



Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σπουδαστές:

Τριτσώνης Αντώνιος (Α.Μ 3844)

Τέρτης Γεώργιος (Α.Μ 3922)

Επιβλέπων Καθηγητής: Φραγκιαδάκης

ΙΟΥΝΙΟΣ 2012

Περιεχόμενα

1. Περίληψη	1
2. Εισαγωγή	2
2.1 Αισθητήρες - Ορισμός	2
2.2 Γενικά Χαρακτηριστικά Αισθητήρων	2
2.3 Ταξινόμηση Αισθητήρων	6
2.4 Σύστημα Αισθητήρων	7
2.5 Εφαρμογές Αισθητήρων	8
2.6 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	9
2.7 Αισθητήρες Κίνησης και Μετατόπισης	12
3. Αισθητήρες Κίνησης	13
3.1 Ανίχνευση Κίνησης	13
3.1.1 Γενικά	13
3.1.2 Είδη Ανιχνευτών Κίνησης.....	15
3.2 Αισθητήρες Μέτρησης Ταχύτητας	15
3.2.1 Διαφοροποίηση της μετατόπισης ως προς το χρόνο	15
3.2.2 Υπολογισμός μέσης ταχύτητας.....	15
3.2.3 Στροβοσκοπική μέθοδος	16
3.2.4 Χρήση μετατροπέων ταχύτητας	17
3.2.5 Ταχογεννήτριες	18
3.3 Αισθητήρες Μέτρησης Επιτάχυνσης	22
3.3.1 Επιταχυνσιόμετρα ανοιχτού βρόγχου	24
3.3.2 Επιταχυνσιόμετρα κλειστού βρόγχου	26
4. Αισθητήρες για την Μέτρηση της Μετακίνησης-Θέσης	28
4.1 Γενικά	28
4.2 Προσδιορισμός Θέσης	28
4.2.1 Τριγωνομετρικός Υπολογισμός.....	28
4.2.2 Μέθοδος Εγγύτητας	30
4.2.3 Γνωρίσματα Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης	31
4.2.4 Τεχνολογίες Εντοπισμού Θέσης	34
4.3 Αισθητήρες Βασιζόμενοι στη Μεταβολή Αυτεπαγωγής	36
4.4 Αισθητήρες Βασιζόμενοι στη Μεταβολή Χωρητικότητας Πυκνωτή	38
4.5 Αισθητήρες Βασιζόμενοι στο Πιεζομετρικό φαινόμενο	39

4.6	Αισθητήρες Βασιζόμενοι στη Μεταβολή Μαγνητικού Πεδίου	42
4.6.1	Γενικά	42
4.6.2	Μαγνητικοί Αισθητήρες Hall	43
4.7	Αισθητήρες Βασιζόμενοι στη Μεταβολή Ποτενσιόμετρου	44
4.7.1	Γενικά περί Ποτενσιόμετρων	44
4.7.2	Γραμμικά ποτενσιόμετρα	44
4.7.3	Περιστροφικά ποτενσιόμετρα	46
4.8	Αισθητήρες Βασιζόμενοι στα Οπτικά Φαινόμενα	48
4.8.1	Οπτικοί Αισθητήρες Προσέγγισης	48
4.8.2	Τύποι Οπτικών Αισθητήρων Προσέγγισης	52
4.9	Κωδικοποιητές Θέσης.....	53
4.9.1	Αυξητικοί Κωδικοποιητές Θέσης	54
4.9.2	Απόλυτοι Κωδικοποιητές Θέσης	60
5.	Εφαρμογές	64
5.1	Αισθητήρες Κίνησης	64
5.2	Αισθητήρες Μετατόπισης	64
6.	Βιβλιογραφία	69

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 2-1:	Χαρακτηριστικά αισθητήρων	2
--------------	---------------------------------	---

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 2-1:	Γραμμική παράσταση εισόδου-εξόδου αισθητήρα	4
Σχήμα 2-2:	Σχέση Ακρίβειας - Επναληψιμότητας	5
Σχήμα 2-3:	Απλό block διάγραμμα συστήματος αισθητήρα	7
Σχήμα 2-4:	Σύστημα αισθητήρων σε ολοκληρωμένο κύκλωμα	8
Σχήμα 2-5:	Λειτουργικά στοιχεία ενός συστήματος.....	8
Σχήμα 2-6:	Σχηματική απεικόνιση συστήματος ελέγχου ανοικτού βρόγχου.....	9
Σχήμα 2-7:	Σχηματική απεικόνιση συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου	9
Σχήμα 2-8:	Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.....	10
Σχήμα 3-1:	Καταμέτρηση μαγνητικών (α) και οπτικών (β) παλμών.....	16
Σχήμα 3-2:	Μετατροπέας ταχύτητας κινητού πηνείου	18
Σχήμα 3-3:	Μετατροπέας ταχύτητας κινητού μαγνήτη.....	18
Σχήμα 3-4:	Σχηματική αναπαράσταση απλής ταχογεννήτριας DC-TG.....	20
Σχήμα 3-5:	Ταχογεννήτρια συνεχούς ρεύματος.....	20

Σχήμα 3-6:	Σχηματική αναπαράσταση τριφασικής ταχογεννήτριας AC	21
Σχήμα 3-7:	Ταχογεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος	21
Σχήμα 3-8:	Κύκλωμα ολοκλήρωσης ή ολοκληρωτής.....	22
Σχήμα 3-9:	Βασικός τύπος επιταχυνσιόμετρου	22
Σχήμα 3-10:	Επιταχυνσιόμετρο διάταξης πυκνωτή και μάζας αδράνειας.....	24
Σχήμα 3-11:	Αρχή λειτουργίας επιταχυνσιόμετρου κλειστού βρόγχου	26
Σχήμα 4-1:	Μέτρηση αποστάσεων σε δύο διαστάσεις	29
Σχήμα 4-2:	Μέτρηση αποστάσεων σε τρεις διαστάσεις	29
Σχήμα 4-3:	Υπολογισμός θέσης με μέτρηση γωνιών.....	30
Σχήμα 4-4:	Μέθοδος Εγγύτητας	30
Σχήμα 4-5:	Δομή ενός επαγωγικού διακόπτη προσέγγισης.....	37
Σχήμα 4-6:	Παραδείγματα εφαρμογών επαγωγικών αισθητήρων	38
Σχήμα 4-7:	Αρχές λειτουργίας χωρητικού αισθητήρα προσέγγισης.....	39
Σχήμα 4-8:	Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες μετακίνησης.....	40
Σχήμα 4-9:	Ευθύ (α) και ανάστροφο (β) πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.....	40
Σχήμα 4-10:	(α) Μοντέλο φορτίου και (β) μοντέλο τάσης πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα.....	42
Σχήμα 4-11:	Αρχή λειτουργίας μαγνητικού αισθητήρα	42
Σχήμα 4-12:	Φαινόμενο Hall (a) και ολοκληρωμένος αισθητήρας Hall(b).....	43
Σχήμα 4-13:	Τύποι ποτενσιόμετρων	44
Σχήμα 4-14:	Αρχή λειτουργίας γραμμικού ποτενσιόμετρου	45
Σχήμα 4-15:	Γραμμικό ποτενσιόμετρο.....	46
Σχήμα 4-16:	Περιστροφικό και ελικοειδές ποτενσιόμετρο	46
Σχήμα 4-17:	Περιστροφικό ποτενσιόμετρο	47
Σχήμα 4-18:	Περιστροφικό ποτενσιόμετρο κινητής επαφής	47
Σχήμα 4-19:	Αρχή λειτουργίας οπτικού αισθητήρα.....	48
Σχήμα 4-20:	Αρχή λειτουργίας οπτικού αισθητήρα GP2Dxx.....	49
Σχήμα 4-21:	Σχέση μεταξύ της εξόδου του αισθητήρα και της απόστασης	50
Σχήμα 4-22:	Αρχή λειτουργίας αισθητηρίου μέτρησης με ακτίνες φωτός	51
Σχήμα 4-23:	Επιλογή φίλτρου φωτομέτρου με οπτική κωδικοποίηση (ΦΙ0-ΦΙ7: οπτικά φίλτρα, Κ:κεφαλή ανάγνωσης κώδικα θέσης)το κύκλωμα δείχνει τον τρόπο καλωδίωσης καθενός από τα 4 ζεύγη φωτοεκπομπών διόδων-φωτοτρανζίστορ).Ο πίνακας αλήθειας των εξόδων του κωδικοποιητή φαίνεται στο σχήμα (απολυτ. γραμμ. κωδικοποιητή)	54
Σχήμα 4-24:	Αναπαράσταση ενός αυξητικού 2-ψηφίου κωδικοποιητή με 3 ίχνη (bits).....	55
Σχήμα 4-25:	Τοποθέτηση των 2 ζευγών LED - φωτοκύτταρων για την ανάγνωση του ψηφιακού κωδικοποιητή του σχήματος	55
Σχήμα 4-26:	Έξοδος του κωδικοποιητή	55
Σχήμα 4-27:	Στοιχεία λειτουργίας αυξητικού κωδικοποιητή.....	56
Σχήμα 4-28:	Τυπική μορφή της εξόδου ενός τέτοιου αυξητικού γραμμικού κωδικοποιητή	56
Σχήμα 4-29:	(α) Κύκλωμα προετοιμασίας ψηφιακής εξόδου του κωδικοποιητή με χαμηλοπερατό φίλτρο για μετρήσεις γωνιακής ταχύτητας.....	57

Σχήμα 4-30:	(β) Κύκλωμα προετοιμασίας ψηφιακής εξόδου του κωδικοποιητή με χαμηλοπερατό φίλτρο για μετρήσεις χαμηλών ταχυτήτων και θέσης.....	57
Σχήμα 4-31:	Κύκλωμα προσδιορισμού αριστερής η δεξιάς κίνησης που συνδέεται στις εξόδους ενός Κοίνου γωνιακού κωδικοποιητή θέσεως	58
Σχήμα 4-32:	Οι κυματομορφές που παράγει το κύκλωμα	59
Σχήμα 4-33:	Αναπαράσταση κωδικοποιημένης ταινίας γραμμικού αυξητικού κωδικοποιητή θέσης των 2 bits (2 ίχνη).....	59
Σχήμα 4-34:	Γραμμικός κωδικοποιητής αυξητικού τύπου	60
Σχήμα 4-35:	Αναπαράσταση ενός 4-bit κωδικοποιητή με ψηφιακή κωδικοποίηση, με κωδικοποίηση Gray και απολυτός κωδικοποιητής με ανάλυση 10-bits	61
Σχήμα 4-36:	Αισθητήρας με έξοδο σε κώδικα gray και δυαδικό για κεφαλή Π με 4 ζεύγη	61
Σχήμα 4-37:	α) απόλυτος γραμμικός κωδικοποιητής θέσης μορφής V β) συνδιασμενη δυαδικη εξοδος.....	62
Σχήμα 5-1:	Σύστημα Active Bat.....	66

ABSTRACT

The present work is referred to the study of motion and displacement sensors and how they work.

For purposes of this report, the sensors are divided into two major categories:

- The motion sensors concerning speed and acceleration measurement devices
- The displacement transducers referring to the sensors associated with a change of position, whether moving (linear or angular) or either approaching.

Is described the way of the speed detection and the types of motion detectors (and their operating methods) used to measure two basic sizes, speed and acceleration.

It is also presented, the techniques for determining the position and details of the sensors depending on the phenomenon behind the functioning (change in inductance, capacitor capacity change, piezometric phenomenon, changing magnetic field, change potentiometer, optical phenomena).

For both types of sensors, indicative applications are given.

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά στη μελέτη των αισθητήρων κίνησης και μετατόπισης και στον τρόπο λειτουργίας αυτών.

Για τις ανάγκες της παρούσας έκθεσης οι αισθητήρες έχουν χωριστεί σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Τους αισθητήρες κίνησης που αφορούν σε συσκευές μέτρησης κίνησης και επιτάχυνσης και
- Τους αισθητήρες μετατόπισης που αφορούν στους αισθητήρες που σχετίζονται με αλλαγή θέσης, είτε πρόκειται για μετακίνηση (ευθύγραμμη ή γωνιακή) είτε για προσέγγιση.

Αρχικά (κεφάλαιο 2) γίνεται μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν και συγκεκριμένα:

- Στους αισθητήρες
- Στα γενικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων
- Στην ταξινόμηση των αισθητήρων
- Στα συστήματα αισθητήρων και
- Στις εφαρμογές των αισθητήρων

Επιπλέον, και για λόγους πληρότητας, έγινε ειδική αναφορά στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων τα οποία είναι τα πλέον διαδεδομένα.

Το κεφάλαιο 3 αφορά στη μελέτη των αισθητήρων κίνησης. Αρχικά γίνεται μια περιγραφή του τρόπου ανίχνευσης της κίνησης και στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα είδη των ανιχνευτών κίνησης (και ο τρόπος λειτουργίας τους) τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση δύο βασικών μεγεθών, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται παρουσίαση των αισθητήρων μετατόπισης. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης και στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι αισθητήρες ανάλογα με το φαινόμενο στο οποίο στηρίζεται η λειτουργία τους (μεταβολή αυτεπαγωγής, μεταβολή χωρητικότητας πυκνωτή, πιεζομετρικό φαινόμενο, μεταβολή μαγνητικού πεδίου, μεταβολή ποτενσιόμετρου, οπτικά φαινόμενα).

Τέλος, παρουσιάζονται συνοπτικά ενδεικτικές βασικές εφαρμογές τόσο των αισθητήρων κίνησης όσο και των αισθητήρων μετατόπισης.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ - ΟΡΙΣΜΟΣ

Αισθητήρας ονομάζεται μία συσκευή που ανιχνεύει ένα φυσικό μέγεθος και παράγει από αυτό μία μετρήσιμη έξοδο. Για παράδειγμα, το υδραργυρικό θερμόμετρο μετατρέπει τη μετρούμενη θερμοκρασία σε διαστολή, η οποία μπορεί να αναγνωστεί από ένα βαθμονομημένο σωλήνα.

Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε καθημερινά αντικείμενα, όπως κουμπιά ανελκυστήρων ευαίσθητα στην αφή και λάμπες φωτισμού που εκπέμπουν λαμπρότερα ή απαλότερα αγγίζοντας τη βάση τους. Υπάρχουν αναρίθμητες ακόμη χρήσεις που οι περισσότεροι άνθρωποι δεν αντιλαμβάνονται. Εφαρμογές τους συναντούμε στα αυτοκίνητα, σε μηχανές, στην αεροναυπηγική, την ιατρική, τη βιομηχανία και τη ρομποτική.

2.2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Τα βασικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 2-1: Χαρακτηριστικά αισθητήρων

Χαρακτηριστικό	Περιγραφή
Εύρος	Τα όρια στα οποία η συσκευή λειτουργεί αξιόπιστα.
Ακρίβεια	Η εγγύτητα της τιμής εξόδου προς τη τιμή εισόδου.
Σφάλμα	Η διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και τη πραγματική τιμή.
Ανοχή	Το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να δημιουργήσει ο αισθητήρας.
Διακριτική Ικανότητα	Η μικρότερη αλλαγή τιμής εισόδου που μπορεί να ανιχνεύσει.
Ευαισθησία	Η σχέση της αλλαγής εξόδου προς τη αλλαγή εισόδου, είναι ίση με τη διαφορά των τιμών της εξόδου προς τη διαφορά των αντίστοιχων τιμών εισόδου.
Βαθμονόμηση	Η βαθμολόγηση της κλίμακας σε μονάδες.
Νεκρή ζώνη	Το μέγιστο ποσό αλλαγής της εισόδου που δεν επιφέρει αλλαγή στην έξοδο.
Γραμμικότητα	Ο βαθμός στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου προσεγγίζει ευθεία ως προς την είσοδο

Χαρακτηριστικό	Περιγραφή
	του αισθητήρα.
Απόκριση	Ο χρόνος που απαιτείται για να λάβει τη τελική τιμή η έξοδος
Καθυστέρηση	Η καθυστέρηση της αλλαγής της εξόδου ως προς την είσοδο.
Ευστάθεια	Η μεταβολή της εξόδου σε μεγάλη χρονική περίοδο, χωρίς μεταβολή της εισόδου και των συνθηκών.
Υστέρηση	Η διαφορά στην έξοδο όταν η κατεύθυνση της μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί.
Επαναληψιμότητα	Η παραγωγή του ίδιου αποτελέσματος, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, με την ίδια είσοδο.
Ολίσθηση	Η μεταβολή των χαρακτηριστικών του αισθητήρα με το χρόνο και το περιβάλλον.
Στατικό σφάλμα	Σταθερό σφάλμα σε όλο το εύρος λειτουργίας, το οποίο μπορεί να αντισταθμιστεί.
Χρόνος λειτουργίας	Ο εκτιμώμενος χρόνος λειτουργίας στα πλαίσια των προδιαγραφών του.

Αναλυτικότερα για τα βασικότερα ως άνω χαρακτηριστικά ισχύουν τα ακόλουθα. Για την πληρέστερη κατανόηση των μεγεθών δίνονται και ορισμένα παραδείγματα.

Σφάλμα (error): ενός αισθητήρα είναι η διαφορά ανάμεσα στην έξοδο του αισθητήρα και τη μετρούμενη (πραγματική τιμή) και εκφράζεται είτε ως προς τις μονάδες της μετρούμενης ποσότητας (απόλυτο σφάλμα) ή ως εκατοστιαίο σφάλμα.

$$e = |r - x| \quad \& \quad e(\%) = (|r - x| / r) 100\%$$

r: μετρούμενη τιμή (πραγματική)

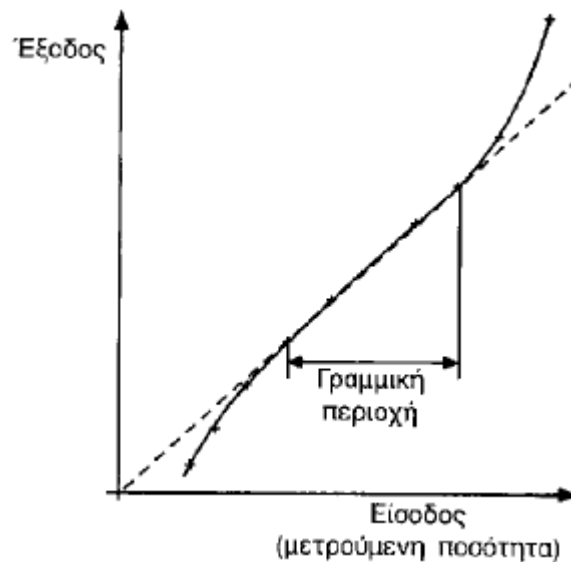
x: τιμή εξόδου αισθητήρα (αποτέλεσμα μέτρησης)

Παράδειγμα: σε θερμόμετρο του οποίου οι μετρήσεις παρουσιάζουν απόλυτο σφάλμα $\pm 0,4$ °C, εάν η μέτρηση είναι 20,5 °C, τότε η πραγματική θερμοκρασία βρίσκεται μεταξύ των τιμών 20,1 και 20,9 °C. Ομοίω, εάν το εκατοστιαίο σφάλμα των μετρήσεων είναι 2%

Βαθμονόμηση (calibration): αναφέρεται στις μονάδες στις οποίες βαθμολογείται η κλίμακα απεικόνισης ενός οργάνου.

Παράδειγμα: ο αισθητήρας ταχύτητας παράγει ηλεκτρική έξοδο (τάση) ανάλογη της ταχύτητας και ο δείκτης ταχομέτρου κινείται ανάλογα με την τάση, αλλά η θέση του χαρακτηρίζεται από την τιμή της ταχύτητας (επομένως έχουμε βαθμονόμηση ταχύμετρου ως προς την ταχύτητα).

Γραμμικότητα (linearity): βαθμός στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου ως προς την είσοδο ενός αισθητήρα προσεγγίζει μία ευθεία γραμμή. Ένας αισθητήρας μπορεί να είναι γραμμικός σε μια περιοχή τιμών εισόδου και η γραμμικότητα να δίνεται ως ποσοστό επί του εύρους λειτουργίας.



Σχήμα 2-1: Γραμμική παράσταση εισόδου-εξόδου αισθητήρα

Εύρος λειτουργίας (operating range): όρια στα οποία ένας αισθητήρας ή σύστημα λειτουργεί αξιόπιστα (μέγιστη και ελάχιστη τιμή που μπορεί να μετρήσει). Οι προδιαγραφές περιλαμβάνουν συνήθως και άλλες έννοιες εύρους (π.χ. θερμοκρασίας, πίεσης).

Επαναληψιμότητα (repeatability, precision): βαθμός κατά τον οποίο ο αισθητήρας ή το σύστημα παράγει το ίδιο αποτέλεσμα όταν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές τροφοδοτείται με την ίδια έξοδο (εκφράζεται σε απόλυτο νούμερο ή ως ποσοστό).

Δεν πρέπει να συγχέεται με την ακρίβεια, αφού ένας αισθητήρας μπορεί να δίνει παρόμοια έξοδο πολλές φορές για συγκεκριμένη είσοδο, αλλά εάν υπάρχει σημαντικό σφάλμα, η έξοδος δεν είναι ακριβής.



Υψηλή ακρίβεια,
χαμηλή επαναληψιμότητα



Υψηλή επαναληψιμότητα
χαμηλή ακρίβεια



Υψηλή ακρίβεια και
επαναληψιμότητα

Σχήμα 2-2: Σχέση Ακρίβειας - Επναληψιμότητας

$$P = 1 - |(x-m)/m| \text{ (ή \%)}$$

x: έξοδος (αποτέλεσμα μέτρησης)

m: μέσος όρος σειράς εξόδων (μετρήσεων) για την ίδια είσοδο

Ονομαστική τιμή (rating): σύνολο των βέλτιστων συνθηκών (ηλεκτρικών, μηχανικών κλπ) υπό τις οποίες μία συσκευή θα λειτουργεί με επιτυχία και ασφάλεια (π.χ. μέγιστη τιμή θερμοκρασίας, φόρτισης κλπ).

Αξιοπιστία (reliability): ικανότητα της συσκευής να λειτουργήσει στα πλαίσια των προδιαγραφών της, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και για μια δεδομένη περίοδο ή αριθμό κύκλων λειτουργίας. Συγγενές χαρακτηριστικό με το χρόνο λειτουργίας.

Απόκριση (response): χρόνος που απαιτείται για να λάβει η έξοδος ενός αισθητήρα ή συστήματος την τελική της τιμή, για μια δεδομένη είσοδο (σε μονάδες χρόνου μόνο ή και με ποσοστό της τελικής τιμής εξόδου, π.χ. απόκριση 95%=3 sec, δηλ. 3sec για να φτάσει η έξοδος στο 96% της τελικής τιμής της).

Διακριτική ικανότητα (resolution): αναφέρεται στη μικρότερη αλλαγή εισόδου που μπορεί να ανιχνεύσει ένας αισθητήρας. Όσο μεγαλύτερη είναι η διακριτική ικανότητα, τόσο μικρότερο είναι το βήμα που μπορεί να μετρηθεί.

Ευαισθησία (sensitivity): εκφράζει τη σχέση ανάμεσα στην αλλαγή της εξόδου και την αντίστοιχη αλλαγή της εισόδου, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

$$\text{Ευαισθησία} = \frac{[\text{Μέγιστη τιμή εξόδου}] - [\text{Ελάχιστη τιμή εξόδου}]}{[\text{Μέγιστη τιμή εισόδου}] - [\text{Ελάχιστη τιμή εισόδου}]}$$

Οι μονάδες μέτρησης της ευαισθησίας διαφέρουν ανάλογα με τη φύση του αισθητήρα και τη μετρούμενη ποσότητα.

Εάν η σχέση ανάμεσα στη μετρούμενη ποσότητα και την έξοδο είναι γραμμική, η ευαισθησία είναι μία για όλο το εύρος λειτουργίας, εάν όχι τότε η ευαισθησία διαφέρει από περιοχή σε περιοχή.

Ευστάθεια (stability): μέτρο μεταβολής της εξόδου μιας συσκευής, όταν η είσοδος και οι συνθήκες μέτρησης παραμένουν σταθερές κατά τη διάρκεια μεγάλης χρονικής περιόδου.

Στατικό σφάλμα (static error): σταθερό σφάλμα που υπεισέρχεται σε όλο το εύρος τιμών εισόδου ενός αισθητήρα. Εάν είναι γνωστό μπορεί να αντισταθμιστεί χωρίς να υπάρξει υποβάθμιση της ακρίβειας του συστήματος.

Ανοχή (tolerance): μέγιστο ποσοστό σφάλματος που μπορεί να υπάρξει κατά τη διάρκεια λειτουργίας ενός αισθητήρα.

2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Η αντίληψη του φυσικού κόσμου προϋποθέτει την ενασχόληση με ποικιλόμορφες φυσικές και χημικές ποσότητες, οι οποίες όσον αφορά το μετρούμενο μέγεθος διακρίνονται στις παρακάτω έξι περιοχές σήματος.

- Την περιοχή θερμικού σήματος: Με συνηθέστερα σήματα την θερμοκρασία, την θερμότητα και τη ροή θερμότητας.
- Την περιοχή μηχανικού σήματος: Με συνηθέστερα σήματα τη δύναμη, την πίεση, την ταχύτητα, την επιτάχυνση και τη θέση
- Την περιοχή χημικού σήματος: Τα σήματα αυτής της κατηγορίας είναι οι εσωτερικές ποσότητες ύλης, όπως είναι η συγκέντρωση ενός συγκεκριμένου υλικού, η σύνθεσή του ή ο ρυθμός αντίδρασης
- Την περιοχή μαγνητικού σήματος: Με συνηθέστερα σήματα την ένταση του μαγνητικού πεδίου, την πυκνότητα ροής και την μαγνήτιση
- Την περιοχή σήματος ακτινοβολίας: Τα σήματα αυτά είναι ποσότητες που χαρακτηρίζουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα όπως η ένταση, το μήκος κύματος, η πόλωση και η φάση
- Την περιοχή ηλεκτρικού σήματος: Με συνηθέστερα σήματα την τάση, την ένταση και το φορτίο.

Η παραπάνω ταξινόμηση αφορά τις φυσικές ποσότητες που ο **αισθητήρας** πρέπει να αντιληφθεί και έτσι είναι αυτονόητο ότι και η ταξινόμηση των αισθητήρων ακολουθεί την παραπάνω ταξινόμηση. Έτσι οι αισθητήρες διακρίνονται σε **θερμικούς, μηχανικούς, χημικούς, μαγνητικούς και ακτινοβολίας**.

Μια εναλλακτική μέθοδος ταξινόμησης των αισθητήρων βασίζεται στο κατά πόσο χρησιμοποιούν ή όχι βοηθητική πηγή ενέργειας. Οι αισθητήρες που παράγουν ηλεκτρικό σήμα εξόδου χωρίς βοηθητική πηγή ενέργειας καλούνται **παθητικοί** ή αυτοδιεγειρόμενου σήματος εξόδου (self-generating). Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου αισθητήρα είναι θερμοστοιχείο το οποίο παράγει μια ηλεκτροδιεγερτική δύναμη από τη διαφορά στις θερμοκρασίες επαφής.

Οι αισθητήρες που παράγουν ηλεκτρικό σήμα εξόδου με βοηθητική πηγή ενέργειας καλούνται **ενεργητικοί** ή διαμορφωμένου σήματος (modulating). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι φωτοδιόδοι, τα φωτοκύτταρα και τα θερμίστορ. Στους ενεργητικούς αισθητήρες η βοηθητική πηγή ενέργειας χρησιμεύει σαν κύρια πηγή για το σήμα εξόδου του αισθητήρα και η μετρούμενη φυσική ποσότητα το διαμορφώνει ενισχύοντας ή υποβιβάζοντάς το.

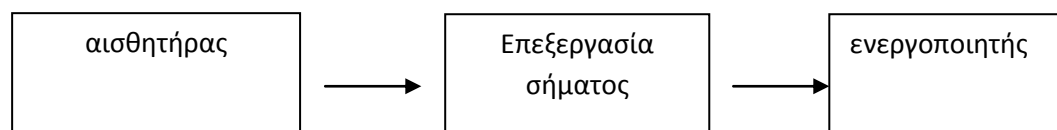
2.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Τα συστήματα αισθητήρων χρησιμοποιούνται, γενικά, για τη διεξαγωγή ελέγχων και μετρήσεων. Ο όρος μορφομετατροπέας (transducer) χρησιμοποιείται τόσο για το τμήμα εισόδου, όσο και εξόδου του συστήματος αισθητήρων.

Ο ρόλος του μορφομετατροπέα εισόδου είναι η συλλογή πληροφοριών για μια φυσική ή χημική ποσότητα από τον έξω κόσμο. Για το λόγο αυτό οι μορφομετατροπείς ονομάζονται αισθητήρες. Συχνά τα ηλεκτρικά σήματα που παράγονται από τους αισθητήρες είναι ασθενή και πρέπει να ενισχυθούν ή να υποστούν κάποιου είδους επεξεργασία. Αυτό γίνεται στο κομμάτι επεξεργασίας σήματος του συστήματος αισθητήρων.

Τέλος ο ρόλος του μορφομετατροπέα εξόδου είναι η μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος σε μια μορφή αντιληπτή από τις ανθρώπινες αισθήσεις, ή η ενεργοποίηση κάποιου γεγονότος όπως για παράδειγμα το άνοιγμα ή το κλείσιμο μιας βαλβίδας. Για το λόγο αυτό οι μορφομετατροπείς συχνά καλούνται ενεργοποιητές (actuators).

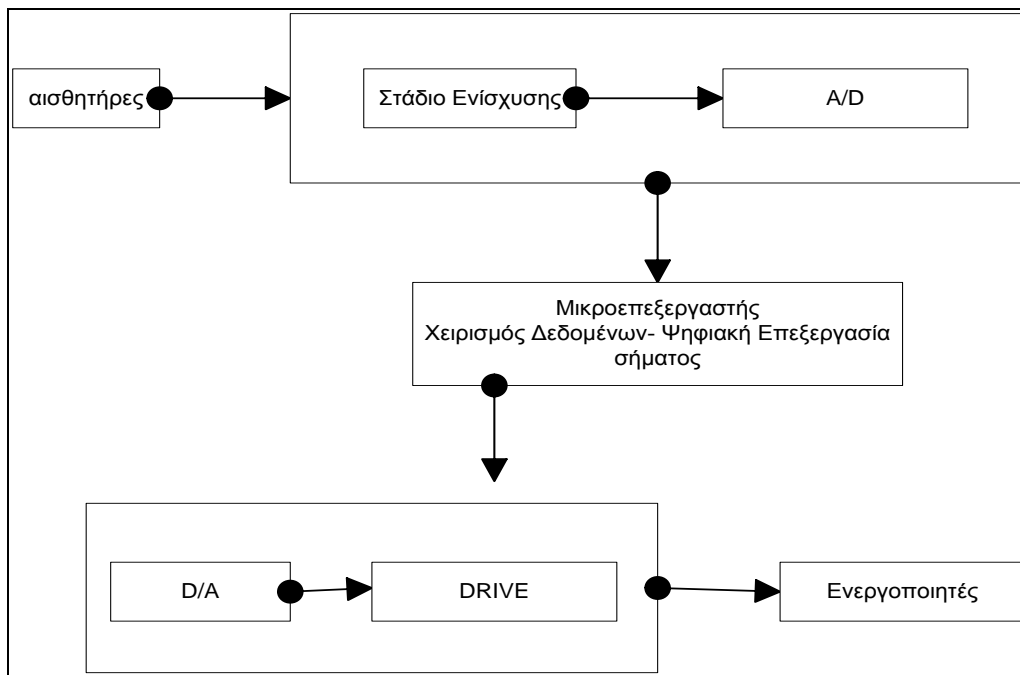
Ένα απλό μπλοκ διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 2-3: Απλό block διάγραμμα συστήματος αισθητήρα

Ένα τυπικό σύστημα αισθητήρων μπορεί να αποτελείται από πολλές διατάξεις και διαφορετικές διατάξεις της σύγχρονης μικροηλεκτρονικής. Οι διατάξεις αυτές ενισχύουν, μετατρέπουν σε ψηφιακά και τελικά εισάγουν σε ένα μικροεπεξεργαστή τα σήματα που δημιουργούνται από τον αισθητήρα. Στη συνέχεια είναι δυνατόν ο μικροεπεξεργαστής να ελέγχει μια σειρά άλλων μικροηλεκτρονικών διατάξεων οι οποίες μετατρέπουν από ψηφιακά σε αναλογικά τα σήματα έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι σε ενεργοποιητές.

Το παρακάτω σύστημα αισθητήρα αποτελείται από διακριτά μεταξύ τους τμήματα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με καλωδίωση από σημείο σε σημείο. Όμως τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν νέες τεχνολογίες όπως η συγκόλληση πλακιδίου και η τρισδιάστατη και επιφανειακή μικρομηχανική, που επιτρέπουν την παραγωγή αισθητήρων και ενεργοποιητών με τεχνολογίες συμβατές με τη συνήθη διαδικασία κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.



Σχήμα 2-4: Σύστημα αισθητήρων σε ολοκληρωμένο κύκλωμα

2.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Οι κατηγορίες συστημάτων που έχουν εφαρμογή οι αισθητήρες είναι οι ακόλουθες:

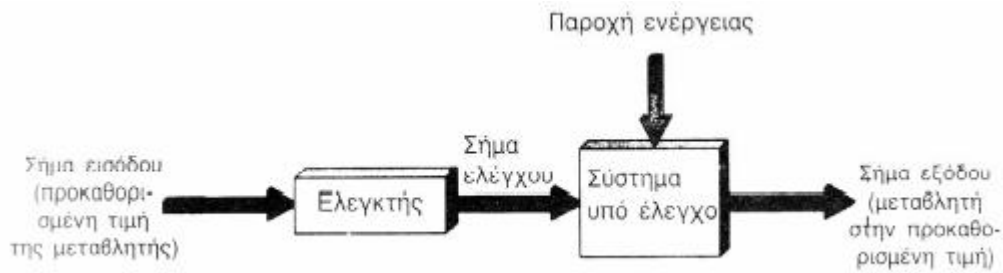
- Σύστημα μέτρησης
- Σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόγχου
- Σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου

Συγκεκριμένα, ένα σύστημα μέτρησης εμφανίζει ή καταγράφει μία ποσοτική έξοδο που αντιστοιχεί στην μεταβλητή που μετρά, αλλά δεν ελέγχει την τιμή της ποσότητας εισόδου. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα λειτουργικά στοιχεία ενός συστήματος μέτρησης.



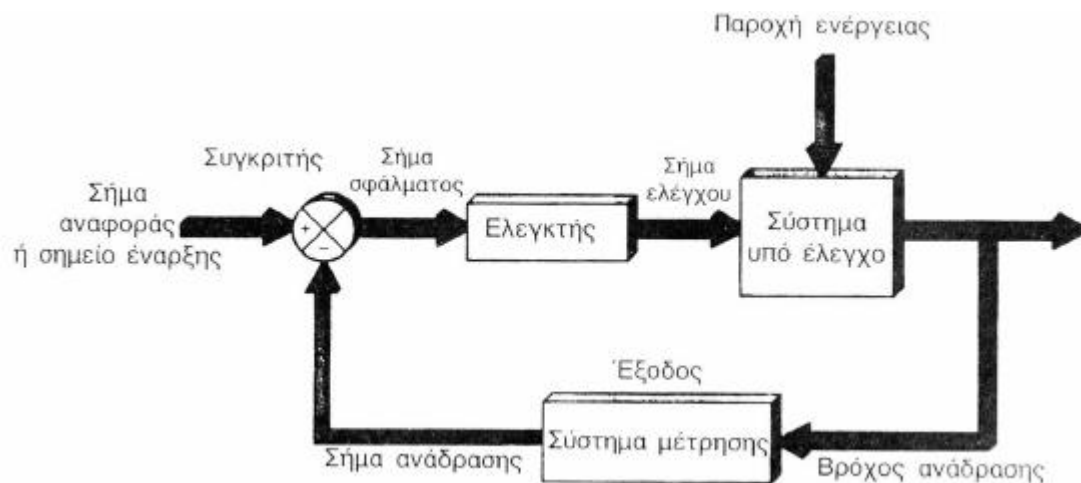
Σχήμα 2-5: Λειτουργικά στοιχεία ενός συστήματος

Η έξοδος ενός συστήματος ελέγχου ανοικτού βρόγχου, όπως αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί, ελέγχεται από ένα σήμα που έχει μια προκαθορισμένη τιμή.



Σχήμα 2-6: Σχηματική απεικόνιση συστήματος ελέγχου ανοικτού βρόγχου

Τέλος, ένα σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου (βλέπε ακόλουθο σχήμα), περιλαμβάνει σύστημα μέτρησης και η κατάσταση της εξόδου επηρεάζεται άμεσα από την κατάσταση της εισόδου. Συγκεκριμένα, μετρά την τιμή της ελεγχόμενης παραμέτρου στην έξοδο του συστήματος και τη συγκρίνει με την επιθυμητή τιμή. Η διαφορά των τιμών καλείται σφάλμα.

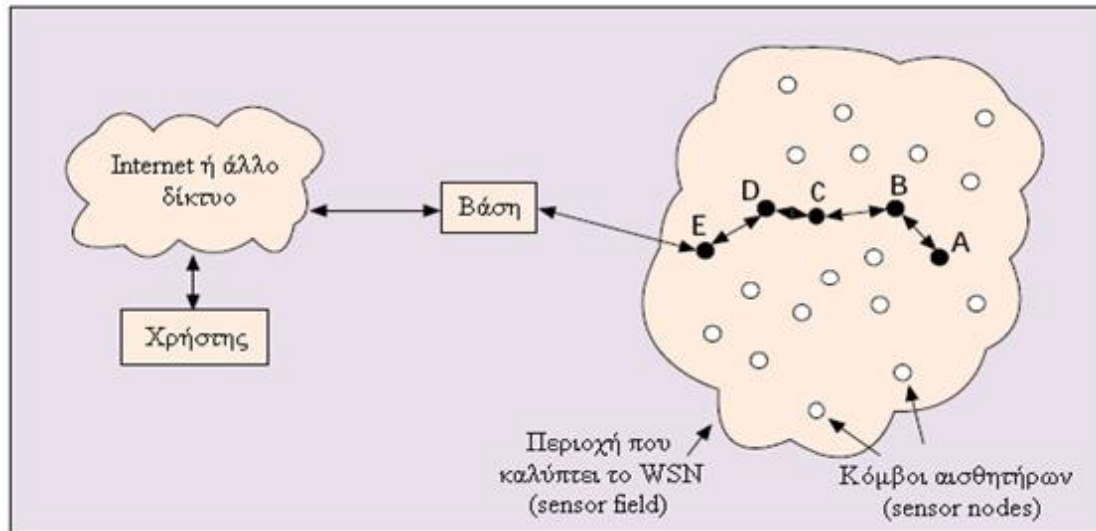


Σχήμα 2-7: Σχηματική απεικόνιση συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου

2.6 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Η ραγδαία ανάπτυξη των μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων και της ραδιοσυχνότητας (radio frequency - RF) έχει επιτρέψει την ανάπτυξη χαμηλής ισχύος, κατάλληλων για δημιουργία δικτύων και χαμηλού κόστους μικροαισθητήρων (microsensors). Τέτοιοι κόμβοι αισθητήρων είναι ικανοί να συλλέγουν ποικιλία δεδομένων που αφορούν το περιβάλλον γύρω τους, όπως θερμοκρασία, πίεση, κίνηση αντικειμένου κ.α., να τα επεξεργάζονται και να περιγράφουν στη συνέχεια την πλήρη συμπεριφορά του (περιβάλλοντος) ως προς διάφορες παραμέτρους που την επηρεάζουν. Ένα Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων (WSN)

αποτελείται από εκατοντάδες έως και χιλιάδες τέτοιους κόμβους που συνδέονται μεταξύ τους με ένα ασύρματο μέσο. Κάθε κόμβος αισθητήρων συλλέγει δεδομένα τα οποία στη συνέχεια δρομολογούνται μέσω μιας multi-hop επικοινωνίας στη βάση, η οποία επικοινωνεί με τον τελικό χρήστη μέσω του Διαδικτύου ή άλλου δικτύου.



Σχήμα 2-8: Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

Τα WSN προσφέρουν αρκετά αξιόπιστο έλεγχο και υπερέχουν έναντι αντίστοιχων συμβατικών συστημάτων αισθητήρων τα οποία χρησιμοποιούν μεγαλύτερους και ακριβότερους αισθητήρες (macrosensors) που συνδέονται με καλώδια για μεταφορά των δεδομένων στους τελικούς χρήστες. Μερικά από τα πλεονεκτήματα που έχουν τα WSN είναι:

- Μπορούν να αποτελούνται από μεγάλο αριθμό αυτόνομων κόμβων αισθητήρων που δεν απαιτούν επίβλεψη από άνθρωπο, ώστε να επεκτείνουν την κάλυψη του δικτύου που δημιουργούν, λειτουργώντας ταυτόχρονα και σε συνεργασία. Επιπλέον δε αυτού, οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να βρεθούν σε επικίνδυνες συνθήκες, σε αντίθεση με τους συμβατικούς κόμβους των οποίων τα δίκτυα περιορίζονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή λόγω των περιορισμών του κόστους και του ελέγχου - επίβλεψη που απαιτούν.
- Παρέχουν μεγαλύτερη ανοχή σε σφάλματα σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της πυκνής παράταξης των ασύρματων κόμβων αισθητήρων στον υπό μελέτη χώρο, πράγμα το οποίο συμβάλλει στον πλεονασμό-κάλυψη της πληροφορίας κάποιου κόμβου από τους γειτονικούς του. Για παράδειγμα, αν η πληροφορία από κάποιο σημείο είναι ελλιπής-λανθασμένη ή κάποιος από τους κόμβους αισθητήρων αποτυγχάνει να συλλέγει πληροφορία-δεδομένα, τότε το WSN μπορεί να συνεχίσει να παρέχει σωστές πληροφορίες επειδή ακριβώς υπάρχει αυτός ο πλεονασμός από τους γειτονικούς κόμβους που συμβάλλει επίσης στη δημιουργία εναλλακτικών διαδρομών ροής της πληροφορίας. Αντίθετα, σε ένα ενσύρματο δίκτυο αισθητήρων ένα τέτοιο σφάλμα μπορεί να προκαλέσει την κατάρρευση του συστήματος σε μια περιοχή.
- Παρέχουν μεγάλη ακρίβεια. Παρ' όλο που ένας ασύρματος κόμβος αισθητήρων παρέχει μικρότερη ακρίβεια σε σχέση με ένα κόμβο με καλύτερους αισθητήρες που συναντάται στα ενσύρματα δίκτυα αισθητήρων, πολλοί μαζί (από τους πρώτους) προσφέρουν πολύ μεγάλη ακρίβεια.
- Έχουν πολύ χαμηλό κόστος.

Τα WSN έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν πληροφορίες που αφορούν ένα ευρύ φάσμα φυσικών συνθηκών-φαινομένων, όπως:

- Θερμοκρασία
- Υγρασία
- Φως
- Πίεση
- Κίνηση αντικειμένου
- Επίπεδο θορύβου
- Σύνθεση του εδάφους

- Παρουσία κάποιου αντικειμένου
- Γενικά χαρακτηριστικά κάποιου αντικειμένου, όπως μάζα, διαστάσεις, ταχύτητα κίνησης, θέση κ.α.

Επισημαίνεται πως η χρήση των ασύρματων συστημάτων αισθητήρων κίνησης και μετατόπισης είναι ευρέως διαδεδομένη.

2.7 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των αισθητήρων κίνησης και μετατόπισης.

Κίνηση είναι η αλλαγή της φυσικής θέσης ενός αντικειμένου και υπάρχουν αισθητήρες που μετρούν κίνηση στις εξής μορφές:

- Γραμμική (ευθύγραμμη) μετατόπιση
- Γωνιακή μετατόπιση
- Προσέγγιση και
- Επιτάχυνση (και ταχύτητα)

Επισημαίνεται δε πως πολλές συσκευές ευθύγραμμης και γωνιακής μετατόπισης είναι ικανές να μετρούν τη μετατόπιση ως προς το χρόνο και επομένως να μετρούν την ταχύτητα και την επιτάχυνση.

Άλλες συσκευές-αισθητήρες μετρούν απευθείας την ταχύτητα ή την επιτάχυνση (επιταχυνσιόμετρα), απ' όπου είναι δυνατός ο υπολογισμός της μετατόπισης.

Για τις ανάγκες τις παρούσας έκθεσης οι αισθητήρες έχουν χωριστεί σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Τους αισθητήρες κίνησης που αφορούν σε συσκευές μέτρησης κίνησης και επιτάχυνσης και
- Τους αισθητήρες μετατόπισης που αφορούν στους αισθητήρες που σχετίζονται με αλλαγή θέσης, είτε πρόκειται για μετακίνηση (ευθύγραμμη ή γωνιακή) είτε για προσέγγιση.

3. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

3.1 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ

3.1.1 Γενικά

Η χρήση των αισθητήρων κίνησης κάνει την εμφάνισή της για πρώτη φορά στα μέσα της δεκαετίας του 1970. Συγκεκριμένα, αισθητήρες κίνησης εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου (AC magnetic trackers) χρησιμοποιούνται από την αμερικάνικη πολεμική αεροπορία σε εξομοιωτές πτήσεων με σκοπό την εκπαίδευση των πιλότων. Η ιδέα αυτή βασιζόταν στην τοποθέτηση ενός αισθητήρα στο κράνος του πιλότου. Κουνώντας το κεφάλι του, ο τελευταίος καθόριζε τη γωνία κίνησης του αεροσκάφους στο τρισδιάστατο περιβάλλον της οθόνης εξομοίωσης. Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 κάνουν την εμφάνιση τους οι αισθητήρες κίνησης συνεχούς μαγνητικού πεδίου (DC magnetic trackers), προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, που ήταν ιδιαίτερα έντονα στους AC magnetic trackers.

Οι ανιχνευτές κίνησης αποτελούνται από ένα σύνολο εξαρτημάτων, η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα τη συνεχή αποστολή των δεδομένων, δηλαδή των συντεταγμένων και των γωνιών της κίνησης ενός αντικειμένου στο τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, οι ανιχνευτές κίνησης διακρίνονται σε μηχανικούς, ηλεκτρομαγνητικούς συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, ακουστικούς και οπτικούς. Πιο ευρέως χρησιμοποιούνται οι ηλεκτρομαγνητικοί ανιχνευτές.

Ένας **ηλεκτρομαγνητικός ανιχνευτής** κίνησης περιλαμβάνει:

- τον πομπό
- το ηλεκτρονικό κύκλωμα λειτουργίας του πομπού
- το ηλεκτρονικό κύκλωμα ψηφιακής επεξεργασίας σήματος
- τους αισθητήρες κίνησης και
- τον υπολογιστή ελέγχου.

Το κύκλωμα λειτουργίας του πομπού παρέχει σε καθεμία από τις 3 κατά άξονα διατεταγμένες κεραίες, από τις οποίες αποτελείται ο πομπός, μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος, συνεχούς ή εναλλασσόμενου. Η ποσότητα αυτή ελέγχεται από έναν υπολογιστή ελέγχου. Η ύπαρξη του τελευταίου αποσκοπεί στο να αποτρέπει ισχυρά ρεύματα από το κύκλωμα προς την κεραία ή να ενισχύει αδύναμα. Το ρεύμα αυτό μετατρέπεται από τις κεραίες σε μαγνητικό πεδίο, συνεχές ή εναλλασσόμενο αντίστοιχα, και γίνεται αντιληπτό από ευαίσθητες μικροσκοπικές κεραίες, που βρίσκονται μέσα στους αισθητήρες. Τα μικροκύκλωμα των αισθητήρων “μεταφράζει” τα πεδία αυτά σε συντεταγμένες θέσης και γωνίες, οι οποίες με τη σειρά τους στέλνονται με τη μορφή αναλογικών σημάτων στο ηλεκτρονικό κύκλωμα ψηφιακής επεξεργασίας. Εκεί μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή και αποστέλλονται στον υπολογιστή ελέγχου, ο οποίος πραγματοποιεί βάσει αλγορίθμου τον τελικό έλεγχο συγχρονισμού των σημάτων που αποστέλλονται από τον ανιχνευτή και αυτών που παράγονται από τον πομπό. Τέλος, τα σήματα αποστέλλονται σε ψηφιακή μορφή στον

ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπου πραγματοποιείται η εφαρμογή. Στο διάγραμμα 1, που ακολουθεί, δίνεται σχηματικά ο τρόπος λειτουργίας που μόλις περιγράφηκε.

Οι ηλεκτρομαγνητικοί ανιχνευτές κίνησης εναλλασσόμενου ρεύματος παρουσιάζουν μεγάλα ποσοστά σφάλματος σε περιβάλλοντα με έντονη την παρουσία μεταλλικών αντικειμένων. Το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από τα συστήματα αυτά δημιουργεί εναλλασσόμενα μαγνητικά πεδία, που δέχονται τις παρεμβολές των κοντινών φερομαγνητικών υλικών. Η συμπεριφορά των αντίστοιχων ανιχνευτών συνεχούς ρεύματος είναι πολύ καλύτερη όσον αφορά το πρόβλημα των παρεμβολών, και στις δύο όμως περιπτώσεις παρατηρείται θόρυβος λόγω της ισχύος που απαιτείται για την λειτουργία του πομπού. Ο περιβαλλοντικός αυτός θόρυβος ελαττώνεται με την τοποθέτηση ειδικών φίλτρων, τα οποία όμως ταυτόχρονα μειώνουν και την ταχύτητα αποστολής δεδομένων. Μια καλή τιμή για τη συχνότητα αποστολής δεδομένων από έναν ηλεκτρομαγνητικό ανιχνευτή κίνησης είναι ένα πακέτο κάθε 5-10ms.

Οι **μηχανικοί ανιχνευτές** κίνησης υπολογίζουν αλλαγές στη θέση και στον προσανατολισμό κινούμενων αντικειμένων μέσω επαφών συνδεδεμένων με κάποιο σημείο αναφοράς, το οποίο βρίσκεται είτε πάνω στο ίδιο το αντικείμενο, είτε σε κάποια επιφάνεια κοντά στο αντικείμενο. Οι ανιχνευτές αυτοί δεν παρουσιάζουν ευαισθησία σε εξωτερικούς παράγοντες, όπως συμβαίνει με τους ηλεκτρομαγνητικούς, με αποτέλεσμα να είναι ιδιαίτερα ακριβείς. Ο ρυθμός ανανέωσης δεδομένων είναι της τάξης των 300 πακέτων/sec. Λόγω του μικρού μεγέθους του μήκους των συνδέσεων έχουν πολύ μικρή εμβέλεια χρήσης, ενώ παρουσιάζουν σοβαρή δυσκολία στη ρύθμισή τους (tracker calibration).

Οι **ακουστικοί ανιχνευτές** αυτοί χρησιμοποιούν την τεχνική της μέτρησης της διαφοράς φάσης μεταξύ ηχητικών σημάτων που στέλνει ένας πομπός στο αντικείμενο-στόχο και σε ένα σημείο αναφοράς, προκειμένου να υπολογίσουν θέσεις και γωνίες κίνησης. Υποφέρουν πάντως από προβλήματα ακρίβειας μετρήσεων, τα οποία προκύπτουν όταν τα αντικείμενα-στόχοι σκιάζονται από άλλες επιφάνειες ή κινούνται με ταχύτητα μεγαλύτερη απ' αυτή που αντιστοιχεί σε μισό μήκος κύματος για την κίνηση του φωτός. Οι μετρήσεις επηρεάζονται ακόμη από αλλαγές στη θερμοκρασία, την πίεση και την υγρασία.

Οι **οπτικοί ανιχνευτές** κίνησης βασίζονται στην εκπομπή ακτινών υπέρυθρου φωτός από διόδους, ενώ οι ακτίνες λαμβάνονται από μικροσκοπικές κάμερες ή από πλευρικής επίδρασης φωτοδιόδους (PSD). Το κινούμενο αντικείμενο σαρώνεται από μια ακτίνα φωτός, η τομή της οποίας με μια ακτίνα αναφοράς δίνει πακέτα συντεταγμένων στο χώρο. Ο υπολογισμός της θέσης του κινούμενου αντικείμενου από γίνεται με τη μέθοδο της τριγωνιοποίησης αυτών των συντεταγμένων από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Αυτός ο τύπος ανιχνευτών δεν επηρεάζεται από την παρουσία μεταλλικών αντικειμένων, έχει υψηλό ρυθμό ανανέωσης δεδομένων. Οι διόδοι εκπομπής πρέπει πάντως να βρίσκονται μέσα στο οπτικό πεδίο της κάμερας, ενώ αρνητικά στην ακρίβεια των μετρήσεων επιδρά η παρουσία άλλων πηγών υψηλής έντασης φωτός στο χώρο που πραγματοποιούνται οι μετρήσεις.

3.1.2 Είδη Ανιχνευτών Κίνησης

Οι ανιχνευτές κίνησης έχουν σκοπό τη μέτρηση δύο βασικών μεγεθών:

- Τη μέτρηση της ταχύτητας και
- Τη μέτρηση της επιτάχυνσης

Στη συνέχεια περιγράφονται με λεπτομέρεια οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση των ως άνω δύο μεγεθών.

3.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Οι πιο βασικοί μέθοδοι μέτρησης ταχύτητας είναι:

- Διαφόριση της μετατόπισης ως προς τον χρόνο
- Υπολογισμός μέσης ταχύτητας σαν λόγο της μετατόπισης με τον χρόνο
- Στροβοσκοπική μέθοδος
- Χρήση μετατροπέων ταχύτητας
- Ταχογεννήτριες

Οι εν λόγω μέθοδοι περιγράφονται αναλυτικά ακολούθως.

3.2.1 Διαφοροποίηση της μετατόπισης ως προς το χρόνο

Η διαφορίαση μπορεί να γίνει αριθμητικά ή ηλεκτρικά. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι αυξάνει το θόρυβο του σήματος. Κατά συνέπεια για να εφαρμοστεί αυτή η τεχνική απαιτείται ένα σήμα μετατόπισης σχετικά ελεύθερο από θορύβους. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα φίλτρα για περιορισμό του θορύβου.

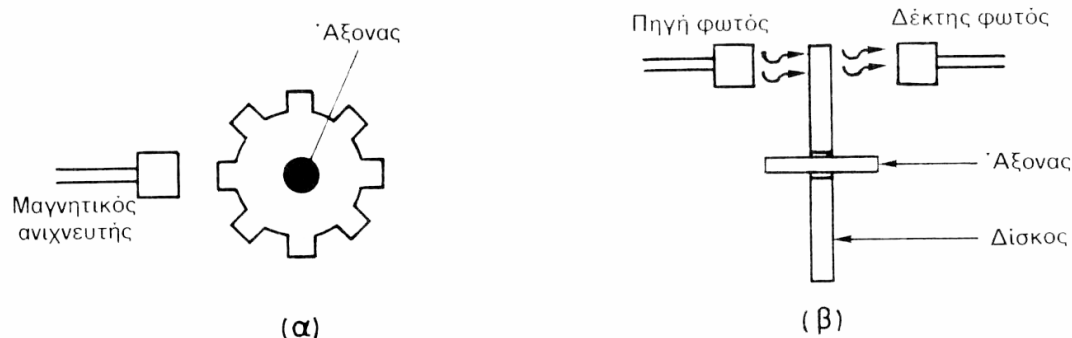
3.2.2 Υπολογισμός μέσης ταχύτητας

Ο υπολογισμός της μέσης ταχύτητας αφορά στον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας σαν λόγο της μετατόπισης προς το χρόνο.

Η μέτρηση πραγματοποιείται με την ανίχνευση της μετατόπισης ενός αντικειμένου μέσα σ' ένα χρονικό διάστημα. Η ανίχνευση αυτή μπορεί να γίνει οπτικά ή με ανιχνευτή αντικειμένου. Οπτικά η ανίχνευση γίνεται με τη διακοπή ή την ανάκλαση μιας φωτεινής δέσμης επάνω στο αντικείμενο.

Οι ανιχνευτές-αισθητήρες αντικειμένου λειτουργούν ανιχνεύοντας τη μεταβολή που δημιουργείται σε κάποιο μέγεθος όταν ένα αντικείμενο βρεθεί μέσα στην ενεργό περιοχή του ανιχνευτή. Σ' αυτή τη μέθοδο υπάγονται και οι κάθε μορφής μηχανικοί καταμετρητές οι

οποίοι χρησιμοποιούνται για την μέτρηση ταχύτητας περιστροφής κάποιου άξονα. Η συγκεκριμένη τεχνική βασίζεται στη καταμέτρηση οπτικών ή μαγνητικών παλμών.



Σχήμα 3-1: Καταμέτρηση μαγνητικών (α) και οπτικών (β) παλμών

Για την καταμέτρηση των μαγνητικών ή οπτικών παλμών χρησιμοποιείται κατάλληλος δίσκος με δόντια ή με ανακλώμενη επιφάνεια αντίστοιχα, ο οποίος προσαρμόζεται στον περιστρεφόμενο άξονα.

Καθώς ο δίσκος περιστρέφεται μέσα σε ένα χρονικό διάστημα Δt , παράγονται Nt παλμοί κάθε φορά που τα Nt δόντια ή η ανακλώμενη επιφάνεια περνάνε μπροστά από τον ανιχνευτή. Αν N ο αριθμός των δοντιών ή των ανακλώμενων επιφανειών τότε η γωνιακή ταχύτητα του άξονα είναι:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot Nt \text{ rad}}{\Delta t \cdot N \text{ sec}} \quad \text{ή} \quad \frac{Nt \text{ περ.}}{\Delta t \cdot N \text{ sec}}$$

Η απαρίθμηση μαγνητικών ή οπτικών παλμών είναι μια απλή μέθοδος, η οποία μπορεί να δώσει αποτελέσματα με ακρίβεια αν η ταχύτητα είναι σταθερή και ο αριθμός των παλμών που μετριοούνται μέσα σε χρόνο Δt είναι μεγάλος.

3.2.3 Στροβοσκοπική μέθοδος

Η στροβοσκοπική μέθοδος χρησιμοποιείται ευρύτατα στην Κινηματική για την πειραματική μελέτη φαινομένων, τη μέτρηση ή υπολογισμό διαφόρων μεγεθών (θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση) και την τελική εξαγωγή των φυσικών νόμων.

Μια προσπάθεια γεφύρωσης του χάσματος μεταξύ διαισθητικής γνώσης που απορρέει από την παρακολούθηση μιας κίνησης και την επιστημονική σχηματοποίηση για τη μελέτη της, οδήγησε στην επινόηση της στροβοσκοπικής αναπαράστασης μιας κίνησης.

Αν διαθέτουμε τη στροβοσκοπική αναπαράσταση μιας κίνησης στην οθόνη ταυτόχρονα με την προσομοίωσή της, τότε, μπορούμε να περιγράψουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια την κίνηση.

Βασικό στοιχείο αυτής της αναπαράστασης είναι ότι τα ίχνη που αφήνει ένα σημείο του αντικειμένου κατά την κίνησή του στην οθόνη σε ίσα χρονικά διαστήματα, αποτυπώνουν στην οθόνη το ιστορικό της κίνησης του (Η έννοια «**ιστορικό της κίνησης**» προτάθηκε για πρώτη φορά από τη Barbara White [1984] με την παρουσίαση του λογισμικού ThinkerTools).

Η στροβοσκοπική αναπαράσταση μιας κίνησης αποδεικνύεται πλουσιότερη από την απλή προσομοίωση εφόσον μας επιτρέπει καλύτερη και ακριβέστερη περιγραφή μιας κίνησης και επιπλέον βοηθάει στο να ορίσουμε τη δύσκολη έννοια / μέγεθος στιγμιαία ταχύτητα.

Έστω ένας άξονας που περιστρέφεται με ταχύτητα “ n περ./sec” και μία λάμπα που φωτίζει τον άξονα αναβοσβήνει με συχνότητα “ f ”. Αν υπάρχει κάποιο σημάδι επάνω στον άξονα, τότε αυτό θα φαίνεται ακίνητο σε περίπτωση που η συχνότητα περιστροφής είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της συχνότητας “ f ”.

Η μέτρηση γίνεται μεταβάλλοντας τη συχνότητα “ f ” έως ότου κάποιο σημάδι του άξονα που ορίζεται για αυτό το σκοπό φανεί ακίνητο.

3.2.4 Χρήση μετατροπών ταχύτητας

Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι μετατροπείς ηλεκτρομηχανικού τύπου δηλαδή κινητού πηνίου ή μαγνήτη. Βασίζονται στην επαγωγική τάση που εμφανίζεται στο πηνίο όταν υπάρχει σχετική κίνηση του ως προς τον πυρήνα, ο οποίος είναι ένας μόνιμος μαγνήτης. Η τάση αυτή “ V ” κατά μέτρο δίνεται από την σχέση:

$$V = B \times l \times u$$

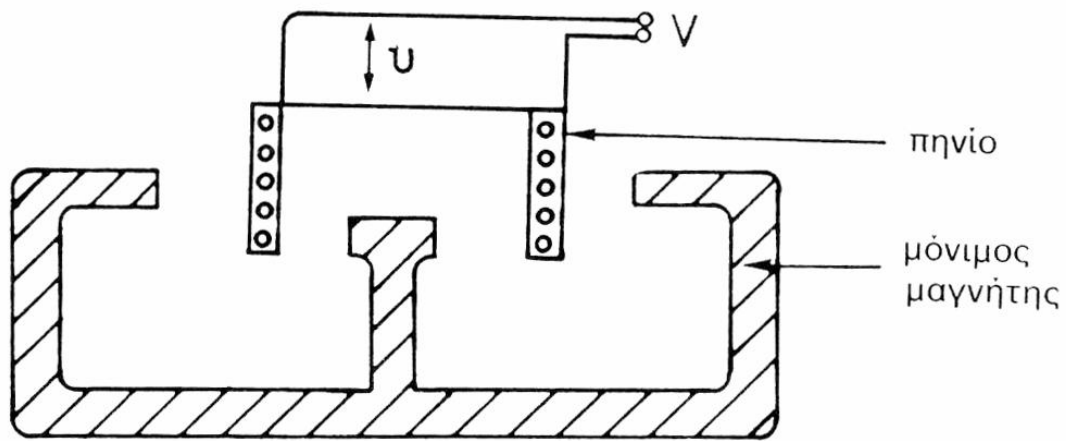
Όπου,

B : η μαγνητική επαγωγή

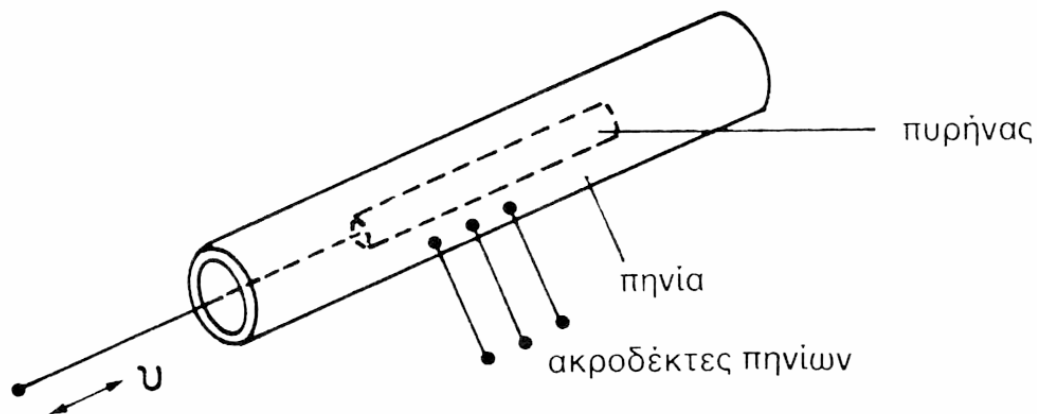
l : το μήκος του πηνείου

u : η σχετική ταχύτητα μεταξύ πηνείου και μαγνήτη

Επειδή η μαγνητική επαγωγή και το μήκος είναι σταθερές ποσότητες, η επαγόμενη τάση είναι ανάλογη μόνο της ταχύτητας.



Σχήμα 3-2: Μετατροπέας ταχύτητας κινητού πηνείου



Σχήμα 3-3: Μετατροπέας ταχύτητας κινητού μαγνήτη

3.2.5 Ταχογεννήτριες

Ταχόμετρο ονομάζεται κάθε συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της περιστροφής ενός άξονα. Γεννήτρια ονομάζεται κάθε συσκευή που μετατρέπει μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική

Οι ταχογεννήτριες ή αλλιώς ταχομετρικές γεννήτριες είναι συσκευές οι οποίες όταν οδηγούνται από μία περιστροφική μηχανική δύναμη παράγουν ηλεκτρική έξοδο ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής.

Οι ταχογεννήτριες διακρίνονται σε εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος. Παράγουν μία τάση ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής του άξονα τους.

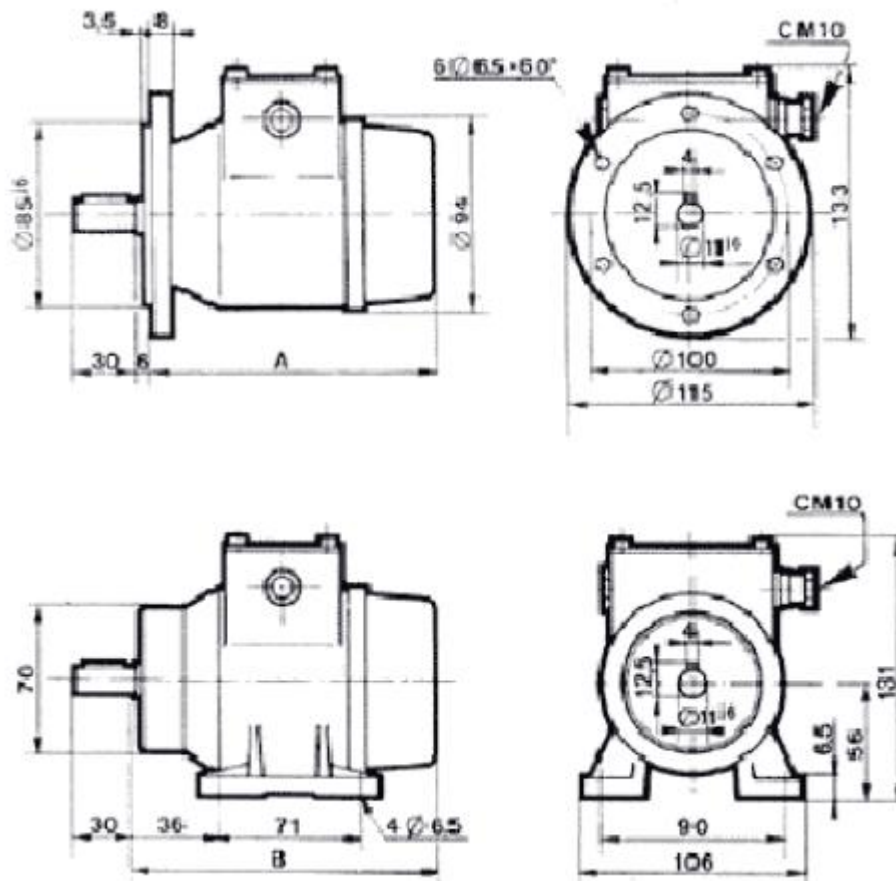
Οι ταχογεννήτριες συνεχούς ρεύματος παρέχουν τάση εξόδου συνεχούς ρεύματος ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής του άξονα. Χρησιμοποιούν συνήθως μόνιμο μαγνήτη αντί για πηνίο διέγερσης για να έχουν καλή ακρίβεια και ευαισθησία. Η τάση εξόδου αλλάζει

πολικότητα όταν η φορά περιστροφής αντιστραφεί. Η ροπή που απαιτείται για την κίνηση των ταχογεννητριών πρέπει να είναι πολύ πιο μικρή από την ροπή του μετρούμενου άξονα γιατί διαφορετικά η ταχογεννήτρια φορτίζει τον υπό μέτρηση άξονα.

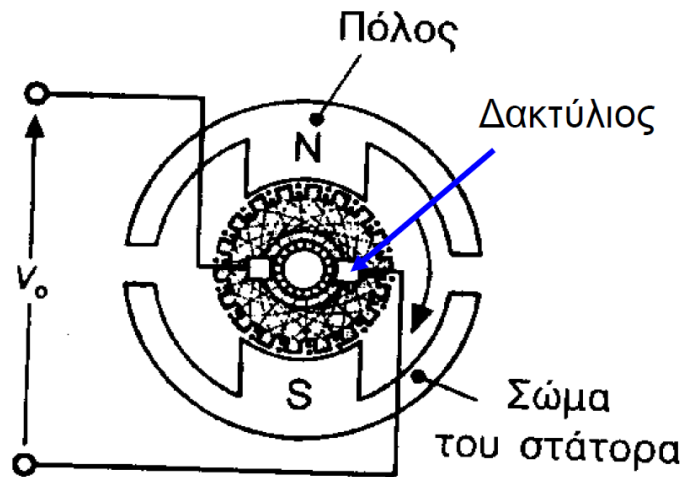
Οι ταχογεννήτριες συνεχούς ρεύματος αποτελούνται από:

- Το στάτη ο οποίος στην εσωτερική του περιφέρεια φέρει μόνιμους μαγνήτες
- Το ρότορα, στην περιφέρεια του οποίου είναι τοποθετημένη μονοφασική περιέλιξη

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται μια απλή ταχογεννήτρια DC-TG.



Σχήμα 3-4: Σχηματική αναπαράσταση απλής ταχογεννήτριας DC-TG



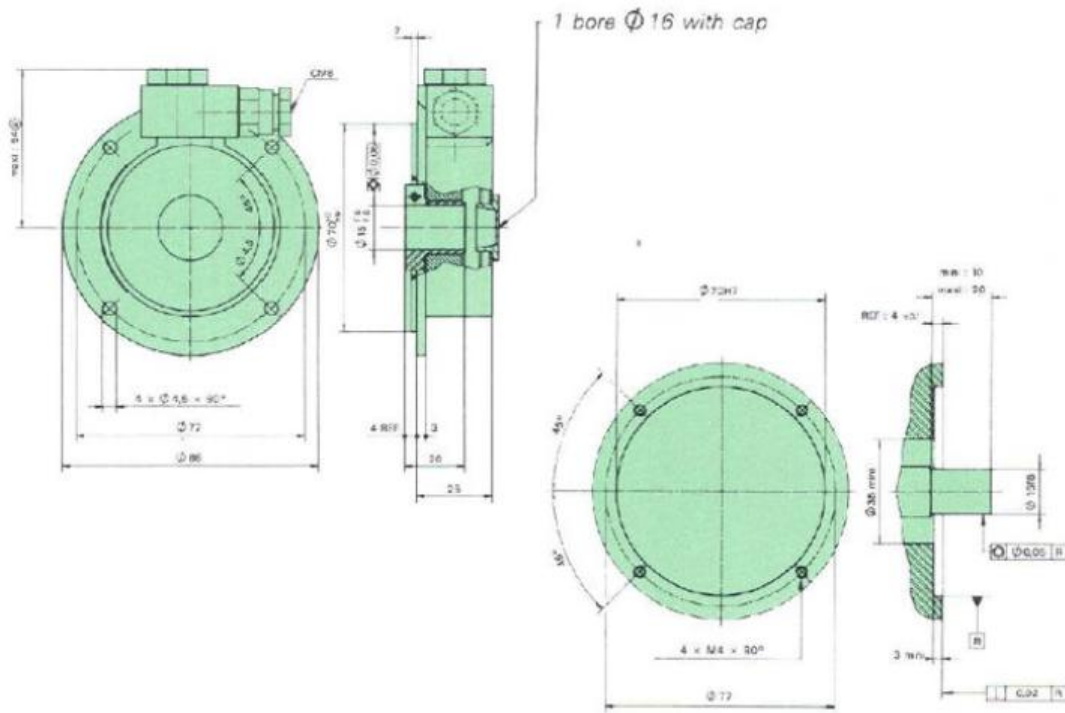
Σχήμα 3-5: Ταχογεννήτρια συνεχούς ρεύματος

Οι ταχογεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος είναι κινητήρες κλωβού δύο τυλιγμάτων. Το ένα τύλιγμα τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα. Λόγω της περιστροφής επάγεται στο άλλο τύλιγμα μια εναλλασσόμενη τάση με πλάτος ανάλογο της ταχύτητας περιστροφής. Η συχνότητα είναι ίση με την συχνότητα της τάσης τροφοδοσίας και η φάση της ως προς την τάση τροφοδοσίας είναι 0° ή 180° ανάλογα με την φορά περιστροφής.

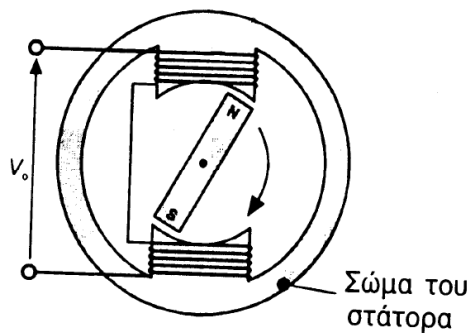
Οι ταχογεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος είναι απλούστερες στην κατασκευή τους διότι δεν απαιτούνται συλλέκτης και ψύκτρες και αποτελούνται από ένα μόνιμο περιστρεφόμενο μαγνήτη (ρότορα) που περιστρέφεται στο εσωτερικό ενός ακίνητου πηνίου (στάτορας).

Ο ρότορας συνδέεται με τον άξονα, του οποίου την ταχύτητα περιστροφής επιθυμούμε να μετρήσουμε

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται μία τριφασική ταχογεννήτρια AC.



Σχήμα 3-6: Σχηματική αναπαράσταση τριφασικής ταχογεννήτριας AC



Σχήμα 3-7: Ταχογεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος

Εφόσον η ταχύτητα αποτελεί το ρυθμό μεταβολής της μετατόπισης, εάν μετρείται η μετατόπιση δύναται να προκύψει η ταχύτητα με ολοκλήρωση, χρησιμοποιώντας το κύκλωμα ολοκληρωτή που παρουσιάζεται ακολούθως.

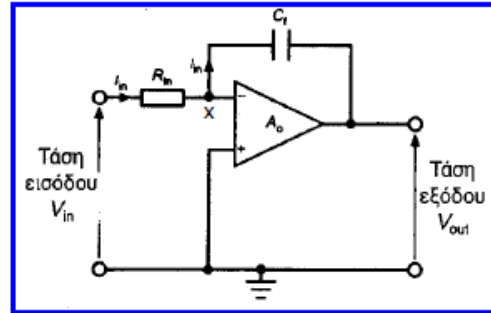
Στην είσοδο του ΙΤΕ το ρεύμα είναι μηδενικό:

$$I_{in} = I_{C_f} \Rightarrow$$

$$\frac{V_{in} - V_x}{R_{in}} = C_f \frac{dV_{C_f}}{dt} \Rightarrow$$

$$\frac{V_{in} - V_x}{R_{in}} = C_f \frac{d(V_x - V_{out})}{dt} \Rightarrow$$

$$\frac{V_{in}}{R_{in}} = -C_f \frac{dV_{out}}{dt} \Rightarrow V_{out} = -\frac{1}{R_{in} C_f} \int V_{in} dt$$



Το κύκλωμα εκτελεί την πράξη της ολοκλήρωσης της τάσης εισόδου.

Εάν στον ενισχυτή ολοκλήρωσης τεθεί σταθερή τάση εισόδου (V_{in}), τότε:

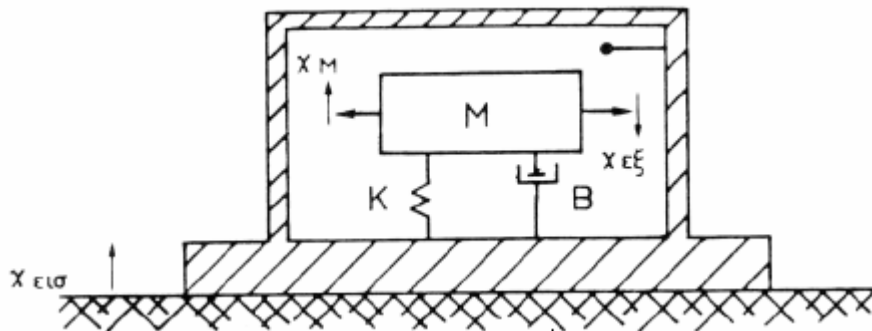
$$V_{out} = -\frac{V_{in} \cdot t}{R_{in} \cdot C_f} = -\frac{I_{in} \cdot t}{C_f}$$

Επομένως, μία σταθερή τάση στην είσοδο παράγει μία τάση που μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο (με σταθερή κλίση), σαν την τάση που χρησιμοποιούν παλμογράφοι και σχεδιογράφοι ΧΥ για να απεικονίζουν σήματα ως προς το χρόνο.

Σχήμα 3-8: Κύκλωμα ολοκλήρωσης ή ολοκληρωτής

3.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ

Οι μετατροπείς-αισθητήρες που μετρούν επιτάχυνση καλούνται επιταχυνσιόμετρα. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο βασικό τύπος επιταχυνσιόμετρου.



Σχήμα 3-9: Βασικός τύπος επιταχυνσιόμετρου

Ένας βασικός μετατροπέας αποτελείται από ένα περίβλημα το οποίο πακτώνεται στην επιφάνεια την επιτάχυνση της οποίας θέλουμε να μετρήσουμε. Μέσα στο περίβλημα υπάρχει ένα σώμα με μάζα M το οποίο στηρίζεται στο περίβλημα μέσω ενός ελατηρίου με σταθερά K και ενός αποσβεστήρα με σταθερά B . Ο αποσβεστήρας είναι ένα σύστημα που η δύναμη αντίδρασης του είναι ανάλογη της ταχύτητας μετατόπισης. Με $x_{ελσ}$ συμβολίζεται η μετατόπιση του περιβλήματος, με $x_{εξ}$ η μετατόπιση του σώματος μάζας M ως προς το περίβλημα και με x_M η μετατόπιση του σώματος μάζας M ως προς το σύστημα μεταφοράς.

Το Επιταχυνσιόμετρο είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που έχει την ικανότητα να μετρά δυνάμεις επιτάχυνσης. Αυτές οι δυνάμεις μπορεί να είναι στατικές, όπως είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, η δυναμικές όταν προκαλούνται – προέρχονται από αλλαγές στην ταχύτητα ή στην διεύθυνση της κίνησης (επιταχύνσεις, επιβραδύνσεις, στροφές).

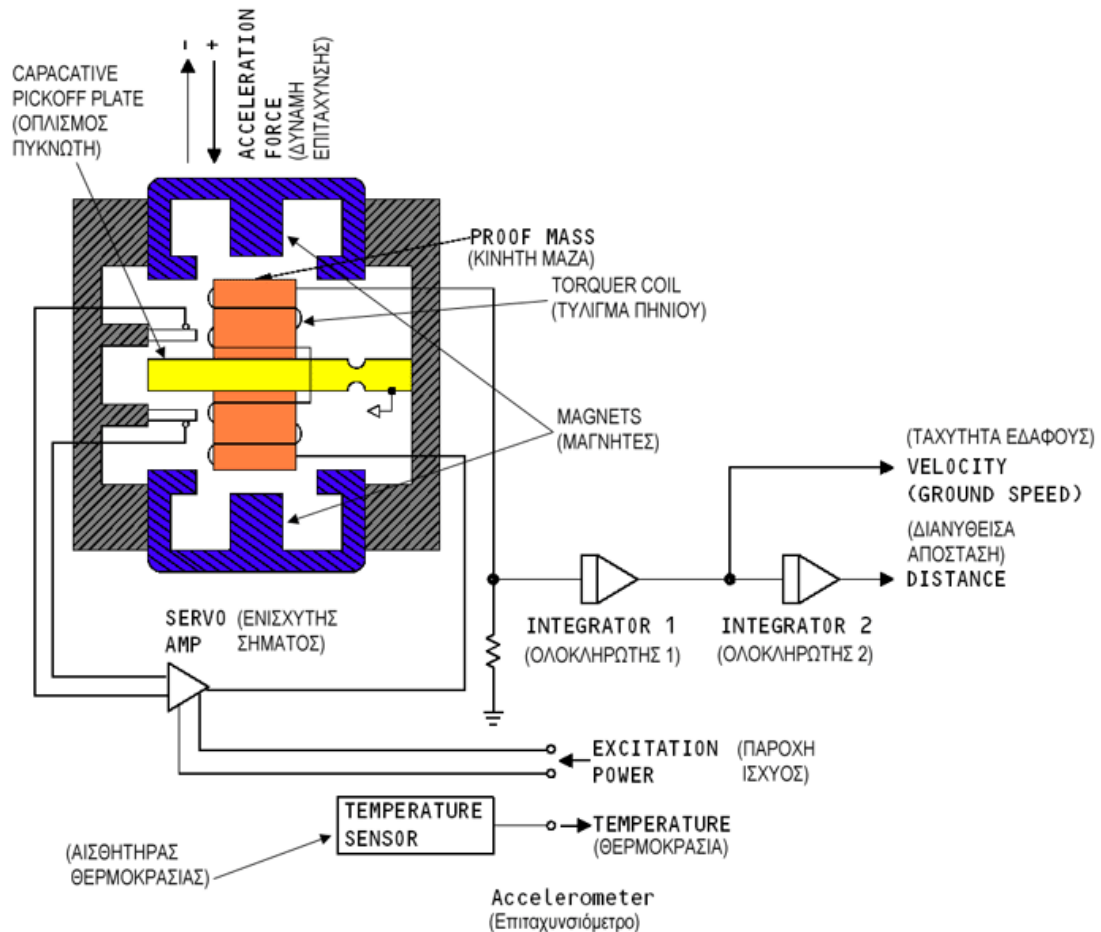
Χρησιμοποιείται κυρίως σε Αδρανειακά συστήματα πλοήγησης, που συνήθως αποκαλούνται Inertial Navigation System (INS), ή Inertial Reference System (IRS), ή Inertial Reference Unit (IRU), ή Air Data Inertial Reference Unit (ADIRU), τα οποία συστήματα συνδυάζοντας την χρήση Επιταχυνσιόμετρων Γυροσκοπίων και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, μπορούν να υπολογίζουν την θέση ενός οχήματος στον χώρο καθώς και την στάση και ταχύτητα αυτού με πολύ μεγάλη ακρίβεια, παράμετροι που είναι απολύτως απαραίτητοι για την λειτουργία του αυτόματου πιλότου και την ναυσιπλοΐα αεροπλάνων πλοίων και υποβρυχίων. Το επιταχυνσιόμετρο χρησιμοποιείται επίσης για την μέτρηση και καταγραφή των επιταχύνσεων στους τρεις άξονες των αεροσκαφών από τον καταγραφέα των στοιχείων της πτήσης, χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση του αερόσακου στα αυτοκίνητα, και σε οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή απαιτείται η μέτρηση της επιτάχυνσης.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να υλοποιηθεί ένα επιταχυνσιόμετρο. Ένας τρόπος είναι η αξιοποίηση του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου. Αυτά χρησιμοποιούν πιεζοκρύσταλο ο οποίος πιέζεται από μάζα ανάλογη της επιτάχυνσης που δέχεται αυτή και παράγει τάση λόγω πιεζοηλεκτρικού φαινομένου ανάλογη της επιτάχυνσης.

Ένας άλλος τρόπος είναι η μέτρηση αλλαγών στην χωρητικότητα ενός πυκνωτή. Ο πυκνωτής αποτελεί μέρος της ανάρτησης μάζας και η τιμή του μεταβάλλεται με την κίνηση αυτής της μάζας. Η αξιοποίηση της μεταβολής της χωρητικότητας του πυκνωτή μας παρέχει μέτρηση επιτάχυνσης.

Υπάρχουν και άλλοι τρόποι όπως η χρήση της αλλαγής της αντίστασης κάποιου υλικού ανάλογη της πίεσης που δέχεται, η χρήση φυσαλίδας ζεστού αέρα, και η χρήση των ιδιοτήτων του φωτός.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα επιταχυνσιόμετρο που λειτουργεί κάνοντας χρήση της διάταξης πυκνωτή και μάζας αδράνειας, και είναι μέρος του συστήματος αδρανειακής πλοήγησης ή αδρανειακού συστήματος αναφοράς (IRS) επιβατικών αεροσκαφών.



Σχήμα 3-10: Επιταχυνσιόμετρο διάταξης πυκνωτή και μάζας αδράνειας.

Τα επιταχυνσιόμετρα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- επιταχυνσιόμετρα ανοικτού βρόγχου και
- επιταχυνσιόμετρα κλειστού βρόγχου

Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι επιμέρους τύποι των ως άνω δύο βασικών κατηγοριών.

3.3.1 Επιταχυνσιόμετρα ανοικτού βρόγχου

Η έξοδος των συστημάτων που περιγράφηκαν προηγουμένα είναι μία μετατόπιση. Για να υπάρξει ηλεκτρική έξοδος χρησιμοποιείται ένας μετατροπέας θέσης, ο οποίος δίνει τάση εξόδου ανάλογη της μετατόπισης. Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του μετατροπέα θέσης, του ελατηρίου και του αποσβεστήρα, τα επιταχυνσιόμετρα ανοικτού βρόγχου διακρίνονται σε:

- Επιταχυνσιόμετρα με ποτενσιόμετρο.

- Επιταχυνσιόμετρα με μετατροπέα πιεζοαντίστασης (ελεύθερη ή προσκολλημένη).
- Επιταχυνσιόμετρα με γραμμικό μεταβλητό διαφορικό μετασχηματιστή (ΓΜΔΜ).
- Ημιαγωγικά επιταχυνσιόμετρα.
- Πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα.

Στα **επιταχυνσιόμετρα με ποτενσιόμετρο** χρησιμοποιείται ένα ποτενσιόμετρο για τη μέτρηση της μετατόπισης της θέσης της μάζας ως προς το περίβλημα. Η αντίσταση στηρίζεται στο περίβλημα ενώ η κινητή επαφή παρασύρεται από την κίνηση της μάζας. Μετρούν επιταχύνσεις μέχρι μερικές δεκάδες g για συχνότητα μερικές δεκάδες Hz, έχουν ευαισθησία κάθετης διεύθυνσης περίπου $\pm 1\%$ και ακρίβεια γύρω στο 1% πλήρους απόκλισης για θερμοκρασία γύρω στους 20° C.

Στα **επιταχυνσιόμετρα με μετατροπέα πιεζοαντίστασης**, η πιεζοαντίσταση παίζει το ρόλο του ελατηρίου. Μετρούν επιταχύνσεις μέχρι μερικές εκατοντάδες g για συχνότητα εκατοντάδων Hz, έχουν ευαισθησία κάθετης διεύθυνσης περίπου $\pm 2\%$ και ακρίβεια γύρω στο 1% πλήρους απόκλισης για θερμοκρασία γύρω στους 20° C.

Τα **επιταχυνσιόμετρα με ΓΜΔΜ** χρησιμοποιούν γραμμικό μεταβλητό διαφορικό μετασχηματιστή (ΓΜΔΜ) για την μέτρηση της μετατόπισης, όπου τα πηνία συνδέονται με το περίβλημα και ο σπλισμός με τη μάζα. Μετρούν επιταχύνσεις μέχρι μερικές εκατοντάδες g για συχνότητα εκατοντάδων Hz, έχουν ακρίβεια γύρω στο 2% πλήρους απόκλισης και παρέχουν σχετικά υψηλή τάση εξόδου (έως και 1 V για συχνότητα 2 KHz).

Τα **ημιαγωγικά επιταχυνσιόμετρα** χρησιμοποιούν κάποιο ημιαγωγό για την μέτρηση της μετατόπισης ή της αδρανειακής δύναμης και μετρούν επιταχύνσεις μερικές εκατοντάδες g.

Τα **πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα** βασίζονται στη χρήση ενός πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου, πάνω στον οποίο τοποθετείται το σώμα μάζας M. Η κατασκευή γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο κρύσταλλος να βρίσκεται σε τάση ακόμη και για μηδενική επιτάχυνση. Με τον τρόπο αυτό δεν καταπονείται στον εφέλκυσμό.

Τα πλεονεκτήματα των πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων είναι:

- Μεγάλη τάση εξόδου
- Μεγάλη φυσική συχνότητα ω_n που τα καθιστά ιδανικά για μετρήσεις επιταχύνσεων που περιέχουν υψηλές αρμονικές.
- Υπάρχουν πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα με πολύ μικρό όγκο και βάρος.
- Η ευαισθησία τους φτάνει και μέχρι 100 mV / g.
- Η ευαισθησία κάθετης διεύθυνσης είναι περίπου 5 %
- Η μεταβολή της ευαισθησίας λόγω θερμοκρασίας είναι γύρω στα 10 % για ακραίες θερμοκρασίες λειτουργίας.
- Η περιοχή συχνοτήτων λειτουργίας μπορεί να φτάσει μερικές δεκάδες KHz.

- Η ακρίβεια τους είναι της τάξης του 1% της πλήρους κλίμακας.
- Οι μέγιστες ενδείξεις των πιεζοηλεκτρικών επιταχυνσιομέτρων είναι έως μερικές χιλιάδες g.

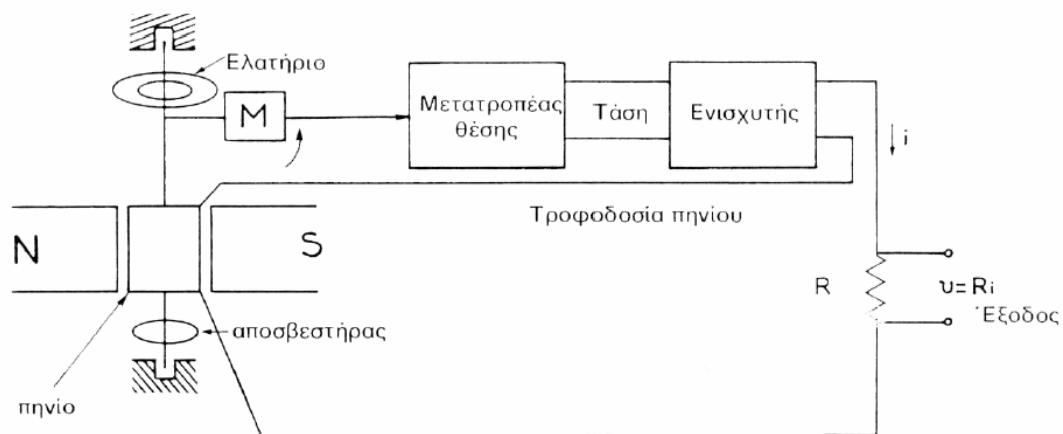
Το μειονέκτημα τους είναι η αδυναμία να μετρήσουν σταθερή επιτάχυνση.

Σημαντική παράμετρος επιλογής αποτελεί η ευαισθησία κάθετης διεύθυνσης που παρουσιάζει το επιταχυνσιόμετρο σε επιταχύνσεις κάθετες προς τη διεύθυνση λειτουργίας του.

3.3.2 Επιταχυνσιόμετρα κλειστού βρόγχου

Τα συγκεκριμένα επιταχυνσιόμετρα διαθέτουν μεγαλύτερη ακρίβεια από τα επιταχυνσιόμετρα ανοικτού βρόγχου. Δεν διαθέτουν ελατήριο ή άλλο ελαστικό υλικό, αλλά μόνο μια μάζα "Μ" πάνω στην οποία όταν εμφανιστεί επιτάχυνση γ , ασκείται μια αδρανειακή δύναμη $F = M \cdot \gamma$, η οποία τείνει να κινήσει την μάζα. Η μετακίνηση αυτή μετρίεται με κάποιο μετατροπέα θέσης και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα ανάλογου μεγέθους, το οποίο ενισχύεται και τροφοδοτεί ένα ηλεκτρομηχανικό μετατροπέα εξόδου. Η δύναμη που προκύπτει εφαρμόζεται στη μάζα και εξισορροπεί την αδρανειακή δύναμη. Το ρεύμα που τροφοδοτεί τον ηλεκτρομηχανικό μετατροπέα εξόδου έχει ένταση ανάλογη της επιτάχυνσης. Σημειώνεται ότι το ρόλο του ελατηρίου παίζει η μαγνητική ροπή. Αποτέλεσμα της μη ύπαρξης του ελατηρίου είναι η καλύτερη γραμμικότητα του συστήματος.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας ενός επιταχυνσιόμετρου κλειστού βρόγχου.



Σχήμα 3-11: Αρχή λειτουργίας επιταχυνσιόμετρου κλειστού βρόγχου

Τα επιταχυνσιόμετρα αυτά έχουν περιοχή συχνοτήτων λειτουργίας μέχρι 100 Hz και μετρούν επιταχύνσεις από μερικά g έως αρκετές δεκάδες g. Η τάση εξόδου για μέγιστη επιτάχυνση είναι γύρω στα $\pm 7.5V$. Η ευαισθησία που παρουσιάζουν στη κάθετη διεύθυνση

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ

είναι συνήθως 0.01-0.1% ενώ η ακρίβεια είναι καλύτερη από 0.1% της πλήρους κλίμακας. Η επίδραση της θερμοκρασίας στην ευαισθησία είναι μικρή (0.02% / °C). Σημαντικό στοιχείο είναι ότι το βάρος του είναι μερικές δεκάδες γραμμάρια.

4. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ-ΘΕΣΗΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην βιβλιογραφία οι αισθητήρες μετατόπισης δύνανται να αναφέρονται είτε ως αισθητήρες θέσης είτε ως αισθητήρες μετατόπισης ή μετακίνησης κλπ.

Μετατόπιση είναι το μέγεθος και η κατεύθυνση που αντιπροσωπεύει η αλλαγή θέσης ενός αντικειμένου ως προς ένα σημείο αναφοράς.

Γραμμική μετατόπιση είναι η μετατόπιση σε ευθεία γραμμή, δηλαδή σε συγκεκριμένη διεύθυνση, ενώ γωνιακή μετατόπιση είναι η γωνία κατά την οποία έχει περιστραφεί ένα σώμα γύρω από δεδομένο άξονα περιστροφής.

Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος προσδιορισμού της θέσης (κεφ 4.2) και στη συνέχεια αναφέρονται οι αισθητήρες μετακίνησης διαχωρισμένοι ανάλογα με τι φαινόμενο στο οποίο βασίζεται η λειτουργία τους (κεφ. 4-3 έως 4-9).

4.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ

Οι τρεις κυριότερες τεχνικές για τον προσδιορισμό θέσης ενός αντικειμένου είναι:

- Τριγωνομετρικός υπολογισμός (triangulation)
- Ανάλυση σκηνών (scene analysis)
- Εγγύτητα (proximity)

Τα συστήματα εντοπισμού θέσης μπορεί να υλοποιούν τις παραπάνω τεχνικές ξεχωριστά ή σε συνδυασμό.

Στη συνέχεια αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά της καθεμιάς από τις προαναφερόμενες τεχνικές.

4.2.1 Τριγωνομετρικός Υπολογισμός

Ο υπολογισμός της θέσης ενός αντικειμένου με τη μέθοδο του τριγωνομετρικού υπολογισμού γίνεται χρησιμοποιώντας τις γεωμετρικές ιδιότητες των τριγώνων.

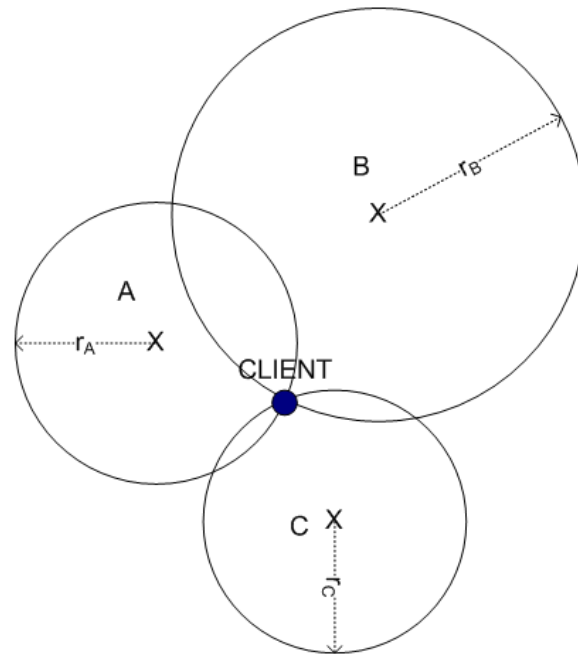
Ο τριγωνομετρικός υπολογισμός διακρίνεται σε δύο υποκατηγορίες:

- Μέτρηση αποστάσεων (Lateration)
- Μέτρηση των γωνιών (Angulation)

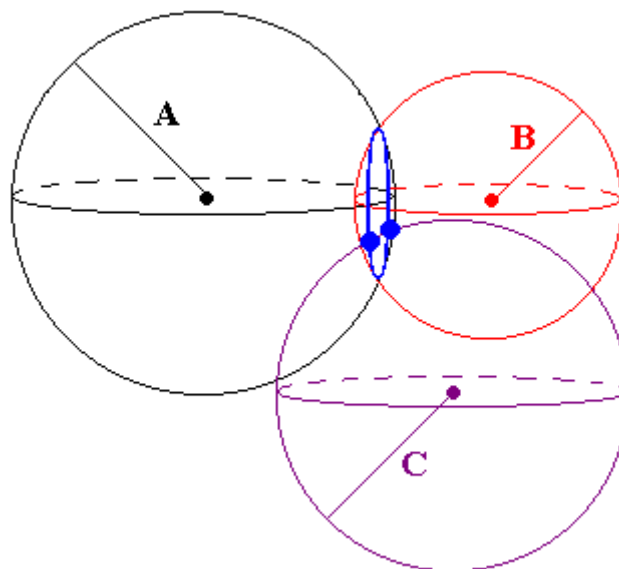
Στην μέθοδο Μέτρησης Αποστάσεων γίνονται μετρήσεις της απόστασης του αντικειμένου από σημεία αναφοράς με γνωστή θέση. Στον δισδιάστατο χώρο απαιτούνται τρία σημεία και στον τρισδιάστατο τουλάχιστον τέσσερα σημεία αναφοράς (βλ. ακόλουθα Σχήματα).

Η μέτρηση της απόστασης μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας διάφορες προσεγγίσεις, όπως χρόνος διάδοσης (time-of-flight) ραδιοκυμάτων ή υπερήχων, εξασθένηση σήματος (attenuation).

Τα συστήματα εντοπισμού GPS και Active Bat χρησιμοποιούν την εν λόγω μέθοδο.



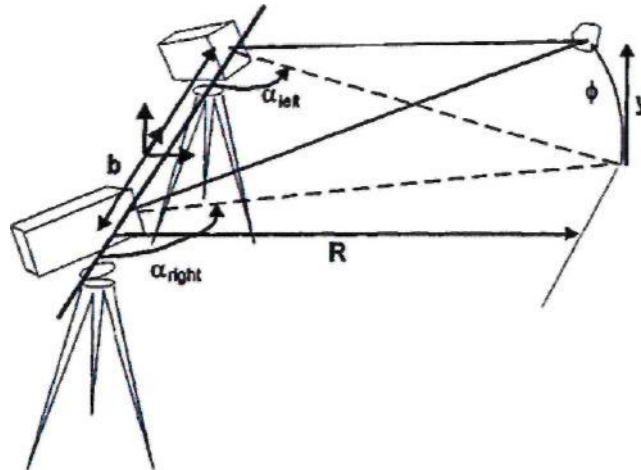
Σχήμα 4-1: Μέτρηση αποστάσεων σε δύο διαστάσεις



Σχήμα 4-2: Μέτρηση αποστάσεων σε τρεις διαστάσεις

Όσον αφορά στη μέθοδο μέτρησης γωνιών επισημαίνεται πως είναι παρόμοια με τη μέθοδο μέτρησης των αποστάσεων. Για τον προσδιορισμό της θέσης χρησιμοποιείται η απόσταση μεταξύ των σημείων αναφοράς, καθώς και οι γωνίες που σχηματίζονται μεταξύ των σημείων αναφοράς και του αντικειμένου.

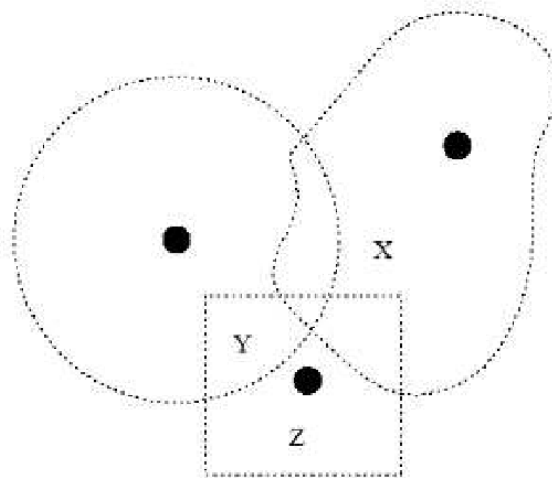
Για το διδιάστατο χώρο απαιτούνται δύο μετρήσεις γωνιών και μία μέτρηση απόστασης μεταξύ των δύο σημείων αναφοράς ενώ για το τρισδιάστατο χώρο απαιτούνται τρεις μετρήσεις γωνιών και οι τρεις αποστάσεις μεταξύ των σημείων αναφοράς (βλέπε ακόλουθο σχήμα).



Σχήμα 4-3: Υπολογισμός θέσης με μέτρηση γωνιών

4.2.2 Μέθοδος Εγγύτητας

Στη μέθοδο αυτή εκτιμάται η θέση ενός αντικειμένου όταν αυτό βρίσκεται σχετικά κοντά σε ένα γνωστό σημείο (βλ. ακόλουθο σχήμα). Ο υπολογισμός της απόστασης γίνεται με τη χρήση αισθητήρων αναγνώρισης φυσικής επαφής (αισθητήρες πίεσης, αφής), με χρήση σταθμών βάσης ή φάρων παρατήρησης (access points, beacons), ή με παρακολούθηση αυτόματων συστημάτων αναγνώρισης (σαρωτής πιστωτικών καρτών).



Σχήμα 4-4: Μέθοδος Εγγύτητας

4.2.3 Γνωρίσματα Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης

Φυσική και συμβολική θέση

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης μπορεί να παρέχει δύο ειδών πληροφορίας, φυσική και συμβολική. Π.χ. το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) παρέχει τη φυσική θέση ενός αντικειμένου (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και ύψος). Αντιθέτως η συμβολική θέση περιλαμβάνει αφηρημένες ιδέες για το πού μπορεί να βρίσκεται κάτι (σε ένα δωμάτιο, στο διάδρομο, κτλ.).

Ένα σύστημα που παρέχει φυσικές θέσεις συνήθως μπορεί να παρέχει και πληροφορία για τις αντίστοιχες συμβολικές θέσεις. Π.χ. ένας φορητός υπολογιστής εξοπλισμένος με έναν GPS δέκτη μπορεί να έχει πρόσβαση σε μία βάση δεδομένων όπου είναι αποθηκευμένες οι φυσικές θέσεις διαφόρων αντικειμένων και συνδυάζοντάς τις με τη δική του θέση έχει τη δυνατότητα να παρέχει συμβολική πληροφορία.

Η διαφοροποίηση μεταξύ της φυσικής και της συμβολικής θέσης είναι πιο έκδηλη με μερικές τεχνολογίες απ' ό,τι με άλλες. Το GPS είναι καθαρά μια τεχνολογία εντοπισμού φυσικής θέσης. Οι σαρωτές γραμμωκωδίκων (bar-code scanners) ή οι φάροι υπερύθρων (IR beacons) είναι τεχνολογίες που παρέχουν συμβολική πληροφορία βασιζόμενοι στην εγγύτητα με αντικείμενα με γνωστή εκ των προτέρων θέση. Παρόλα αυτά, ορισμένα συστήματα όπως το Cricket μπορούν να χρησιμοποιούν είτε τη μία είτε την άλλη τεχνολογία. Η ανάλυση και η ακρίβεια των συστημάτων εντοπισμού φυσικής θέσης μπορεί να επηρεάσει το αποτέλεσμα για την συμβολική θέση.

Απόλυτη και σχετική θέση

Ένα σύστημα εντοπισμού απόλυτης θέσης χρησιμοποιεί ένα και μοναδικό σημείο αναφοράς για όλα τα αντικείμενα. Π.χ. οι δέκτες GPS χρησιμοποιούν το γεωγραφικό μήκος, το γεωγραφικό πλάτος και το ύψος για να αναφέρουν τις θέσεις των αντικειμένων. Δύο δέκτες GPS που είναι τοποθετημένοι στην ίδια θέση θα επιστρέψουν τα ίδια αποτελέσματα. Αντιθέτως σε ένα σύστημα εντοπισμού σχετικής θέσης κάθε αντικείμενο μπορεί να έχει το δικό του σημείο αναφοράς.

Μία απόλυτη θέση μπορεί να μετατραπεί σε σχετική. Αντιθέτως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την τεχνική της τριγωνοποίησης για να καθορίσουμε μία απόλυτη θέση από δεδομένα πολλών σχετικών θέσεων. Η προϋπόθεση για να γίνει αυτό είναι να γνωρίζουμε την απόλυτη θέση των σημείων αναφοράς. Συνήθως αυτό είναι αρκετά δύσκολο καθώς τα σημεία αναφοράς είναι από μόνα τους κινητά. Έτσι η διαφοροποίηση μεταξύ της απόλυτης και της σχετικής θέσης υποδηλώνει κυρίως ποια είναι η διαθέσιμη πληροφορία και πώς το σύστημα τη χρησιμοποιεί.

Τοπικός υπολογισμός θέσης

Μερικά συστήματα παρέχουν τη δυνατότητα το αντικείμενο να μπορεί να υπολογίζει μόνο του τη θέση του. Αυτό το μοντέλο διασφαλίζει την ιδιωτικότητα (privacy) και την ασφάλεια (security) υποθέτοντας ότι καμία άλλη οντότητα δεν γνωρίζει τη θέση του αντικειμένου εκτός και αν το ίδιο τη δημοσιοποιήσει. Π.χ. οι δορυφόροι του συστήματος GPS δεν έχουν καμία γνώση για το ποιος χρησιμοποιεί τα σήματα που εκπέμπουν.

Αντιθέτως μερικά συστήματα απαιτούν από το αντικείμενο να εκπέμπει πληροφορία σε τακτά χρονικά διαστήματα επιτρέποντας κατ' αυτόν τον τρόπο να εντοπιστεί από την εξωτερική υποδομή του συστήματος. Το σύστημα μπορεί να εντοπίζει τα αντικείμενα χωρίς να τα εμπλέκει απευθείας στον υπολογισμό. Σε αυτήν την κατηγορία εμπίπτουν τα συστήματα με γραμμοκώδικες (bar codes) και οι αναγνώστες RFID ετικετών.

Εναποθέτοντας την ευθύνη για τον υπολογισμό της θέσης στην υποδομή, μειώνεται σημαντικά ο αντίστοιχος φόρτος στα κινητά αντικείμενα (laptops, PDAs, κ.α), κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας.

Ορθότητα (accuracy) και ακρίβεια (precision)

Ένα σύστημα εντοπισμού χαρακτηρίζεται από την ορθότητα (accuracy) και την ακρίβεια (precision) που μπορεί να προσφέρει. Θα πρέπει να αναφέρει τις θέσεις με ακρίβεια από μέτρηση σε μέτρηση. Ας αναφέρουμε ένα παράδειγμα για να γίνουν πιο κατανοητές αυτές οι δύο έννοιες. Με τη χρήση φτηνών δεκτών GPS μπορούμε να εντοπίζουμε θέσεις με ορθότητα μικρότερη των 10 μέτρων για το 95% των μετρήσεων.

Ακριβότεροι δέκτες έχουν καλύτερα αποτελέσματα φτάνοντας σε ορθότητα 1–3 μέτρων για το 99% των μετρήσεων. Οι αποστάσεις υποδηλώνουν την ορθότητα (accuracy) της πληροφορίας που το GPS μπορεί να προσφέρει. Τα ποσοστά υποδηλώνουν την ακρίβεια (precision) δηλαδή το πόσο συχνά (το ποσοστό του χρόνου) μπορούμε να αναμένουμε τη συγκεκριμένη ορθότητα. Προφανώς, αν δεχτούμε λιγότερη ορθότητα, μπορούμε να έχουμε περισσότερη ακρίβεια.

Κλίμακωση (Scaling)

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης μπορεί να έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει αντικείμενα σε όλο τον κόσμο, σε μία μεγάλη περιοχή, σε ένα κτίριο ή σε ένα δωμάτιο. Επιπλέον ο αριθμός των αντικειμένων που μπορεί να εντοπίσει χρησιμοποιώντας συγκεκριμένη υποδομή ή σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μπορεί να είναι περιορισμένος.

Για παράδειγμα το σύστημα GPS μπορεί να εξυπηρετήσει απεριόριστο αριθμό δεκτών χρησιμοποιώντας 24 κύριους δορυφόρους και 3 εφεδρικούς. Από την άλλη, μερικοί αναγνώστες RFID ετικετών δεν μπορούν να διαβάσουν περισσότερες από μια ετικέτες ταυτόχρονα.

Για να ορίσουμε το μέγεθος της κλίμακας ενός συστήματος λαμβάνουμε υπόψη μας την περιοχή κάλυψης ανά μονάδα υποδομής καθώς και τον αριθμό των αντικειμένων που το σύστημα μπορεί να εντοπίσει ανά μονάδα υποδομής ή σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ο χρόνος παίζει σπουδαίο ρόλο διότι σε μερικά συστήματα υπάρχει περιορισμός στο εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό. Π.χ. ένα σύστημα που χρησιμοποιεί ραδιοκύματα μπορεί να αντεπεξέλθει σε ένα συγκεκριμένο αριθμό επικοινωνιών πριν το κανάλι παρουσιάσει συμφόρηση. Πάνω από αυτόν το αριθμό είτε θα παρουσιαστεί καθυστέρηση στη εξαγωγή των αποτελεσμάτων, είτε θα έχουμε μείωση της ακρίβειας, διότι οι θέσεις των αντικειμένων υπολογίζονται λιγότερο συχνά.

Τα συστήματα μπορεί να εξαπλωθούν σε μεγαλύτερη κλίμακα αυξάνοντας την υποδομή τους. Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί αναγνώστες RFID ετικετών σε ένα δωμάτιο μπορεί να

εξαπλωθεί και να λειτουργήσει σε ολόκληρο το κτίριο ή ακόμα και σε μία μεγαλύτερη περιοχή που περιλαμβάνει αρκετά κτίρια. Το εμπόδιο για την κλιμάκωση ενός συστήματος δεν έγκειται μόνο στο κόστος των υποδομών αλλά και στη δημιουργία κατάλληλου ενδιάμεσου λογισμικού (middleware) που απαιτείται για τη λειτουργία του.

Αναγνώριση

Για εφαρμογές που απαιτούν την αναγνώριση ή την κατάταξη των αντικειμένων σε κατηγορίες ώστε να λάβουν συγκεκριμένες αποφάσεις βασιζόμενες στη θέση τους, χρειάζεται ένας αυτόματος μηχανισμός αναγνώρισης. Συστήματα όπως το GPS δεν έχουν κανένα μηχανισμό για να αναγνωρίζουν μεμονωμένους δέκτες. Αντιθέτως συστήματα όπως οι αναγνώστες γραμμοκωδίκων μπορούν να αναγνωρίσουν τα αντικείμενα και να τα κατατάξουν. Τέτοιου είδους συστήματα έχουν τη δυνατότητα να αναγνωρίζουν μερικά μόνο χαρακτηριστικά. Π.χ. οι κάμερες αναγνώρισης μπορούν εύκολα να ξεχωρίσουν το χρώμα ή το σχήμα ενός αντικείμενου αλλά δεν μπορούν να ξεχωρίσουν μεμονωμένα άτομα.

Η τεχνική που χρησιμοποιείται για να μπορούν τα συστήματα να παρέχουν την δυνατότητα αναγνώρισης είναι η ανάθεση στα αντικείμενα ενός μοναδικού αναγνωριστικού (ID). Όταν λοιπόν ένα αντικείμενο αποκαλύψει την ταυτότητά του, τότε το σύστημα μπορεί να ανατρέξει σε βάσεις δεδομένων και να ανακτήσει πληροφορίες που σχετίζονται με αυτό, όπως το όνομα του, τον τύπο του, κλπ..

Κόστος

Μπορούμε να εκτιμήσουμε το κόστος ενός συστήματος με διαφορετικούς τρόπους. Στο γενικό κόστος περιλαμβάνονται ο χρόνος που χρειάζεται για την εγκατάσταση αλλά και τη διαχείρισή του, ο χώρος που απαιτείται και το μέγεθος των δομικών μονάδων του, το κεφάλαιο για την αγορά του εξοπλισμού αλλά και τις αμοιβές του προσωπικού που διαχειρίζεται το σύστημα. Στο σύστημα GPS ένας δέκτης κοστίζει περίπου \$100 και είναι το μόνο κόστος για κάποιον που θέλει να έχει πληροφορία για τη θέση του. Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί φάρους υπερύθρων (IR beacons), για να εκπέμπει τα αναγνωριστικά των δωματίων ενός κτιρίου, απαιτεί ένα φάρο για κάθε δωμάτιο. Σε αυτήν την περίπτωση και η υποδομή αλλά και το αντικείμενο που εντοπίζεται συμβάλει στο γενικό κόστος.

Περιορισμοί

Μερικά συστήματα δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε συγκεκριμένο περιβάλλον. Για παράδειγμα, ένας περιορισμός του GPS είναι η αδυναμία του να εντοπίζει αντικείμενα σε εσωτερικούς χώρους. Μερικά συστήματα ανάγνωσης ετικετών (tagging systems) δεν μπορούν να διαβάσουν ταυτόχρονα πάνω από μία ετικέτα λόγω της χρήσης κοινής συχνότητας που έχει σαν αποτέλεσμα τις παρεμβολές. Γενικά μπορούμε να προσδιορίσουμε τους περιορισμούς ενός συστήματος εντοπισμού θέσης αν εξετάσουμε τις υποκείμενες τεχνολογίες που χρησιμοποιεί.

4.2.4 Τεχνολογίες Εντοπισμού Θέσης

Οι κυριότερες τεχνολογίες εντοπισμού θέσης αφορούν σε :

- Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LANs)
- Bluetooth

- RFID (Radio Frequency Identification)
- Υπέρυθρη ακτινοβολία (Infrared Radiation - IR)
- Υπερηχητικά σήματα

Η τεχνολογία των **ασύρματων τοπικών δικτύων** (Wireless Local Area Network-WLAN) χρησιμοποιείται από διάφορα συστήματα προσδιορισμού θέσης που μετρούν την ισχύ του σήματος των σταθμών βάσης (Received Signal Strength-RSS) για να εντοπίσουν έναν χρήστη.

Το ασύρματο τοπικό δίκτυο είναι ένα επικοινωνιακό σύστημα που χρησιμοποιείται ως επέκταση ή εναλλακτική λύση ενός κοινού ενσύρματου δικτύου (Ethernet) επιτρέποντας στον κινητό χρήστη την ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων με ταχύτητες ως και 1 Gbps. Το πρότυπο που επικρατεί στα ασύρματα τοπικά δίκτυα είναι σήμερα το IEEE 802.11, είναι γνωστό ως «Wi-Fi» και λειτουργεί στη ζώνη ISM των 2.4 GHz ή στη ζώνη των 5GHz.

Οι σταθμοί βάσης (access points) έχουν χαμηλό κόστος, εγκαθίστανται εύκολα και παρέχοντας ασύρματη πρόσβαση σε εκείνες τις συσκευές που είναι εξοπλισμένες με μια ασύρματη κάρτα δικτύου (ασύρματος προσαρμογέας -wireless adapter).

Το **Bluetooth** είναι ένα ασύρματο πρότυπο δικτύωσης που λειτουργεί στη ζώνη ISM των 2.4 GHz. Σε σχέση με το Wi-Fi, ο ρυθμός μετάδοσης, καθώς και η εμβέλεια, είναι αρκετά χαμηλότερος (1Mbps). Χρησιμοποιείται για την επικοινωνία ανάμεσα σε συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα, PDAs, φορητούς υπολογιστές και εκτυπωτές. Το Bluetooth υποστηρίζει διάφορες υπηρεσίες δικτύωσης, συμπεριλαμβάνοντας και το πρωτόκολλο IP. Χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα ταυτόχρονης σύνδεσης έως και 7 συσκευών με τη χρήση μιας μοναδικής συχνότητας με απευθείας συνδέσεις από μονάδα προς μονάδα (point-to-point). Στην ομάδα συσκευών που χρησιμοποιούν Bluetooth είναι και οι ετικέτες Bluetooth ID (ετικέτες που ενσωματώνουν μικροεπεξεργαστή και κεραία). Είναι πομποδέκτες μικρών διαστάσεων και όπως κάθε συσκευή Bluetooth έχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό(Π) που το εκπέμπει περιοδικά. Ένας αναγνώστης (reader) Bluetooth χρησιμοποιεί την περιοδική αποστολή του μοναδικού αναγνωριστικού (ID) μιας ετικέτας για τον προσδιορισμό της θέσης της.

Η τεχνολογία RFID (**Radio Frequency Identification**) στηρίζεται στη χρήση ραδιοκυμάτων και επιτρέπει την αυτόματη αναγνώριση ανθρώπων και γενικά των αντικειμένων που φέρουν ετικέτες RFID (RFID tags). Οι αναγνώστες (RFID tag-readers), φορητοί ή και εγκατεστημένοι στην κτιριακή υποδομή, μπορούν να ανιχνεύσουν αυτόματα τις ετικέτες χωρίς η σάρωση του κάθε μεμονωμένου αντικειμένου να είναι απαραίτητη. Ο μικροεπεξεργαστής της ετικέτας χρησιμοποιεί την κεραία της για την αποστολή των πληροφοριών αναγνώρισης στον αναγνώστη, ο οποίος με τη σειρά του μετατρέπει τα ραδιοκύματα που έλαβε από την ετικέτα RFID σε ψηφιακές πληροφορίες

Οι πιο συνηθισμένες συχνότητες που χρησιμοποιούν τα συστήματα RFID είναι:

- η χαμηλή συχνότητα (περίπου 125ΚΗζ),
- η υψηλή συχνότητα (13,56ΜΗζ)
- η υπερύψηλη συχνότητα ή UHF (860-960ΜΗζ).

Σε μερικές εφαρμογές χρησιμοποιείται και η συχνότητα των 2,4GHz.

Η υπέρυθρη ακτινοβολία (**Infrared Radiation - IR**) είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκος κύματος μεγαλύτερο από αυτό του ορατού φωτός (750nm -1mm).

Όπως και στην επικοινωνία Bluetooth, η επικοινωνία υπέρυθρων έχει μικρή εμβέλεια (περίπου 10-20 μέτρα) και είναι κατάλληλη για εσωτερικούς χώρους και όχι εξωτερικούς. Σε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί τη μέθοδο της εγγύτητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν φάροι υπέρυθρων (IR Beacons) προγραμματισμένοι να εκπέμπουν περιοδικά το μοναδικό αναγνωριστικό τους. Ο δέκτης πρέπει να έχει οπτική επαφή με το φάρο προκειμένου να διαβάσει το αναγνωριστικό του. Οι φάροι εγκαθίστανται στην υποδομή ενός κτιρίου και χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό θέσης.

Τα **υπερηχητικά σήματα** είναι μια δόνηση των σωματιδίων του αέρα ή άλλου μέσου σε συχνότητες μεγαλύτερες από το όριο της ανθρώπινης ακοής, δηλαδή πάνω από 20 kHz. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για να λάβουν το υπερηχητικό σήμα και να το μετατρέψουν σε ωφέλιμη πληροφορία λέγονται μετατροπείς (transducers). Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση απόστασης. Σε πολλά συστήματα που χρησιμοποιούν υπερηχητικούς αισθητήρες ο συγχρονισμός του πομπού με τον δέκτη γίνεται με τη χρήση άλλου είδους σήματος, όπως ηλεκτρομαγνητικό ή υπέρυθρη ακτινοβολία.

Παρακάτω παρουσιάζεται παράδειγμα μέτρησης απόστασης με υπέρηχους χρησιμοποιώντας υπέρυθρες για τον συντονισμό του συστήματος

Όταν η μέτρηση της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη είναι επιθυμητή, ο πομπός στέλνει σύντομο παλμό υπερηχητικού σήματος ταυτόχρονα με ένα παλμό IR. Το σήμα IR έχει μεγαλύτερη ταχύτητα και επομένως φτάνει πρώτο στο δέκτη. Ο δέκτης μετράει τη διαφορά χρόνου από τη στιγμή που έλαβε το σήμα DR. έως τη στιγμή που θα λάβει το υπερηχητικό σήμα. Η απόσταση υπολογίζεται με δεδομένη την ταχύτητα του ήχου.

4.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΒΑΣΙΖΟΜΕΝΟΙ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗΣ

Ο νόμος της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής δηλώνει ότι όταν ένας αγωγός μετακινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο τότε αναπτύσσεται μία ΗΕΔ στα άκρα του, ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής.

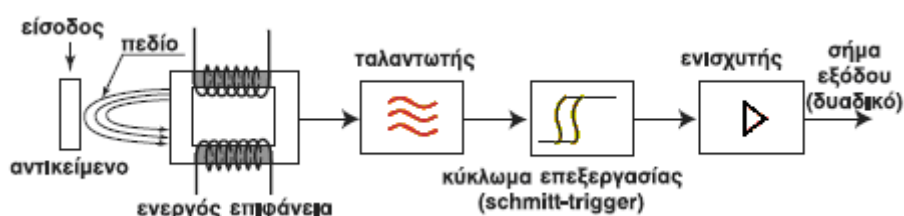
Όταν σε ένα κύκλωμα μεταβάλλεται η ένταση του ρεύματος, μεταβάλλεται και η μαγνητική ροή, που δημιουργεί το ρεύμα αυτό. Η μεταβαλλόμενη ροή διαπερνά τσι σπείρες του κυκλώματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία, στο ίδιο το κύκλωμα, ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως εξ επαγωγής σύμφωνα με το νόμο της επαγωγής. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αυτεπαγωγή. Η ΗΕΔ επίσης ονομάζεται ηλεκτρεγερτική δύναμη εξ αυτεπαγωγής, επειδή οφείλεται στη μεταβολή του ίδιου του μαγνητικού πεδίου του κυκλώματος.

Ο επαγωγικός αισθητήρας προσέγγισης (Inductive transducers) είναι ο περισσότερο διαδεδομένος τύπος αισθητήρα. Όταν παρουσιαστεί μπροστά από την ενεργό επιφάνειά του, κάποιο μεταλλικό αντικείμενο, τότε η έξοδος του αλλάζει κατάσταση. Αυτήν την ιδιότητα του επαγωγικού αισθητήρα την εκμεταλλευόμαστε σε διάφορες εφαρμογές. Όταν

τροφοδοτηθεί με ρεύμα ο επαγωγικός αισθητήρας, τότε δημιουργείται εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο, μπροστά από την ενεργό επιφάνειά του. Αν εισέλθει μέσα στο μαγνητικό αυτό πεδίο, κάποιο μεταλλικό αντικείμενο (σίδηρο, αλουμίνιο, χαλκός κτλ), τότε προκαλείται ισχυρή απόσβεση της ταλάντωσης, αντιστρέφεται η έξοδος του κυκλώματος σκανδάλης και αλλάζει η κατάσταση της εξόδου του αισθητήρα.

Οι επαγωγικοί διακόπτες (βλέπε ακόλουθο σχήμα) προσέγγισης αποτελούνται από τις εξής βαθμίδες:

- Τον ταλαντωτή με την ενεργό επιφάνεια
- Το ηλεκτρονικό κύκλωμα επεξεργασίας του σήματος του ταλαντωτή
- Το κύκλωμα εξόδου – βαθμίδα ενίσχυσης



Σχήμα 4-5: Δομή ενός επαγωγικού διακόπτη προσέγγισης

Με τη βοήθεια του ταλαντωτή δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο στην ενεργό επιφάνεια. Όταν ένα μεταλλικό αντικείμενο πλησιάσει κοντά στην ενεργό επιφάνεια διαταράσσεται το μαγνητικό πεδίο και ο ταλαντωτής αποσυντονίζεται με αποτέλεσμα ν' αυξηθεί το ρεύμα του κυκλώματος. Η αλλαγή του ρεύματος γίνεται αντιληπτή από το κύκλωμα επεξεργασίας, το οποίο με τη σειρά του αλλάζει το σήμα εξόδου. Οι επαγωγικοί αισθητήρες διατίθενται είτε με NPN ή PNP εξόδους. Οι NPN τύποι επιστρέφουν λογικό 0 όταν αναληφθεί αντικείμενο ενώ αντίστοιχα οι PNP επιστρέφουν λογικό 1.

Η απόσταση από την ενεργό επιφάνεια στην οποία ένα ηλεκτρικά αγώγιμο υλικό προκαλεί μεταβολή στο σήμα του αισθητήρα, ονομάζεται απόσταση ανίχνευσης. Η απόσταση ανίχνευσης ενός επαγωγικού αισθητήρα καθορίζεται με χρήση στόχου από μαλακό σίδηρο (Fe 360).

Αν ο διακόπτης φιμωθεί από άλλα υλικά, πχ αλουμίνιο ή χαλκό, η απόσταση μειώνεται. Χρησιμοποιώντας συντελεστές διόρθωσης, ο χρήστης μπορεί να υπολογίσει τις επιτεύξιμες αποστάσεις ανίχνευσης. Επιπρόσθετα, το κύκλωμα του επαγωγικού αισθητήρα μπορεί να παρουσιάζει τις ακόλουθες θετικές ιδιότητες:

- Προστασία από ανάστροφη πόλωση
- Προστασία από βραχυκύκλωμα
- Προστασία από στιγμιαίες υπερτάσεις.

Γενικά, οι επαγωγικοί αισθητήρες έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και δε χρειάζονται συντήρηση. Επίσης έχουν υψηλές συχνότητες μεταγωγής και υψηλή ακρίβεια ενεργοποίησης. Μπορούν να τοποθετηθούν και σε αντίξοες συνθήκες λειτουργίας, όπως είναι η παρουσία υγρών, σκόνης, δονήσεων κτλ.

Πιο κάτω αναφέρονται ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά των επαγωγικών αισθητήρων, που δίνονται από τους κατασκευαστές, τα οποία πρέπει να γνωρίζουμε, για να επιλέξουμε τον κατάλληλο αισθητήρα για κάθε περίπτωση:

- Τάση λειτουργίας
- Απόσταση αίσθησης
- Διαστάσεις
- Κατάσταση εξόδου στη θέση ηρεμίας.

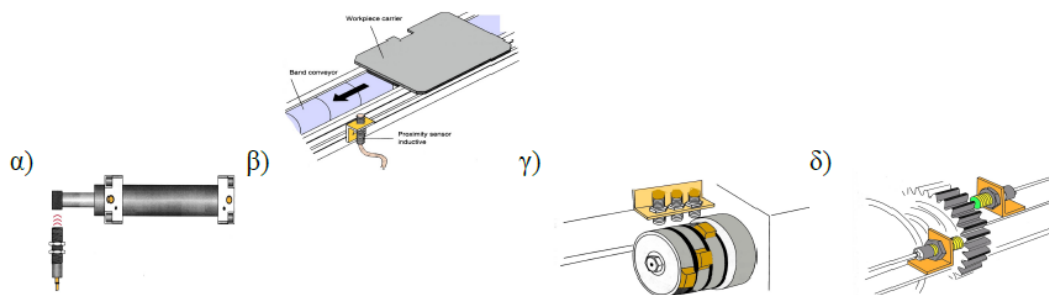
Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται διάφορες κατασκευές επαγωγικών διακοπών προσέγγισης, ανάλογα με την εφαρμογή που προορίζονται. Αυτές οι συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν αισθητήρες μικρής απόστασης. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται:

α) Ανίχνευση της θέσης του Έμβολου σε ένα πνευματικό ή υδραυλικό κύλινδρο

β) Ανίχνευση μεταλλικών αντικειμένων πάνω σε γραμμή μεταφοράς υλικών

γ) Έλεγχος Έκκεντρων Ρύθμισης με επαγωγικούς αισθητήρες προσέγγισης

δ) Έλεγχος Ταχύτητας Οδοντωτού Τροχού και Διεύθυνσης περιστροφής.

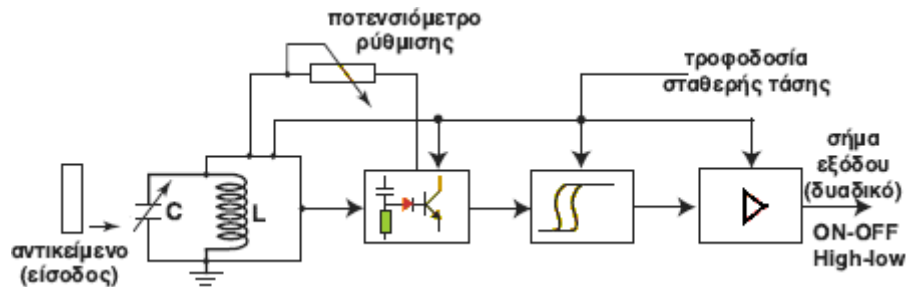


Σχήμα 4-6: Παραδείγματα εφαρμογών επαγωγικών αισθητήρων

4.4 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΒΑΣΙΖΟΜΕΝΟΙ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΥΚΝΩΤΗ

Ο χωρητικός αισθητήρας προσέγγισης (Capacitive transducers), βασίζεται στην αρχή λειτουργίας του, στην αλλαγή της χωρητικότητας πυκνωτή σε ένα κύκλωμα ταλάντωσης RC, όταν πλησιάσει την ενεργό επιφάνεια του αισθητήρα ένα οποιοδήποτε αντικείμενο. Μπροστά από την ενεργό επιφάνεια του ταλαντωτή δημιουργείται ένα ανομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο. Όταν εισέλθει στο χώρο του ηλεκτρικού πεδίου κάποιο αντικείμενο,

μεταβάλλεται η χωρητικότητα του ταλαντωτή και παράγεται ημιτονοειδές σήμα υψηλής συχνότητας. Το σήμα αυτό εισέρχεται στην επόμενη βαθμίδα, όπου απομονώνεται και ανορθώνεται. Το ανορθωμένο σήμα διεγείρει το κύκλωμα σκανδαλισμού (Schmitt - Triggering) το οποίο στη συνέχεια ενεργοποιεί το κύκλωμα ενίσχυσης. Με το ποτενσιόμετρο μπορούμε να ρυθμίσουμε την ευαισθησία του αισθητήρα.



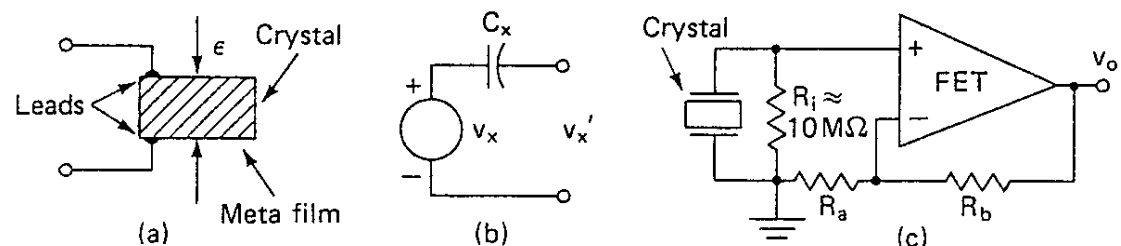
Σχήμα 4-7: Αρχές λειτουργίας χωρητικού αισθητήρα προσέγγισης

Τυπικές εφαρμογές συναντώνται σε βιομηχανίες ξύλου, χαρτιού, γυαλιού, πλαστικού, τροφίμων και χημικές. Για παράδειγμα, χωρητικοί αισθητήρες επιτηρούν ότι το περιεχόμενο χαρτοκιβωτίων είναι πλήρες ή ελέγχουν την παρουσία μη μεταλλικών πωμάτων.

Τα χαρακτηριστικά του χωρητικού αισθητήρα είναι τα ίδια με αυτά του επαγωγικού αισθητήρα. Έχοντας την δυνατότητα να ανιχνεύσουν μεταλλικά και μη αντικείμενα. μπορούν να χρησιμοποιηθούν για έλεγχο στάθμης, έλεγχο παρουσίας, έλεγχο όγκου, τελικό έλεγχο με συστήματα πακεταρίσματος και πολλές άλλες εφαρμογές όπως μέτρηση μηχανικής φθοράς και επιφανειακής μορφολογίας υλικών.

4.5 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΒΑΣΙΖΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Οι αισθητήρες της κατηγορίας αυτής βασίζονται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί, εάν εφαρμόσουμε δυνάμεις στα άκρα του κρυστάλλου (συνήθως χαλαζίου) τότε εμφανίζεται ηλεκτρική τάση στα άκρα αυτού. Το ακόλουθο σχήμα δείχνει το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα του. Η τάση αυτή μπορεί να ενισχυθεί με την βοήθεια τελεστικού ενισχυτού FET, όπως φαίνεται στο σχήμα . Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε μικρομετακινήσεις αν το ένα άκρο του κρυστάλλου είναι σταθερό, και επομένως σαν αισθητήρας παραμόρφωσης.

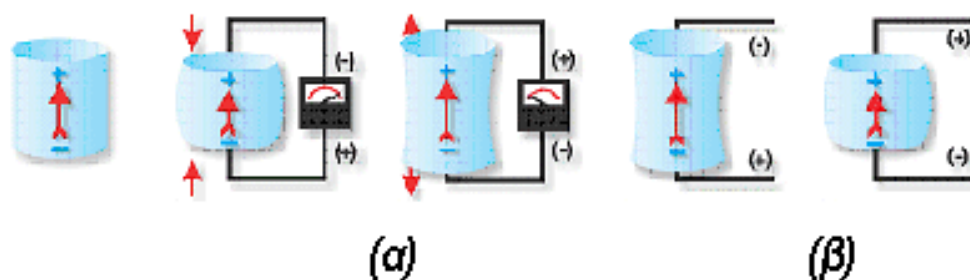


Σχήμα 4-8: Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες μετακίνησης

Η βασική θεωρία που βρίσκεται πίσω από τον πιεζοηλεκτρισμό βασίζεται στο ηλεκτρικό δίπολο. Στο μοριακό επίπεδο, η δομή ενός πιεζοηλεκτρικού υλικού είναι τυπικά, ένας ιοντικός κρυσταλλικός δεσμός. Στην κατάσταση ισορροπίας, τα δίπολα που σχηματίζονται από τα θετικά και τα αρνητικά ιόντα αλληλοεξουδετερώνονται λόγω της συμμετρίας της κρυσταλλικής δομής και έτσι, δεν παρατηρείται κάποιο ηλεκτρικό πεδίο. Κάτω από πίεση, ο κρύσταλλος παραμορφώνεται, η συμμετρία χάνεται και η συνολική διπολική ροπή δεν είναι πια μηδενική. Αυτή η διπολική ροπή είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία του ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος του κρυστάλλου. Με αυτό τον τρόπο, τα υλικά δημιουργούν ένα ηλεκτρικό φορτίο που είναι ανάλογο στην μηχανική πίεση που υπόκεινται. Αν εφαρμοστεί μια εναλλασσόμενη δύναμη στους κρυστάλλους, στους ακροδέκτες της συσκευής μέτρησης θα εμφανιστεί εναλλασσόμενη τάση. Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο γίνεται αντιληπτό ως μια γραμμική ηλεκτρομηχανική αλληλεπίδραση που παρουσιάζεται στο εσωτερικό ορισμένων κρυστάλλων, οι οποίοι δεν έχουν κάποιο κέντρο συμμετρίας.

Ως **ευθύ πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο** ονομάζεται η μεταβολή της ηλεκτρικής πόλωσης του υλικού που προκαλείται από μια ανάλογη μηχανική παραμόρφωσή του (βλέπε ακόλουθο σχήμα-α). Δηλαδή, όταν το υλικό υπόκειται σε κάποιο μηχανικό φορτίο, τότε εμφανίζεται ηλεκτρικό φορτίο, ανάλογης τιμής, σε δύο συγκεκριμένες αντίθετες επιφάνειές του.

Ως **ανάστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο** ονομάζεται η μηχανική παραμόρφωση του υλικού όταν βρίσκεται κάτω από την επίδραση κάποιου ηλεκτρικού πεδίου (βλέπε ακόλουθο σχήμα-β). Δηλαδή, σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζεται μεταβολή στο σχήμα του κρυστάλλου όταν ο τελευταίος βρεθεί μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο.



Σχήμα 4-9: Ευθύ (α) και ανάστροφο (β) πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο

Συσκευές που περιλαμβάνουν πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως στις μέρες μας σε εργαστήρια, σε γραμμές βιομηχανικής παραγωγής και σαν πρωτότυπος εξοπλισμός. Χρησιμοποιούνται σε κάθε σχεδόν εφαρμογή στην οποία προϋποτίθενται οι ακριβείς μετρήσεις και η παρακολούθηση των αλλαγών διαφόρων μηχανικών μεγεθών, όπως η πίεση, η δύναμη και η επιτάχυνση. Συνοπτικά, αναφέρονται κάποιες εφαρμογές των πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων στη σύγχρονη επιστήμη:

- Αεροδιαστημική έρευνα: τεχνολογία κατασκευής πυραύλων, συστήματα εκτίναξης επείγουσας ανάγκης, σχετικές δομικές κατασκευές

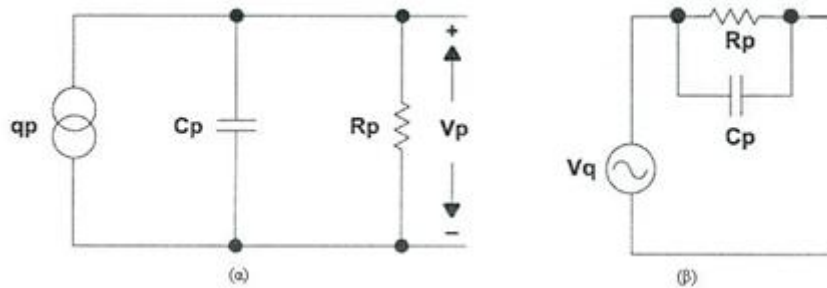
- Βαλλιστικές μελέτες: καύση, έκρηξη, εκπυρσοκρότηση και κατανομή ηχητικής πίεσης
- Βιοϊατρική: μετρήσεις δύναμης για ορθοπεδικό βηματισμό, εργονομία, νευρολογία, καρδιολογία και αποκατάσταση υγείας
- Έλεγχος μηχανών: καύση, εναλλαγή αερίων και ψεκασμός, διαγράμματα ενδείξεων,
- Βιομηχανία και εργοστάσια: κοπή μετάλλων, αυτοματοποίηση διαδικασιών συναρμολόγησης, παρακολούθηση λειτουργίας μηχανών.

Οι εν λόγω αισθητήρες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τους **ενεργούς** και τους **παθητικούς αισθητήρες**. Η διαφορά των δύο κατηγοριών αφορά στις απαιτήσεις τροφοδοσίας που έχουν οι αισθητήρες για να λειτουργήσουν. Οι μεν παθητικοί, για να παράγουν κάποιο σήμα εξόδου πρέπει να τροφοδοτούνται από μια εξωτερική πηγή ενέργειας, οι δε ενεργοί αισθητήρες γενικά, δεν απαιτούν κάτι τέτοιο. Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες, όπως εξηγείται πιο κάτω (ενότητα 3.1) ανήκουν στην κατηγορία των ενεργών αισθητήρων και έτσι δεν χρειάζεται να τους παρέχεται ενέργεια για να παράγουν το σήμα εξόδου.

Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες ανήκουν στη μικρή κατηγορία των ενεργών αισθητήρων και γι' αυτό, εξ' ορισμού, δεν απαιτούν εξωτερική πηγή ενέργειας για την παραγωγή του σήματος εξόδου. Η τάση ανοικτού βρόχου που παρουσιάζεται στην έξοδο κάποιων αισθητήρων μπορεί να φτάσει τις αρκετές χιλιάδες Volt και μπορεί να προκαλέσει διάσπαση του αέρα στο ανοικτό άκρο της διάταξης, της οποίας ο αισθητήρας αποτελεί μέρος. Αυτή είναι και η αρχή λειτουργίας των πιεζοηλεκτρικών αναπτήρων αερίου. Σε συστήματα που χρησιμοποιούν ενισχυτές πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη τάση που μπορεί να αντέξει ο αισθητήρας ώστε να λειτουργεί σε ασφαλείς συνθήκες. Στους ενισχυτές φορτίου αυτή η τάση κρατείται στο μηδέν.

Από ηλεκτρικής άποψης, ένας πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας συμπεριφέρεται σαν πυκνωτής, ο οποίος έχει σαν διηλεκτρικό του το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο. Επειδή εδώ το διηλεκτρικό παρουσιάζει κάποιο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, ο πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας μπορεί να θεωρηθεί ως **ενεργός πυκνωτής**, ο οποίος αυτοφορτίζεται όταν υπόκειται σε μηχανικό φορτίο.

Ένας πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας μοντελοποιείται είτε ως μια πηγή φορτίου στα άκρα της οποίας συνδέονται ένας πυκνωτής και μια αντίσταση σε παράλληλη συνδεσμολογία, είτε ως μια πηγή τάσης εν σειρά με τον παράλληλο συνδυασμό του πυκνωτή και της αντίστασης (βλ. ακόλουθο σχήμα). Το φορτίο που παράγεται εξαρτάται από την πιεζοηλεκτρική σταθερά της συσκευής. Η χωρητικότητα είναι συνάρτηση του εμβαδού, του πλάτους και της διηλεκτρικής σταθεράς του υλικού. Η αντίσταση αντιπροσωπεύει την στατική κατανάλωση φορτίου που παρουσιάζεται στους αισθητήρες.

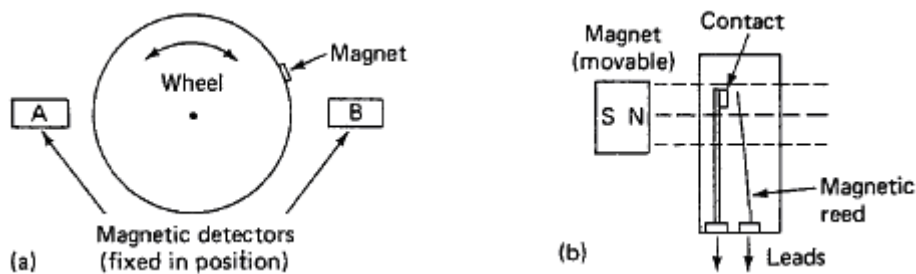


Σχήμα 4-10: (α) Μοντέλο φορτίου και (β) μοντέλο τάσης πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα

4.6 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΒΑΣΙΖΟΜΕΝΟΙ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

4.6.1 Γενικά

Οι μαγνητικοί αισθητήρες μετακίνησης βασίζονται στην μεταβολή του μαγνητικού πεδίου γύρω από τον αισθητήρα, όταν υφίσταται μετακίνηση το στερεό σώμα που θέλουμε να ανιχνεύσουμε την μετακίνησή του. Στο στερεό σώμα που μετακινείται πρέπει να βρίσκεται συνδεδεμένος ένας μόνιμος μαγνήτης. Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνεται η αρχή λειτουργίας μαγνητικού αισθητήρα τύπου προσέγγισης (Magnetic Proximity Detectors).



Σχήμα 4-11: Αρχή λειτουργίας μαγνητικού αισθητήρα

Υπό την επίδραση του μόνιμου μαγνήτη η μαγνητική ακίδα επαφής έλκεται και η επαφή παραμένει κλειστή, όπως φαίνεται στο σχήμα που προηγήθηκε (b). Στην αντίθετη περίπτωση η επαφή είναι ανοικτή.

Οι μαγνητικοί αισθητήρες προσέγγισης αποτελούν τους απαραίτητους αισθητήρες σε όλα τα ακριβά συστήματα συναγερμού για παραβίαση πόρτων και παραθύρων οικιών και άλλων χώρων. Παρουσιάζουν πλεονέκτημα έναντι των κοινών μηχανικών διακοπών στο ότι δεν χρειάζεται να έλθουν σε μηχανική επαφή με την πόρτα ή το παράθυρο.

Χρησιμοποιούνται στα συστήματα ελέγχου για την ανίχνευση της θέσης εξ αποστάσεως χωρίς φθορές, εκεί όπου δεν αντέχουν οι επαγωγικοί διακόπτες προσέγγισης. Καθώς τα μαγνητικά πεδία διαπερνούν και όλα τα μη μαγνητιζόμενα υλικά, οι αισθητήρες μπορούν

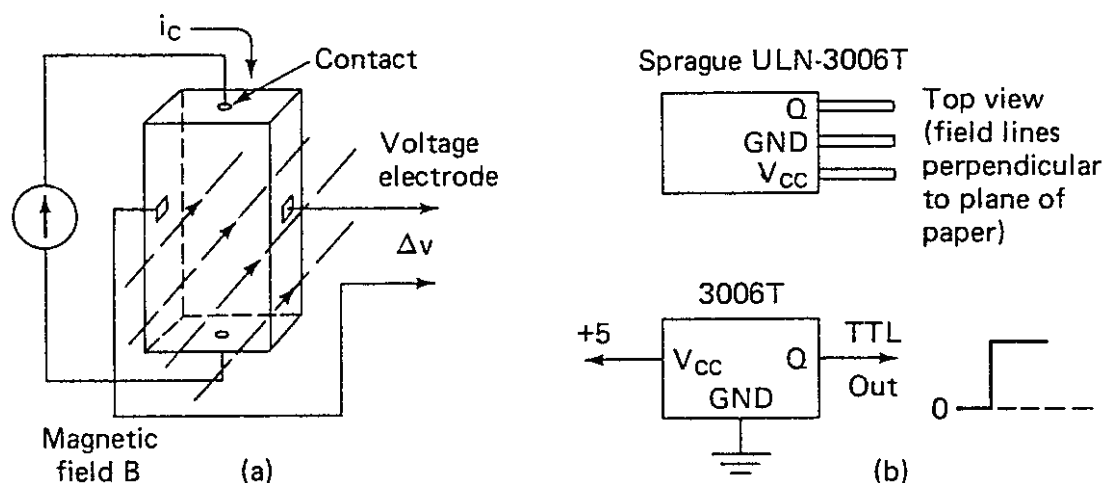
να αναγνωρίζουν μαγνήτες διαμέσου τοιχωμάτων π.χ. από μη σιδηρούχα μέταλλα, χάλυβα, αλουμίνιο, πλαστικό ή ξύλο.

Το πλεονέκτημα: συγκριτικά με τους επαγωγικούς αισθητήρες, οι μαγνητικοί έχουν σημαντικά μεγαλύτερη απόσταση ανίχνευσης και μικρότερο μέγεθος. Εύρος ανίχνευσης έως και 70 mm θεωρείται δεδομένο.

Με ειδικούς μαγνήτες, μπορεί να επιτευχθεί απόσταση ανίχνευσης ακόμα και 90 mm ή περισσότερο. Μοναδική απαραίτητη προϋπόθεση: το υπό ανίχνευση αντικείμενο πρέπει να εφοδιαστεί με μαγνήτη, καθώς ο αισθητήρας αντιδρά μόνο σε μαγνητικό πεδίο.

4.6.2 Μαγνητικοί Αισθητήρες Hall

Οι αισθητήρες αυτοί βασίζονται στο φαινόμενο Hall. Εάν σε αγωγό ή ημιαγωγό διέλθει ρεύμα εντάσεως I_c και κάθετα προς αυτό ευρίσκεται μαγνητικό πεδίο B , τότε στην Τρίτη κάθετο διεύθυνση μεταξύ I_c και B εμφανίζεται μικρή ηλεκτρική τάση $V_H = k \cdot I_c \cdot B$, η οποία ονομάζεται τάση Hall (βλέπε ακόλουθο σχήμα).



Σχήμα 4-12: Φαινόμενο Hall (a) και ολοκληρωμένος αισθητήρας Hall(b)

Με τους αισθητήρες Hall αποφεύγονται οι μεταλλικές επαφές και τα προβλήματα αυτών Η μαζική παραγωγή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων Hall έχουν κατεβάσει τόσο φθηνά το κόστος, ώστε ένας αισθητήρας Hall να είναι να είναι κατά πολύ φθηνότερος των μαγνητικών αισθητήρων προσέγγισης.

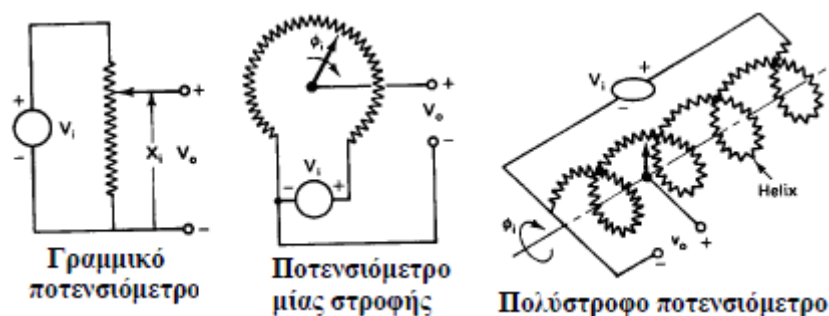
4.7 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΒΑΣΙΖΟΜΕΝΟΙ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ

4.7.1 Γενικά περί Ποτενσιόμετρων

Είναι ίσως το απλούστερο αισθητήριο θέσης. Διακρίνονται σε μετατροπείς γραμμικής κίνησης και γωνιακής.

Αποτελείται από μια αντίσταση κατά μήκος της οποίας κινείται μια επαφή – η μεσαία λήψη όπως ονομάζεται (βλέπε ακόλουθο σχήμα). Συνήθως η αντίσταση είναι προσαρμοσμένη σε μια ακίνητη επιφάνεια η δε επαφή σε ένα κινούμενο στέλεχος. Η αντίσταση του ποτενσιόμετρου, συχνά από κοινότητα ή νέο αγώγιμο υλικό, τυλίγεται γύρω από ένα κυκλικό μονωτικό σώμα. Τότε η τάση στη μεσαία λήψη (κινούμενη επαφή) του ποτενσιόμετρου είναι ανάλογη της μετατόπισης του στελέχους. Το στοιχείο αντίστασης μπορεί να είναι είτε κυλινδρικό είτε επίπεδο (τύπου φιλμ). Στα ποτενσιόμετρα τύπου φιλμ η αντίσταση αυτή είναι άπειρη. Μπορεί κανείς να βρει στο εμπόριο γραμμικά ποτενσιόμετρα μήκους από μερικά εκατοστά μέχρι και μερικά μέτρα. Η διακριτική ικανότητα (resolution) του οργάνου εξαρτάται από την πυκνότητα των τυλιγμάτων της αντίστασης, π.χ ένα γωνιακό ποτενσιόμετρο με 50 στροφές/mm θα έχει διακριτικότητα 20 μm /στροφή.

Με τη χρήση ποτενσιόμετρων μπορούμε να μετρήσουμε με απλό τρόπο γωνίες ή αποστάσεις. Στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση μικρών αποστάσεων και γωνιών π.χ. σε βαλβίδες, υδραυλικά έμβολα και κλαπέτα. Το ποτενσιόμετρο έχει περιορισμένο χρόνο ζωής και απαιτεί για την κίνησή του κάποια δύναμη λόγω της τριβής της κινούμενης επαφής με την αντίσταση.



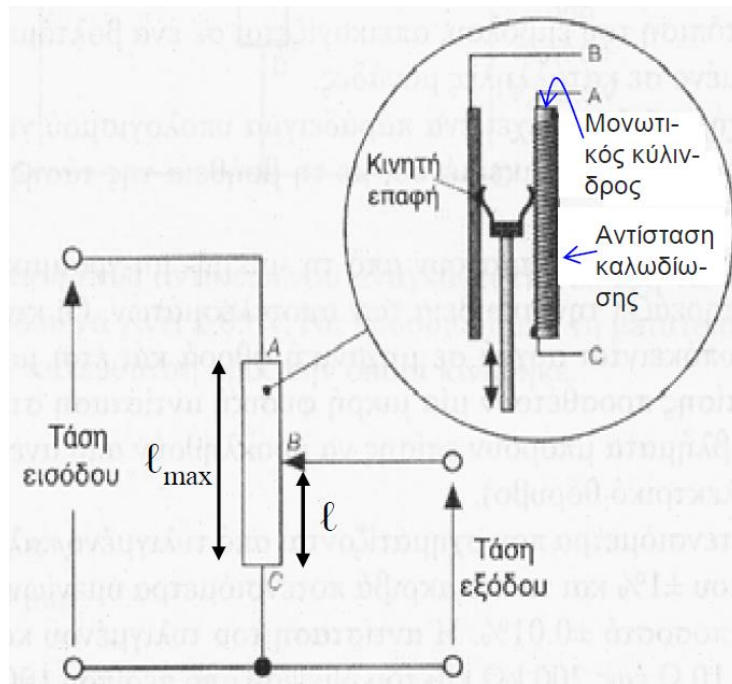
Σχήμα 4-13: Τύποι ποτενσιόμετρων

4.7.2 Γραμμικά ποτενσιόμετρα

Όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί, στο γραμμικό ποτενσιόμετρο η κινητή επαφή ενός ποτενσιόμετρου συνδέεται με ένα έμβολο, το οποίο εφαρμόζει στο αντικείμενο του οποίου η μετατόπιση πρόκειται να μετρηθεί.

Επισημαίνεται δε πως η σχέση ανάμεσα στην τάση εισόδου, την τάση εξόδου και την απόσταση BC ή l είναι γραμμική, δεδομένου ότι η αντίσταση ενός αγωγού είναι ανάλογη με το μήκος του. Οποιαδήποτε μετατόπιση του αντικειμένου θα αλλάξει την απόσταση BC

και επομένως την αντίσταση R_{BC} και την τάση εξόδου. Η μεταβολή της τάσης εξόδου που αντιπροσωπεύει τη μετατόπιση του εμβόλου, απεικονίζεται σε ένα βολτόμετρο βαθμονομημένο σε μονάδες μετατόπισης.



Σχήμα 4-14: Αρχή λειτουργίας γραμμικού ποτενσιόμετρου

Τα στοιχεία αντίστασης (που κυμαίνονται από 10Ω έως $200\text{ K}\Omega$) κατασκευάζονται συνήθως από λεπτό σύρμα νικελίου ή λευκόχρυσου, το οποίο τυλίγεται γύρω από έναν κύλινδρο κατασκευασμένο από μονωτικό υλικό. Δύναται επίσης να κατασκευαστούν από υμέν άνθρακα, μετάλλων ή αγώγιμων πλαστικών (από 100Ω έως $1\text{ M}\Omega$) για βελτίωση της διακριτικής ικανότητας.

Η διακριτική ικανότητα των ποτενσιόμετρων τυλιγμένου σύρματος εξαρτάται από τον αριθμό των περιελίξεων πάνω στον κύλινδρο.

Τα ποτενσιόμετρα πάσχουν από τη μικρή μη γραμμικότητα που εισάγεται λόγω του κυλίνδρου, η οποία περηράζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Οι κινητές επαφές και η αντίσταση υπόκεινται σε μηχανική φθορά και έτσι μεταβάλλεται η απόκρισή τους και επίσης προσθέτουν μικρή φυσική αντίσταση στη μετρούμενη μετατόπιση. Προβλήματα μπορεί να προκληθούν και από ανεπιθύμητα ηλεκτρικά σήματα θορύβου.

Με το ποτενσιόμετρο μπορεί να επιτευχθεί ένδειξη από απόσταση, εάν η αλλαγή της τάσης εξόδου χρησιμοποιηθεί ως σήμα εισόδου σε ένα σύστημα συλλογής ή καταγραφής. Χρησιμοποιούνται συχνά όταν απαιτείται η λήψη ηλεκτρικού σήματος εξαρτώμενου από τη μετατόπιση με χαμηλό κόστος και χωρίς εξαιρετική ακρίβεια.



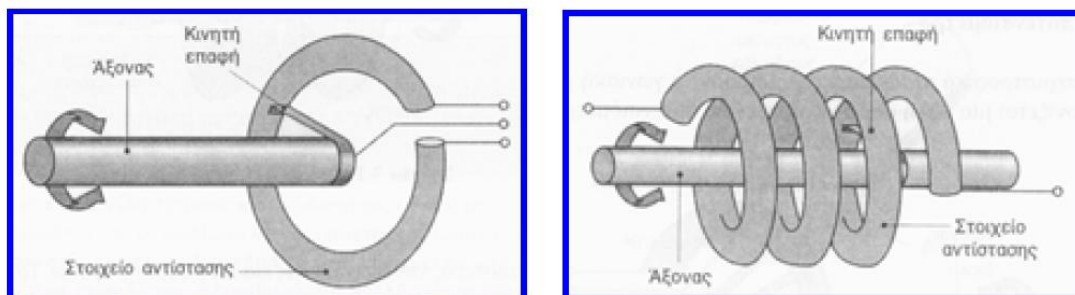
Σχήμα 4-15: Γραμμικό ποτενσιόμετρο

4.7.3 Περιστροφικά ποτενσιόμετρα

Το περιστροφικό ποτενσιόμετρο λειτουργεί με βάση την ίδια αρχή που λειτουργεί και το γραμμικό, αλλά σκοπός είναι η μέτρηση της γωνιακής μετατόπισης.

Σε ένα περιστροφικό ποτενσιόμετρο, το στοιχείο αντίστασης έχει μορφή δακτυλίου (τόξου), πάνω στο οποίο ολισθαίνει η κινητή επαφή, η οποία περιστρέφεται επειδή είναι συνδεδεμένη στον άξονα εισόδου. Η τάση εξόδου είναι ανάλογη της γωνιακής μετατόπισης του άξονα και διαβάζεται σε ένα βολτόμετρο, βαθμονομημένο σε μονάδες γωνιακής μετατόπισης.

Τα ποτενσιόμετρα μιας στροφής (single turn), όπου το στοιχείο αντίστασης καταλαμβάνει μία πλήρη περιστροφή του άξονα, έχουν τη δυνατότητα να μετρήσουν γωνιακές μετατοπίσεις μικρότερες από μία περιστροφή. Μεγαλύτερες δυνατότητες μέτρησης έχει το σπειροειδές ή ελικοειδές ποτενσιόμετρο (helical), όπου το στοιχείο αντίστασης έχει μορφή σπείρας και ένα μηχανικό σύστημα επιτρέπει την κινητή επαφή να παρακολουθεί τη σπείρα, καθώς περιστρέφεται ο άξονας. Το εν λόγω ποτενσιόμετρο μπορεί να μετρά μετατοπίσεις έως 30 στροφές.



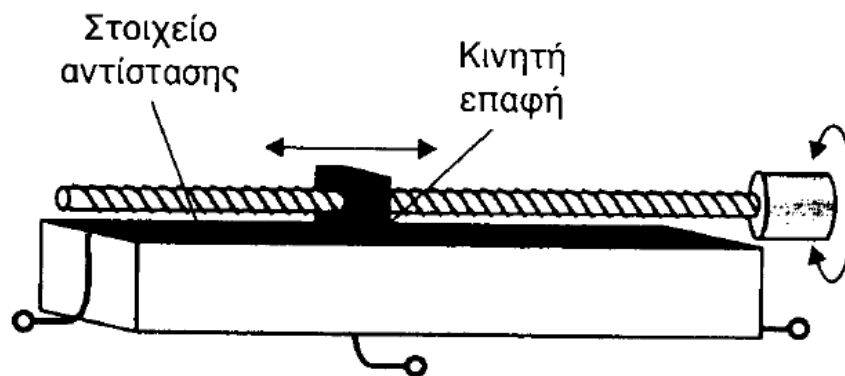
Σχήμα 4-16: Περιστροφικό και ελικοειδές ποτενσιόμετρο

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα περιστροφικό ποτενσιόμετρο.



Σχήμα 4-17: Περιστροφικό ποτενσιόμετρο

Μια άλλη μορφή ποτενσιόμετρου πολλών στροφών χρησιμοποιεί κινητή επαφή που είναι συνδεδεμένη σε κοχλιοειδή άξονα. Η εν λόγω κινητή επαφή εφαρμόζει σε στοιχείο αντίστασης μορφής ράβδου (βλ. ακόλουθο Σχήμα) και κινείται αριστερά-δεξιά, ακθώς περιστρέφεται ο άξονας εισόδου.



Σχήμα 4-18: Περιστροφικό ποτενσιόμετρο κινητής επαφής

Όπως και το γραμμικό, έτσι και το περιστροφικό ποτενσιόμετρο, πάσχει από μηχανική φθορά λόγω της συνεχούς τριβής της κινητής επαφής.

Για υψηλότερη ακρίβεια, θα πρέπει το στοιχείο αντίστασης να είναι τελείως κυκλικού σχήματος, οι στροφές της σπείρας ομοιόμορφες και η κινητή επαφή να βρίσκεται στο κέντρο.

Το εύρος μέτρησης είναι 0,17-61 ακτίνια (10-3500°) ενώ το κόστος του είναι σχετικά χαμηλό και ως εκ τούτου χρησιμοποιείται ευρέως (από ηλεκτρονικά κυλιόμενα καθίσματα έως αεροσκάφη).

4.8 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΒΑΣΙΖΟΜΕΝΟΙ ΣΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

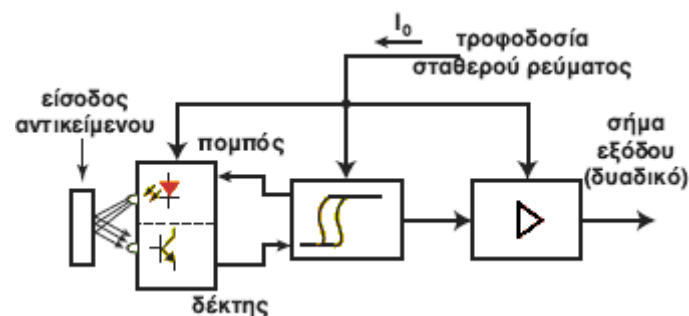
4.8.1 Οπτικοί Αισθητήρες Προσέγγισης

Οι οπτικοί αισθητήρες προσέγγισης χρησιμοποιούν οπτικά και ηλεκτρονικά μέσα, για την ανίχνευση οποιουδήποτε αντικειμένου. Ένας οπτικός αισθητήρας αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Πομπό,
- Δέκτη,
- Μετατροπέα και
- Βαθμίδα Ενίσχυσης

Ο πομπός εκπέμπει ερυθρό ή υπέρυθρο (IR) φως έτσι χρησιμοποιούνται δίοδοι φωτοεκπομπής (LED). Ο δεκτης περιλαμβάνει στο κύκλωμά του στοιχεία ευαίσθητα στο ερυθρό ή υπέρυθρο φως, δηλαδή φωτοδιόδους ή φωτοτρανσίστορ. Στην έξοδο λαμβάνουμε ένα δυαδικό σήμα (High - Low, ON – OFF, εντός – εκτός).

Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση αντικειμένων, την παρακολούθηση επιφάνειας/γραμμής κ.ο.κ.



Σχήμα 4-19: Αρχή λειτουργίας οπτικού αισθητήρα

Αντίστοιχες διατάξεις μπορούν να υλοποιηθούν και στο ορατό φάσμα(400 έως 700 nm, μπλε έως κόκκινο χρώμα), όμως η IR λειτουργία παρέχει καλύτερο διαχωρισμό του σήματος από το περιβάλλοντα φωτισμό και μεγαλύτερη ευαισθησία. Επιπλέον περιορισμοί στις ικανότητες των αισθητήρων φωτός ορατού φάσματος είναι ότι δεν μπορεί να κάνει ποσοτικές μετρήσεις και δεν παρουσιάζει ομοιόμορφη απόδοση σε όλη την ορατή περιοχή

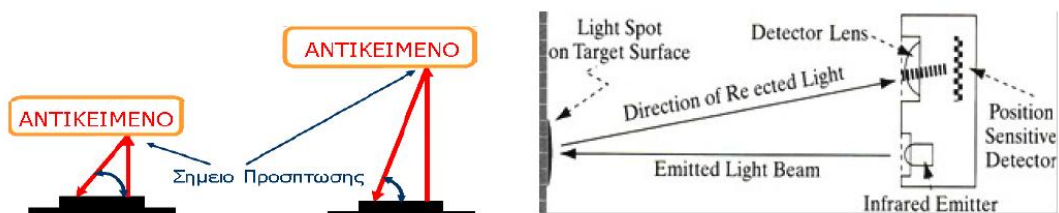
αλλά έχει μέγιστη απόκριση στο πράσινο (στα 500 nm). Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν ραδιοκύματα και μικροκύματα.

Στην περίπτωση των υπέρυθρων προκειμένου να αυξηθεί η ευαισθησία του ανιχνευτή στην ανακλώμενη ακτινοβολία, το σήμα μέτρησης διαμορφώνεται κατά συχνότητα (frequency modulation). Το LED εκπομπής υπέρυθρων στέλνει παλμούς υψηλής συχνότητας (32-45KHz). Ο ανιχνευτής υπέρυθρων έχει κατασκευαστεί προκειμένου να είναι ευαίσθητος (demodulator) στη λήψη σημάτων αυτής της συχνότητας. Η συχνότητα διαμόρφωσης έχει επιλεγεί για να είναι αρκετά υψηλότερη από αυτήν άλλων πηγών IR ακτινοβολίας π.χ λάμπες φθορισμού, ηλιακό φως κλπ που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη μέτρηση.

Εξέλιξη των απλών IR αισθητήριων προσέγγισης (ανελαστικότητας) αποτελούν τα αισθητήρια της σειράς GP2Dxx της Sharp με επιπλέον χαρακτηριστικό τους τη δυνατότητα μέτρησης της απόστασης των αντικειμένων που ανιχνεύονται. Μαζί με IR LED ενσωματώνουν σε μια ολοκληρωμένη συσκευή έναν ανιχνευτή θέσης (PSD-position sensitive detector) συνδυαζόμενο με φακό εστίασης. Η έξοδος τους δεν επηρεάζεται από τον περιβάλλοντα φωτισμό, αλλά ούτε και από το χρώμα του αντικείμενου που ανιχνεύεται. Άλλα πλεονεκτήματα είναι:

- α) το συμπαγές μέγεθος
- β) η μικρή κατανάλωση ρεύματος και
- γ) η ποικιλία διαθέσιμων εξόδων

Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στον τριγωνισμό (triangulation) και τη χρήση μιας σειράς αισθητήρων τύπου CCD στον ανιχνευτή θέσης (PSD). Το IR LED εκπέμπει παλμικό σήμα μέτρησης, όπως στα απλά αισθητήρια υπέρυθρων. Ανάκλαση του σήματος σε κάποιο αντικείμενο, ανιχνεύεται στο PSD του αισθητήριου και δημιουργείται έτσι ένα τρίγωνο μεταξύ του πομπού, του σημείου πρόσπτωσης και του ανιχνευτή. Η γωνία επιστροφής εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ του αντικείμενου και του αισθητήριου.

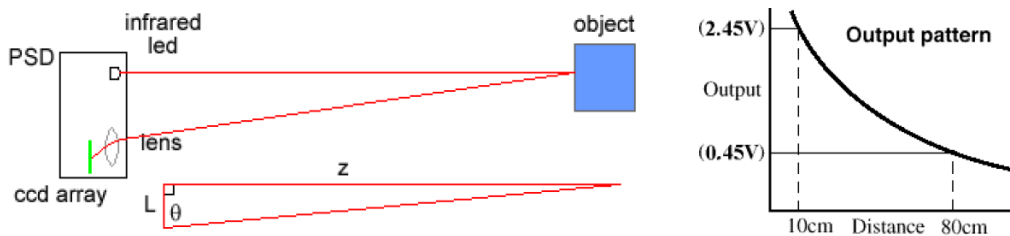


Σχήμα 4-20: Αρχή λειτουργίας οπτικού αισθητήρα GP2Dxx

Ο ανιχνευτής διαθέτει ένα 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 αντικείμενου.

Το σημείο πρόσπτωσης του ανακλώμενου σήματος στον ανιχνευτή μεταβάλλεται ανάλογα με την απόσταση του αντικειμένου από το αισθητήριο. Παρέχονται διάφορα μοντέλα, με διαφορετικά χαρακτηριστικά λειτουργίας και διασύνδεσης, προκειμένου να μπορούν να καλύψουν καλύτερα τις ανάγκες ποικιλίας εφαρμογών.

Η σχέση μεταξύ της εξόδου του αισθητήρα και της απόστασης του αντικειμένου είναι μη γραμμική και έχει την μορφή που φαίνεται στο σχήμα. Η 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 στην έξοδο του αισθητήριου και της απόστασης στην οποία αντιστοιχεί. Στη πράξη, οι παράμετροι της καμπύλης παρουσιάζουν μικροδιαφορές, ακόμα και για αισθητήρια του ίδιου τύπου. Για το λόγο αυτό, πριν τη χρήση απαιτείται η βαθμονόμηση των αισθητήριων IR.



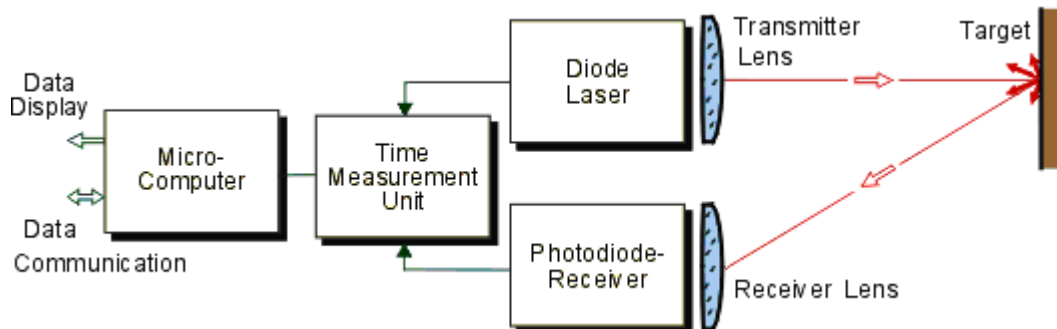
Σχήμα 4-21: Σχέση μεταξύ της εξόδου του αισθητήρα και της απόστασης

Τα περισσότερα αισθητήρια μέτρησης με ακτίνες φωτός (laser range finders) χρησιμοποιούν τη μέθοδο υπολογισμού χρόνου πτήσης (TOF). Η αρχή μέτρησης ταχύτητας διάδοσης χρόνου, επιτρέπει την υλοποίηση διαφορετικών εφαρμογών, για παράδειγμα ανίχνευσης όγκου, απόστασης και στάθμης. Οι αισθητήρες λέιζερ προσφέρουν λύσεις σε αναρίθμητες βιομηχανικές εφαρμογές, ειδικά σε εφαρμογές όπου η ακρίβεια των μετρήσεων είναι απαραίτητη, το μέγεθος του αντικειμένου, είναι πολύ μικρό ή ο στόχος βρίσκεται σε πολύ μεγάλη απόσταση. Στη ρομποτική χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση και αποφυγή εμποδίων από αυτοκινούμενα οχήματα.

Εκπέμπεται δέσμη ακτίνας laser και ανιχνεύεται η επιστροφή της μετά από ανάκλαση σε κάποιο αντικείμενο. Η μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης του φωτός, επιτρέπει την σάρωση μεγάλου γωνιακού εύρους σε μικρό χρονικό διάστημα.

Ένα κύκλωμα παραγωγής ηλεκτρικών παλμών οδηγεί περιοδικά μια διάταξη ημιαγωγών, η οποία αποστέλλει μια ακολουθία από οπτικούς παλμούς (πάνω από το ορατό φάσμα), οι όποιοι 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.



Σχήμα 4-22: Αρχή λειτουργίας αισθητηρίου μέτρησης με ακτίνες φωτός

Είναι σήμερα πλέον αποδεδειγμένο ότι διατάξεις που βασίζονται σε συστήματα λέιζερ κάνουν εφικτές διάφορες μετρήσεις που ήταν αδύνατες πριν την εμφάνιση των λέιζερ ή τουλάχιστον ήταν περιορισμένης ακρίβειας. Σαν παράδειγμα, για μετρήσεις πάρα πολύ μικρών αποστάσεων-μετατοπίσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί το λέιζερ με την μορφή ενός συμβολόμετρου με ακρίβεια τουλάχιστον μερικά δέκατα του μικρόμετρου. Αντίστοιχα σε μετρήσεις μεγάλων αποστάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί το λέιζερ, είτε με τη μέθοδο της τηλεσκοπίσης (τηλεμετρίας), είτε με τη μέθοδο της διαμορφωμένης δέσμης

Η απλούστερη διάταξη μέτρησης μεγάλων αποστάσεων είναι η τηλεμετρία λέιζερ. Η απόσταση του στόχου L μπορεί να υπολογιστεί από τον χρόνο ταξιδιού της δέσμης Δt (το Δt είναι η διαφορά χρόνου μεταξύ εκπομπής και λήψης του παλμού λέιζερ) σύμφωνα με την σχέση: $L=(1/2)c\Delta t$ (3.1) όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός και ο παράγοντας $1/2$ διότι η δέσμη ταξιδεύει δύο φορές την απόσταση μεταξύ του συστήματος μέτρησης και του στόχου.

Ενδεικτικά για απόσταση 15 m, το Δt είναι 0.1 μsec , έτσι γίνεται χρήση παλμών λέιζερ μικρής χρονικής διάρκειας (της τάξης nsec) καθώς σε διαφορετική περίπτωση θα υπάρχει αλληλεπικάλυψη των παλμών εκπομπής και λήψης. Αντίστοιχο πρόβλημα μπορεί να συμβεί με τον ρυθμό επανάληψης του λέιζερ που δεν πρέπει να είναι ιδιαίτερα μεγάλος (για ρυθμό επανάληψη 100 Hz, η μέγιστη απόσταση μέτρησης είναι 106 m, ενώ στα 10000 Hz, 104 m).

Τα συστήματα μέτρησης απόστασης με τηλεμετρία χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές και διαστημικές εφαρμογές καθώς και σε διάφορες εφαρμογές μέτρησης αλλά και παρακολούθησης της θέσης αντικειμένων σε μεγάλες αποστάσεις. Μία άλλη τεχνική μέτρησης μεγάλων - μεσαίων αποστάσεων χρησιμοποιεί σταθεροποιημένα λέιζερ συνεχούς λειτουργίας και βασίζεται στην ημιτονική διαμόρφωση του πλάτους της δέσμης (ονομάζεται και τηλεμετρία διαμορφωμένης δέσμης). Ο χρόνος ταξιδιού της δέσμης t_R σχετίζεται με την διαφορά φάσης $\Delta\phi_R$ μεταξύ των ημιτονοειδών σημάτων εκπομπής και λήψης σύμφωνα με την σχέση: $t_R = \Delta\phi_R / \omega_{\text{mod}}$ όπου ω_{mod} είναι η κυκλική συχνότητα διαμόρφωσης της δέσμης ($\omega_{\text{mod}}=2\pi f_{\text{mod}}$).

Σαν αποτέλεσμα, η απόσταση του στόχου μπορεί να υπολογιστεί από εξίσωση αντίστοιχη αυτής του LIDAR: $L = (1/2) c t_R = c \Delta \phi r / 2 \omega_{\text{mod}}$

Σχετικά με τις ικανότητες ενός συστήματος μέτρησης απόστασης με διαμορφωμένη δέσμη, η συχνότητα διαμόρφωσης καθορίζει την μέγιστη μετρούμενη απόσταση, η οποία δίνεται από την σχέση: $L_{\text{max}} = c / 2 f_{\text{mod}}$ (π.χ. για συχνότητα διαμόρφωσης 100 kHz, η μέγιστη μετρούμενη απόσταση είναι 1.5 km). Το σύστημα είναι ικανό για μετρήσεις με ακρίβεια καλύτερη από 1 cm ανα μερικά km. Ένα σημείο που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή είναι η ατμοσφαιρική κατάσταση ανάλογα με το είδος του laser που χρησιμοποιείται. Σαν παράδειγμα, το laser CO₂ λειτουργεί καλύτερα σε ομίχλες, όμως τα laser He-Ne, διοδικά και Nd:YAG laser ευθυγραμμίζονται πιο εύκολα λόγω του μήκους κύματος που διαθέτουν.

Στα πλεονεκτήματα των εν λόγω συστημάτων περιλαμβάνονται:

- Μεγάλη εμβέλεια (από μέτρα έως και χιλιόμετρα, ανάλογα με την ισχύ του laser και την εφαρμογή),
- Αυξημένη ακρίβεια,
- Ταχεία λειτουργία,
- Κατάλληλα για μέτρηση αντικειμένων από μεγάλο εύρος υλικών,
- Συστήματα λέιζερ χρησιμοποιούνται όπου απαιτείται ανίχνευση μικρών αντικειμένων ή θέσης με ακρίβεια
- Συγκριτικά φθηνή τεχνολογία πλέον (σε σχέση με τις παρεχόμενες δυνατότητες)

Όσον αφορά στους περιορισμούς, επισημαίνεται ότι :

- Έναντι των άλλων αισθητήρων, τα λέιζερ έχουν μικρότερο εύρος θερμοκρασίας (-10...50 °C).
- Λόγω της μεγάλης ταχύτητας διάδοσης του φωτός, είναι προβληματική η μέτρηση αποστάσεων μικρότερη του 1μ
- Περιορισμένες δυνατότητες σε συνθήκες πολύ έντονου φωτισμού καθώς και παρουσίας καπνού ομίχλης κλπ.
- Συγκριτικά μεγάλος όγκος και βάρος.

4.8.2 Τύποι Οπτικών Αισθητήρων Προσέγγισης

Οι βασικότεροι τύποι οπτικών αισθητήρων προσέγγισης αφορούν σε:

Χωριστού πομπού – δέκτη:

Ο τύπος αυτός του αισθητήρα έχει τον πομπό και το δέκτη προσαρμοσμένους σε διαφορετικά σώματα και πρέπει να βρίσκονται σε οπτική επαφή. Το σύστημα αποτελείται από δύο ανεξάρτητα εξαρτήματα: ένα πομπό και ένα δέκτη. Το φως ταξιδεύει μόνο προς μια κατεύθυνση (από τον πομπό προς το δέκτη). Δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας στις εφαρμογές όπως σκόνη στον αέρα, ρύποι στους φακούς, ατμός/υγρασία δεν

παρεμποδίζουν άμεσα το σύστημα. Αυτό ονομάζεται μεγάλη αναισθησία σε λέρωμα ή υψηλό κέρδος απολαβής. Ο αισθητήρας πομπού-δέκτη διακρίνεται για την μεγάλη εμβέλεια του.

Οπτικός αισθητήρας με ανακλαστήρα:

Ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται στο ίδιο σώμα. Το εκπεμπόμενο φως επιστρέφει στο δέκτη με χρήση ανακλαστήρα. Ένα αντικείμενο που διακόπτει τη δέσμη, ενεργοποιεί τη λειτουργία μεταγωγής. Συγκριτικά με τους αισθητήρες πομπού-δέκτη, οι αισθητήρες ανάκλασης έχουν μεσαία εμβέλεια.

Οπτικός αισθητήρας με ανάκλαση στο αντικείμενο - Αισθητήρες Διάχυσης:

Ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται στο ίδιο σώμα. Το αντικείμενο που πρόκειται να ανιχνευτεί, ανακλά προς το δέκτη το φως, που δέχεται από τον πομπό. Ανάλογα με το ποσοστό του φωτός που ανακλά, γίνεται και η ανίχνευση. Λόγου χάρη, σε μια γραμμή παραγωγής μπουκαλιών, με ένα ρυθμιζόμενο διακόπτη μπορούμε να ανιχνεύσουμε αν υπάρχει ή όχι μπουκάλι και κατά πόσο είναι γεμάτο ανάλογα με την ποσότητα του φωτός που θα περάσει από το μπουκάλι.

4.9 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ ΘΕΣΗΣ

Πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία αισθητηρίων οδήγησαν στην κατασκευή ψηφιακών οργάνων ανάγνωσης θέσης που ονομάζονται κωδικοποιητές θέσης (Encoders).

Σε πολλές διεργασίες κατασκευής και παραγωγής αποτελούν είδος πρώτης ανάγκης ως αξιόπιστοι μετατροπείς που διασφαλίζουν επιτήρηση θέσης με μεγάλη ακρίβεια.

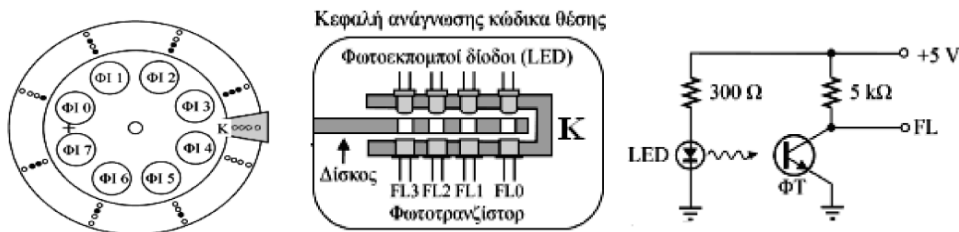
Διακρίνονται σε Περιτροφικούς και Γραμμικούς κωδικοποιητές και μετατρέπουν τη κίνηση σε ψηφιακά σήματα. Η γραμμική μέτρηση είναι δυνατή και με περιστροφικούς κωδικοποιητές σε συνδυασμό με γρανάζι και οδοντωτό κανόνα ή τροχούς μέτρησης όπως περιγράφεται στη συνέχεια. Η ανίχνευση διασφαλίζεται με την στέρεη τοποθέτηση παλμικού δίσκου/ταινίας στον περιστροφικό/γραμμικό άξονα.

Στο εμπόριο διατίθενται ζεύγη φωτοεκπομών διόδων-φωτοτρανζίστορ σε ένα ενιαίο εξάρτημα σχήματος Π γνωστό ως φωτοανασχετήρας (photointerruptor). Η όλη κατασκευή είναι κλεισμένη σε κυλινδρικό κουτί από το οποίο βγαίνει μόνο ο άξονας πάνω στον οποίο είναι στερεωμένος ο δίσκος. Αρκεί να συνδέσει κανείς το άξονα αυτό πάνω στον άξονα του οποίου θέλει να μετρήσει τη γωνία στροφής. Το όργανο χρησιμοποιείται κατά κόρο στις αυτόματες εργαλειομηχανές για μέτρηση της θέσης του φορείου καθώς και σε ρομποτικές εφαρμογές.

Ο οπτικός τρόπος δημιουργίας σημαιών και κωδικοποίησης θέσης κινούμενων τμημάτων είναι προτιμότερος ως πλέον αξιόπιστος σε σχέση με τη χρήση μηχανικών διακοπών και χρησιμοποιείται ευρύτατα στα επιστημονικά όργανα, ρομποτικά συστήματα και στα μηχανουργικά εργαλεία, η λειτουργία των οποίων ελέγχεται μέσω Η/Υ. Σε περιπτώσεις ταχύτατα κινούμενων τμημάτων μπορεί να θεωρηθεί ως ο μοναδικός τρόπος κωδικοποίησης.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένας δίσκος αλλαγής οπτικών φίλτρων (επιλογής ζώνης φάσματος) ενός απλού φωτομέτρου. Ο αύξοντας αριθμός του φίλτρου που βρίσκεται στην οπτική δέσμη (η οποία υποτίθεται ότι είναι κάθετη στο σημείο του δίσκου που σημειώνεται με +) “κωδικοποιείται” με ένα σύστημα ανοικτών ή κλειστών οπών στην εξωτερική περιφέρεια του δίσκου.

Η κατάσταση των οπών “διαβάζεται” από την κεφαλή ανάγνωσης Κ. Εδώ η κεφαλή περιλαμβάνει 4 ζεύγη φωτοεκπομπών διόδων-φωτοκυτταρων Ο συνδυασμος των εξόδων όλων των φωτοκύτταρων δίνει την πραγματική γωνιακή θέση του άξονα.

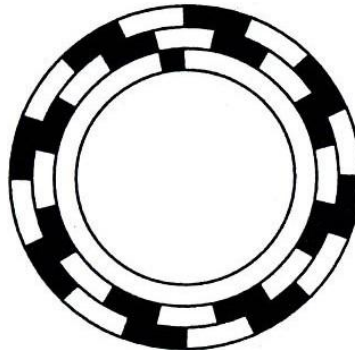


Σχήμα 4-23: Επιλογή φίλτρου φωτομέτρου με οπτική κωδικοποίηση (ΦΙ0-ΦΙ7: οπτικά φίλτρα, Κ:κεφαλή ανάγνωσης κώδικα θέσης)το κύκλωμα δείχνει τον τρόπο καλωδίωσης καθενός από τα 4 ζεύγη φωτοεκπομπών διόδων-φωτοτρανζίστορ).Ο πίνακας αλήθειας των εξόδων του κωδικοποιητή φαίνεται στο σχήμα (απολυτ. γραμμ. κωδικοποιητή)

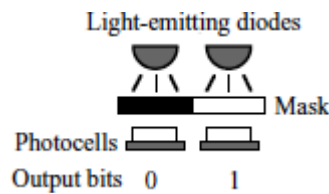
Οι κωδικοποιητές θέσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: αυξητικοί και απόλυτοι κωδικοποιητές.

4.9.1 Αυξητικοί Κωδικοποιητές Θέσης

Στις περισσότερες ρομποτικές εφαρμογές προτιμάται η χρήση αυξητικών κωδικοποιητών διότι από κατασκευαστικής απόψεως είναι πιο απλοί και κατά συνέπεια πιο φθηνοί. Οι αυξητικοί κωδικοποιητές παράγουν έναν προκαθορισμένο με ακρίβεια αριθμό παλμών ανά περιστροφή. Μετρούν την γωνιακή ή γραμμική απόσταση κίνησης. Ο κωδικοποιημένος δίσκος ή ταινία (περιστροφική και γραμμική κίνηση αντίστοιχα) διαίρεται σε χωριστά τμήματα που είναι διαδοχικά διαφανή ή αδιαφανή (εγκοπές). Μια πηγή φωτός με LED εκπέμπει μια παράλληλα προσανατολισμένη φωτεινή δέσμη που φωτίζει όλα τα τμήματα του κωδικοποιημένου δίσκου/ταινίας. Φωτοστοιχεία λαμβάνουν το διαμορφωμένο φως και το μετατρέπουν σε δύο ημιτονοειδή σήματα. Τα μαύρα κελιά αναπαριστούν τη μη ανίχνευση παλμού και έχουν τιμή ‘0’ ενώ τα λευκά (ανίχνευση παλμού) αναπαριστούν το ‘1’.



Σχήμα 4-24: Αναπαράσταση ενός αυξητικού 2-ψηφίου κωδικοποιητή με 3 ζευγη (bits)



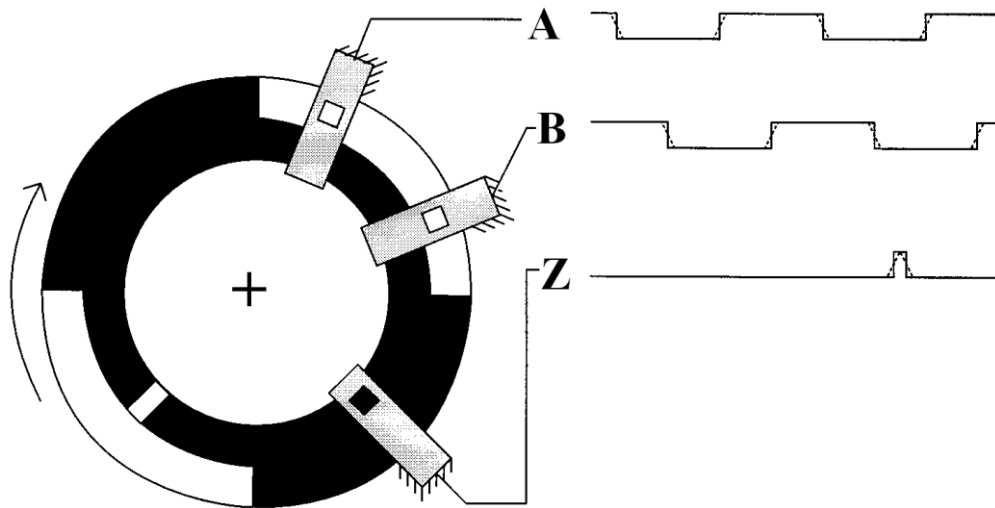
Σχήμα 4-25: Τοποθέτηση των 2 ζευγών LED - φωτοκύτταρων για την ανάγνωση του ψηφιακού κωδικοποιητή του σχήματος

Decimal	Binary	Gray code
3	11	00
2	10	01
1	01	11
0	00	10

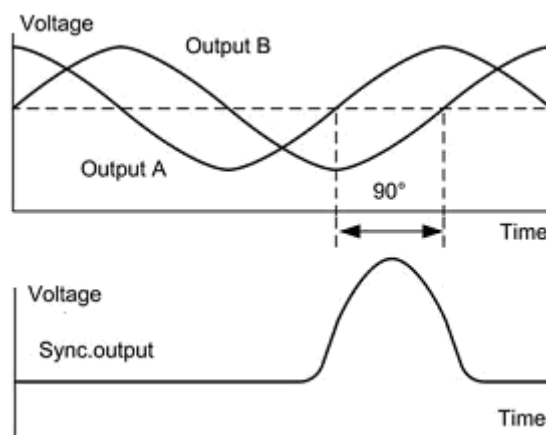
Σχήμα 4-26: Έξοδος του κωδικοποιητή

Τα σήματα A και B (βλέπε ακόλουθο σχήμα) είναι μετατοπισμένα το ένα από το άλλο κατά 90°. Η διαφορά φάσης μεταξύ των σημάτων επιτρέπει την αξιολόγηση της διεύθυνσης περιστροφής (αριστερά-δεξιά). Για να το πετύχουμε αυτό αρκεί να τοποθετήσουμε τα δύο ζεύγη φωτεινής πηγής- φωτοτρανζίστορ μετατοπισμένα μεταξύ τους κατά ¼ της απόστασης των οπών. Αλλιώς δύο δίσκους ή ταινίες μετατοπισμένων κατά ¼ της απόστασης των οπών αντίστοιχα. Έτσι αν η κίνηση είναι προς τα δεξιά η μια παλμοσειρά προηγείται της άλλης κατά T/4, όπου T η περίοδος του παλμού - ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν η κίνηση είναι προς τα αριστερά.

Για τον ορισμό της απόλυτης θέσης αναφοράς (απόλυτο μηδέν) οι κωδικοποιητές αυτού του τύπου φέρουν συνήθως και ένα τρίτο ίχνος (δείκτης αναφοράς), το οποίο αποτελείται από ένα μόνο αδιαφανή τομέα. Μια τυπική μορφή της εξόδου ενός τέτοιου αυξητικού γραμμικού κωδικοποιητή φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 4-27: Στοιχεία λειτουργίας αυξητικού κωδικοποιητή



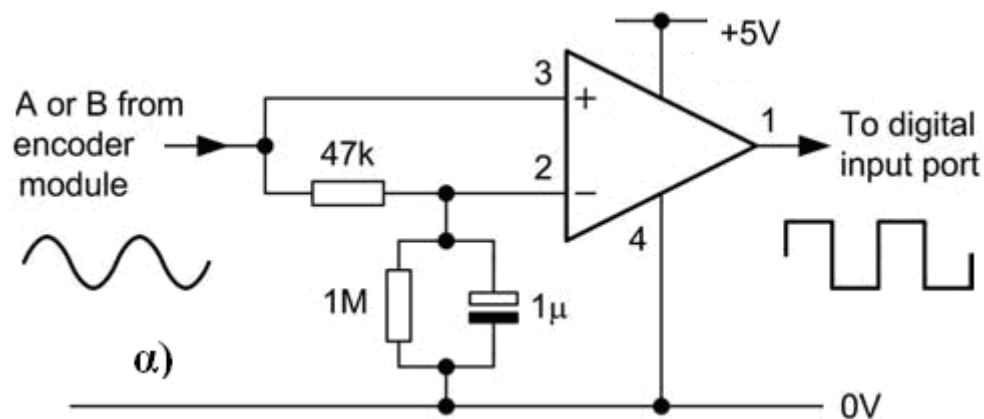
Σχήμα 4-28: Τυπική μορφή της εξόδου ενός τέτοιου αυξητικού γραμμικού κωδικοποιητή

Με τη χρήση κατάλληλου εξωτερικού κυκλώματος είναι δυνατός ο υπολογισμός των γωνιακών ταχυτήτων της άρθρωσης από τις μετρήσεις γωνίας. Σε κάθε μετάβαση του αισθητήρα από διαφανή σε αδιαφανή τομέα και αντίστροφα παράγεται ένας παλμός, έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε τη ταχύτητα με τους εξής τρεις τρόπους:

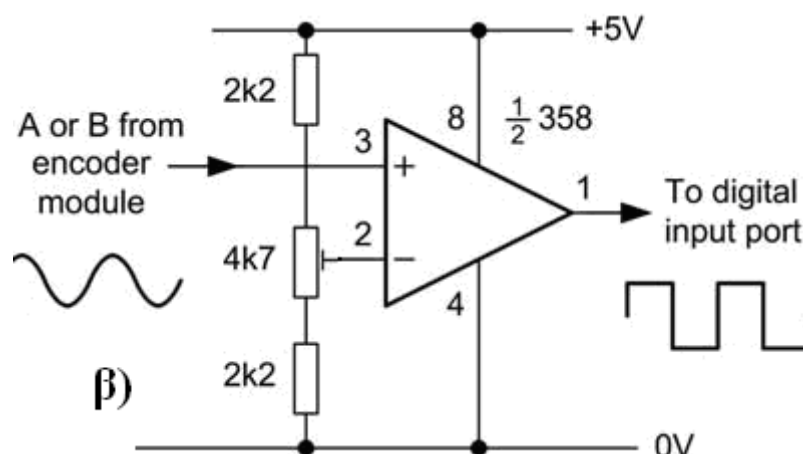
1. Κάνοντας χρήση ενός μετατροπέα τάσης-προς-συχνότητα (V/F) με αναλογική έξοδο,
2. Μετρώντας ψηφιακά τη συχνότητα των παλμών που παράγονται. Είναι κατάλληλη για μετρήσεις σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής,
3. Μετρώντας ψηφιακά το χρονικό διάστημα που διαρκούν οι παραγόμενοι παλμοί. Είναι κατάλληλη για μετρήσεις σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής.

Παρά την απλούστερη κατασκευαστική διαμόρφωση σε σχέση με τους απόλυτους, η χρήση τους σε ένα σύστημα κίνησης και ελέγχου αρθρώσεων απαιτεί την ύπαρξη και λειτουργία ορισμένων συνοδευτικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Πιο συγκεκριμένα κάθε κωδικοποιητής διαθέτει τα δικά του ηλεκτρονικά επεξεργασίας σήματος, τα οποία και παρέχουν απ' ευθείας στον κεντρικό ελεγκτή ψηφιακές μετρήσεις γωνιών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται εκτός των άλλων κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις μέτρησης και αποθήκευσης. Επειδή όμως οι πληροφορίες και τα δεδομένα των μετρήσεων αποθηκεύονται σε μη-στατικές μνήμες είναι πιθανό να σημειωθεί αλλοίωσή τους εξαιτίας διαταραχών που δρουν στο ηλεκτρονικό κύκλωμα ή ακόμα και διακυμάνσεων στην τάση τροφοδοσίας.

Τα μειονεκτήματα αυτά προφανώς δεν εμφανίζονται στους απόλυτους όπου η πληροφορία κωδικοποιείται απ' ευθείας στον οπτικό δίσκο.



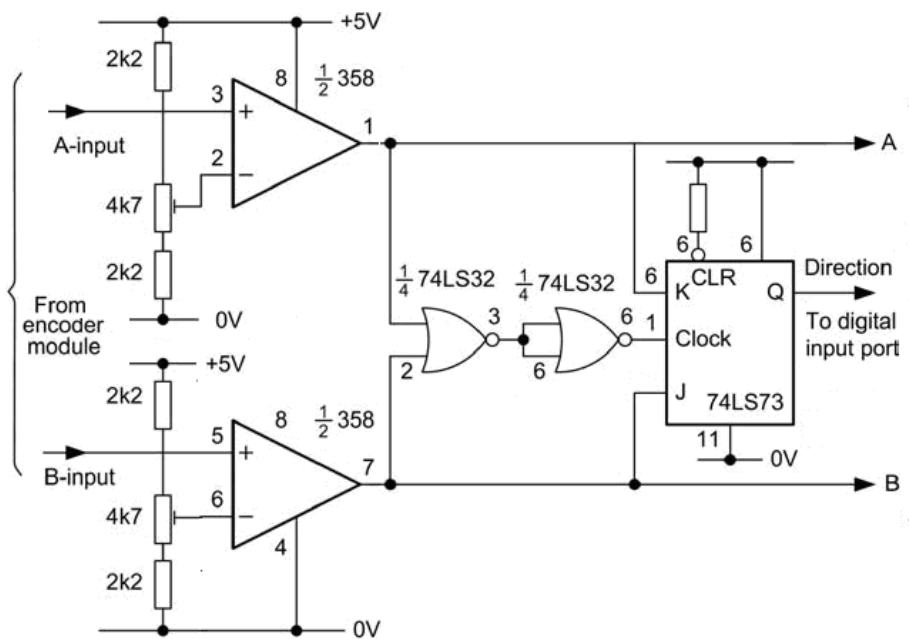
Σχήμα 4-29: (α) Κύκλωμα προετοιμασίας ψηφιακής εξόδου του κωδικοποιητή με χαμηλοπερατό φίλτρο για μετρήσεις γωνιακής ταχύτητας



Σχήμα 4-30: (β) Κύκλωμα προετοιμασίας ψηφιακής εξόδου του κωδικοποιητή με χαμηλοπερατό φίλτρο για μετρήσεις χαμηλών ταχυτήτων και θέσης.

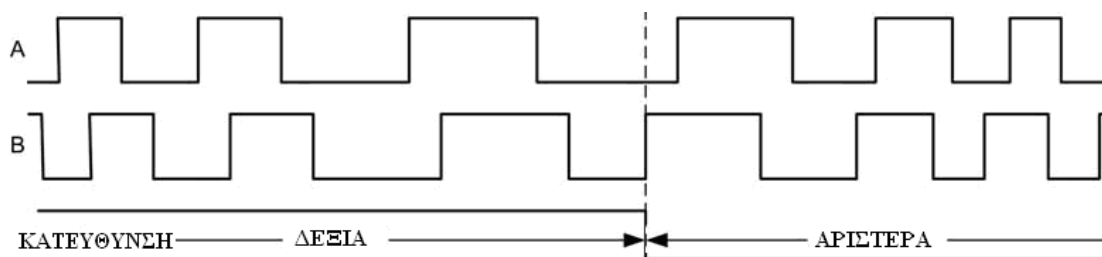
Για απλές εφαρμογές μέτρησης ταχύτητας μια τυπική μορφή κυκλώματος για τη προσαρμογή του ημιτονοειδούς σήματος από τις εξόδους των κωδικοποιητών μπορεί να γίνει με ένα τελεστικό συγκριτή και ένα χαμηλοπερατό φίλτρο όπως φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα (α).

Αυτό το απλό κύκλωμα είναι αναποτελεσματικό σε πολύ χαμηλές συχνότητες καθώς και για απόλυτη μέτρηση ταχύτητας. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος (β). Για να παρέχουμε μια έξοδο η οποία θα δείχνει αν η περιστροφή είναι δεξιόστροφη η αριστερόστροφη χρειαζόμαστε επιπλέον λογικά σήματα και ένα δισταθές JK στοιχείο όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Η έξοδος του οποίου δίνει λογικό 1 για δεξιόστροφη κίνηση και λογικό 0 αν είναι αριστερόστροφη.



Σχήμα 4-31: Κύκλωμα προσδιορισμού αριστερής η δεξιάς κίνησης που συνδέεται στις εξόδους ενός Κοίνου γωνιακού κωδικοποιητή θέσεως

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κυματομορφές που παράγει το κύκλωμα προσδιορισμού αριστερής η δεξιάς κίνησης που συνδέεται στις εξόδους ενός Κοίνου γωνιακού κωδικοποιητή θέσεως,



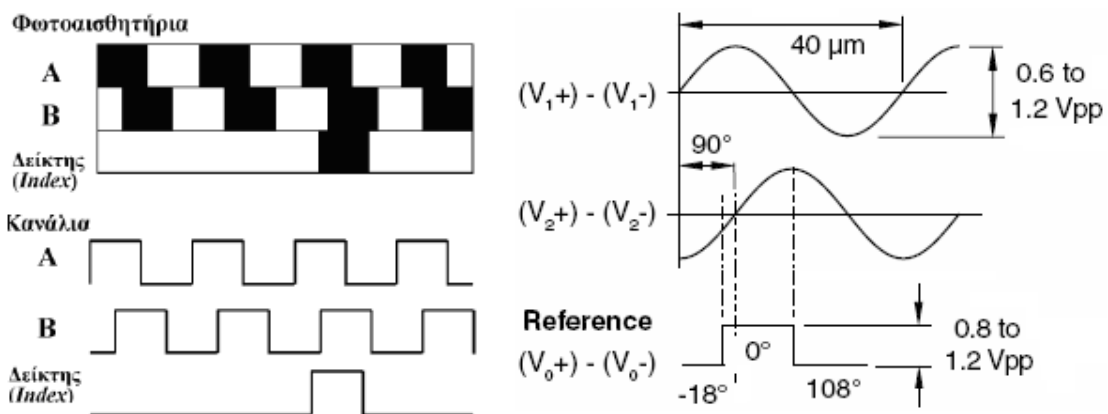
Σχήμα 4-32: Οι κυματομορφές που παράγει το κύκλωμα

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα παράδειγμα γραμμικού κωδικοποιητή του εμπορίου που χρησιμοποιείται ευρύτατα σε εφαρμογές.

Ο εν λόγω γραμμικός οπτικός κωδικοποιητής αυξητικού τύπου αποτελείται από μια μεταλλική ταινία όπου έχουν ανοιχτεί μια η συνηθέστερα δυο σειρές εγκοπών και από ένα σύστημα πηγής με δυο φωτοαισθητήρες. Κατά μήκος της ταινίας ολισθαίνει ο παλμοδότης σε μορφή Π που ‘αγκαλιάζει’ τη πλάκα. Από την μια μεριά του Π υπάρχει φωτεινή πηγή (2 LEDs) που εκπέμπει λεπτή δέσμη φωτός και από την άλλη 2 φωτοδιόδους ή φωτοτρανζίστορ Η φωτοευαίσθητη μονάδα συνδέεται κατάλληλα σε κύκλωμα στην έξοδο του οποίου παίρνομε είτε ψηλή τάση (όταν το Π βρίσκεται μπροστά από οπή) είτε χαμηλή (στην αντίθετη περίπτωση).

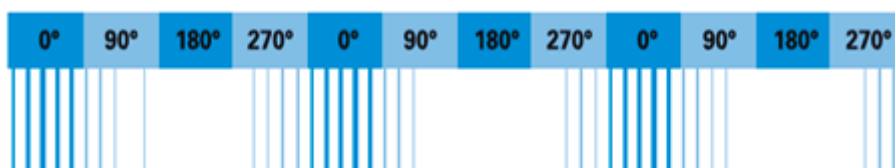
Η εναλλαγή αυτή ονομάζεται παλμός - τάσης. Ο αριθμός των παλμών αντιπροσωπεύει τον αριθμό των οπών που έχει συναντήσει ο παλμοδότης κατά τη κίνησή του. Επειδή η απόσταση μεταξύ των οπών είναι συγκεκριμένη, η απόσταση που έχει διανύσει ο παλμοδότης/δεικτης θα είναι:

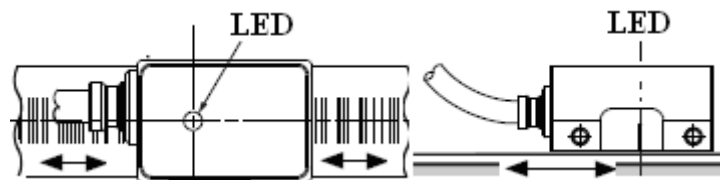
$$\text{απόσταση} = \text{αριθμός παλμών} * \text{απόσταση μεταξύ οπών.}$$



Σχήμα 4-33: Αναπαράσταση κωδικοποιημένης ταινίας γραμμικού αυξητικού κωδικοποιητή θέσης των 2 bits (2 ίχνη).

Η διακριτική ικανότητα του οργάνου είναι η απόσταση μεταξύ δύο οπών. Στο διάστημα αυτό ο απαριθμητής δίδει ένα παλμό, που είναι και το ελάχιστο που μπορεί να αναγνώσει ο απαριθμητής παλμών. Υπάρχουν σήμερα κωδικοποιητές θέσης που έχουν διακριτική ικανότητα της τάξης του 1/10 του χιλιοστού.

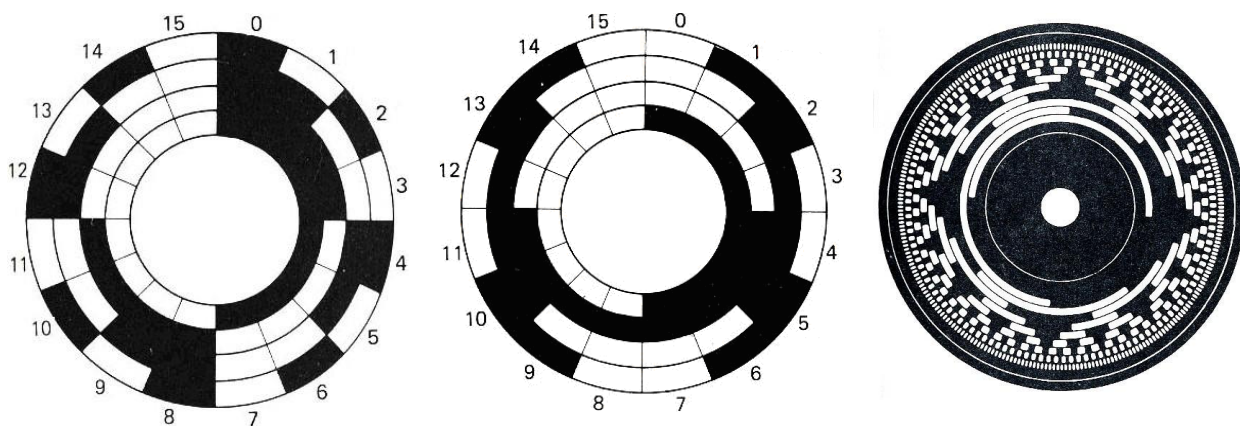




Σχήμα 4-34: Γραμμικός κωδικοποιητής αυξητικού τύπου

4.9.2 Απόλυτοι Κωδικοποιητές Θέσης

Ένας απόλυτος κωδικοποιητής αποτελείται από έναν γυάλινο οπτικό δίσκο, ο οποίος φέρει ομόκεντρους κύκλους που ονομάζονται ίχνη (tracks). Κάθε ίχνος φέρει ένα σύνολο από διαδοχικούς διαφανείς και αδιαφανείς τομείς (sectors), οι οποίοι έχουν προκύψει με απόθεση μεταλλικού φιλμ. Σε κάθε ίχνος εκπέμπεται δέσμη φωτός, η οποία κατευθύνεται σε μία φωτοδίοδο ή ένα φωτοτρανζίστορ που βρίσκεται τοποθετημένο στην πίσω πλευρά του οπτικού δίσκου. Με κατάλληλη διαρρύθμιση των διαφανών και αδιαφανών τομέων του δίσκου είναι δυνατός ο μετασχηματισμός ενός πεπερασμένου πλήθους γωνιακών θέσεων σε ψηφιακά δεδομένα. Ο αριθμός των ιχνών καθορίζει το μήκος της προκύπτουσας ψηφιολέξης και κατά συνέπεια την ανάλυση (διακριτική ικανότητα) του κωδικοποιητή. Με χρήση κλασικής ψηφιακής κωδικοποίησης και αρίθμησης για τις γωνιακές θέσεις είναι δυνατό να δημιουργηθεί ένα πρόβλημα, το οποίο σχετίζεται με την ταυτόχρονη μετάβαση πολλών ιχνών από διαφανείς σε αδιαφανείς τομείς και αντίστροφα. Στην περίπτωση αυτή είναι πιθανό να υπάρξει ασάφεια στις μετρήσεις με αποτέλεσμα να πάρουμε λανθασμένα αποτελέσματα. Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος συχνά γίνεται χρήση του κώδικα Gray με βάση τον οποίο σε κάθε διακεκριμένη μετάβαση έχουμε μία μόνο αλλαγή στην αντίθεση (contrast) του οπτικού δίσκου. Στα παρακάτω σχήματα δίνονται οι σχηματικές αναπαραστάσεις δύο απόλυτων κωδικοποιητών με 4 ίχνη, οι οποίοι μπορούν να ορίσουν $24=16$ διαφορετικές γωνιακές θέσεις (για κάθε περιστροφή 22.5 μοίρων έχουμε αλλαγή εξόδου). Έτσι στη θέση 0 \rightarrow 0- 22.5 μοίρες και στη θέση 15 \rightarrow 337.5- 360 Από αυτούς ο πρώτος χρησιμοποιεί κλασική ψηφιακή κωδικοποίηση ενώ ο δεύτερος χρησιμοποιεί κωδικοποίηση Gray. Από απλή παρατήρηση των δύο σχημάτων μπορεί κανείς να διακρίνει τις υφιστάμενες διαφορές και τη φιλοσοφία στην οποία στηρίζεται ο κώδικας Gray.

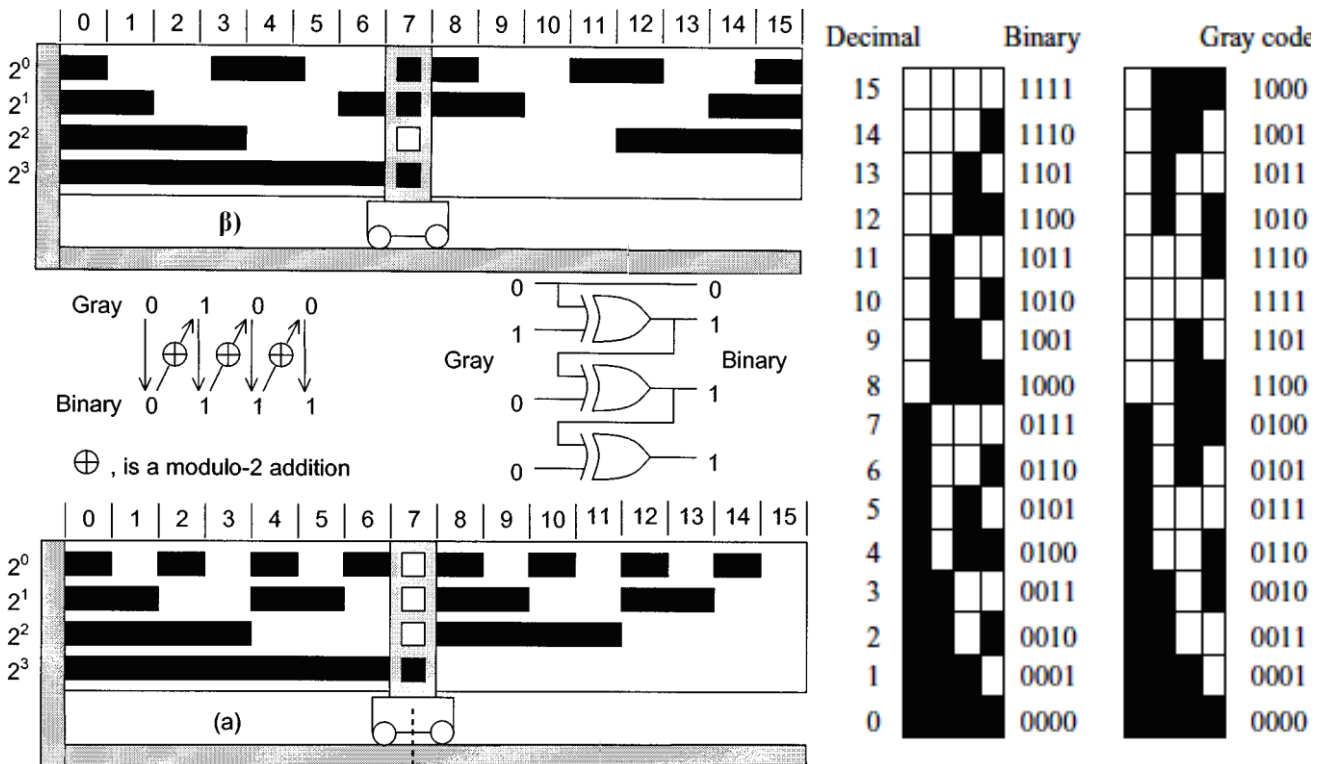


Σχήμα 4-35: Αναπαράσταση ενός 4-bit κωδικοποιητή με ψηφιακή κωδικοποίηση, με κωδικοποίηση Gray και απολυτός κωδικοποιητής με ανάλυση 10-bits

Σύμφωνα με τις συνήθειες ανάγκες ελέγχου μία τυπική ανάλυση για απολυτό κωδικοποιητή θέσης είναι 12 τουλάχιστον bits (ίχνη). Στην περίπτωση αυτή μπορούν να κωδικοποιηθούν $2^{12} = 4096$ διαφορετικές γωνιακές θέσεις, όμως η πολυπλοκότητα και το κόστος του αισθητήρα αυξάνονται σημαντικά. Στο σχήμα που προηγήθηκε φαίνεται ένας absolute encoder με ανάλυση 10 bits.

Ο αισθητήρας αυτός είναι σε θέση να κωδικοποιήσει $2^{10} = 1024$ διακεκριμένες γωνίες της άρθρωσης στην οποία και τοποθετείται.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η τυπική διάταξη ταινίας. Η πλάκα είναι χαραγμένη με πιο πολύπλοκο τρόπο. Υπάρχουν στην προκειμένη περίπτωση 4 διαφορετικές γραμμές σπών. Σε κάθε θέση της πλάκας κάθε 'μάτι' δίδει την πληροφορία 0 ή 1 (σκοτεινή περιοχή ή φωτεινή περιοχή). Στην θέση του κινητού στελέχους, η ένδειξη θα είναι 0 - 1 - 0 - 0 που πράγματι αντιστοιχεί σε μετακίνηση 7 - 8 cm από την αρχή της κλίμακας. Άρα για κάθε θέση της πλάκας σχετικά με το κινητό στέλεχος έχουμε ένα μόνο 4-ψήφιο δυαδικό αριθμό.



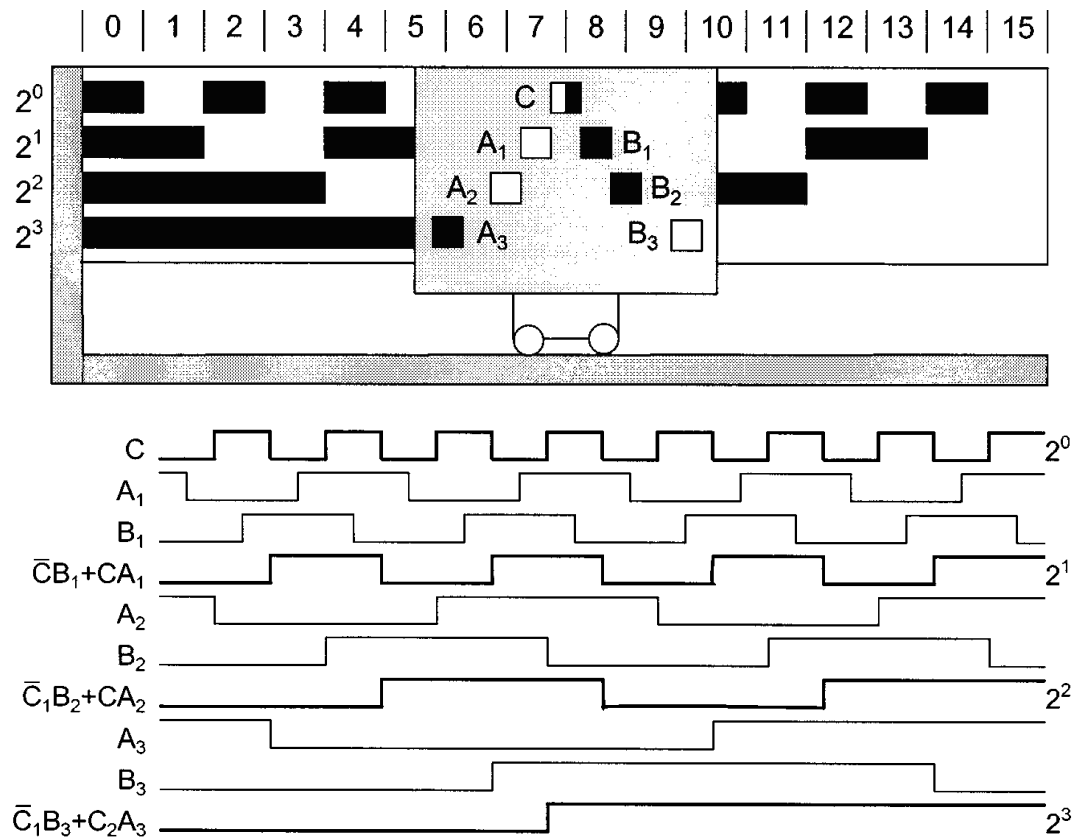
Σχήμα 4-36: Αισθητήρας με έξοδο σε κώδικα gray και δυαδικό για κεφαλή Π με 4 ζεύγη

Έτσι μπορούμε να φτιάξουμε τον παρακάτω πίνακα που αντιστοιχίζει την ένδειξη του αισθητηρίου με την απόσταση από την αρχή της πλάκας. Συνεπώς πρόκειται για απόλυτη

μέτρηση. Ο δυαδικός αυτός αριθμός στη συνέχεια συνήθως διαβάζεται από Η/Υ. Είμαστε σε θέση να καταλάβουμε ότι η διακριτική ικανότητα του παραπάνω αισθητηρίου είναι 1 cm. Αν θέλαμε να την κάνουμε καλύτερη - ας πούμε 0,5 cm - απλά πρέπει να προσθέσουμε άλλη μια γραμμή στην κλίμακα.

Διακριτική Ικανότητα του οργάνου = Μήκος μέτρησης / 2ν όπου ν : αριθμός των 'ματιών' που χρησιμοποιούνται. Εύκολα φαίνεται ότι για να πετύχει κανείς μεγάλη διακριτική ικανότητα και μεγάλο μήκος μέτρησης πρέπει να αυξήσει πολύ τον αριθμό των 'ματιών', πράγμα που κάνει πολύπλοκο και ακριβό το όργανο.

Μια εναλλακτική μορφή (vee scan) ενός απόλυτου γραμμικού κωδικοποιητή θέσης για την αποφυγή της ασάφειας της εξόδου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Έπειτα με συνδυαστική λογική μπορούμε να αναπαραστήσουμε το 4-ψήφιο δυαδικό σήμα εξόδου του κωδικοποιητή.



Σχήμα 4-37: α) απόλυτος γραμμικός κωδικοποιητής θέσης μορφής V β) συνδυασμένη δυαδική εξόδος.

Συγκριτικά θα λέγαμε ότι οι αυξητικοί οπτικοί κωδικοποιητές θέσης χρησιμοποιούνται ευρύτατα γιατί είναι πολύ πιο απλοί στη κατασκευή και οικονομικότεροι σε σύγκριση με τους απολυτούς.

Ενα μειονέκτημα των αυξητικών οπτικών κωδικοποιητών μέτρησης της γωνιακής θέσης είναι η πιθανότητα καταμέτρησης λανθασμένων παλμών που πιθανά οφείλονται σε ηλεκτρικό θόρυβο, μεταβατικά φαινόμενα ή άλλες εξωτερικές διαταραχές.

Τα σφάλματα αυτά εξαλείφονται με τη χρήση απολυτών κωδικοποιητών (absolute encoders), που χρησιμοποιούν δίσκο πολλαπλής ζώνης και ορίζουν τη θέση του άξονα σε δυαδική μορφή, συχνά σε κώδικα Gray.

Οι απόλυτοι κωδικοποιητές παρέχουν μια απόλυτη αριθμητική τιμή για κάθε γωνιακή θέση χωρίς να απαιτείται η παρεμβολή κάποιου ψηφιακού μετατροπέα. Η κωδικοποιημένη τιμή είναι άμεσα διαθέσιμη με την παροχή τροφοδοσίας. Αυτή η “απόλυτη” τιμή δεν χρειάζεται διαδικασία αναφοράς όπως στους αυξητικούς κωδικοποιητές. Οι απόλυτοι κωδικοποιητές χρησιμοποιούνται εκεί όπου οι γωνιακές θέσεις πρέπει να ανατεθούν σε μια ορισμένη τιμή και όπου η ανίχνευση της τρέχουσας θέσης είναι απολύτως απαραίτητη σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.

Οι απολυτοί κωδικοποιητές αυξάνουν την πολυπλοκότητα και το κόστος του συστήματος (παράλληλη έξοδος). Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές όπου οι περιστροφές εμφανίζονται σχετικά αργά ή/και σπανία (όπως για την μέτρηση της γωνίας στροφής σε κατευθυντήριους τροχούς) Βρίσκουν επίσης ευρεία εφαρμογή σε συνδέσμους ρομποτικών βραχιόνων

5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται ενδεικτικά μερικές βασικές εφαρμογές των συστημάτων προσδιορισμού ταχύτητας, επιτάχυνσης και θέσης.

5.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Οι αισθητήρες ταχύτητας χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον στα οχήματα και στα μέσα μεταφοράς. Οι εφαρμογές αφορούν από ποδήλατα έως και πλοία και αεροσκάφη.

Όσον αφορά στους αισθητήρες μέτρησης της επιτάχυνσης και ειδικότερα τις ταχογεννήτριες, επισημαίνεται πως βρίσκουν ευρεία χρήση στη βιομηχανία όπου μπορούμε να καθορίσουμε εύκολα την ταχύτητα περιστροφής οποιουδήποτε εξαρτήματος έχουμε προσαρτήσει σ' αυτήν. Οι ταχογεννήτριες διατίθενται σε διαφορετικές «μεγάλης κλίμακας» ταχύτητες για τις διάφορες εφαρμογές.

Οι ταχογεννήτριες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα μέτρησης και ελέγχου όπου είναι απαραίτητη η ένδειξη κατεύθυνσης όπως επίσης και σε ιμάντες μεταφοράς, εργαλειομηχανές, ανεμιστήρες κλπ.

Τα επιταχυνσιόμετρα, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο σχετικό κεφάλαιο, χρησιμοποιούνται κυρίως σε Αδρανειακά συστήματα πλοήγησης, που συνήθως αποκαλούνται Inertial Navigation System (INS), ή Inertial Reference System (IRS), ή Inertial Reference Unit (IRU), ή Air Data Inertial Reference Unit (ADIRU), τα οποία συστήματα συνδυάζοντας την χρήση Επιταχυνσιομέτρων Γυροσκοπίων και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Μπορούν να υπολογίζουν την θέση ενός οχήματος στον χώρο καθώς και την στάση και ταχύτητα αυτού με πολύ μεγάλη ακρίβεια, παράμετροι που είναι απολύτως απαραίτητοι για την λειτουργία του αυτόματου πιλότου και την ναυσιπλοΐα αεροπλάνων πλοίων και υποβρυχίων.

Το επιταχυνσιόμετρο χρησιμοποιείται επίσης για την μέτρηση και καταγραφή των επιταχύνσεων στους τρεις άξονες των αεροσκαφών από τον καταγραφέα των στοιχείων της πτήσης, χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση του αερόσακου στα αυτοκίνητα, και σε οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή απαιτείται η μέτρηση της επιτάχυνσης.

5.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά κάποια συστήματα εντοπισμού θέσης.

Active Badge

Το Active Badge είναι το πρώτο σύστημα εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους που αναπτύχθηκε στο Olivetti Research Laboratory. Αποτελείται από ένα σύστημα κυψελοειδούς εγγύτητας που χρησιμοποιεί τεχνολογία διάχυσης υπέρυθρης ακτινοβολίας.

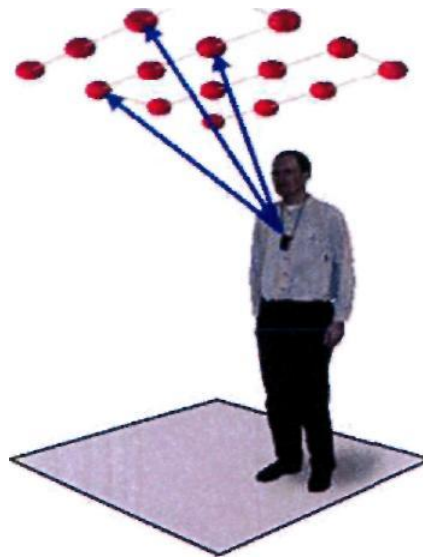
Κάθε άτομο που εντοπίζεται από το σύστημα φέρει πάνω του μία μικρή αναγνωριστική κονκάρδα (badge). Η κονκάρδα εκπέμπει ένα μοναδικό καθολικό αναγνωριστικό (global ID) περιοδικά κάθε 10 δευτερόλεπτα ή κατ' απαίτηση (on demand). Ένας κεντρικός εξυπηρέτης συγκεντρώνει αυτήν την πληροφορία μέσω σταθερών αισθητήρων υπέρυθρης ακτινοβολίας (σταθμοί βάσεις) που είναι εγκατεστημένοι στο κτίριο. Στη συνέχεια την επεξεργάζεται και παρέχει μία προγραμματιστική διεπαφή (API) για την χρησιμοποίησή της από εφαρμογές.

Το Active Badge παρέχει απόλυτη και όχι σχετική πληροφορία θέσης. Η θέση ενός ατόμου που φέρει την αναγνωριστική κονκάρδα είναι επίσης συμβολική απεικονίζοντας π.χ. το δωμάτιο ή κάποιον άλλο χώρο που βρίσκεται το άτομο. Όπως και με κάθε άλλο σύστημα που χρησιμοποιεί υπέρυθρη ακτινοβολία έτσι και το Active Badge έχει δυσκολία στο να λειτουργήσει σε μέρη όπου υπάρχουν λαμπτήρες φθορισμού ή απευθείας ηλιακή ακτινοβολία, καθώς αυτές οι πηγές φωτός παράγουν υπέρυθρη ακτινοβολία και δημιουργούνται παρεμβολές. Επίσης ένας άλλος περιορισμός είναι ότι η ακτινοβολία έχει ορισμένη ακτίνα διάδοσης και δεν διαδίδεται μέσα από τοίχους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να περιορίζονται οι κυψέλες του συστήματος σε ένα μικρό δωμάτιο. Σε μεγαλύτερα δωμάτια μπορεί να χρησιμοποιηθούν παραπάνω από ένας σταθμοί βάσης.

Active Bat

Το active bat είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί συνδυασμό υπερήχων και ηλεκτρομαγνητικών σημάτων για να εντοπίσει τη θέση ατόμων ή αντικειμένων.

Για την λειτουργία του χρειάζεται ένας μεγάλος αριθμός από δέκτες (bats βλ Εικόνα 6: Σύστημα Active Bat.) που βρίσκονται εγκατεστημένοι στην οροφή σε συνδυασμό με τοπικούς και ένα κεντρικό ελεγκτή. Το άτομο ή το αντικείμενο που παρακολουθείται φέρει ένα πομπό υπό μορφή ετικέτας το οποίο έχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό (ID tag). Περιοδικά ο σταθμός βάσης εκπέμπει ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα με το μοναδικό αναγνωστικό του πομπού που χρειάζεται ο προσδιορισμός θέσης. Όταν ο πομπός λάβει το σήμα, εκπέμπει ένα παλμό υπερήχου, ο οποίος λαμβάνεται από τους αισθητήρες της οροφής. Η διαφορά χρόνου αποστολής και λήψης των σημάτων χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της απόστασης του πομπού από τους δέκτες και με τριγωνομετρία υπολογίζεται η θέση από τον ελεγκτή. Ο ελεγκτής παραλείπει τυχόν ανακλάσεις των υπερήχων ορίζοντας το μέγιστο χρόνο μεταξύ αποστολής/λήψης.



Σχήμα 5-1: Σύστημα Active Bat

Το σύστημα μπορεί να τις εντοπίζει με ακρίβεια 9 cm (ορθότητα) για το 95 % (ακρίβεια) των μετρήσεων και προορίζεται για μικρούς χώρους. Η κλιμάκωση, η δυσκολία εγκατάστασης αλλά και το κόστος αποτελούν τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του συστήματος Active Bat.

Motion star

Η ηλεκτρομαγνητισμός προσφέρει μια κλασική μέθοδο εντοπισμού θέσης. Το μεγαλύτερο κομμάτι της έρευνας και τα προϊόντα που υποστηρίζουν την εικονική πραγματικότητα (virtual reality) και την αντίληψη της κίνησης (motion capture) ενσαρκώνουν αυτή την τεχνολογία.

Αυτό το σύστημα παράγει μαγνητικούς παλμούς μέσω μιας κεραίας που βρίσκεται σε σταθερή θέση και υπολογίζει τη θέση και τον προσανατολισμό των κινητών κεραίων με διάφορες μετρήσεις των μαγνητικών παλμών. Οι μετρήσεις αυτές εκτελούνται πάντα σε συνδυασμό με τη σταθερή επίδραση του γήινου μαγνητικού πεδίου. Το σύστημα παρέχει μεγάλη ορθότητα (accuracy), της τάξης του 1 mm, και ακρίβεια (precision) για το 100% του χρόνου. Παρόλα αυτά όμως έχει και αρκετά μειονεκτήματα όπως το υψηλό κόστος καθώς και η μείωση της απόδοσης με την παρουσία μεταλλικών αντικειμένων στο χώρο. Επίσης, η κλιμάκωσή του δεν είναι ικανοποιητική.

Cricket

Το σύστημα Cricket λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με το Active bat. Στην οροφή του χώρου είναι εγκατεστημένοι φάροι ασύρματων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων RF σε συνδυασμό με υπερηχητικούς παλμούς (beacons). Το άτομο και γενικά το αντικείμενο που θα γίνει ο

προσδιορισμός της θέσης φέρει δέκτη RF, υπερήχων και ελεγκτή. Δηλαδή ο προσδιορισμός της θέσης γίνεται τοπικά και όχι στην εξωτερική υποδομή.

Το σύστημα λειτουργεί ως εξής:

Οι φάροι εκπέμπουν περιοδικά σήμα *KPme* το αναγνωστικό του (ID) και ταυτόχρονα ένα σήμα υπερήχου. Ο δέκτης λαμβάνει το αναγνωστικό RF και αναμένει το σήμα υπερήχων. Η διαφορά χρόνου μεταξύ της λήψης του σήματος RF και του σήματος υπερήχου σε συνδυασμό με την ταχύτητα του ήχου δίνει την απόσταση του φάρου από τον δέκτη. Με τη λήψη τριών αποστάσεων χρησιμοποιώντας τριγωνομετρία υπολογίζεται η τρέχουσα θέση.

Το Cricket θεωρείται λιγότερο ακριβές σε σχέση με το Active bat. Το επιπρόσθετο βάρος επεξεργασίας στο δέκτη και τον εξειδικευμένο εξοπλισμό των φάρων ανεβάζει το κόστος της εγκατάστασης. Το πλεονέκτημα του είναι πως ο υπολογισμός της θέσης γίνεται τοπικά και άρα θεωρείται πιο ασφαλές.

RADAR

Το RADAR που αναπτύχθηκε από τη Microsoft βασίζεται στην τεχνολογία IEEE 802.11 Wave LAN. Το σύστημα χρησιμοποιεί την ισχύ των σημάτων που λαμβάνει ο σταθμός βάσης από τις ασύρματες συσκευές και ως πληροφορία για τον υπολογισμό τη θέση τους σε δύο διαστάσεις μέσα σε ένα κτίριο. Η ισχύς συγκρίνεται με τιμές ενός χάρτη στάθμης σήματος που έχει δημιουργηθεί κατά την εγκατάσταση του συστήματος. Έχουν αναπτυχτεί δύο εκδόσεις του συστήματος, τα οποία χρησιμοποιούν διαφορετική τεχνική ανάλυσης:

- τεχνική της ανάλυσης σκηνών (scene analysis)
- τεχνική του τριγωνομετρικού υπολογισμού με την μέτρηση αποστάσεων (lateration).

Το σύστημα που χρησιμοποιεί ανάλυση σκηνών έχει ορθότητα 3 μέτρων και ακρίβεια 50%. Στην περίπτωση που έχουμε μεγάλες αλλαγές στο περιβάλλον, η βάση δεδομένων των πληροφοριών που καταγράφτηκαν θα πρέπει να ανανεοοθεί ή και να δημιουργηθεί από την αρχή με αποτέλεσμα τη χρήση μεγαλύτερη ισχύ επεξεργασίας. Το σύστημα που χρησιμοποιεί την τεχνική του τριγωνομετρικού υπολογισμού έχει ορθότητα 4,3 m με την ίδια ακρίβεια.

Το πλεονέκτημα του συστήματος είναι ότι απαιτεί μικρό αριθμό σταθμών βάσης και χρησιμοποιεί την προϋπάρχουσα υποδομή που χρησιμοποιείται για την ασύρματη δικτύωση του κτιρίου.

Το μειονέκτημα του είναι ότι τα αντικείμενα που εντοπίζονται θα πρέπει να υποστηρίζουν τεχνολογία WLAN και σε κάθε αλλαγή του περιβάλλοντος είναι αναγκαία η επαναρύθμιση του συστήματος.

Easy living

Το σύστημα easy living παρέχει πληροφορία θέσης χρησιμοποιώντας τρισδιάστατες στερεοσκοπικές κάμερες (digidlops). Συνήθως στα συστήματα οπτικής αναγνώρισης χρησιμοποιούνται κάμερες υψηλών επιδόσεων. Πα' ρολα αυτά απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύς για να επεξεργαστούν την εικόνα που λαμβάνουν οι κάμερες.

Smart floor

Η λειτουργία του Smart Floor βασίζεται σε ειδικούς αισθητήρες πίεσης οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στο δάπεδο ενός δωματίου και αντιλαμβάνονται το βάδισμα των ατόμων. Τα δεδομένα από τους αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των ατόμων. Το πλεονέκτημα του συστήματος είναι ότι δεν απαιτείται από τα άτομα να φέρουν πάνω τους ειδική ετικέτα. Τα μειονεκτήματα του είναι η δυσκολία στην κλιμάκωση αλλά και το μεγάλο κόστος διότι το δάπεδο κάθε κτιρίου πρέπει να αλλαχθεί κατάλληλα ώστε να εγκατασταθούν οι αισθητήρες.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Elgar Peter BSc, *Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου*, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ (ISBN 960-8050-31-6, 2003
- ftp://ftp.ascension-tech.com/MANUALS/MotionStar_Wireless-C.pdf
- <http://dvl.sdsc.edu/projects/birdli/mottrack.html>
- <http://www.ascension-tech.com/news/articles/maximize.html>
- J. Barton and T. Kindberg, *The CoolTown User Experience*, tech. report 2001-22, HP Laboratories, Palo Alto, Calif., 2001.
- Simon Carlsen and Stig Petersen, *When the Industry Goes Wireless: Drivers, Requirements, Technology and Future Trends*, Factory Automation, ISBN: 978-953-307-024-7, 2010
- Αναστασίου Αν. και Θεοδοσίου Θεοφ., *Συστήματα Εντοπισμού Αντικειμένων στο Χώρο με Χρήση Υπερηχητικών Πομποδεκτών*, Πτυχιακή Εργασία – Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, Τμήμα Αυτοματισμού, 2011
- Δρ. Μπισδούνης Λ., *Σημειώσεις για το μάθημα Τεχνολογία Μετρήσεων*, ΤΕΙ Χαλκίδας – Τμήμα Ηλεκτρολογίας, 2005-2006
- Δρ. Χατζηευφραιμίδης Αντ, *Σημειώσεις για το μάθημα Τεχνολογία Μετρήσεων*, ΤΕΙ Πάτρας – Τμήμα Ηλεκτρολογίας, 2005-2009
- Καπετανάκης Αλ., *Ασφάλεια στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων*, Διπλωματική Εργασία – ΕΜΠ, Τμήμα Ηλ. Μηχ και Μηχ Υπολογιστών, 2005
- Καραγιάννης Αλ., *Σύστημα Εμφυτεύσιμου Αισθητήρα για τη διαπίστωση Υπαρξης Στεφανιαίας Στένωσης*, ΕΜΠ, Τμήμα Ηλ. Μηχ και Μηχ Υπολογιστών, 2003
- Κερασιώτης Π., *Συσσώρευση και επεξεργασία δεδομένων από δίκτυα αισθητήρων*, ΕΜΠ, Τμήμα Ηλ. Μηχ και Μηχ Υπολογιστών, 2009
- Κουτσουβέλας Δ. και Κωστούδης Ηλ., *Ασφάλεια σε δίκτυα ad hoc και δίκτυα αισθητήρων*, Διπλωματική Εργασία – ΕΜΠ, Τμήμα Ηλ. Μηχ και Μηχ Υπολογιστών, 2008
- Πασόγλου Ι., *Ταχογενήτριες, Παλμογεννήτριες και οι βλάβες που παρουσιάζουν στη βιομηχανία*, Πτυχιακή Εργασία - ΤΕΙ Δυτ. Μακεδονίας, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, 2011
- Πελενδρίτης Ι., *Μελέτη Πιεζοηλεκτρικού Επιταχυνσιόμετρου*, ΕΜΠ, Τμήμα Ηλ. Μηχ και Μηχ Υπολογιστών, 2005
- Σέκκας Οδ., *Προσδιορισμός Θέσης μέσω Σύντηξης Δεδομένων Αισθητήρων*, Διπλωματική Εργασία - Εθν. Και Καποδιστριακό Παν. Αθηνών, Μεταπτ. Πρόγραμμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, 2006
- Χατζόγλου Γ., *Γραφική προσομοίωση κινούμενων τρισδιάστατων χαρακτήρων σε περιβάλλον μεικτής πραγματικότητας*, Διπλωματική Εργασία – Πολυτεχνειακή Σχολή ΑΠΘ, Τμήμα Ηλ. Μηχ και Μηχ Υπολογιστών, 2002
- **Σημειώσεις μαθήματος**