



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

**ΤΙΤΛΟΣ**

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΗΧΑΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ  
ΑΥΤΟΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ**

**DEVELOPMENT OF MECHANICAL MODEL  
VEHICLE MODEL**

**Πούντζας Ιωαννης**

**AM 45293**

**Αιγάλεω, Ιούλιος 2021**

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος Πούντζας Ιωάννης με αριθμό μητρώου 45293 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της προπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Πούντζας Ιωάννης



Ο/Η Δηλών/ούσα

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

ΔΡΟΣΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ

ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ ΑΒΡΑΑΜ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη/Abstract	4
Εισαγωγή	5
Κεφάλαιο Πρώτο Μηχατρονική	
1.1 Βασικές Έννοιες	6
1.2 Μηχατρονικό Σύστημα	8
1.3 Μικροελεγκτές	10
1.4 Τεχνολογία ARDUINO	13
1.5 Εφαρμογές	15
Κεφάλαιο Δεύτερο Αισθητήρες	
2.1 Γενικά	18
2.2 Χαρακτηριστικά Αισθητήρων	18
2.3 Είδη και Τεχνολογίες Αισθητήρων	19
Κεφάλαιο Τρίτο Συστήματα Δράσης	
3.1 Γενικά	
3.2 Είδη Συστημάτων Δράσης	
Κεφάλαιο Τέταρτο Διάδικοτο των Πραγμάτων (IoT)	
4.1 Γενικά	36
4.2 Ιστορική Εξέλιξη	37
4.3 Χαρακτηριστικά και Απαιτήσεις του IoT	40
4.4 Συνδεσιμότητα	41
4.5 "Έξυπνες (Smart)" Σύσκευές	45
4.6 Ασφάλεια και IoT	46
Κεφάλαιο Πέμπτο Τεχνολογίες και Πρωτόκολλα	
5.1 Ασύρματες Τεχνολογίες	49
5.2 Δίκτυο Ασύρματων Αισθητηρίων -Wireless Sensor Netwok (WSN)	50
5.3 Cloud Computing	
Κεφάλαιο Έκτο Τεχνική Σχεδίαση	
6.1 ΤεχνικόΥπόβαθρο	54
6.2 Τροφοδοσία	55
6.3 Συσκευές Ειθσόδου-Εξόδου	59
6.4 Ιχνηλάτιση	61
6.5 Διαδικασία Ελέγχου Κίνησης Οχήματος	69
6.6 Αισθητήρας Απόστασης	73
6.7 Μηχατρονικό Όχημα	74
Συμπεράσματα	76
Βιβλιογραφία	77

## Περίληψη

Τα *αυτόνομα οχήματα (autonomous vehicle)* που είναι ικανά να κινούνται και να δρουν στο χώρο, χωρίς να απαιτείται καθοδήγηση ή τηλεχειρισμός - παρουσιάζουν σημαντικό ενδιαφέρον. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός αυτοκινούμενου μηχαντρονικού οχήματος, χειριζόμενου μέσω ασύρματης επικοινωνίας, με δυνατότητα ιχνηλάτησης διαδρομής, αξιοποιώντας τις δυνατότητες ενός μικροελεγκτή. Η χρήση μικροελεγκτή απλοποιεί σε μεγάλο βαθμό την πολυπλοκότητα της κατασκευής του μηχαντρονικού οχήματος. Περιορίζει τις ανάγκες επιπλέον ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και καλωδιώσεων, η υλοποίηση είναι εύχρηστη και ο πειραματισμός γρήγορος. Όσο αφορά τους αλγόριθμους linetracking, ο PID έλεγχος ήταν πιο αξιόπιστος και γρήγορος. Η εφαρμογή αυτή ανέδειξε τις δυνατότητες της μηχαντρονικής και των συναφών τεχνολογιών στην αυτόνομη κίνηση οχημάτων.

**Λέξεις-κλειδιά** - αυτόνομα οχήματα, μηχαντρονική, IoT

## Abstract

Autonomous vehicles that are able to move and operate in space, without the need for guidance or remote control - are of great interest. The purpose of this work is the design and implementation of a self-propelled mechatronic vehicle, operated via wireless communication, with route tracking capability, utilizing the capabilities of a microcontroller. The use of a microcontroller greatly simplifies the complexity of the construction of the mechatronic vehicle. Reduces the need for additional integrated circuits and wiring, implementation is easy and experimentation is fast. In terms of linetracking algorithms, PID control was more reliable and faster. This application highlighted the potential of mechatronics and related technologies in autonomous vehicle movement.

**Keywords** - Autonomous vehicles, mechatronics, IoT

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Τα *αυτόνομα οχήματα (autonomous vehicle)* που είναι ικανά να κινούνται και να δρουν στο χώρο, χωρίς να απαιτείται καθοδήγηση ή τηλεχειρισμός - παρουσιάζουν σημαντικό ενδιαφέρον. Οι πιθανές εφαρμογές τους είναι ποικίλες, όπως χειρισμός εργαλείων/υλικών, απομακρυσμένες επισκευές και έργα συντήρησης, υπηρεσίες-διευκολύνσεις σε καθημερινές ανάγκες, αναγνώριση και διερεύνηση σε δυσπρόσιτα ή επικίνδυνα περιβάλλοντα (θάλασσα, αέρας, διάστημα κ.α.).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός αυτοκινούμενου μηχανητρονικού οχήματος, χειριζόμενου μέσω ασύρματης επικοινωνίας, με δυνατότητα ιχνηλάτησης διαδρομής, αξιοποιώντας τις δυνατότητες ενός μικροελεγκτή.

Η διάθρωση της εργασίας περιλαμβάνει το θεωρητικό πλαίσιο (1-6 κεφάλαια) και το εργαστηριακό μέρος (κεφ.6) και τα συμπεράσματα. Η εργασία βασίστηκε στην πτυχιακή εργασία του Βαφειάδη, Ι. στο Πανεπιστήμιο Πατρών (2017), που ανέπτυξε ένα σχετικό λογισμικό.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

## ΜΗΧΑΤΡΟΝΙΚΗ

### 1.1 Βασικές Έννοιες

Ο όρος “Μηχατρονική (ΜΗΧ)” αφορά τον συνδυασμό των επιστημών της Μηχανολογίας, της Ηλεκτρονικής - Ηλεκτρολογίας και της Πληροφορικής, όπως φαίνεται στην επόμενη σχέση :

$$\text{Μηχατρονική} = \text{Μηχανολογία} + \text{Ηλεκτρονική} + \text{Πληροφορική}$$

Η μηχατρονική θεωρείται ο εμπλουτισμός των κατά βάση μηχανολογικών συστημάτων με ηλεκτρονικά εξαρτήματα, που αρκετά συχνά εμπεριέχουν λογισμικό. Με τη σειρά της η UNESCO ορίζει για την Μηχατρονική ότι είναι:

*"Η συνεργιακή ολοκλήρωση της μηχανολογίας με την ηλεκτρονική και τον ευφυή υπολογιστή ελέγχου στον σχεδιασμό και την κατασκευή των προϊόντων και διαδικασιών."*

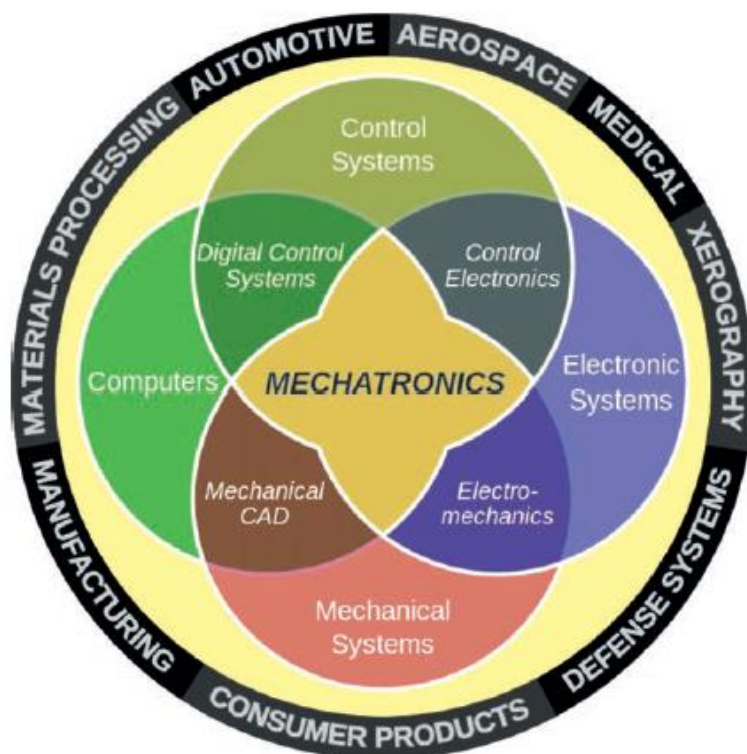
Ωστόσο, ένας άλλος ορισμός είναι ότι Μηχατρονική αφορά τη: *"Μελέτη και κατασκευή των ευφών μηχανικών συστημάτων."* Υπο το πρίσμα αυτής της θεώρησης, η Μηχατρονική μπορεί να ερμηνευθεί και ως *"Η εφαρμογή πολύπλοκης διαδικασίας λήψης αποφάσεων κατά τη λειτουργία φυσικών συστημάτων."*

Η μηχατρονική έχει συνδεθεί με πολλά διαφορετικά αντικείμενα όπως, των εγκαταστάσεων παραγωγής, του ελέγχου κίνησης, της ρομποτικής, του ευφυούς ελέγχου, των ολοκληρωμένων συστημάτων, των ελεγκτών δονήσεων και θορύβου, των αυτοκινούμενων συστημάτων, της μοντελοποίησης και του σχεδιασμού, των αισθητήρων, καθώς, επίσης, και των μικροσυσκευών, όπως π.χ. τα ηλεκτρομηχανικά συστήματα. Μια γραφική αναπαράσταση των τομέων, από τους οποίους αποτελείται η μηχατρονική και οι περιοχές εφαρμογής της (Σχ.1).

Αναλυτικότερα, η μηχατρονική αποτελείται από τα εξής:

- Συστήματα ελέγχου
- Ηλεκτρονικά συστήματα
- Μηχανολογικά συστήματα
- Ηλεκτρονικούς Υπολογιστές

Οι εφαρμογές της μηχανικής αφορούν την αεροναυπηγική, τη βιομηχανία αυτοκινήτων, την κατασκευή υλικών κ.α., όπως φαίνεται και στον εξωτερικό κύκλο του Σχήματος 1.



**Σχήμα 1.** Το περιβάλλον της Μηχατρονικής

Η Μηχατρονική αποτελεί το άμεσο εκείνο υπόβαθρο για την έρευνα στο τεχνικό τομέα της Κυβερνητικής. Σημαντικές φυσιογνωμίες και χρονολογίες σταθμοί στην Κυβερνητική και κατ' επέκταση στην Μηχατρονική υπήρξαν το 1936 από τον A. Turing το 1948 από τον N. Wiener και Morthy, με τις μηχανές ψηφιακού ελέγχου, που αρχικά αναπτύχθηκαν το 1946 ο Τηλεχειρισμός το 1951 από τον Γκερτζ (Goertz) καθώς και η ανώνυμη εταιρεία *Bedford Associates* που αναπτύχθηκε το 1968.

Μια παραλλαγή του αναδυόμενου αυτού τομέα είναι η Βιομηχατρονική (biomechatronics), σκοπός της οποίας είναι η ενσωμάτωση μηχανικών μερών με ένα ανθρώπινο ον, συνήθως με τη μορφή των αποσπώμενων συσκευών όπως *exoskeleton*. Αυτή είναι η "πραγματική ζωή" έκδοση του *cyberware*. Η Βιομηχατρονική είναι η εφαρμογή της μηχανικής για την επίλυση των προβλημάτων των βιολογικών συστημάτων, και ιδίως την ανάπτυξη νέων τύπων προθέσεων, χειρουργικών προσομοιωτών, τον έλεγχο της θέσης των ιατρικών πράξεων (π.χ. καθετήρες),

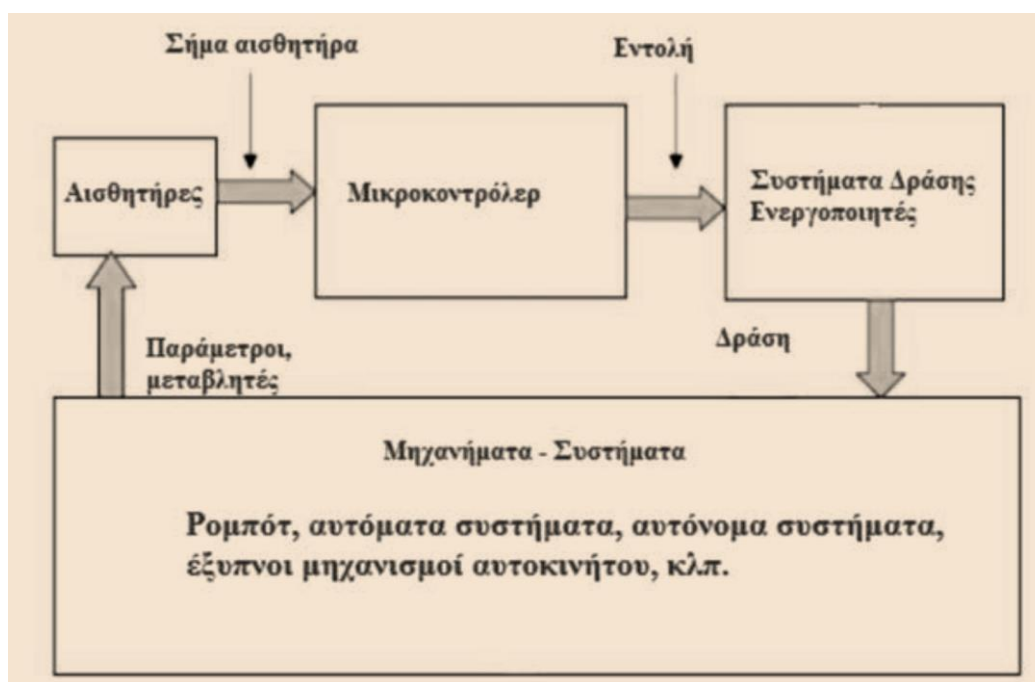


αναπηρικές πολυθρόνες και χειρουργικές τηλεχειρισμούς. Επίσης η νανομηχανική είναι ένας τομέας που έχει επωφεληθεί από τις εξελίξεις στη μηχανική. Ένα πολύ προφανές παράδειγμα είναι η ανάπτυξη του σκληρού δίσκου.

## 1.2 Μηχανικό Σύστημα

Ένα μηχανικό σύστημα αποτελείται, κυρίως, από μηχανισμούς κίνησης και ελέγχου, αλλά και από αισθητήρες. Είναι ένα σύστημα, το οποίο ενσωματώνει την ψηφιακή επεξεργασία σήματος αλλά και τη μεταφορά αυτού του σήματος σε ένα τελικό σημείο δράσης, δημιουργώντας κινήσεις ή ενέργειες. Πρόκειται, δηλαδή, για ένα ολοκληρωμένο σύστημα με αισθητήρες, μικροεπεξεργαστές-μικροελεγκτές, καθώς και συστήματα δράσης. Τα συστήματα της μηχανικής μπορούν, δημιουργώντας βρόχους αυτόματου ελέγχου, να διαιρεθούν σε ομάδες λειτουργίας, που ενδέχεται να αποτελούν μέρος μεγαλύτερων ενοτήτων.

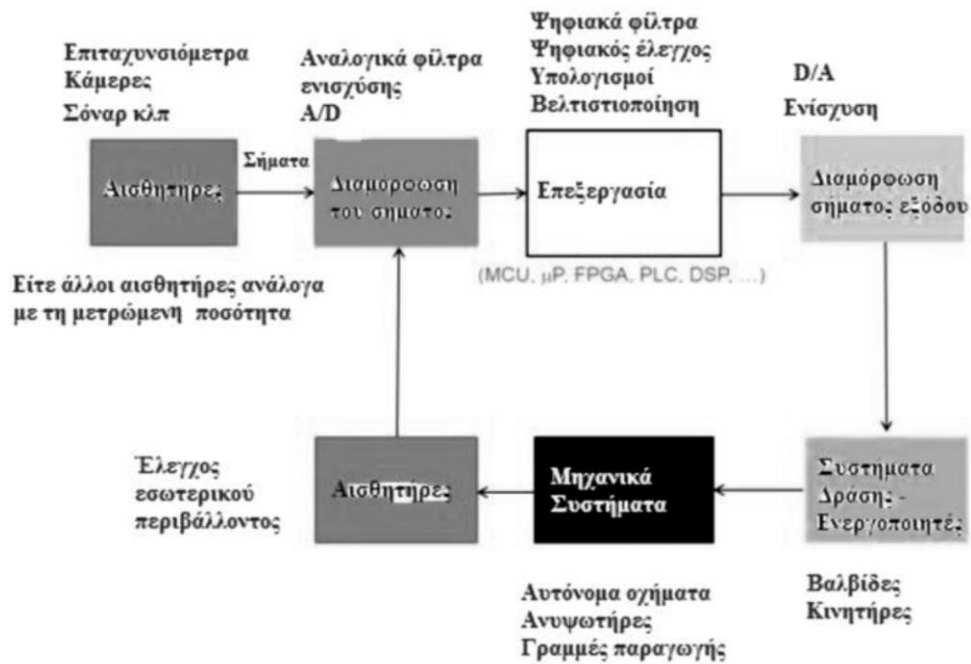
Το γενικό διάγραμμα ενός μηχανικού συστήματος παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα, όπου φαίνεται ότι ένα μηχανικό σύστημα αποτελείται από αισθητήρες, έναν μικροεπεξεργαστή και από το μηχανολογικό μέρος του.



**Σχήμα 2.** Γενικό διάγραμμα μηχανικού συστήματος

Ένα πιο αναλυτικό διάγραμμα παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα. Όπως φαίνεται, οι αισθητήρες (sensors) (π.χ. επιταχυνσιόμετρα, κάμερες, σόναρς, θερμομέτρα) αντιλαμβάνονται μια εξωτερική ποσότητα (ήχο, θερμοκρασία κ.α.). Η ποσότητα αυτή

εισάγεται προς επεξεργασία σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή, ενισχυμένη ή όχι. Κατά την επεξεργασία γίνεται εκτίμηση των παραμέτρων. Στην έξοδο βγαίνει ένα σήμα (μια οδηγία) για τους ενεργοποιητές, που ενεργοποιούν ένα μηχανολογικό σύστημα. Τις περισσότερες φορές, ένας αισθητήρας μετρά την μεταβολή που προκάλεσε το σύστημα στο περιβάλλον και στέλνει, εκ νέου, προς επεξεργασία τα πρόσφατα δεδομένα.



**Σχήμα 3.** Διάγραμμα μηχανικού συστήματος

Οι τεχνολογίες που ενσωματώνονται στη μηχανική είναι οι ακόλουθες:

- *Αισθητήρες:* Αποτελούν τις συσκευές που αναγνωρίζουν τις μεταβολές του περιβάλλοντος. Μετρούν θερμοκρασίες, πίεση, βάρος κλπ
- *Μικροεπεξεργαστές & μικροελεγκτές:* Αποτελούν τον "εγκέφαλο" του συστήματος. Τα μεγέθη που μετρούν οι αισθητήρες, καταλήγουν στον μικροελεγκτή, ο οποίος θα αποφασίσει για μια δράση.
- *Ενεργοποιητές:* Σε αυτούς καταλήγει η εντολή δράσης του μικροελεγκτή, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η εντολή.
- *Συστήματα κίνησης:* Διαιρούνται σε πνευματικά, υδραυλικά, μηχανικά & ηλεκτρικά.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα μηχανικά συστήματα έναντι άλλων συστημάτων είναι τα εξής:

- Μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Φιλικότητα στο χρήστη.
- Χαμηλότερο κόστος.
- Περισσότερα χαρακτηριστικά και δυνατότητες.
- Μεγαλύτερη ευελιξία στην εφαρμογή.
- Φιλικότερα στο περιβάλλον.
- Περισσότερη ασφάλεια.
- Μεγαλύτερη αξιοπιστία.
- Μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα.
- Μικρότερος όγκος.
- Καλύτερη απόδοση.
- Προσαρμοστικός σχεδιασμός - επαναπρογραμματισμός.

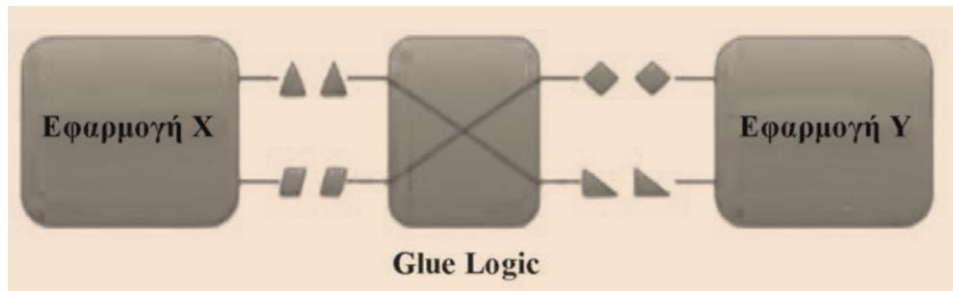
### 1.3 Μικροελεγκτές

Σε ένα μηχανολογικό σύστημα το ερέθισμα (σήμα), που λαμβάνεται από τους αισθητήρες, οδηγείται στον μικροελεγκτή, που το αναλύει και παίρνει μια απόφαση δράσης. Ο μικροελεγκτής (microcontroller) είναι ένας τύπος επεξεργαστή, ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα, λόγω των πολλών ενσωματωμένων υποσυστημάτων που διαθέτει.

Ένας μικροελεγκτής είναι ένα μικρό υπολογιστικό κύκλωμα, σχεδιασμένο σε ένα και μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα υψηλής κλίμακας ολοκλήρωσης. Όπως κάθε υπολογιστικό κύκλωμα, περιέχει κεντρική μονάδα επεξεργασίας, έναν αριθμό καταχωρητών, κυκλώματα μνήμης και κυκλώματα ελέγχου περιφερειακών συσκευών. Κάθε μικροελεγκτής είναι ικανός να ανταλλάξει σήματα με το εξωτερικό περιβάλλον, να εκτελέσει πράξεις ανάμεσα σε μεταβλητές και να καταχωρίσει κάποιες τιμές στη μνήμη RAM που διαθέτει.

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα που αποτελεί τον μικροεπεξεργαστή ή μικροελεγκτή, περιλαμβάνει την Λογική και Αριθμητική Μονάδα (ALU), τους στοιχειώδεις καταχωρητές (registers), την πολύ υψηλής ταχύτητας προσωρινή μνήμη RAM (cache memory) και, κάποιες φορές, τον ελεγκτή μνήμης (memory controller). Όμως, για τη λειτουργία ενός πλήρους ενσωματωμένου υπολογιστικού συστήματος, απαιτούνται πολλά εξωτερικά και περιφερειακά υποσυστήματα. Αυτά είναι τα εξής:

- *κύκλωμα συνδετικής λογικής (glue logic)*, που αποτελεί μια ειδική μορφή ψηφιακών κυκλωμάτων, που επιτρέπουν τη σύνδεση διαφορετικών τύπων λογικών κυκλωμάτων, όπως π.χ. τη σύνδεση των εξωτερικών μνημών και των άλλων περιφερειακών παράλληλης σύνδεσης στην αρτηρία δεδομένων (bus) του επεξεργαστή (Σχ.4).



**Σχήμα 4.** Θέση κυκλώματος συνδετικής λογικής

- *μνήμη προγράμματος* (τύπου ROM, FLASH, EPROM κλπ.), που περιλαμβάνει το λογισμικό του συστήματος.
- *μνήμη RAM.*
- *μόνιμη μνήμη αποθήκευσης παραμέτρων λειτουργίας* (τύπου EEPROM ή NVRAM), η οποία να μπορεί να γράφεται στον πυρήνα του μικροελεγκτή. Αυτή η μνήμη έχει, έναντι της FLASH, το πλεονέκτημα της δυνατότητας διαγραφής και εγγραφής οποιουδήποτε μεμονωμένου byte.
- *κύκλωμα αρχικοποίησης (reset).*
- *ιαχειριστής αιτήσεων διακοπής (interrupt request controller)* από τα περιφερειακά.
- *κύκλωμα επιτήρησης τροφοδοσίας (brown-out detection)*, το οποίο αρχικοποιεί ολόκληρο το σύστημα και παρακολουθεί την τροφοδοσία, όταν αυτή πέσει κάτω από τα ανεκτά όρια, προλαμβάνοντας έτσι την αλλοίωση των δεδομένων.
- *κύκλωμα επιτήρησης λειτουργίας (watchdog timer)*, το οποίο αρχικοποιεί το σύστημα, αν αυτό εμφανίσει σημάδια δυσλειτουργίας λόγω κολλήματος (hang).
- *τοπικός ταλαντωτής* για την παροχή παλμών χρονισμού (clock).
- *χρονιστές-απαριθμητές υψηλής ταχύτητας (hardware timer-counter)* για τη δημιουργία καθυστερήσεων, τη μέτρηση της διάρκειας και την απαρίθμηση των γεγονότων, καθώς και άλλων λειτουργιών ακριβούς χρονισμού.
- *ρολόι πραγματικού χρόνου (Real Time Clock, RTC)*, το οποίο τροφοδοτείται από ανεξάρτητη μπαταρία και γι' αυτό πρέπει να έχει πολύ χαμηλή κατανάλωση ρεύματος.
- *ανεξάρτητες ψηφιακών εισόδων και εξόδων (Parallel Input-Output, PIO).*

Γενικά, όλες οι οικογένειες μικροελεγκτών ενσωματώνουν τα περισσότερα από τα προηγούμενα περιφερειακά συστήματα, με διαφοροποιήσεις, κυρίως, στην ύπαρξη ή μη εσωτερικής μνήμης προγράμματος, καθώς επίσης και στο είδος της μνήμης αυτής. Έτσι, υπάρχουν:

- *Μικροελεγκτές χωρίς μνήμη προγράμματος*, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως ROM-less. Αυτοί παρέχουν πάντοτε μια παράλληλη αρτηρία (bus) δεδομένων, πάνω στην οποία συνδέονται εξωτερικές μνήμες προγράμματος και RAM.
- *Μικροελεγκτές με μνήμη ROM*, η οποία κατασκευάζεται με το λογισμικό της (Mask ROM) ή γράφεται μόνο μια φορά (One Time Programmable, OTP). Ένα σημαντικό πλεονέκτημά τους είναι ότι, όταν αγοράζονται σε πολύ μεγάλες ποσότητες, το κόστος τους παραμένει ιδιαίτερα χαμηλό.
- *Μικροελεγκτές με μνήμη FLASH*, οι οποίοι μπορούν συνήθως να προγραμματιστούν πολλές φορές. Αυτή είναι και η πιο συνηθισμένη κατηγορία. Συχνά, ο προγραμματισμός της μνήμης μπορεί να γίνει ακόμη και πάνω στο κύκλωμα της ίδιας της ενσωματωμένης (embedded) εφαρμογής (Δυνατότητα In Circuit Programming, ISP). Αυτοί οι μικροελεγκτές έχουν, ουσιαστικά, αντικαταστήσει τους παλαιότερους τύπους EPROM, που έσβηναν με υπεριώδη ακτινοβολία.

Επιπλέον, ο μικροελεγκτής με τα υποσυστήματά του έχουν τη δυνατότητα να κάνουν πολλούς υπολογισμούς. όμως ο άνθρωπος-χρήστης είναι αυτός που θα δώσει τις απαραίτητες οδηγίες στον μικροελεγκτή για τους υπολογισμούς που θα εκτελέσει. Είναι απαραίτητο, λοιπόν, να υπάρχει ένας τρόπος επικοινωνίας του ανθρώπου με τον μικροεπεξεργαστή, καθώς και μια κοινή γλώσσα μεταξύ τους. Στο σημείο αυτό επεμβαίνει το λογισμικό, στο οποίο ο άνθρωπος-προγραμματιστής γράφει τον κώδικα (εντολές) που απαιτείται να εκτελέσει ο μικροεπεξεργαστής και αυτές, εν συνεχεία, αποθηκεύονται στην μνήμη του μικροεπεξεργαστή. Ένα τέτοιου είδους λογισμικό περιλαμβάνει τον κειμενογράφο, τον συμβολομεταφραστή και τον προσομοιωτή.

- *κειμενογράφος (texteditor)*: Με τον κειμενογράφο συντάσσουμε σε μνημονική γλώσσα το πηγαίο αρχείο, το οποίο, κατόπιν, θα μεταφραστεί και θα αποθηκευθεί στη μνήμη ROM του μικροελεγκτή. Τέτοιο πρόγραμμα μπορεί να είναι ένας οποιοσδήποτε κειμενογράφος χαρακτήρων ASCII.

- *συμβολομεταφραστής (assembler)*: Πρόκειται για το πρόγραμμα που μεταφράζει το πηγαίο αρχείο σε δεκαεξαδική μορφή, που είναι κατάλληλη να τη διαχειριστεί ο προγραμματιστής της μνήμης του μικροελεγκτή. Κατά τη μετάφραση παράγονται, επίσης, τα μηνύματα σφαλμάτων. Μετά τη διόρθωση των σφαλμάτων, ο συμβολομεταφραστής παράγει ένα αρχείο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα επόμενα βήματα. Επιπροσθέτως, παράγονται αρχεία που περιέχουν αναφορές σφαλμάτων, καθώς και αρχεία εισόδου για τον προσομοιωτή (simulator).
- *προσομοιωτής (simulator)*: Αυτός είναι ένα βοηθητικό και όχι υποχρεωτικό πρόγραμμα. Το πρόγραμμα αυτό παράγει μία, βήμα προς βήμα, προσομοίωση της εκτέλεσης μιας διαδικασίας και επιδεικνύει τις τιμές που λαμβάνουν οι διάφοροι καταχωρητές ειδικού σκοπού και οι θέσεις της μνήμης RAM. Με τον τρόπο αυτόν, ο χρήστης μπορεί να βεβαιωθεί ότι το πρόγραμμα επιτελεί ακριβώς αυτό, για το οποίο προορίζεται, ενώ μπορεί, ακόμη, να ανιχνεύσει και τα σφάλματα που τυχόν υπάρχουν.

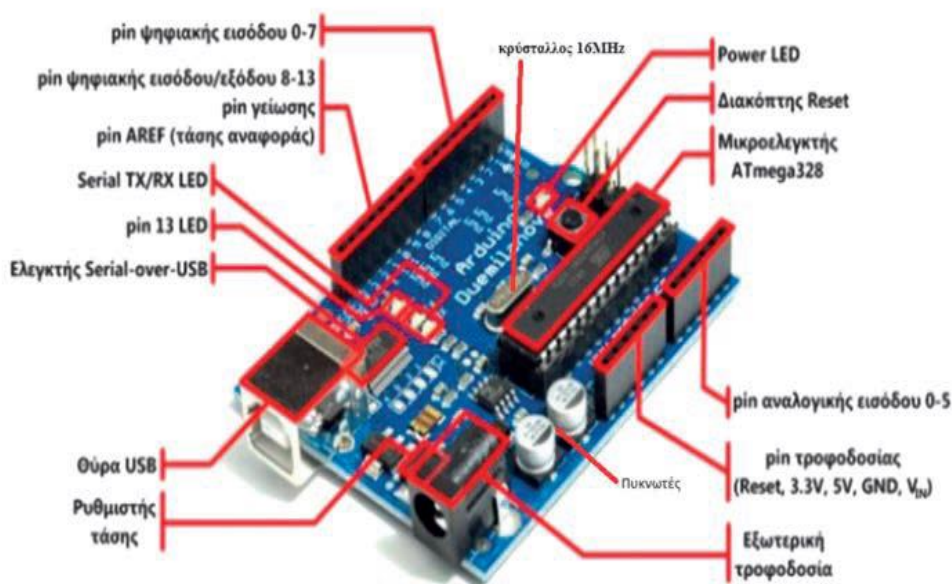
#### 1.4 Τεχνολογία ARDUINO

Το τεχνολογικό σύστημα Arduino είναι ένας single-board μικροελεγκτής, δηλαδή μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring. Η τεχνολογία Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων, αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων σε Processing, Max/MSP, Pure Data ή SuperCollider.

Όσον αφορά την πλακέτα του Arduino, ο πυρήνας του είναι ένας μικροεπεξεργαστής. Είναι προγραμματισμένος με τρόπο, έτσι ώστε να ελέγχει τα 14 ψηφιακά I/O pins και τα 6 αναλογικά που υπάρχουν πάνω στην πλακέτα ανάπτυξης. Δια μέσου αυτών των 20 pins γίνονται όλες οι διασυνδέσεις με τα εξωτερικά στοιχεία (κινητήρες, LEDs, LCD οθόνες κλπ), αλλά και με τους αισθητήρες (Ultrasonic, θερμομέτρα, accelerometers κ.α). Στην πλακέτα ανάπτυξης υπάρχει μία επιπλέον θύρα USB, μέσω της οποίας γίνεται η μεταφορά δεδομένων προς κάποια άλλη συσκευή (H/Y) και το αντίστροφο. Η κύρια χρήση αυτής της θύρας, στα πρωταρχικά στάδια εκμάθησης, είναι η μεταφορά του προγράμματος από τον υπολογιστή στον μικροεπεξεργαστή,

αλλά και η οπτικοποίηση των δεδομένων που απορρέουν από την λειτουργία της συσκευής μετά τον προγραμματισμό της.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται τα κύρια μέρη της πλακέτας ενός τεχνολογικού συστήματος Arduino.



Σχήμα 5. Η πλακέτα του Arduino

Χαρακτηριστικά λειτουργίας ενός τεχνολογικού συστήματος Arduino:

- Τάση λειτουργίας 5V
- Τάση εισόδου/τροφοδοσίας 7-12V
- Ρεύμα εξόδου 40mA για κάθε είσοδο/έξοδο
- Ρεύμα εξόδου 50mA για την έξοδο 3.3V
- Flash μνήμη 32KB
- SRAM 2KB
- EEPROM 1KB

Το λογισμικό του Arduino αφορά προγράμματα (“sketches”), στη γλώσσα του Arduino όπου γράφονται στο περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino. Όταν ένα “sketch” είναι έτοιμο, πρέπει να μεταφερθεί στον μικροεπεξεργαστή μέσω της USB θύρας. Το περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) του Arduino είναι μία πολυπλατφορμική εφαρμογή γραμμένη σε Java και βασίζεται στο περιβάλλον της γλώσσας προγραμματισμού Processing<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> <http://processing.org/>.

Βασικές λειτουργίες του IDE είναι οι εξής:

- Ο έλεγχος του κώδικα για λάθη.
- Ο τερματισμός της σειριακής κονσόλας.
- Η δημιουργία νέου έργου (sketch).
- Η παρουσίαση μενού με όλα τα αποθηκευμένα έργα.
- Η αποθήκευση του έργου.
- Η μεταγλώττιση του κώδικα και το ανέβασμα του στο Arduino.
- Η εμφάνιση της σειριακής κονσόλας. Ακολούθως, η αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω της σειριακής θύρας.

## 1.5 Εφαρμογές

Η μηχανική εφαρμόζεται σχεδόν παντού στη σύγχρονη εποχή. Οι πιο σημαντικές εφαρμογές της Μηχανικής είναι η ρομποτική, τα συστήματα μεταφορών, συστήματα παραγωγής, μηχανές CNC, και οι βιομηχανικές νανομηχανές. Η τελειότερη όμως εφαρμογή της Μηχανικής είναι το Ρομπότ, ενώ η Ρομποτική είναι κλάδος της Μηχανικής.

Η Ρομποτική είναι η τεχνοεπιστήμη του σχεδιασμού και της κατασκευής επαναπρογραμματιζομένων στοιχείων - συσκευών ευέλικτων και ικανών να εκτελούν διάφορες λειτουργίες. Το επίπεδο του αυτοματισμού είναι πολύ πιο ευέλικτο και δείχνει τις μελλοντικές τάσεις στην υπόλοιπη μηχανική.

Στην βιομηχανική παραγωγή, η Μηχανική στοχεύει στο βέλτιστο σχεδιασμό των γραμμών παραγωγής και τη βελτιστοποίηση των υφιστάμενων διαδικασιών. Επίσης, έχει συμβάλει στην αυτοματοποίηση των γραμμών παραγωγής και στη δημιουργία της έννοιας της ευέλικτης κατασκευής.

Η Μηχανική συνδέεται με την εξέλιξη του ψηφιακού ελέγχου των μηχανών. Ειδικότερα, οι τεχνολογίες που συνδέονται με την εξέλιξη της μηχανικής είναι οι εξής:

- ευφυής έλεγχος
- ασαφή λογική,
- νευρωνικά δίκτυα



- γενετικοί αλγόριθμοι

Συνοψίζοντας, η μηχανική εφαρμόζεται στην βιομηχανία στα εξής:

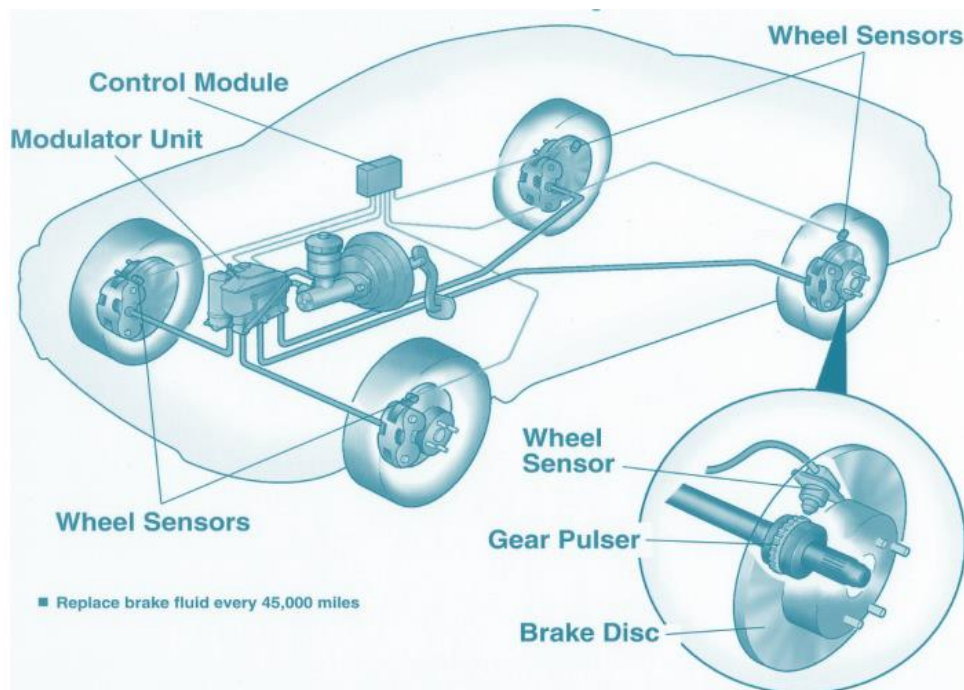
- Ρομπότ
- Βιοϊατρικά συστήματα (τηλεχειρουργικά συστήματα, έξυπνα χάπια, τεχνητή καρδιά κλπ.)
- Συστήματα ηλεκτρικής κίνησης
- Ηλεκτρικά οχήματα (επιβατικά αυτοκίνητα, λεωφορεία κ.α.)
- Συστήματα ελέγχου μικροκινητήρων
- Συστήματα ασφάλειας αυτοκινήτων με αερόσακους
- Αυτόματα συστήματα προσγείωσης αεροπλάνων
- Ηλεκτρικά κιβώτια ταχυτήτων
- Ανεμογεννήτριες και υδροηλεκτρικά εργοστάσια
- Συστήματα ελέγχου έξυπνων κατοικιών και κτηρίων
- Φωτογραφικές μηχανές, φωτοτυπικά μηχανήματα, πλυντήρια, αυτόματα μηχανήματα πώλησης αντικειμένων κλπ.
- Συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης πλοίων
- Συστήματα παραγωγής προϊόντων

Τέλος, ένα τυπικό παράδειγμα εφαρμογής της μηχανικής στα οχήματα είναι το ABS, όπου είναι ένα σύστημα που εφαρμόζεται και στους τέσσερις τροχούς ενός αυτοκινήτου. Το σύστημα αυτό αποτρέπει το μπλοκάρισμα των τροχών, ρυθμίζοντας σε ένα απότομο φρενάρισμα την πίεση πέδησης των φρένων, όσο δυνατά κι αν πατηθεί το φρένο.

Η αποφυγή του μπλοκαρίσματος των τροχών ενός οχήματος, δίνει την δυνατότητα, τη στιγμή του φρεναρίσματος, της στροφής του οχήματος κατά βούληση και αυτό να συμπεριφερθεί όπως αναμένεται. Επιπλέον, σε ένα ολισθηρό οδόστρωμα το σύστημα ABS βοηθάει, ώστε το όχημα να μην γλιστρήσει πάνω στο οδόστρωμα και να σταματήσει πιο γρήγορα. Αυτό αποτελείται από αισθητήρες ταχύτητας, βαλβίδες abs σε κάθε φρένο, αντλία, και έναν ελεγκτή. Οι αισθητήρες ταχύτητας αντιλαμβάνονται ένα απότομο φρενάρισμα από την απότομη μείωση της ταχύτητας. Οι αισθητήρες αυτοί βρίσκονται είτε σε κάθε τροχό, είτε στο διαφορικό. Οι βαλβίδες υπάρχουν σε κάθε φρένο και ρυθμίζουν πόσο δυνατά θα πατηθεί το φρένο. Οι βαλβίδες βρίσκονται σε τρεις καταστάσεις:

- κατάσταση 1, είναι ανοιχτές και δεν επηρεάζουν το σύστημα πέδησης,
- κατάσταση 2, που οι βαλβίδες είναι κλειστές και μπλοκάρουν το φυσιολογικό φρενάρισμα, για να το κάνουν ρυθμιζόμενο,
- κατάσταση 3, που οι βαλβίδες, λόγω του δυνατού φρεναρίσματος, αφήνουν το όχημα να φρενάρει ελεγχόμενα, δηλ. ανοιγοκλείνουν, για να ρυθμίσουν την πίεση του φρεναρίσματος. Η αντλία, λόγω των αλλαγών πίεσης στα φρένα από τις βαλβίδες, ρυθμίζει τη σωστή πίεση του υγρού στα φρένα.

Επιπρόσθετα, ο ελεγκτής είναι ένας μικροϋπολογιστής, ο οποίος λαμβάνει τα μηνύματα από τους αισθητήρες κίνησης και, όταν εντοπίσει απότομο φρενάρισμα από τους αισθητήρες, δίνει τις κατάλληλες εντολές στις βαλβίδες.



**Σχήμα 6.** Το σύστημα ABS

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

#### 2.1 Γενικά

Το βασικό υποσύστημα της μηχανικής, που φέρνει σε επαφή τον μικροελεγκτή με το φυσικό περιβάλλον, είναι οι αισθητήρες. Οι αισθητήρες είναι το σύστημα που λαμβάνει τα ερεθίσματα από το περιβάλλον. Αυτά τα ερεθίσματα (ή μηνύματα) μπορεί να είναι *οπτικά*, όπως ο έλεγχος της φωτεινότητας ενός χώρου με αποτέλεσμα το άναμμα/σβήσιμο μιας λάμπας, *χημικά* για τις ανάγκες της χημικής βιομηχανίας ή *μηχανικά*, όπως λ.χ. η μέτρηση της πίεσης κ.ά.

Προκειμένου να αναγνωρίσουν μια μεταβολή του εξωτερικού περιβάλλοντος, οι αισθητήρες πρέπει να κάνουν μετρήσεις σε κάποιο φυσικό μέγεθος. Αυτό, για παράδειγμα, σημαίνει ότι μπορούμε να παρακολουθήσουμε τη διαδικασία θέρμανσης ενός προϊόντος μετρώντας τη θερμοκρασία του. Στο επόμενο μέρος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των αισθητήρων, καθώς και η λειτουργία των αισθητήρων μέτρησης της θερμοκρασίας, της φωτεινότητας, της μετατόπισης και κίνησης, της πίεσης, του βάρους, της στάθμης και του όγκου.

#### 2.2 Χαρακτηριστικά Αισθητήρων

Οι μετρήσεις των φυσικών μεγεθών γίνονται με τη βοήθεια αισθητήρων ή, αλλιώς, “*αισθητηρίων*” (sensors). Οι αισθητήρες είναι διατάξεις που διαθέτουν κάποια κατάλληλη ιδιότητα, η οποία μεταβάλλεται ως συνάρτηση του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Έτσι, η μέτρηση αυτής της μεταβαλλόμενης ιδιότητας του αισθητήρα επιτρέπει τον άμεσο ποσοτικό υπολογισμό της τιμής του φυσικού μεγέθους. Τα βασικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων είναι η γραμμικότητα, η ευαισθησία, η διακριτική ικανότητα, η ακρίβεια και το εύρος τιμών, εισόδου και εξόδου. Πιο συγκεκριμένα:

- *γραμμικότητα*. Ο αισθητήρας διαθέτει μία ιδιότητα ή ένα χαρακτηριστικό, του οποίου η τιμή μεταβάλλεται, όταν μεταβάλλεται και η φυσική ποσότητα που μετρά. Είναι επιθυμητό, οι μεταβολές της προς μέτρηση φυσικής ποσότητας να προκαλούν αυστηρά ανάλογες μεταβολές της ιδιότητας του αισθητήρα. Η

ιδιότητα αυτή ονομάζεται “γραμμικότητα” (linearity) και είναι ιδιαίτερης σημασίας.

- *ευαισθησία (sensitivity)*. Εκφράζει το πόσο υψηλό σήμα εξόδου αποδίδει ο αισθητήρας για κάθε μονάδα του μετρούμενου φυσικού μεγέθους.
- *διακριτική ικανότητα (resolution)*. Αυτή εκφράζει τη μικρότερη μεταβολή του φυσικού μεγέθους, που μπορεί να ανιχνεύσει ο αισθητήρας, και αναλόγως να μεταβάλλει την έξοδό του.
- *ακρίβεια (accuracy)*. Αυτή ισούται με το σφάλμα, που εγγενώς περιέχει η τιμή που αποδίδει ο αισθητήρας στην έξοδο. Δηλώνει, δηλαδή, την αβεβαιότητα που υπάρχει στην τιμή της εξόδου.
- *εύρος τιμών εισόδου (full-scale input, FSI)*. Αυτό ορίζει σε ποια πλαίσια του μετρούμενου φυσικού μεγέθους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας.
- *εύρος τιμών εξόδου (full-scale output, FSO)*. Αυτό ορίζει τις τιμές που μπορεί να λαμβάνει η τάση ή το ρεύμα εξόδου ενός αισθητήρα. Να σημειωθεί, εξάλλου, εδώ ότι η θερμοκρασία αποτελεί τον συνηθέστερο παράγοντα που αλλοιώνει τις προδιαγραφές των αισθητήρων.

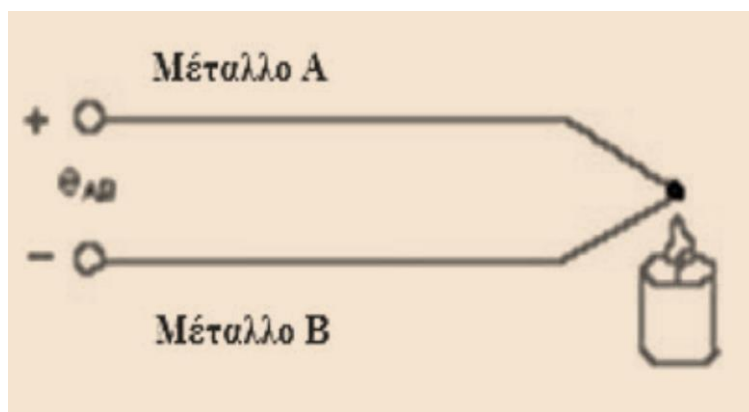
### 2.3 Είδη και τεχνολογίες αισθητήρων

Τα πιο σημαντικά είδη αισθητήρων είναι τα εξής:

- *Αισθητήρες θερμοκρασίας*. Αφορά κυρίως απλά θερμόμετρα. Ανάλογα με το είδος της μεταβολής, την οποία προκαλεί η αλλαγή της θερμοκρασίας σε κάποιο μέγεθος του θερμομέτρου, τα θερμόμετρα είναι διαφόρων ειδών. Τα θερμόμετρα στηρίζονται στην αλλαγή της χαρακτηριστικής ιδιότητας του επιλεγμένου υλικού τους, εξαιτίας της μεταβολής της θερμοκρασίας. Οι ιδιότητες που μπορούν να αξιοποιηθούν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι, εν γένει, οι ακόλουθες:
  - Η γραμμική διαστολή ενός υγρού.
  - Η γραμμική διαστολή ενός μετάλλου.
  - Η ηλεκτρική αντίσταση ενός μετάλλου.
  - Το φαινόμενο του θερμοηλεκτρισμού (ή “θερμοηλεκτρικό φαινόμενο”).
  - Η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα θερμό σώμα.

Επίσης, οι εφαρμογές που στηρίζονται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο και στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός μετάλλου, για το λόγο ότι τα σήματα των εξόδων τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν "σχεδόν" άμεσα σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα. Ειδικότερα:

- *Θερμοζεύγος.* Τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη ή "θερμοζεύγη" (thermocouples) αποτελούν ένα εξαιρετικά διαδεδομένο είδος ανιχνευτών θερμοκρασίας υψηλής ακρίβειας και χαμηλού κόστους. Αποτελούνται από δύο σύρματα διαφορετικών μετάλλων, τα οποία είναι ενωμένα σε δύο σημεία. Η ένωση αυτή, όταν θερμανθεί, παράγει μία μικρή τάση και ένα σχετικό προς αυτή ρεύμα (Σχ.7). Η αναπτυσσόμενη τάση είναι ευθέως ανάλογη προς τη θερμοκρασία της ένωσης.



**Σχήμα 7.** Θερμοζεύγος

- *Θερμίστορς.* Είναι αντιστάσεις, των οποίων η τιμή μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία (Σχ.8). Τα θερμίστορς είναι κατασκευασμένα από οξείδια των μεταβατικών μετάλλων της σειράς του σιδήρου, όπως το χρώμιο, το μαγγάνιο, ο σίδηρος, το κοβάλτιο και το νικέλιο. Η αντίστασή τους μεταβάλλεται ισχυρά με τη θερμοκρασία, έχουν όμως υψηλά όρια ανοχής, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις της θερμοκρασίας να μην έχουν την ακρίβεια των άλλων μεθόδων. Από την άλλη μεριά, η ισχυρή μεταβολή της αντίστασης επιτρέπει τη χρήση των θερμίστορς και ως διακοπών ή περιοριστών ρεύματος. Τα θερμίστορς αποτελούν μια εξαιρετικά διαδεδομένη και οικονομική επιλογή για τη μέτρηση θερμοκρασιών. Με βάση τα θερμίστορς έχουν, εξάλλου,

κατασκευαστεί και κινητοί ανιχνευτές θερμοκρασίας (temperature probes).



**Σχήμα 8.** Θερμίστορες

- *Οπτικοί αισθητήρες.* Έχουν ως στόχο να μετρήσουν τις μεταβολές του φωτός. Μετρούν τη μεταβολή στο μέγεθος ενός αισθητήρα, η οποία προκαλείται από την αλλαγή του μεγέθους τού φωτός, όπως λ.χ. της έντασής του. Ειδικότερα:
  - ο *Φωτοαντιστάσεις (LDRs)*(Σχ.9). Σε αυτές, η μεταβολή του φωτός μεταβάλλει ανάλογα και την τιμή της αντίστασης του υλικού του αισθητήρα. Όσο περισσότερα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας έχει ένα υλικό, τόσο μεγαλύτερη αγωγιμότητα και άρα μικρότερη αντίσταση, εμφανίζει στη ροή του ρεύματος. Όταν προσπίπτει φως σε ένα φωτοαγωγίμο υλικό, αυξάνεται ο αριθμός των ελευθέρων ηλεκτρονίων του. Αυτό γίνεται, επειδή τα προσπίπτοντα φωτόνια διεγείρουν τα ηλεκτρόνια που είναι δεσμευμένα και τα καθιστούν ελεύθερα. Έτσι, η αντίσταση του φωτοαγωγίμου υλικού μειώνεται.

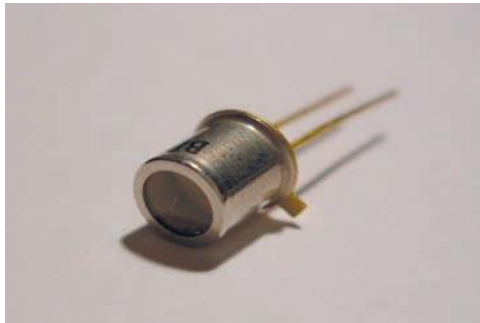


**Σχήμα 9.** Φωτοαντίσταση

- *Φωτοдиодοι και φωτοτρανζίστορ (Σχ.10,11).* Αποτελούν τα βασικά είδη φωτοβολταϊκών ανιχνευτών. Αυτά δημιουργούν ρεύμα, που ονομάζεται "*φωτόρευμα (photocurrent)*" και είναι ανάλογο της προσπίπτουσας φωτεινής έντασης. Τα φωτοτρανζίστορ είναι, φωτοдиодοι που, επιπρόσθετα, ενισχύουν το δημιουργούμενο ρεύμα και, έτσι, η αρχή λειτουργίας τους είναι ίδια με αυτήν των φωτοдиодων. Ο όρος "φωτοдиодος" μπορεί να επεκταθεί, ώστε να περιλαμβάνει και τις ηλιακές μπαταρίες. Συνήθως, όμως, αναφέρεται μόνο στους αισθητήρες φωτεινής στάθμης.



**Σχήμα 10.** Φωτοдиодος



**Σχήμα 11.** Φωτοτρανζίστορ

- *Αισθητήρες μετατόπισης και κίνησης.* Η ανίχνευση της φυσικής θέσης και της κίνησης των αντικειμένων είναι ζωτικής σημασίας για τη μηχανική, αφού οι περισσότερες κατασκευές και διατάξεις διαθέτουν κινητά μηχανικά μέρη. Είναι συχνά απαραίτητο να υπάρχει γνώση της θέσης ενός αντικειμένου ή να προσδιορίζουμε, εάν ή ποτέ ένα κινητό μέρος της διάταξής μας βρίσκεται σε κάποια προκαθορισμένη θέση στον χώρο. Η γνώση της θέσης, της προσέγγισης, της μετατόπισης και της ταχύτητας ή της επιτάχυνσης ενός αντικειμένου αφορούν στο γενικότερο ζήτημα της ανίχνευσης

κάποιας παραμέτρου της κίνησής του. Ανάλογα, επομένως, με τη φύση της εφαρμογής πρέπει να γίνει χρήση των αισθητήρων, που να ανιχνεύουν κάποιο από τα ακόλουθα μεγέθη: (α) Θέση, (β) Προσέγγιση, (γ) Μετατόπιση (ευθύγραμμη ή περιστροφική) και (δ) Ταχύτητα ή επιτάχυνση. Πιο συγκεκριμένα:

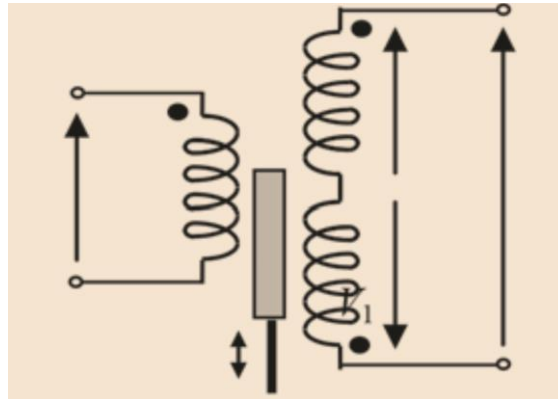
- *μετατόπιση*: προκύπτει από τον υπολογισμό της απόστασης ανάμεσα στη νέα και την παλαιά θέση του εξεταζόμενου αντικειμένου και, άρα, η εύρεση της θέσης ανάγεται στην ανίχνευση της μετατόπισης και αντίστροφα. Ένας τρόπος μέτρησης είναι με τη βοήθεια ενός ποτενσιομέτρου (γραμμικού ή περιστροφικού). Οι πιο σύγχρονοι τρόποι μέτρησης της μετατόπισης και της θέσης είναι οι επαγωγικοί και οι χωρητικοί αισθητήρες μετατόπισης.
- *προσέγγιση*: αποτελεί μία ειδική περίπτωση ανίχνευσης θέσης, για να ευρεθεί το εξεταζόμενο αντικείμενο σε μία συγκεκριμένη, προκαθορισμένη θέση. Η ανίχνευση της προσέγγισης δίνει δύο δυνατά αποτελέσματα (ΝΑΙ / ΟΧΙ) και είναι απλούστερη από την ανίχνευση θέσης, που πρέπει να δίνει ως αποτελέσματα συνεχείς αριθμητικές τιμές (σε χιλιοστάμετρα ή μοίρες). Η μέτρηση της προσέγγισης μπορεί να γίνει με μηχανικό τρόπο (π.χ. διακόπτη επαφής). Ένας πιο ολοκληρωμένος τρόπος μέτρησης της προσέγγισης είναι μέσω της αντίστοιχης θέσης. Γίνεται χρήση ενός αισθητήρα μετατόπισης, που παράγει μία τάση ανάλογη της θέσης. Υπάρχουν και ειδικές μέθοδοι μέτρησης της μετατόπισης, οι οποίες βασίζονται αφενός στη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου (αισθητήρες προσέγγισης μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης, αισθητήρες προσέγγισης φαινομένου Hall) και αφετέρου στην ανάκλαση μίας φωτεινής δέσμης από το μετατοπιζόμενο αντικείμενο (οπτικοί αισθητήρες προσέγγισης).
- *μέτρηση της ταχύτητας και της επιτάχυνσης*: διαφέρει από τις μετρήσεις μηκών και γωνιών (θέσεων, μετατοπίσεων κ.ά.) και βασίζεται σε διαφορετικές αρχές. Για τη μέτρηση της ταχύτητας ενός αντικειμένου χρησιμοποιούνται τεχνικές



υπερήχων ή ραδιοκυμάτων (radar). Σύμφωνα με αυτές τις τεχνικές, προς το κινούμενο αντικείμενο εκπέμπεται ένα κύμα (υπέρηχος ή ραδιοκύμα), το οποίο ανακλάται από το αντικείμενο και ένα τμήμα του επιστρέφει προς τη συσκευή εκπομπής. Το τμήμα του κύματος που επιστρέφει, έχει μήκος ελαφρά διαφορετικό από αυτό που εκπέμπεται, λόγω του φαινομένου Doppler, και η διαφορά αυτή σχετίζεται με την ταχύτητα του αντικειμένου. Στην επιτάχυνση, η μέτρηση συνδέεται με την μέτρηση της δύναμης, καθώς τα μεγέθη αυτά είναι ανάλογα. Ωστόσο, οι αισθητήρες δύναμης στηρίζονται στη μέτρηση του μεγέθους της πίεσης, η οποία προϋποθέτει τη φυσική επαφή του εξεταζόμενου αντικειμένου με το αντικείμενο που το πιέζει. Είναι όμως δυνατό να επιταχυνθεί ένα αντικείμενο, χωρίς να υποστεί πίεση, όπως αν, μετατοπιστεί βίαια το στήριγμά του μέσω κάποιας δύναμης (βαρυτικής, φυγόκεντρης, ηλεκτρικής κ.ά.), που ενεργεί επάνω σε αυτό από απόσταση. Έτσι, υπάρχουν αισθητήρες ειδικά κατασκευασμένοι, για να μετρούν αποκλειστικά το μέγεθος της επιτάχυνσης, που καλούνται "*επιταχυνσιόμετρα (accelerometers)*".

- *Επαγωγικοί Αισθητήρες Μετατόπισης (Σχ.12)*. Βασίζονται σε έναν μετασχηματιστή, του οποίου ο πυρήνας σιδήρου συνδέεται στο εξεταζόμενο αντικείμενο. Όταν μετατοπίζεται το αντικείμενο, μετατοπίζεται και ο πυρήνας. Το δευτερεύον του μετασχηματιστή αποτελείται από δύο ίδια πηνία, συνδεδεμένα σε σειρά, τα οποία ευρίσκονται σε επαγωγική σύζευξη με το πρωτεύον πηνίο του μετασχηματιστή με τη βοήθεια του πυρήνα σιδήρου. Εάν μετατοπιστεί ο πυρήνας προς μία κατεύθυνση, θα εισέλθει περισσότερο στο ένα δευτερεύον πηνίο και, επακόλουθα, θα αυξηθεί η σύζευξή του με αυτό, με αποτέλεσμα το πηνίο αυτό να εμφανίσει αυξημένη τάση στα άκρα του. Παράλληλα, ο πυρήνας απομακρύνεται από το άλλο δευτερεύον πηνίο, με αποτέλεσμα αυτό να εμφανίσει μειωμένη τάση στα άκρα του. Η διαφορά των δύο τάσεων αποτελεί την

τάση εξόδου και έχει πλάτος και διαφορά φάσης, που είναι ανάλογα της μετατόπισης του πυρήνα σιδήρου.



**Σχήμα 12.** Αρχή λειτουργίας επαγωγικού αισθητήρα

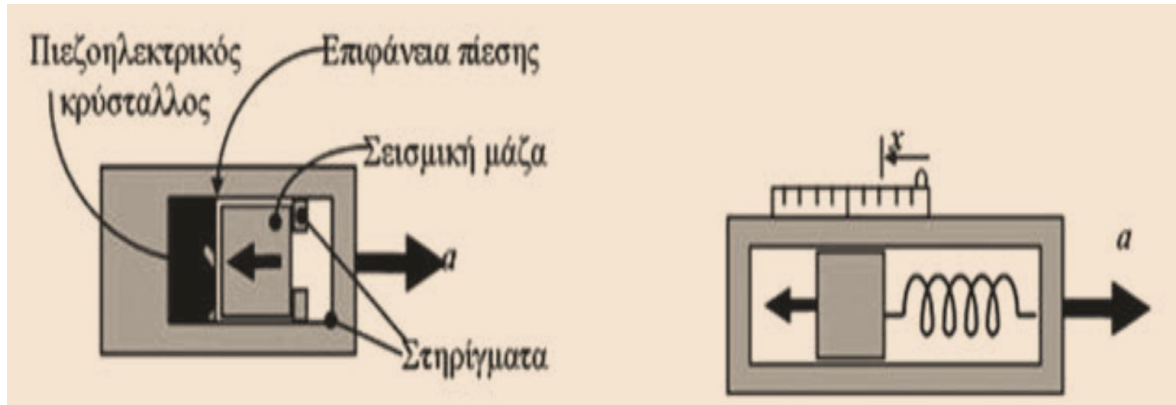
- *Χωρητικοί Αισθητήρες Μετατόπισης.* Οι χωρητικοί αισθητήρες μετατόπισης αξιοποιούν τη μεταβολή της χωρητικότητας  $C$  ενός επίπεδου πυκνωτή από τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά.
- *Αισθητήρες Υπερήχων (Σχ.13).* Η λειτουργία τους βασίζεται στην εκπομπή ενός υπερηχητικού κύματος από ένα σημείο, στην ανάκλασή του πάνω σε μια επιφάνεια και στη λήψη, τέλος, του ανακλώμενου κύματος. Το κύμα εκπέμπεται σε παλμούς και μετριέται το χρονικό διάστημα μεταξύ εκπομπής και λήψης του κύματος.



**Σχήμα 13.** Αισθητήρες υπερήχων

- *Επιταχυνσιόμετρα.* Είναι αισθητήρες που ανιχνεύουν επιταχύνσεις και, επιπρόσθετα, δονήσεις και κρούσεις. Διαθέτουν μία μάζα  $m$ , που τείνει να κινηθεί αντίθετα από την κατεύθυνση της επιτάχυνσης (λόγω της αδράνειας που εμφανίζει) και η οποία ονομάζεται και “σεισμική μάζα”.

Υπάρχουν δύο τρόποι αξιοποίησης του φαινομένου αυτού για την παραγωγή ενός ανάλογου ηλεκτρικού σήματος εξόδου: στον πρώτο, η σεισμική μάζα πιέζει έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο και στον δεύτερο τρόπο, επιμηκύνει ένα ελατήριο.



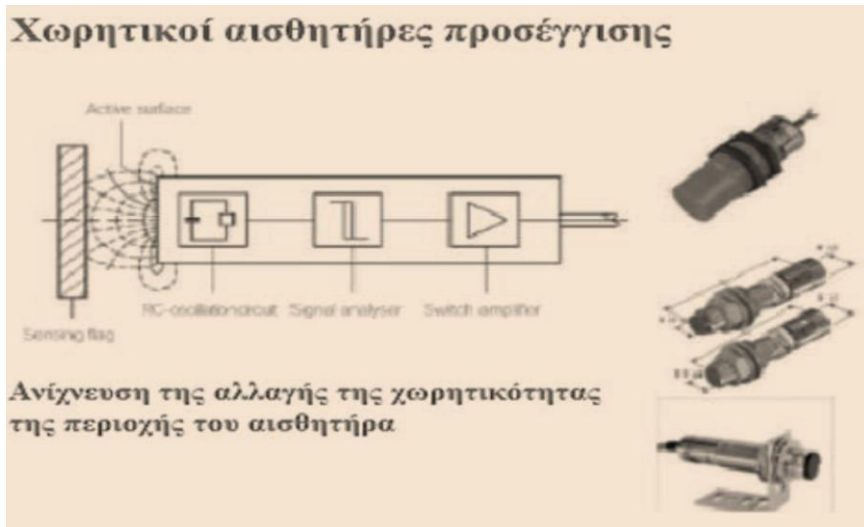
(α) Λειτουργία με πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο

(β) Λειτουργία με ελατήριο

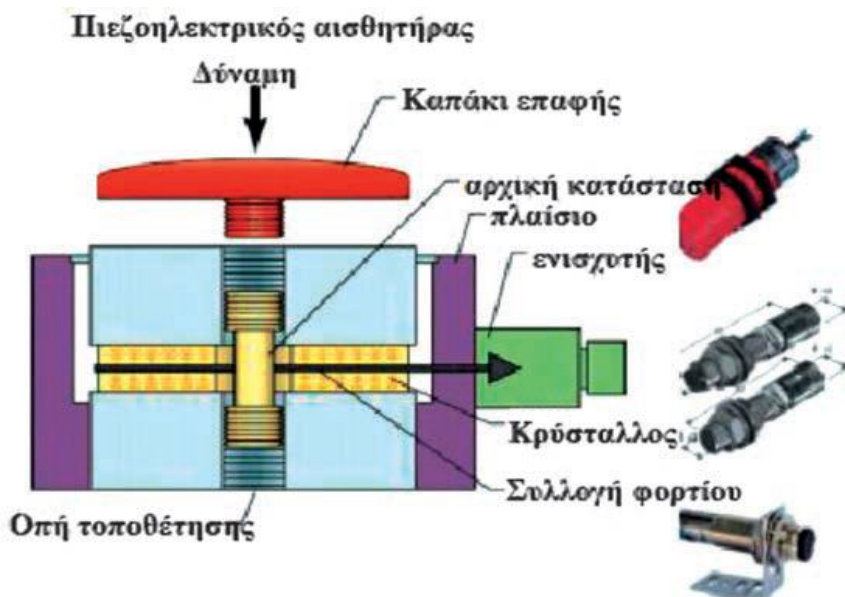
#### Σχήμα 14. Επιταχυνσιόμετρα

- *Αισθητήρες πίεσης και βάρους.* Η πίεση αποτελεί μέτρο της δύναμης ή της μηχανικής τάσης, που ασκείται από ένα εξωτερικό αίτιο στην εξωτερική επιφάνεια κάποιου σώματος. Το βάρος είναι η σταθερή προς τα κάτω δύναμη, που ασκεί η  $G$  σε ένα σώμα, και αποτελεί μία ειδική περίπτωση δύναμης. Εάν τοποθετηθεί ένα σώμα σε επαφή με έναν αισθητήρα πίεσης, ο αισθητήρας μπορεί να μετρά τη δύναμη που δέχεται το σώμα από ένα εξωτερικό αίτιο ή από τη  $G$ , ανάλογα με τη σχετική θέση σώματος και αισθητήρα (κατακόρυφη, οριζόντια κοκ.). Με τον τρόπο αυτό, η μέτρηση του βάρους ανάγεται στη μέτρηση της πίεσης και γι' αυτό οι μετρητές της πίεσης χρησιμοποιούνται και για τη μέτρηση του βάρους. Τα κυριότερα είδη αισθητήρων πίεσης είναι τα ακόλουθα:

- Μανόμετρα υγρού και αερίου.
- Χωρητικοί αισθητήρες (Σχ.15).
- Επαγωγικοί αισθητήρες.
- Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες και αισθητήρες πιεζοαντίστασης (Σχ.16).
- Μετρητές μηχανικής τάσης και κυψελίδες φορτίου.



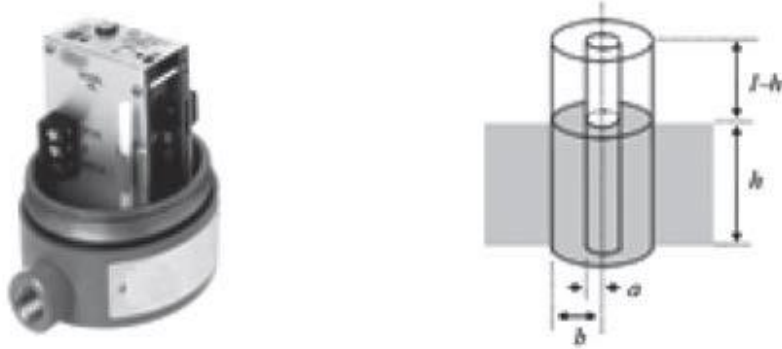
Σχήμα 15. Χωρητικός αισθητήρας



Σχήμα 16. Σχηματική αναπαράσταση πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα

- *Αισθητήρες στάθμης και όγκου.* Οι αισθητήρες στάθμης και όγκου χρησιμοποιούνται στην περίπτωση υγρών, τα οποία καταλαμβάνουν το κάτω τμήμα του δοχείου ή της δεξαμενής, όπου τίθενται, και σχηματίζουν μία οριζόντια ελεύθερη επιφάνεια στο άνω μέρος. Το πόσο μεγάλο είναι το τμήμα της δεξαμενής, που καταλαμβάνεται, εξαρτάται από τον όγκο του υγρού. Η απόσταση της ελεύθερης επιφάνειας από τον πυθμένα της δεξαμενής αποτελεί τη στάθμη (level) του υγρού. Σήμερα χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της

στάθμης υγρών χωρητικοί αισθητήρες, αλλά και αισθητήρες πίεσης. Για παράδειγμα, οι χωρητικοί αισθητήρες στάθμης αποτελούνται από έναν κυλινδρικό πυκνωτή, στον οποίο το διάκενο μεταξύ των κυλινδρικών οπλισμών δεν περιέχει διηλεκτρικό και μπορεί να γεμίσει με υγρό, μεταβάλλοντας με τον τρόπο αυτό την χωρητικότητα του (Σχ.17). Προκειμένου να υπολογιστεί η στάθμη ενός υγρού, θα μπορούσαν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν και αισθητήρες θέσης, υπερήχων και βραχυκυκλώματος.



**Σχήμα 17.** Χωρητικός αισθητήρας στάθμης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΡΑΣΗΣ

#### 3.1 Γενικά

Ένα σύστημα δράσης είναι ένα είδος κινητήρα υπεύθυνου για την κίνηση ή τον έλεγχο ενός μηχανισμού ή ενός συστήματος. Λειτουργεί με την παροχή ενέργειας, συνήθως με την μορφή ηλεκτρικής ενέργειας ή υδραυλικής πίεσης ή πνευματικής πίεσης, την οποία μετατρέπει σε κίνηση κάποιας μορφής. Ένα σύστημα δράσης είναι ο μηχανισμός, με τον οποίο ένα σύστημα δρα στο περιβάλλον. Αυτό το σύστημα μπορεί να είναι απλό (π.χ. ένα σταθερό μηχανικό ή ηλεκτρονικό σύστημα), μπορεί να βασίζεται σε λογισμικό (π.χ. πρόγραμμα οδήγησης του εκτυπωτή), ή μπορεί να κινητοποιείται από έναν άνθρωπο-χειριστή.

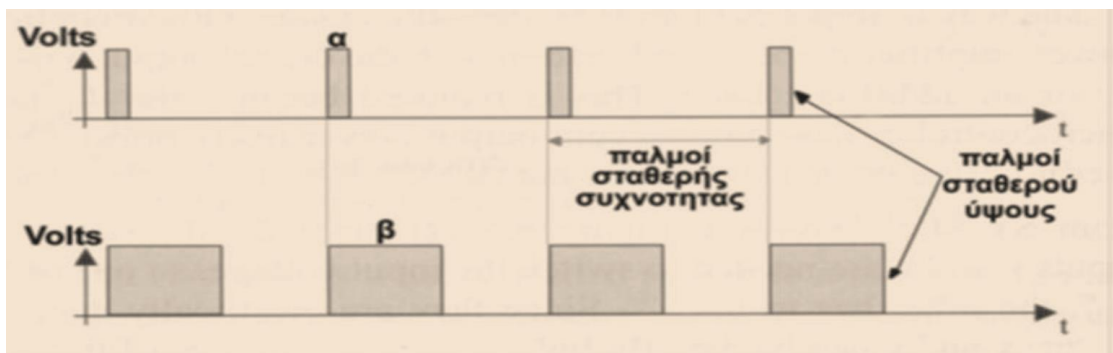
#### 3.2 Είδη Συστημάτων Δράσης

Υπάρχουν πολλά είδη συστημάτων δράσης. Τα κυριότερα είναι οι σερβοκινητήρες και η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Ειδικότερα:

- *Σερβοκινητήρες.* Προέρχεται από το γαλλικό *Le Servomoteur*, που στα ελληνικά μεταφράζεται ως "ο δούλος κινητήρας". Οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου και σε εφαρμογές, στις οποίες απαιτείται έλεγχος της ταχύτητας, της θέσης και της ροπής του άξονα του κινητήρα. Κλασικά παραδείγματα χρησιμοποίησης σερβοκινητήρων είναι στους ρομποτικούς βραχίονες, στις αυτόματες εργαλειομηχανές, στα τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα, καθώς και στα αυτόματα συστήματα πλοήγησης πλοίων και αεροπλάνων. Βασικό γνώρισμα των σερβοκινητήρων είναι η ικανότητά τους να αναπτύσσουν μεγάλες επιταχύνσεις, όταν ξεκινούν από πλήρη ακινησία, δηλ. όταν έχουν μικρή ροπή αδράνειας και μεγάλη ροπή στρέψης. Όταν στους σερβοκινητήρες εφαρμοστεί η τάση λειτουργίας τους, τότε αυτοί περιστρέφονται με μια συγκεκριμένη ταχύτητα, σύμφωνα και με τις προδιαγραφές τους. Για να περιστραφεί ένας σερβοκινητήρας με διαφορετικές ταχύτητες, χρησιμοποιείται η τεχνική PWM (Pulse Width Modulation). Σύμφωνα με αυτή, ο κινητήρας οδηγείται όχι με σταθερή τάση, αλλά με

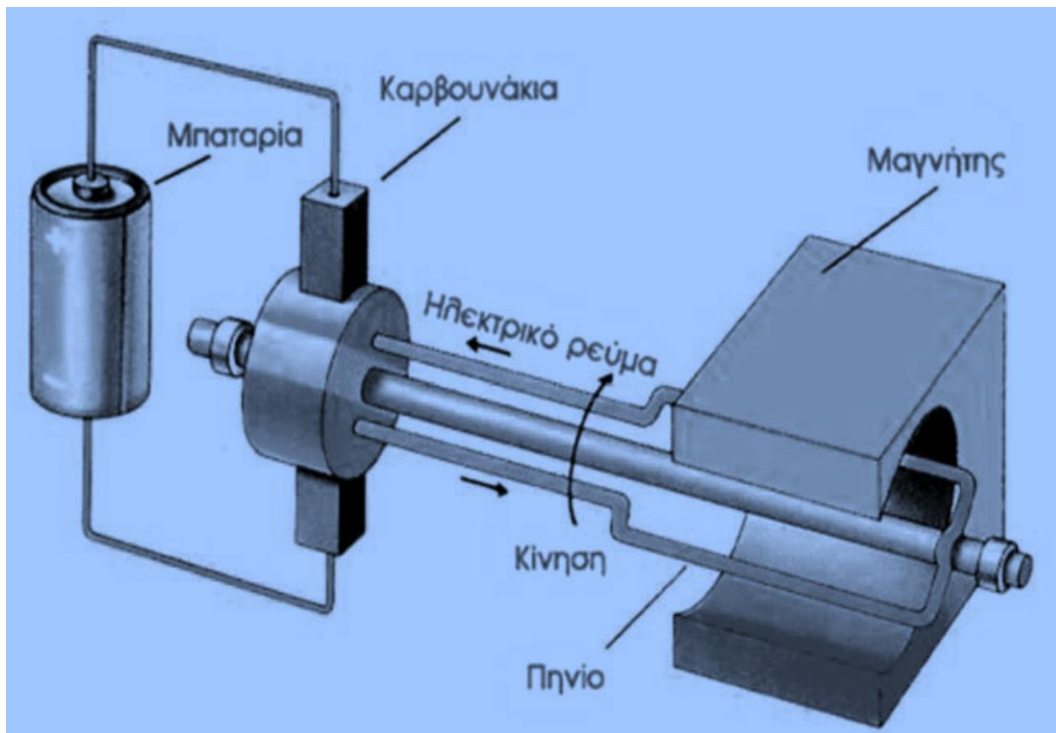
παλμούς σταθερής συχνότητας και ύψους, η διάρκεια των οποίων καθορίζει και την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Στο επόμενο σχήμα, αν  $\beta=5*\alpha$  και ο κινητήρας, όταν οδηγείται από την  $\alpha'$  κυματομορφή, περιστρέφεται με ταχύτητα  $U$ , τότε η ταχύτητά του θα είναι  $5*U$ , εάν οδηγηθεί από τη  $\beta'$  κυματομορφή. Πιο συγκεκριμένα:

- *Τάση λειτουργίας.* Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε συστήματα μικρών αυτόνομων ρομπότ χαρακτηρίζονται από συνεχή τάση λειτουργίας. Χωρίζονται, σε δύο κατηγορίες: α) Στους μικρούς DC κινητήρες, οι οποίοι έχουν τάση 1,5 - 6V και β) στους υψηλότερης ποιότητας κινητήρες με τάση 12- 24V.
- *Ταχύτητα περιστροφής.* Η ταχύτητα περιστροφής στους κινητήρες αφορά στην ταχύτητα περιστροφής του άξονα του κινητήρα, όταν ο κινητήρας λειτουργεί υπό κανονική ηλεκτρική τάση και με δεδομένο φορτίο. Γενικά, μετράται σε στροφές ανά λεπτό (Rounds Per Minute), στους περιστροφικούς (σερβο) σε μοίρες ανά λεπτό και στους βηματικούς κινητήρες σε βήματα ανά δευτερόλεπτο.
- *Βασικά χαρακτηριστικά των κινητήρων.* Η ροπή του κινητήρα είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης. Η φορά της ροπής καθορίζεται από την πολικότητα της τάσης.
- *Πλεονεκτήματα σερβοκινητήρα.* Έχει τη δυνατότητα παραγωγής μεγάλων τιμών ροπής. Μπορεί να περιστρέφεται σε υψηλές ταχύτητες. Ελέγχεται εύκολα από τους σύγχρονους ελεγκτές ρομποτικών εφαρμογών. Διατίθεται σε μεγάλη ποικιλία εμπορικών μοντέλων.
- *Μειονεκτήματα σερβοκινητήρα.* Υψηλό κόστος και υψηλή κατανάλωση.



**Σχήμα 18.** Τεχνική PWM

- *Ηλεκτρικός κινητήρας.* Ο σερβοκινητήρας (servomotor) είναι ένας ηλεκτρικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος εφοδιασμένος με αισθητήρα προσδιορισμού της θέσης του άξονα περιστροφής του. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η βασική αρχή λειτουργίας ενός ηλεκτρικού κινητήρα.



**Σχήμα 19.** Ηλεκτρικός κινητήρας

Ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ροπή. Είναι μία από τις καθαρότερες και πιο εύκολα διαθέσιμες μορφές συστημάτων δράσης, διότι δεν εμπλέκει λάδι.

- *Βηματικός κινητήρας.* Χρησιμοποιούν συνδυασμό ηλεκτρικών παλμών για την κίνηση. Για να κινηθεί ο ρότορας, εφαρμόζεται διαδοχικά σε κάθε ένα από τα ζεύγη ηλεκτρομαγνητών (Σχ.20) ορισμένη τάση ηλεκτρικού ρεύματος. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται από το ένα ζεύγος ηλεκτρομαγνητών στο διπλανό του, ο ρότορας μετατοπίζεται κατά κάποιες μοίρες, λόγω των μαγνητικών δυνάμεων που εφαρμόζονται σε αυτόν. Η γωνία αυτή ονομάζεται “βήμα του κινητήρα”. Τα πλεονεκτήματά του είναι τα εξής:
  - Σε αντίθεση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, δεν χρειάζεται φρένα για να μένει ακίνητος ή για να επιβραδύνεται.
  - Στις μικρές ταχύτητες περιστροφής, αλλά και κατά την εκκίνησή του, παράγει μεγάλες τιμές ροπής.



- Είναι πολύ αξιόπιστος, καθώς για τη λειτουργία του δεν απαιτούνται κινούμενες ηλεκτρικές επαφές (π.χ. στον κινητήρα συνεχούς ρεύματος) κι έτσι η διάρκεια ζωής του εξαρτάται μόνο από την αξιοπιστία του εδράνου κύλισης.
- Δεν απαιτείται η χρήση αισθητήρων και κυκλωμάτων ανάδρασης για τον προσδιορισμό της θέσης του άξονα κίνησης.
- Μπορεί να επιτύχει μεγάλο εύρος ταχυτήτων περιστροφής.
- Μπορεί να επιτύχει πολύ χαμηλές ταχύτητες περιστροφής.

Τα μειονεκτήματα είναι τα ακόλουθα:

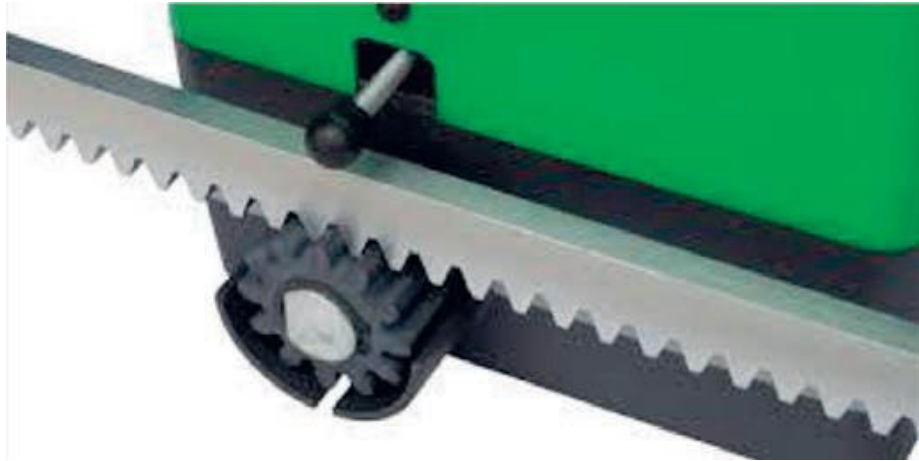
- Θορυβώδης λειτουργία.
- Αδυναμία περιστροφής σε υψηλές ταχύτητες.
- Κατά τη μετακίνηση φορτίων μεγάλης μάζας μπορεί να μη σταματήσει ακαριαία ο κινητήρας, λόγω της αυξημένης αδράνειας.

## Βηματικός κινητήρας



**Σχήμα 20.** Βηματικός κινητήρας

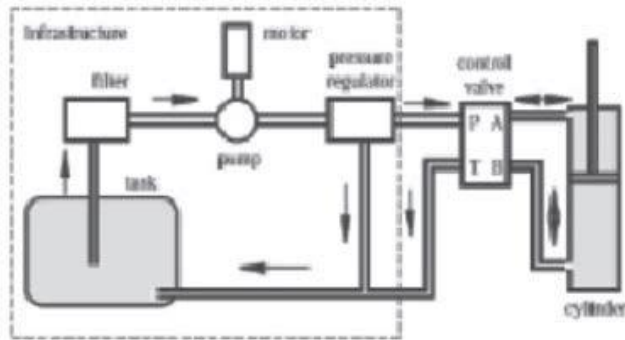
- *Μηχανικός σερβοκινητήρας γραμμικής κίνησης.* Αυτός λειτουργεί με τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε γραμμική κίνηση. Περιλαμβάνει γρανάζια, τροχαλίες, αλυσίδες και άλλες συσκευές. Ένα παράδειγμα μηχανικού σερβοκινητήρα είναι αυτό της κρεμαγιέρας (Σχ.21).



**Σχήμα 21.** Κρεμαγιέρα

- *Μηχανικός σερβοκινητήρας περιστροφικής κίνησης.* Είναι κινητήρας που μπορεί να γυρίζει έναν άξονα από τις 0 μέχρι τις 180 μοίρες. Η λειτουργία αυτή είναι χρήσιμη, όταν κινείται κάποιο μέρος ελεγχόμενα. Ο κινητήρας συνδέεται με ένα καλώδιο στην πηγή, ένα δεύτερο στη γείωση και το τρίτο σε ένα pin του ελεγκτή, ώστε να δίνονται εντολές, για το πώς και πόσο θα στραφεί.
- *Υδραυλικός σερβοκινητήρας.* Αποτελείται από έναν κυλινδρικό κινητήρα ή έναν κινητήρα ρευστού και, για να εκτελέσει μηχανολογικές λειτουργίες, χρησιμοποιεί την υδραυλική δύναμη (Σχ.22). Η μηχανική κίνηση μπορεί να είναι γραμμική, περιστροφική ή ταλαντωτική. Επειδή τα υγρά είναι σχεδόν ασυμπίεστα, ένας υδραυλικός σερβοκινητήρας μπορεί να ασκήσει σημαντική δύναμη, αλλά περιορίζεται στην επιτάχυνση. Ο κινητήρας αυτός αποτελείται από έναν κοίλο κυλινδρικό σωλήνα, κατά μήκος του οποίου ένα έμβολο μπορεί να ολισθαίνει. Υπάρχουν κινητήρες διπλής και μονής ενέργειας. Ο όρος “διπλής ενέργειας” χρησιμοποιείται, όταν εφαρμόζεται πίεση σε κάθε πλευρά του εμβόλου, οπότε η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών του εμβόλου έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση του εμβόλου σε κάθε πλευρά. Ο όρος “μονής ενέργειας” χρησιμοποιείται, όταν η πίεση του ρευστού εφαρμόζεται σε μόνο μία πλευρά του εμβόλου. Το έμβολο μπορεί να κινείται μόνο προς μία κατεύθυνση και ένα ελατήριο χρησιμοποιείται συχνά, για να βοηθήσει το έμβολο να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση. Οι κινητήρες αυτοί υλοποιούν τόσο τη μεταφορική όσο και την περιστροφική κίνηση.

## Υδραυλικό σύστημα δράσης



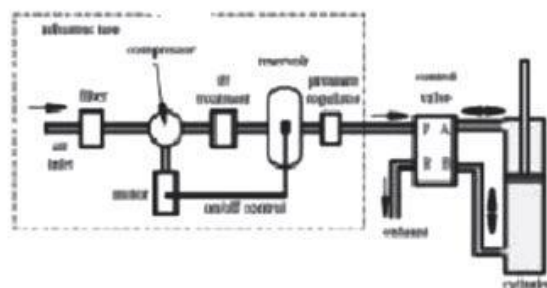
Δεξαμενές και αντλίες

Η διαφορά πιέσεων ελέγχεται από υδραυλικές βαλβίδες

Σχήμα 22. Υδραυλικός σερβοκινητήρας

- *Πνευματικός σερβοκινητήρας.* Αυτός χρησιμοποιεί τη διαφορά πίεσης μεταξύ δύο περιοχών (κενό ή πεπιεσμένο αέρα σε υψηλή πίεση) και τη μετατρέπει είτε σε γραμμική είτε σε περιστροφική κίνηση. Η πνευματική ενέργεια είναι επιθυμητή για τον βασικό έλεγχο της μηχανής, επειδή μπορεί να αποδοθεί γρήγορα στην εκκίνηση και το σταμάτημα της μηχανής και δεν χρειάζεται να αποθηκευτεί πιο πριν σε απόθεμα, για να λειτουργήσει. Οι πνευματικοί κινητήρες επιτρέπουν να παραχθούν μεγάλες δυνάμεις από σχετικά μικρές μεταβολές της πίεσης. Οι δυνάμεις αυτές χρησιμοποιούνται συχνά σε βαλβίδες, για να μετακινούν διαφράγματα και, έτσι, να επηρεάζεται η ροή ενός υγρού μέσω των βαλβίδων. Επιπλέον, οι πνευματικοί σερβοκινητήρες είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή της πίεσης σε ισχύ. Οι κινητήρες αυτοί παρουσιάζουν, όμως, ιδιαίτερη δυσκολία στον έλεγχο, εξαιτίας της αναπόφευκτης συμπίεστικότητας του ρευστού. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται συχνά για εφαρμογές που δεν απαιτούν ιδιαίτερη ακρίβεια.

## Πνευματικό σύστημα δράσης



**Συμπιεστές και ρυθμιστές πίεσης**

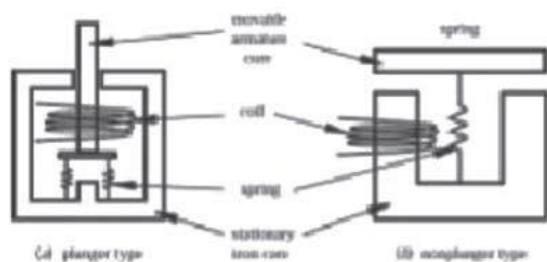
**Η διαφορά πίεσης προκαλεί γραμμική κίνηση**

**Μικρότερες πιέσεις σε σύγκριση με τους υδραυλικούς ενεργοποιητές**

Σχήμα 23. Πνευματικός ενεργοποιητής

- *Ηλεκτρομαγνητικός ενεργοποιητής.* Μετατρέπει ένα ηλεκτρικό σήμα σε μαγνητικό πεδίο (Σχ.24). Τέτοιου είδους συστήμα δράσης είναι η γραμμική ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, που έχει την ίδια βασική αρχή λειτουργίας με το ηλεκτρομηχανικό ρελέ και που μπορεί να ενεργοποιηθεί και να ελεγχθεί με τη χρήση τρανζίστορ ή MOSFET. Μια γραμμική ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα είναι μια ηλεκτρομαγνητική συσκευή, η οποία μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική δύναμη ώθησης ή έλξης ή κίνησης.

## Ηλεκτρομαγνητικός ενεργοποιητής



**Μετατρέπει την ενέργεια σε γραμμική κίνηση**

**Πηνίο και σιδερένιος πυρήνας**

**Το πηνίο παράγει μαγνητικό πεδίο και μετακινεί τον πυρήνα από σίδηρο**

Σχήμα 24. Ηλεκτρομαγνητικός ενεργοποιητής

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (IoT)

#### 4.1 Γενικά

Το *Διαδίκτυο των Πραγμάτων* (*Internet of Things - IoT*) αποτελεί μία από τις πιο σπουδαίες τεχνολογικές εξελίξεις που θα επηρεάσει πολλές πτυχές της κοινωνίας και των επιχειρήσεων και ευρύτερα την οικονομία. Το IoT ή διαδίκτυο των πραγμάτων είναι ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από μηχανές που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία μέχρι φορητές συσκευές που χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητά. Η φιλοσοφία του IoT είναι: να συνδεθούν οι ηλεκτρονικές συσκευές ενός χρήστη μεταξύ τους (τοπικό δίκτυο) ή να τους δίνετε η δυνατότητα να συνδεθούν στο διαδίκτυο (παγκόσμιο ιστό). Οι συσκευές αυτές αφού συνδεθούν στο διαδίκτυο συλλέγουν και ανταλλάσσουν πληροφορίες. Ο όρος “*Things*” δεν είναι αυστηρά ορισμένος με την έννοια των “*πραγμάτων*”, αλλά αναφέρεται σε μία μεγάλη ποικιλία συσκευών, όπως π.χ. αυτοκίνητα με αισθητήρες, κάμερες, φώτα, συστήματα ασφάλεια κλπ (ότι δηλαδή διαθέτει ένα σύγχρονο αυτοκίνητο). Η τεχνολογία καθημερινά επηρεάζει ολοένα και περισσότερο την καθημερινότητά μας οπότε όλο και περισσότεροι άνθρωποι έχουν άμεση πρόσβαση σε συσκευές οι οποίες διαθέτουν σύστημα Wi-fi, Bluetooth και άλλα προηγμένα συστήματα. Αυτό σημαίνει ότι γίνεται εύπορο το έδαφος ώστε να διαδοθεί εύκολα και γρήγορα το IoT. Για παράδειγμα, ένα άτομο χρησιμοποιώντας το κινητό ή τον υπολογιστή του θα μπορεί να ελέγξει τις “έξυπνες (*smart*)” συσκευές του σπιτιού του (π.χ. ψυγείο, θερμοσίφωνα) από απόσταση, π.χ. από την εργασία του.

Το IoT θα φέρει σημαντικές αλλαγές μεταξύ των οποίων είναι: ο τρόπος διοίκησης και λειτουργίας των επιχειρήσεων και οργανισμών, η επικοινωνία μηχανής με μηχανή (MTM), η επικοινωνία μιας μηχανής με μία ολόκληρη υποδομή συστημάτων, η επικοινωνία μιας μηχανής με το περιβάλλον καθώς και η επικοινωνία με οποιαδήποτε “έξυπνη” κινητή συσκευή μέσω αισθητήρων. Κανείς δεν μπορεί να αμφισβητήσει το γεγονός ότι το Internet of Things αναπτύσσεται ταχύτατα και οι δυνατότητες που προσφέρει είναι τεράστιες, καθώς το δίκτυο για την επικοινωνία όλων αυτών των έξυπνων συσκευών και διαφόρων ηλεκτρονικών “*πραγμάτων*” δημιουργεί ένα παγκόσμιο νευρωνικό δίκτυο επικοινωνίας, το οποίο είναι βασισμένο στο Internet και

το Cloud. Οι συσκευές αυτές καθώς και ο τρόπος επικοινωνίας τους μέσα από το cloud θα διεισδύσει σε κάθε πτυχή της ζωής μας λόγω της έξυπνης διαχείρισης και επεξεργασίας των πληροφοριών. Σαν αποτέλεσμα αυτού, μεγάλος όγκος πληροφοριών θα μεταφέρονται εντός του δικτύου και θα καταλήξουν σε συστήματα ή συσκευές στις οποίες μπορούμε να προγραμματίσουμε και να ελέγξουμε. Βασικός σκοπός είναι να συλλεχθούν αυτές οι πληροφορίες και να διευκολυνθεί ο τρόπος ζωής των ανθρώπων, να δημιουργηθούν νέες ευκαιρίες και υπηρεσίες προς όφελος του ανθρώπου και να μειωθεί όσο γίνεται η μόλυνση του περιβάλλοντος.

Οι δυνατότητες που προσφέρει το IoT είναι τεράστιες, με νέες ιδέες υλοποίησης και δυναμικά θα επηρεάσει την κοινωνία στην ολότητα της. Για το λόγο αυτό, έχουν δημιουργηθεί οργανισμοί οι οποίοι θα βοηθήσουν στη μετάβαση αυτής της νέας εποχής του IoT όπως Alliance of IoT Innovations, Internet Security Releases Internet of Things και διάφοροι άλλοι οργανισμοί. Αποτελεί μία τεχνολογία η οποία έχει ως βασικό της σκοπό να αλλάξει το μέλλον, να φέρει σημαντικές αλλαγές στις αγορές, στον τομέα της υγείας και στη βιομηχανία. Όλα τα δεδομένα που θα συγκεντρώνονται μέσω της τεχνολογίας αυτής θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιωθεί η ζωή των ανθρώπων, για να εντοπιστεί και να προβλεφθούν οι ανάγκες που αυτοί έχουν προτού καν εκδηλωθούν. Έτσι, το *Internet of Things (IoT)* θα διευκολύνει τους ανθρώπους στην καθημερινότητά τους, αφού αποτελεί νέα πηγή πληροφοριών, νέα επιχειρηματικά μοντέλα, νέες υπηρεσίες και νέα καινοτόμα προϊόντα σε πολλούς κλάδους

## 4.2 Ιστορική Εξέλιξη

Η τεχνολογία δεν αναπτύχθηκε στα πρόθυμα της νέας γενιάς του IoT για να επιτρέψει την ασύγχρονη επικοινωνία μεταξύ των “έξυπνων” συσκευών αλλά είχε αρχίσει να υφίσταται σαν μία αόρατη σκέψη από το 1950. Πιο συγκεκριμένα:

- Οι μηχανικοί της IBM είχαν την ανάγκη να ορίσουν ταυτότητες σε κάθε αντικείμενο και μηχανήμα που χρησιμοποιούσαν στην επιχείρηση. Η διαρκής ενασχόληση και οι πειραματισμοί με γραμμικά σχήματα, οδήγησαν στην ανακάλυψη των barcodes. Νέοι πειραματισμοί από μηχανικούς και επιστήμονες δημιούργησαν κινητές φορητές συσκευές τις οποίες μπορείς να φοράς στον καρπό σου (wearables). Η πρώτη συσκευή δημιουργήθηκε το 1955 από τον Edward O. Thorp ήταν ένα ρολόι το οποίο είχε τη δυνατότητα

να προβλέψει τους κύκλους που έκαναν οι ρουλέτες στα καζίνα του Las Vegas. Τα αποτελέσματα αυτού ήταν υπερβολικά κερδοφόρα.

- Το 1967 από τον Hubert Urton δημιουργήθηκε η πρώτη συσκευή σε σχήμα γυαλιών μυωπίας η οποία είχε ως σκοπό να βοηθήσει τα άτομα με ειδικές ανάγκες να διαβάσουν τα χείλη των ανθρώπων. Το 2011 η Google εμπνεύστηκε από την ιδέα του Hubert Urton και δημιούργησε το project “*Google Glass*” όπου περιλαμβάνει στοιχεία αυξημένης πραγματικότητας.
- Το 1980 με τη δημιουργία του δικτύου ARPANET για την επικοινωνία και την ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα στις στρατιωτικές βάσεις των ΗΠΑ, στάλθηκε το πρώτο μήνυμα απομακρυσμένων υπολογιστών.
- Το 1982 ήταν η εποχή του Internet και του πρωτοκόλλου TCP/IP, το οποίο πέρασε από τη διαδικασία να γίνει πρότυπο (Standart). Με το πρωτόκολλο TCP/IP ξεκίνησε μία νέα εποχή παγκοσμίου ιστού και δικτύων οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους, για να δημιουργηθεί το διαδίκτυο.
- Η τεχνολογία RFID είναι η τεχνολογία η οποία μας επιτρέπει την ασύρματη αλλά παθητική ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων σε συσκευές. Η τεχνολογία αυτή δημιουργήθηκε τον Ιανουάριο του 1973 από τον Mario Cardullo.
- Δέκα χρόνια αργότερα, φοιτητές του Πανεπιστημίου Carnegie Mellon της Pennsylvania ανέπτυξαν την σκέψη να επικοινωνεί μία μηχανή με μία άλλη μηχανή. Εγκατέστησαν υπολογιστές για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας από τερματικούς υπολογιστές στα μηχανήματα αυτόματων πολιτών που υπήρχαν στο Πανεπιστήμιο.
- Το 1990 ο Mark Weiser, υπάλληλος της Xerox Parc δημοσίευσε ένα άρθρο όπου αφορούσε την εξέλιξη των υπολογιστών του 21ου αιώνα και εντός του άρθρου αυτού χρησιμοποίησε όρους “*καθολικών συστημάτων*” και “*ενσωματωμένα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας*”.
- Το 1995 η Siemens ανακοίνωσε το πρώτο chip το οποίο επιτρέπει σε συστήματα βιομηχανίας να επικοινωνούν μεταξύ τους με ασύρματο τρόπο και να εκτελούν εντολές. Επίσης, η IEEE ξεκίνησε το πρώτο διεθνές forum για φορητούς υπολογιστές.
- Το 1999 το MIT δημιούργησε το πρώτο κέντρο ερευνών όπου περιελάμβανε σύγχρονα συστήματα και εκεί εξελίχθηκαν τα barcodes σε ένα νέο σύστημα

το οποίο μπορούμε να αναγνωρίσει πληροφορίες πιο έξυπνα. Το σύστημα αυτό ονομάστηκε *EPM (Electronic Product Code)*.

- Το 2000 δημιουργήθηκε το πρώτο πρωτόκολλο επικοινωνίας “Machine to Machine”, για συσκευές οι οποίες είναι διασυνδεδεμένες στο διαδίκτυο.
- Το 2005 μέλη από το πρόγραμμα Interaction Design Institute Ivrea κατασκεύαστηκε τη πλατφόρμα του Arduino για μια φτηνή λύση μικροελεγκτή που προοριζόταν για τους φοιτητές.
- Η ομάδα IPSO συντάχθηκε το 2008 με σκοπό να διαδώσουν το πρωτόκολλο IP σε οτιδήποτε αφορά “*Internet of Things*”.
- Δύο χρόνια μετά, το Bluetooth αναβαθμίζεται και έρχεται στην αγορά ένα νέο standard με ονομασία “*Smart Bluetooth*” (*Bluetooth Low Energy – BLE*), όπου επιτρέπει νέες δυνατότητες και εφαρμογές στους τομείς της υγείας, άθλησης και ψυχαγωγίας στο σπίτι να ενταχθούν στον κόσμο του IoT.
- Το 2010 δημιουργήθηκε η υπηρεσία της Google “Street View” η οποία φωτογραφεί 360 μοιρών φωτογραφίες και αποτυπώνει γειτονιές και δρόμους σε ηλεκτρονική μορφή. Επίσης, είχε αποθηκευμένα πάρα πολλά δεδομένα από τα δίκτυα Wifi των ανθρώπων σε αυτές τις περιοχές. Οι εργαζόμενοι της Google συζητούσαν αυτήν την πληροφορία σαν μία νέα αρχή για την Google η οποία διχοτόμησε τις απόψεις των χρηστών του διαδικτύου αλλά και του φυσικού κόσμου. Την ίδια χρονιά, η κυβέρνηση της Κίνας ανακοίνωσε ότι το IoT θα αποτελεί προτεραιότητα στο σχέδιό τους.
- Το 2011 η Gartner, η εταιρία της έρευνας της αγοράς που εφηύρε την “διαφημιστική εκστρατεία του κύκλου για τις αναδυόμενες τεχνολογίες” πρόσθεσε στη λίστα της το “*Internet of Things*”.
- Το 2012 το θέμα της μεγαλύτερης ευρωπαϊκής διαδικτυακής διάσκεψης LeWeb ήταν το “*Internet of Things*”. Ταυτόχρονα, δημοφιλή περιοδικά που εστιάζουν στη τεχνολογία όπως το Forbes, το Fast Company και το Wired άρχισαν να χρησιμοποιούν στο λεξιλόγιό τους το IoT για να περιγράψουν το νέο αυτό φαινόμενο.
- Το 2013 η IDC δημοσίευσε μία έκθεση που αναφέρει ότι το IoT θα στοιχίζει πολλά δισεκατομμύρια στην αγορά το 2020 και ο όρος IoT έφτασε στη μαζική συνειδητοποίηση της αγοράς, όταν η Google ανακοίνωσε την αγορά της Nest για \$3,2 δις, μια εταιρία που κατασκεύαζε συσκευές για το IoT καθώς την ίδια



στιγμή το Consumer Electronics Show (CES) στο Λας Βέγκας πραγματοποιήθηκε υπό το θέμα του IoT.

- Το 2014 η Apple ανακοίνωσε το “*HealthKit & HomeKit*”, δυο πλατφόρμες ανάπτυξης υλοποιήσεων και την υποστήριξη της πλατφόρμας από τις νέες συσκευές, με σκοπό η ιδέα του έξυπνου σπιτιού και τρόπου ζωής να έρθει πιο κοντά στο σήμερα. Επίσης, η τεχνολογία iBeacon έφερε νέα πρότυπα στην αγορά των καταστημάτων και της πώλησης. Από την ιστορική αυτή αναδρομή αξίζουν να αναφερθούν τα σημεία κλειδιά για την ανάπτυξη του Internet of Things τα οποία είναι: η τεχνολογία του *RFID* και συναφείς τεχνολογίες διευθυνσιοδότησης (που αναπτύχθηκαν πρώτα στο κέντρο Auto ID Lab) καθώς και οι δυνατότητες του *IPv6* οι οποίες θα επιτρέψουν σε κάθε υπολογιστή να έχει την δικιά του ξεχωριστή IP διεύθυνση, και να «εισέλθουν» στο κόσμο του IOT.

### 4.3 Χαρακτηριστικά και Απαιτήσεις του IoT

Τα βασικά χαρακτηριστικά του IoT και οι αντίστοιχες απαιτήσεις του είναι οι εξής:

- *Heterogeneity (Ανομοιογένεια)*: Το IoT χαρακτηρίζεται από μεγάλη ανομοιογένεια επειδή επιτρέπει σύνδεση μεταξύ πολλών διαφορετικών συσκευών. Η διαχείριση και η υποστήριξη αυτών αποτελεί ένα από τα *βασικότερα χαρακτηριστικά* του IoT.
- *Scalability (Επεκτασιμότητα)*: Πάρα πολλές συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους. Για να μπορέσει να λειτουργήσει σωστά το IoT οι μεγάλοι όγκοι των ανταλλασσόμενων δεδομένων, των πόρων και των λειτουργιών πρέπει να διαχειριστούν αποτελεσματικά.
- *Cost minimization (Ελαχιστοποίηση κόστους)*: Οι σχεδιαστές μιας αρχιτεκτονικής IoT έχουν ως βασικό τους σκοπό να ελαχιστοποιήσουν το κόστος ανάπτυξης/συντήρησης, καθώς και την κατανάλωση ενέργειας.
- *Flexibility (Ευελιξία)*: Η κατάσταση των συσκευών μεταβάλλεται συνέχεια (π.χ. συνδεδεμένο/αποσυνδεδεμένο) όποτε απαιτείται δυναμική διαχείριση και επαναπρογραμματισμός των συσκευών.
- *Quality of Service (QoS - Ποιότητα υπηρεσιών)*: Όπως σε κάθε τεχνολογία και υπηρεσία, έτσι και στο IoT η εγγύηση υψηλής ποιότητας παρεχόμενων

υπηρεσιών και εφαρμογών έχει μεγάλη σημασία, ιδιαίτερα όταν οι εφαρμογές αυτές χρησιμοποιούν real-time δεδομένα.

- *Secure environment (Ασφάλεια)*: Η ασφάλεια στο IoT παίζει καθοριστικό ρόλο όπως και κάθε άλλη υπηρεσία η οποία χρησιμοποιεί δεδομένα χρηστών και απαιτεί σύνδεση στο διαδίκτυο. Πρέπει δηλαδή να παρέχει ασφάλεια στις επικοινωνίες με ταυτοποίηση των συσκευών αλλά και των χρηστών, διατηρώντας την ακεραιότητα των δεδομένων και των συσκευών, έχοντας τα προσωπικά δεδομένα άκρως εμπιστευτικά.

#### 4.4 Συνδεσιμότητα

Το IoT βασίζεται στη διασύνδεση μικρών συσκευών ή συστημάτων που χρησιμοποιεί ένας χρήστης κατά μέσο όρο στην καθημερινή του ζωή. Όμως εκτός από την διασύνδεση αυτή, διαθέτει και τον κατάλληλο *εξοπλισμό* όπου θα έχει την δυνατότητα να διασυνδέσει τόσο τις συσκευές αυτές μεταξύ τους όσο και με τον κατασκευαστή των συστημάτων αυτών, με στόχο να προσφέρουν περισσότερες υπηρεσίες. Αυτό σημαίνει ότι μέσω του IoT τα συστήματα χρησιμοποιούν το διαδίκτυο για τη διασύνδεσή τους, είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και είναι διάστασης μικροτσιπ. Τα συστήματα αυτά είναι είτε "έξυπνες (smart) συσκευές", είτε "*πραγματικού χρόνου (real time) συστήματα*", είτε "συστήματα συγκέντρωσης πληροφοριών σε μεγάλες βάσεις δεδομένων".

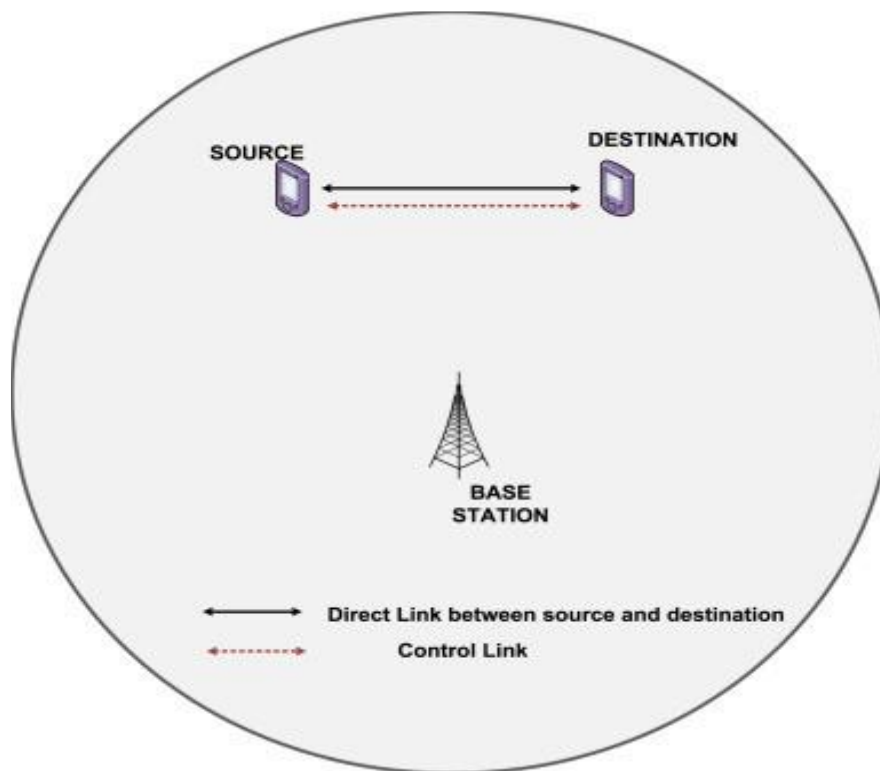
Τα τρία κύρια μέρη ενός IoT είναι τα εξής:

- τα "*πράγματα*", όπου συλλέγουν πληροφορίες οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή χρησιμοποιώντας RFID τεχνολογία, αισθητήρες και κώδικα.
- τα δίκτυα επικοινωνιών που συνδέουν τα "*πράγματα*".
- τα υπολογιστικά συστήματα και οι εφαρμογές που επεξεργάζονται όσα δεδομένα ρέουν από και προς τα "*πράγματα*" όπως το cloud computing.

Η συνδεσιμότητα των τριών αυτών μερών του IoT πραγματοποιείται με τέσσερις τρόπους δικτύωσης:

- *Σύνδεση συσκευή-προς-συσκευή (device-to-device communication)*. Το μοντέλο αυτό επικοινωνίας συσκευή προς συσκευή αντιπροσωπεύεται από δύο ή περισσότερες συσκευές που συνδέονται άμεσα και επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς ενδιάμεσο server (Σχ.25). Αυτές οι συσκευές συνδέονται

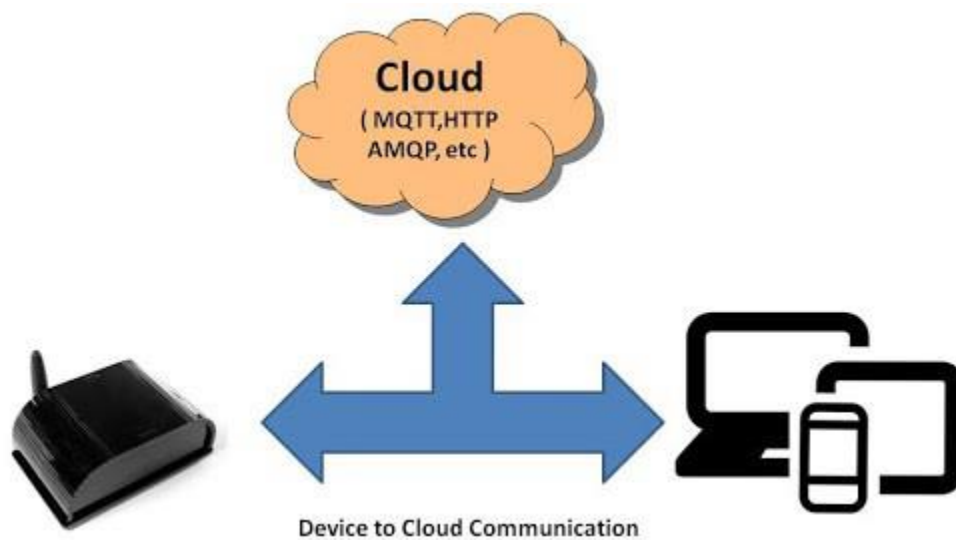
με πολλούς τύπους δικτύων, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων IP ή το Internet, χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα όπως το Bluetooth, Z-Wave, ή ZigBee. Το Bluetooth πρόκειται για μια ασύρματη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία μικρών αποστάσεων, ένα πρότυπο για ασύρματα προσωπικά δίκτυα υπολογιστών (Wireless Personal Area Networks, WPAN). Το Z-Wave είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματων επικοινωνιών για εφαρμογές οικιακού αυτοματισμού. Χρησιμοποιεί χαμηλής ισχύος ραδιοκύματα. Ένα ακόμα πιο εξελιγμένο μέσο δικτύωσης από το Bluetooth είναι το ZigBee. Πρόκειται για ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο χαμηλής κατανάλωσης ισχύος σε Wireless Personal Area Networks (WPANs). Η device-to-device επικοινωνία χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως συστήματα οικιακού αυτοματισμού, που συνήθως χρησιμοποιούν μικρά πακέτα δεδομένων για επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και με απαίτηση σχετικά χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων.



**Σχήμα 25.** Σύνδεση συσκευή-προς-συσκευή (device-to-device communication)

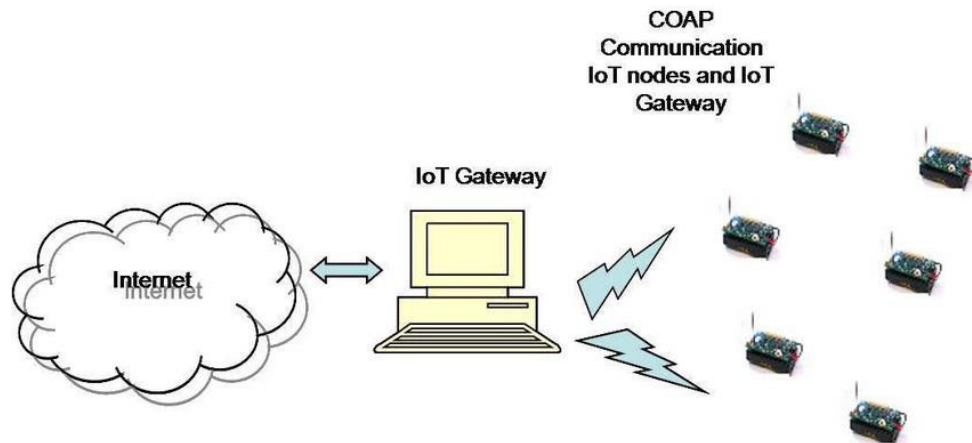
- *Σύνδεση συσκευής-προς-cloud (device-to-cloud communication).* Η διασύνδεση στο IoT γίνεται εφαρμόζοντας τεχνολογίες, όπως το RFID και ασύρματους αισθητήρες, οι οποίες συλλέγουν τα δεδομένα που στη συνέχεια

αξιοποιούνται από τα υπολογιστικά συστήματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων που θα πρέπει να αποθηκευτούν, να επεξεργαστούν και να παρουσιαστούν. Το cloud computing προσφέρει την υποδομή για τη συλλογή, ανάλυση, αποθήκευση και αποστολή πληροφοριών στον πελάτη. Έτσι επιτυγχάνεται η παροχή υπηρεσιών προς τους χρήστες που επιθυμούν την πρόσβαση σε εφαρμογές σε οποιοδήποτε χρόνο και μέρος. Η συσκευή IoT συνδέεται άμεσα με μια υπηρεσία cloud διαδικτύου, όπως ένας πάροχος υπηρεσίας εφαρμογής για την ανταλλαγή δεδομένων και τον έλεγχο ροής των πληροφοριών.



**Σχήμα 26.** Σύνδεση συσκευής-προς-cloud (device-to-cloud-communication)

- Σύνδεση συσκευής με διάλογο επικοινωνίας (device-to-gateway communication). Σε αυτή την σύνδεση η συσκευή και ο πάροχος έρχονται σε επικοινωνία μέσω ενός διαύλου (gateway)(Σχ.27). Μια gateway συσκευή μπορεί να απορρίπτει, να αθροίζει και να ελέγχει τη μορφή των δεδομένων από μια ομάδα απλών αισθητήρων πριν τα στείλει κάπου αλλού. Για τη σύνδεση "πράγματος"/συσκευής με το gateway ακολουθούνται οι τρόποι που περιγράφηκαν παραπάνω. Η συνδεσιμότητα gateway-cloud πραγματοποιείται με τα πρωτόκολλα IPv4/IPv6. Προτιμάται το IPv6 γιατί έχει καλύτερη δυνατότητα αυτορρύθμισης συσκευών, καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) και μεγαλύτερη ασφάλεια από το IPv4.

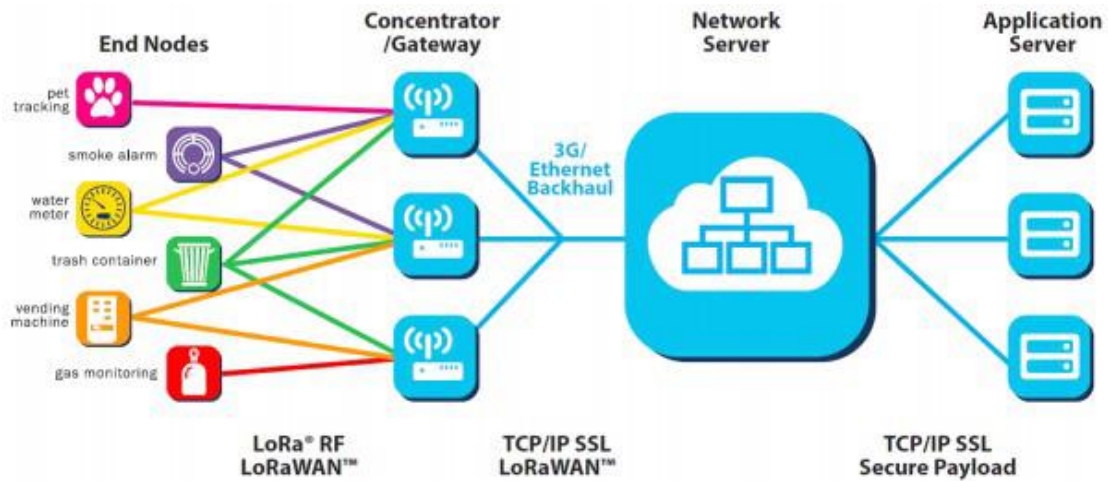


**Σχήμα 27.** Σύνδεση συσκευής με διάυλο επικοινωνίας (device-to-gateway communication)

Ένα παράδειγμα είναι η LoRaWAN. Το LoRaWAN είναι ένα πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης πολυμέσων (MAC) και αφορά δίκτυα ευρείας περιοχής. Έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει σε συσκευές χαμηλής ισχύος να επικοινωνούν με εφαρμογές συνδεδεμένες στο Internet μέσω ασύρματων συνδέσεων μεγάλης εμβέλειας. Το LoRaWAN μπορεί να αντιστοιχιστεί στο δεύτερο και στο τρίτο επίπεδο του μοντέλου OSI. Εφαρμόζεται πάνω από τη διαμόρφωση LoRa ή FSK σε βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές (ISM) ραδιοφωνικές ζώνες. Η τοπολογία της περιγράφεται ως εξής (Σχ.28):

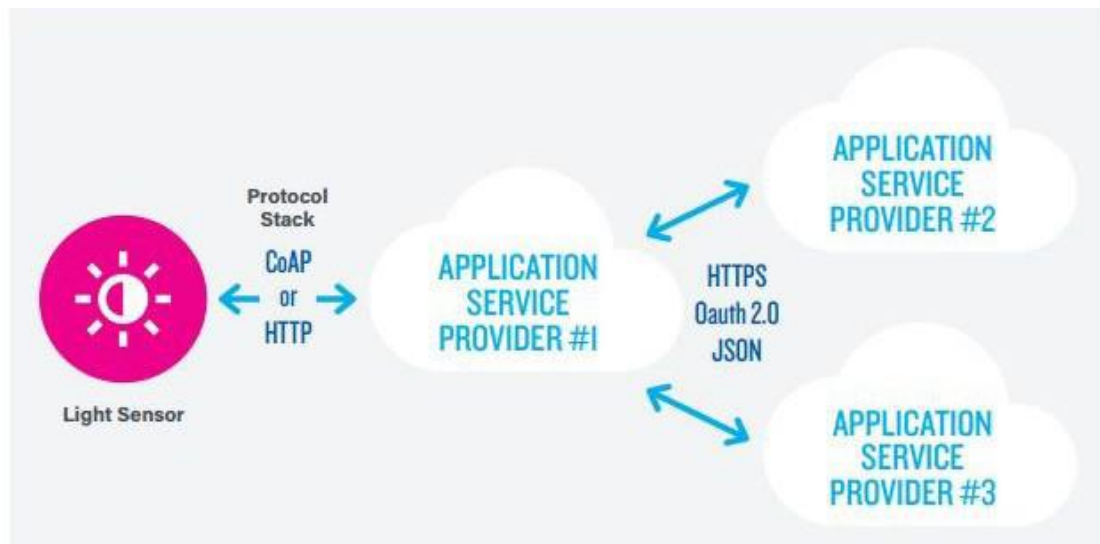
- *Node – end device* (κόμβος – τελική συσκευή): όπου πρόκειται για ένα αντικείμενο με μια ενσωματωμένη συσκευή επικοινωνίας χαμηλής ισχύος.
- *Gateway* (Πύλη): όπου είναι κεραίες οι οποίες λαμβάνουν εκπομπές από συσκευές λήξης και αποστέλλουν δεδομένα πίσω στις συσκευές λήξης.
- *Διακομιστής δικτύου* (*Network Server*): όπου είναι διακομιστές που δρομολογούν μηνύματα από τους κόμβους – τις τελικές συσκευές στη σωστή εφαρμογή και στη συνέχεια κάνουν την αντίθετη διαδικασία.
- *Εφαρμογή* (*Application*): οι εφαρμογές είναι ένα κομμάτι λογισμικού όπου εκτελούνται σε ένα διακομιστή.

Ακολουθεί μία αναπαράσταση της LoRaWAN τοπολογίας:



**Σχήμα 28.** Σχηματική αναπαράσταση της LoRaWAN τοπολογίας

- *Back – End Μοντέλο Ανταλλαγής Δεδομένων (Back-end Data - Sharing Model).* Αφορά μια αρχιτεκτονική επικοινωνίας που επιτρέπει στους χρήστες να εξάγουν και να αναλύουν τα δεδομένα των "πραγμάτων" από μια υπηρεσία cloud, σε συνδυασμό με δεδομένα από άλλες πηγές (Σχ.29). Η back-end ανταλλαγή δεδομένων επιτρέπει σε μια επιχείρηση να έχει εύκολη πρόσβαση και ανάλυση όλων των δεδομένων στο cloud που παράγεται από όλες τις συσκευές στο κτίριο της.



**Σχήμα 29.** Back-end Μοντέλο Ανταλλαγής Δεδομένων (Back-end Data-Sharing Model)

#### 4.5 "Εξυπνες (Smart)" Συσκευές

Η κύρια δυνατότητα μιας έξυπνης συσκευής είναι η *επεξεργασία δεδομένων* (η οποία επιτυγχάνεται από έναν μικροεπεξεργαστή και ποικίλες θύρες επικοινωνίας) για τον

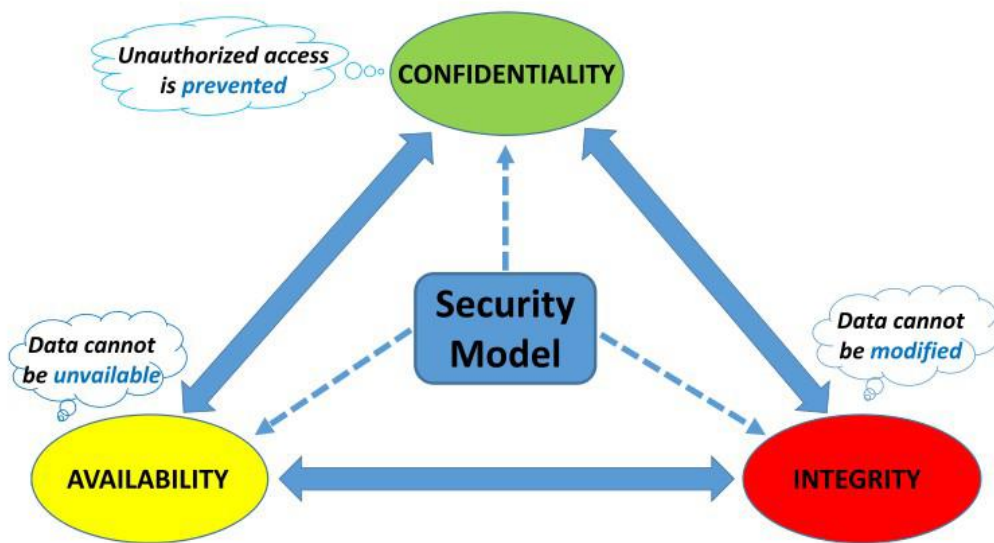
προγραμματισμό της. Η έννοια του "έξυπνου" προκύπτει από την δυνατότητα της συσκευής να επικοινωνεί ενσύρματα ή ασύρματα με τον χρήστη της συσκευής αυτής. Οι διάφοροι τρόποι ασύρματης επικοινωνίας και διαχείρισης της συσκευής αλλά και ο προγραμματισμός της για την αυτοματοποιημένη λειτουργία, είναι και ο κύριος λόγος χρήσης μιας έξυπνης συσκευής. Η δυνατότητα των έξυπνων μηχανήματων είναι αντιστρόφως ανάλογη με την έννοια των επεξεργαστικά δυνατών. Δεν είναι σωστό να θεωρούμε ένα μηχάνημα "έξυπνο" αν προσφέρει σε κατασκευαστικό επίπεδο, μεγάλες δυνατότητες σε ταχύτητα και επεξεργάζεται γρήγορα πληροφορίες.

Η εξέλιξη των δικτύων, του cloud networking καθώς το internet, θα πρέπει να εξελιχθούν σε πιο ασφαλή και γρήγορα, ενώ θα πρέπει να μειωθεί το κόστος και η κατανάλωση ενέργειας. Η Ιδέα του *Internet of things*, περιλαμβάνει: το σπίτι που ζει ο άνθρωπος, την πόλη στην οποία ζει, το αμάξι (ή τα αμάξια) που έχει, ακόμα και δρόμους, με συσκευές να παρακολουθούν και να συλλέγουν δεδομένα και συμπεριφορές με σκοπό αυτές οι πληροφορίες να ενεργοποιούν ενέργειες και υπηρεσίες. Στην μέση αγορά, ο κάθε άνθρωπος έχει μια συσκευή smartphone στην κατοχή του, ενώ με το Internet of Things, ο αριθμός των έξυπνων συσκευών που θα περιλαμβάνει κάθε άνθρωπος θα αυξηθεί εκθετικά και δεν θα περιλαμβάνει μόνο μια συσκευή smartphone αλλά ότι συσκευή χρησιμοποιεί θα μετατραπεί σε έξυπνη. Έτσι η αγορά στον δυτικό κόσμο θα διχοτομηθεί και θα ξεπεράσει την αγορά των έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Έως εκ τούτου, από την τεχνολογική σκοπιά το Internet of Things, καθορίζεται από την δυνατότητα οι συσκευές να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, με ολοκληρωμένα συστήματα και υποδομές και με αυτοματοποιημένο τρόπο να εκτελούν διάφορες ενέργειες.

#### **4.6 Ασφάλεια και IoT**

Η ασφάλεια είναι απαραίτητη συνιστώσα στη διάδοση των τεχνολογιών και εφαρμογών IoT. Γι' αυτό το λόγο, τα "πράγματα" πρέπει να είναι σε θέση να επιβάλουν την δική τους ασφάλεια όσον αφορά τις εφαρμογές που υποστηρίζουν, την πρόσβαση στο δίκτυο, τις συσκευές και την χρήση από τους ιδιώτες. Ένα ασφαλές δίκτυο παρέχει τα εξής χαρακτηριστικά (Σχ.30):

- *Πιστοποίηση (Authentication)*: Πρόσβαση στην πληροφορία.
- *Ακεραιότητα (Integrity)*: Αξιόπιστη πληροφορία.
- *Εμπιστευτικότητα (Confidentiality)*: Απόκρυψη της πληροφορίας από τρίτους.



**Σχήμα 30.** Το τρίγωνο της ασφάλειας στο “Διαδίκτυο των Πραγμάτων”

Η ακεραιότητα, η εμπιστευτικότητα και σε ορισμένες περιπτώσεις η πιστοποίηση, μπορούν να διασφαλιστούν με τη διαδικασία της *κρυπτογράφησης* στα πακέτα και τα σήματα που ανταλλάσσονται στο δίκτυο. Η ασφάλεια που παρέχουν οι τεχνολογίες IoT, είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας, ώστε να υιοθετηθούν ευρέως τεχνολογίες από τους τελικούς χρήστες. Εάν δεν υπάρξουν εγγυήσεις οι οποίες να αφορούν την εμπιστευτικότητα, την πιστοποίηση και την ακεραιότητα των ενδιαφερόμενων μελών, καμία IoT λύση, δεν θα ευδοκιμήσει. Σε αναπτύξεις IoT λύσεων, στα πρώιμα στάδια, όπου βασιζόνταν μόνο στο RFID, οι λύσεις ασφαλείας παρέχονταν μόνο σε περίπτωση που παρουσιαζόταν ανάγκη και δεν ήταν ενσωματωμένες εξ’ αρχής. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι τέτοιες λύσεις αναπτύσσονταν με κάθετο τρόπο, όπου όλα τα στοιχεία ήταν υπό τον έλεγχο μίας ενιαίας διοικητικής οντότητας.

Στην περίπτωση ενός ανοιχτού IoT οικοσυστήματος, όπου τα ενδιαφερόμενα μέλη έχουν διαφορετικούς ρόλους, για παράδειγμα κάποια ομάδα από τα ενδιαφερόμενα μέλη έχει τους αισθητήρες ή τους actuators, κάποια άλλη ομάδα διαχειρίζεται και επεξεργάζεται τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τα προηγούμενα ενδιαφερόμενα μέλη και τέλος, μια διαφορετική ομάδα ανθρώπων θα παρέχει υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες, οι οποίες θα βασίζονται στα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί και επεξεργαστεί. Σε ένα τέτοιο μοντέλο δημιουργείται ένα πλήθος ζητημάτων ασφαλείας που πρέπει να επιλυθούν ώστε οι τεχνολογίες IoT να καταφέρουν να επικρατήσουν. Οι κυριότεροι παράγοντες που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι η εμπιστευτικότητα των δεδομένων, η ιδιωτικότητα και η εμπιστοσύνη. Οι εκτιμήσεις για την ασφάλεια



είναι ορθογώνιες προς άλλους ερευνητικούς τομείς και εκτείνονται τόσο στην επικοινωνία/δικτύωση, πλατφόρμα/διαχείριση δεδομένων όσο και σε εφαρμογές/επίπεδα υπηρεσιών. Για να εξασφαλιστεί η εμπιστευτικότητα, η ακεραιότητα και η διαθεσιμότητα στο IoT δημιουργήθηκε η ανάγκη βελτιστοποίησης των υπολογιστικών πόρων από αισθητήρες. Διαφορετικά επίπεδα επεξεργασίας παρουσιάζουν δυσκολία στο συντονισμό εμπλεκόμενων μέτρων με αποτέλεσμα την ύπαρξη τρωτών σημείων. Μερικά από τα πιθανά προβλήματα που σχετίζονται με το IoT έχουν ως

ακολουθώς:

- *Γενικά* (εικονικές και φυσικές απειλές)
- *Μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε RFID*
- *Παραβίαση ασφάλειας των κόμβων δικτύου αισθητήρων*

Η ασφάλεια των συσκευών στο Ίντερνετ των πραγμάτων πρέπει να παρέχεται σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής της συσκευής και αφορά:

- *Ασφαλής εκκίνηση:* Κάθε φορά που η συσκευή συνδέεται θα πρέπει να διασφαλίζεται η αυθεντικότητα και η ακεραιότητα του λογισμικού της με τη χρησιμοποίηση ψηφιακών υπογραφών.
- *Πρόσβαση:* Απαραίτητη είναι η πρόσβαση στη συσκευή μόνο των πόρων που χρειάζονται για να κάνουν τη δουλειά τους παρέχοντας διαπιστευτήρια ότι η πρόσβαση θα είναι η ελάχιστη που απαιτείται για να εκτελεστεί μια λειτουργία, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η παραβίαση της ασφάλειας.
- *Ταυτότητας συσκευής:* Όταν η συσκευή είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο, θα πρέπει να πιστοποιείται πριν από τη λήψη ή τη μετάδοση δεδομένων.
- *Firewalls και IPS:* Η συσκευή χρειάζεται επίσης ένα τείχος προστασίας και το δικό του πρωτόκολλο επικοινωνίας με άλλες συσκευές.
- *Ενημερώσεις:* οι συσκευές θα πρέπει να είναι σε θέση να κάνουν ενημερώσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ

#### 5.1 Ασύρματες Τεχνολογίες

Αν μια κάθε συσκευή μπορεί να χρειαστεί να επικοινωνήσει με άλλες σε οποιαδήποτε απόσταση και με διαφορετικό μέσο επικοινωνίας, υπάρχουν συγκεκριμένες κατάλληλες τεχνολογίες αναλόγως των αποστάσεων:

- *BAN (Body Area Network)*: μερικά μέτρα PAN (Personal Area Network), από 10 -100 m
- *LAN (Local Area Network)*: μερικά km MAN (Metropolitan Area Network), 10-100km
- *WAN (Wide Area Network)*: 1000 km GAN (Global Area Network).

Οι πλέον σημαντικές ασύρματες τεχνολογίες με τα πρωτόκολλα για το IoT είναι οι ακόλουθες:

- *ZigBee*: είναι μια ασύρματη τεχνολογία που αναπτύχθηκε για να καλύψει τις ανάγκες για χαμηλό κόστος, χαμηλή ισχύς των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Συγκεκριμένα, το ZigBee που χρησιμοποιούν οι μικροί, χαμηλής ισχύος ψηφιακοί δέκτες για την επικοινωνία τους βασίζεται στο 802.15.4 πρότυπο της IEEE για τα ασύρματα προσωπικά τοπικά δίκτυα (WPAN), όπως για παράδειγμα τα ασύρματα ακουστικά που συνδέονται με τα κινητά τηλέφωνα. Το ZigBee στοχεύει στις εφαρμογές ραδιοσυχνότητας (RF) που απαιτούν ένα χαμηλό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, μεγάλη ζωή μπαταριών, και εξασφαλισμένη δικτύωση.
- *WiMAX*: είναι μία τεχνολογία η οποία συνδέει διαδικτυακά (ασύρματα) η οποία λειτουργεί όπως το Wi-fi, μεγαλύτερης όμως εμβέλειας. Συγκεκριμένα, το Wi-Fi προσφέρει εμβέλεια επικοινωνίας μέχρι 100 μέτρα ενώ το WiMax μπορεί να φτάσει τα 35 χιλιόμετρα ή και περισσότερο.
- *UWB*: είναι μια τεχνολογία είναι μια **νέα μορφή ασύρματης τεχνολογίας** όπου βασίζεται σε μεταβιβάσεις χαμηλής ισχύος και ωθήσεις (οι οποίες είναι κωδικοποιημένες) σε κοντινές αποστάσεις. Χρησιμοποιείται ευρέως σε

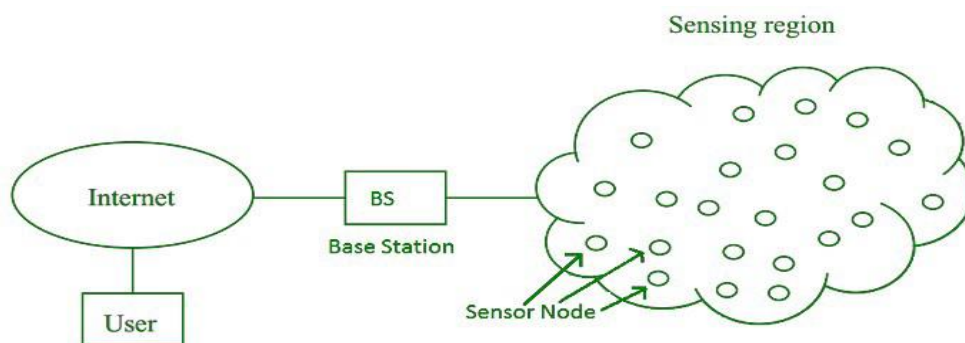
ιατρικά συστήματα, σε συστήματα ασφάλειας, και γενικότερα σε εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές.

- *Flash OFDM κυψελωτών ραδιοσυστημάτων*: βελτίωσε τις ασύρματες επικοινωνίες, αφού προσέφερε χρήση περισσότερων καναλιών, επικάλυψη ραδιοσυχνοτήτων. Οι πομποί και δέκτες χρειαζόταν πλέον λιγότερη ισχύ για την λειτουργία τους, κάτι που σήμαινε μικρότερο κόστος, βάρος και μέγεθος, καθώς και λιγότερες παρεμβολές. Η κύρια ιδέα είναι ότι η γεωγραφική περιοχή που καλύπτει το σύστημα επικοινωνίας, να χωρίζεται σε *κυψέλες*. Κάθε κυψέλη χρησιμοποιεί ένα σύνολο συχνοτήτων που μπορεί να χρησιμοποιούνται και άλλες κοντινές κυψέλες αλλά όχι οι γειτονικές της.

Επιπλέον, με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας IPv6 στο IoT, υπάρχει βελτίωση της αναμετάδοσης και της αποτελεσματικότητας του, χαρακτηριστικά που αυξάνουν περαιτέρω την ασφάλεια της μετάδοσης πληροφοριών.

## 5.2 Δίκτυο ασύρματων αισθητήρων - Wireless Sensor Network (WSN)

Το WSN αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό μικροσκοπικών κόμβων αισθητήρων, με δυνατότητα ανίχνευσης των "πραγμάτων" (Σχ.31). Ο ρόλος των αισθητήρων είναι η παροχή ακατέργαστων πληροφοριών για επεξεργασία, μετάδοση, ανάλυση και ανατροφοδότηση πληροφοριών. Οι κόμβοι συλλέγουν και προωθούν τα δεδομένα στο σταθμό βάσης για την από κοινού παρακολούθηση των "πραγμάτων". Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων υπάρχουν ένας ή περισσότεροι σταθμοί βάσης και αρκετοί κόμβοι αισθητήρων. Η βασική σύνθεση του κόμβου δικτύου αισθητήρων περιλαμβάνει τη μονάδα επεξεργασίας, τη μονάδα επικοινωνίας και τη μονάδα ενέργειας. Ο σταθμός βάσης χρησιμεύει ως επεξεργαστής δεδομένων που συνδέει το δίκτυο αισθητήρων με τον εξωτερικό κόσμο.



Σχήμα 31. Δίκτυο Ασύρματων Αισθητήτων

### 5.3 Cloud Computing

Αφορά μια έξυπνη τεχνολογία υπολογιστών με την οποία μεγάλος αριθμός servers συγκλίνουν σε μία πλατφόρμα cloud, η οποία επιτρέπει την κατανομή των πόρων μεταξύ τους και την πρόσβαση στα πράγματα οποιαδήποτε στιγμή και από οποιοδήποτε μέρος. Το cloud computing είναι το πιο σημαντικό μέρος του IoT, το οποίο δεν συνδέει μόνο τους διακομιστές, αλλά αναλύει και τις χρήσιμες πληροφορίες που λαμβάνονται από τους αισθητήρες παρέχοντας υψηλή ικανότητα αποθήκευσης.

Ειδικότερα, το *υπολογιστικό νέφος (cloud computing)* είναι η διάθεση υπολογιστικών πόρων μέσω διαδικτύου (π.χ. servers, apps κλπ.), από κεντρικά συστήματα που βρίσκονται απομακρυσμένα από τον τελικό χρήστη, τα οποία τον εξυπηρετούν αυτοματοποιώντας διαδικασίες, παρέχοντας ευκολίες και ευελιξία σύνδεσης.

Η *αρχιτεκτονική υπολογιστικού νέφους* ορίζει τα στοιχεία και τις επιμέρους συνιστώσες που απαιτούνται για το υπολογιστικό νέφος. Στην απλή μορφή του, τα θεμέλια του υπολογιστικού νέφους μπορεί να ταξινομηθούν σε δυο τμήματα: front-end και back-end, τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω ενός εικονικού δικτύου ή του διαδικτύου. Το υπολογιστικό νέφος συντελείται από τις ακόλουθες βασικές δυνατότητες και λειτουργίες (Σχ.32):

- *front end platform (fat client, thin client, mobile device)*. Αυτές οι πλατφόρμες πελατών αλληλοεπιδρούν με την αποθήκευση δεδομένων cloud μέσω μιας εφαρμογής (middleware) και μέσω ενός προγράμματος περιήγησης ιστού ή μέσω μιας εικονικής περιόδου σύνδεσης. Ένας zero or ultra-thin client προετοιμάζει το δίκτυο ώστε να συγκεντρώσει τα απαιτούμενα αρχεία ρυθμίσεων όπου είναι αποθηκευμένα τα εκτελέσιμα OS της.
- *back end platforms (servers, αποθήκευσης)*. Μια ηλεκτρονική αποθήκευση δικτύου, όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται και είναι προσβάσιμα σε πολλούς πελάτες.
- η *παράδοση με βάση το υπολογιστικό νέφος όπως (IaaS - Infrastructure as a Service)*, οι πλατφόρμες με περιβάλλον προγραμματισμού (PaaS - Platform as a Service) και το λογισμικό (SaaS - Λογισμικό ως Υπηρεσία), και

- δίκτυο (Internet, Intranet, Intercloud). Τα μοντέλα ανάπτυξης είναι είτε ιδιωτικά (private) είτε δημόσια (internet) είτε σε συνδυασμό των δύο (hybrid/intercloud).



**Σχήμα 32.** Υπολογιστικό νέφος

Υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες μοντέλων "υπηρεσιών σύννεφου":

1. *Software-as-a-Service (SaaS)*: Αντί να εγκατασταθεί λογισμικό στο μηχάνημα και στον υπολογιστή του πελάτη επιβαρυνοντάς τον με τακτικές επιδιορθώσεις, συχνές εκδόσεις κτλ., εφαρμογές όπως το Word, CRM (Διαχείριση Σχέσεων Πελατών), ERP (Enterprise Resource Προγραμματισμός) διατίθενται (φιλοξενούνται) μέσω του διαδικτύου για την κατανάλωση του τελικού χρήστη.<sup>[7]</sup>
2. *Platform-as-a-Service (PaaS)*: Αντί ο πελάτης να χρειαστεί να αγοράσει - πληρώσει τις άδειες λογισμικού για πλατφόρμες όπως και τα λειτουργικά συστήματα, τις βάσεις δεδομένων και το ενδιάμεσο λογισμικό, μπορεί να το κάνει χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα και τα εργαλεία (όπως το Java, το .NET, Python, Ruby on Rails).

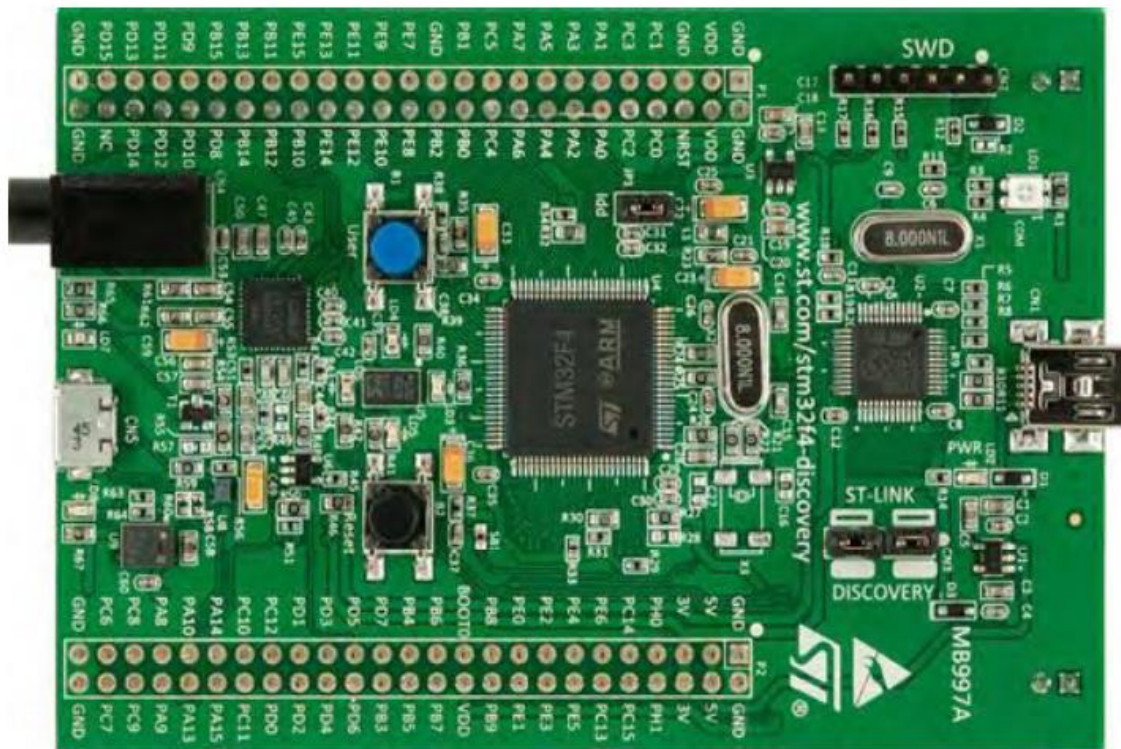
3. *Infrastructure-as-a-Service (IaaS)*: Πρόκειται για τις απλές-βασικές υλικές συσκευές (raw υπολογιστές) όπως είναι οι εικονικοί υπολογιστές, οι διακομιστές, οι συσκευές αποθήκευσης, η μεταφορά μέσω δικτύου, οι οποίες βρίσκονται φυσικά σε ένα κεντρικό σημείο (κέντρο δεδομένων). Υπάρχει η δυνατότητα να προσπεραστούν και να χρησιμοποιηθούν από το διαδίκτυο χρησιμοποιώντας τα συστήματα ελέγχου ταυτότητας σύνδεσης και τους κωδικούς πρόσβασης από οποιοδήποτε dumb τερματικό ή συσκευή.
4. *Desktop-as-a-Service (DaaS)*: Η υπηρεσία επιφάνεια εργασίας προσφέρει μια υποδομή εικονικής επιφάνειας εργασίας (Virtual Desktop Infrastructure - VDI) που φιλοξενείται από έναν πάροχο λύσεων λογισμικού cloud και βασίζεται συνήθως σε ένα μοντέλο μηνιαίας συνδρομής.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

## ΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ

### 6.1 Τεχνικό Υπόβαθρο

Το σύστημα επεξεργασίας είναι ο "νοητικός πυρήνας" του ρομπότ. Είναι υπεύθυνο για την παραγωγή των επιθυμητών εξόδων, λαμβάνοντας υπόψιν τα σήματα εισόδου. Ένας μικροελεγκτής είναι ένας χαμηλού κόστους υπολογιστής. Περιλαμβάνει μονάδα επεξεργασίας (CPU), μνήμη (RAM/ROM), εισόδους/εξόδους (I/O), χρονιστές και περιφερειακά, όπως μετατροπείς αναλογικού-ψηφιακού σήματος (A/D, D/A) κ.α. Με την χρήση του μικροελεγκτή επιτυγχάνεται ο προγραμματισμός και έλεγχος του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα απλοποιείται η λογική ελέγχου, αφού ο μικροελεγκτής μπορεί να αντικαταστήσει ηλεκτρονικά κυκλώματα που απαιτούνται, με τη χρήση κατάλληλου κώδικα. Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής STM32F4DISC χάρη του χαμηλού του κόστους. Διαθέτει όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά και περιφερειακά για την λειτουργία του ρομπότ. Το discovery board της εφαρμογής φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 33. discovery board της εφαρμογής

Τα Βασικά χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή STM32F407VGT6 που χρησιμοποιείται στην παρούσα εφαρμογή:

- Επεξεργαστής ARM Cortex-M4 32-bit 168MHz/210 DMIPS
- 1 Mbyte μνήμη flash, 192 Kbytes SRAM
- 17 χρονιστές
- 3 ADCs, 2 DACs
- 140 I/O
- PWMs, UARTs, USARTs ST-LINK/V2 programming and debugging tool mini-B USB (programming and debugging) micro-AB USB OTG

Όσον αφορά τα περιφερειακά του συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν για τον μικροελεγκτή και μερικές είσοδοι/έξοδοι του:

- UART (universal asynchronous receiver/transmitter) για την σειριακή επικοινωνία του ελεγκτή με το Bluetooth. ,]Δυο έξοδοι PWM για τον έλεγχο της ταχύτητας των δυο κινητήρων.
- Τέσσερις έξοδοι για τον έλεγχο της κατεύθυνσης των κινητήρων.
- Τρεις 12-bit ADC για την μετατροπή και επεξεργασία του σήματος από τους αισθητήρες (φωτοτρανζίστορες).
- Ένα ζευγάρι εισόδου/εξόδου για τον αισθητήρα απόστασης.
- Πέντε έξοδοι για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση βοηθητικών συστημάτων (υπέρυθρες, φώτα οχήματος, αισθητήρας απόστασης).

## **6.2 Τροφοδοσία**

Για την τροφοδοσία του οχήματος της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν (Σχ.34):

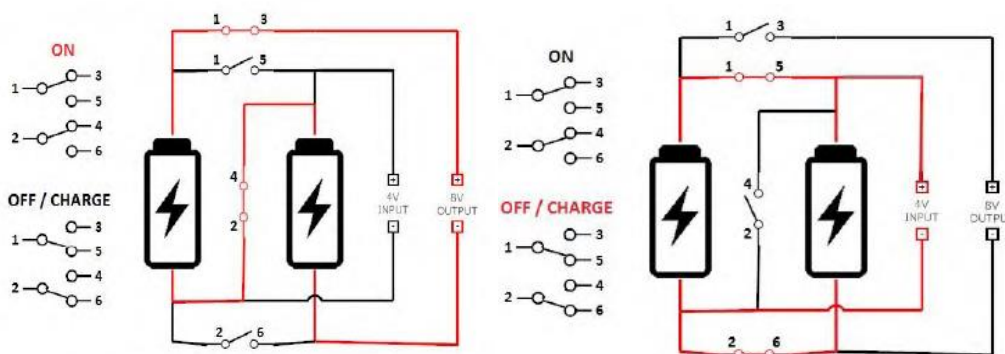
- Δυο επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου 18650 – 3000mAh
- Μονάδα φόρτισης μπαταριών MP1405
- Σταθεροποιητής τάσης LM1085
- Διακόπτης DP3T



- Πυκνωτές 4700uF, 100uF

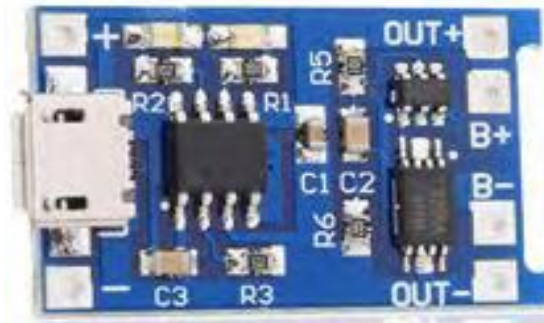
Το σύστημα τροφοδοτείται από δυο μπαταρίες λιθίου 18650 (3.7V – 3000mAh). Οι μπαταρίες αυτές συνδέονται, μέσω διακόπτη, εν σειρά κατά την λειτουργία του οχήματος, ενώ όταν το όχημα είναι απενεργοποιημένο, συνδέονται εν παραλλήλω και μπορούν να φορτιστούν μέσω φορτιστή micro-USB (DC 5V – 1A). Κατά την λειτουργία του ρομπότ (κλειστός ο διακόπτης), οι δυο μπαταρίες συνδέονται εν σειρά, δίνοντας μια συνολική τάση περίπου 8V (σε πλήρη φόρτιση). Οι κινητήρες είναι συνδεδεμένοι απευθείας σε αυτήν την τάση, ενώ για το κύκλωμα αυτοματισμού παρεμβάλλεται σταθεροποιητής τάσης 5V.

Μέσω διακόπτη DP3T οι μπαταρίες συνδέονται παράλληλα (ανοικτός διακόπτης), καθιστώντας εφικτή την φόρτιση τους μέσω του ολοκληρωμένου MP1405. Σε περίπτωση που συνδεθεί φορτιστής εν λειτουργία δεν υπάρχει πρόβλημα βραχυκύκλωσης αλλά οι μπαταρίες δεν θα φορτιστούν.



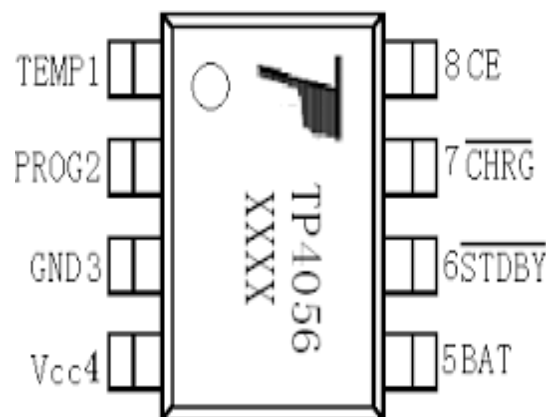
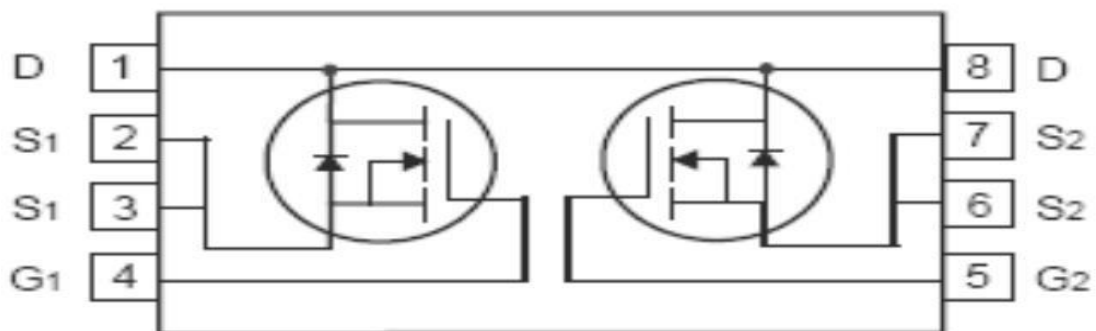
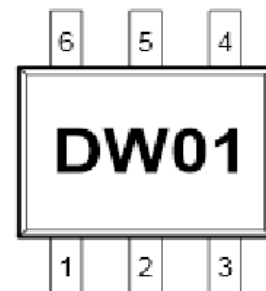
**Σχήμα 34.** Κύκλωμα μπαταριών - Διακόπτης

Για την φόρτιση των μπαταριών λιθίου χρησιμοποιείται το MP1405 (Σχ.35). Η φόρτιση γίνεται στα 1000mA / 4.2V, καθιστώντας το κατάλληλο για τις μπαταρίες 18650. Με αντικατάσταση της αντίστασης R3 με μεγαλύτερη, περιορίζεται το ρεύμα φόρτισης και μπορεί να φορτίσει μικρότερες μπαταρίες. Έχει είσοδο ακροδέκτη micro-USB, καθιστώντας το συμβατό με τους περισσότερους φορτιστές κινητών/συσκευών που κυκλοφορούν. Βασικό κομμάτι αυτής της μονάδας είναι το ολοκληρωμένο TP4056 που αναλαμβάνει το ρόλο της φόρτισης της μπαταρίας. Περιλαμβάνει ακόμα και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα 8205A και DW01 για την διαχείριση της ενέργειας και την προστασία της μπαταρίας από βλάβη ή την υποβάθμιση της διάρκειας ζωής της (overcharge, overdischarge, overcurrent protection)(Σχ.36).



**Σχήμα 35.** MP1405 – Lithium Battery Charging Board

Pin No.	Symbol	Description
1	OD	MOSFET gate connection pin for discharge control
2	CS	Input pin for current sense, charger detect
3	OC	MOSFET gate connection pin for charge control
4	TD	Test pin for reduce delay time
5	VCC	Power supply, through a resistor (R1)
6	GND	Ground pin

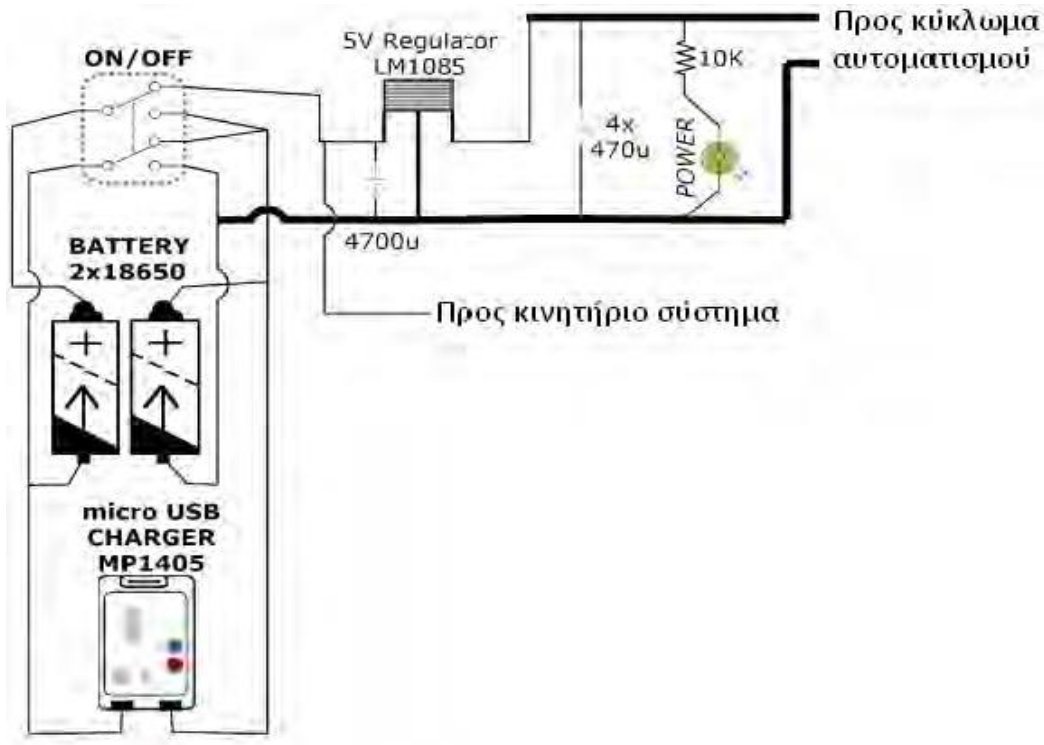


**Σχήμα 36.** TP4056 - 8205A - DW01 - One Cell Lithium-ion/Polymer Battery Protection IC

Η τάση λειτουργίας του μικροελεγκτή είναι 5V. Παράλληλα, σε πλήρη λειτουργία, ο μικροελεγκτής μαζί με τα λοιπά κυκλώματα ελέγχου καταναλώνουν λιγότερο από 1A (Σχ.37). Επομένως χρησιμοποιήθηκε ένα 5V / 3A Regulator (LM1085) για την σταθεροποίηση της τάσεως ελέγχου.

Ένας πυκνωτής 4700uF είναι συνδεδεμένος στην πλευρά των μπαταριών (στην είσοδο του voltage regulator, από όπου παίρνουν τάση απευθείας οι κινητήρες) ενώ ένας πυκνωτής 100uF είναι συνδεδεμένος στην έξοδο του voltage regulator. Οι πυκνωτές αυτοί χρησιμοποιούνται για την σταθεροποίηση της τάσεως και τον περιορισμό του ηλεκτρικού θορύβου.

Οι μπαταρίες σε πλήρη φόρτιση δίνουν τάση 8.4V (4.2V η κάθε μια, σε σειρά) ενώ η μέγιστη πτώση τάσεως του LM1085 είναι 1.5V (Low Dropout), δίνοντας έτσι ένα περιθώριο εκφόρτισης των μπαταριών πάνω από 2V (8.4V - 5V - 1.5V), κατά το οποίο το όχημα μπορεί να είναι πλήρως λειτουργικό. Όταν η τάση κάθε μπαταρίας πέσει κάτω από 3.3V (συνολικά περίπου κάτω από 6.5V) το όχημα χρειάζεται φόρτιση. Για μπαταρίες χωρητικότητας 3000mAh και για 5 ώρες φόρτισης (με ρεύμα 500mA σε κάθε μπαταρία) το όχημα έχει περίπου 1 ώρα αυτονομία.

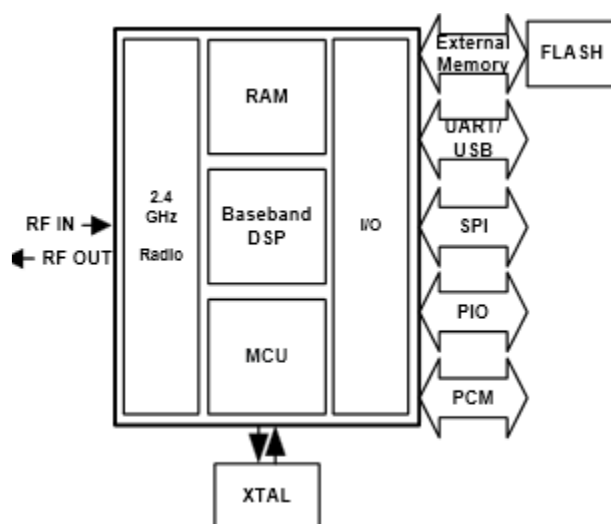


Σχήμα 37. Κυκλωματικό διάγραμμα τροφοδοσίας

### 6.3 Συσκευές Εισόδου - Εξόδου

Για την επικοινωνία με το αυτοκινούμενο όχημα χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία Bluetooth, καθιστώντας εύκολο τον έλεγχο του μέσω οποιουδήποτε κινητού τηλεφώνου. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η σειριακή μονάδα επικοινωνίας HC-05 (Bluetooth v2.0).

Το HC-05 περιλαμβάνει το BlueCore 4-External (BC417143B), το οποίο είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα Bluetooth 2.4 GHz, με αυξημένη μεταφορά δεδομένων στα 3 Mbps (EDR)(Σχ.38). Επικοινωνεί με 8 Mbit εξωτερική μνήμη (cFeon EN29LV800CB). Προγραμματίζεται εύκολα, μέσω AT commands, είτε με αντάπτορα USB-to-Serial συνδεδεμένο σε έναν Η/Υ, είτε συνδέοντας το απευθείας στον μικροελεγκτή (UART, pins TXD/RXD).



Σχήμα 38. Δομή συστήματος BlueCore 4-External

Για την κίνηση του οχήματος επιλέχθηκαν δυο κινητήρες συνεχούς ρεύματος, με ενσωματωμένο σύστημα γραναζιών για μείωση στροφών και αύξηση της ροπής. Οι κινητήρες αυτοί μπορούν να λειτουργήσουν σε τάσεις έως 10V – 12V. Στην εφαρμογή αυτή δέχονται τάση 8V και καταναλώνουν ρεύμα λιγότερο από 400mA έκαστος. Μια τρίτη μηχανική ρόδα (χωρίς κινητήρα), με δυο βαθμούς ελευθερίας, χρησιμοποιείται για την στήριξη του οχήματος στο δάπεδο.

Η επιλογή δυο τροχών, αντί των συμβατικών τεσσάρων, επιτρέπει στο όχημα να εκτελεί γρηγορότερα τις στροφές και να στρέφεται ακόμα και επί-τόπου. Μειονέκτημα είναι ότι δεν είναι πολύ ακριβής η κίνηση, καθώς η τρίτη μηχανική ρόδα έχει κάποια αδράνεια για να μεταβεί από την μια κλίση στην άλλη. Αυτό διορθώνεται εύκολα με την προσθήκη ενός αισθητήριου συστήματος στο όχημα,

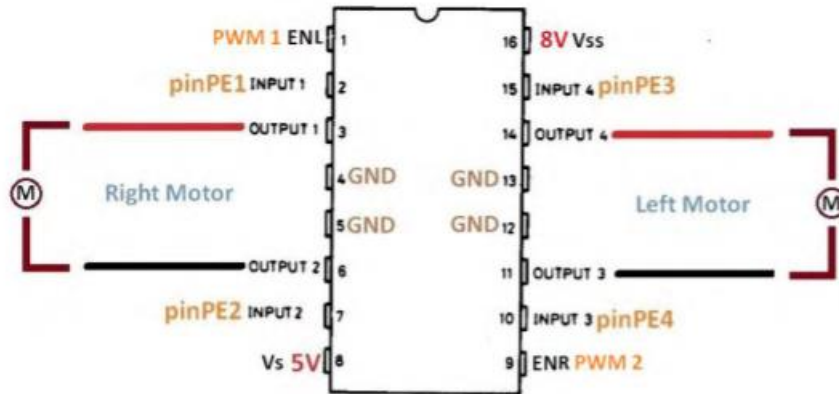
όπως για παράδειγμα ένα γυροσκόπιο, δίνοντας του πλήρη αίσθηση (ανατροφοδότηση) της κίνησης του, σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Στην παρούσα εφαρμογή δεν είναι αναγκαία η χρήση γυροσκοπίου καθώς το όχημα έχει αισθητήριο σύστημα που είναι προγραμματισμένο να ακολουθά μια τυχαία διαδρομή. Σε περίπτωση που ο χρήστης όμως επιθυμεί να κινήσει το όχημα χειροκίνητα, υπάρχει κάποια δυσκολία στην διατήρηση της διαδρομής, ειδικά σε υψηλές ταχύτητες.

Το motor driver (αλλιώς H-Driver ή H-Bridge) είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, κατασκευασμένο να παρέχει αμφίδρομη κίνηση ρεύματος σε εφαρμογές όπου χρειάζεται αυτόματη αλλαγή πολικότητας της τάσεως της πηγής. Μπορεί να οδηγήσει επαγωγικά φορτία όπως ρελέ, πηνία, DC και βηματικούς κινητήρες, καθώς και άλλα φορτία υψηλού ρεύματος / υψηλής τάσης.

Για την παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε το ολοκληρωμένο L293D. Το L293D έχει δυο κανάλια, με δυνατότητα ενεργοποίησης κάθε καναλιού χωριστά, επομένως μπορεί να οδηγήσει δυο κινητήρες ταυτόχρονα, επιτρέποντας τους να στρέφονται προς κάθε κατεύθυνση ανεξάρτητα. Δέχεται τυπικά σήματα ελέγχου DTL ή TTL και μπορεί να οδηγήσει ρεύματα έως και 600mA ανά κανάλι (1.2A peak), σε τάσεις από 4.5V έως 36V. Υπάρχει διαχωρισμός στις εισόδους τροφοδοσίας λογικής ελέγχου και οδηγούμενου φορτίου. Περιλαμβάνει ακόμα διόδους προστασίας (chomp diodes) έναντι υπερτάσεων, λόγω της επαγωγικής απόκρισης των κινητήρων.

Ένα μειονέκτημα είναι ότι η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας του L293D δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 5KHz, επομένως, εάν είναι αναγκαίος και ο έλεγχος ταχύτητας (μέσω διαμόρφωσης παλμών), είναι επιθυμητή η προσθήκη μη-πολωμένων πυκνωτών στα άκρα των κινητήρων για την απόσβεση των αρμονικών των παλμών (οι οποίοι βρίσκονται εντός του ακουστικού φάσματος) και κατά συνέπεια την μείωση του ακουστικού θορύβου.

Συνδέοντας τα τέσσερα pin εισόδων του L293D (1A 2A και 3A 4A) σε τέσσερις εξόδους του μικροελεγκτή και τις δυο εισόδους ενεργοποίησης των καναλιών (1,2EN και 3,4EN) σε δυο εξόδους PWM του μικροελεγκτή, επιτυγχάνετε ο πλήρης έλεγχος των κινητήρων του οχήματος, ως προς την κατεύθυνση και την ταχύτητα κίνησης. Οι κινητήρες συνδέονται στις τέσσερις εξόδους του L293D (1Y 2Y και 3Y 4Y)(Σχ.39,40).



Σχήμα 39. Συνδεσμολογία του L293D

Enable L	Enable R	Input 1	Input 2	Input 3	Input 4	Output 1	Output 2	Output 3	Output 4	Motors Output		Movement
										Left	Right	
PWM 1	PWM 2	Low	Low	Low	Low	0	0	0	0	Stop	Stop	Stop
PWM 1	PWM 2	High	Low	High	Low	Vs	0	Vs	0	Straight	Straight	Straight
PWM 1	PWM 2	Low	Low	High	Low	0	0	Vs	0	Stop	Straight	Left Turn
PWM 1	PWM 2	High	Low	Low	Low	Vs	0	0	0	Straight	Stop	Right Turn
PWM 1	PWM 2	Low	High	High	Low	0	Vs	Vs	0	Reverse	Straight	Sharp Left
PWM 1	PWM 2	High	Low	Low	High	Vs	0	0	Vs	Straight	Reverse	Sharp Right
PWM 1	PWM 2	Low	High	Low	Low	0	Vs	0	0	Reverse	Stop	Right Reverse
PWM 1	PWM 2	Low	Low	Low	High	0	0	0	Vs	Stop	Reverse	Left Reverse
PWM 1	PWM 2	Low	High	Low	High	0	Vs	0	Vs	Reverse	Reverse	Reverse

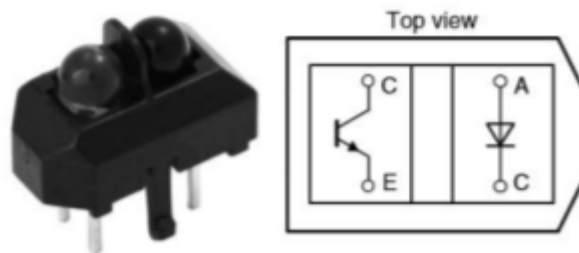
Σχήμα 40. Κίνηση του οχήματος σε συνάρτηση με διάφορες τιμές εισόδου στο κύκλωμα L293D

#### 6.4 Ιχνηλάτηση

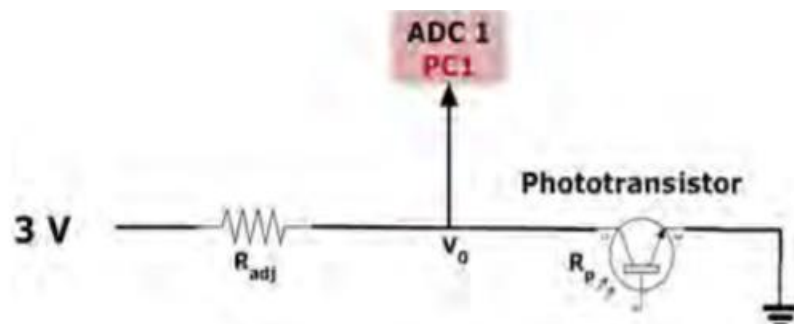
Για να είναι αντιληπτή από το όχημα η πληροφορία σχετικά με τη θέση του στο χώρο ως προς την διαδρομή (σημειωμένη γραμμή στο δάπεδο), είναι απαραίτητη η προσθήκη αισθητήριου συστήματος φωτοηλεκτρικών στοιχείων (ηλεκτρικά μάτια). Τα φωτοηλεκτρικά στοιχεία μεταβάλλουν την αγωγιμότητά τους με την μεταβολή της ακτινοβολίας στο φάσμα φωτός και υπέρυθρων. Τα φωτοτρανζίστορ είναι φωτοηλεκτρικά στοιχεία με απόκριση συχνότητας της τάξεως των μικροδευτερολέπτων ( $\mu s$ ) και υψηλό κέρδος σήματος σε εύρος που περιλαμβάνει το φάσμα της ορατής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (400nm – 1100nm). Επομένως γρήγορα στοιχεία, κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν για το σύστημα ιχνηλάτησης απευθείας, χωρίς προσθήκη ενισχυτή σήματος. Βασική αρχή λειτουργίας του συστήματος ιχνηλάτησης είναι ότι η διαδρομή πρέπει να είναι εμφανής οπτικά. Να υπάρχει δηλαδή κάποια χρωματική αντίθεση δαπέδου και γραμμής. Με αυτόν τον τρόπο το φωτοτρανζίστορ αλλάζει την αγωγιμότητά του σε μεγάλο εύρος καθώς

μεταβαίνει από σημεία υψηλής εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (π.χ. άσπρο δάπεδο) σε σημεία χαμηλής εκπομπής (π.χ. μαύρη γραμμή). Έτσι, το αισθητήριο σύστημα αποκτά υψηλή ακρίβεια στην διατήρηση της διαδρομής. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να προέρχεται από οποιαδήποτε πηγή φωτός (φυσική ή τεχνητή, laser ερυθρού χρώματος - για μικρότερη κατανάλωση) ή ακόμα καλύτερα από πηγή υπέρυθρων, στις οποίες το φωτοτρανζίστορ έχει το υψηλότερο κέρδος σήματος.

Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε το φωτοτρανζίστορ TCRT5000 (με ενσωματωμένο LED υπέρυθρων στα 950nm, σε ανεξάρτητο ηλεκτρικό κύκλωμα). Επιλέχθηκε λόγω της ευκολίας τοποθέτησης του στο όχημα. Το στοιχειώδες ηλεκτρικό κύκλωμα για να είναι εφικτή η μέτρηση του αναλογικού σήματος του φωτοτρανζίστορ στον μικροελεγκτή, μέσω του αναλογικού προς ψηφιακού μετατροπέα (ADC), αποτελείται από έναν διαιρέτη τάσης ανάμεσα στο φωτοτρανζίστορ (μεταβλητής αντίστασης  $R_p$ ) και μια γνωστή αντίσταση ( $R_{adj}$ )(Σχ.41, 42).



Σχήμα 41. TCRT5000 - Φωτοτρανζίστορ και LED υπέρυθρων



Σχήμα 42. Στοιχειώδες αισθητήριο σύστημα ιχνηλάτησης γραμμής

Κατά αυτόν τον τρόπο στην είσοδο του ADC εφαρμόζεται η τάση  $V_0$  η οποία ισούται με:

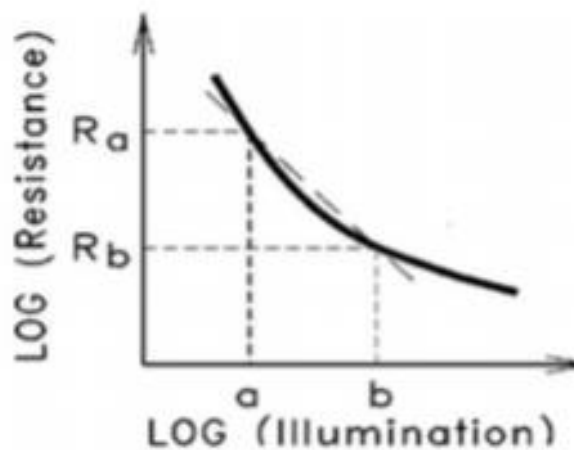
$$V_0 = 3 * \frac{R_p}{R_p + R_{adj}} V$$

Γίνεται έτσι άμεσα αντιληπτό από τον μικροελεγκτή το τι μετρά το φωτοτρανζίστορ και κατά συνέπεια η απομάκρυνσή του από την γραμμή (το σφάλμα στην θέση του οχήματος). Για το παράδειγμα του άσπρου δαπέδου – μαύρης γραμμής, στον ADC εμφανίζονται υψηλές τιμές όταν το φωτοτρανζίστορ βρίσκεται πάνω στη γραμμή και χαμηλές όταν βρίσκεται εκτός γραμμής. Απαραίτητη προϋπόθεση λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος είναι η κατάλληλη επιλογή της αντίστασης  $R_{adj}$ , η οποία πρέπει να είναι ίδιας τάξης μεγέθους με την μεταβλητή αντίσταση  $R_p$ .

Η  $R_p$  μεταβάλλεται λογαριθμικά με την ένταση του φωτισμού, με τιμές που κυμαίνονται από μερικά ΚΩ (αντανάκλαση ηλίου από το δάπεδο) έως αρκετά ΜΩ (υπό σκίαση) (Σχ.43,44).

<b>ΑΣΠΡΟ</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>60</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
	<b>ΚΩ</b>	<b>ΚΩ</b>	<b>ΚΩ</b>	<b>ΚΩ</b>	<b>ΚΩ</b>	<b>ΚΩ</b>	<b>ΚΩ</b>	<b>ΚΩ</b>	<b>ΜΩ</b>	<b>ΜΩ</b>
<b>ΜΑΥΡΟ</b>	<b>30</b>	<b>250</b>	<b>350</b>	<b>350</b>	<b>400</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>20</b>
	<b>ΚΩ</b>	<b>ΚΩ</b>	<b>ΚΩ</b>	<b>ΚΩ</b>	<b>ΚΩ</b>	<b>ΜΩ</b>	<b>ΜΩ</b>	<b>ΜΩ</b>	<b>ΜΩ</b>	<b>ΜΩ</b>

**Σχήμα 43.** Τιμές αντίστασης φωτοτρανζίστορ για 10 τυχαίους επι φωτισμούς



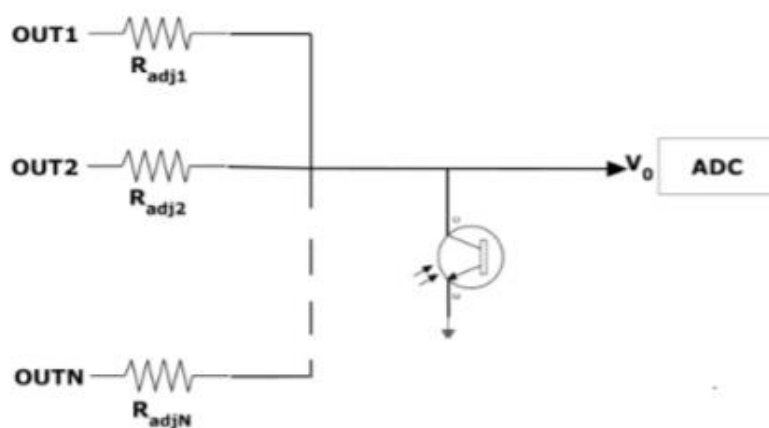
**Σχήμα 44.** Καμπύλη αντίστασης φωτοτρανζίστορ

Ένα τέτοιο αισθητήριο σύστημα μπορεί να λειτουργήσει, με κατάλληλη επιλογή της αντιστάσεως  $R_{adj}$ , μόνο για ένα συγκεκριμένο (στενό) εύρος φωτισμού του δαπέδου. Μπορεί βεβαίως να λειτουργήσει με μια μεταβλητή αντίσταση  $R_{adj}$  μεγάλου εύρους (1ΚΩ – 100ΚΩ) αφού προηγηθεί βαθμονόμηση της αντίστασης για συγκεκριμένο χώρο και με τον περιορισμό ότι ο χώρος πρέπει να φωτίζεται ομοιόμορφα. Δεδομένου



ότι ένας χώρος δεν φωτίζεται απαραίτητως ομοιόμορφα (εκτός εάν πρόκειται για ειδικό χώρο-πίστα), είναι χρήσιμη η επιλογή περαιτέρω αντιστάσεων  $R_{adj}$ , ώστε ο μικροελεγκτής να αποφασίζει αυτόματα την κλίμακα στην οποία πρέπει να γίνει η ανάλυση του χρωματισμού (Σχ.45).

Χρησιμοποιώντας μερικές εξόδους του μικροελεγκτή για την ενεργοποίηση διαφόρων τιμών αντιστάσεως  $R_{adjX}$ , το εύρος στην ανομοιομορφία φωτισμού στο οποίο μπορεί να λειτουργήσει το αισθητήριο σύστημα, χωρίς κάποια χειροκίνητη ενέργεια, αυξάνεται. Η επιλογή του εκάστοτε συνδυασμού αντιστάσεων γίνεται έτσι ώστε ο ADC να αποφεύγει τις ακραίες περιοχές σήματος εισόδου (0V και 3V). Δηλαδή όταν συστηματικά οι τιμές  $V_0$  κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (έλλειψη φωτισμού) η  $R_{adjX}$  πρέπει να μειώνεται ενώ αντίστροφα να αυξάνεται για μεγάλες τιμές  $V_0$ . Η  $R_{adjX}$  επομένως διαδραματίζει το ρόλο της κλίμακας – (κόρης ματιού) στην οποία γίνεται η ανάλυση του φωτισμού. Στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η ιχνηλάτηση και σε ανεπαρκή φωτισμό, προφανώς είναι απαραίτητη η χρήση τεχνητής πηγής φωτός στο όχημα. Αυτό μπορεί εύκολα να προγραμματιστεί ώστε η πηγή φωτός να ενεργοποιείται έπειτα από την ενεργοποίηση της μεγαλύτερης δυνατής αντίστασης  $R_{adjmax}(\approx 100K)$ , η οποία εξαρτάται από το ελάχιστο δυνατόν ρεύμα (τάξεως μερικών δεκάδων  $\mu A$ ) που χρειάζεται να διαρρέει το κύκλωμα, ώστε ο ADC να πραγματοποιήσει την μέτρηση χωρίς σφάλμα.

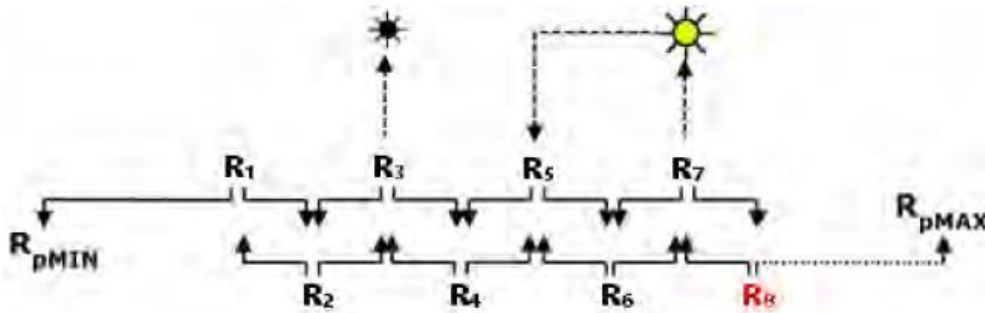


**Σχήμα 45.** Αισθητήριο σύστημα ιχνηλάτησης γραμμής με περαιτέρω αντιστάσεις

Η χρήση περαιτέρω αντιστάσεων, όπως αναφέρθηκε, αυξάνει το εύρος φωτισμού στο οποίο μπορεί να λειτουργήσει το αισθητήριο σύστημα. Για να λειτουργήσει βέβαια το σύστημα σε οποιοδήποτε φωτισμό χρειάζονται πολλές αντιστάσεις, με τον συνδυασμό των οποίων να επιτυγχάνονται αρκετές τιμές  $R_{adjX}$  για να

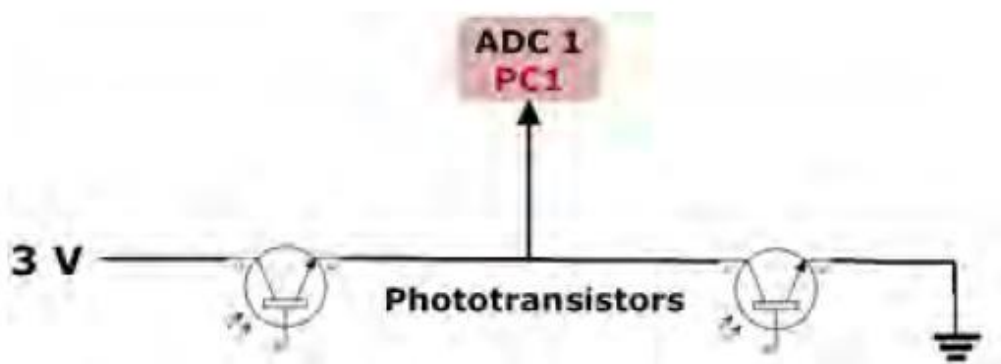
πραγματοποιηθεί η εκάστοτε μέτρηση, σε ανάλογη κλίμακα. Εάν ληφθεί υπόψη να υπάρχει και αλληλοκάλυψη στην κλίμακα μέτρησης, τότε οι αντιστάσεις που χρειάζονται, και κατά συνέπεια και οι έξοδοι του μικροελεγκτή, είναι αρκετές και υπολογίσιμες (Σχ.46).

Έτσι, η τιμή της εκάστοτε αντίστασης  $R_x$  πρέπει να είναι συνεχώς κοντά στην τιμή της αντίστασης του φωτοτρανζίστορ  $R_p$ . Πρακτικά πρέπει πάντα  $1/5R_p < R_x < 5R_p$  ώστε να υπάρχει μεγάλη διακύμανση τιμών του διαιρέτη τάσης για τους διαφορετικούς χρωματισμούς, σε οποιαδήποτε φωτεινότητα και κατά συνέπεια ακριβής μέτρηση του τι "βλέπει" ο αισθητήρας. Αφού πάντα ισχύει και  $1/5R_p < R_x < 5R_p$  μπορούν να αντικατασταθούν όλες οι αντιστάσεις με μια αντίσταση τιμής  $R_x = R_p$ , δηλαδή με ένα δεύτερο όμοιο φωτοτρανζίστορ.



**Σχήμα 46.** Αλληλοκάλυψη κλίμακας μέτρησης για μεγάλο εύρος επιφωτισμού

Όσον αφορά το αισθητήριο κύκλωμα για την ιχνηλάτηση γραμμής με διαιρέτη τάσης ανάμεσα σε δυο ίδια φωτοτρανζίστορ, είναι απλό στην κατασκευή και απαιτεί μια είσοδο (ADC) του μικροελεγκτή (Σχ.47).



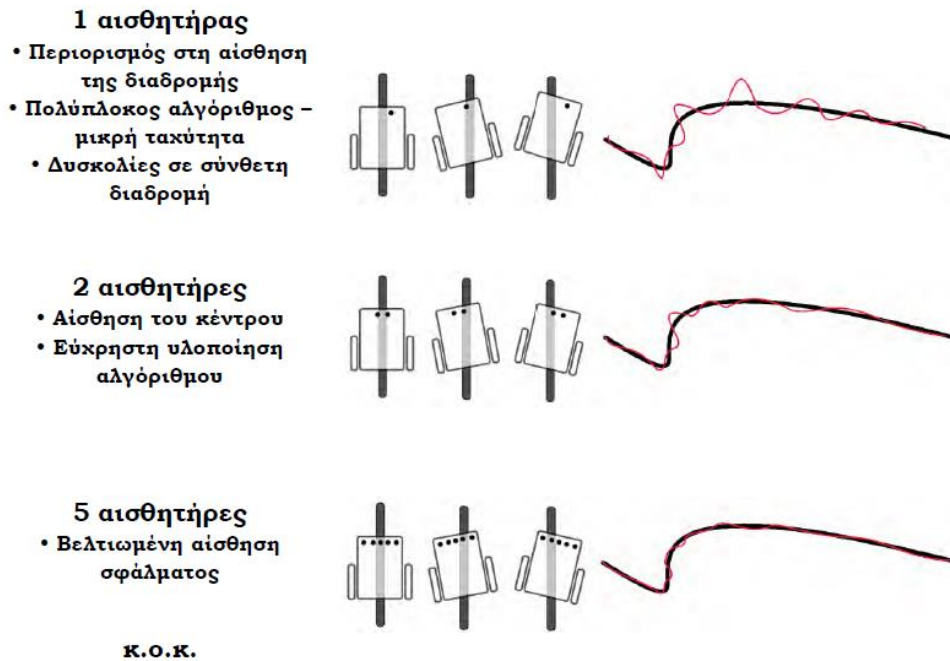
**Σχήμα 47.** Αισθητήριο κύκλωμα με δυο φωτοτρανζίστορ

Το πιο βασικό πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ότι αυτοπροσαρμόζεται στον οποιονδήποτε φωτισμό του δαπέδου, αφού η αισθητήρια ένδειξη φωτεινότητας είναι σχετική και όχι απόλυτη τιμή ως προς μια συγκεκριμένη αντίσταση. Η πληροφορία για την απόλυτη τιμή του φωτός στο χώρο (ώστε να είναι εφικτή η ενεργοποίηση βοηθητικής πηγής φωτός στο όχημα σε ανεπαρκή φωτισμό) μπορεί να μετρηθεί με κατάλληλη μετατροπή στο κύκλωμα, όπως θα αναφερθεί παρακάτω. Αντιστάσεις για τον περιορισμό του ρεύματος δεν χρειάζονται. Στην χειρότερη περίπτωση της απευθείας έκθεσης των φωτοτρανζίστορ στον ήλιο, καθένα παρουσιάζει αντίσταση μεγαλύτερη από 100Ω επομένως το συνολικό ρεύμα του βρόγχου (<15mA) είναι αρκετά μικρότερο από το μέγιστο επιτρεπτό στα στοιχεία (100mA).

Ένα άλλο επίσης σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι, λαμβάνει μεν μια μέτρηση, αλλά έχει δυο (2) αισθητήρες. Η χρήση περισσότερων αισθητήρων (με ή χωρίς ξεχωριστή μέτρηση) βελτιώνει την «αντίληψη» του οχήματος για το περιβάλλον του. Με έναν μόνο αισθητήρα απαιτείται αρκετά πιο πολύπλοκος αλγόριθμος για την ιχνηλάτηση της διαδρομής, ενώ εμφανίζονται δυσκολίες σε σύνθετες διαδρομές (κάθετες ή υπό γωνία διασταυρώσεις, κενά στην διαδρομή). Με περισσότερους αισθητήρες είναι ταχύτερα και ακριβέστερα διαθέσιμη η πληροφορία για το σφάλμα ως προς τη θέση του οχήματος, επομένως μπορεί να κινηθεί γρηγορότερα χωρίς να εκτραπεί της διαδρομής. Είναι ακόμα απλούστερη η πλοήγησή του σε σύνθετες διαδρομές.

Η θέση των αισθητήρων πάνω στο αμάξωμα διαδραματίζει και αυτή καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία του συστήματος και κατά συνέπεια στον αλγόριθμο που θα εφαρμοστεί (Σχ.48). Στο όχημα της παρούσας εφαρμογής, οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι σε ύψος 3cm από το δάπεδο, για καθαρά αισθητικούς λόγους. Γενικά πρέπει να είναι τοποθετημένοι, χωρίς κλίση, αρκετά κοντά στο δάπεδο, ώστε να συλλέγουν περισσότερη ακτινοβολία. Κρίσιμη είναι η μεταξύ τους απόσταση. Για τοποθέτηση των αισθητήρων πολύ κοντά μεταξύ τους, οι ταλαντώσεις του οχήματος σε ευθείες διαδρομές με αμβλείες στροφές είναι μικρότερες, καθώς το σφάλμα ελαχιστοποιείται γρήγορα. Αυξάνεται όμως αρκετά η δυσκολία αναγνώρισης οξείων στροφών. Αντίθετα, με τοποθέτηση των αισθητήρων αρκετά μακριά μεταξύ τους είναι ευκολότερος ο προσδιορισμός των στροφών, ακόμα και για οξείες γωνίες αλλά το όχημα παρουσιάζει αυξημένες ταλαντώσεις, ακόμα και σε ευθεία διαδρομή. Γενικά, για σύστημα με δυο αισθητήρες, είναι επιθυμητό αυτοί να βρίσκονται σε μια

απόσταση μεταξύ τους, μεγαλύτερη από το πλάτος της γραμμής που πρόκειται να ακολουθήσει το όχημα, ώστε σχεδόν να εφάπτονται στις εξωτερικές πλευρές της. Στην παρούσα κατασκευή τοποθετήθηκαν σε απόσταση 6cm μεταξύ τους ώστε να καλύπτουν και τα δυο είδη μονωτικής ταινίας που κυκλοφορούν στο εμπόριο (πάχους 5cm και 2cm). Για συστήματα με περισσότερους των δυο αισθητήρων είναι προφανώς ευκολότερη η επιλογή των θέσεων τοποθέτησής τους.



**Σχήμα 48.** Σύγκριση πλήθους αισθητήρων

Όπως φαίνεται στο σχήμα 48, το όχημα προσανατολίζει τη θέση του ως εξής:

- Θέσεις (α) (β) Όταν και οι δυο αισθητήρες βρίσκονται εκτός γραμμής ή εντός γραμμής, δέχονται σχεδόν την ίδια ακτινοβολία από το δάπεδο, επομένως

$$R_{p1} \simeq R_{p2}$$

Από τον διαιρέτη τάσης:

θεωρητικά είναι: 
$$V_o \simeq \frac{1}{2} V_{in}$$

ενώ πρακτικά : 
$$V_o \simeq \frac{V_{o\max} - V_{o\min}}{2}$$

δηλαδή όταν το όχημα βρίσκεται στο κέντρο της γραμμής, η τάση εξόδου του αισθητήριου συστήματος (που θα μετρηθεί από τον ADC) παίρνει τιμές κοντά

στον μέσο όρο της μέγιστης και ελάχιστης τιμής της. Τότε το όχημα πρέπει να κινηθεί ευθεία.

- Θέση (γ) Όταν ο πρώτος (αριστερός) αισθητήρας είναι πάνω στην μαύρη γραμμή ενώ ο δεύτερος στο λευκό δάπεδο είναι

$$R_{p1} > R_{p2}$$

και άρα

$$V_o \simeq V_{0min}$$

Τότε το όχημα πρέπει να κινηθεί δεξιά.

- Θέση (δ) Όταν ο πρώτος αισθητήρας είναι στο λευκό δάπεδο ενώ ο δεύτερος πάνω στη μαύρη γραμμή είναι

$$R_{p1} < R_{p2}$$

και άρα

$$V_o \simeq V_{0max}$$

τότε το όχημα πρέπει να κινηθεί αριστερά.

Βασικά, η απομάκρυνση της στιγμιαίας τιμής  $V_o$  από τη μέση τιμή της, δίνει άμεσα την πληροφορία για το σφάλμα στη θέση του οχήματος. Η ψηφιακή τιμή του ADC που μετράει την  $V_o$  χρησιμοποιείται από τον μικροελεγκτή για την υλοποίηση της λογικής ελέγχου της κίνησης.

Για να είναι εφικτή η κίνηση υπό ελλιπή φωτισμό, ακόμα και στο σκοτάδι, χρησιμοποιείται το διαθέσιμο ζεύγος υπέρυθρων (IR) που είναι ενσωματωμένες στο *TCRT5000*. Η ενεργοποίηση των υπέρυθρων γίνεται ανεξάρτητα της λειτουργίας των φωτοτρανζίστορ.

Τα φωτοτρανζίστορ, είναι αρκετά πιο ευαίσθητα στα μήκη κύματος των υπέρυθρων, από ότι στο ορατό φως. Η ακτινοβολία υπέρυθρων βελτιώνει το αισθητήριο σύστημα ακόμα και υπό φωτισμό, αλλά η χρήση τους είναι προαιρετική. Ο έλεγχος σχετικά με το αν χρειάζεται ενεργοποίηση ή όχι των υπέρυθρων μπορεί να γίνει προσθέτοντας μια μικρή αντίσταση ( $1K\Omega$ ) στο κύκλωμα των φωτοτρανζίστορ, ώστε να υπάρχει ένδειξη του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα. Μετρώντας με έναν δεύτερο ADC την τάση πάνω στην αντίσταση  $1K\Omega$  ανακτάται η πληροφορία και για την απόλυτη τιμή της φωτεινότητας του χώρου, πέραν της σχετικής ανάμεσα στα δυο φωτοτρανζίστορ. Πολύ μικρότερη αντίσταση της  $1K\Omega$  δεν είναι ικανή να δώσει

ικανοποιητική ένδειξη της (απόλυτης) φωτεινότητας, ενώ πολύ μεγαλύτερη επιδρά στο αισθητήριο κύκλωμα των φωτοτρανζίστορ, αλλοιώνοντας την μέτρησή τους.

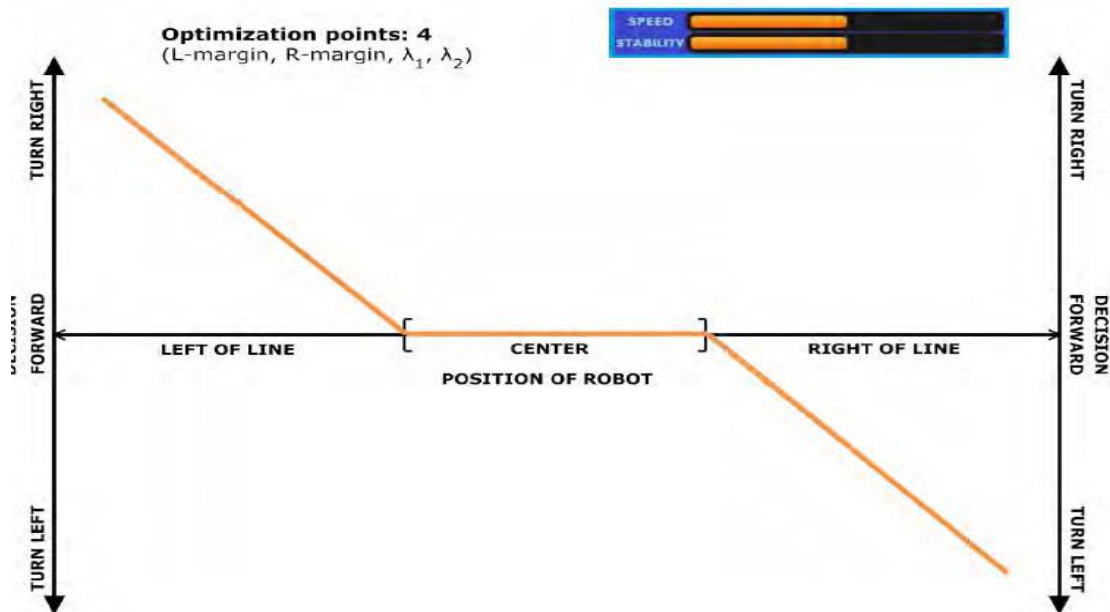
## 6.5 Διαδικασία Ελέγχου Κίνησης Οχήματος

Η αισθητήρια πληροφορία που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση του αλγορίθμου, για τον έλεγχο της κίνησης, είναι η ψηφιακή τιμή (ADC 1) της τάσεως  $V_o$ , στο σημείο ανάμεσα στα δυο φωτοτρανζίστορ. Η ψηφιακή τιμή του ADC 2 είναι βοηθητική και καθορίζει την ενεργοποίηση επιπλέον φωτισμού (IR). Ο αλγόριθμος θεωρείται λειτουργικός όταν το όχημα: (α) δεν εκτρέπεται της διαδρομής και (β) αποσβένει γρήγορα τις ταλαντώσεις του κατά την πορεία του πάνω στη γραμμή. Καθώς η ταχύτητα αυξάνεται οι ταλαντώσεις γίνονται όλο και πιο έντονες και εμφανίζεται ο κίνδυνος εκτροπής. Ουσιαστικά ο αλγόριθμος καθορίζει την μέγιστη ταχύτητα με την οποία το όχημα θα ολοκληρώσει επιτυχώς τη διαδρομή. Ένας πολύ απλός αλγόριθμος μπορεί να είναι πλήρως λειτουργικός για μικρές ταχύτητες. Όσο αυξάνεται η απαίτηση για μεγαλύτερες ταχύτητες όμως, είναι αναγκαίος ολοένα και πιο σύνθετος αλγόριθμος. Η πολυπλοκότητα της διαδρομής επηρεάζει και αυτή τη μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορεί κινηθεί το όχημα, και κατά συνέπεια τον αλγόριθμο που πρέπει να εφαρμοσθεί.

Κατά την κατασκευή του μηχανικού οχήματος δοκιμάστηκε ομάδα αλγορίθμων που παρουσιάζονται επόμενα σχήματα. Σε αυτά, ο οριζόντιος άξονας αντιπροσωπεύει τη σχετική θέση του οχήματος ως προς τη γραμμή της διαδρομής ( $ADC\ 1 \sim V_o$ ), ενώ ο κάθετος άξονας την απόφαση που λαμβάνεται για την κίνηση. Οι σημάνσεις *ταχύτητας (speed)* και *σταθερότητας (stability)* είναι ενδεικτικές της λειτουργικότητας του κάθε αλγορίθμου και δεν προκύπτουν από κάποια ακριβή μέτρηση. Τα σημεία βελτιστοποίησης (optimization points) φανερώνουν το πλήθος τιμών των μεταβλητών που πρέπει να βρεθούν και να περιγραφούν στον μικροελεγκτή για την χρήση του αλγορίθμου. Αυτό γίνεται εμπειρικά (επιλογή & δοκιμή) ή με ενσωμάτωση διαμέτρησης (calibration) στον αλγόριθμο. Ειδικότερα:

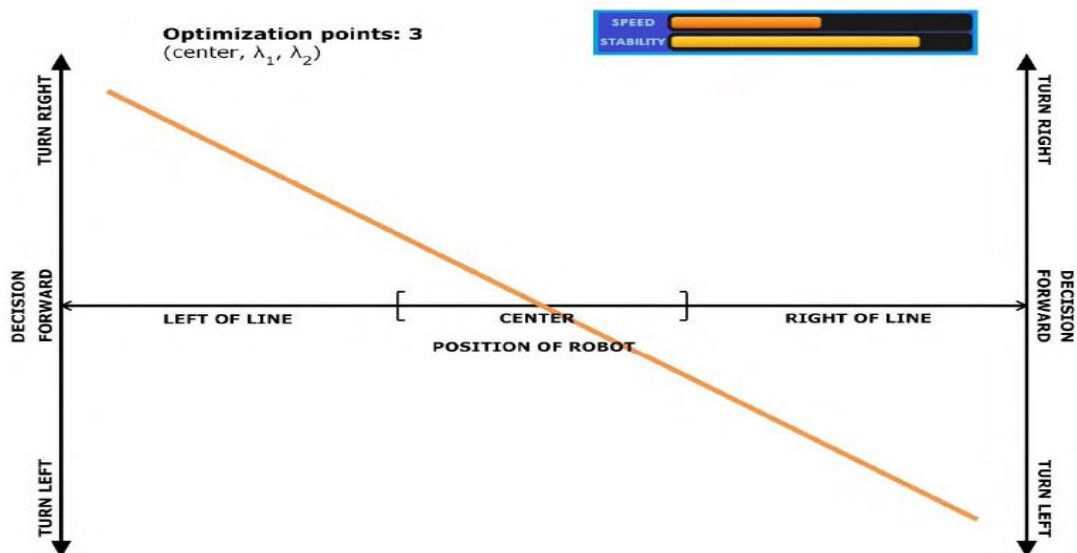
- *Αλγόριθμος 1.* Για πολύ μικρές ταχύτητες ο είναι επαρκής (Σχ.49).





Σχήμα 51. 3ος Αλγόριθμος

- *Αλγόριθμος 4.* Για την μεγαλύτερη ελαχιστοποίηση των ταλαντώσεων, χρησιμοποιήθηκε λίγο πιο απλός αλγόριθμος από τον προηγούμενο (3<sup>ος</sup>), όπου η ταχύτητα κάθε κινητήρα εξαρτάται από την απόσταση του οχήματος από το κέντρο (Σχ.52). Όμως, δεν βρέθηκε κάποιο κέρδος στην μέγιστη ταχύτητα του οχήματος.

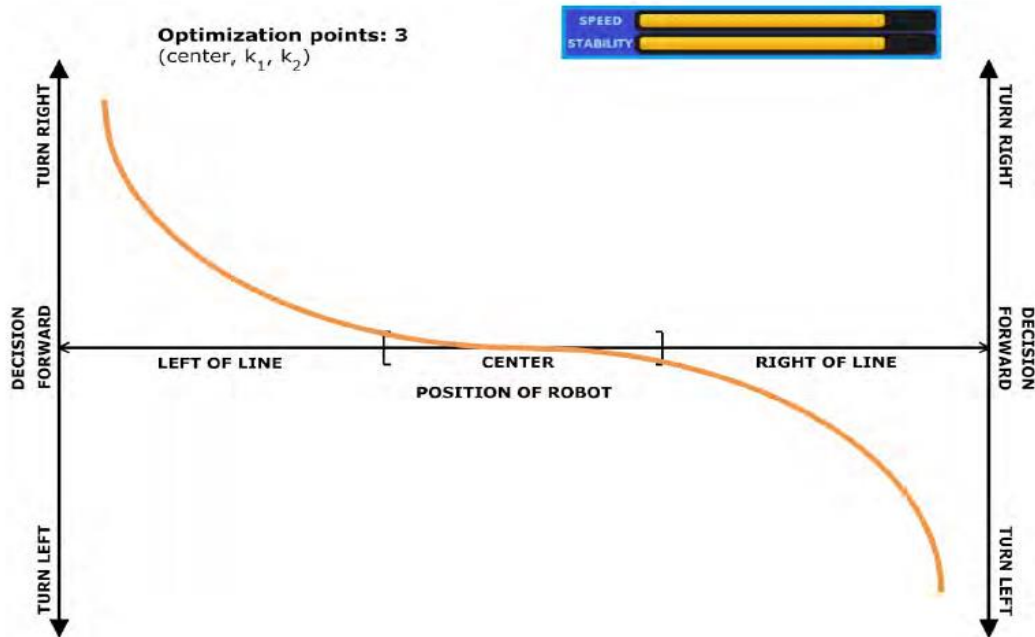


Σχήμα 52. 4ος Αλγόριθμος

- *Αλγόριθμος 5.* Συνδυάζοντας τη λογική του 3ου και 4ου αλγόριθμου επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ταχύτητα και μικρότερες ταλαντώσεις. Η ταχύτητα στρέψης σε αυτόν τον αλγόριθμο εξαρτάται εκθετικά από τη θέση του



οχήματος πάνω στη διαδρομή. Η εύρεση κατάλληλων τιμών των εκθετών K1 και K2 όμως είναι αρκετά πιο πολύπλοκη (Σχ.53).

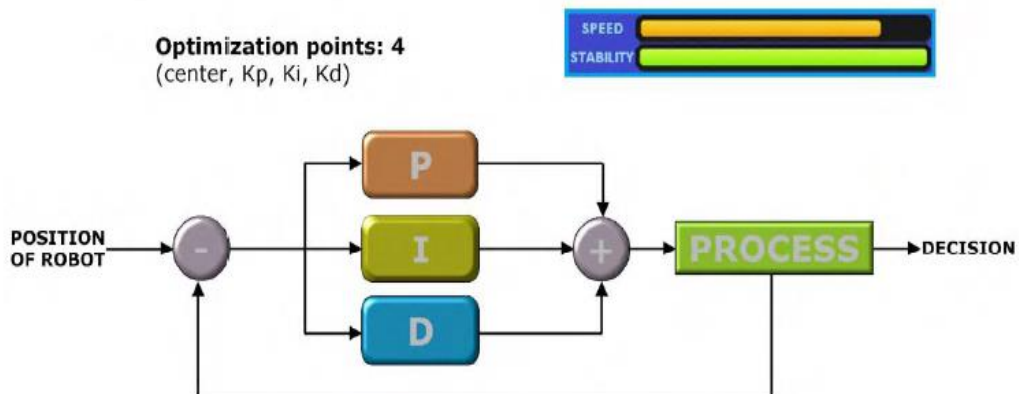


Σχήμα 53. 5ος Αλγόριθμος

- *Αλγόριθμος 6.* Με εύρεση των κατάλληλων τιμών KP, KI, KD, το όχημα αποκτά υψηλή σταθερότητα. Στην ανατροφοδότηση:

$$\mathbf{u} = K_p * e + K_i \int e dt + K_D \frac{de}{dt}$$

όπου e το σφάλμα (~θέση του οχήματος), λαμβάνεται υπόψιν το τρέχον σφάλμα (παράγοντας P), τα σφάλματα που έχουν προηγηθεί στο παρελθόν (παράγοντας I) και το αναμενόμενο μελλοντικό σφάλμα (παράγοντας D)(Σχ.54).



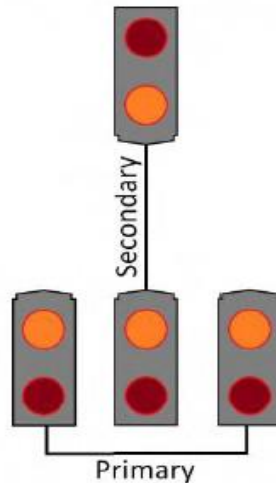
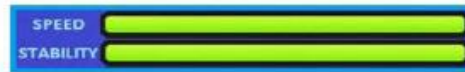
Σχήμα 54. 6ος Αλγόριθμος

- *Αλγόριθμος 7.* Με την σταθερότητα που προσφέρει ένας PID έλεγχος είναι εφικτό το όχημα να αποκτήσει υψηλή ταχύτητα σε ευθεία γραμμή. Για υπερβολικά υψηλές ταχύτητες όμως είναι απαραίτητη η προσθήκη συστήματος πέδησης (Σχ.55).

**Optimization points: 6**

Primary Sensor (center,  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ )

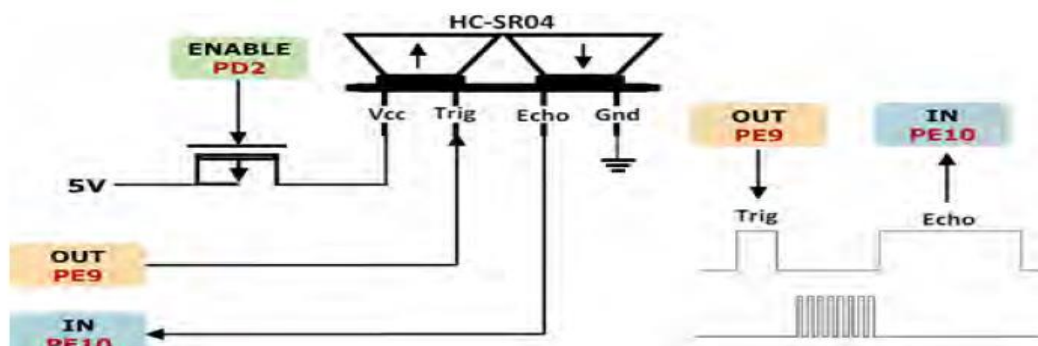
Secondary Sensor (center,  $k$ )



Σχήμα 55. 7ος Αλγόριθμος<sup>2</sup>

### 6.6 Αισθητήρας απόστασης

Για την αντίληψη των εμποδίων από το όχημα χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας απόστασης (HC-SR04), τοποθετημένος μπροστά, σε ύψος 6cm. Μπορεί να μετρήσει αντικείμενα σε απόσταση 2cm – 400cm. Ο αισθητήρας εκπέμπει υπερηχητικούς παλμούς συχνότητας 40KHz και ανιχνεύει την ανάκλαση τους (Σχ.56).



Σχήμα 56. HC-SR04 - Σύνδεση και λειτουργία αισθητήρα απόστασης

<sup>2</sup> Έλεγχος PID (τιμόνι) και έλεγχος ταχύτητας (γκάζι/φρένο)

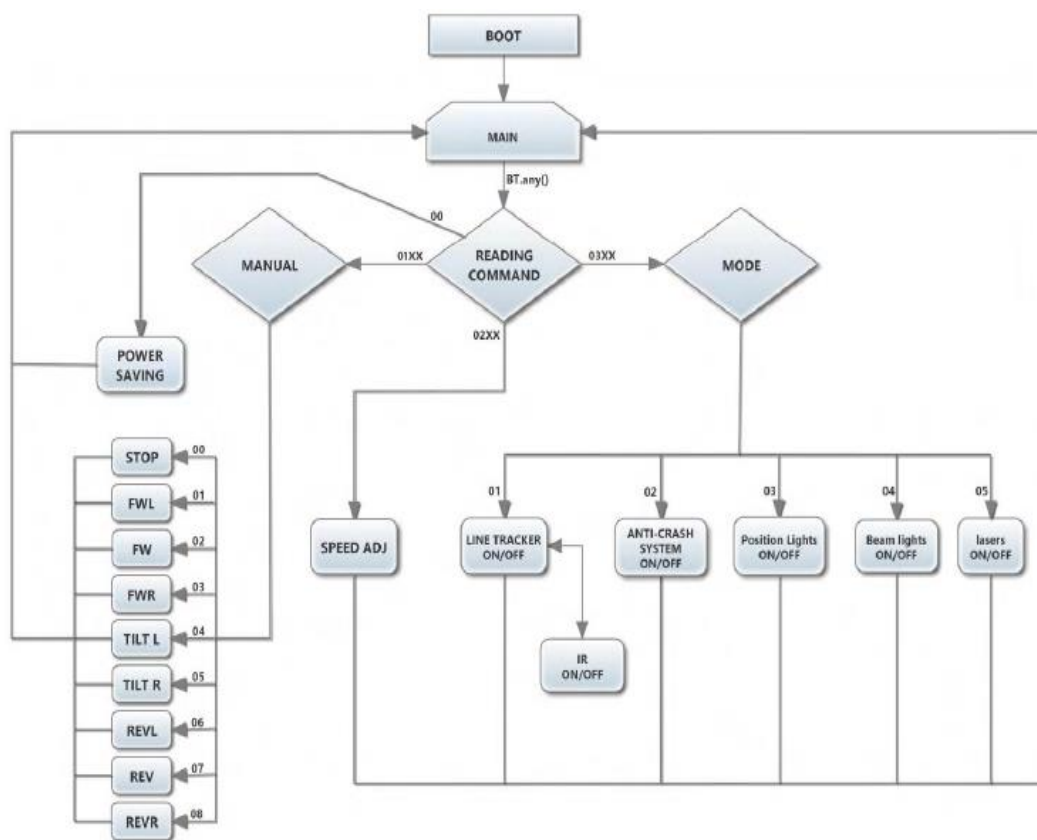
Τέλος, στο όχημα έχουν τοποθετηθεί διάφορα φώτα για πρακτικούς αλλά και διακοσμητικούς λόγους. Αυτά είναι τα εξής:

- Ένα πράσινο led (Ένδειξη λειτουργίας)
- Ένα μπλε led (Ένδειξη ασύρματης σύνδεσης)
- Δυο σειρές από κίτρινα led (φώτα θέσεως, μπροστά)
- Δυο σειρές από κόκκινα led (φώτα θέσεως, πίσω)
- Δυο λευκά led (φώτα πορείας)
- Δυο κόκκινα laser (διακοσμητικά)

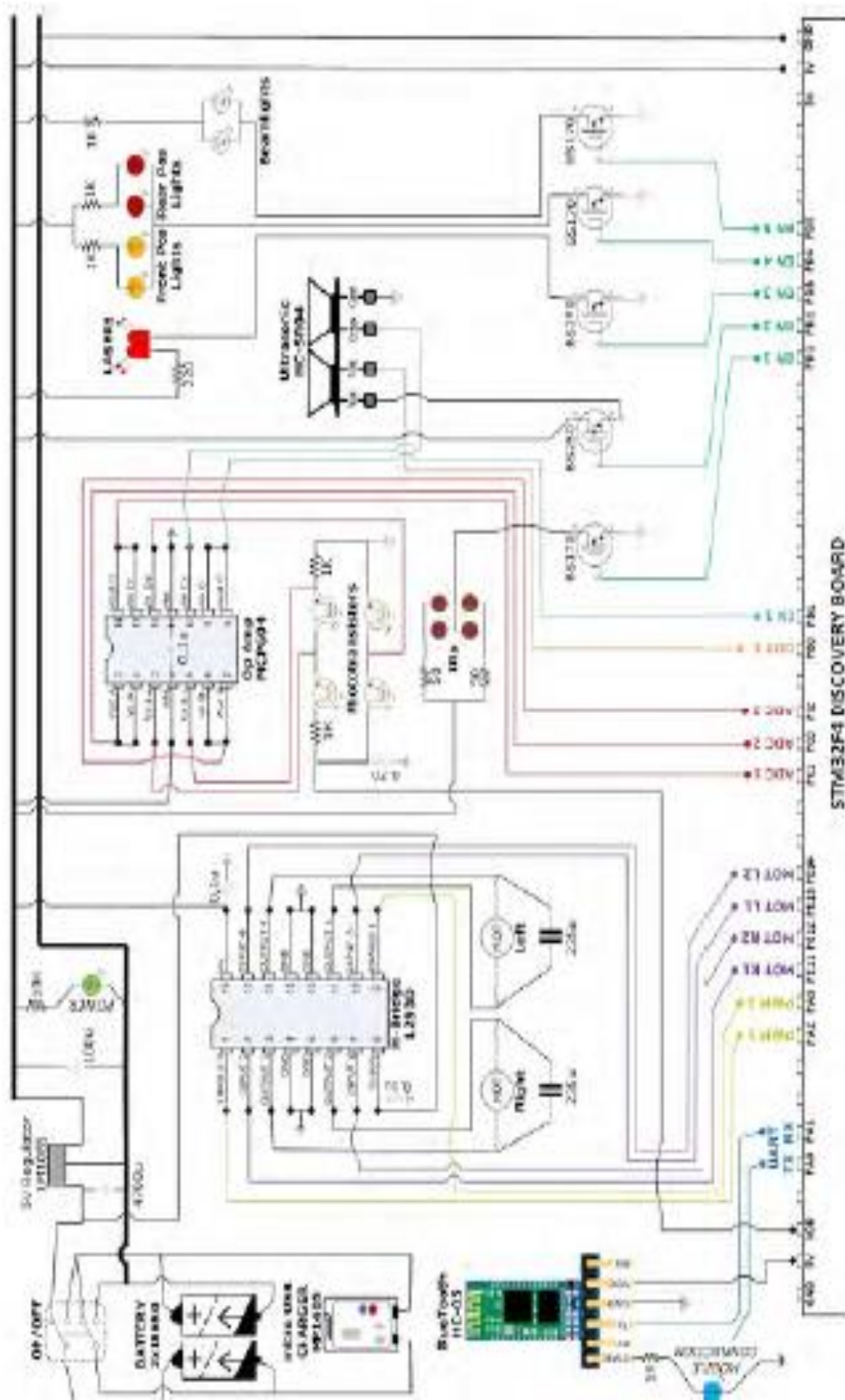
## 6.7 Μηχατρονικό Όχημα

### 2.4 ΜΗΧΑΤΡΟΝΙΚΟ ΟΧΗΜΑ

Το μηχατρονικό όχημα ολοκληρωμένο σχεδιαστικά φαίνεται στα επόμενα σχήματα:



Σχήμα 57. Διάγραμμα ροής εντολών



Σχήμα 58. Ηλεκτρικό κύκλωμα οχήματος

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση μικροελεγκτή απλοποιεί σε μεγάλο βαθμό την πολυπλοκότητα της κατασκευής του μηχανικού οχήματος. Περιορίζει τις ανάγκες επιπλέον ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και καλωδιώσεων, η υλοποίηση είναι εύχρηστη και ο πειραματισμός γρήγορος. Όσο αφορά τους αλγόριθμους linetracking, ο PID έλεγχος ήταν πιο αξιόπιστος και γρήγορος. Βασικό στοιχείο σε αυτούς τους αλγορίθμους είναι το όχημα να μην “χάσει” την διαδρομή. Για κάθε όχημα και κάθε διαδρομή, υπάρχει ένα κατώφλι ταχύτητας, όπου το μηχανικό όχημα μπορεί να ολοκληρώσει επιτυχώς την διαδρομή. Οι απλούστεροι αλγόριθμοι επομένως, μπορούν να λειτουργήσουν ικανοποιητικά σε οχήματα μικρής ταχύτητας ή σε εύκολες διαδρομές, χωρίς την απαίτηση πολύπλοκου αλγόριθμου. Για το μηχανικό όχημα της εφαρμογής, το οποίο είναι αρκετά γρήγορο, με μεγάλη όμως μάζα ~1Kg, επιλέχθηκε ο PID έλεγχος σε συνδυασμό με το βοηθητικό σύστημα πέδησης. Έτσι ήταν ικανό να μένει στην διαδρομή, με τη βοήθεια του PID ελέγχου, και να επιβραδύνει έγκαιρα σε τυχόν δύσκολες στροφές ή γενικότερα όταν ο PID έλεγχος οδηγείται σε αστάθεια, λόγω ανάπτυξης ταχύτητας στο όχημα. Στην κατάσταση αυτή, η ταχύτητα επεξεργασίας των δεδομένων από τον επεξεργαστή του ελεγκτή, αλλά και η μάζα του οχήματος, δεν επιτρέπουν την σωστή και έγκαιρη λήψη απόφασης.

Ολοκληρώνοντας, η εφαρμογή αυτή ανέδειξε τις δυνατότητες της μηχανικής και των συναφών τεχνολογιών στην αυτόνομη κίνηση οχημάτων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

David M. Auslander / Carl J. Kempf, (Μετάφραση Επιμέλεια: Herbert Tanner)  
Μηχανοτρονική – Προσαρμοστικά Μηχανικών Συστημάτων, Πανεπιστημιακές  
Εκδόσεις ΕΜΠ.

Bolton, W. Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical  
Engineering, Addison Wesley Longman, Essex, England.

Cook D. Robot Building for Beginners. Apress, CA, 2002.

Evans D. (April 2011). “The Internet of Things - How the Next Evolution of the  
Internet is Changing Everything”. Cisco.

Fell M. , Melin H. (2014). Roadmap for The Emerging “Internet of Things”. Carré &  
Strauss. Ανακτήθηκε από <http://sweden.nlembassy.org/>.

Fuller J. Robotics: Introduction, Programming, and Projects. -2nd ed. Prentice Hall,  
NJ, 1999.

Gubbia J. , Buyyab R. , Marusic S. , Palaniswami M. (2013). Internet of Things (IoT):  
A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer  
Systems, 29, 1645–1660.

International Telecommunication Union (June 2012), Overview of the Internet of  
things, Recommendation ITU-T Y.2060.

Dan Nesculescu, Μηχατρονική, Εκδόσεις Τζιόλα

Newton C. Braga (2001), Robotics, Mechatronics and Artificial Intelligence:  
Experimental Circuit Blocks for Designers, Newnes, 1st edition

Rose K. , Eldridge S. , Chapin L. (2015) .The Internet of Things: An Overview.  
Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World. Ανακτήθηκε  
από <https://www.internetsociety.org/>

Soloman S. Sensors Handbook. Mc Graw Hill, NY, 1998.

Thompson K. , Mattalo B. (November 2015). "The Internet of Things: Guidance,  
Regulation and the Canadian Approach". CyberLex. Ανακτήθηκε από  
<http://www.canadiancybersecuritylaw.com>.

Οικονόμου, Στ. (2012). Μηχατρονική. Εκδόσεις Διόφαντος, Πάτρα.

Μπαμπατσίκου Ροδούλα (2020). Internet of Things: Τεχνολογίες, Πρωτόκολλα και  
Εφαρμογές. Τμήμα Μηχ. Η/Υ & Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Μπούντρης Λεωνίδα, Internet of Things: Υλοποίηση κόμβων με τη χρήση του  
Alljoyn Framework. Διπλωματική Εργασία.

