρησιμοποιείται για τη λειτουργία της υδραυλικής αντλίας και των υδραυλικών σερβοβαλβίδων. Η κινητήρια δύναμη παράγεται ολοκληρωτικά από έμβολα λαδιού τα οποία μεταβάλλουν τη θέση μιας άρθρωσης γραμμικά ή περιστροφικά. Οι συσκευές αυτές, εν συνεχεία είναι συνδεδεμένες με τους συνδέσμους ή τις αρθρώσεις του ρομπότ και παρέχουν την απαραίτητη δύναμη για μια συγκεκριμένη κίνηση [Εμίρης Δημήτριος Μ., 1999].

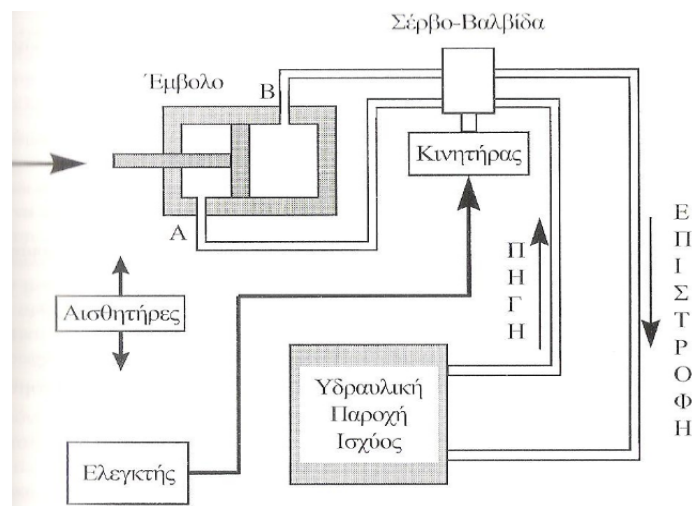
Η λειτουργία ενός υδραυλικού κινητήρα οφείλεται στη ροή του λαδιού με τη βοήθεια ενός εμβόλου. Η ροή αυτή μπορεί να αναλυθεί σε τρεις κύριες συνιστώσες: τη ροή προς τον κινητήρα, τις διαρροές και τη συνιστώσα της συμπιεστότητας (compressibility). Οι συνιστώσες αυτές καθορίζουν τη δυναμική συμπεριφορά του συστήματος, η οποία εξαρτάται από την υδραυλική μετάδοση και το μηχανικό, περιστρεφόμενο τμήμα. Το σχηματικό διάγραμμα της υδραυλικής μετάδοσης απεικονίζεται στην εικόνα 3.1, όπου φαίνεται ο δρόμος της ροής ελαίου στον υδραυλικό κινητήρα. Το κύκλωμα υδραυλικής ροής είναι κλειστό και διατηρείται πλήρες μέσω ενός συστήματος αναπλήρωσης του ελαίου. Το ρευστό υψηλής πίεσης από την αντλία μπαίνει στον κινητήρα κι έτσι αναγκάζει το κινούμενο μέρος του κινητήρα να κινηθεί. Έπειτα, το ρευστό αποφορτίζεται σε χαμηλή πίεση και κατευθύνεται και πάλι πίσω στην αντλία. Με αυτήν τον τρόπο θέτει σε περιστροφή τον άξονα, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τον κινητήρα.

Ο άξονας αυτός είναι μηχανικά συνδεδεμένος με το φορτίο εργασίας και παρέχει περιστροφική – μηχανική κίνηση.

Οι ρομποτικοί χειριστές που κινούνται από υδραυλικούς κινητήρες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ισχύ, για παράδειγμα στην ανύψωση βαρέων αντικειμένων [Εμίρης Δημήτριος Μ., 1999].



Εικόνα 3.1 Αρχή λειτουργίας υδραυλικού κινητήρα [Σιμωνίδης Βαρθολομαίος, 2007]



Εικόνα 3.2 Ροή ελαίου σε υδραυλικό κινητήρα [Εμίρης Δημήτριος Μ., 1999]

3.3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Η υδραυλική μετάδοση έχει πολλά χαρακτηριστικά. Έχει παρατηρηθεί ότι οι υδραυλικοί κινητήρες λειτουργούν πιο ομαλά σε χαμηλές ταχύτητες σε σχέση με τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Εφόσον οι υδραυλικοί κινητήρες διαθέτουν εσωτερικό σύστημα ψύξης, μπορούν να λειτουργήσουν σε συνθήκες κορεσμού, π.χ. λόγω βραχυκυκλώματος, χωρίς να καταστραφούν.

Τα χαρακτηριστικά ταχύτητας-διαδρομής των κινητήρων υδραυλικής μετάδοσης είναι τέτοια ώστε ο άξονας του κινητήρα περιστρέφεται με ταχύτητα ανάλογη της διαδρομής του εμβόλου. Η σχέση ταχύτητας-διαδρομής διατηρείται σε ένα μεγάλο εύρος μεταβολών του φορτίου. Συγκεκριμένα, η ταχύτητα του άξονα σε έναν υδραυλικό κινητήρα δεν μεταβάλλεται σημαντικά ακόμα και όταν η ροπή του φορτίου μεταβάλλεται σε μεγάλο εύρος. Η διατήρηση της διαδρομής του εμβόλου κατά τη διανομή μιας ροπής απαιτεί μία σημαντική δύναμη. Κατά συνέπεια, απαιτείται συχνά μία σημαντική ενίσχυση του σήματος εισόδου για το μηχανισμό μετακίνησης του εμβόλου. Η ενίσχυση αυτή μπορεί να επιτευχθεί ηλεκτρικά ή υδραυλικά [Εμίρης Δημήτριος Μ., 1999].

Τα πλεονεκτήματα των υδραυλικών κινητήρων είναι τα παρακάτω:

- Ο υψηλότερος λόγος ισχύος προς βάρος από κάθε άλλο τύπο μετάδοσης κίνησης.
- Υψηλή ταχύτητα και μηχανική απλότητα.
- Πολύ γρήγορη απόκριση.
- Δυνατότητα ανάδρασης θέσης και ταχύτητας.
- Αξιοπιστία, μικρός αριθμός βλαβών κατά τη διάρκεια ζωής τους.
- Κατασκευαστική τυποποίηση.

Τα μειονεκτήματα των υδραυλικών κινητήρων είναι τα ακόλουθα:

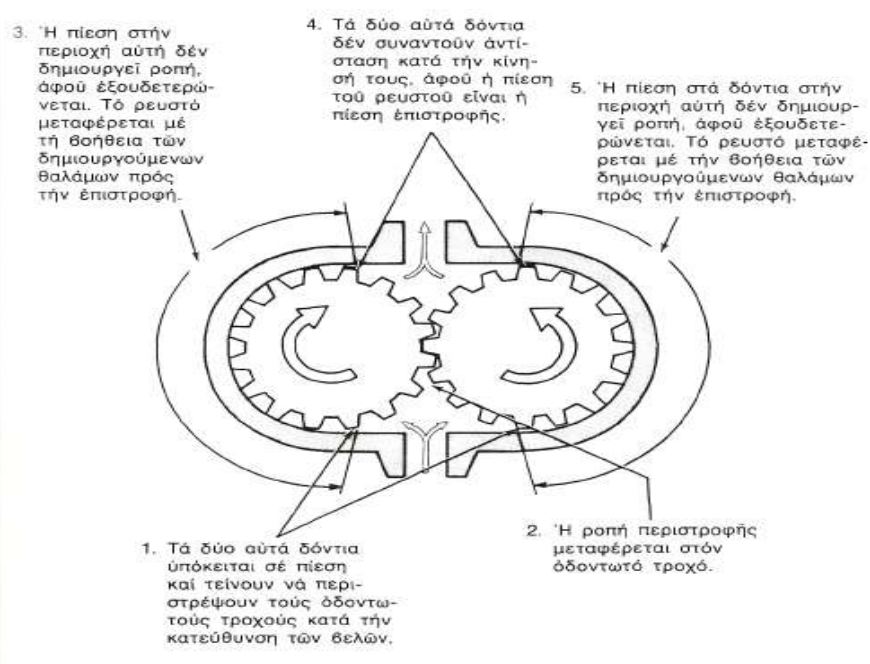
- Επικινδυνότητα λόγω κρουστικής πίεσης, εάν ο σωλήνας τροφοδοσίας σπάσει.
- Απαίτηση ιδιαίτερα καλού φιλτραρίσματος του λαδιού.
- Διαρροή λαδιού, ενδεχομένως πολύ μικρή, και κίνδυνος ανάφλεξης.
- Απαίτηση χρόνου προθέρμανσης σε ψυχρή εκκίνηση.
- Σημαντικός επηρεασμός της ακρίβειας από τις θερμοκρασιακές συνθήκες.
- Περιορισμένη χρήση στη βιομηχανία τροφίμων εξαιτίας της τοξικότητας του λαδιού.
- Απαίτηση για μεγάλο χώρο εγκατάστασης και συντήρησης.
- Αργή κάμψη του ρομπότ όταν διακοπεί η παροχή ισχύος.

3.3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Οι υδραυλικοί κινητήρες διακρίνονται σε οδοντωτούς, περυγιοφόρους και σε εμβολοφόρους.

Ένας **οδοντωτός** κινητήρας αποτελείται από δύο οδοντωτούς τροχούς οι οποίοι συμπλέκονται και περιστρέφονται μαζί. Ο ένας μόνο από τους δύο τροχούς είναι συνδεδεμένος με τον άξονα του κινητήρα. Αναπτύσσει ροπή στρέψεως με την εφαρμογή πίεσεως στην επιφάνεια των οδόντων. Η φορά περιστροφής είναι αντιστρέψιμη με την αντιστροφή της παροχής του ρευστού. Ο κυβισμός (παροχή σε cm^3 ανά πλήρη περιστροφή) του κινητήρα είναι σταθερός και ισούται με τον όγκο που εγκλωβίζεται μεταξύ των οδόντων και των τοιχωμάτων του κινητήρα.

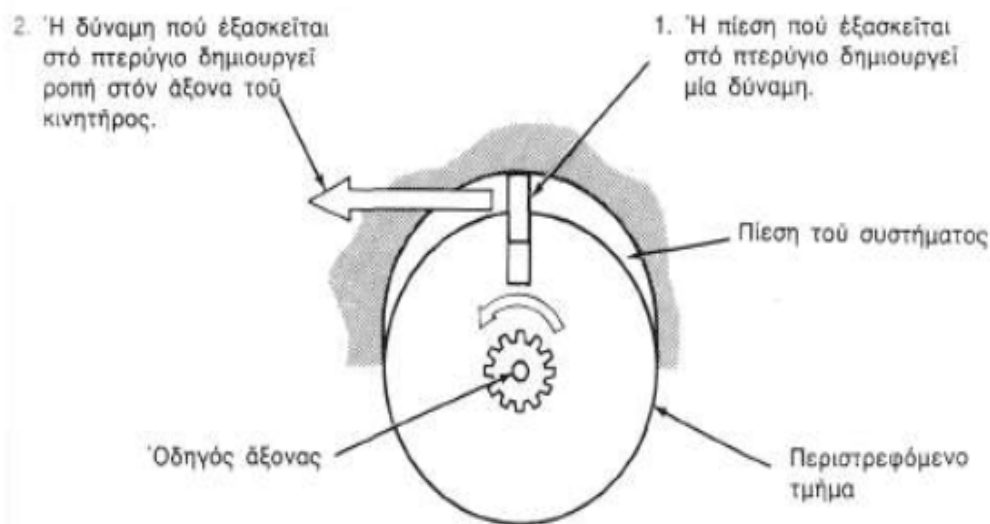
Όπως βλέπουμε από την εικόνα 3.3, τα δόντια των τροχών υπόκειται σε πίεση και τείνουν να στρέψουν τους οδοντωτούς τροχούς. Η ροπή περιστροφής μεταφέρεται στον τροχό. Το ρευστό μεταφέρεται με τη βοήθεια των δημιουργούμενων θαλάμων προς την επιστροφή. Τα δύο εκείνα δόντια δεν συναντούν αντίσταση κατά την κίνησή τους, αφού η πίεση του ρευστού είναι η πίεση της επιστροφής [Σιμωνίδης Βαρθολομαίος, 2007].



Εικόνα 3.3 Αρχή λειτουργίας οδοντωτού υδραυλικού κινητήρα [Σιμωνίδης Βαρθολομαίος, 2007]

Ένας **περυγιοφόρος** κινητήρας αποτελείται από πτερύγια. Η ροπή στρέψεως των περυγιοφόρων κινητήρων αναπτύσσεται με την εφαρμογή της πίεσεως του ρευστού στην μία επιφάνεια των πτερυγίων. Τα πτερύγια κινούνται ελεύθερα στις υποδοχές του

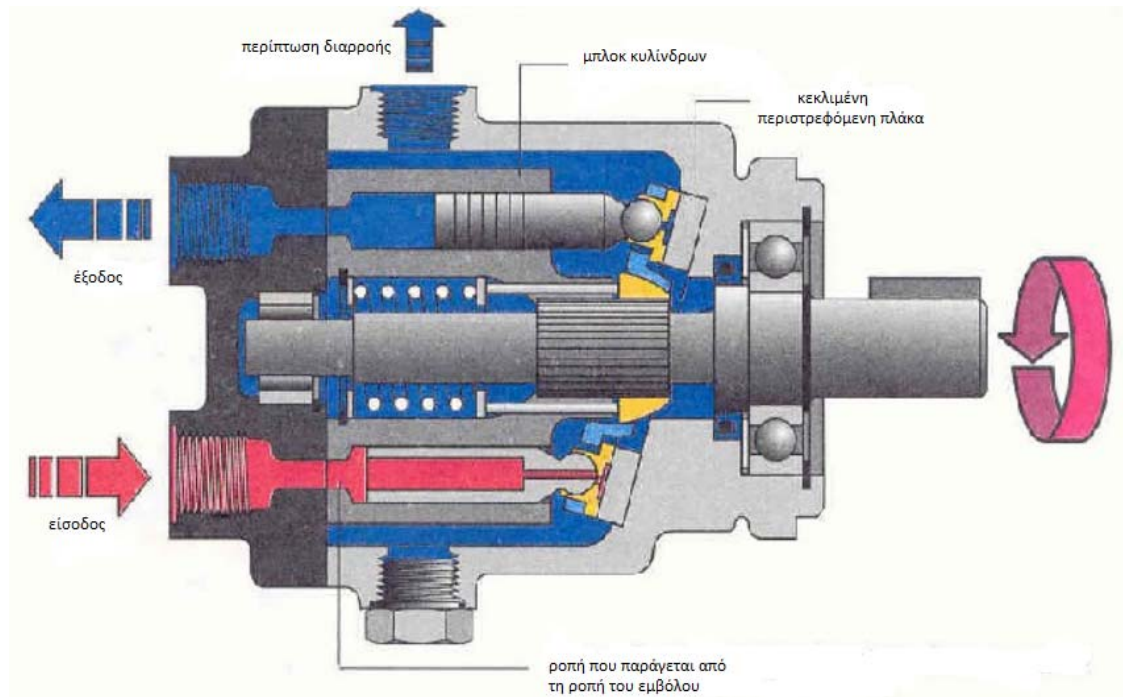
περιστρεφόμενου τμήματος και εφάπτονται στην εσωτερική επιφάνεια του δακτυλίου. Η επαφή είναι τέτοια ώστε η πίεση συγκρατείται στους χώρους που δημιουργούνται. Η πίεση που ασκείται στο ένα περύγιο δημιουργεί μια δύναμη. Η δύναμη αυτή ασκείται στο άλλο περύγιο που δημιουργεί ροπή στον άξονα του κινητήρα (εικόνα 3.4) [Σιμωνίδης Βαρθολομαίος, 2007].



Εικόνα 3.4 Αρχή λειτουργίας περυγιοφόρου κινητήρα [Σιμωνίδης Βαρθολομαίος, 2007]

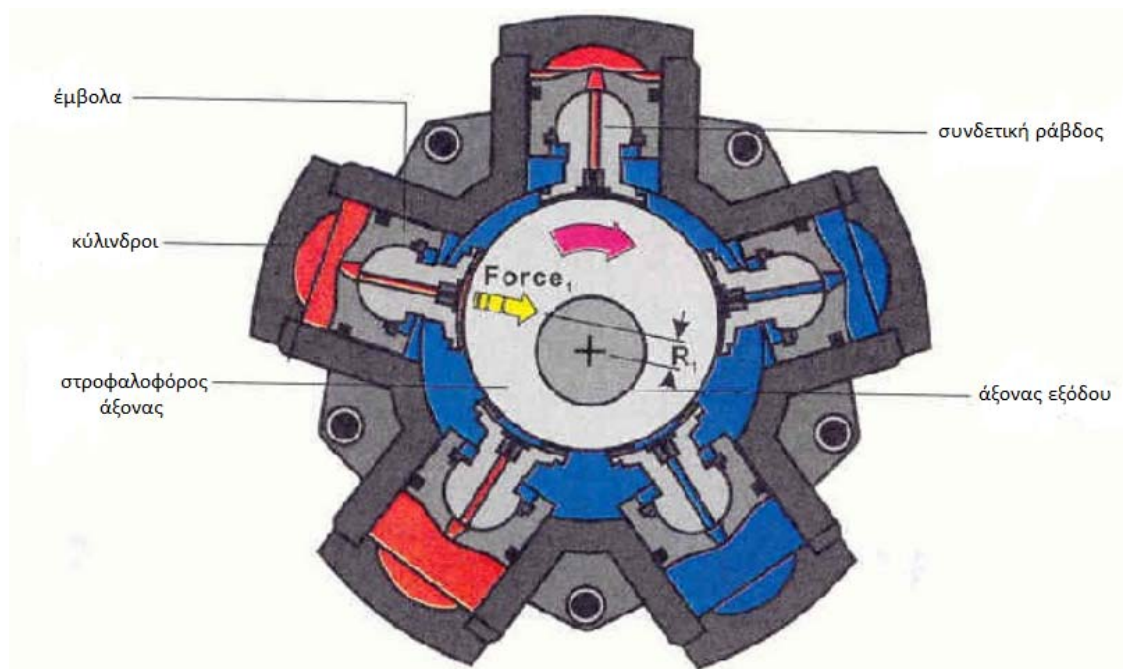
Υπάρχουν δύο τύποι **εμβολιοφόρων** κινητήρων και χρησιμοποιούν τις ίδιες βασικές αρχές, οι αξονικοί και οι ακτινικοί. Περιστρέφουν μόνο τον ένα άξονα, όπως οι κύλινδροι ενός κινητήρα αυτοκινήτου. Γενικά, παρουσιάζουν τους υψηλότερους βαθμούς απόδοσης από όλους τους κινητήρες. Έχουν υψηλή ισχύ, υψηλή ταχύτητα και υψηλή πίεση. Η ισχύς τους ανά μονάδα βάρους είναι μεγαλύτερη από όλους τους κινητήρες. Γι' αυτό το λόγο συχνά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές αεροναυπηγικής.

Οι **αξονικοί** εμβολιοφόροι κινητήρες έχουν απλές κατασκευές και χαμηλό κόστος. Ο άξονας του κινητήρα και οι άξονες των εμβόλων είναι παράλληλοι, ενώ η πίεση στα άκρα των εμβόλων δημιουργεί μια δύναμη αντιστάσεως στην υπό κλίση πλάκα. Η αντίσταση αυτή περιστρέφει τον άξονα και δημιουργεί τη ροπή στρέψεως, η οποία είναι ανάλογη προς την επιφάνεια των κεφαλών των εμβόλων και συνάρτηση της γωνίας της υπό κλίση πλάκας προς τον άξονα. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές χαμηλής ροπής και υψηλού αριθμού στροφών, όπως για παράδειγμα σε εργαλειομηχανές [Σιμωνίδης Βαρθολομαίος, 2007].



Εικόνα 3.5 Υδραυλικός κινητήρας αξονικών εμβόλων [23]

Οι **ακτινικοί** εμβολοφόροι κινητήρες αποτελούνται από αριθμό εμβόλων που παλινδρομούν δεχόμενα ρευστό υπό πίεση. Οι κινητήρες αυτοί έχουν υψηλή ροπή και χαμηλή ταχύτητα. Σε εφαρμογή τους συναντάμε σε οδοστρωτήρες.



Εικόνα 3.6 Υδραυλικός κινητήρας ακτινικών εμβόλων [23]

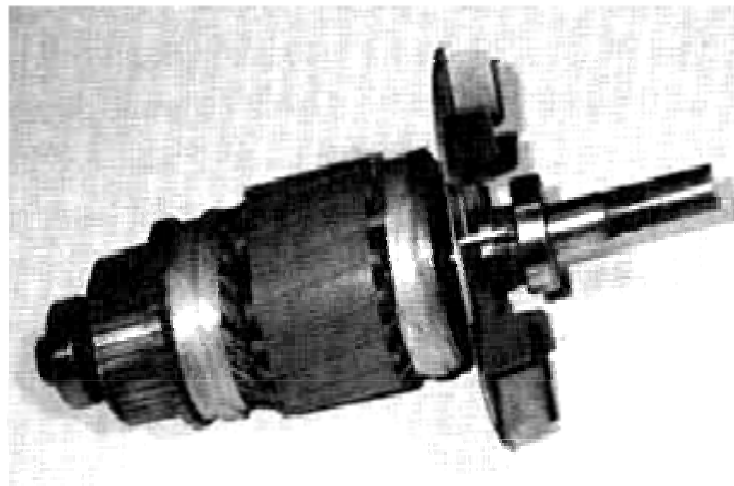
3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι μια διάταξη που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες : σε συνεχούς ρεύματος (DC), σε εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), σε βηματικούς κινητήρες (step motors) και σε σερβοκινητήρες.

3.4.1 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (DC)

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ρομποτικής είναι κινητήρες ροπής, συνεχούς περιστροφής και διέγερσης οπλισμού, και έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: υψηλό λόγο ροπής-ισχύος, ομαλή και χαμηλής ταχύτητας λειτουργία, γραμμικά χαρακτηριστικά ροπής ταχύτητας και μικρές χρονικές σταθερές.

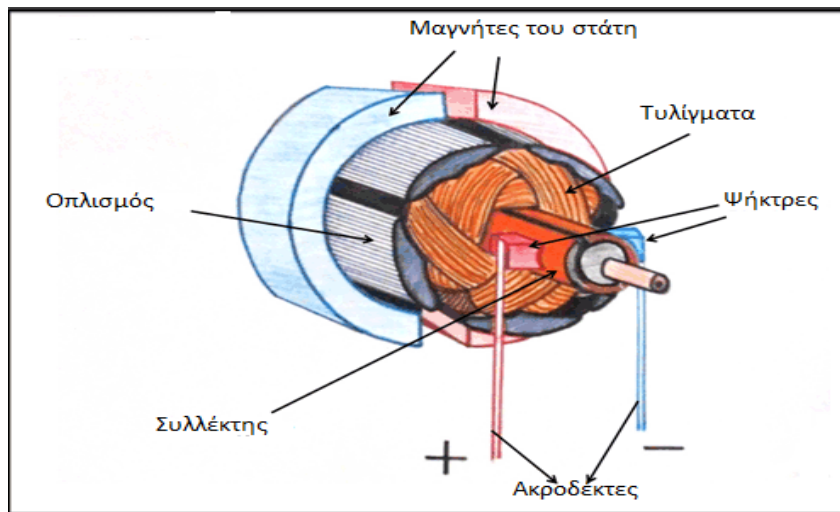
Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι ουσιαστικά ένας μετατροπέας ροπής, ο οποίος μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Η ροπή που αναπτύσσεται στον άξονα του κινητήρα είναι ανάλογη προς τη ροή του μαγνητικού πεδίου και του ρεύματος οπλισμού. Επιπρόσθετα προς την αναπτυσσόμενη ροπή, όταν ο αγωγός κινείται σε ένα μαγνητικό πεδίο, αναπτύσσεται μια τάση στα άκρα του. Η τάση αυτή είναι ανάλογη προς την ταχύτητα περιστροφής του κινητήριου άξονα και τείνει να αντιστέκεται στην ροή του ρεύματος.



Εικόνα 3.7 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC)

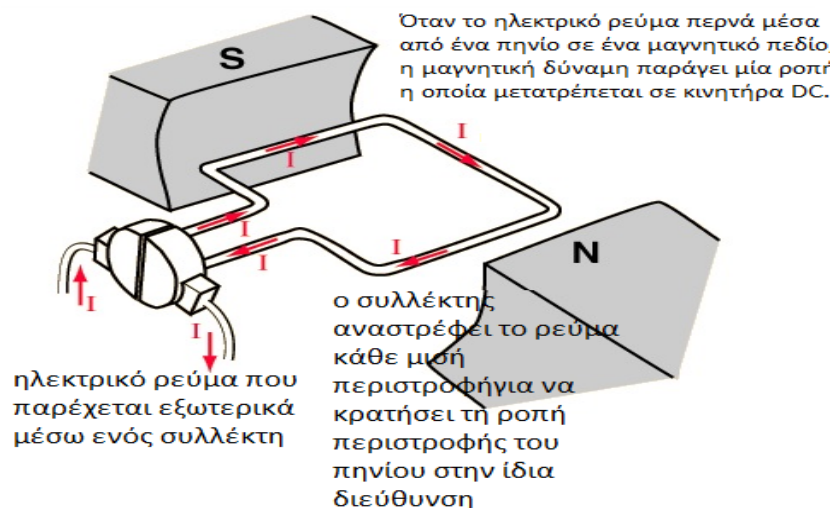
Ο κινητήρας ροπής συνεχούς ρεύματος αποτελείται από ένα στατικό και ένα περιστρεφόμενο τμήμα. Το μη περιστρεφόμενο τμήμα του κινητήρα, ο στάτης (stator), αποτελείται από ένα κέλυφος, σφαιροτριβεία (ρουλεμάν) και μόνιμους μαγνήτες ή ηλεκτρομαγνήτες. Οι μαγνήτες του στάτη δημιουργούν ένα μαγνητικό πεδίο γύρω από το κινούμενο τμήμα του κινητήρα, τον ρότορα (rotor). Ο ρότορας αποτελείται από τον άξονα και τα τυλίγματα, στα οποία ρέει ρεύμα για την τροφοδοσία του κινητήρα. Το ρεύμα οδηγείται στα τυλίγματα μέσω ψηκτρών οι οποίες κάνουν επαφή με το μεταγωγέα

(commutator). Ο μεταγωγέας συνδέεται ηλεκτρικά με τα τυλίγματα με τέτοιο τρόπο ώστε να παράγεται ροπή πάντοτε κατά την επιθυμητή διεύθυνση.



Εικόνα 3.8 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος (εσωτερικά)

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος, κινητού πηνίου (moving-coil DC motors), είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να έχουν μικρή ροπή αδράνειας και πολύ μικρή επαγωγή οπλισμού. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας τα τυλίγματα του οπλισμού στο κενό ανάμεσα στις καμπύλες της στατικής μαγνητικής ροής και του μόνιμου μαγνήτη. Η δομή των τυλιγμάτων υποστηρίζεται από μη μαγνητικά υλικά, συνήθως εποξικές ρητίνες ή υαλοβάμβακα (fiberglass), ώστε να σχηματίζεται μια εσοχή, η οποία προσαρτάται στον άξονα του κινητήρα, με τέτοιο τρόπο ώστε ο μόνιμος μαγνήτης να βρίσκεται στο εσωτερικό των τυλιγμάτων.



Εικόνα 3.9 Αρχή λειτουργίας ενός DC κινητήρα [Κάττος Ανδρέας, 2010]

Εφόσον τα μη απαραίτητα στοιχεία έχουν απομακρυνθεί από τον κινητήρα κινητού πηνίου, η ροπή αδράνειάς του είναι μικρή. Ωστόσο, επειδή έχει μεγαλύτερο διάκενο από άλλους τύπους κινητήρων συνεχούς ρεύματος, η μαγνητική δομή του είναι μεγαλύτερη ώστε να παράγεται η ισοδύναμη μαγνητική ροή. Εξάλλου οι αγωγοί του οπλισμού δεν βρίσκονται σε άμεση επαφή με σίδηρο, με συνέπεια η επαγωγή του κινητήρα να είναι μικρή, συνήθως μικρότερη από 100μΗ. Η χαμηλή ροπή αδράνειας και η χαμηλή επαγωγή καθιστούν τον κινητήρα κινούμενου πηνίου την καλύτερη επιλογή για συστήματα ελέγχου υψηλής απόδοσης.

Τα πλεονεκτήματα των κινητήρων συνεχούς ρεύματος είναι τα ακόλουθα:

- Πολύ υψηλή ακρίβεια θέσης και επαναληψιμότητας.
- Παραμονή σε σταθερή θέση ακόμη και όταν διακοπεί η ισχύς.
- Ιδιαίτερα απλή υλοποίηση ανάδρασης θέσης και ταχύτητας.
- Εύκολη σχεδίαση του συστήματος με γραμμική συμπεριφορά.
- Ικανότητα χρήσης και σε ειδικές περιβαλλοντικές συνθήκες (ψύχος, υψηλή θερμοκρασία, κτλ).
- Ασφάλεια καλωδίου ισχύος, σε αντίθεση με το σωλήνα μίας γραμμής λαδιού.
- Χαμηλό κόστος.
- Χαμηλός θόρυβος.

Τα μειονεκτήματα των κινητήρων συνεχούς ρεύματος είναι τα παρακάτω:

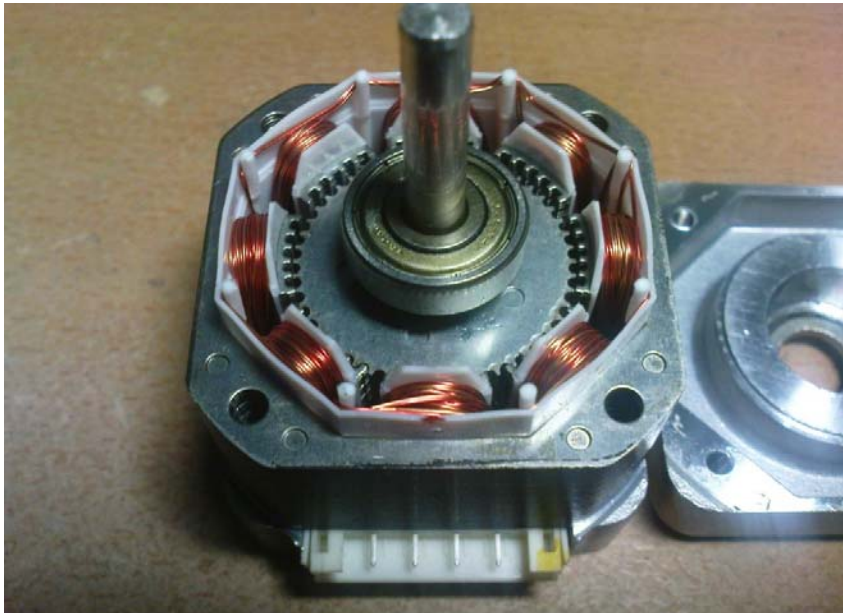
- Κατώτερος λόγος ισχύος προς βάρος έναντι των υδραυλικών, οι βηματικοί κινητήρες έχουν το μικρότερο λόγο.
- Χαμηλή ταχύτητα.
- Απαίτηση ψύξης του κινητήρα, με παράλληλη αύξηση του μεγέθους του.
- Πολύ μικρή απόκριση σε σύγκριση με όλους τους τύπους των κινητήρων.
- Απαίτηση γραναζιών σε όλους τους κινητήρες για το ταίριασμα των μηχανικών φορτίων.
- Κατάληψη περισσότερου χώρου από έναν ηλεκτρικό κινητήρα σε σύγκριση με έναν υδραυλικό της ίδιας ισχύος.

3.4.2 ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Ο βηματικός κινητήρας είναι κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος, σχεδιασμένος ώστε να λειτουργεί χρησιμοποιώντας ψηφιακή διέγερση σε κάθε ένα από τα τυλίγματα του. Επειδή για να κρατήσει ο κινητήρας μια σταθερή θέση χρησιμοποιούνται σταθερές τάσεις, οι κινητήρες καλούνται συχνά βηματικοί κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Η κίνηση ενός βηματικού κινητήρα ακολουθεί την κίνηση της φάσης της ηλεκτρικής διέγερσης. Υπό κανονικές συνθήκες, ένας σύγχρονος κινητήρας θα ακολουθεί μια ταχύτητα που θα καθορίζεται από τη συχνότητα του οδηγητικού ηλεκτρικού σήματος, όπως σε ένα

ηλεκτρικό (αναλογικό) ρολόι εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο όρος σύγχρονος κινητήρας υποδηλώνει μια ομαλή, συνεχή κίνηση. Στην περίπτωση του βηματικού κινητήρα όμως η αρχή παρακολούθησης της φάσης του οδηγητικού ηλεκτρικού σήματος ισχύει πάντα, αλλά το σήμα εισόδου είναι πλέον ψηφιακό και μπορεί να κρατάει την ίδια φάση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Κατά τη διάρκεια αυτών των διαστημάτων, ο βηματικός κινητήρας κρατάει σταθερή θέση, αντιδρώντας με μια αντίθετη ροπή στις πιθανές ροπές που τείνουν να απομακρύνουν τον κινητήρα από τη θέση αυτή.

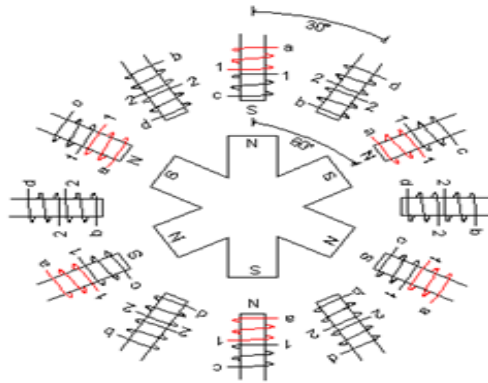
Ένας βηματικός κινητήρας (step motor) είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που δέχεται παλμικά και λογικά σήματα σαν είσοδο και παράγει διακριτά επαναληπτικά βήματα στη γωνιακή θέση του άξονα σαν έξοδο. Η θέση αντιστοιχεί σε ένα από τα διακριτά επίπεδα που προκύπτουν από την κβαντική του εύρους της γωνιακής θέσης [David M. Auslander, Carl J. Kempf, 1996], [Εμίρης Δημήτριος Μ., 1999].



Εικόνα 3.10 Βηματικός κινητήρας

Η βασική λειτουργία ενός βηματικού κινητήρα μπορεί να περιγραφεί θεωρώντας ένα απλοποιημένο μοντέλο στο οποίο το περιστρεφόμενο τμήμα (ο ρότορας) περιέχει ένα μόνιμο μαγνήτη ή πηνίο, ενώ το στατικό τμήμα (ο στάτης) έχει πολλά πηνία ενωμένα ώστε δύο πηνία ευρισκόμενα διαμετρικά αντίθετα να είναι σειριακά συνδεδεμένα, αλλά ηλεκτρικά απομονωμένα από τα άλλα ζεύγη. Το κινούμενο τμήμα παράγει ένα μαγνητικό πεδίο, ενώ το ρεύμα μέσα από ένα ζεύγος σειριακά συνδεδεμένων πηνίων του στάτη εξαρτάται από έναν ηλεκτρικό διακόπτη και επομένως από μια παλμική είσοδο. Όταν ενεργοποιείται ένα συγκεκριμένο ζεύγος πηνίων παράγεται ένα μαγνητικό πεδίο και το τύλιγμα του ρότορα περιστρέφεται σε μια γωνιακή θέση ώστε να ελαχιστοποιείται η μαγνητική ενέργεια που συσχετίζεται με τα μαγνητικά πεδία του κινούμενου πηνίου και

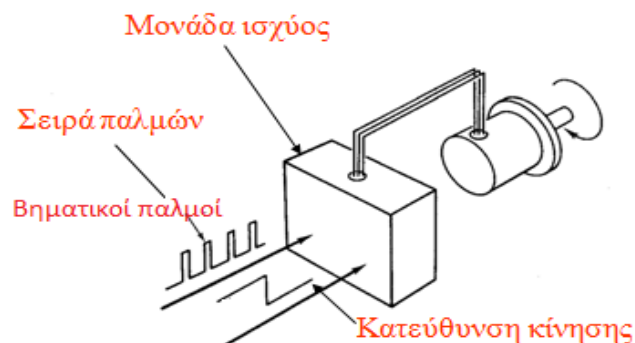
του ζεύγους των στατικών πηνίων. Αυτό συμβαίνει όταν το διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου του ρότορα ευθυγραμμίζεται με το διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου από το ρεύμα του ενεργοποιημένου τμήματος των στατικών πηνίων.



Εικόνα 3.11 Λειτουργία βηματικού κινητήρα [Σιμωνίδης Βαρθολομαίος, 2007]

Η είσοδος σε ένα βηματικό κινητήρα συνήθως αποτελείται από μια ακολουθία παλμών σταθερού πλάτους πάνω σε διακριτά χρονικά διαστήματα. Η έξοδος, δηλαδή η θέση του άξονα, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος του βηματικού κινητήρα. Η βηματική απόκριση σε έναν παλμό πάνω σε ένα διάστημα δειγματοληψίας πρέπει να έχει σταθεροποιηθεί, δηλαδή να έχουν εξαλειφθεί τα μεταβατικά φαινόμενα, πριν εφαρμοστεί ο επόμενος παλμός. Εάν κάτι τέτοιο συμβαίνει μπορεί να προκύψουν σοβαρά προβλήματα.

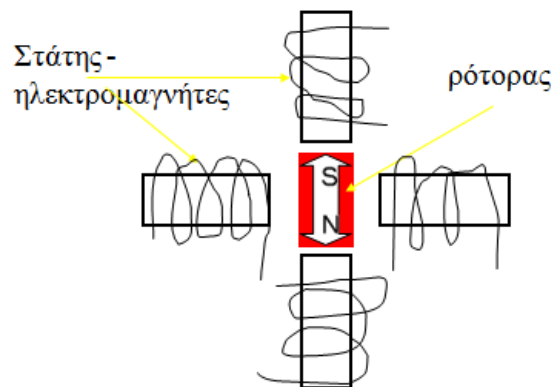
Ένας βηματικός κινητήρας συνεπώς λειτουργεί σαν συσκευή τοποθέτησης της οποίας η είσοδος είναι ένας παλμός ή ένα ψηφιακό σήμα και η έξοδος είναι μια κβαντοποιημένη γωνιακή θέση του άξονα της άρθρωσης. Η ακρίβεια της γωνιακής θέσης, δηλαδή η διακριτική ικανότητα, εξαρτάται από τον αριθμό των διακριτών επιπέδων που δημιουργούνται από την κβαντοποίηση του εύρους γωνιακών θέσεων σε ίσα βήματα και επομένως από τον αριθμό των ζευγών των πηνίων [Εμίρης Δημήτριος Μ., 1999].



Εικόνα 3.12 Βασικό σχήμα ελέγχου [Σιμωνίδης Βαρθολομαίος, 2007]

3.4.2.1 ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΜΟΝΙΜΟΥΣ ΜΑΓΝΗΤΕΣ

Στην συνηθέστερη μορφή τους, οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούν δρομείς με μόνιμους μαγνήτες. Πρόκειται για δρομείς που έχουν σαν πόλους σημεία τα οποία έχουν όλα την ίδια μαγνητική πολικότητα. Ο στάτης αποτελείται επίσης από έναν αριθμό πόλων με τυλίγματα, συνήθως με διπλό σετ τυλιγμάτων σε κάθε πόλο. Ανάλογα με το ποιο τυλίγμα διεγείρεται, ο πόλος μπορεί να αποκτήσει βόρεια ή νότια πολικότητα. Σε οποιαδήποτε περίπτωση διέγερσης των πόλων, υπάρχει μια θέση ισορροπίας για το δρομέα, την οποία ο τελευταίος προσπαθεί να βρει. Όταν ο δρομέας βρίσκεται σε αυτή τη θέση, οποιαδήποτε διαταραχή που απομακρύνει το δρομέα από τη θέση ισορροπίας θα προκαλέσει μια μαγνητική ροπή στο δρομέα που θα τείνει να τον επαναφέρει στη θέση ισορροπίας. Αυτή είναι η ροπή συγκράτησης του κινητήρα και καθορίζει το επίπεδο του στατικού φορτίου στο οποίο μπορεί να ανταπεξέλθει ο κινητήρας χωρίς να μετακινηθεί από τη θέση που βρίσκεται [David M. Auslander, Carl J. Kempf, 1996].

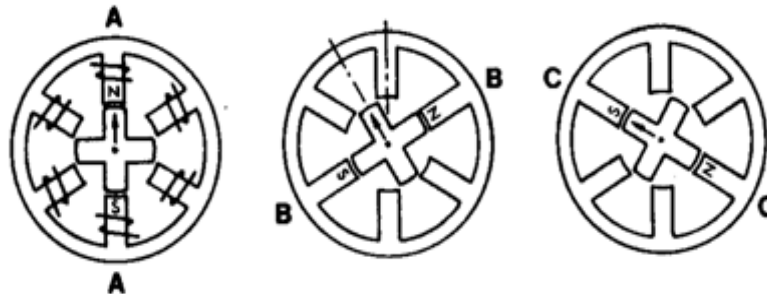


Εικόνα 3.13 Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη [Σιμωνίδης Βαρθολομαίος, 2007]

3.4.2.2 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Οι βηματικοί κινητήρες μεταβλητής αντίστασης χρησιμοποιούν σιδηρομαγνητικό δρομέα αντί για δρομέα με σταθερούς μαγνήτες. Τα τυλίγματα του στάτη διεγείρονται με μια ακολουθία που προκαλεί το δρομέα να κινηθεί σε μια θέση που ελαχιστοποιεί τη μαγνητική αντίσταση μεταξύ του δρομέα και του στάτη. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας διαφορετικό αριθμό πόλων στάτη και δρομέα. Για μια δεδομένη ομάδα τυλιγμάτων στους πόλους του στάτη που διεγείρονται, μόνο μια ορισμένη ομάδα πόλων του δρομέα θα ευθυγραμμιστούν. Όταν διεγερθεί η επόμενη ομάδα τυλιγμάτων του στάτη, μια νέα ομάδα πόλων του δρομέα θα πρέπει να ευθυγραμμιστεί, αναγκάζοντας τον δρομέα να κινηθεί κατά ένα βήμα. Επειδή ο δρομέας δεν είναι μαγνητισμένος,

απαιτείται διπλάσιος αριθμός πόλων στον στάτη και στο δρομέα στη διαμόρφωση μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης σε σχέση με τη διαμόρφωση μόνιμων μαγνητών, για να επιτευχθεί το ίδιο μέγεθος βήματος.



Εικόνα 3.14 Κινητήρας μεταβλητής αντίστασης [Σιμωνίδης Βαρθολομαίος, 2007]

3.4.3 ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

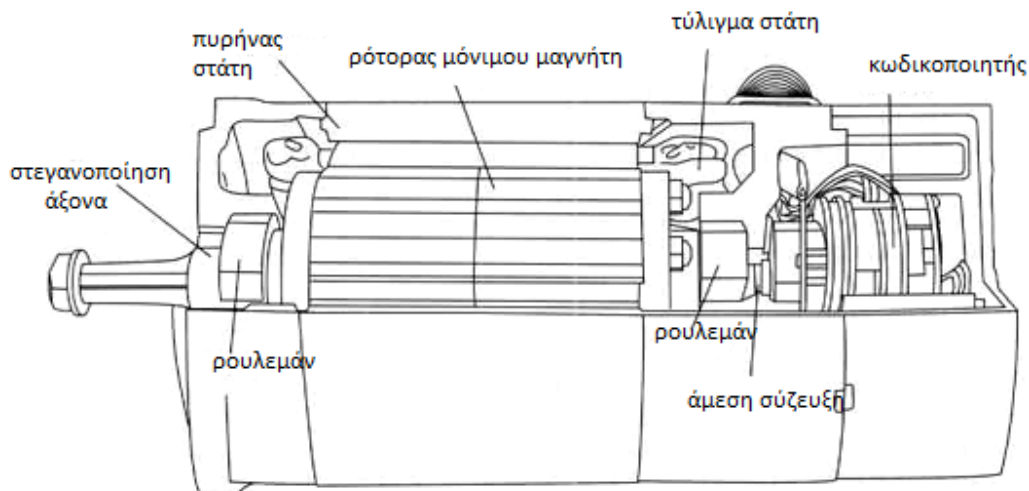
Η λέξη “σέρβο” βγαίνει από τη λατινική λέξη “servus” και σημαίνει υπηρέτης. Ο σερβοκινητήρας μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένας κινητήρας που “υπηρετεί” ακολουθώντας πιστά τις εντολές που του επιβάλλονται μέσω του συστήματος ελέγχου [Mako Erbin, 2011].

Οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια στα συστήματα κλειστού βρόχου και κυρίως σε εφαρμογές όπου απαιτείται έλεγχος ταχύτητας, θέσης και ροπής του άξονα του κινητήρα. Κλασικά παραδείγματα είναι η χρήση τους σε ρομποτικούς βραχίονες, τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα και σε αυτόματα συστήματα πλοήγησης πλοίων και αεροπλάνων [Τζιάμαλης Άκης Α., 2012].



Εικόνα 3.15 Σερβοκινητήρας με σύστημα ψυκτών-σλλέκτη και ενσωματωμένο κωδικοποιητή, ταχογεννήτρια και φρένο [Τζιάμαλης Άκης Α., 2012]

Οι σερβοκινητήρες κατασκευαστικά μοιάζουν πολύ με τους κοινούς κινητήρες, παρόλα αυτά δεν είναι ίδιοι. Διαφέρουν στο ότι ενσωματώνουν διατάξεις μέτρησης και σύστημα ανάδρασης το οποίο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ένα σερβομηχανισμό οδήγησης με σκοπό να ελεγχθεί η ροπή, είτε η ταχύτητά του, είτε η θέση του. Μερικές φορές έχουμε σύνδεση ειδικών ανεμιστήρων ώστε να εξασφαλίζεται η ψύξη του κινητήρα στις χαμηλές στροφές. Οι διατάξεις μέτρησης και ανάδρασης συνήθως ελέγχουν τις διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος που οδηγούν τον κινητήρα μέσω διαφόρων σημάτων και σε τυχόν εξωτερικές διαταραχές των παραμέτρων ταχύτητας, ροπής και θέσης ο σερβοκινητήρας αποκρίνεται ανάλογα και με γρήγορη ταχύτητα. Επίσης, η χρήση της ανάδρασης κάνει το σύστημά μας σχετικά ανεπηρέαστο σε πιθανές εξωτερικές διαταραχές και εσωτερικές μεταβολές των παραμέτρων του συστήματος.



Εικόνα 3.16 Σερβοκινητήρας εσωτερικά [Τζιάμαλης Άκης Α., 2012]

Ο σερβομηχανισμός οδήγησης συνίσταται στο σερβοενισχυτή που αποτελεί ένα ξεχωριστό στοιχείο του σερβοςυστήματος. Ωστόσο, το σύστημα ανάδρασης είναι ενσωματωμένο στο σερβοκινητήρα. Οι περισσότεροι σερβοκινητήρες έχουν ενσωματωμένη μια παλμογεννήτρια αυξητικού ή απόλυτου τύπου και άλλα εξαρτήματα και συσκευές όπως: διάταξη απόσβεσης ταλαντώσεων, φρένο και κωδικοποιητή, κτλ. Αν η παλμογεννήτρια είναι αυξητικού τύπου τότε παράγουν ένα συγκεκριμένο αριθμό παλμών ανά περιστροφή του άξονα του σερβοκινητήρα, ενώ αν είναι απόλυτου θέσεως, τότε δίνουν στην έξοδό τους συγκεκριμένο αριθμό ως αποτέλεσμα μιας ακολουθίας bit. Και στις δύο περιπτώσεις τα σήματα μπορούν να μεταφερθούν στη μονάδα ελέγχου του σερβοκινητήρα. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να αφορά είτε στη θέση περιστροφής του άξονα ως προς 360° που συνιστούν μια πλήρη περιστροφή, είτε στην ταχύτητα περιστροφής του άξονα, είτε στην αναπτυσσόμενη σε αυτόν ροπή.

3.4.3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των σερβοκινητήρων είναι τα βελτιωμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, όπως η ροπή αδράνειας, ο βαθμός απόδοσης και χρησιμοποιούνται σε κινητήρια συστήματα υψηλών απαιτήσεων, όπου υπάρχει ανάγκη για μεγάλη ακρίβεια και γρήγορη ταχύτητα απόκρισης του συστήματος σε έλεγχο ροπής, ταχύτητας και θέσης. Ο σερβοκινητήρας ουσιαστικά μας δίνει τη δυνατότητα, εκτός από την απλή ρύθμιση των στροφών και της ταχύτητας που γίνονται και στους συνήθεις κινητήρες με ρυθμιστές στροφών και inverters, να γίνεται και πραγματικός έλεγχος της θέσης του άξονα του κινητήρα ενός συγκεκριμένου αισθητηρίου (resolver ή encoder) που ελέγχει με συγκεκριμένες διαδικασίες την ταχύτητα και τη θέση του άξονα του κινητήρα.

Τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε σερβοκινητήρα συνεχούς ή εναλλασσομένου ρεύματος είναι :

- Η ροπή του κινητήρα που είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης ελέγχου η οποία αναπτύσσεται από τον ενισχυτή λόγω του σφάλματος στην είσοδό του.
- Η φορά της ροπής που καθορίζεται από την πολικότητα (στιγμιαία) της τάσης ελέγχου.

Ένας σερβοκινητήρας πρέπει να αναπτύσσει υψηλή ροπή ώστε να αλλάζει γρήγορα η ταχύτητά του, να περιστρέφεται σταθερά σε μεγάλη περιοχή ταχυτήτων και να έχει υψηλή ταχύτητα απόκρισης στις εντολές του συστήματος ελέγχου [Τζιάμαλης Άκης Α., 2012], [Mako Erbin, 2011].

Τα πλεονεκτήματα των σερβοκινητήρων είναι τα ακόλουθα:

- Ο σερβοκινητήρας έχει την ικανότητα να προσδίδει μεγάλη ροπή ή επιτάχυνση κατά τη στιγμή της εκκίνησης και έχει πολύ μικρή ροπή αδράνειας.
- Δυνατότητα περιστροφής σε υψηλές ταχύτητες.
- Δυνατότητα παραγωγής μεγάλων τιμών ροπής.
- Η μεγάλη αυτή μηχανική ροπή τον καθιστά ικανό να οδηγήσει βαριά φορτία.
- Έχει μικρή καθυστέρηση το οποίο συνεπάγεται γρήγορο χρόνο αντίδρασης.
- Έχει αρνητική ανατροφοδότηση η οποία εξασφαλίζει καλύτερο έλεγχο της λειτουργίας του.
- Ελέγχεται εύκολα από τους σύγχρονους ελεγκτές ρομποτικών εφαρμογών.
- Υψηλή αποδοτικότητα. Σε μικρά φορτία μπορεί να πλησιάσει και το 90%.
- Μεγάλη ποικιλία εμπορικών μοντέλων και σε διάφορα μεγέθη.
- Δεν παρουσιάζουν προβλήματα κραδασμών και παράγουν ελάχιστο θόρυβο σε σχέση με άλλους κινητήρες.

Τα μειονεκτήματα των σερβοκινητήρων είναι τα παρακάτω:

- Χρειάζεται μεγάλη ένταση ρεύματος για να εκκινήσει.

- Το κόστος του συστήματος σερβοκίνησης είναι υψηλό. Περιλαμβάνει το κόστος του σερβοκινητήρα, της διάταξης τροφοδοσίας και της διάταξης ελέγχου.
- Υπάρχει πιθανότητα δυσλειτουργίας, εφόσον υπερφορτωθεί μηχανικά.
- Υψηλή κατανάλωση.
- Δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε σύστημα ανοικτού βρόχου αφού απαιτείται ανατροφοδότηση.
- Η πολυπλοκότητα του ελέγχου σε σχέση με άλλους κινητήρες.

3.4.3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Οι σερβοκινητήρες διακρίνονται σε ηλεκτρικούς, υδραυλικούς και πνευματικούς κινητήρες.

Οι **ηλεκτρικοί** σερβοκινητήρες μετασχηματίζουν την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού σε μηχανική. Τα πιο συνηθισμένα είδη ηλεκτρικών σερβοκινητήρων είναι οι κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος που διακρίνονται σε μονοφασικούς και τριφασικούς, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς σύστημα ψηκτρών-συλλέκτη, οι σύγχρονοι κινητήρες μαγνητικής αντίστασης και οι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμων μαγνητών. Απαραίτητα συνοδευτικά εξαρτήματα αυτών των κινητήρων είναι ένας μετασχηματιστής, ένας ανορθωτής τάσης και ένας πυκνωτής. Τα εξαρτήματα αυτά μετασχηματίζουν την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου σε συνεχή κατάλληλου μεγέθους και στη συνέχεια την αποθηκεύουν.



Εικόνα 3.17 α) Σερβοκινητήρας συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη

β) Σερβοκινητήρας συνεχούς ρεύματος. [Τζιάμαλης Άκης Α., 2012]

Οι **υδραυλικοί** σερβοκινητήρες μετασχηματίζουν την υδραυλική ενέργεια μιας δεξαμενής σε μηχανική, με χρήση κατάλληλων αντλιών. Οι κινητήρες αυτοί μπορούν να υλοποιήσουν τόσο μεταφορική (με χρήση ενός εμβόλου) όσο και περιστροφική κίνηση (με χρήση αξόνων ή ακτινικών εμβόλων).

Οι **πνευματικοί** σερβοκινητήρες κάνουν χρήση της πνευματικής ενέργειας που παρέχεται από έναν συμπιεστή και τη μετασχηματίζουν σε μηχανική ενέργεια με τη

βοήθεια πιστονιών ή στροβίλων. Οι κινητήρες αυτοί παρουσιάζουν ιδιαίτερες δυσκολίες στον έλεγχο, εξαιτίας της αναπόφευκτης συμπίεστικότητας του χρησιμοποιούμενου ρευστού. Για το λόγο αυτό και δεν χρησιμοποιούνται συχνά, εκτός από εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή ακρίβεια, όπως το άνοιγμα και το κλείσιμο της αρπαγής του εργαλείου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

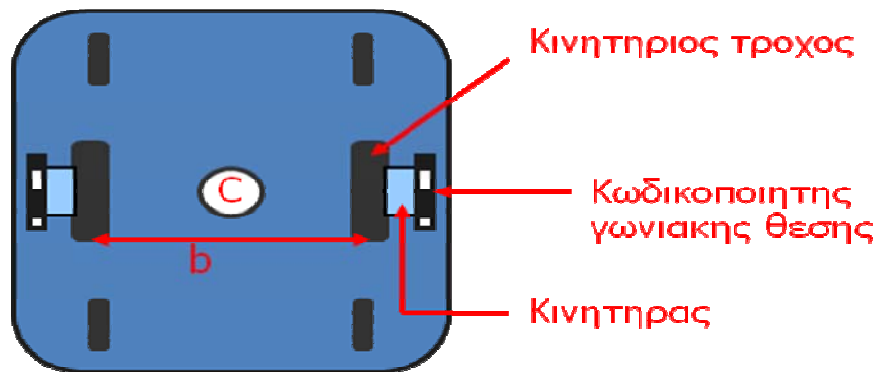
4.1 ΑΡΧΕΣ ΟΔΟΜΕΤΡΙΑΣ

Η λέξη οδομετρία προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις δρόμος και μέτρηση και είναι η πιο γνωστή μέθοδος εύρεσης της θέσης των κινούμενων οχημάτων. Ο όρος "οδομετρία" περιέχει τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να αναλύσει κάποιος ώστε να επιτύχει τον έλεγχο της τροχιάς των κινούμενων ρομπότ. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει αρχικά να βρεθεί αναλυτικά το κινηματικό και δυναμικό μοντέλο του ρομπότ και στη συνέχεια με βάση αυτό, ή με άλλες διατάξεις, να βρεθεί μια μέθοδος μέτρησης της κίνησής του [Κελεσίδη Ελένη, 2009].

Ενδεικτικές διατάξεις τροχών που μπορεί να συναντήσουμε σε κινούμενα ρομποτικά συστήματα είναι: η διαφορική κίνηση, η διάταξη τύπου Άκερμαν, η διάταξη τριών τροχών, η συγχρονισμένη κίνηση και η κίνηση προς όλες τις κατευθύνσεις.

4.1.1 ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

Στην εικόνα 4.1 παρουσιάζεται η διάταξη διαφορικής μετάδοσης κίνησης. Έχουμε δύο ανεξάρτητους κινητήριους τροχούς, καθένας από τους οποίους είναι εφοδιασμένος με κινητήρα στον άξονα του οποίου έχει προσαρμοστεί κωδικοποιητής γωνιακής θέσης.



Εικόνα 4.1 Διάταξη διαφορικής μετάδοσης κίνησης [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Η συνάρτηση για τον υπολογισμό θέσης, σχεδιάστηκε με βάση τις κινηματικές εξισώσεις ενός οχήματος διαφορικής οδήγησης. Στα οχήματα αυτά η κίνηση γίνεται από δύο κινητήριους τροχούς και η στροφή του οχήματος επιτυγχάνεται με την αυξομείωση της ταχύτητας στους δύο τροχούς. Για την μέτρηση της περιστροφής των τροχών χρησιμοποιούνται τα οδόμετρα που βρίσκονται στους κινητήριους τροχούς. Η θέση του οχήματος υπολογίζεται σε σχέση με την αρχική θέση. Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιεί δεδομένα από τα οδόμετρα για τον υπολογισμό της διαφοράς από την προηγούμενη μέτρηση.

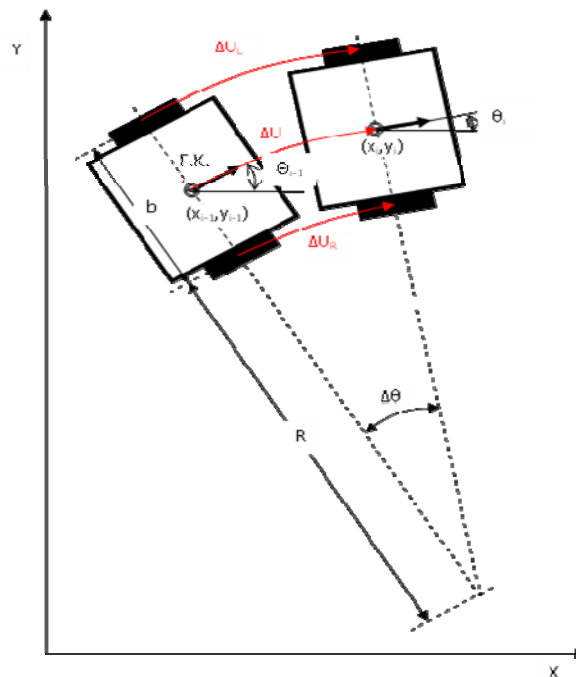
$$c_m = \pi D_n / n C_e \quad 4.1$$

c_m : συντελεστής γραμμικής μετατόπισης

D_n : διάμετρος του τροχού

C_e : βήματα/περιστροφή του κωδικοποιητή

n : σχέση μετάδοσης μεταξύ κινητήρα/τροχού



Εικόνα 4.2 Δύο διαδοχικές θέσεις ενός ρομποτικού οχήματος διαφορετικής κίνησης τις χρονικές στιγμές $i-1$ και $i-2$ αντίστοιχα [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

Θεωρώντας ότι από τη χρονική στιγμή $i-1$ στη χρονική στιγμή i καταγράφονται N_L και N_R παλμοί από τους κωδικοποιητές για τον αριστερό και τον δεξιό τροχό αντίστοιχα. Τότε το μήκος της τροχιάς που έχουν διαγράψει οι δύο τροχοί είναι

$$\Delta U_L = N_L c_m \tag{4.2}$$

και

$$\Delta U_R = N_R c_m \tag{4.3}$$

Η διαφορική μετατόπιση τότε του γεωμετρικού κέντρου του ρομπότ υπολογίζεται ως

$$\Delta U = 0,5(\Delta U_L + \Delta U_R) \tag{4.4}$$

Για την μεταβολή της κατεύθυνσης του $\Delta\theta$ ισχύει ότι :

$$\Delta U_L = (R+b)\Delta\theta \tag{4.5}$$

$$\Rightarrow \Delta\theta = (\Delta U_R - \Delta U_L) / b \tag{4.7}$$

$$\Delta U_R = R\Delta\theta \tag{4.6}$$

Τότε η νέα κατάσταση του ρομπότ υπολογίζεται με βάση

- $\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta\theta \tag{4.8}$

- $x_i = x_{i-1} + \Delta U \cos\theta_i \tag{4.9}$

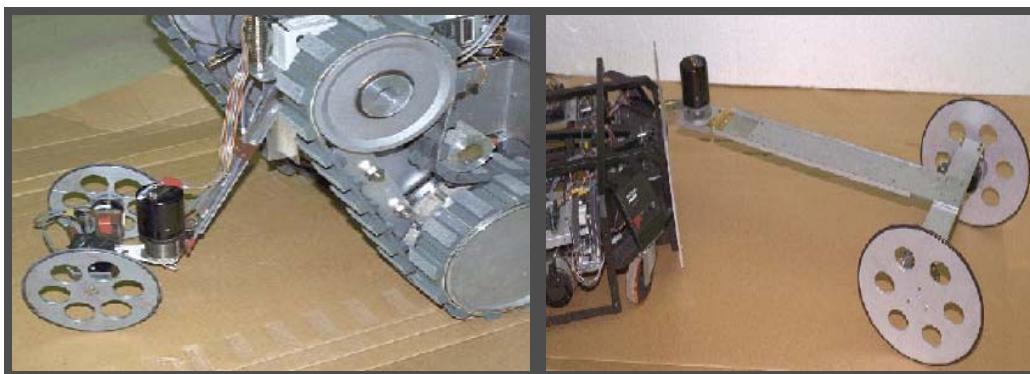
- $y_i = y_{i-1} + \Delta U \sin\theta_i \tag{4.10}$

Η οδομετρία είναι απλή στην υλοποίηση και επιτρέπει υψηλούς ρυθμούς δειγματοληψίας. Στην πράξη, η ακρίβεια των μετρήσεων περιορίζεται από μια σειρά από προβλήματα, τα οποία συσσωρεύουν σφάλματα, οπότε και εμφανίζονται σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ της πραγματικής και της υπολογισθείσας θέσης του ρομπότ. Το πρόβλημα εμφανίζεται εντονότερο όταν οι κινήσεις εμπεριέχουν αλλαγές κατεύθυνσης (στροφές).

Τέτοια προβλήματα αφορούν, για παράδειγμα, σε κατασκευαστικά ζητήματα, όπως διαφορετικές διαστάσεις τροχών, περιορισμένη διακριτική ικανότητα κωδικοποιητών γωνίας, κλπ τα οποία εισάγουν συστηματικά σφάλματα. Σφάλματα μπορούν να προκύψουν και σε σχέση με τον εκάστοτε χώρο και τις συνθήκες κίνησης, κυρίως σε σχέση με προβλήματα όπου

- οι τροχοί περιστρέφονται χωρίς να κινείται το ρομπότ ή
- οι τροχοί δεν περιστρέφονται, παρότι το ρομπότ κινείται, γλιστρώντας για παράδειγμα σε κάποιο κεκλιμένο επίπεδο.

Τα σφάλματα στις μετρήσεις μπορούν να περιοριστούν χρησιμοποιώντας μια διάταξη ζεύγους παθητικών τροχών, οι οποίοι σύρονται από το ρομπότ και αναλαμβάνουν αυτοί τη συλλογή των δεδομένων της οδομετρίας. Εναλλακτικά, οι παθητικοί τροχοί μπορούν να τοποθετηθούν και πάνω στο ίδιο αυτοκινούμενο ρομπότ. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης τέτοιων διατάξεων έγκειται στο ότι περιστρέφονται μόνο όταν το ρομπότ κινείται, αντίθετα με τους κινητήριους τροχούς οι οποίοι μπορεί για παράδειγμα να εξακολουθούν να περιστρέφονται εάν το ρομπότ «κολλήσει» σε κάποιο εμπόδιο [Σφακιωτάκης Μιχάλης].



Εικόνα 4.3 Παθητικοί τροχοί [Σφακιωτάκης Μιχάλης]

4.1.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΥΠΟΥ ΑΚΕΡΜΑΝ

Χρησιμοποιείται αποκλειστικά στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Η διάταξη τύπου Άκερμαν έχει σχεδιαστεί για να διασφαλίσει ότι ο εσωτερικός μπροστινός τροχός περιστρέφεται σε μια ελαφρώς μεγαλύτερη γωνία από τον εξωτερικό τροχό όταν στρίβει, εξασφαλίζοντας έτσι γεωμετρικά την ολίσθηση που προκαλείται στα ελαστικά.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.4, οι άξονες για τους δύο μπροστινούς τροχούς διασταυρώνονται σε ένα κοινό σημείο με τον άξονα των πίσω τροχών. Ο τόπος που εντοπίζονται τα σημεία κατά μήκος του κάθε ελαστικού είναι μια σειρά από ομόκεντρα τόξα με κεντρικό σημείο περιστροφής το P_1 και όλα τα στιγμιαία διανύσματα της ταχύτητας θα πρέπει στη συνέχεια να εφάπτονται σε αυτά τα τόξα. Αυτή η γεωμετρία του συστήματος διεύθυνσης είναι για να ικανοποιήσει την εξίσωση Άκερμαν:

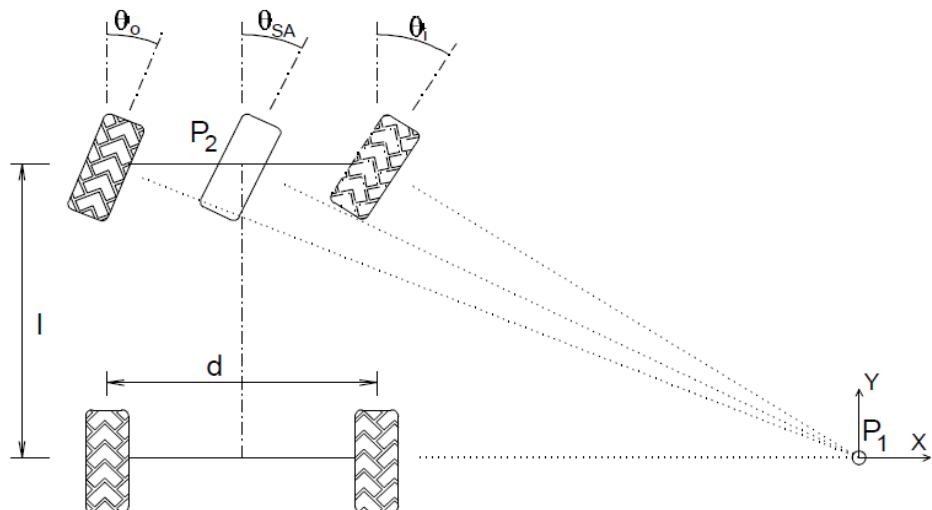
$$\cot\theta_i - \cot\theta_o = \frac{d}{l} \tag{4.11}$$

θ_i : σχετική γωνία στροφής εσωτερικού τροχού

θ_o : σχετική γωνία στροφής εξωτερικού τροχού

l : διαμήκης διαχωρισμός τροχού

d : πλευρικός διαχωρισμός τροχού



Εικόνα 4.4 Καθοδηγούμενο όχημα τύπου Άκερμαν [J.Borenstein, H. R. Everett and L. Feng, 1996]

Για λόγους ασφαλείας η θ_{SA} γωνία του συστήματος διεύθυνσης του οχήματος μπορεί να θεωρηθεί ως τη γωνία (σε σχέση με το όχημα κατηγορίας) που συνδέεται με έναν φανταστικό κεντρικό τροχό που βρίσκεται στο P_2 σημείο αναφοράς όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα 4.4. Η θ_{SA} μπορεί να εκφραστεί με όρους είτε εντός ή εκτός του συστήματος διεύθυνσης (θ_i ή θ_o) ως εξής:

$$\cot\theta_{SA} = \frac{d}{2l} + \cot\theta_i \tag{4.12}$$

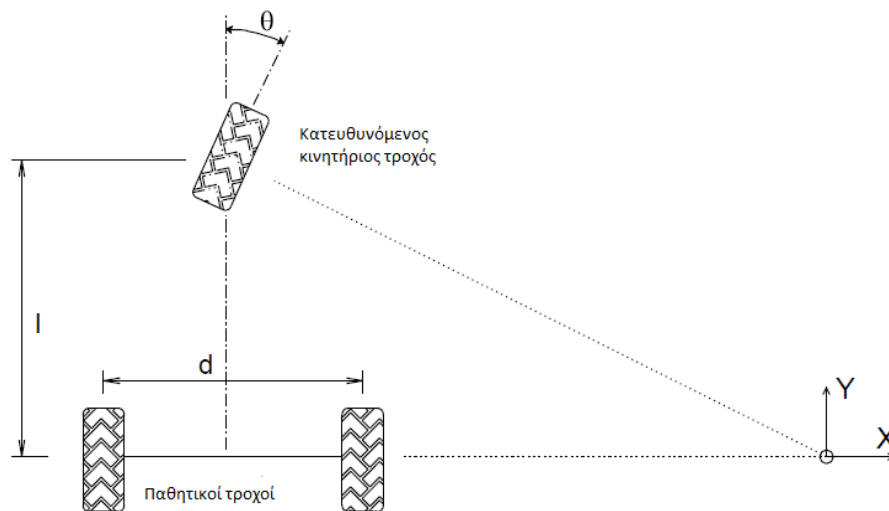
ή εναλλακτικά

$$\cot\theta_{SA} = \cot\theta_o - \frac{d}{2l} \tag{4.13}$$

Η διάταξη τύπου Άκερμαν προσφέρει μια αρκετά ακριβή λύση οδομετρίας στηρίζοντας παράλληλα την πρόσφυση και την απόσταση από το έδαφος για τις ανάγκες της παντός εδάφους λειτουργίας. Έτσι η διάταξη τύπου Άκερμαν είναι η μέθοδος επιλογής για τα εξωτερικά αυτόνομα οχήματα. Τέτοιες εφαρμογές συνήθως χρησιμοποιούν βενζίνη ή ντίζελ κινητήρα σε συνδυασμό με χειροκίνητο ή αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων, με τη δύναμη που εφαρμόζεται σε τέσσερις τροχούς μέσω μιας περίπτωσης μεταφοράς, ενός διαφορικού και μια σειρά από ομοκινητικούς συνδέσμους [J. Borenstein, H.R.Everett, L.Feg, 1996].

4.1.3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΡΙΩΝ ΤΡΟΧΩΝ

Η διάταξη τριών τροχών χρησιμοποιεί έναν μπροστινό κατευθυντήριο τροχό και δύο πίσω παθητικούς τροχούς, ή και αντίστροφα, και χρησιμοποιείται συχνά σε αυτόματα οδηγούμενα οχήματα (AGV). Ενδεικτικά, μια διάταξη σε τρεις τροχούς παρουσιάζεται στην εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.5 Διάταξη τριών τροχών [J.Borenstein, H. R. Everett and L. Feng, 1996]

Για όργανα μέτρησης χιλιομετρικών αποστάσεων με τη μορφή κωδικοποιητή γωνιακής θέσης, η λύση είναι ισοδύναμη με εκείνη ενός καθοδηγούμενου οχήματος τύπου Άκερμαν, όπου ο κατευθυνόμενος τροχός αντικαθιστά τον φανταστικό κεντρικό τροχό. (Εικόνα 4.4). Εναλλακτικά, αν ο πίσω διαφορικός άξονας χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό θέσης, τότε η λύση είναι ίδια με τη διάταξη διαφορικής κίνησης.

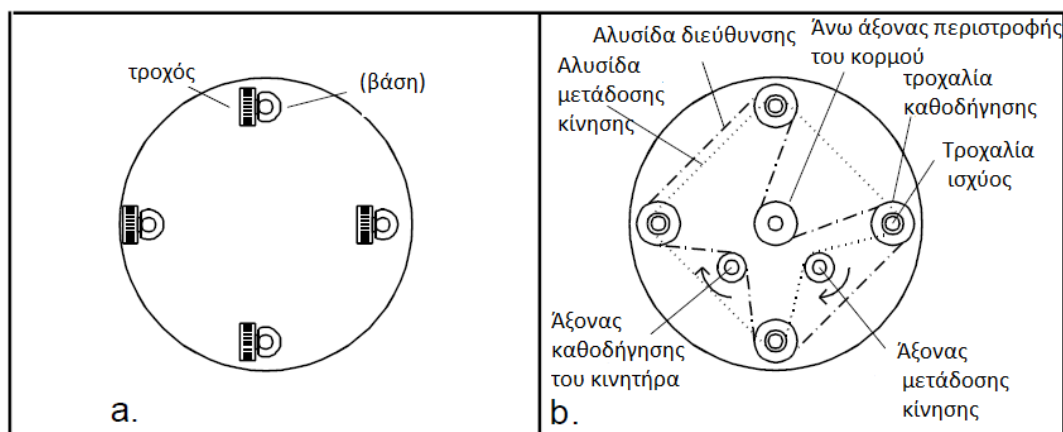
Ένα πρόβλημα που σχετίζεται με τη διάταξη τριών τροχών είναι ότι το κέντρο βάρους του οχήματος τείνει να μετακινηθεί μακριά από τον μπροστινό τροχό, όταν διέρχεται από ένα κεκλιμένο επίπεδο προκαλώντας απώλεια πρόσφυσης. Όπως και στην περίπτωση των καθοδηγούμενων οχημάτων τύπου Άκερμαν, κάποιες επιφανειακές φθορές και κάποια σφάλματα είναι πιθανόν να προκληθούν όταν ενεργοποιηθεί το

κινητήριο σύστημα διεύθυνσης ενώ η πλατφόρμα δεν κινείται [J. Borenstein, H.R.Everett, L.Feg, 1996].

4.1.4 ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Μια καινοτόμος διάταξη, γνωστή ως διάταξη συγχρονισμένης κίνησης, διαθέτει τρεις ή περισσότερους τροχούς, που έχουν συζευχθεί μηχανικά κατά τέτοιο τρόπο ώστε όλοι να περιστρέφονται στην ίδια κατεύθυνση με την ίδια ταχύτητα και στον ίδιο άξονα σε αρμονία με τους αντίστοιχους άξονες διεύθυνσης κατά την εκτέλεση μιας στροφής. Αυτή η κίνηση και διεύθυνση συγχρονισμού οδηγεί σε βελτιωμένη ακρίβεια μέτρησης χιλιομετρικών αποστάσεων μέσω της μείωσης της απόκλισης, αφού όλοι οι τροχοί παράγουν ίσα και παράλληλα διανύσματα δύναμης ανά πάσα στιγμή.

Ο απαιτούμενος μηχανικός συγχρονισμός μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Ο πιο κοινός είναι μια αλυσίδα, ιμάντας ή εργαλεία κίνησης. Το πανεπιστήμιο Carnegie Mellon έχει θέσει σε εφαρμογή ένα ηλεκτρονικά συγχρονισμένο ρομπότ της σειράς Rover, με ειδικό μοτέρ κίνησης για κάθε έναν από τους τρεις τροχούς. Η σύνθεση αλυσίδας και ιμάντα κίνησης αντιμετωπίζει κάποια υποβάθμιση ακρίβειας διεύθυνσης και ευθυγράμμισης λόγω της άνισης κατανομής της αδράνειας, η οποία διαφέρει σε συνάρτηση με το φορτίο και τη φορά περιστροφής. Επιπλέον, όταν οι ιμάντες χρονισμού γίνονται πιο σφιχτοί, προκειμένου να μειωθεί η επιβράδυνση στους επιμέρους τροχούς, πρέπει να ευθυγραμμιστούν εκ νέου. Τα προβλήματα αυτά εξαλείφονται με προσέγγιση με εντελώς κλειστό σύστημα μετάδοσης ταχυτήτων κίνησης. Ένα κλειστό σύστημα μετάδοσης μειώνει επίσης σημαντικά το θόρυβο, καθώς και την παραγωγή σωματιδίων [J. Borenstein, H.R.Everett, L.Feg, 1996].

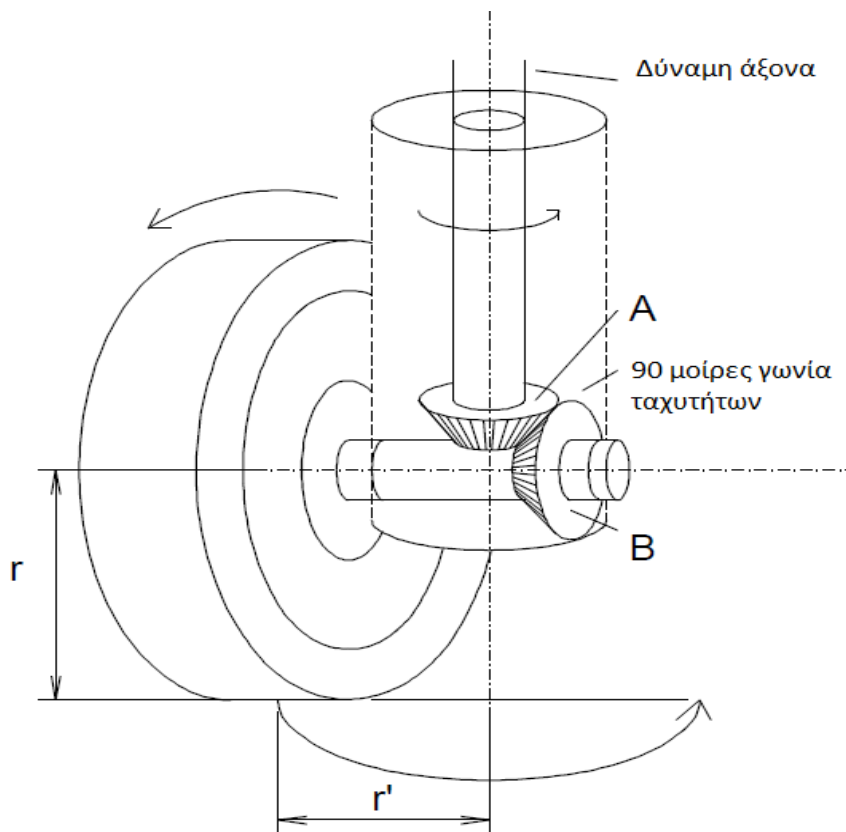


Εικόνα 4.6 Συγχρονισμένη κίνηση με τέσσερις τροχούς. a) βάση και b) κάτοψη. [J.Borenstein, H. R. Everett and L. Feng, 1996]

Ένα παράδειγμα τρίκυκλης εφαρμογής ιμάντα κίνησης παρουσιάζεται στο Sentry Denning. Με βάση την εικόνα 4.6, η κινητήρια ροπή μεταφέρεται μέσα από τις τρεις

στήλες διεύθυνσης με ελαστικά που είναι γεμάτα πολυουρεθάνη. Η μονάδα είναι μηχανική σε συνδυασμό με κάθε μια από τις στήλες διεύθυνσης με τους άξονες ισχύος από βαρέο ιμάντα χρονισμού για να διασφαλίσει τη σύγχρονη λειτουργία. Ένας δεύτερος ιμάντας χρονισμού μεταφέρει την περιστροφική έξοδο διεύθυνσης του κινητήρα με τρία πηδάλια, επιτρέποντάς τους μια συγχρονισμένη πλήρη περιστροφή 360 μοιρών. Η άνω κεφαλή του Sentry είναι μηχανική σε συνδυασμό με το μηχανισμό διεύθυνσης με παρόμοιο τρόπο με εκείνον που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.6 και έτσι δείχνει πάντα προς τη φορά της πορείας. Η τριών σημείων ρύθμιση διασφαλίζει τη σταθερότητα και την καλή πρόσφυση, ενώ οι μεγάλης διαμέτρου ενεργοί τροχοί παράγουν περισσότερο από επαρκή ικανότητα ανάβασης εμποδίου για εσωτερικά σενάρια. Τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης εφαρμογής περιλαμβάνουν λάθη οδομετρίας που προκύπτουν από τη συμμόρφωση στους κινητήριους ιμάντες, που ασκούνται από την επιφάνεια του δαπέδου όταν γυρίζουν στη θέση τους.

Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, το Cybermotion K2A Navmaster robot χρησιμοποιεί ένα κλειστό κινούμενο γρανάζι εγκατεστημένο στους τροχούς αντισταθμιζόμενο από τον άξονα του συστήματος διεύθυνσης, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.7.



Εικόνα 4.7 Γρανάζι εγκατεστημένο στους τροχούς αντισταθμιζόμενο από τον άξονα του συστήματος διεύθυνσης [J. Borenstein, H. R. Everett and L. Feng, 1996]

Όταν το ένα πόδι περιστρέφεται, κατά τη διάρκεια μιας στροφής, ο συνημμένος τροχός περιστρέφεται προς την αντίστοιχη κατεύθυνση για να ελαχιστοποιήσει τη φθορά των ελαστικών, την κατανάλωση ενέργειας και τις αποκλίσεις. Για τη σωστή αντιστάθμιση, η γωνιακή ταχύτητα πάνω στον άξονα του τροχού πρέπει να είναι στην αντίθετη πλευρά από τον άξονα δύναμης του τροχού. Η εξίσωση για την απόκλιση είναι :

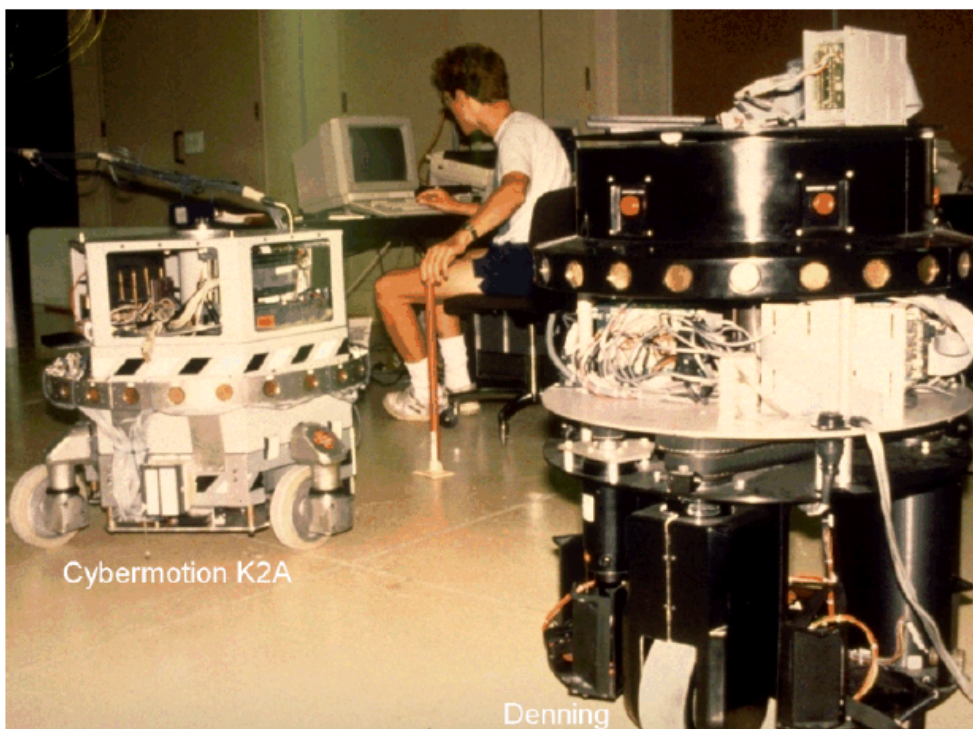
$$\frac{A}{B} = \frac{r'}{r} \quad 4.14$$

A: ο αριθμός των δοντιών του άξονα μετάδοσης ισχύος

B: ο αριθμός των δοντιών για τον άξονα του τροχού ταχυτήτων

r': ο τροχός αντιστάθμισης του άξονα περιστροφής του συστήματος διεύθυνσης

r: η ακτίνα του τροχού



Εικόνα 4.8 Ρομπότ της Cybermotion K2A και της Denning Mobile Robots [J. Borenstein, H. R. Everett and L. Feng, 1996]

Ένα μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης παρατηρείται στη μειωμένη πλευρική σταθερότητα που προκύπτει όταν ο ένας τροχός είναι στραμμένος στο πλαίσιο του οχήματος. Η βελτίωση στο σχεδιασμό του K3A Cyberation λύνει αυτό το πρόβλημα (με ένα ακόμα μεταξόνιο), με την ενσωμάτωση ενός διπλής ρύθμισης τροχό σε κάθε πόδι. Οι δύο τροχοί είναι γυρισμένοι σε αντίθετες κατευθύνσεις κατά ένα τρόπο μεταβλητό, καθώς το ένα πόδι περιστρέφεται κατά τη διάρκεια ενός γύρου, αλλά η καλή ευστάθεια

διατηρείται στο παραπάνω παράδειγμα από το εξωτερικό στριφογύρισμα του επιπρόσθετου τροχού [J. Borenstein, H.R.Everett, L.Feg, 1996].

Οι οδομετρικοί υπολογισμοί για τη συγχρονισμένη κίνηση είναι σχεδόν ασήμαντοι. Το όχημα κλάσης απλά προέρχεται από τη γωνία διεύθυνσης κωδικοποιητή ενώ η μετατόπιση προς την κατεύθυνση της διαδρομής δίνεται ως εξής:

$$D = (2\pi N/C_e) \times R_e \quad 4.15$$

D: μετατόπιση του οχήματος στο δρόμο

N: μετρούμενη κατηγορία κωδικοποιητή κινητήριου άξονα

C_e: μετρητής κωδικοποιητή ανά πλήρη περιστροφή των τροχών

R_e: αποτελεσματική ακτίνα τροχού

4.1.1.5 ΚΙΝΗΣΗ ΠΡΟΣ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

Η οδομετρική λύση για προδιαγραφές πολλαπλών βαθμών ελευθερίας (MDOF-Multi-degree-of-freedom) γίνεται με παρόμοιο τρόπο με εκείνον για το διαφορικό όχημα, με τη θέση και τα δεδομένα ταχύτητας να προέρχονται από τον κινητήριον άξονα κωδικοποιητή (ή τροχό). Για το παράδειγμα με το τρίκυκλο (εικόνα 4.9), οι εξισώσεις της κίνησης που αφορούν μεμονωμένες ταχύτητες κινητήρα με συνιστώσες της ταχύτητας V_x και V_y στο πλαίσιο αναφοράς του οχήματος δίνονται παρακάτω:

$$V_1 = \omega_1 r = V_x + \omega_p R \quad 4.16$$

$$V_2 = \omega_2 r = -0.5V_x + 0.867V_y + \omega_p R \quad 4.17$$

$$V_3 = \omega_3 r = -0.5V_x - 0.867V_y + \omega_p R \quad 4.18$$

Όπου

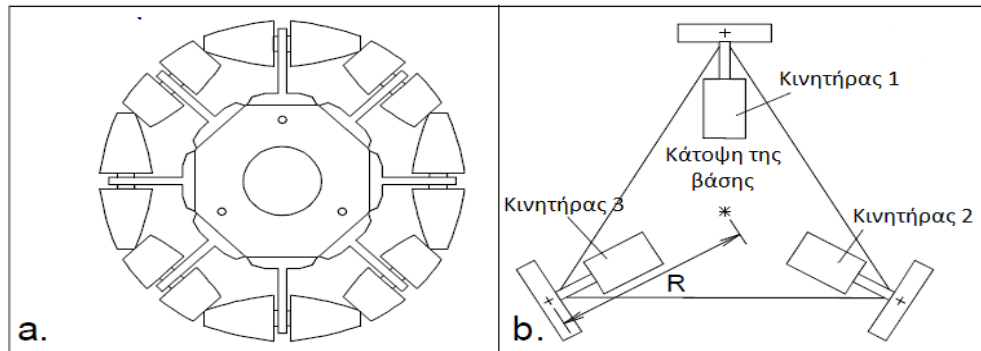
V_i: εφαπτομενική ταχύτητα τροχού

ω_i: ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα

ω_p: ρυθμός περιστροφής βάσης για τον άξονα περιστροφής

ω_r: ωφέλιμη ακτίνα τροχού

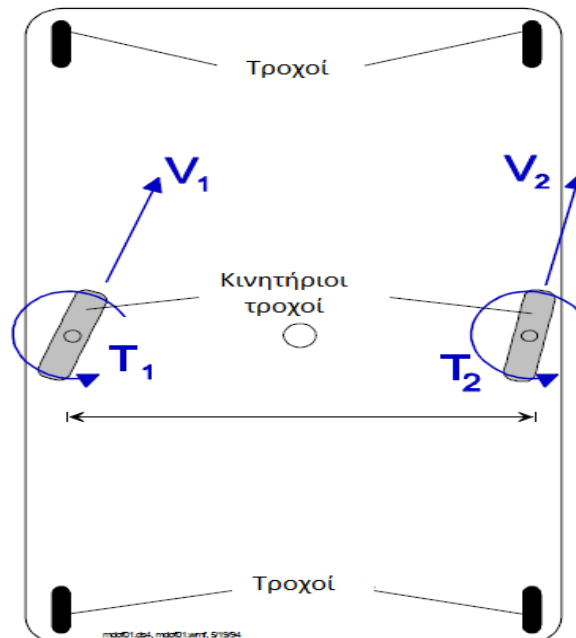
ω_R: πραγματική απόκλιση τροχού από τον άξονα περιστροφής



Εικόνα 4.9 α) Σχηματική αναπαράσταση του συγκροτήματος του τροχού β) Κάτοψη της βάσης που δείχνει τον σχετικό προσανατολισμό των εξαρτημάτων στην τρίκυκλη διαμόρφωση [J.Borenstein, H. R. Everett and L. Feng, 1996]

4.1.1.5.1 ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΒΑΘΜΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ

Τα οχήματα πολλαπλών βαθμών ελευθερίας (MDOF) έχουν πολλαπλούς κινητήρες κατεύθυνσης και οδήγησης. Για παράδειγμα, το HERMIES III, μια εξελιγμένη πλατφόρμα που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο Εθνικό Εργαστήριο Oak Ridge, έχει δύο μηχανοκίνητους τροχούς που κατευθύνονται και μεμονωμένα, εικόνα 4.10. Με τέσσερις ανεξάρτητους κινητήρες, το HERMIES III είναι ένα όχημα με 4 βαθμούς ελευθερίας.



Εικόνα 4.10 Πλατφόρμα οχήματος 4 επιπέδων ελευθερίας που μπορεί να κινηθεί προς όλες τις κατευθύνσεις, συμπεριλαμβανομένου και πλαγίως και διαγώνια. Η δυσκολία έγκειται στο συντονισμό και των 4 κινητήρων έτσι ώστε να αποφευχθεί η ολίσθηση [J.Borenstein, H. R. Everett and L. Feng, 1996]

Το MDOF σύστημα εμφανίζει εξαιρετική ευελιξία σε περιορισμένο χώρο, σε σύγκριση με τα συμβατικά 2 βαθμών ελευθερίας συστήματα κινητικότητας, αλλά έχει διαπιστωθεί ότι είναι δύσκολο να ελεγχτούν λόγω των εκ φύσεως περιορισμών τους. Τα προβλήματα που απορρέουν περιλαμβάνουν την αύξηση της ολίσθησης των τροχών και έτσι μειώνεται η οδομετρική ακρίβεια. Πρόσφατα, οι Reister και Unseren, καθιέρωσαν έναν νέο αλγόριθμο ελέγχου που βασίζεται στη δύναμη ελέγχου. Οι ερευνητές αναφέρθηκαν σε μια σημαντική μείωση της ολίσθησης τροχού για τους δύο τροχούς τους/δίκυκλη κατευθυντική πλατφόρμα, με αποτέλεσμα να αναφερθεί 20-πλάσια βελτίωση της ακρίβειας. Ωστόσο, τα πειράματα στα οποία βασίστηκαν αυτά τα αποτελέσματα αποφεύγουν ταυτόχρονη διεύθυνση και οδήγηση των δύο κατευθυνόμενων κινητήριων τροχών. Με τον τρόπο αυτό, το κρίσιμο πρόβλημα του συντονισμού ελέγχου και των τεσσάρων κινητήρων ταυτόχρονα και τα αγόμενα μεταβατικά ρεύματα κατά τη διάρκεια, είχαν αποφευχθεί πλήρως.

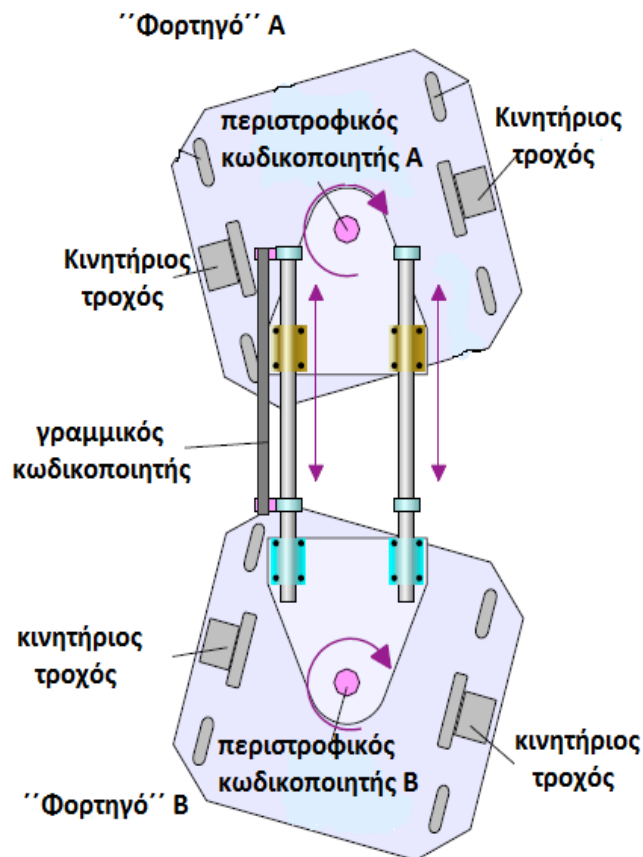
Η Unique Mobility, Inc, κατασκεύασε ένα 8-βαθμών ελευθερίας όχημα για το ναυτικό των ΗΠΑ. Στην προσωπική τους αλληλογραφία, οι μηχανικοί της εταιρείας ανέφεραν δυσκολίες στον έλεγχο και το συντονισμό των οχτώ κινητήρων [J. Borenstein, H.R.Everett, L.Feg, 1996].



Εικόνα 4.11 Πλατφόρμα 8 επιπέδων ελευθερίας με 4 τροχούς που καθοδηγείται και κατευθύνεται μεμονωμένα. Σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από την Unique Mobility, Inc [J.Borenstein, H. R. Everett and L. Feng, 1996].

Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα όσον αφορά τον έλεγχο και την υπερβολική προκύπτουσα ολίσθηση των τροχών, οι ερευνητές του πανεπιστημίου του Michigan

σχεδίασαν το ένα όχημα πολλαπλών βαθμών ελευθερίας (εικόνα 4.12). Αυτό το όχημα αποτελείται από δύο διαφορεικά ρομπότ κίνησης. Τα δύο ρομπότ κίνησης, συνδέονται με μια συμβατή ράβδο και δύο περιστροφικές αρθρώσεις, για συνολικά τρία εσωτερικά επίπεδα ελευθερίας.



Εικόνα 4.12 Συνδετική συμβατή διάταξη που αποτελείται από δύο περιστροφικούς κωδικοποιητές και έναν γραμμικό [J. Borenstein, H. R. Everett and L. Feng, 1996].

Σκοπός της σύνδεσης είναι να είναι συμβατή για να δεχθεί στιγμιαία λάθη των οχημάτων, εξαλείφοντας έτσι την υπερβολική ολίσθηση των τροχών που αναφέρθηκε για τα άλλα MDOF οχήματα. Επειδή εξαλείφει την υπερβολική ολίσθηση των τροχών, το MDOF όχημα με συμβατή σύνδεση είναι μία έως και δύο τάξεις μεγέθους πιο ακριβό από άλλα MDOF οχήματα και τόσο ακριβό όσο τα συμβατικά οχήματα δύο επιπέδων ελευθερίας [J. Borenstein, H.R.Everett, L.Feg, 1996].

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [Bruno Siciliano, Oussama Khatib (Eds), 2008] Bruno Siciliano, Oussama Khatib, Handbook of Robotics, 2008.
- [David M. Auslander, Carl J. Kempf, 1996] David M. Auslander, Carl J. Kempf, Mechatronics: Mechanical System Interfacing, Prentice Hall, 1996.
- [Gordon McComb, 2003] Gordon McComb, Robot Builder's Sourcebook, 2003.
- [Gordon McComb, Myke Predko, 2006] Gordon McComb, Myke Predko, The Robot Builder's BONANZA, 2006.
- [Elgar Peter, 1998] Elgar Peter, Sensor for Measurement and Control, Prentice Hall, 1998.
- [J. Borenstein, H. R. Everett and L. Feng, 1996] J. Borenstein, H. R. Everett and L. Feng, Where am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning, Report: The University of Michigan, 1996.
- [Jon Wilson, 2005] Jon Wilson, Sensor Technology Handbook, Elsevier, 2005.
- [Maja J Mataric, 2007] Maja J Mataric, The robotics Primer, The MIT Press, 2007.
- [Mako Erbin, 2011] Mako Erbin, Σερβοκινητήρες: Αρχές λειτουργίας, κατασκευαστικοί τύποι, διανυσματικός έλεγχος και εφαρμογές, Διπλωματική εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2011.
- [Αργυρίου Αθανάσιος Α., 2004] Αργυρίου Αθανάσιος Α., Αισθητήρες Ημιαγωγών, Αισθητήρες θερμικοί, μηχανικοί, μαγνητικοί, αισθητήρες ακτινοβολίας και χημικοί αισθητήρες, Διδακτικές Σημειώσεις, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2004.
- [Δημοπούλου Μαρία, 2008] Δημοπούλου Μαρία, Συγκριτική μελέτη online υπηρεσιών μετεπεξεργασίας δεδομένων GPS, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2008
- [Εμίρης Δημήτριος Μ., 1999] Εμίρης Δημήτριος Μ., Ρομποτική, 1999
- [Θεμελής Νικόλαος, 2007] Θεμελής Νικόλαος, Έλεγχος κινήσεων στα πνευματικά συστήματα, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2007.

- [Θεοδωρόπουλος Θεοφάνης, 2008] Θεοδωρόπουλος Θεοφάνης, Συστήματα τηλεχειρισμού και επικοινωνίας αυτοκινούμενου ρομπότ, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2008.
- [Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, 2013] Καλοβρέκτης Κωνσταντίνος, Κατέβας Νικόλαος, Αισθητήρες μέτρησης και ελέγχου, Εκδόσεις Τζίοια, 2013.
- [Κάττος Ανδρέας, 2010] Κάττος Ανδρέας, Υβριδικά συστήματα αυτοκινήτων: οδήγηση ηλεκτρικών κινητήρων, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Κρήτης, 2010.
- [Κελεσίδη Ελένη, 2009] Κελεσίδη Ελένη, Ολοκληρωμένο σύστημα οδομετρίας για κινούμενα ρομπότ με χρήση μετρήσεων από πολλαπλούς αισθητήρες, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολ. Μηχαν. και Τεχνολ. Υπολογ., Πανεπιστήμιο Πατρών, 2009.
- [Ματσούλης Παν. Ευάγγελος, 2009] Ματσούλης Παν. Ευάγγελος, Καθοδήγηση ενός ρομπότ NXT Lego Mindstorm με χρήση σαρωτή λέιζερ, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων, ΤΕΙ Κρήτης, 2009.
- [Σιμωνίδης Βαρθολομαίος, 2007] Σιμωνίδης Βαρθολομαίος, Διάγνωση βλαβών και προβλεπτική συντήρηση στα υδραυλικά συστήματα, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2007
- [Σφακιωτάκης Μιχάλης] Σφακιωτάκης Μιχάλης, Σημειώσεις Μαθήματος Ρομποτικής, ΤΕΙ Κρήτης
- [Τζιάμαλης Άκης Α., 2012] Τζιάμαλης Άκης Α., Σερβοκινητήρες και Σερβοκινητήρια Συστήματα, Διπλωματική εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2012
- http://users.sch.gr/siliadakis/images/docs/light%20sensors%203_4.pdf
- http://www.vt.teithe.gr/files/Lab_5.pdf
- http://skd.gr/article-category/iliko_pinakon_ragas-termatikoi_diakoptes.html
- http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit