

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΩΝ

Σπουδαστής: ΓΑΛΑΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επιβλέπον Καθηγητής : ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

ΙΟΥΝΙΟΣ 2019

Περίληψη

Η εργασία αυτή ασχολείται με την σχεδίαση, την ανάπτυξη και τη μελέτη αυτόματων μηχανών με προγραμματισμένη συμπεριφορά.

Στα πρώτα πέντε κεφάλαια εκτίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο για την κατανόηση των ρομποτικών συμπεριφορών, ενώ τα εναπομείναντα κεφάλαια έχουν να κάνουν με το πρακτικό κομμάτι της εργασίας.

Abstract

This thesis deals with the design, development and study of automated machines with programmed behavior.

The first five chapters present the theoretical background for understanding robotic behaviors, while the remaining chapters deal with the practical part of the thesis.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Γαλάτης Γεώργιος**, του **Χρήστου**, φοιτητής του **Τμήματος Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε** του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών

Γαλάτης Γεώργιος



Ημερομηνία

28/6/2019

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Λίστα εικόνων	6
Εισαγωγή	8
A.1 Ρομπότ.....	8
A.2 Οι 3 νόμοι του Ισαάκ Ασίμοβ....	8
A.3 Ρομποτικές Συμπεριφορές με απλά λόγια.....	9
Κεφάλαιο 1 – Αυτόνομα Κινητά Ρομπότ.....	10
1.1 Εισαγωγή.....	10
1.2 Εφαρμογές αυτόνομων κινητών ρομπότ.....	11
1.3 Ιστορική αναδρομή.....	16
1.4 Κυβερνητική.....	19
Κεφάλαιο 2 – Οχήματα Braitenberg.....	22
2.1 Εισαγωγή.....	22
2.2 Μηχανισμός	23
2.3 Συμπεριφορές	24
2.4 Παραδείγματα	24
2.4.1 Παράδειγμα 1	24
2.4.2 Παράδειγμα 2.....	24
2.4.3 Παράδειγμα 3.....	25
2.5 Αντίκτυπος των οχημάτων του Braitenberg	26
Κεφάλαιο 3 – Κινηματική.....	27
3.1 Εισαγωγή.....	27
3.2 Μηχανισμοί κίνησης φυσικών συστημάτων.....	28
3.3 Κινηματικά μοντέλα και περιορισμοί.....	30
3.4 Απεικόνιση της θέσης του ρομπότ.....	30
Κεφάλαιο 4 – Συμπεριφορές.....	33
4.1 Εισαγωγή.....	33
4.2 Ευφυείς πράκτορες.....	33
4.3 Βασικές Αρχές Συστημάτων με βάση τη Συμπεριφορά.....	34
4.4 Συντονισμός Συμπεριφορών.....	36
4.5 Αρχιτεκτονικές ελέγχου.....	38
Κεφάλαιο 5 – Arduino UNO.....	43
5.1 Τι είναι το Arduino;	43
5.2 Πλεονεκτήματα Arduino.....	43
5.3 Μικροελεγκτής ATmega328	44
5.4 Είσοδοι – Έξοδοι	45
5.5 Arduino IDE και σύνδεση με τον υπολογιστή	47
Κεφάλαιο 6 – Αισθητήρες υπερήχων.....	49
6.1 Εισαγωγή.....	49
6.2 Αισθητήρας υπερήχων HC-SR04.....	49

6.3 Εφαρμογές αισθητήρα υπερήχων HC-SR04.....	51
Κεφάλαιο 7 – Φωτοαντίσταση LDR.....	52
7.1 Εισαγωγή - Τι είναι μια Φωτοαντίσταση LDR (Light Dependent Resistor);.....	52
7.2 Εφαρμογές Φωτοαντιστάσεων LDR.....	53
7.3 Παράδειγμα - Κύκλωμα Τρανζίστορ ελεγχόμενο από Φωτοαντίσταση LDR....	54
Κεφάλαιο 8 – Κινητήρες.....	55
8.1 Εισαγωγή.....	55
8.2 Εφαρμογές Κινητήρων.....	55
8.3 Κινητήρας DC.....	55
8.4 Οδήγηση Κινητήρων με το SN754410 H-Bridge Motor.....	58
8.5 Διαφορική οδήγηση.....	59
8.6 Ψηφιακοί Οπτικοί Κωδικοποιητές.....	61
Κεφάλαιο 9 – Σενάρια / Συμπεριφορές οχήματος.....	62
Κεφάλαιο 10 – Συμπεράσματα.....	63
Κεφάλαιο 11 – Συνδεσμολογία Arduino.....	64
11.1 Μακέτα.....	64
11.2 Σχηματικό.....	64
Κεφάλαιο 12 – Προγραμματισμός Arduino.....	65
12.1 Κώδικας.....	65
Βιβλιογραφία	72

Λίστα Εικόνων

Εικόνα Α Ένα διάγραμμα Ερεθίσματος-Αντίδρασης μιας απλής συμπεριφοράς. ...	9
Εικόνα 1.1 Το TransCar της εταιρείας Swisslog Telelift.	12
Εικόνα 1.2 Το ρομπότ επιτήρησης OFRO της Robowatch.	13
Εικόνα 1.3 Το ρομπότ εξερεύνησης του Άρη, Opportunity της NASA.	13
Εικόνα 1.4 Το ρομπότ σε μορφή φιδιού KAIRO3 της FZI.	14
Εικόνα 1.5 Το εξάποδο ρομπότ Harvester.	15
Εικόνα 1.6 Το ανθρωποειδές ρομπότ νοικοκυριού ARMAR.	15
Εικόνα 1.7 Το ρομποτ-ξεναγός μουσείων TOURBOT.	16
Εικόνα 1.8 Ο Τάλως, ο μυθικός χάλκινος προστάτης της Κρήτης.	17
Εικόνα 1.9 Το αυτοματοποιημένο θέατρο του Ήρωνα του Αλεξανδρινού.	17
Εικόνα 1.10 Το Rancho Arm, ένας από τους πρώτους τεχνητούς βραχιόνες ελεγχόμενος από υπολογιστή.	18
Εικόνα 1.11 Ο W. Gray Walter, το «machina speculatrix» και το διάγραμμα του κυκλώματός του.	20
Εικόνα 2.1 Εξώφυλλο βιβλίου «Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology» του Valentino Braitenberg.....	22
Εικόνα 2.2 Το πιο απλό όχημα Braitenberg	23
Εικόνα 2.3.1 Ένα πιο σύνθετο όχημα Braitenberg	25
Εικόνα 2.3.2 Ένα όχημα Braitenberg με αντιστρόφως ανάλογες διασυνδέσεις.....	26
Εικόνα 3.1 Μηχανισμοί κίνησης βιολογικών συστημάτων.	28
Εικόνα 3.2 Ένα δίποδο σύστημα μπορεί να προσεγγιστεί με κυλιόμενο πολύγωνο, με πλευρές ίσες σε μήκος d με το άνοιγμα του βήματος. Καθώς το άνοιγμα του βήματος μειώνεται, το πολύγωνο προσεγγίζει έναν κύκλο ή τροχό με την ακτίνα l	28
Εικόνα 3.3 Σχέση ενέργειας/ταχύτητας σε διάφορους μηχανισμούς κίνησης.	29
Εικόνα 3.4 Το παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς και το τοπικό πλαίσιο αναφοράς του ρομπότ.	30
Εικόνα 3.5 Το κινητό ρομπότ ευθυγραμμισμένο με τον παγκόσμιο άξονα.	31
Εικόνα 3.6 Ένα κινητό ρομπότ διαφορικής οδήγησης στο παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς.	32

Εικόνα 4.1 Ένας πράκτορας που αλληλεπιδρά με το περιβάλλον.	33
Εικόνα 4.2 Ένα γενικό διάγραμμα ενός τύπου συστημάτων με βάση τη συμπεριφορά.	34
Εικόνα 4.3 Ένα διάγραμμα κατηγοριοποίησης αρχιτεκτονικών ελέγχου στον τομέα της ρομποτικής.	39
Εικόνα 4.4 Αποσύνθεση των λειτουργιών των συμπεριφορών.	40
Εικόνα 4.5 Μια μονάδα συμπεριφοράς στην αρχιτεκτονική παραγωγή.	41
Εικόνα 5.1 Arduino UNO.....	43
Εικόνα 5.2 Ο μικροελεγκτής ATmega328.....	44
Εικόνα 5.3 Βασικές Είσοδοι-Έξοδοι Arduino UNO.....	45
Εικόνα 5.4 Παράθυρο Λογισμικού ανάπτυξης κώδικα Arduino.....	47
Εικόνα 6.1 Το ηχητικό φάσμα.....	49
Εικόνα 6.2 Αισθητήρας υπερήχων HC-SR04.....	49
Εικόνα 6.3 Αντανάκλαση υπερήχων.....	50
Εικόνα 7.1.1 Φωτοαντίσταση LDR.....	52
Εικόνα 7.1.2 Γραφική παράσταση Έντασης Φωτός-Φωτοαντίστασης LDR.....	52
Εικόνα 7.1.3 Σύμβολο Φωτοαντίστασης LDR.....	53
Εικόνα 7.2 Κύκλωμα τρανζίστορ ελεγχόμενο από φωτοαντίσταση LDR.....	54
Εικόνα 8.1 Το εσωτερικό ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος (DC).....	56
Εικόνα 8.2 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC) με γρανάζια.....	56
Εικόνα 8.3 Γράφημα απόδοσης κινητήρα συνεχούς ρεύματος (DC) με γρανάζια.....	57
Εικόνα 8.4 Ο μικροελεγκτής SN754410 H-Bridge.....	58
Εικόνα 8.5 Οι ακροδέκτες και ο πίνακας λειτουργίας για κάθε οδηγό του H-Bridge Motor Driver.....	58
Εικόνα 8.6 Όχημα διαφορικής οδήγησης.....	59
Εικόνα 8.7 Κινήσεις διαφορικής οδήγησης.....	60
Εικόνα 8.8 Οπτικός Κωδικοποιητής.....	61
Εικόνα 9.1 Το όχημα της εργασίας.....	62

A - Εισαγωγή

Η φύση είναι γεμάτη με παραδείγματα αυτόνομων πλασμάτων ικανών να αντιμετωπίσουν την ποικιλομορφία και τις απρόβλεπτες και ταχέως μεταβαλλόμενες συνθήκες του πραγματικού κόσμου. Τα πλάσματα αυτά πρέπει να παίρνουν αποφάσεις και να λαμβάνουν μέτρα έχοντας ελλιπή αντίληψη και περιορισμένες γνώσεις για τον κόσμο, χρονικούς περιορισμούς, αλλά και νόηση, λογική και φυσικές ικανότητες, όλα αυτά σε ανεξέλεγκτες συνθήκες και με πολύ περιορισμένες ενδείξεις για την πρόθεση των άλλων. Κατά συνέπεια, ένας τρόπος να χαρακτηριστεί ένα πλάσμα νοήμον ή μη, βασίζεται στην ικανότητά του να εκμεταλλεύεται το μέγιστο από αυτά που έχει στη διάθεσή του για να ανταπεξέλθει στις πολυπλοκότητες του πραγματικού κόσμου. Ο κύριος στόχος της παρούσας εργασίας είναι να εξηγήσει τις ρομποτικές συμπεριφορές και τη χρήση τους σε προβλήματα και εφαρμογές αυτόνομου ελέγχου.

A.1 Ρομπότ

Αρχικά, για να γίνουν κατανοητές οι ρομποτικές συμπεριφορές, θα πρέπει να οριστεί το τι είναι ρομπότ.

Η λέξη ρομπότ προέρχεται από την σλαβική λέξη *robot* που σημαίνει καταναγκαστική εργασία. Επομένως μια ελεύθερη μετάφραση αυτού σημαίνει ότι τα ρομπότ είναι οι δούλοι των ανθρώπων.

Πιο επιστημονικά, σύμφωνα με την RIA (Robotics Industries Association = Σύνδεσμος Ρομποτικών Βιομηχανιών), βιομηχανικό ρομπότ είναι μια αυτομάτως ελεγχόμενη επαναπρογραμματιζόμενη συσκευή πολλαπλών λειτουργιών, κατασκευασμένη σε τρεις ή παραπάνω άξονες, σταθερή ή και κινούμενη για χρήση σε βιομηχανικές εφαρμογές αυτοματισμού.

A.2 Οι 3 νόμοι του Ισαάκ Ασίμοβ

Το 1941, ο συγγραφέας επιστημονικής φαντασίας Ισαάκ Ασίμοβ, στο έργο του 'Runaround', αποτύπωσε τρεις βασικούς κανόνες σχετικά με τα ρομπότ. Αυτοί είναι:

- 1) Το ρομπότ δε θα κάνει κακό σε άνθρωπο, ούτε θα επιτρέψει να δημιουργηθεί βλάβη σε ανθρώπινο όν με την αδράνειά του.
- 2) Το ρομπότ πρέπει να υπακούει τις διαταγές που του δίνουν οι άνθρωποι, εκτός αν αυτές οι διαταγές έρχονται σε αντίθεση με τον πρώτο νόμο .
- 3) Το ρομπότ οφείλει να προστατεύει την ύπαρξή του, αρκεί αυτό να μην συγκρούεται με τον πρώτο ή τον δεύτερο νόμο.

A.3 Ρομποτικές Συμπεριφορές με απλά λόγια

Τα ζώα χρησιμοποιούν το περιβάλλον τους με σκοπό την επίτευξη κάποιων συγκεκριμένων στόχων. Αυτό καθορίζει την συμπεριφορά τους. Έτσι, αντιστοίχως, πολύ απλά ως ρομποτική συμπεριφορά, μπορούμε να ορίσουμε μια σειρά από ενέργειες που εκτελούνται από ένα ρομπότ με σκοπό την επίτευξη κάποιου στόχου. Άρα για παράδειγμα η συμπεριφορά ενός ρομπότ που αποφεύγει εμπόδια συνίσταται από τις ενέργειες του να σταματάει, να στρίβει και να ξεκινάει να κινείται και πάλι προς διαφορετική κατεύθυνση.

Μια συμπεριφορά, για να το θέσουμε απλά, είναι μια αντίδραση σε ένα ερέθισμα. Αυτή η ρεαλιστική άποψη μας επιτρέπει να εκφράσουμε πώς ένα ρομπότ αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του.



Εικόνα Α Ένα διάγραμμα Ερεθίσματος-Αντίδρασης μιας απλής συμπεριφοράς.

Κεφάλαιο 1 – Αυτόνομα Κινητά Ρομπότ

1.1 Εισαγωγή

Τα αυτόνομα κινητά ρομπότ (AMR) μπορούν να οριστούν ως ρομπότ που μπορούν να περιηγούνται στο περιβάλλον με αυτόνομο τρόπο καθώς εκτελούν εργασίες με σκοπό την επίτευξη ενός στόχου. Μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το επιχειρησιακό τους περιβάλλον σε μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους (UGV), μη επανδρωμένα οχήματα νερού (UWVs), αυτόνομα υποβρύχια οχήματα (AUVs) και μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικές εργασίες ή υπηρεσίες όπως αυτόνομη επιθεώρηση, επιτήρηση ή συντήρηση.

Οι κοινές απαιτήσεις για αυτόνομα κινητά ρομπότ είναι προφανώς η αυτονομία και αυτάρκεια. Αυτονομία σημαίνει ότι το σύστημα μπορεί να λαμβάνει αποφάσεις αυτοεξαρτήτως. Μπορεί να γίνει διαχωρισμός μεταξύ πλήρως αυτόνομου, στο οποίο το σύστημα αποφασίζει εξ ολοκλήρου από μόνο του, και ημιαυτόνομο, στο οποίο ορισμένες αποφάσεις λαμβάνονται από έναν άνθρωπο χειριστή. Ο όρος αυτάρκεια σημαίνει ότι το ρομπότ μεταφέρει επάνω του την απαραίτητη για την λειτουργία του παροχή ενέργειας. Προκειμένου να πληρούνται οι απαιτήσεις για την αυτονομία ενός αυτόνομου κινητού ρομπότ, είναι απαραίτητα τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- **Ευκινησία** Ο όρος αυτός περιγράφει την ικανότητα του ρομπότ να μετακινείται σε συγκεκριμένες θέσεις στο επιχειρησιακό περιβάλλον. Αυτές οι θέσεις θα μπορούσαν να βρίσκονται σε τοπικά, αλλά και σε πολύ μακρινά περιβάλλοντα.
- **Προσαρμοστικότητα** Λόγω της υψηλής δυναμικής που υπάρχει στα διάφορα περιβάλλοντα, ένα αυτόνομο κινητό ρομπότ είναι πιθανό να αντιμετωπίσει καταστάσεις που δεν έχουν διευκρινιστεί προηγουμένως. Επομένως, η προσαρμογή σε άγνωστες καταστάσεις είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό για ένα αυτόνομο κινητό ρομπότ.
- **Αντίληψη του περιβάλλοντος** Για την πλοήγηση και την ικανότητα εκπλήρωσης των καθηκόντων του, είναι απαραίτητη η ανάκτηση πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον γύρω από το όχημα.
- **Απόκτηση γνώσης** Επειδή η πλήρης εικόνα του περιβάλλοντος στο οποίο το ρομπότ θα δράσει δεν μπορεί πάντα να περιγραφεί εκ των προτέρων, ένα αυτόνομο κινητό ρομπότ πρέπει να έχει την ικανότητα να αποκτά νέες γνώσεις ενώ λειτουργεί.
- **Ικανότητα αλληλεπίδρασης** Τα αυτόνομα κινητά ρομπότ πρέπει επίσης να είναι σε θέση να λαμβάνουν εντολές και καινούρια καθήκοντα από κάποιον χειριστή. Οι πιο συνήθεις τεχνικές αλληλεπίδρασης, είναι μέσω της ομιλίας και των χειρονομιών.
- **Ασφάλεια** Ένα αυτόνομο κινητό ρομπότ δεν πρέπει να προκαλέσει ζημιά σε αντικείμενα, να βλάψει τον άνθρωπο ή να καταστραφεί. Μια διακοπή λειτουργίας έκτακτης ανάγκης είναι η απλούστερη τεχνική που μπορεί να εφαρμοστεί.

- **Επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο** Η αρχιτεκτονική υπολογιστών και λογισμικού είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τις σκληρές απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο.

Για την εφαρμογή των παραπάνω χαρακτηριστικών, πρέπει να αντιμετωπίζονται διαφορετικές προβληματικές περιοχές. Δεδομένης μιας κινητής ρομποτικής πλατφόρμας, το πρώτο βήμα προς την επίλυση ενός προβλήματος ενός ρομπότ είναι η μοντελοποίηση της κινηματικής και της δυναμικής της. Αυτό περιλαμβάνει π.χ. τη σχέση μεταξύ των ταχυτήτων του τροχού και των κινήσεων του ρομπότ ή την επίδραση της ολίσθησης του τροχού. Με βάση αυτά τα μοντέλα, μπορούν να περιγραφούν απλές εργασίες πλοήγησης που δεν θεωρούν εμπόδια στο περιβάλλον. Για την αποφυγή συγκρούσεων απαιτούνται συστήματα αισθητήρων για την ανίχνευση διαφορετικών τύπων εμποδίων όπως σκάλες, έπιπλα ή φυτά. Με βάση την αρχή της μέτρησης, οι εξαγόμενες πληροφορίες εμπεριέχουν συχνά θόρυβο ή είναι ελλιπείς. Αυτό καθιστά αναγκαία τη χρήση διαφορετικών αισθητήρων και αλγορίθμων σύντηξης για τις μετρούμενες τιμές. Οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται από τις στρατηγικές αποφυγής συγκρούσεων για να αποφασιστεί εάν η διακοπή λειτουργίας έκτακτης ανάγκης ή η αποφυγή εμποδίων είναι η καλύτερη λύση.

1.2 Εφαρμογές αυτόνομων κινητών ρομπότ

Γενικά, όλες οι εφαρμογές της ρομποτικής μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το βαθμό έλλειψης δομών του περιβάλλοντος και τον βαθμό αυτονομίας που είναι απαραίτητος για την εκτέλεση του έργου. Τα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται συνήθως σε ένα καλά δομημένο περιβάλλον. Για παράδειγμα, τα ρομπότ συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αυτοκινήτων, παίρνουν την ακριβή θέση και τον προσανατολισμό των τμημάτων του σκελετού του αυτοκινήτου που πρέπει να συγκολληθούν. Ως εκ τούτου, ο αριθμός των αισθητήρων που πρέπει να παρακολουθούν τη διαδικασία κατασκευής είναι πολύ χαμηλός. Η εκτέλεση της εργασίας περιορίζεται σε ένα σταθερό σύνολο εντολών, οι οποίες δεν είναι σχεδιασμένες για να αντιμετωπίζουν απρόβλεπτες συνθήκες. Έτσι, ο βαθμός αυτονομίας της εκτέλεσης εργασιών είναι επίσης χαμηλός.

Σε αντίθεση τα βιομηχανικά ρομπότ, τα ρομπότ υπηρεσίας πρέπει να λειτουργούν μέσα σε περισσότερο μη δομημένα περιβάλλοντα. Δεν είναι δυνατόν να απεικονιστούν πλήρως αυτά τα περιβάλλοντα. Ας εξεταστεί, για παράδειγμα, ένα υποβρύχιο ρομπότ κατασκευασμένο για να επιθεωρεί αγωγούς. Σε αυτή την περίπτωση, ένα μοντέλο του περιβάλλοντος και οι δυναμικές συνθήκες του, όπως οι κρίσιμες ροές, δεν θα μπορούσαν να δοθούν εκ των προτέρων. Επιπλέον, η χρήση ειδικών αισθητήρων όπως τα συστήματα κάμερας προσφέρει ένα περιορισμένο μοντέλο περιβάλλοντος εξαιτίας π.χ. της θολότητας του νερού. Αυτές οι διαταραχές προκαλούν μια ισχυρή ανάγκη προσαρμογής στην τρέχουσα κατάσταση για την εκτέλεση των εργασιών.

Τα προσωπικά ρομπότ, από την άλλη πλευρά, είναι σχεδιασμένα να είναι μηχανήματα γενικής χρήσης κατάλληλα για την εκτέλεση ενός πολύ μεγάλου αριθμού διαφορετικών εργασιών σε τυχαία περιβάλλοντα. Ένα ανθρωποειδές ρομπότ, για παράδειγμα, μπορεί να λειτουργήσει ως υπάλληλος υπηρεσίας σε ένα νοικοκυριό. Θα πρέπει να είναι σε θέση να

πλύνει τα πιάτα και να καθαρίσει τα παράθυρα ή να πλύνει τα ρούχα. Το λειτουργικό του περιβάλλον βρίσκεται τόσο μέσα στο σπίτι όσο και στον κήπο.

Παρακάτω περιγράφονται κάποια πεδία εφαρμογής στα οποία χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα αυτόνομα κινητά ρομπότ υπηρεσίας:

- **Μεταφορά** Τα πιο συνηθισμένα συστήματα μεταφοράς είναι τα βιομηχανικά αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα (AGV), συστήματα μεταφοράς για αγαθά ή συστήματα υποστήριξης για άτομα με ειδικές ανάγκες. Επειδή αυτά τα οχήματα λειτουργούν κυρίως στην εγγύτητα των ανθρώπων, οι απαιτήσεις ασφάλειας είναι πολύ υψηλές. Ο κύριος στόχος είναι ο προγραμματισμός της πορείας υπό διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες και η συνεκτίμηση των εμποδίων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός AGV είναι το TransCar της Γερμανικής εταιρείας Swisslog Telelift. Μεταφέρει συνήθη ιατρικά είδη σε Νοσοκομειακές εγκαταστάσεις πολλαπλών ορόφων. Ένα άλλο μεταφορικό σύστημα είναι το αυτόνομο φορτηγό Actros της επίσης Γερμανικής εταιρείας Uzin, το οποίο μεταφέρει υλικά παραγωγής στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου. Ακόμα ένα παράδειγμα, είναι η αναπηρική πολυθρόνα Rolland του Πανεπιστημίου της Βρέμης, η οποία αναπτύσσεται για τη μεταφορά ηλικιωμένων και αναπήρων.



Εικόνα 1.1 Το TransCar της εταιρείας Swisslog Telelift.

- **Επιτήρηση** Τα ρομπότ επιτήρησης έχουν ως καθήκον την παρακολούθηση κτιρίων και περιοχών τόσο εσωτερικού, όσο και εξωτερικού χώρου. Συνήθως, δίνεται μια σταθερή διαδρομή ή σημεία αναφοράς, τα οποία παρουσιάζουν συχνή επισκεψιμότητα. Εκτός από την εφαρμογή κατάλληλων στρατηγικών πλοήγησης, τα ρομπότ αυτά, πρέπει να ανιχνεύουν παρατυπίες σε δομημένο και αδόμητο έδαφος. Επιπλέον, το σύστημα πρέπει να κάνει διάκριση μεταξύ εισβολέων και εξουσιοδοτημένων προσώπων. Τα γερμανικά ρομπότ MOSRO και OFRO της Robowatch που είναι εξοπλισμένα με πολλές δυνατότητες, όπως σύστημα λήψης εικόνας του περιβάλλοντος χώρου, ασύρματη μετάδοση δεδομένων, αισθητήρες

ανίχνευσης κίνησης, βλαβερών αερίων και ένα ολοκληρωμένο σύστημα συναγερμού, είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών.



Εικόνα 1.2 Το ρομπότ επιτήρησης OFRO της Robowatch.

- **Εξερεύνηση** Τα τελευταία χρόνια, αναπτύχθηκαν πολλά συστήματα ρομπότ για την εφαρμογή σε περιβάλλοντα που είναι είτε επικίνδυνα είτε μη προσβάσιμα για τον άνθρωπο. Αυτά τα συστήματα πρέπει να είναι προστατευμένα από τυχόν διαταραχές και απρόβλεπτες καταστάσεις. Πρέπει να είναι υλοποιημένα κατά τρόπο τέτοιο ώστε να είναι δυνατή η αλληλεπίδραση ενός χειριστή με το σύστημα μέσω τηλεελέγχου. Τα ρομπότ/εξερευνητές πλανητών Spirit και Opportunity της Εθνικής Υπηρεσίας Αεροναυπηγικής και Διαστήματος (NASA) προσγειώθηκαν στον Άρη το 2004 και εξακολουθούν να λειτουργούν. Το όχημα ROBOVOLC που αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια ενός έργου της ΕΕ, με επικεφαλής το Πανεπιστήμιο της Κατάνια, χρησιμοποιήθηκε για να εξερευνήσει το ηφαίστειο της Αίτνας.



Εικόνα 1.3 Το ρομπότ εξερεύνησης του Άρη, Opportunity της NASA.

- Επιθεώρηση και συντήρηση** Οι εργασίες επιθεώρησης και συντήρησης αντιπροσωπεύουν έναν από τους μεγαλύτερους τομείς εφαρμογής για τα ρομπότ υπηρεσίας. Χρησιμοποιούνται για την ανάλυση φυτών, κτιρίων ή μεγάλων τεχνικών κατασκευών όπως τα πλοία. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό ή την επισκευή των παραπάνω. Το λειτουργικό περιβάλλον τους, μπορεί να υποβληθεί σε ακραίες καιρικές συνθήκες όπως υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες ή να αποτελείται από οποιοδήποτε είδος υγρού. Εκτός από τις μεθόδους επιθεώρησης και συντήρησης, η ακριβής τοποθέτηση τους αποτελεί από μόνη της μια μεγάλη πρόκληση. Στην επιθεώρηση μιας αποχέτευσης, για παράδειγμα, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση σπασμένων σωλήνων ή άλλων ζημιών, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε μόλυνση του έδαφος. Το Kairo της εταιρίας FZI, είναι ένα ρομπότ σε σχήμα φιδιού για την αυτόνομη επιθεώρηση δικτύων σωλήνων. Το σύστημα Robair του Πανεπιστημίου Σάουθ Μπανκ του Λονδίνου αναπτύχθηκε για να επιθεωρεί τα φτερά και την άτρακτο αεροπλάνων για τυχόν χαλαρά πριτσίνια και ρωγμές. Άλλες εφαρμογές είναι υποβρύχιες, όπως η επιθεώρηση και επισκευή αγωγών. Το τηλεκατευθυνόμενο όχημα Spider σχεδιάστηκε από την εταιρεία Cybernetix και αναλύει οπτικά σωληνώσεις σε βάθος έως και 1500 μ.



Εικόνα 1.4 Το ρομπότ σε μορφή φιδιού KAIRO3 της FZI.

- Συγκομιδή** Έχουν αναπτυχθεί διάφορα ρομπότ υπηρεσιών για τη δασοκομία και τη γεωργία, με σκοπό τη μείωση του κόστους και την εξοικονόμηση πόρων. Ένα σοβαρό πρόβλημα προκύπτει από την ανάγκη για κίνηση των ρομπότ αυτών σε άνισο και ανομοιόμορφο έδαφος στην ανάγκη για την ανίχνευση της καλλιέργειας. Το εξάποδο ρομπότ Harvester που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Plustech, μια φινλανδική θυγατρική της John Deere, χρησιμοποιείται για την κοπή δέντρων σε ακατέργαστα δάση. Μια αυτόνομη μηχανή συλλογής φρούτων (AFPM) είναι ένα ακόμη παράδειγμα που χρησιμοποιείται για τη συγκομιδή μήλων.



Εικόνα 1.5 Το εξάποδο ρομπότ Harvester.

- **Νοικοκυριό** Τα ρομπότ που μπορούν να κάνουν δουλειές του σπιτιού αποτελούν ένα όνειρο των παλαιών γενεών και παρουσιάζεται σε πολλές ιστορίες επιστημονικής φαντασίας. Τα τελευταία χρόνια όμως, έχουν σχεδιαστεί διάφορα ρομπότ που βάζουν ηλεκτρική σκούπα, καθαρίζουν τα παράθυρα και βοηθούν τους ανθρώπους με τις οικιακές δουλειές. Εκτός από τις σύνθετες εργασίες χειρισμού και πλοήγησης, ανθρώπινοι χειριστές συχνά πρέπει να αλληλεπιδρούν με αυτά τα ρομπότ, προφορικά ή με βάση τις χειρονομίες και τη μimesis. Το Trilobite της εταιρείας Electrolux ήταν ένα από τα πρώτα προϊόντα ρομποτικής ηλεκτρικής σκούπας. Εξοπλισμένο με αισθητήρες υπερήχων, το Trilobite είναι σε θέση να αποφύγει και εμπόδια. Όταν η στάθμη της μπαταρίας είναι χαμηλή, το ρομπότ πηγαίνει αυτόματα πίσω στο σταθμό φόρτισης. Τα πιο εξελιγμένα ερευνητικά ρομπότ για νοικοκυριό είναι τα ανθρωποειδή ρομπότ ARMAR του Πανεπιστημίου της Καρλσρούης και το Care-O-bot του Ινστιτούτου Fraunhofer. Και τα δύο μηχανήματα είναι σε θέση να εκτελέσουν διάφορες εργασίες, όπως το πλύσιμο πιάτων, ή εργασίες μεταφοράς οικιακών αντικειμένων.



Εικόνα 1.6 Το ανθρωποειδές ρομπότ νοικοκυριού ARMAR.

- Εκπαίδευση και Ψυχαγωγία** Τα προγράμματα εκπαιδευτικής ρομποτικής συνδυάζουν την εκπαίδευση και την ψυχαγωγία. Η ιδέα να δοθεί κίνητρο στη μάθηση με τη βοήθεια ενδιαφερόντων ρομποτικών συστημάτων απαντάται σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης. Για τους μικρούς μαθητές, τα Lego Mindstorms χρησιμοποιούνται συχνά για να εισαχθούν στη μηχανική καθώς και στο προγραμματισμό ρομποτικών συστημάτων. Ο διαγωνισμός RoboCup εμπνέει μαθητές και φοιτητές σε όλο τον κόσμο να εμβαθύνουν τις γνώσεις τους στις ρομποτικές μεθόδους και τεχνολογίες. Οι κύριοι τομείς έρευνας, είναι τα πολυπρακτορικά συστήματα, η παρακολούθηση και ανγνώριση αντικειμένων, καθώς και οι στρατηγικές παιχνιδιών. Άλλα αντίστοιχα προγράμματα είναι οι ρομποτικοί ξεναγοί μουσείων όπως το TOURBOT. Αυτό το ρομπότ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διαδραστικός ξεναγός, παρέχοντας πρόσβαση σε εκθέματα μουσείων, μέσω διαδικτύου ή ως ένας ευέλικτος ξεναγός μέσα στο ίδιο το μουσείο.



Εικόνα 1.7 Το ρομποτ-ξεναγός μουσείων TOURBOT.

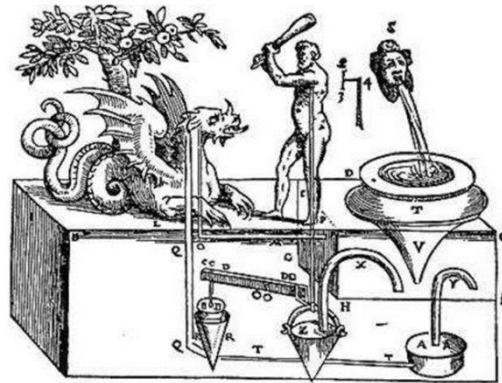
1.3 Ιστορική αναδρομή

Η ιδέα για τη δημιουργία μηχανών που είναι επιδέξιες και ευφυείς, υπάρχει στην ανθρωπότητα από αρχαιοτάτων χρόνων. Αυτή η ιδέα πλέον γίνεται μέρος της εκπληκτικής πραγματικότητας του κόσμου μας. Από τους πρώτους πολιτισμούς που υπήρξαν στη γη, μια από τις μεγαλύτερες φιλοδοξίες του ανθρώπου ήταν να δημιουργήσει τεχνουργήματα κατά την εικόνα του. Ο μύθος του Τιτάνα Προμηθέα, που δημιούργησε την ανθρωπότητα από πηλό, ή του θρυλικού Τάλου, του χάλκινου γίγαντα που σφυρηλατήθηκε από τον Ηφαίστο ως άγρυπνος φύλακας της Κρήτης (3500 π.Χ.), μαρτυρούν αυτή την αναζήτηση στην ελληνική μυθολογία. Τα άγια αγάλματα των Αιγυπτίων μέσα στα οποία κρύβονταν ιερείς που έλεγαν χρησμούς (2500 π.Χ.) ήταν ίσως ο πρόδρομος των σύγχρονων σκεπτόμενων μηχανών. Η κλεψύδρα που εισήγαγαν οι Βαβυλώνιοι (1400 π.Χ.) ήταν ένα από τα πρώτα αυτοματοποιημένα μηχανικά τεχνουργήματα.



Εικόνα 1.8 Ο Τάλως, ο μυθικός χάλκινος προστάτης της Κρήτης.

Κατά τους επόμενους αιώνες, η ανθρώπινη δημιουργικότητα χάρισε πλήθος συσκευών όπως - μεταξύ πολλών άλλων του κατασκευών- το αυτοματοποιημένο θέατρο του Ήρωνα του Αλεξάνδρινου (100 μ.Χ.), οι μηχανές ανύψωσης νερού από πηγάδια ή ποτάμια και οι ανθρωποειδείς μηχανές του Al-Jazari (1200) και πολλά ευρηματικά σχέδια του Leonardo da Vinci (1500). Η ανάπτυξη των αυτόματων μηχανών συνέχισε να ευδοκιμεί και κατά το δέκατο όγδοο αιώνα, τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ασία, με δημιουργίες όπως η οικογένεια ανδροειδών του Γάλλου Jacquet-Droz (που αποτελείται από εισηγητές, μουσικούς και συγγραφείς) και οι Ιαπωνικές αυτοματοποιημένες μηχανικές κούκλες karakuri-ningyo (π.χ. σερβιτόροι τσαγιού και τοξοβόλοι).



Εικόνα 1.9 Το αυτοματοποιημένο θέατρο του Ήρωνα του Αλεξάνδρινου.

Η έννοια του ρομπότ καθιερώθηκε σαφώς από τις παραπάνω δημιουργικές ιστορικές ανακαλύψεις. Παρ' όλα αυτά, η εμφάνιση του φυσικού ρομπότ έπρεπε να περιμένει την έλευση των βασικών τεχνολογιών κατά τη διάρκεια του εικοστού αιώνα. Το 1920, ο όρος ρομπότ - που προέρχεται από τη λέξη *rabota*, που σημαίνει καταναγκαστική εργασία στις σλαβικές γλώσσες - εισήχθη για πρώτη φορά από τον Τσέχο θεατρικό συγγραφέα Karel Capek στο έργο του, *Rossum's Universal Robots (R.U.R.)*. Το 1940, η ηθική της αλληλεπίδρασης μεταξύ ρομπότ και ανθρώπων θεωρήθηκε ότι διέπεται από τους γνωστούς τρεις θεμελιώδεις νόμους του ρωσικού συγγραφέα επιστημονικής φαντασίας Isaac Asimov στο μυθιστόρημά του *Runaround*.

Τα μέσα του εικοστού αιώνα έφεραν τις πρώτες εξερευνήσεις της σχέσης μεταξύ της ανθρώπινης νοημοσύνης και των μηχανών, σηματοδοτώντας την αρχή μιας εποχής γόνιμης έρευνας στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης (AI). Εκείνη ήταν η εποχή όπου υλοποιήθηκαν τα πρώτα ρομπότ. Επωφελήθηκαν από τις προόδους στις διάφορες τεχνολογίες της

μηχανικής, του ελέγχου, των υπολογιστών και των ηλεκτρονικών. Όπως πάντα, τα νέα σχέδια κινητοποιούν νέες έρευνες και ανακαλύψεις, οι οποίες, με τη σειρά τους, οδηγούν σε βελτιωμένες λύσεις και έτσι σε νέες ιδέες. Αυτός ο ενάρετος κύκλος με την πάροδο του χρόνου δημιούργησε εκείνη τη γνώση και κατανόηση που γέννησε το πεδίο της ρομποτικής, που αναφέρεται σωστά ως: η επιστήμη και η τεχνολογία των ρομπότ.

Τα πρώτα ρομπότ που κατασκευάστηκαν στη δεκαετία του 1960 προέκυψαν από τη διασταύρωση δύο τεχνολογιών: των μηχανών αριθμητικού ελέγχου (NC) για ακριβείς κατασκευές και των τηλεχειριστών για απομακρυσμένο χειρισμό ραδιενεργού υλικού. Αυτοί οι βραχίονες είχαν σχεδιαστεί έτσι ώστε να αντιγράφουν ένα προς ένα τους μηχανισμούς του ανθρώπινου βραχίονα και είχαν υποτυπώδη έλεγχο και περιορισμένη αντίληψη για το περιβάλλον. Στη συνέχεια, από τα μέσα έως τα τέλη του εικοστού αιώνα, η ανάπτυξη ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, ψηφιακών υπολογιστών και μικροσκοπικών εξαρτημάτων έδωσε τη δυνατότητα να σχεδιάζονται και να προγραμματίζονται τα ελεγχόμενα από υπολογιστή ρομπότ. Αυτά τα ρομπότ, που ονομάζονται βιομηχανικά ρομπότ, έγιναν βασικά συστατικά στοιχεία στην αυτοματοποίηση των ευέλικτων συστημάτων παραγωγής στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Εκτός από την ευρεία εφαρμογή τους στην αυτοκινητοβιομηχανία, τα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία γενικά στη βιομηχανία, όπως στην κατασκευή μεταλλικών προϊόντων, τη βιομηχανία τροφίμων, καθώς και τη χημική βιομηχανία. Πιο πρόσφατα, τα ρομπότ έχουν βρει νέες εφαρμογές και εκτός των εργοστασίων, σε τομείς όπως ο καθαρισμός, η αναζήτηση και η διάσωση, οι υποβρύχιες εφαρμογές, το διάστημα και οι ιατρικές εφαρμογές.



Εικόνα 1.10 Το Rancho Arm, ένας από τους πρώτους τεχνητούς βραχιόνες ελεγχόμενος από υπολογιστή.

Στη δεκαετία του 1980 η ρομποτική ορίστηκε ως η επιστήμη που μελετά τη δυναμική σχέση μεταξύ αντίληψης και δράσης. Με βάση αυτόν τον ορισμό, η δράση ενός ρομποτικού συστήματος ανατίθεται σε ένα σύστημα μετακίνησης για να κινείται στο περιβάλλον (τροχούς, ερπύστριες, πόδια, έλικες) και / ή σε ένα σύστημα χειρισμού για να χειρίζεται αντικείμενα που υπάρχουν στο περιβάλλον (βραχίονες, τεχνητά χέρια), όπου κατάλληλοι ενεργοποιητές κινούν τα μηχανικά εξαρτήματα του ρομπότ. Η αντίληψη εξάγεται από τους αισθητήρες που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του ρομπότ (θέση και ταχύτητα) και του περιβάλλοντός του (δύναμη και αφή, εμβέλεια και όραση). Η ευφυής σύνδεση ανατίθεται σε μια αρχιτεκτονική προγραμματισμού, σχεδιασμού και ελέγχου που βασίζεται στην αντίληψη και τα διαθέσιμα μοντέλα του ρομπότ και του περιβάλλοντος και εκμεταλλεύεται την απόκτηση γνώσεων και δεξιοτήτων.

Κατά τη δεκαετία του 1990 η έρευνα ενισχύθηκε από την ανάγκη προσφυγής στα ρομπότ για

την αντιμετώπιση του προβλήματος της ανθρώπινης ασφάλειας σε επικίνδυνα περιβάλλοντα ή για την ενίσχυση της ικανότητας των ανθρώπινων χειριστών και τη μείωση της κούρασης τους ή από την επιθυμία ανάπτυξης προϊόντων με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Ένας κοινός παρονομαστής τέτοιων σεναρίων εφαρμογής ήταν η ανάγκη να λειτουργήσει σε ένα ελάχιστο δομημένο περιβάλλον το οποίο ουσιαστικά απαιτεί αυξημένες ικανότητες και υψηλότερο βαθμό αυτονομίας.

Από την αυγή της νέας χιλιετίας, η ρομποτική έχει υποστεί σημαντική μεταστροφή τόσο στο πεδίο εφαρμογής, όσο και τις διαστάσεις. Αυτή η επέκταση οφείλεται στην ωρίμανση του πεδίου και στην πρόοδο των σχετικών τεχνολογιών. Από μια επικρατούσα βιομηχανική εστίαση, η ρομποτική επεκτείνεται ταχέως στις προκλήσεις του ανθρώπινου κόσμου. Η νέα γενιά ρομπότ αναμένεται να συνυπάρξει με τους ανθρώπους στα σπίτια, στους χώρους εργασίας και στις κοινότητες με ασφάλεια και αξιοπιστία, παρέχοντας υποστήριξη στις υπηρεσίες, την ψυχαγωγία, την εκπαίδευση, την υγειονομική περίθαλψη, τις κατασκευές και την προσφορά οποιασδήποτε βοήθειας.

Πέρα από την επίδρασή της στα φυσικά ρομπότ, το φάσμα της γνώσης την οποία έχει παράγει η ρομποτική, αποκαλύπτει ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών που καλύπτουν διάφορους ερευνητικούς τομείς και επιστημονικούς κλάδους όπως: βιομηχανική, απτική, νευροεπιστήμες, εικονική προσομοίωση, κινούμενα σχέδια, χειρουργικές επεμβάσεις και δίκτυα αισθητήρων μεταξύ άλλων. Από την άλλη, οι προκλήσεις των νέων αναδυόμενων περιοχών αποδεικνύονται μια πλούσια πηγή κινήτρων και γνώσης για τον τομέα της ρομποτικής. Πράγματι, οι πιο εντυπωσιακές εξελίξεις αναμένονται από την διασταύρωση περαιτέρω επιστημονικών κλάδων.

1.4 Κυβερνητική

Ο Norbert Wiener έχει γενικά αναγνωριστεί για την ηγεσία, στα τέλη της δεκαετίας του 1940, της ανάπτυξης της κυβερνητικής: μια ένωση της θεωρίας ελέγχου, της επιστήμης της πληροφορίας και της βιολογίας που επιδιώκει να εξηγήσει τις κοινές αρχές ελέγχου και επικοινωνίας τόσο στα ζώα όσο και στις μηχανές. Ο Ashby και ο Wiener προήγαγαν αυτή την άποψη ενός οργανισμού ως μηχανή χρησιμοποιώντας τα μαθηματικά που αναπτύχθηκαν για συστήματα ελέγχου ανατροφοδότησης για να εκφράσουν τη φυσική συμπεριφορά.

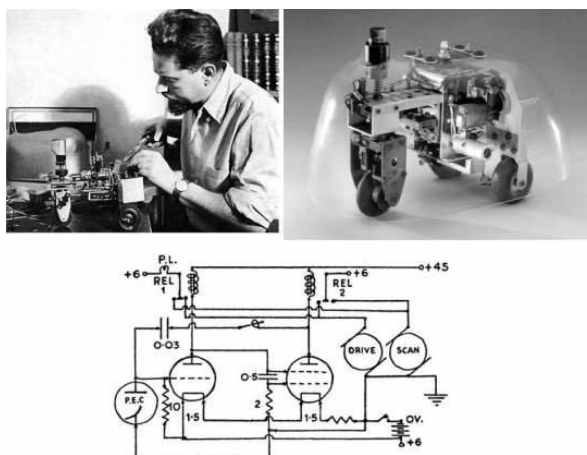
Αυτό επιβεβαίωσε την έννοια της θέσης, που είναι δηλαδή μια ισχυρή αμφίδρομη σύζευξη μεταξύ ενός οργανισμού και του περιβάλλοντος του.

Το 1953, ο W. Gray Walter εφάρμοσε αυτές τις αρχές στη δημιουργία ενός πρόδρομου ρομποτικού σχεδίου που ονομάστηκε *Machina Speculatrix*, το οποίο στη συνέχεια μετατράπηκε σε μορφή υλικού ως χελώνα του Grey Walter (*Grey Walter's tortoise*). Ορισμένες από τις αρχές που συλλήφθηκαν στο σχεδιασμό του περιλαμβάνουν:

1. **Απλότητα:** Το απλό είναι πάντα καλύτερο. Τα απλά αντανακλαστικά μπορούν να χρησιμεύσουν ως βάση για τη συμπεριφορά.
2. **Εξερεύνηση ή εικασίες:** Το σύστημα δεν παραμένει ακίνητο παρά μόνο όταν τροφοδοτείται (επαναφορτίζεται). Αυτή η σταθερή κατάσταση είναι επαρκής για να μην παγιδευτεί.
3. **Έλξη (θετικός τροπισμός):** Το σύστημα έχει κίνητρο να κινηθεί προς κάποιο περιβαλλοντικό αντικείμενο. Στην περίπτωση της χελώνας, αυτό είναι ένα φως μέτριας έντασης.

4. **Αποστροφή (αρνητικός τροπισμός):** Το σύστημα απομακρύνεται από ορισμένους αρνητικούς ερεθισμούς, για παράδειγμα, αποφεύγονται τα εμπόδια και οι απότομες κλίσεις.

5. **Διάκριση:** Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να κάνει διάκριση μεταξύ παραγωγικής και μη παραγωγικής συμπεριφοράς, προσαρμολζόμενο στην υπάρχουσα κατάσταση.



Εικόνα 1.11 O W. Gray Walter, το «machina speculatrix» και το διάγραμμα του κυκλώματός του.

Η ίδια η χελώνα, κατασκευασμένη ως αναλογική συσκευή, αποτελούταν από δύο αισθητήρες, δύο ενεργοποιητές και δύο "νευρικά κύτταρα" ή σωλήνες κενού. Ένα κατευθυντικό φωτοκύτταρο για την ανίχνευση του φωτός και ένας αισθητήρας επαφής παρείχαν την απαιτούμενη περιβαλλοντική ανατροφοδότηση. Ένας κινητήρας τροφοδοτούσε τον μονό εμπρόσθιο τροχό οδήγησης. Το φωτοκύτταρο πάντα έδειχνε προς την κατεύθυνση αυτού του τροχού και συνεπώς μπορούσε να σαρώσει το περιβάλλον. Ο κινητήρας οδήγησης τροφοδοτούσε τον τροχό και παρείχε μετακίνηση.

Η χελώνα παρουσίαζε τις ακόλουθες συμπεριφορές:

- **Αναζήτηση φωτός:** Ο αισθητήρας περιστρέφεται μέχρις ότου να ανιχνευθεί μια αδύναμη πηγή φωτός ενώ ο κινητήρας οδήγησης μετακινούσε συνεχώς το ρομπότ για να εξερευνήσει ταυτόχρονα το περιβάλλον.
- **Κατεύθυνση προς το αδύναμο φως:** Μόλις ανιχνεύεται ασθενές φως, η χελώνα κινούταν προς την κατεύθυνσή του.
- **Απομάκρυνση από το έντονο φως:** Μια αποτρεπτική συμπεριφορά απωθούσε τη χελώνα από τις έντονα φωτεινές πηγές φωτός. Αυτή η συμπεριφορά ήταν ιδιαίτερο πλεονέκτημα κατά την επαναφόρτιση της χελώνας.
- **Περιστροφή και ώθηση:** Χρησιμοποιούνταν για την αποφυγή εμποδίων, αυτή η συμπεριφορά υπερείχε της ανταπόκρισης στο φως.
- **Επαναφόρτιση της μπαταρίας:** Όταν η ισχύς της μπαταρίας ήταν χαμηλή, η χελώνα αντιλαμβανόταν μια ισχυρή πηγή φωτός ως αδύναμη. Επειδή ο σταθμός

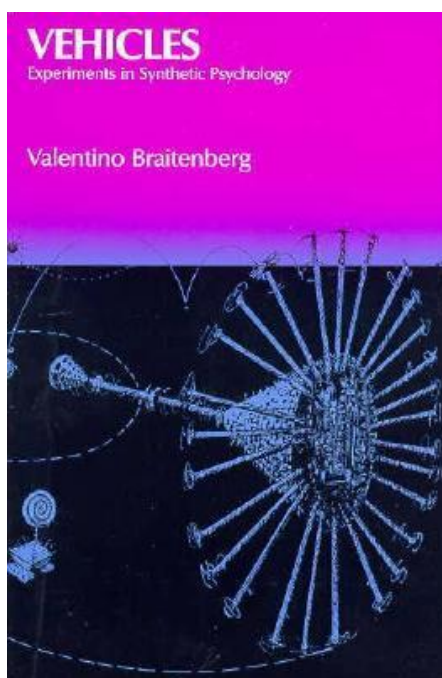
επαναφόρτισης είχε ένα ισχυρό φως πάνω του, το ρομπότ κινούταν προς αυτήν την κατεύθυνση και σταματούσε εκεί. Μετά την επαναφόρτιση, η φωτεινή πηγή θεωρούταν και πάλι ισχυρή και το ρομπότ απωθούταν από το σταθμό επαναφόρτισης.

Οι συμπεριφορές της χελώνας του Walter είχαν την εξής προτεραιότητα από τη χαμηλότερη προς την υψηλότερη: αναζήτηση φωτός, μετακίνηση από / προς το φως και αποφυγή εμποδίων. Η χελώνα ενεργούσε πάντοτε με τη συμπεριφορά της υψηλότερης προτεραιότητας που εφαρμόζονταν, για παράδειγμα επιλέγοντας να αποφύγει τα εμπόδια αντί να κινηθεί προς ένα φως. Η ρομποτική με βάση τη συμπεριφορά εξακολουθεί να χρησιμοποιεί ευρέως αυτή τη βασική αρχή.

Κεφάλαιο 2 - Οχήματα Braitenberg

2.1 Εισαγωγή

Ένας από τους ανθρώπους που εμπνεύστηκε από το έργο του W. Gray Walter, το οποίο είδαμε παραπάνω, ήταν ο νευροεπιστήμονας Valentino Braitenberg, ο οποίος έγραψε ένα βιβλίο με τίτλο Οχήματα (Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology) το 1984, πολύ μετά την εξαφάνιση του τομέα της κυβερνητικής. Το βιβλίο περιγράφει μια σειρά από ιδέες ή πειράματα σκέψης ή *gedanken experiments* (από τη γερμανική λέξη για τη σκέψη), που δείχνουν πώς μπορεί κανείς να σχεδιάσει απλά ρομπότ (τα οποία ονόμασε "οχήματα") και να τα κάνει να δημιουργούν συμπεριφορές που φαίνονται να μοιάζουν πολύ με εκείνες έμβιων οργανισμών. Το βιβλίο αυτό αποτέλεσε πηγή έμπνευσης για τους ανθρώπους που ασχολούνται με την ρομποτική, έστω και αν ο ίδιος ο Braitenberg δεν είχε κατασκευάσει υλικά κανένα από τα ρομπότ / οχήματα που περιέγραψε.



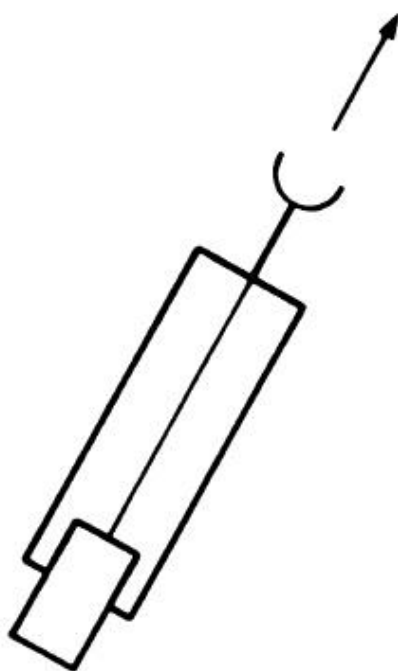
Εικόνα 2.1 Εξώφυλλο βιβλίου “*Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*” του Valentino Braitenberg

Τα οχήματα του Braitenberg ξεκινούν με έναν μόνο κινητήρα και έναν μόνο αισθητήρα φωτός και σταδιακά προχωρούν σε περισσότερους κινητήρες και περισσότερους αισθητήρες με πιο ενδιαφέρουσες συνδέσεις μεταξύ τους, όλα χρησιμοποιώντας αναλογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα. Αναλόγως τις διασυνδέσεις μεταξύ των αισθητηρίων και των ενεργοποιητών, τα οχήματα μπορούν να παρουσιάσουν περίπλοκες συμπεριφορές, οι οποίες μπορούν να συσχετιστούν με συμπεριφορές ή συναισθήματα έμβιων οργανισμών, όπως αγάπη, φόβος, επιθετικότητα, αισιοδοξία περιέργεια κ.α.

Μια σύνδεση μεταξύ των αισθητήρων και των κινητήρων στις οποίες όσο ισχυρότερη είναι αισθητηριακή είσοδος, τόσο ισχυρή είναι και η έξοδος του κινητήρα, καλείται διεγερτική σύνδεση (excitatory connection), επειδή η είσοδος διεγείρει την έξοδο. Αντιστρόφως, μια σύνδεση στην οποία όσο ισχυρότερη είναι η αισθητηριακή είσοδος, τόσο ασθενέστερη είναι η έξοδος του κινητήρα, ονομάζεται ανασταλτική σύνδεση (inhibitory connection), επειδή η είσοδος παρεμποδίζει την έξοδο. Η έμπνευση για αυτές τις συνδέσεις προέρχεται από τη βιολογία, αφού είναι παρόμοιες (αλλά συγκριτικά πιο ακατέργαστες) με νευρώνες, οι οποίοι μπορεί να έχουν διεγερτικές και ανασταλτικές συνδέσεις μεταξύ τους. Μεταβάλλοντας τις συνδέσεις και τις δυνάμεις τους (όπως και με τους νευρώνες στους εγκεφάλους), προκύπτουν πολυάριθμες συμπεριφορές, που κυμαίνονται από την αναζήτηση και την αποφυγή του φωτός, όπως και οι χελώνες του Gray Walter, σε κάτι που πλέον μοιάζει με κοινωνική συμπεριφορά.

2.2 Μηχανισμός

Ένα όχημα Braitenberg είναι ένα μέσο, το οποίο μπορεί να κινηθεί αυτόνομα, χάρη στα αισθητήριά του. Έχει θεμελιώδη αισθητήρια, τα οποία μπορούν να υπολογίσουν μια διέγερση σε κάποιο σημείο, και ρόδες που κινούνται ανεξάρτητα χάρη στο γεγονός πως η κάθε μία έχει το δικό της κινητήρα, οι οποίοι λειτουργούν ως επενεργητές. Στο πιο απλό οχημα Braitenberg (Εικόνα 2.2), ένα αισθητήριο είναι απ ευθείας συνδεδεμένο σε έναν ενεργοποιητή, έτσι ώστε ένα ανιχνευμένο σήμα παράγει κατ ευθείαν κίνηση στον τροχό.



Εικόνα 2.2 Το πιο απλό όχημα Braitenberg

2.3 Συμπεριφορά

Σε ένα σύνθετο περιβάλλον με διαφόρων ειδών ερεθίσματα, τα οχήματα Braitenberg είναι ικανά να παρουσιάσουν πολύπλοκες και δυναμικές συμπεριφορές. Αναλόγως των διασυνδέσεων αισθητηρίων και ενεργοποιητών, ένα όχημα Braitenberg μπορεί να κινηθεί προς μια πηγή χωρίς ποτέ να την αγγίξει, να απομακρυνθεί γρήγορα από αυτήν ή να κάνει κύκλους -ή σχήμα που θυμίζει τον αριθμό οκτώ -γύρω από ένα σημείο. Η συμπεριφορές αυτές είναι αναμφίβολα προσανατολισμένη προς την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου και κάποιες φορές παρουσιάζουν και σημάδια ευφυΐας, όπως αυτήν μιας κατσαρίδας.

2.4 Παραδείγματα

2.4.1 Παράδειγμα 1

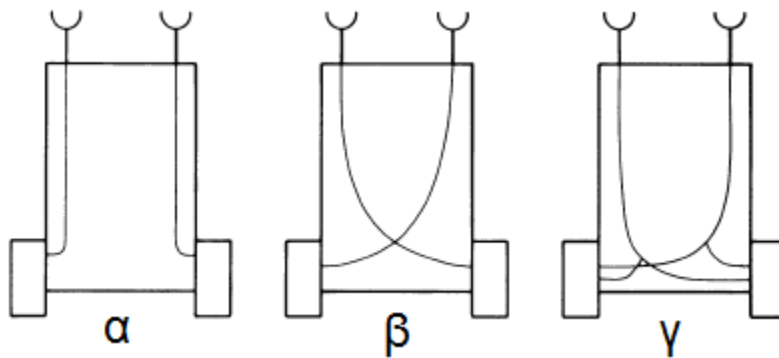
Ας δούμε το πιο απλό όχημα Braitenberg (Εικόνα 2.2) και ας υποθέσουμε πως το αισθητήριο που είναι απ ευθείας συνδεδεμένο στον ενεργοποιητή, ώστε το ανιχνευμένο σήμα να παράγει κατ ευθείαν κίνηση στον τροχό, είναι ένα αισθητήριο θερμοκρασίας και είναι συνδεδεμένο με τρόπο ευθέως ανάλογο, έτσι ώστε όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία, τόσο πιο γρήγορα να κινείται ο τροχός. Το όχημα αυτό, σε ένα ιδανικό περιβάλλον, θα κινείται πάντοτε (σε οποιαδήποτε θερμοκρασία άνω του απόλυτου μηδενός) σε όποια κατεύθυνση τυχαίνει να είναι προσανατολισμένο την κάθε χρονική στιγμή. Σε χαμηλές θερμοκρασίες θα επιβραδύνει και σε υψηλές θερμοκρασίες θα επιταχύνει.

Ένας παρατηρητής λοιπόν θα έλεγε πως το όχημα αυτό είναι αεικίνητο και, παρόλο που μοιάζει μη νοήμον, σίγουρα δείχνει ζωντανό και σαν να προσπαθεί να αποφύγει το ζεστό περιβάλλον, χωρίς όμως να είναι σε θέση να επιστρέψει σε ένα πιο ψυχρό σημείο που έτυχε να συναντήσει σε κάποια παρελθοντική στιγμή.

2.4.2 Παράδειγμα 2

Ας δούμε τώρα ένα πιο σύνθετο όχημα Braitenberg. Το όχημα του δεύτερου παραδείγματος έχει δύο αισθητήρια και 2 τροχούς, έναν δεξιά και έναν αριστερά (εικόνα 2.3.1). Στην περίπτωση αυτή μπορούν να γίνουν 3 διαφορετικές διασυνδέσεις μεταξύ ενεργοποιητών και αισθητηρίων:

- α) Δεξί αισθητήριο στον δεξί τροχό και αριστερό αισθητήριο στον αριστερό τροχό.
- β) Δεξί αισθητήριο στον αριστερό τροχό και αριστερό αισθητήριο στον δεξί τροχό.
- γ) Δεξί και αριστερό αισθητήριο συνδεδεμένα και στους δύο τροχούς.



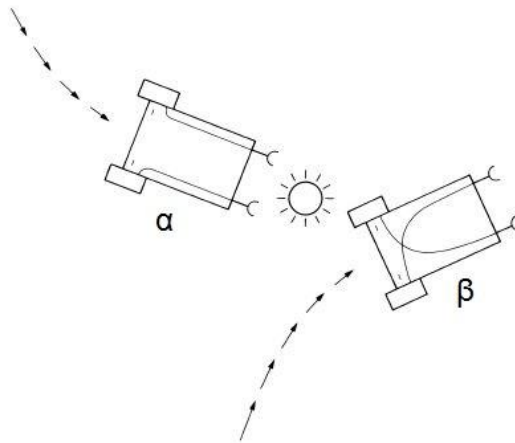
Εικόνα 2.3.1 Ένα πιά σύνθετο όχημα Braitenberg

Ας υποθέσουμε πως τα αισθητήρια είναι φωτός και όπως και στο πρώτο όχημα, όσο πιο πολύ φως έρχεται στο αισθητήριο, τόσο πιο γρήγορα κινείται ο αντίστοιχος τροχός. Και στις τρεις περιπτώσεις, εάν το φως έρχεται από ευθεία μπροστά, τότε το όχημα κινείται επιταχύνοντας προς την πηγή του φωτός. Στην περίπτωση γ, το όχημα παρουσιάζει σχεδόν πανομοιότυπη συμπεριφορά με το πρώτο όχημα. Οι περιπτώσεις α και β όμως παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

Στην περίπτωση α, εάν η πηγή του φωτός είναι δεξιά η αριστερά του οχήματος, τότε ο αντίστοιχος τροχός θα κινείται πιο γρήγορα από τον άλλο με αποτέλεσμα το όχημα να απομακρύνεται από την πηγή. Αντίθετα, στην περίπτωση β, εάν το φως έρχεται από τα δεξιά, τότε επιταχύνει ο αριστερός τροχός και εάν έρχεται από τα αριστερά, επιταχύνει ο δεξιάς τροχός. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, αν δεν υπάρξει κάποιο άλλο εμπόδιο που θα το παρεκκλίνει από την πορεία του, το όχημα να επιταχύνει προς την πηγή του φωτός και, αναπόφευκτα, να συγκρουστεί με αυτήν. Έτσι λοιπόν αν κάποιος έλεγε πως διακρίνει συμπεριφορές, θα έλεγε πως το όχημα α παρουσιάζει δειλία, ενώ το όχημα β επιθετικότητα.

2.4.3 Παράδειγμα 3

Το όχημα του τρίτου παραδείγματος μοιάζει με αυτό του δεύτερου, μόνο που τώρα τα αισθητήρια είναι συνδεδεμένα με αντιστρόφως ανάλογη λογική με τους τροχούς, δηλαδή όσο πιο δυνατό σήμα δέχεται το αισθητήριο τόσο πιο αργά κινείται το όχημα και το αντίστροφο. Και πάλι μπορούν να δημιουργηθούν δύο διαφορετικές εκδοχές. Μία με το δεξί αισθητήριο στον δεξί τροχό και το αριστερό αισθητήριο στον αριστερό τροχό(α) και μία με το δεξί αισθητήριο στον αριστερό τροχό και το αριστερό αισθητήριο στον δεξί τροχό(β) (εικόνα 2.3.2).



Εικόνα 2.3.2 Ένα όχημα Braitenberg με αντιστρόφως ανάλογες διασυνδέσεις.

Και τα δύο οχήματα (2.3.2α και 2.3.2β) επιβραδύνουν στα δυνατά ερεθίσματα και επιταχύνουν στα ασθενέστερα σήματα. Το όχημα 2.3.2α, πλησιάζοντας την πηγή θα προσανατολιστεί προς αυτή, καθώς θα επιβραδύνει ο τροχός που είναι από τη μεριά της, με αποτέλεσμα να στρίψει το όχημα προς την πηγή. Έτσι το όχημα θα σταματήσει όταν βρεθεί αντικριστά με την πηγή. Το όχημα 2.3.2β από την άλλη, θα σταματήσει έχοντας μέτωπο μακριά από την πηγή του ερεθίσματος και η παραμικρή διαταραχή θα μπορούσε να το κάνει να απομακρυνθεί από αυτήν επιταχύνοντας, μέχρι να βρεθεί πάλι κοντά σε κάποια πηγή. Και πάλι αν θέλαμε να προσδώσουμε ονόματα στις δύο αυτές συμπεριφορές θα λέγαμε πως το όχημα α παρουσιάζει αγάπη προς την πηγή, ενώ το όχημα β θα παρομοιάζοταν με εξερευνητή.

2.5 Αντίκτυπος των οχημάτων του Braitenberg

Το βιβλίο του Braitenberg, πέρα από αυτά που είδαμε, περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο τέτοιοι απλοί μηχανισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση πληροφοριών, τη δημιουργία μνήμης, ακόμα και την επίτευξη της δημιουργίας ρομπότ με τη δυνατότητα να μαθαίνουν. Ορισμένα από τα απλούστερα σχέδιά του, έχουν κατασκευαστεί με επιτυχία από χομπίστες και νεοσύστατους ρομποτιστές και έχουν επίσης αποτελέσει πηγή έμπνευσης για μια πιο προηγμένη έρευνα επάνω στη ρομποτική. Όπως οι χελώνες του Gray Walter, τα οχήματα του Braitenberg ήταν και αυτά αντιδραστικά ρομπότ.

Κεφάλαιο 3 – Κινηματική

3.1 Εισαγωγή

Η κινηματική είναι η μελέτη για το πώς συμπεριφέρονται τα μηχανικά συστήματα και σχετίζεται με την κίνηση των σωμάτων σε ένα ρομποτικό μηχανισμό ανεξάρτητα από τις δυνάμεις/ροπές που προκαλούν την κίνηση. Δεδομένου ότι οι ρομποτικοί μηχανισμοί είναι από την φύση τους σχεδιασμένοι για κίνηση, η κινηματική είναι η πιο βασική πτυχή του σχεδιασμού, της ανάλυσης, του ελέγχου και της προσομοίωσης ρομπότ. Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητή η μηχανική συμπεριφορά του ρομπότ τόσο για τον βέλτιστο σχεδιασμό κινητών ρομπότ που εκτελούν εργασίες όσο και για την κατανόηση του τρόπου δημιουργίας λογισμικού (software) για τον έλεγχο του υλικού (hardware) ενός κινητού ρομπότ.

Φυσικά, τα κινητά ρομπότ δεν είναι τα πρώτα πολύπλοκα μηχανικά συστήματα που απαιτούν τέτοια ανάλυση. Οι ρομποτικοί βραχίονες έχουν αποτελέσει αντικείμενο εντατικής μελέτης για περισσότερα από τριάντα χρόνια. Σε κάποιους τομείς, οι ρομποτικοί βραχίονες είναι πολύ πιο πολύπλοκοι από τα πρώιμα κινητά ρομπότ: ένας τυπικός ρομποτικός βραχίονας συγκόλλησης μπορεί να έχει πέντε ή περισσότερες αρθρώσεις, ενώ τα πρώιμα κινητά ρομπότ ήταν απλές μηχανές διαφορικής οδήγησης. Τα τελευταία χρόνια, η ρομποτική κοινότητα έχει επιτύχει μια αρκετά πλήρη κατανόηση της κινηματικής των ρομποτικών βραχιόνων.

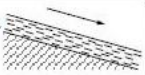
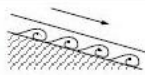

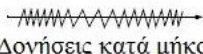






Ο χώρος εργασίας ενός ρομποτικού βραχίονα είναι σημαντικός, επειδή καθορίζει το εύρος των πιθανών θέσεων που μπορούν να επιτευχθούν από το ελεύθερο άκρο του σε σχέση με το σταθερό του μέρος. Ο χώρος εργασίας ενός κινητού ρομπότ είναι εξίσου σημαντικός, επειδή ορίζει το εύρος των πιθανών θέσεων που μπορεί να επιτύχει το κινητό ρομπότ στο περιβάλλον του. Η δυνατότητα ελέγχου του βραχίονα του ρομπότ καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο η ενεργή εμπλοκή των κινητήρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετακινηθεί από το να δημιουργήσει στο χώρο εργασίας. Ομοίως, η δυνατότητα ελέγχου ενός κινητού ρομπότ καθορίζει πιθανές διαδρομές και τροχιές στον χώρο εργασίας του. Η δυναμική του ρομπότ δημιουργεί πρόσθετους περιορισμούς στο χώρο εργασίας και στην τροχιά λόγω των εκτιμήσεων μάζας και δύναμης. Το κινητό ρομπότ περιορίζεται επίσης από τη δυναμική, για παράδειγμα, ένα υψηλό κέντρο βάρους περιορίζει την ακτίνα περιστροφής ενός γρήγορου, ρομπότ-αυτοκινήτου εξαιτίας του κινδύνου κυλίσεως.

Αλλά η κύρια διαφορά μεταξύ ενός κινητού ρομπότ και ενός ρομποτικού βραχίονα εισάγει επίσης μια σημαντική πρόκληση για την εκτίμηση θέσης. Ένας βραχίονας έχει το ένα άκρο του σταθερό στο περιβάλλον. Η μέτρηση της θέσης του ελεύθερου άκρου ενός βραχίονα είναι απλά ένα θέμα κατανόησης της κινηματικής του ρομπότ και της μέτρησης της θέσης όλων των ενδιάμεσων αρθρώσεων. Επομένως, η θέση του βραχίονα υπολογίζεται πάντοτε εξετάζοντας τα τρέχοντα δεδομένα κάποιου αισθητήρα. Αλλά ένα κινητό ρομπότ είναι ένα αυτοματοποιημένο σύστημα που μπορεί να κινείται πλήρως, όσο του επιτρέπει το περιβάλλον του. Δεν υπάρχει άμεσος τρόπος μέτρησης της στιγμιαίας θέσης ενός κινητού ρομπότ. Αντ'αυτού, η κίνηση του ρομπότ πρέπει να μελετηθεί με την πάροδο του χρόνου. Αν προστεθούν σε αυτό οι ανακρίβειες της εκτίμησης της κίνησης λόγω ολισθήσεων, είναι σαφές ότι η μέτρηση της θέσης του κινητού ρομπότ είναι μια εξαιρετικά δύσκολη εργασία.

Η διαδικασία κατανόησης των κινήσεων ενός ρομπότ ξεκινά με τη διαδικασία περιγραφής της συνεισφοράς κάθε τροχού στην κίνηση. Κάθε τροχός έχει δικό του ρόλο στο να παρέχει τη δυνατότητα σε ολόκληρο το ρομπότ να κινηθεί. Ομοίως, κάθε τροχός επιβάλλει επίσης περιορισμούς στην κίνηση του ρομπότ, για παράδειγμα, μην επιτρέποντάς του να ολισθήσει πλευρικά. Έχοντας κατανοήσει τις αρχές της κινηματικής, μπορεί κανείς να αξιολογήσει τις διαδρομές και τις τροχιές που καθορίζουν την ευελιξία του ρομπότ.

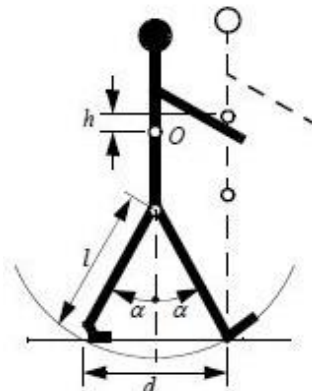
3.2 Μηχανισμοί κίνησης φυσικών συστημάτων

Ένα κινητό ρομπότ χρειάζεται μηχανισμούς κίνησης που του επιτρέπουν να κινείται χωρίς περιορισμούς σε όλο το περιβάλλον του. Επειδή όμως υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία πιθανών τρόπων κίνησης, η επιλογή της προσέγγισης της κίνησης ενός ρομπότ, είναι μια σημαντική πτυχή του σχεδιασμού ενός κινητού ρομπότ. Στο εργαστήριο υπάρχουν ερευνητικά ρομπότ που μπορούν να περπατούν, να πηδούν, να τρέχουν, να ολισθαίνουν, να πατινάρουν, να κολυμπούν, να πετάνε και, φυσικά, να κυλούνε. Οι περισσότεροι από αυτούς τους μηχανισμούς μετακίνησης έχουν εμπνευστεί από τα βιολογικά τους αντίστοιχα (βλ. Εικόνα 3.1).

Τύπος κίνησης	Αντίσταση στην κίνηση	Βασική κινηματική
Ροή σε ένα κανάλι 	Υδροδυναμικές δυνάμεις	Δίνες 
Ερπυση 	Τριβή	Δονήσεις κατά μήκος 
Ολίσθηση 	Τριβή	Εγκάρσιες Δονήσεις 
Τρέξιμο 	Απώλειες κινητικής ενέργειας	Περιοδική αναπήδηση σε ένα ελατήριο 
Περπάτημα 	Απώλειες κινητικής ενέργειας	Κύλιση ενός πολυγώνου 

Εικόνα 3.1 Μηχανισμοί κίνησης βιολογικών συστημάτων.

Υπάρχει, ωστόσο, μία εξαίρεση: ο τροφοδοτούμενος με ενέργεια τροχός είναι μια ανθρώπινη εφεύρεση που επιτυγχάνει εξαιρετικά υψηλή απόδοση σε επίπεδο έδαφος. Αυτός ο μηχανισμός δεν είναι εντελώς ξένος στα βιολογικά συστήματα. Το δίποδο μας σύστημα βάδισης μπορεί να προσεγγιστεί με κυλιόμενο πολύγωνο, με πλευρές ίσες σε μήκος d με το άνοιγμα του βήματος (Εικόνα 3.2). Καθώς το εύρος του βήματος μειώνεται, το πολύγωνο τείνει στο να γίνει ένας κύκλος ή ένας τροχός. Αλλά η φύση ποτέ δεν ανέπτυξε μια πλήρως περιστρεφόμενη, τροφοδοτούμενη με ενέργεια άρθρωση, η οποία είναι η τεχνολογία που απαιτείται για τροχήλατη κίνηση.

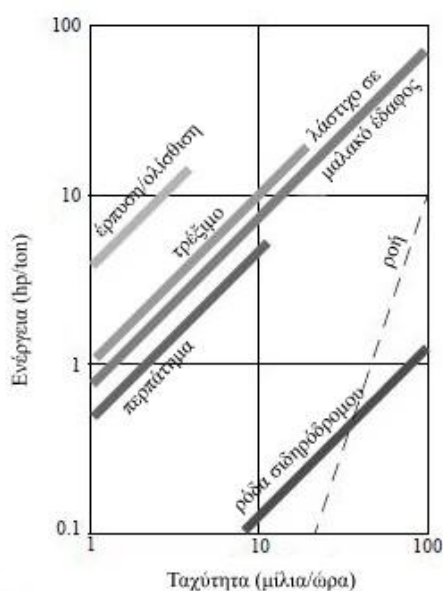


Εικόνα 3.2 Ένα δίποδο σύστημα μπορεί να προσεγγιστεί με κυλιόμενο πολύγωνο, με πλευρές ίσες σε μήκος d με το άνοιγμα του βήματος. Καθώς το άνοιγμα του βήματος μειώνεται, το πολύγωνο προσεγγίζει έναν κύκλο ή τροχό με την ακτίνα l .

Τα βιολογικά συστήματα επιτυγχάνουν να κινούνται μέσα από μια μεγάλη ποικιλία εχθρικών περιβαλλόντων. Ως εκ τούτου, μπορεί να είναι επιθυμητό να αντιγραφεί η επιλογή των μηχανισμών κίνησής τους. Ωστόσο, η αντιγραφή της φύσης από αυτή την άποψη είναι εξαιρετικά δύσκολη για διάφορους λόγους. Αρχικά, η μηχανική πολυπλοκότητα επιτυγχάνεται εύκολα σε βιολογικά συστήματα μέσω της δομικής αναπαραγωγής. Η κυτταρική διαίρεση, σε συνδυασμό με την εξειδίκευση της λειτουργίας των κυτάρων, μπορεί εύκολα να παράγει μια σαρανταποδαρούσα με μερικές εκατοντάδες πόδια και μερικές δεκάδες χιλιάδες μικρά τριχίδια ως ξεχωριστά αισθητήρια. Στις ανθρώπινες κατασκευές, κάθε τμήμα πρέπει να κατασκευάζεται μεμονωμένα και έτσι δεν υπάρχουν τέτοιες οικονομίες κλίμακας. Επιπλέον, το κύτταρο είναι ένα μικροσκοπικό δομικό στοιχείο που απαιτεί εξαιρετική μικρογράφιση. Με το πολύ μικρό τους μέγεθος και βάρος, τα έντομα επιτυγχάνουν ένα επίπεδο ευρωστίας που κανένα ανθρώπινο κατασκεύασμα δεν μπορεί να μιμηθεί. Τέλος, το σύστημα αποθήκευσης βιολογικής ενέργειας και τα συστήματα μυϊκής και υδραυλικής ενεργοποίησης που χρησιμοποιούνται από τα μεγάλα ζώα και τα έντομα επιτυγχάνουν ροπή, χρόνο απόκρισης και απόδοση που υπερβαίνουν κατά πολύ τα αντίστοιχης κλίμακας τεχνητά συστήματα.

Λόγω αυτών των περιορισμών, τα κινητά ρομπότ γενικά κινητοποιούνται είτε με τροχοφόρους μηχανισμούς, μια ευρέως διαδεδομένη ανθρώπινη τεχνολογία στην κατασκευή οχημάτων, είτε με τη χρήση ενός μικρού αριθμού αρθρωτών ποδιών, που είναι η απλούστερη από τις βιολογικές προσεγγίσεις της μετακίνησης.

Γενικά, η κίνηση με τα πόδια απαιτεί υψηλότερους βαθμούς ελευθερίας και επομένως μεγαλύτερη μηχανική πολυπλοκότητα από την κίνηση με τροχούς. Οι τροχοί, πέραν του ότι είναι απλοί, είναι εξαιρετικά κατάλληλοι για επίπεδη επιφάνεια. Όπως απεικονίζεται στο σχήμα 3.3, σε επίπεδες επιφάνειες η κίνηση με τροχούς είναι μία έως δύο τάξεις μεγέθους πιο αποτελεσματική από την κίνηση με τα πόδια. Ο σιδηρόδρομος είναι ιδανικά σχεδιασμένος για κίνηση με τροχούς, επειδή η τριβή του τροχού ελαχιστοποιείται σε μια σκληρή και επίπεδη ατσάλινη επιφάνεια. Αλλά καθώς η επιφάνεια γίνεται μαλακή, η κίνηση με τροχούς συσσωρεύει τις αναποτελεσματικότητες που οφείλονται στην τριβή, ενώ η μετακίνηση με τα πόδια υποφέρει πολύ λιγότερο σε αυτόν τον τομέα, επειδή εμπλέκονται μόνο σημεία επαφής με το έδαφος, ουσιαστικά μηδενικής επιφάνειας. Αυτό αποδεικνύεται στην εικόνα 3.3 από τη δραματική απώλεια της απόδοσης στην περίπτωση ενός ελαστικού σε μαλακό έδαφος.



Εικόνα 3.3 Σχέση ενέργειας/ταχύτητας σε διάφορους μηχανισμούς κίνησης.

Η απόδοση της κίνησης των τροχών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, ιδιαίτερα από την επιπεδότητα και τη σκληρότητα του εδάφους, ενώ από την άλλη, η αποτελεσματικότητα της κίνησης των ποδιών εξαρτάται από τη μάζα των ποδιών και τη μάζα του σώματος, τα οποία πρέπει να υποστηρίζονται αμφότερα από τα κινητά ρομπότ που κινούνται με αυτόν τον τρόπο βάδισης.

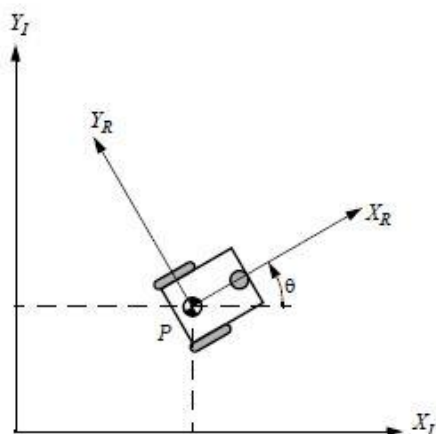
Είναι επομένως κατανοητό ότι η φύση ευνοεί την κίνηση με πόδια, δεδομένου ότι τα συστήματα μετακίνησης στη φύση πρέπει να λειτουργούν σε τραχύ και αδόμητο έδαφος.

3.3 Κινηματικά μοντέλα και περιορισμοί

Η απόκτηση ενός μοντέλου κίνησης ολόκληρου του ρομπότ είναι μια διαδικασία από τη βάση προς τα πάνω. Κάθε τροχός συμβάλλει μεμονομένα στην κίνηση του ρομπότ και, ταυτόχρονα, επιβάλλει περιορισμούς στην κίνηση του ρομπότ. Οι τροχοί είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με βάση τη γεωμετρία του πλαισίου (σασί) του ρομπότ και συνεπώς οι περιορισμοί τους συνδυάζονται για να σχηματίσουν τα όρια στη συνολική κίνηση του ρομπότ. Όμως οι δυνάμεις και οι περιορισμοί κάθε τροχού πρέπει να εκφράζονται σε σχέση με ένα σαφές και σταθερό πλαίσιο αναφοράς. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην κινητή ρομποτική εξαιτίας της αυτοσυντηρούμενης και κινητής φύσης της και απαιτείται σαφής αντιστοίχιση μεταξύ παγκόσμιων και τοπικών πλαισίων αναφοράς.

3.4 Απεικόνιση της θέσης του ρομπότ

Σε όλη την ανάλυση, γίνεται μοντελοποίηση του ρομπότ ως ένα άκαμπτο σώμα πάνω σε τροχούς, που λειτουργούν σε οριζόντιο επίπεδο. Η συνολικές διαστάσεις του πλαισίου του ρομπότ στο επίπεδο είναι τρεις: δύο για θέση στο επίπεδο και μία για τον προσανατολισμό κατά μήκος του κάθετου άξονα, η οποία είναι ορθογώνια προς το επίπεδο. Φυσικά, υπάρχουν πρόσθετοι βαθμοί ελευθερίας, δηλαδή ο αριθμός των ελάχιστων ανεξάρτητων μεταβλητών που απαιτούνται για να καθορισθεί η θέση και ο προσανατολισμός του ρομπότ στο χώρο, λόγω των αξόνων των τροχών, των αρθρώσεων του συστήματος οδήγησης των τροχών και των αρθρώσεων του βοηθητικού τροχού. Ωστόσο, ο όρος 'πλαίσιο του ρομπότ' αναφέρεται μόνο στο άκαμπτο σώμα του ρομπότ, αγνοώντας τις αρθρώσεις και τους βαθμούς ελευθερίας που είναι εσωτερικά του ρομπότ και των τροχών του.

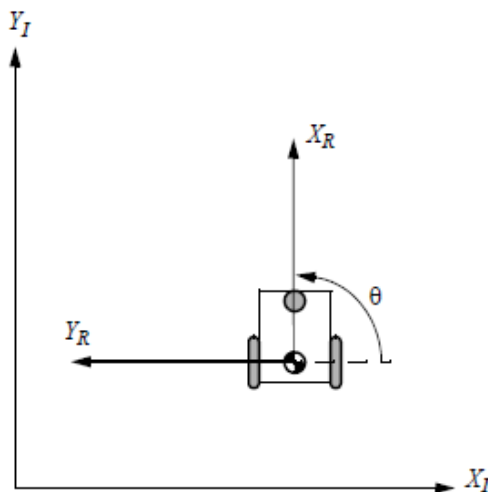


Εικόνα 3.4 Το παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς και το τοπικό πλαίσιο αναφοράς του ρομπότ.

Για να καθοριστεί η θέση του ρομπότ στο επίπεδο, πρέπει να δημιουργηθεί μια σχέση μεταξύ του παγκόσμιου πλαισίου αναφοράς του επιπέδου και του τοπικού πλαισίου αναφοράς του ρομπότ, όπως στην Εικόνα 3.4. Οι άξονες X_I και Y_I ορίζουν μια αυθαίρετη αδρανειακή βάση στο επίπεδο σαν το παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς από κάποια αρχή O : $\{X_I, Y_I\}$. Για να καθοριστεί η θέση του ρομπότ, επιλέγεται ένα σημείο P στο πλαίσιο (σασί) του ρομπότ ως σημείο αναφοράς θέσης. Η βάση $\{X_R, Y_R\}$ καθορίζει δύο άξονες σε σχέση με το P στο πλαίσιο του ρομπότ και είναι επομένως το τοπικό πλαίσιο αναφοράς του ρομπότ. Η θέση του P στο γενικό πλαίσιο αναφοράς καθορίζεται από τις συντεταγμένες x και y και η γωνιακή διαφορά μεταξύ των παγκόσμιων και των τοπικών πλαισίων αναφοράς δίδεται από το θ . Μπορούμε να περιγράψουμε τη θέση του ρομπότ ως ένα διάνυσμα με αυτά τα τρία στοιχεία. Η χρήση του δείκτη I , γίνεται για να διευκρινιστεί η βάση αυτής της θέσης ως προς το παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς:

$$\xi_I = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix}$$

Για να περιγραφεί η κίνηση του ρομπότ από την άποψη των κινήσεων των εξαρτημάτων του, θα πρέπει να χαρτογραφηθεί η κίνηση κατά μήκος των αξόνων του παγκόσμιου πλαισίου αναφοράς σε κίνηση κατά μήκος των αξόνων του τοπικού πλαισίου αναφοράς του ρομπότ. Φυσικά, η χαρτογράφηση είναι συνάρτηση της τρέχουσας θέσης του ρομπότ. Αυτή η χαρτογράφηση επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τον πίνακα ορθογωνίας περιστροφής:



Εικόνα 3.5 Το κινητό ρομπότ ευθυγραμμισμένο με τον παγκόσμιο άξονα.

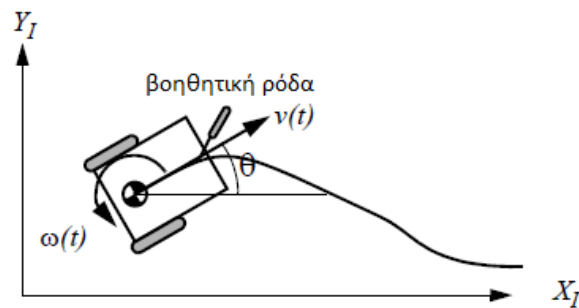
$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \sigma\upsilon\nu\theta & \eta\mu\theta & 0 \\ -\eta\mu\theta & \sigma\upsilon\nu\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Αυτός ο πίνακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη χαρτογράφηση της κίνησης στο παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς $\{X_I, Y_I\}$ με την κίνηση από την άποψη του τοπικού πλαισίου αναφοράς $\{X_R, Y_R\}$. Αυτή η λειτουργία υποδηλώνεται από το $R(\theta)$ $\dot{\xi}_I$ επειδή ο υπολογισμός αυτής της λειτουργίας εξαρτάται από την τιμή του θ :

$$\dot{\xi}_R = R\left(\frac{\pi}{2}\right) \dot{\xi}_I$$

Για παράδειγμα, ας εξεταστεί το ρομπότ στην εικόνα 3.5. Για αυτό το ρομπότ, επειδή $\theta = \frac{\pi}{2}$ μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε τον στιγμιαίο πίνακα στροφής R:

$$R\left(\frac{\pi}{2}\right) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Εικόνα 3.6 Ένα κινητό ρομπότ διαφορικής οδήγησης στο παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς.

Με δεδομένη κάποια ταχύτητα $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{\theta})$ στο παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς μπορούμε να υπολογίσουμε τα στοιχεία της κίνησης κατά μήκος των τοπικών αξόνων του ρομπότ X_R και Y_R . Σε αυτή την περίπτωση, λόγω της συγκεκριμένης γωνίας του ρομπότ, κίνηση κατά μήκος του X_R είναι ίση με \dot{y} , και η κίνηση κατά μήκος του Y_R είναι $-\dot{x}$:

$$\dot{\xi}_R = R\left(\frac{\pi}{2}\right) \dot{\xi}_I = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{y} \\ -\dot{x} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

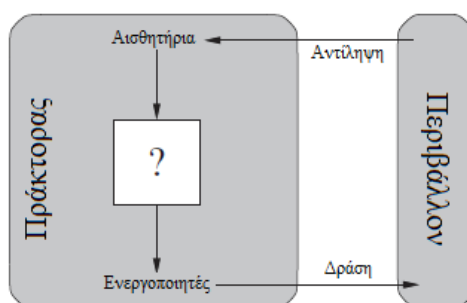
Κεφάλαιο 4 – Συμπεριφορές

4.1 Εισαγωγή

Ως συμπεριφορά ορίζεται μια αλληλουχία αλληλεπιδράσεων μεταξύ ενός οργανισμού και του περιβάλλοντος του, όπου οι ενέργειες του οργανισμού επηρεάζουν την ίδια του την αντίληψη και, κατά συνέπεια, τις μελλοντικές του ενέργειες και αντιλήψεις. Ένα συμπεριφορικό σύστημα αποτελείται από ένα κυρίως σώμα, εξοπλισμένο με αισθητήρια και κινητήρες που του επιτρέπουν την αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον, έναν εγκέφαλο (μυροεπεξεργαστή) για να αποδίδει τα αισθητηριακά ερεθίσματα σε ενέργειες των κινητήρων και ένα σύστημα τροφοδοσίας ενέργειας για να υποστηρίζεται η λειτουργία του.

4.2 Ευφυείς πράκτορες

Ένας πράκτορας (agent) είναι οποιαδήποτε οντότητα μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του μέσω αισθητήρων (sensors) και ενεργεί σε αυτό το περιβάλλον μέσω ενεργοποιητών (actuators) με σκοπό την επίτευξη δεδομένων στόχων. Αυτή η απλή ιδέα απεικονίζεται στην Εικόνα 4.1. Ένας ανθρώπινος πράκτορας έχει μάτια, αυτιά και άλλα όργανα για αισθητήρες και χέρια, πόδια, φωνητικές χορδές κ.λπ. για ενεργοποιητές. Αντίστοιχα, ένας ρομποτικός πράκτορας μπορεί να διαθέτει κάμερες και αισθητήρια υπέρυθρων για αισθητήρες και διαφόρων ειδών κινητήρες για ενεργοποιητές.



Εικόνα 4.1 Ένας πράκτορας που αλληλεπιδρά με το περιβάλλον.

Τα κύρια στοιχεία που χαρακτηρίζουν έναν πράκτορα είναι:

- **Αυτονομία.** Οι πράκτορες πρέπει να είναι αυτόνομοι, πράγμα που σημαίνει ότι δεν πρέπει να βρίσκονται υπό τον άμεσο έλεγχο εξωτερικών ελεγκτών, όπως οι χρήστες.
- **Προσαρμοστικότητα.** Οι πράκτορες πρέπει να έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες καταστάσεις.
- **Συνεργασία.** Οι πράκτορες πρέπει να έχουν την ικανότητα να συνεργάζονται μεταξύ τους για να επιτύχουν το τελικό αποτέλεσμα.
- **Προνοητικότητα ή προενεργητικότητα (pro-activeness).** Οι πράκτορες πρέπει να έχουν την ικανότητα να αναλαμβάνουν πρωτοβουλίες για ενέργειες που συμβάλουν στην επίτευξη των στόχων τους, όποτε αυτό είναι απαραίτητο.

- **Αποκρισιμότητα.** Οι πράκτορες πρέπει να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά όποτε απαιτείται. Πρέπει να αντιλαμβάνονται τι απαιτείται σε κάθε συγκεκριμένο χρονικό σημείο και πρέπει να ανταποκρίνονται αναλόγως.
- **Ευελιξία.** Οι πράκτορες πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν τη φυσική τους θέση για να επιτύχουν τον γενικό στόχο τους.
- **Μάθηση.** Οι πράκτορες πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να μαθαίνουν από το αναδυόμενο μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Η μάθηση βελτιώνει την προσαρμοστικότητα των πρακτόρων.
- **Κοινωνική ικανότητα (social ability).** Οι πράκτορες πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους ώστε να ανταλλάσσουν τα απαιτούμενα δεδομένα. Η κοινωνική ικανότητα διευκολύνει τη συνεργασία μεταξύ των παραγόντων.
- **Εγκυρότητα.** Οι πράκτορες θα πρέπει να αναπτύσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην κοινοποιούν ποτέ ψευδείς πληροφορίες σε καμία οντότητα ενός συστήματος.
- **Λογική.** Οι πράκτορες πρέπει να είναι ορθολογικοί κατά τη λήψη αποφάσεων. Δεν πρέπει να σταματά η λειτουργία τους χωρίς κάποιο σοβαρό λόγο.

4.3 Βασικές Αρχές Συστημάτων με βάση τη Συμπεριφορά

Η ρομποτική βασισμένη στη συμπεριφορά (η αλλιώς συμπεριφορική ρομποτική) αναπτύχθηκε για τα ρομπότ, επιτρέποντάς τους να προσαρμόζονται στη δυναμική των πραγματικών περιβαλλόντων χωρίς να λειτουργούν με αφηρημένες αναπαραστάσεις της πραγματικότητας, αλλά και να τους παρέχουν περισσότερες υπολογιστικές ικανότητες και εκφραστικότητα από αυτές που είναι διαθέσιμες στα προγενέστερα ρομπότ. Τα συστήματα που βασίζονται στη συμπεριφορά διατηρούν μια στενή σύζευξη της ανίχνευσης και της δράσης μέσω των συμπεριφορών και χρησιμοποιούν τη δομή συμπεριφοράς για αναπαράσταση και μάθηση. Επομένως, είναι δύσκολο για μια συμπεριφορά να εκτελεί εκτεταμένους υπολογισμούς ή να έχει ορθή κρίση βασιζόμενοι σε ένα παραδοσιακό μοντέλο του κόσμου μας, εκτός αν αυτοί οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν εγκαίρως ανταποκρινόμενες στις δυναμικές και ταχέως μεταβαλλόμενες απαιτήσεις του περιβάλλοντος.

Η Εικόνα 4.2 συνοψίζει τα γενικά στοιχεία των συμπεριφορικών συστημάτων χαμηλού επιπέδου. Να σημειωθεί ότι υπάρχει διάκριση μεταξύ των συνθηκών ενεργοποίησης -οι οποίες επιτρέπουν στη συμπεριφορά να παράγει ενέργειες- και των ερεθισμάτων, από τα οποία παράγονται οι ενέργειες (δράση).



Εικόνα 4.2 Ένα γενικό διάγραμμα ενός τύπου συστημάτων με βάση τη συμπεριφορά.

Οι βασικές αρχές του ελέγχου που βασίζεται στη συμπεριφορά (ή αλλιώς συμπεριφορικού ελέγχου) μπορούν να συνοψιστούν εν συντομία ως εξής:

- Οι συμπεριφορές εφαρμόζονται ως νόμοι ελέγχου, είτε σε λογισμικό είτε σε υλικό, ως στοιχείο επεξεργασίας ή ως διαδικασία.
- Κάθε συμπεριφορά μπορεί να λαμβάνει εισόδους από τους αισθητήρες ρομπότ (π.χ. αισθητήρες προσέγγισης, ανιχνευτές εύρους, αισθητήρες επαφής, κάμερα) ή / και από άλλες μονάδες του συστήματος και μπορεί να στέλνει εξόδους στους τελεστές του ρομπότ (π.χ. τροχούς, βραχίονες) ή / και σε άλλες μονάδες.
- Πολλές διαφορετικές συμπεριφορές μπορούν να λαμβάνουν ξεχωριστά μια είσοδο από τους ίδιους αισθητήρες και να δίνουν εντολές εξόδου στους ίδιους ενεργοποιητές, ανεξάρτητα η μία από την άλλη.
- Οι συμπεριφορές κωδικοποιούνται για να είναι σχετικά απλές και προστίθενται σταδιακά στο σύστημα.
- Οι συμπεριφορές (ή υποσύνολα αυτών) εκτελούνται ταυτόχρονα και όχι διαδοχικά, για να εκμεταλλευτούν τον παραλληλισμό και την ταχύτητα υπολογισμού, καθώς και τη δυναμική των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συμπεριφορών, αλλά και μεταξύ συμπεριφορών και περιβάλλοντος.

Οι συμπεριφορές σχεδιάζονται σε ποικίλα επίπεδα αφηρημένων εννοιών, διευκολύνοντας την από κάτω προς τα επάνω κατασκευή των συμπεριφορικών συστημάτων. Νέες συμπεριφορές εισάγονται στο σύστημα σταδιακά, από το απλό έως το πιο περίπλοκο, έως ότου η αλληλεπίδρασή τους οδηγήσει στις επιθυμητές συνολικές δυνατότητες του ρομπότ. Γενικά, οι συμπεριφορές κωδικοποιούν εκτεταμένες χρονικά διεργασίες, όχι τυπικές για τον έλεγχο ανατροφοδότησης ατομικές ενέργειες (π.χ., το να προχωρήσει λίγο εμπρός ή να στρίψει προς μια μικρή γωνία). Η αλληλεπίδραση και η ενσωμάτωση των χρονικών και χωρικών επιδράσεων έχουν καίρια σημασία στα συμπεριφορικά συστήματα. Απλώς η κατοχή μίας διεργασίας ελέγχου ενός ενεργοποιητή για προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα ή η χρήση ίδιου αριθμού διεργασιών όσων και ενεργοποιητών, δεν επαρκεί ως βάση για έλεγχο βάσει συμπεριφοράς. Είναι το αποτέλεσμα του συνδιασμού των ταυτόχρονων διεργασιών με την πάροδο του χρόνου και βασίζονται στην αντίληψη και τις εσωτερικές καταστάσεις, που δημιουργεί τη σχετική συμπεριφορική δυναμική σε ένα σύστημα ελέγχου.

Ως πρώτο βήμα, εφαρμόζονται συμπεριφορές επιβίωσης, όπως η αποφυγή σύγκρουσης. Αυτές οι συμπεριφορές είναι συχνά αντιδραστικές στη φύση, αφού οι αντιδραστικοί κανόνες συνήθως δημιουργούν τα δομικά στοιχεία των απλών συμπεριφορών. Στη συνέχεια, προστίθενται συμπεριφορές που παρέχουν πιο πολύπλοκες δυνατότητες, όπως παρακολούθηση τοίχων, ακολούθηση στόχου, επιστροφή στη θέση εκκίνησης, αναζήτηση αντικειμένου, επαναφόρτιση, αποφυγή φωτός, συνάθροιση σε ομάδα, παραλαβή αντικειμένου, εύρεση σημείου αναφοράς. Ανάλογα με το σύστημα που σχεδιάζεται, μπορούν να προστεθούν συμπεριφορές που εφαρμόζουν καταναμημένες αναπαραστάσεις, όπως και συμπεριφορές ικανές να μάθουν για τον κόσμο ή / και το ίδιο το ρομπότ και να λειτουργούν σε αυτές τις αναπαραστάσεις και τις πληροφορίες που έχουν μάθει.

Τα συμπεριφορικά συστήματα σχεδιάζονται κατά κανόνα έτσι ώστε οι επιδράσεις των συμπεριφορών να αλληλεπιδρούν σε μεγάλο βαθμό με το περιβάλλον και όχι εσωτερικά μέσω του συστήματος, εκμεταλλευόμενα τον πλούτο της δυναμικής αλληλεπίδρασης. Αυτές οι δυναμικές ονομάζονται μερικές φορές αναδυόμενες συμπεριφορές επειδή προκύπτουν από τις αλληλεπιδράσεις και δεν καθορίζονται εσωτερικά από το πρόγραμμα του ρομπότ.

Επομένως, η εσωτερική δομή συμπεριφοράς ενός συμπεριφορικού συστήματος δεν χρειάζεται να αντικατοπτρίζει αναγκαστικά την εξωτερικά εκδηλωμένη συμπεριφορά του. Για παράδειγμα, ένα ρομπότ που συγκεντρώνεται σμήνος με άλλα ρομπότ μπορεί να μην έχει μια συγκεκριμένη συμπεριφορά συγκέντρωσης. Αντίθετα, η αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον και άλλα ρομπότ μπορεί να οδηγήσει σε συγκέντρωση, αν και οι μόνες συμπεριφορές του μπορεί να είναι η αποφυγή συγκρούσεων, η παραμονή κοντά στην ομάδα και η διατήρηση κατεύθυνσης.

Για μια τέτοια προσέγγιση, ένα συμπεριφορικό σύστημα πρέπει να επιλύσει το πρόβλημα της επιλογής μιας συγκεκριμένης ενέργειας ή συμπεριφοράς, ανάμεσα από πολλές, μια διαδικασία γνωστή ως επιλογή δράσης (action selection), ή συντονισμός συμπεριφοράς (behavior coordination). Αυτή είναι μια από τις κεντρικές προκλήσεις του σχεδιασμού των συστημάτων που βασίζονται στη συμπεριφορά. Μια προσέγγιση για την επιλογή δράσης είναι η χρήση μιας προκαθορισμένης ιεραρχίας συμπεριφορών, στην οποία αποστέλλονται εντολές από την υψηλότερη ενεργή συμπεριφορά στον ενεργοποιητή, ενώ όλες οι άλλες αγνοούνται. Έχουν αναπτυχθεί και αποδειχθεί πολυάριθμες προσεγγίσεις που βασίζονται σε άλλες αρχές καθώς και μέθοδοι αντιμετώπισης του προβλήματος επιλογής δράσης σε ρομποτικά συστήματα. Αυτές οι μέθοδοι αποσκοπούν στην παροχή μεγαλύτερης ευελιξίας αλλά, σε ορισμένες περιπτώσεις, με κόστος τη μείωση της αποτελεσματικότητας ή της αναλυτότητας των συστημάτων ελέγχου που προκύπτουν. Πρακτάω αναλύεται το πρόβλημα του συντονισμού των συμπεριφορών, καθώς αναφέρονται και μέθοδοι και μηχανισμοί επιλογής δράσης.

4.4 Συντονισμός Συμπεριφορών

Στη ρομποτική με βάση τη συμπεριφορά, όπως είπαμε προηγουμένως, ο έλεγχος ενός ρομπότ μοιράζεται μεταξύ ενός συνόλου επιδιωκόμενων ενεργειών αντίληψης-δράσης που ονομάζονται συμπεριφορές. Με βάση επιλεκτικές αισθητηριακές πληροφορίες, κάθε συμπεριφορά παράγει άμεσες αναδράσεις στον έλεγχο του ρομπότ, πάντα σε σχέση με έναν συγκεκριμένο στόχο, για παράδειγμα, ένα πολύ μικρό κομμάτι των συνολικών καθηκόντων ενός ρομπότ, όπως η αποφυγή εμποδίων ή η ακολούθηση τοίχων. Οι συμπεριφορές με διαφορετικούς και ενδεχομένως μη συγκρίσιμους στόχους ενδέχεται να δημιουργήσουν αντικρουόμενες ενέργειες που είναι φαινομενικά ασύμβατες ή αταίριαστες. Έτσι, ένα σημαντικό ζήτημα που προκύπτει στο σχεδιασμό συστημάτων ελέγχου βασιζόμενων στη συμπεριφορά είναι η ανάπτυξη αποτελεσματικών μηχανισμών για τον συντονισμό των δραστηριοτήτων των συμπεριφορών σε στρατηγικές για μια ορθολογική συνολική συμπεριφορά που έχει συνοχή. Αυτό είναι γνωστό ως πρόβλημα επιλογής δράσης (action selection problem), που επίσης αναφέρεται ως πρόβλημα συντονισμού συμπεριφοράς (behavior coordination problem).

Το πρόβλημα επιλογής δράσης έχει μελετηθεί στο παρελθόν από αρκετές διάφορες όψεις. Οι κύριες ερευνητικές κατευθύνσεις μπορούν να χωριστούν στα ακόλουθα πεδία, όπου η επιλογή δράσης είναι το κύριο ζήτημα:

- **Ηθολογία.** Από αυτή την άποψη, η συμπεριφορά των βιολογικών πλασμάτων έχει διερευνηθεί σε μια προσπάθεια να κατανοηθούν και τελικά να μοντελοποιηθούν οι μηχανισμοί επιλογής δράσης που χρησιμοποιούνται στα βιολογικά συστήματα.
- **Τεχνητή Ζωή.** Η Τεχνητή Ζωή ("AL" ή "Alife") είναι το όνομα που δίνεται στον τομέα που μελετά τη "φυσική" ζωή προσπαθώντας να αναδημιουργήσει βιολογικά φαινόμενα από το μηδέν μέσα σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές και άλλα "τεχνητά" μέσα. Το Alife συμπληρώνει την παραδοσιακή αναλυτική προσέγγιση της παραδοσιακής βιολογίας με μια συνθετική προσέγγιση στην οποία, αντί να

μελετώνται βιολογικά φαινόμενα με την αποσυναρμολόγηση ζωντανών οργανισμών για να δούμε πώς λειτουργούν, επιχειρείται να συναρμολογηθούν συστήματα που συμπεριφέρονται σαν ζωντανοί οργανισμοί.

- **Εικονική πραγματικότητα & γραφική προσομοίωση.** Ο συντονισμός των δραστηριοτήτων των αναταρ και των τεχνητών (αυτόνομων) χαρακτήρων και η αλληλεπίδρασή τους με εικονικά περιβάλλοντα και άλλους πραγματικούς ή εικονικούς χαρακτήρες είναι ένα πρόβλημα επιλογής δράσης. Τέτοια περιβάλλοντα δημιουργούν μια κατάλληλη και συμβατική πλατφόρμα για τη μελέτη των μηχανισμών επιλογής δράσης.
- **Πράκτορες λογισμικού.** Οι πράκτορες λογισμικού είναι "έξυπνα" συστατικά λογισμικού τα οποία σε συνεργασία με άλλους πράκτορες σε ένα δίκτυο (όπως το Internet) ανακτούν πληροφορίες που ενδιαφέρουν κάποιον συγκεκριμένο χρήστη. Η επιλογή της δράσης παίζει κεντρικό ρόλο στο πρόβλημα του τρόπου επικοινωνίας και συνεργασίας των πρακτόρων λογισμικού.
- **Ρομποτική (φυσικοί πράκτορες).** Από τεχνική άποψη, θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε τα ρομπότ για την εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών. Ένα σημαντικό πρόβλημα στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη τέτοιων ρομπότ αφορά το πρόβλημα επιλογής δράσης. Κάτι που έχει απασχολήσει ιδιαίτερα την κοινότητα της ρομποτικής, είναι η επιλογή των ενεργειών σε φυσικά ρομπότ.

Φανταστείτε έναν αυτόνομο πράκτορα που πρέπει να επιτύχει ένα σύνολο γενικών στόχων σε ένα πολύπλοκο και δυναμικό περιβάλλον. Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι ένα εξερευνητικό όχημα που πρέπει να εξερευνήσει τον Άρη και να συλλέξει δείγματα του εδάφους. Πώς μπορεί ένας τέτοιος πράκτορας να επιλέξει «την πλέον κατάλληλη» ή την «πιο συναφή» επόμενη ενέργεια που πρέπει να κάνει, όταν αντιμετωπίζει μια συγκεκριμένη κατάσταση; Σημαντικοί περιορισμοί είναι ότι ο κόσμος είναι πολύ περίπλοκος για να είναι απόλυτα προβλέψιμος και ότι ο πράκτορας έχει περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους και περιορισμένα χρονικά περιθώρια. Αυτό σημαίνει ότι η επιλογή της επόμενης ενέργειας δεν μπορεί να είναι εντελώς «ορθολογική» ή η βέλτιστη. Πρέπει όμως να είναι εύρωστη, γρήγορη και να παίρνει «αρκετά καλές» αποφάσεις. Με τον όρο «αρκετά καλή» απόφαση, εννοούμε, μεταξύ άλλων, ότι η συμπεριφορά επιλογής δράσης πρέπει να παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ευνοεί τις ενέργειες που είναι προσανατολισμένες στο στόχο, και συγκεκριμένα τις ενέργειες που συμβάλλουν ταυτόχρονα σε διάφορους στόχους,
- ευνοεί τις ενέργειες που σχετίζονται με την τρέχουσα κατάσταση, και συγκεκριμένα εκμεταλλεύεται όλες τις εμφανιζόμενες ευκαιρίες και είναι ιδιαίτερα προσαρμοσμένη στις απρόβλεπτες και μεταβαλλόμενες καταστάσεις
- ευνοεί τις ενέργειες που συμβάλλουν στον εν εξελίξει στόχο / σχέδιο (εκτός αν μια άλλη ενέργεια είναι πολύ καλύτερη), με άλλα λόγια, "κολλάει" σε ένα συγκεκριμένο στόχο εκτός εάν υπάρχει ένας καλός λόγος για να καταπιαστεί με κάτι διαφορετικό
- σκέφτεται μακροπρόθεσμα, ιδίως για να αποφύγει επικίνδυνες καταστάσεις και να χειριστεί αλληλεπιδραστικούς και αντικρουόμενους στόχους
- είναι εύρωστη (ποτέ δεν καταρρέει πλήρως), ακόμη και όταν ορισμένα εξαρτήματα δυσλειτουργούν και τέλος,
- αντιδρά και γρήγορα.

Ας υποθέσουμε μια κοινωνία από αλληλεπιδραστικούς, ανοήμονες πράκτορες, που ο καθένας έχει τη δική του ειδική αρμοδιότητα. Για παράδειγμα, μια κοινωνία πρακτόρων που είναι σε θέση να κατασκευάσει έναν πύργο θα συμπεριλαμβάνει «λειτουργικές μονάδες» για την εύρεση ενός τούβλου, για το σήκωμα ενός τούβλου, για τη μετακίνηση ενός τούβλου κλπ. Η ιδέα είναι ότι οι λειτουργικές αυτές μονάδες συνεργάζονται (τοπικά) με τέτοιον τρόπο ώστε η κοινωνία στο σύνολό της να λειτουργεί σωστά. Μια τέτοια αρχιτεκτονική είναι πολύ ελκυστική λόγω της ευκολίας στην κατανομή καθηκόντων, της αρθρωτής και ευκόλως κατανοητής δομής της, της λειτουργικότητας και της ευρωστίας της.

Ένα από τα ξεκάθαρα προβλήματα είναι το πώς μπορούν να ελεγχθούν οι ενέργειες σε ένα τριτογενώς κατανομημένο σύστημα. Πιο συγκεκριμένα:

α) πώς καθορίζεται κατά πόσον κάποια λειτουργική μονάδα θα πρέπει να ενεργοποιηθεί ή όχι (με έλεγχο των ενεργοποιητών) κάποια συγκεκριμένη στιγμή και
β) ποιοι είναι οι παράγοντες που καθορίζουν τη συνεργασία μεταξύ ορισμένων λειτουργικών μονάδων.

Μπορούν να υιοθετηθούν διάφορες λύσεις σε αυτό το πρόβλημα. Μια προσέγγιση είναι ο χειρισμός της ροής ελέγχου μεταξύ των λειτουργικών μονάδων. Μια άλλη προσέγγιση είναι να εισαχθεί μια ιεραρχική δομή για να πει στις λειτουργικές μονάδες εάν τους επιτρέπεται να εκτελέσουν κάποια ενέργεια ή όχι.

4.5 Αρχιτεκτονικές ελέγχου

Η ρομποτική με βάση τη συμπεριφορά στηρίζεται στις βασικές ιδέες ότι το σύστημα ελέγχου πρέπει να είναι (α) πλασιοθετημένο, δηλαδή πρέπει να ασχολείται με την αλληλεπίδραση των αισθητήριων και των κινητήρων με το περιβάλλον όπου λειτουργεί το ρομπότ και όχι με αφηρημένες περιγραφές και (β) ενυπόστατο, δηλαδή, πρέπει να βιώνει τον κόσμο απευθείας μέσω των αισθητήρων του και να ενεργεί φυσικά στο περιβάλλον, αντί να λειτουργεί σε έναν προσομοιωμένο κόσμο. Κατά συνέπεια, η αποσύνθεση των συμπεριφορών μπορούν να οδηγήσουν σε πολύ διαφορετικές αρχιτεκτονικές ελέγχου που εξαρτώνται από το είδος των ρομπότ και το είδος των στόχων τους.

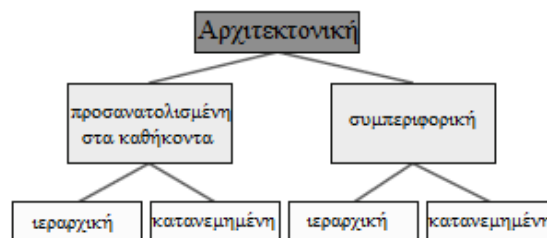
Η δημιουργία μιας καθορισμένης ρομποτικής συμπεριφοράς είναι ένα από τα πιο δύσκολα προβλήματα κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος ελέγχου για ρομποτικές εφαρμογές με πολλούς αισθητήρες και ενεργοποιητές. Λόγω της ποικιλίας των καθηκόντων που πρέπει να εκπληρώσει ένα αυτόνομο όχημα, ο έλεγχός του πρέπει να ενσωματωθεί σε ένα πρακτικό γενικό πλαίσιο.

Η διαδικασία δημιουργίας ενός συστήματος ελέγχου θα πρέπει να υποστηρίζεται από μια επαρκή μεθοδολογία η οποία βοηθά στην επίλυση των δυσκολιών που συναντώνται στα σύνθετα ρομποτικά συστήματα, όπως η εξασφάλιση ασφαλούς λειτουργίας, η αυτονομία των εξαρτημάτων, ή ο χειρισμός ενός συστήματος αυξανόμενης πολυπλοκότητας. Ως εκ τούτου, έχουν εμφανιστεί διάφοροι τύποι αρχιτεκτονικών ελέγχου με αντίθετες προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση των αναδυόμενων προβλημάτων.

Μια αρχιτεκτονική ελέγχου είναι ένα πλαίσιο που επιτρέπει σε ένα σύστημα να εκπληρώσει τα ακόλουθα καθήκοντα:

- **Σύντηξη δεδομένων αισθητήρων σε λογικούς αισθητήρες** Τα δεδομένα των αισθητήρων υπόκεινται σε μια προεπεξεργασία για να χρησιμοποιηθούν για τοπική αναγνώριση, δημιουργία χαρτών εμποδίων και πλοήγησης, αναγνώριση αντικειμένων, απεικόνιση και αναπαράσταση γνώσης.
- **Έλεγχος κινητήρα** Η πρόσβαση στο υλικό πρέπει να παρέχεται με την υλοποίηση ενός κατάλληλου περιβάλλοντος ελέγχου κίνησης, π.χ. ταχύτητα v και γωνιακή ταχύτητα ω .
- **Πιλοτική λειτουργία** Ένα πιλοτικό πρόγραμμα πραγματοποιεί τον έλεγχο μιας διαδρομής μέσω του καθορισμού των εντολών κίνησης που απαιτούνται, για παράδειγμα, για την αποφυγή σύγκρουσης, την οδήγηση μέσα από στενά περάσματα, τη μετακίνηση σε καταστάσεις αδιεξόδου.
- **Πλοήγηση** Ένας πλοηγός υπολογίζει τις διαθέσιμες διαδρομές που πρέπει να διασχιστούν μέσω της πιλοτικής λειτουργίας. Το σχέδιο πλοήγησης περιλαμβάνει την αποφυγή εμποδίων και απαιτεί γνώσεις σχετικά με τη γύρω περιοχή.
- **Λειτουργία οργάνωσης πλάνου** Ένα στοιχείο οργάνωσης δημιουργεί ενέργειες και θέτει στόχους για το στοιχείο πλοήγησης. Αυτή η λειτουργία περιλαμβάνει στρατηγικές αποφάσεις και την ανάλυση συγκεκριμένων καθηκόντων.
- **Αλληλεπίδραση με χρήστη** Η πρόσβαση στο λογισμικό ελέγχου παρέχεται από μια κατάλληλη διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (Human-Machine-Interface (HMI)).

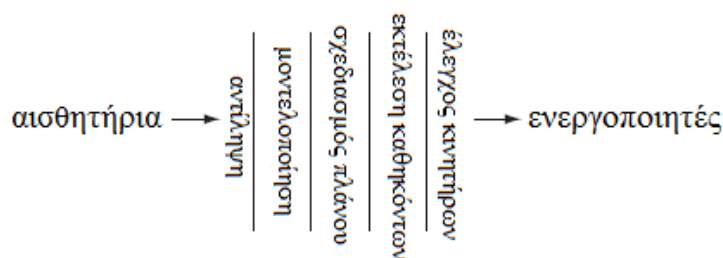
Γενικά, οι αρχιτεκτονικές ελέγχου στον τομέα της ρομποτικής μπορούν να διακριθούν σε ιεραρχικές έναντι κατανεμημένων αρχιτεκτονικών και προσανατολισμένων στα καθήκοντα έναντι συμπεριφορικών αρχιτεκτονικών.



Εικόνα 4.3 Ένα διάγραμμα κατηγοριοποίησης αρχιτεκτονικών ελέγχου στον τομέα της ρομποτικής.

Οι ιεραρχικές αρχιτεκτονικές βασίζονται στην παραδοχή ότι τα καθήκοντα μπορούν να χωριστούν σε επιμέρους καθήκοντα τα οποία είναι οργανωμένα έτσι ώστε τα συστατικά στοιχεία των υψηλότερων επιπέδων να δημιουργούν υποστόχους για τα συστατικά στοιχεία των χαμηλότερων επιπέδων. Σε αντίθεση με αυτό, οι κατανεμημένες αρχιτεκτονικές επιτρέπουν την ανάθεση των επιμέρους καθηκόντων σε ανεξάρτητα συστατικά στοιχεία, ενώ απαιτείται ένας κατάλληλος μηχανισμός επικοινωνίας για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των εμπλεκόμενων τμημάτων.

Η διάκριση μεταξύ αρχιτεκτονικών ελέγχου προσανατολισμένων στα καθήκοντα και συμπεριφορικών αρχιτεκτονικών βασίζεται στην αποσύνθεση μιας συγκεκριμένης εργασίας. Οι αρχιτεκτονικές που είναι προσανατολισμένες στα καθήκοντα, εξαρτώνται από ένα κεντρικό μοντέλο του κόσμου το οποίο το χειρίζονται και το αξιολογούν τα διάφορα συστατικά στοιχεία (αντίληψη, μοντελοποίηση, σχεδιασμός, εκτέλεση). Τα καθήκοντα της επεξεργασίας των δεδομένων των αισθητήρων καθώς και η δημιουργία τιμών ελέγχου για το ρομπότ αποδίδονται σε υπεύθυνα συστατικά στοιχεία με αποκλειστική πρόσβαση. Οι συμπεριφορικές αρχιτεκτονικές ελέγχου, ωστόσο, σχεδιάζονται με βάση την αποσύνθεση μιας δεδομένης εργασίας σε ανεξάρτητες συμπεριφορές, κάθε μία από τις οποίες διατηρεί τη δική της συμπαγή αναπαράσταση του περιβάλλοντος που απαιτείται για την εκτέλεση της συγκεκριμένης εργασίας. Εδώ όλα τα συστατικά στοιχεία έχουν απεριόριστη πρόσβαση στα δεδομένα των αισθητήρων και στη διεπαφή ελέγχου. Αυτό, ωστόσο, απαιτεί μηχανισμούς για τον συντονισμό των συγκρουόμενων δεδομένων, όπως είδαμε και προηγουμένως.



Εικόνα 4.4 Αποσύνθεση των λειτουργιών των συμπεριφορών.

Κάποιος μπορεί να απεικονίσει μια συμπεριφορική αρχιτεκτονική ως μια στοίβα με στρώσεις από παράλληλες συμπεριφορές όπου οι κατώτερες συμπεριφορές ασχολούνται με την επιβίωση του ρομπότ, ενώ οι συμπεριφορές στην κορυφή επιτυγχάνουν τους επιθυμητούς στόχους, εφόσον υπάρχουν ευκαιρίες. Ο σχεδιασμός ενός συστήματος συμπεριφορικού ελέγχου εξελίσσεται προοδευτικά. Το πρώτο στρώμα σχεδιάζεται και δοκιμάζεται στο ρομπότ μέχρι να είναι ικανοποιητικό. Σε αυτό το σημείο, το ρομπότ είναι ήδη λειτουργικό. Στη συνέχεια, σχεδιάζεται και δοκιμάζεται το δεύτερο στρώμα. Στο σημείο αυτό το ρομπότ μπορεί να κάνει χρήση και των δύο ειδών ικανοτήτων που απέκτησε στα δύο αυτά στρώματα. Και ούτω καθεξής.

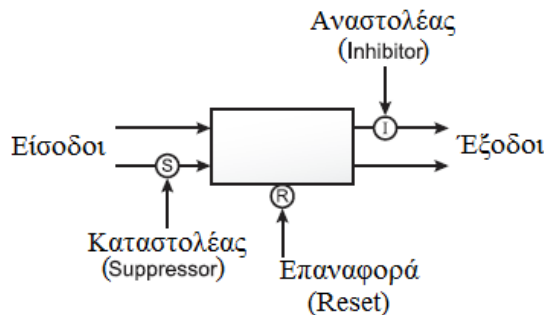
Οι συμπεριφορές στα ανώτερα στρώματα μπορούν να στηρίζονται, και μερικές φορές να επηρεάζουν, συμπεριφορές στα προηγούμενα στρώματα. Ωστόσο, οι συμπεριφορές στα υψηλότερα επίπεδα δεν χρησιμοποιούν τις συμπεριφορές των προηγούμενων στρωμάτων ως υπορουτίνες, αλλά απλώς ως σύνολο προϋπάρχουσων ικανοτήτων. Αυτή η αρχιτεκτονική, που αναπτύχθηκε από τον Rodney Brooks στα μέσα της δεκαετίας του 1980, είναι γνωστή ως αρχιτεκτονική υπαγωγής (subsumption architecture) επειδή τα υψηλότερα στρώματα υπάγονται στα πρώιμα στρώματα ή τα περιλαμβάνουν. Τα πρώιμα στρώματα μπορούν να συνεχίσουν να λειτουργούν ακόμα και χωρίς την παρουσία περαιτέρω στρωμάτων και δεν χρειάζεται να επαναπρογραμματιστούν. Ωστόσο, αν υπάρχουν ευκαιρίες για να λειτουργούν τα υψηλότερα στρώματα (για παράδειγμα, η ανίχνευση μορίων φυσικού αερίου ενεργοποιεί μια συμπεριφορά ανίχνευσης θύσανου), μπορούν να καταστείλουν, να τροποποιήσουν ή να υποκαταστήσουν το αποτέλεσμα χαμηλότερων συμπεριφορών με τη δική τους συμπεριφορά.

Ο προοδευτικός σχεδιασμός των συμπεριφορικών αρχιτεκτονικών συνοψίζει με την ευρεία έννοια τη φυσική εξέλιξη της νοημοσύνης, όπου βασικές ικανότητες επιβίωσης, όπως η αναζήτηση τροφής και η αποφυγή κινδύνου, εμφανίστηκαν πριν από τις υψηλότερες ικανότητες, όπως η επικοινωνία και η συλλογιστική. Ομοίως, ο συμπεριφορικός σχεδιασμός απορρέει από την ανάπτυξη συμπεριφορών που εξασφαλίζουν τη βιωσιμότητα του ρομπότ σε όλο το φάσμα των στρωμάτων, μέχρι τις υψηλότερες συμπεριφορές αναζήτησης στόχων, οι

οποίες χτίζονται πάνω σε βασικές συμπεριφορές.

Κάθε βαθμίδα ικανοτήτων μπορεί να διαρθρωθεί διαφορετικά και να αποσυντεθεί περαιτέρω με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης της γενικής προσέγγισης της αντίληψης, της μοντελοποίησης και της εκτέλεσης. Είναι γεγονός πως, μερικές εφαρμογές συμπεριφορικών αρχιτεκτονικών αποτελούνται από έναν συνδυασμό συμπεριφορών χαμηλού επιπέδου και λογικής υψηλού επιπέδου.

Μια συμπεριφορά είναι μια αυτόνομη και λειτουργικά ανεξάρτητη μονάδα με γραμμές εισόδου και εξόδου (Εικόνα 4.5). Στην απλούστερη εκδοχή της, μια συμπεριφορά είναι μια κινητηριακή απόκριση σε μια αισθητήρια διέγερση από το περιβάλλον. Η εσωτερική λειτουργία μιας μονάδας συμπεριφοράς δεν μπορεί να τροποποιηθεί από άλλες μονάδες, αν και μερικές εφαρμογές συμπεριφορικών αρχιτεκτονικών μοιράζονται μητρώα μνήμης μεταξύ διαφόρων συμπεριφορών. Οι γραμμές εισόδου μεταδίδουν σήματα από τους αισθητήρες του ρομπότ ή από άλλες μονάδες συμπεριφοράς. Οι γραμμές εξόδου στέλνουν σήματα στους ενεργοποιητές του ρομπότ ή σε άλλες μονάδες συμπεριφοράς. Στην αρχιτεκτονική υπαγωγής, οι γραμμές εισόδου και εξόδου μπορούν να κατασταλούν ή να ανασταλούν από άλλες μονάδες. Στην περίπτωση καταστολής, το σήμα από τη μονάδα αποστολής αντικαθίσταται από το σήμα που κινείται στην κατασταλαμένη γραμμή. Στην περίπτωση της αναστολής, το σήμα που κινείται στην ανασταλτική γραμμή, για κάποιο χρονικό διάστημα μηδενίζεται. Επιπλέον, μια μονάδα μπορεί να λάβει ένα σήμα επαναφοράς (reset) από μια άλλη μονάδα. Με αυτόν τον τρόπο, οι ανώτερες ενότητες συμπεριφοράς συνοψίζουν ή εφαρμόζουν τις ικανότητες των κατώτερων ενοτήτων συμπεριφοράς.



Εικόνα 4.5 Μια μονάδα συμπεριφοράς στην αρχιτεκτονική υπαγωγής.

Κάθε μονάδα συμπεριφοράς μπορεί, θεωρητικά, να υλοποιηθεί ως μια ξεχωριστή μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων με δικό της εσωτερικό ρολόι, αλλά χωρίς συνολικό συγχρονισμό. Συνεπώς, εάν μια συμπεριφορά δεν παρέχει έξοδο μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, μια άλλη μονάδα συμπεριφοράς μπορεί να αναλάβει τον έλεγχο των ενεργοποιητών.

Αναφορικά, κάποιες άλλες συμπεριφορικές αρχιτεκτονικές, πέρα από την αρχιτεκτονική υπαγωγής του Rodney Brooks, περιλαμβάνουν την αρχιτεκτονική iB2C1 του Robotics Research Lab στο Kaiserslautern, προσεγγίσεις του Ronald C. Arkin σχετικά με τη σχηματική θεωρία (schema theory), η οποία εξηγεί τη συμπεριφορά του κινητήρα όσον αφορά τον ταυτόχρονο έλεγχο πολλών διαφορετικών δραστηριοτήτων. Άλλες μέθοδοι περιλαμβάνουν διάφορες ασαφείς προσεγγίσεις (fuzzy approaches), παράλληλη εκτέλεση συμπεριφορών χωρίς μηχανισμό επιλογής ενέργειας καθώς και αρχιτεκτονικές που βασίζονται σε νευρικό δίκτυο (neural-network-based architectures).

Η συμπεριφορική αρχιτεκτονική καθιέρωσε ένα σύνολο διασυνδεδεμένων αισθητικοκινητικών κόμβων που συνδέουν αντιληπτικά γεγονότα με ενέργειες κινητήρων.

Αν και τα θεωρητικά πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της ρομποτικής που βασίζεται στη συμπεριφορά εξακολουθούν να συζητούνται ευρέως, αυτή η προσέγγιση έχει βρει επιτυχημένες εφαρμογές σε διάφορα κινητά ρομπότ, από ρομπότ-παιχνίδια διαθέσιμα στην αγορά και ρομπότ-οικιακοί βοηθοί, μέχρι ρομπότ-εξερευνητές πλανητών.

Κεφάλαιο 5 – Arduino UNO

5.1 Τι είναι το Arduino;

Το Arduino είναι μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα βασισμένη σε εύχρηστο λογισμικό και hardware. Οι πλακέτες Arduino μπορούν να διαβάσουν τις εισόδους, π.χ. το φως σε έναν αισθητήρα και να το μετατρέψουν σε έξοδο π.χ. ενεργοποιώντας ένα LED. Κάποιος μπορεί να πει στην πλακέτα τι πρέπει να κάνει στέλνοντας ένα σύνολο εντολών στον μικροελεγκτή της πλακέτας. Για να το κάνει αυτό, χρησιμοποιεί τη γλώσσα προγραμματισμού Arduino (βασισμένη στην wiring) και το ολοκληρωμένο λογισμικό ανάπτυξης Arduino (IDE), με βάση την Processing.



Εικόνα 5.1 Arduino UNO

Από τότε που εφευρέθηκε, χιλιάδες projects έχουν δημιουργηθεί με βάση το Arduino, από καθημερινά αντικείμενα έως σύνθετα επιστημονικά όργανα. Μια παγκόσμια κοινότητα δημιουργών - φοιτητές, χομπίστες, καλλιτέχνες, προγραμματιστές αλλά και επαγγελματίες - έχει συγκεντρωθεί γύρω από αυτή την πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα, οι συνεισφορές των οποίων έχουν προστεθεί σε μια απίστευτη ποσότητα προσβάσιμης γνώσης - μέσω forum στο διαδίκτυο και βιβλίων - που μπορεί να βοηθήσει πολύ τόσο τους αρχάριους όσο και τους ειδικούς.

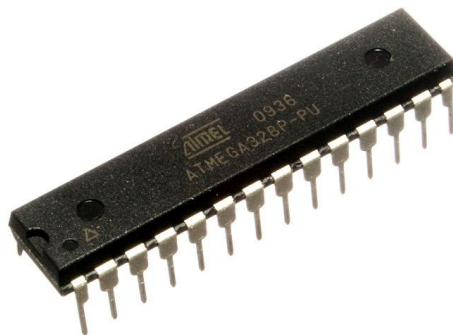
5.2 Πλεονεκτήματα Arduino

Το λογισμικό Arduino είναι εύκολο στη χρήση για αρχάριους, αλλά και αρκετά ευέλικτο για τους προχωρημένους χρήστες. Υπάρχουν πολλοί άλλοι μικροελεγκτές και πλατφόρμες μικροελεγκτών που είναι διαθέσιμοι, όπως π.χ. το BX-24 της Netmedia, ο Parallax Basic Stamp, και πολλά άλλα που προσφέρουν παρόμοια λειτουργικότητα..Το Arduino απλοποιεί τη διαδικασία εργασίας με τους μικροελεγκτές, αλλά προσφέρει κάποια πλεονεκτήματα στους εκπαιδευτικούς, τους φοιτητές και τους ενδιαφερόμενους ερασιτέχνες έναντι άλλων μικροελεγκτών κυρίως διότι είναι:

- Φθηνό – Οι πλακέτες Arduino είναι σχετικά φθηνές σε σύγκριση με άλλες πλατφόρμες μικροελεγκτών. Η λιγότερο δαπανηρή έκδοση της μονάδας Arduino μπορεί να συναρμολογηθεί με το χέρι και ακόμη και οι προ-συναρμολογημένες μονάδες Arduino κοστίζουν λιγότερο από 50 Ευρώ.
- Απλό, σαφές περιβάλλον προγραμματισμού - Το λογισμικό Arduino (IDE) είναι εύκολο στη χρήση για αρχάριους, αλλά και αρκετά ευέλικτο για να μπορούν να επωφεληθούν και οι πιο έμπειροι χρήστες.
- Ανεξάρτητο πλατφόρμας - Το λογισμικό Arduino (IDE) λειτουργεί σε λειτουργικά συστήματα Windows, Macintosh OSX και Linux. Τα περισσότερα συστήματα μικροελεγκτών περιορίζονται στα Windows.
- Με υλικό (Hardware) και λογισμικό (Software) ανοιχτού κώδικα – Τα σχέδια των πλακετών Arduino δημοσιεύονται στο διαδύκτιο, έτσι οι έμπειροι σχεδιαστές κυκλωμάτων μπορούν να κάνουν τη δική τους έκδοση της πλακέτας και οι σχετικά άπειροι χρήστες μπορούν να χτίσουν την έκδοση breadboard της μονάδας για να καταλάβουν πώς λειτουργεί ή να το χρησιμοποιήσουν ως σημείο εκκίνησης για το έργο τους, με βάση (ή ενσωματώνοντας) το Arduino στο σχεδιασμό τους, και να εξοικονομήσουν χρήματα. Ομοίως, το λογισμικό Arduino είναι ανοιχτού κώδικα.

5.3 Μικροελεγκτής ATmega328

Ο πυρήνας του Arduino είναι ο ATmega328, ένας μικροελεγκτής του ενός τσιπ που δημιουργήθηκε από την Atmel και έχει έναν επεξεργαστή RISC 8-bit τροποποιημένης αρχιτεκτονικής Harvard.



Εικόνα 5.2 Ο μικροελεγκτής ATmega328

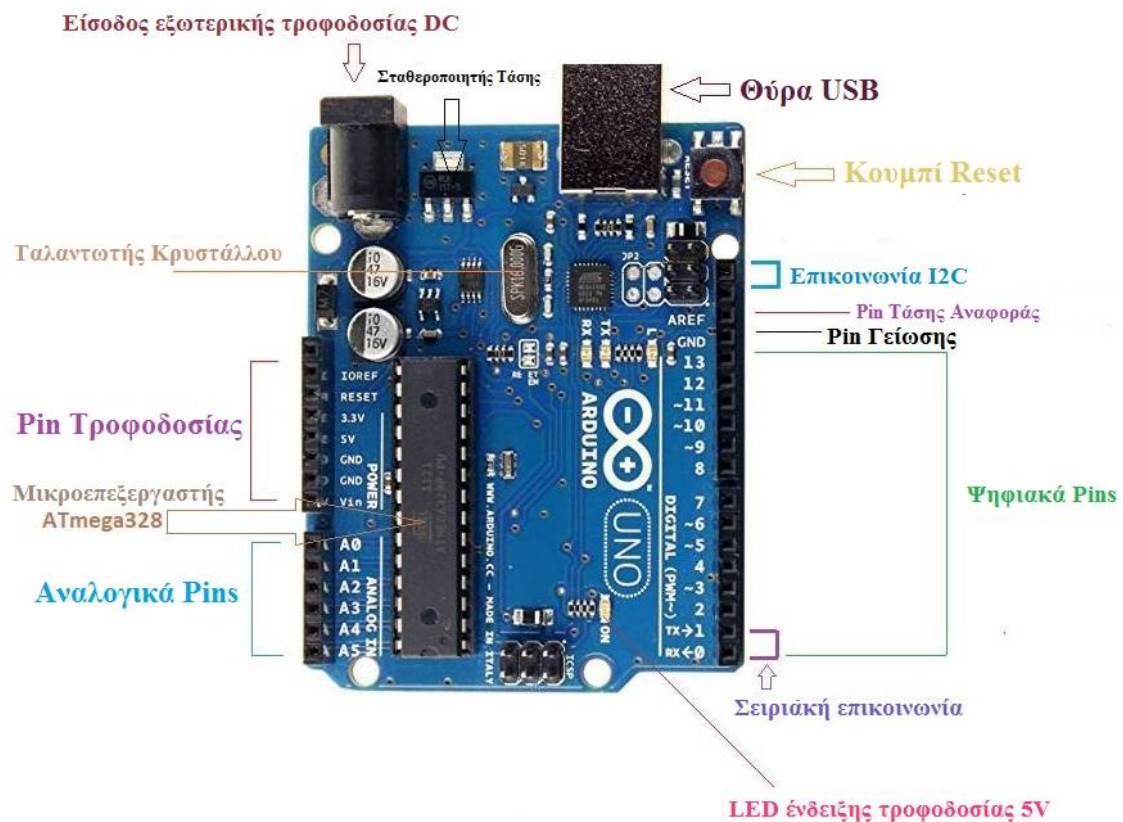
Ο ATmega 328 έχει τρεις τύπους μνημών:

- Την SRAM (Static Random Access Memory), που σημαίνει στατική μνήμη τυχαίας προσπέλασης. Είναι μια πτητική ή πρόσκαιρη μνήμη (volatile memory) δηλαδή όλα τα δεδομένα διαγράφονται μετά την αφαίρεση της τροφοδοσίας.

- Την EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) που σημαίνει μνήμη μόνο για ανάγνωση με δυνατότητα προγραμματισμού. Τα δεδομένα της δεν διαγράφονται μετά την αφαίρεση της τροφοδοσίας.
- Τη Flash Memory, που έχει χωρητικότητα 32KB. Έχει διεύθυνση 15 bit. Πρόκειται για μια προγραμματιζόμενη μνήμη μόνο για ανάγνωση (ROM). Είναι μη πτητική μνήμη.

5.4 Είσοδοι – Έξοδοι

Στην πλακέτα του Arduino υπάρχουν 14 ψηφιακοί και 6 αναλογικοί ακροδέκτες (pins) εισόδου / εξόδου. Αυτά τα pins λειτουργούν στα 5V και μεταξύ 20mA και 40mA. Στην πλακέτα χρησιμοποιούνται εσωτερικές αντιστάσεις pull-up που περιορίζουν το ρεύμα που υπερβαίνει τις δεδομένες συνθήκες λειτουργίας. Ωστόσο, η υπερβολική αύξηση του ρεύματος καθιστά τις αντιστάσεις αυτές άχρηστες και μπορεί να καταστρέψει τον μικροελεγκτή. Επίσης η πλακέτα διαθέτει έναν ταλαντωτή κρυστάλλου συχνότητας 16 MHz.



Εικόνα 5.3 Βασικές Είσοδοι-Έξοδοι Arduino UNO

- 5V. Ο ακροδέκτης των 5V χρησιμοποιείται για την παροχή εξόδου σταθεροποιημένης τάσης μέσω του σταθεροποιητή τάσης. Το Arduino τροφοδοτείται

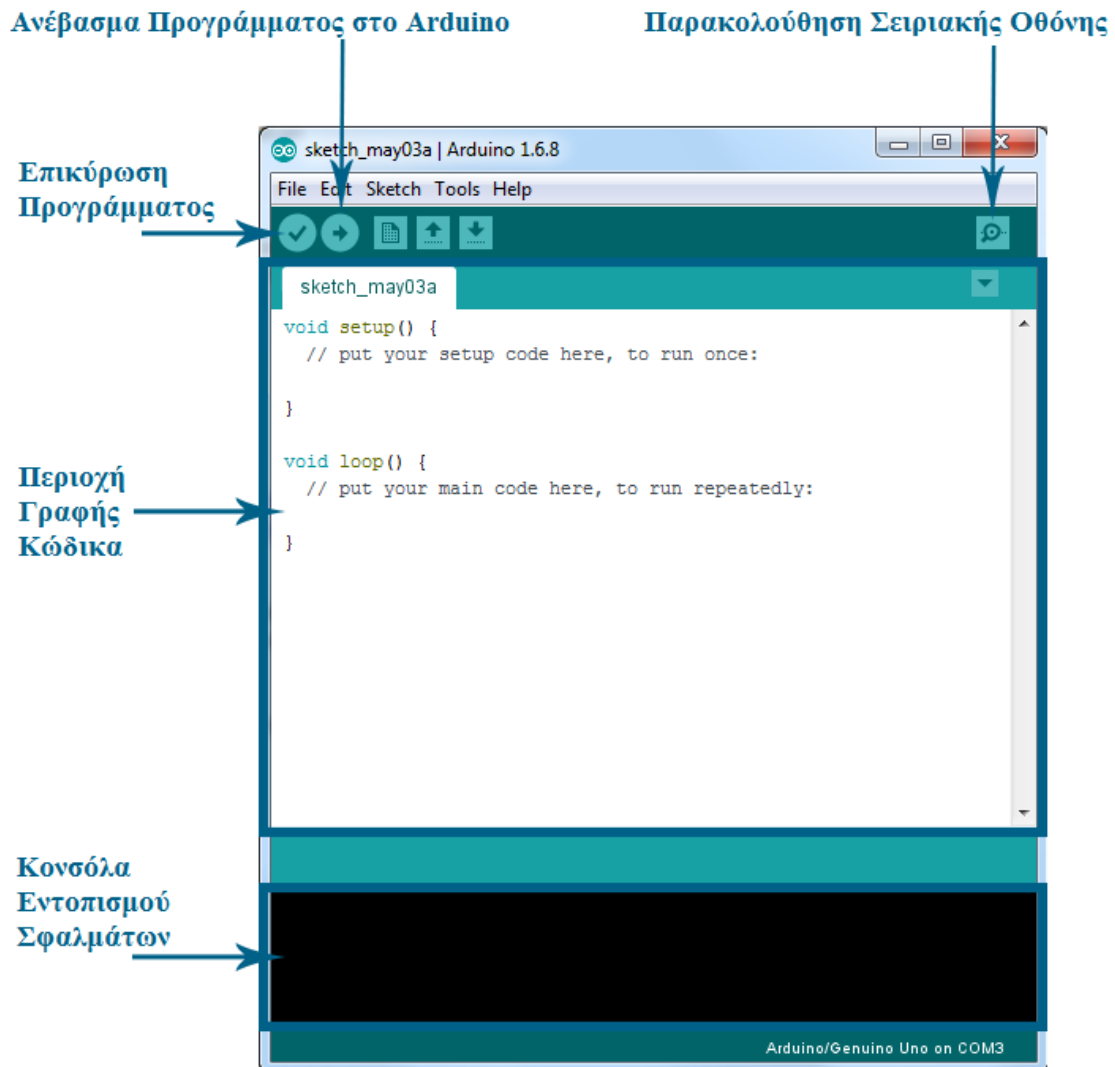
με τρεις τρόπους, την υποδοχή USB, τον ακροδέκτη Vin της πλακέτας ή το βύσμα τροφοδοσίας DC.

Το USB υποστηρίζει τάση γύρω στα 5V ενώ το Vin και το βύσμα εξωτερικής τροφοδοσίας DC υποστηρίζουν τάση κυμαινόμενη μεταξύ 7V και 20V. Συνιστάται η λειτουργία της πλακέτας σε 5V. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, εάν τροφοδοτηθεί μια τάση μέσω των ακροδεκτών 5V ή 3.3V, αυτό οδηγεί σε παράκαμψη της σταθεροποίησης της τάσης και μπορεί να καταστραφεί η πλακέτα εάν η τάση ξεπεράσει το όριο της.

- Vin. Είναι η τάση εισόδου που παρέχεται στο Arduino. Διαφέρει από τα 5V που παρέχονται μέσω της θύρας USB. Αυτός ο ακροδέκτης χρησιμοποιείται για την παροχή τάσης. Εάν παρέχεται στην πλακέτα τάση μέσω της υποδοχής τροφοδοσίας, μέσω αυτού του pin δίνεται η δυνατότητα πρόσβασης σε αυτήν την τάση.
- LED. Το Arduino Uno έχει ενσωματωμένο LED το οποίο συνδέεται μέσω του pin 13. Παρέχοντας τιμή HIGH ή 1 στον ακροδέκτη θα το ενεργοποιήσει ενώ η τιμή LOW ή 0 το απενεργοποιεί.
- GND. Αυτοί είναι οι ακροδέκτες γείωσης. Υπάρχουν περισσότεροι από ένας ακροδέκτες γείωσης στην πλακέτα, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις.
- Αναλογικές εισοδοί. Η περιοχή κάτω από την ετικέτα 'Analog In' (A0 έως A5 στο UNO) είναι οι ακροδέκτες αναλογικής εισόδου. Αυτοί οι ακροδέκτες μπορούν να διαβάσουν το σήμα από έναν αναλογικό αισθητήρα (όπως έναν αισθητήρα θερμοκρασίας) και να το μετατρέψουν σε ψηφιακή τιμή που μπορούμε να διαβάσουμε.
- Ψηφιακές εισοδοί/έξοδοι. Απέναντι από τους αναλογικούς ακροδέκτες είναι οι ψηφιακοί ακροδέκτες (0 έως 13 στον UNO). Αυτοί οι ακροδέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για ψηφιακή είσοδο όσο και για ψηφιακή έξοδο (όπως τροφοδοσία ενός LED).
- Reset. Αυτό το pin είναι ενσωματωμένο στην πλακέτα και επαναφέρει το πρόγραμμα που εκτελείται. Πιέζοντας το κουμπί reset, ο ακροδέκτης επαναφοράς συνδέεται προσωρινά στη γείωση έτσι γίνεται επανεκκίνηση οποιουδήποτε κώδικα έχει φορτωθεί στο Arduino. Αυτό μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο εάν ο κώδικας που εκτελείται δεν επαναλαμβάνεται, αλλά χρειάζεται να δοκιμαστεί πολλές φορές.
- AREF. Αυτό είναι το pin τάσης αναφοράς (Analog Reference Pin). Αυτός ο ακροδέκτης χρησιμοποιείται για παροχή τάσης αναφοράς στις αναλογικές εισόδους.
- PWM. Οι ακροδέκτες 3,5,6,9,10, 11 λειτουργούν ως κανονικοί ψηφιακοί ακροδέκτες, αλλά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για κάτι που ονομάζεται Pulse-Width Modulation (PWM). Αυτά τα pins είναι σε θέση να προσομοιώνουν την αναλογική έξοδο (όπως το αναβρόσβημα ενός LED).
- Σειριακή επικοινωνία. Η σειριακή επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω των ακροδεκτών Pin 0 (Rx) και Pin 1 (Tx). Ο ακροδέκτης Rx χρησιμοποιείται για τη λήψη δεδομένων ενώ ο ακροδέκτης Tx χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων.

5.5 Arduino IDE και σύνδεση με τον υπολογιστή

Το Arduino IDE είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό ανάπτυξης που μπορεί να εγκατασταθεί σε έναν υπολογιστή. Κάποιος μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτό το λογισμικό για να δημιουργήσει, να επεξεργαστεί και να ανεβάσει τις ιδέες του στο Arduino. Η λήψη είναι περίπου 150 MB, υποστηρίζεται σε λειτουργικά συστήματα Windows, Mac και Linux και είναι δωρεάν.



Εικόνα 5.4 Παράθυρο Λογισμικού ανάπτυξης κώδικα Arduino

- Το κουμπί Επικύρωση Προγράμματος ελέγχει τον κώδικα γραμμή-γραμμή, εξασφαλίζοντας ότι δεν υπάρχουν προγραμματιστικά σφάλματα.
- Το Ανέβασμα Προγράμματος στο Arduino στέλνει τον επαληθευμένο κώδικα στο Arduino. Θα εμφανιστεί μια μπάρα προόδου αποστολής στο IDE και ένα μήνυμα επιτυχίας όταν ολοκληρωθεί η μεταφόρτωση.
- Το κουμπί Παρακολούθηση Σειριακής Οθόνης επιτρέπει να δει κάποιος τα δεδομένα που μεταφέρονται από και προς το Arduino. Σε ορισμένες περιπτώσεις επιτρέπει να δωθούν εντολές στο Arduino σε πραγματικό χρόνο.

- Στην Περιοχή Γραφής Κώδικα πληκτρολογούνται όλες οι εντολές και τα σχόλια. Τα σχόλια γίνονται γκριζα και ουσιαστικά αγνοούνται από το Arduino. Καθώς πληκτρολογούνται οι εντολές, οι μεταβλητές και οι συναρτήσεις, το IDE τα κωδικοποιεί με χρώματα για να κάνει τον κώδικα πιο ευανάγνωστο.
- Η Κονσόλα Εντοπισμού Σφαλμάτων δίνει τον αριθμό γραμμής και τον χαρακτήρα που προκαλεί δυσλειτουργία του προγράμματος. Ένα μήνυμα επιτυχίας εμφανίζεται εδώ όταν ολοκληρώνεται το ανέβασμα του κώδικα στο Arduino.

5.6 Γλώσσα προγραμματισμού

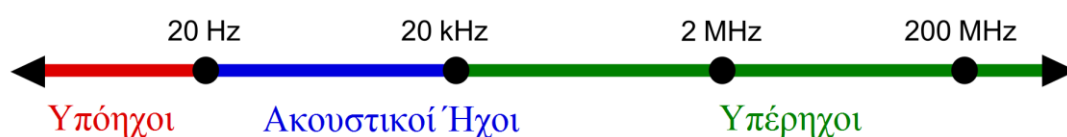
Η γλώσσα προγραμματισμού Arduino μπορεί να χωριστεί σε τρία κύρια μέρη: Σε δομές (structure), τιμές (values) (μεταβλητές και σταθερές) και συναρτήσεις (functions). Οι πιο σημαντικές από αυτές επεξηγούνται στον πίνακα που ακολουθεί:

Όρισμα	Είδος	Τύπος	Παράμετροι
LOW	Σταθερά	int	-
HIGH	Σταθερά	int	-
INPUT	Σταθερά	int	-
OUTPUT	Σταθερά	int	-
pinMode	Εντολή	-	(pin, mode)
digitalWrite	Εντολή	-	(pin, pinstatus)
digitalRead	Συνάρτηση	int	(pin)
analogReference	Εντολή	-	(type)
analogRead	Συνάρτηση	int	(pin)
analogWrite	Εντολή	-	(pin, value)
millis	Συνάρτηση	unsigned long	()
delay	Εντολή	-	(time)
attachInterrupt	Εντολή	-	(interrupt, function, triggermode)
detachInterrupt	Εντολή	-	(interrupt)
noInterrupts	Εντολή	-	()
interrupts	Εντολή	-	()
Serial.begin	Μέθοδος κλάσης	-	(datarate)
Serial.println	Μέθοδος κλάσης	-	(data)

Κεφάλαιο 6 – Αισθητήρες υπερήχων

6.1 Εισαγωγή

Οι υπέρηχοι είναι ηχητικά κύματα με συχνότητες υψηλότερες από το ανώτερο ακουστικό όριο της ανθρώπινης ακοής. Ο υπέρηχος δεν διαφέρει από τον "κανονικό" (ακουστικό) ήχο στις φυσικές του ιδιότητες, εκτός από το ότι οι άνθρωποι δεν το ακούν. Αυτό το όριο ποικίλλει από άτομο σε άτομο και είναι περίπου 20 kilohertz (20.000 hertz) σε υγιείς νεαρούς ενήλικες. Οι συσκευές υπερήχων λειτουργούν με συχνότητες από 20 kHz έως και αρκετά gigahertz.

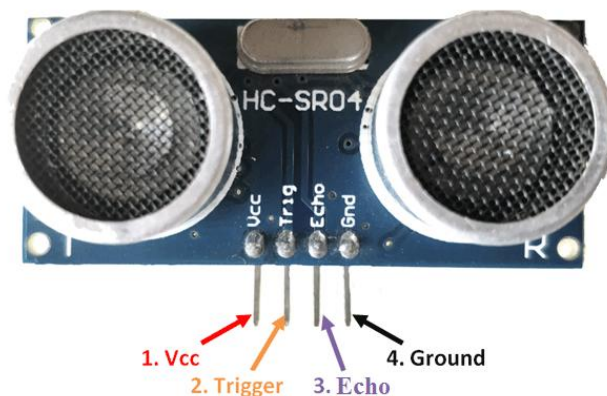


Εικόνα 6.1 Το ηχητικό φάσμα

Οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται σε πολλούς διαφορετικούς τομείς. Συσκευές υπερήχων χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση αντικειμένων και τη μέτρηση των αποστάσεων. Η απεικόνιση με υπέρηχους ή η υπερηχογράφημα χρησιμοποιείται συχνά στην ιατρική. Στη μη καταστροφική δοκιμή των προϊόντων και των δομών, χρησιμοποιείται υπερηχογράφημα για την ανίχνευση αόρατων ελαττωμάτων. Βιομηχανικά, ο υπέρηχος χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό, την ανάμειξη και την επιτάχυνση των χημικών διεργασιών. Κάποια ζώα όπως οι νυχτερίδες και οι φώκιες χρησιμοποιούν υπέρηχους για τον εντοπισμό θηραμάτων και εμποδίων.

6.2 Αισθητήρας υπερήχων HC-SR04

Ο αισθητήρας υπερήχων HC - SR04 παρέχει λειτουργία μέτρησης απόστασης χωρίς επαφή μεταξύ 2cm και 400cm, ενώ η ακρίβεια μέτρησης μπορεί να φθάσει τα 3mm.



Εικόνα 6.2 Αισθητήρας υπερήχων HC-SR04

Όπως φαίνεται παραπάνω, ο αισθητήρας υπερήχων HC-SR04 είναι μια μονάδα 4 ακροδεκτών, των οποίων τα ονόματα είναι Vcc, Trigger, Echo και Ground αντίστοιχα.

- Vcc - Ο ακροδέκτης Vcc τροφοδοτεί τον αισθητήρα, συνήθως με + 5V.
- Trigger - Αυτός είναι ο ακροδέκτης εισόδου. Αυτός ο ακροδέκτης πρέπει να διατηρηθεί σε λογικό 1 (HIGH) για 10μs, ώστε να αρχικοποιήσει τη μέτρηση στέλνοντας το κύμα των υπερήχων.
- Echo - Ο ακροδέκτης Echo είναι ο ακροδέκτης εξόδου. Αυτός ο ακροδέκτης πηγαίνει σε λογικό 1 (HIGH) για χρονική περίοδο ίση με το χρόνο που απαιτείται για το κύμα των υπερήχων να επιστρέψει πίσω στον αισθητήρα.
- Ground - Αυτός ο ακροδέκτης συνδέεται με τη γείωση του συστήματος.

Αυτός ο αισθητήρας είναι ένας πολύ δημοφιλής αισθητήρας που χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές όπου απαιτείται μέτρηση απόστασης ή εντοπισμός αντικειμένων. Το αισθητήριο έχει τον υπερηχητικό πομπό στα αριστερά και τον δέκτη στα δεξιά και λειτουργεί με τον απλό τύπο:

$$\text{Απόσταση} = \text{Ταχύτητα} \times \text{Χρόνος}$$

Ο υπερηχητικός πομπός μεταδίδει ένα υπερηχητικό κύμα το οποίο ταξιδεύει στον αέρα και όταν αντανακλά σε οποιοδήποτε υλικό επιστρέφει πίσω προς τον αισθητήρα και αυτό το ανακλώμενο κύμα παρατηρείται από τον δέκτη υπερήχων όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6.3 Αντανάκλαση υπερήχων

Για να υπολογιστεί η απόσταση χρησιμοποιώντας τον παραπάνω τύπο, θα πρέπει να είναι γνωστή η ταχύτητα και ο χρόνος. Η ταχύτητα των υπερηχητικών κυμάτων σε συνθήκες δωματίου είναι 330 m/s. Το κύκλωμα που είναι ενσωματωμένο στον αισθητήρα υπολογίζει το χρόνο που απαιτείται για να επιστρέψει το κύμα των υπερήχων και ενεργοποιεί τον

ακροδέκτη echo για αυτό το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, έτσι γνωρίζουμε το χρόνο που χρειάζεται. Τώρα η απόσταση μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση ενός μικροελεγκτή.

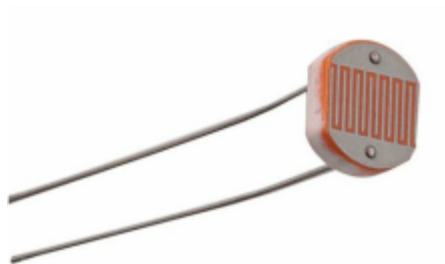
6.3 Εφαρμογές αισθητήρα υπερήχων HC-SR04

Στην τεχνολογία, ο αισθητήρας αυτός, βρίσκει αρκετές εφαρμογές, κάποιες από τις οποίες είναι:

- Για την αποφυγή και την ανίχνευση εμποδίων από ρομπότ.
- Για τη μέτρηση απόστασης στο φάσμα από 2cm έως 400cm.
- Για τη χαρτογράφηση των αντικειμένων που περιβάλλουν τον αισθητήρα περιστρέφοντάς τον σαν ραντάρ.
- Το βάθος πηγαδιών, κοιλωμάτων κ.λπ. μπορεί επίσης να μετρηθεί από τη στιγμή που τα υπερηχητικά κύματα μπορούν να διαπεράσουν το νερό.

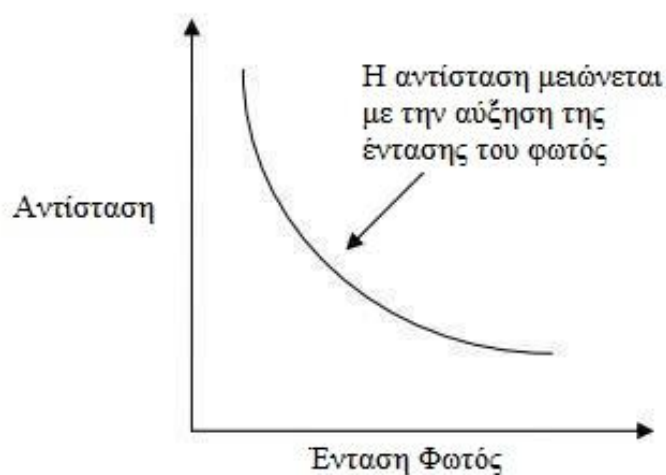
Κεφάλαιο 7 – Φωτοαντίσταση LDR

7.1 Εισαγωγή - Τι είναι μια Φωτοαντίσταση LDR (Light Dependent Resistor);



Εικόνα 7.1.1 Φωτοαντίσταση LDR.

Μια φωτοαντίσταση LDR είναι ένα ηλεκτρονικό στοιχείο που έχει μια (μεταβλητή) αντίσταση που αλλάζει ανάλογα με την ένταση του φωτός που πέφτει πάνω της. Αυτό της επιτρέπει να χρησιμοποιηθεί σε κυκλώματα ανίχνευσης φωτός.



Εικόνα 7.1.2 Γραφική παράσταση Έντασης Φωτός-Φωτοαντίστασης LDR.

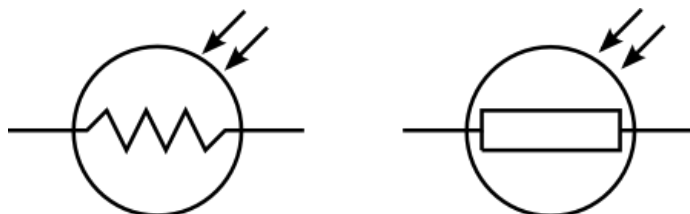
Ο συνηθέστερος τύπος LDR έχει μια αντίσταση που μειώνεται με την αύξηση της έντασης του φωτός που πέφτει πάνω στο στοιχείο (όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα).

Η αντίσταση μιας φωτοαντίστασης LDR τυπικά έχει τις ακόλουθες τιμές:

Φως της ημέρας = 5000Ω

Σκοτάδι = 20000000Ω

Επομένως, μπορούμε να δούμε ότι υπάρχει μεγάλη παρέκλιση μεταξύ αυτών των αριθμών. Αν σχεδιάσει κάποιος αυτήν την μεταβολή σε ένα γράφημα, θα έχει κάτι παρόμοιο με αυτό που φαίνεται στο γράφημα παραπάνω.



Εικόνα 7.1.3 Σύμβολο Φωτοαντίστασης LDR

7.2 Εφαρμογές Φωτοαντιστάσεων LDR.

Οι φωτοαντιστάσεις χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές. Μερικές από αυτές είναι:

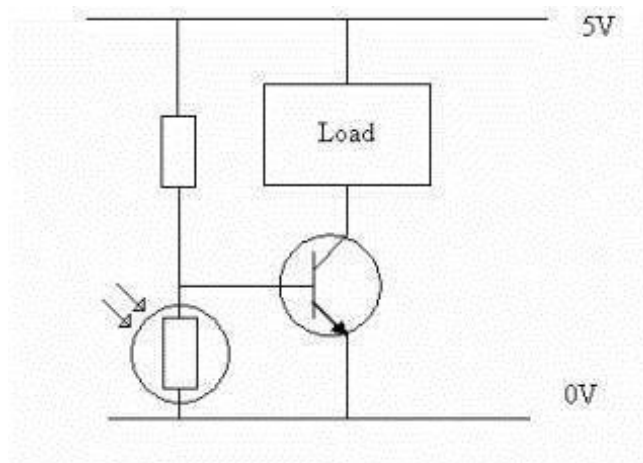
- Διακόπτης φωτιστικού

Η πιο προφανής εφαρμογή για μια φωτοαντίσταση LDR είναι για να ενεργοποιεί αυτόματα ένα φως σε ένα ορισμένο επίπεδο έντασης φωτός. Ένα παράδειγμα αυτού μπορεί να είναι μια λάμπα δρόμου ή ένα φωτιστικό κήπου.

- Έλεγχος κλείστρου κάμερας

Οι φωτοαντιστάσεις LDR μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της ταχύτητας κλείστρου σε μια φωτογραφική μηχανή. Η φωτοαντίσταση LDR μετρά την ένταση του φωτός και στη συνέχεια ρυθμίζει την ταχύτητα κλείστρου της μηχανής στο κατάλληλο επίπεδο.

7.3 Παράδειγμα - Κύκλωμα Τρανζίστορ ελεγχόμενο από Φωτοαντίσταση LDR



Εικόνα 7.2 Κύκλωμα τρανζίστορ ελεγχόμενο από φωτοαντίσταση LDR .

Το κύκλωμα που φαίνεται παραπάνω δείχνει έναν απλό τρόπο κατασκευής ενός κυκλώματος που ανάβει όταν σκοτινιάζει. Σε αυτό το κύκλωμα, η φωτοαντίσταση LDR και η άλλη αντίσταση σχηματίζουν ένα απλό κύκλωμα «διαίρεση δυναμικού», στο οποίο το κεντρικό σημείο του διαιρέτη δυναμικού τροφοδοτείται στη βάση του τρανζίστορ NPN.

Όταν η στάθμη φωτός μειώνεται, η τιμή της φωτοαντίστασης LDR αυξάνεται. Καθώς αυτή η τιμή αυξάνει σε σχέση με την άλλη αντίσταση, η οποία έχει μια σταθερή τιμή, - η οποία εξαρτάται από την χρησιμοποιούμενη φωτοαντίσταση LDR, το χρησιμοποιούμενο τρανζίστορ και την τάση τροφοδοσίας, αυξάνει επίσης και η τάση της φωτοαντίστασης LDR. Όταν αυτή η τάση είναι αρκετά μεγάλη (0.7V για ένα τυπικό NPN Transistor), θα προκαλέσει την ενεργοποίηση του Τρανζίστορ.

Κεφάλαιο 8 – Κινητήρες

8.1 Εισαγωγή

Ένας ηλεκτρικός κινητήρας είναι μια ηλεκτρική μηχανή που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια. Οι περισσότεροι ηλεκτροκινητήρες λειτουργούν μέσω της αλληλεπίδρασης μεταξύ του μαγνητικού πεδίου του κινητήρα και των ρευμάτων περιέλιξης για να παράγουν δύναμη με τη μορφή περιστροφής. Οι ηλεκτροκινητήρες μπορούν να τροφοδοτούνται από πηγές συνεχούς ρεύματος (DC), όπως από μπαταρίες, αυτοκίνητα ή ανορθωτές, ή από πηγές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), όπως ηλεκτρικό δίκτυο, μετατροπείς ή ηλεκτρικές γεννήτριες.

Οι περισσότεροι ηλεκτροκινητήρες αναπτύσσουν τη μηχανική ροπή τους μέσω της αλληλεπίδρασης των αγωγών που μεταφέρουν ρεύμα σε μια κατεύθυνση σε ορθή γωνία με ένα μαγνητικό πεδίο. Οι διάφοροι τύποι ηλεκτρικού κινητήρα διαφέρουν στους τρόπους με τους οποίους είναι διατεταγμένοι οι αγωγοί και το πεδίο και επίσης στον έλεγχο που μπορεί να ασκηθεί μέσω της μηχανικής ροπής εξόδου, της ταχύτητας και της θέσης.

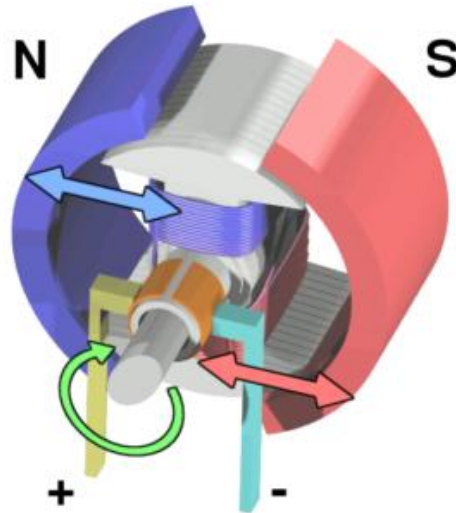
8.2 Εφαρμογές Κινητήρων

Πολλά μηχανήματα και συσκευές περιέχουν ηλεκτροκινητήρες. Παρόλο που η κίνηση που παράγεται από τον κινητήρα είναι κυκλική, οι κινητήρες μπορούν να μετακινούν αντικείμενα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Κάποιες χαρακτηριστικές συσκευές που χρησιμοποιούν κινητήρες είναι:

- Το πλυντήριο
- Το στεγνωτήριο
- Το ηλεκτρικό κατσαβίδι
- Το μίξερ
- Ο ανεμιστήρας
- Η ηλεκτρική οδοντόβουρτσα
- Τα ηλεκτρικά παράθυρα

8.3 Κινητήρας DC

Ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC) είναι μια περιστρεφόμενη ηλεκτρική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια. Ένας επαγωγέας (πηνίο) μέσα στον DC κινητήρα παράγει ένα μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί περιστροφική κίνηση καθώς εφαρμόζεται τάση συνεχούς ρεύματος στο τερματικό του. Μέσα στον κινητήρα είναι ένας σιδερένιος άξονας, τυλιγμένος σε ένα πηνίο. Αυτός ο άξονας περιέχει δύο σταθερούς, βόρειους και νότιους, μαγνήτες και στις δύο πλευρές, που προκαλεί τόσο απωστική όσο και ελκυστική δύναμη, εναλλάξ, παράγοντας ροπή στρέψης.



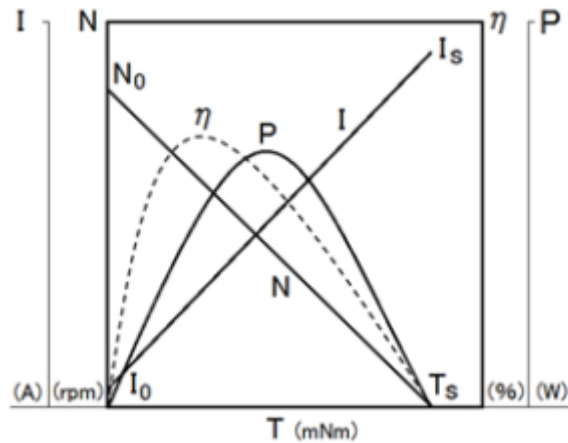
Εικόνα 8.1 Το εσωτερικό ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος (DC).

Ο κινητήρας ταχυτήτων είναι ένας συνδυασμός κινητήρα και κιβωτίου ταχυτήτων. Η προσθήκη γραναζιών σε κινητήρα μειώνει την ταχύτητα ενώ αυξάνει την ισχύ της ροπής. Οι σημαντικότερες παράμετροι των κινητήρων αυτών είναι η ταχύτητα (rpm), η ροπή (lb-in) και η απόδοση (%).



Εικόνα 8.2 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC) με γρανάζια.

Η επίδοση του κινητήρα και η επίδοση του κιβωτίου ταχυτήτων συνδυάζονται σε ένα γράφημα προβάλλοντας τρεις συγκεκριμένες παραμέτρους. Αυτές οι τρεις παράμετροι είναι η ταχύτητα, η ροπή και η απόδοση:



Εικόνα 8.3 Γράφημα απόδοσης κινητήρα συνεχούς ρεύματος (DC) με γρανάζια.

- Ταχύτητα / περιστροφές (N) - (μονάδα: rpm) υποδεικνύεται ως η ευθεία που δείχνει τη σχέση μεταξύ ροπής και ταχύτητας των κινητήρων ταχυτήτων. Αυτή η γραμμή μετατοπίζεται πλευρικά ανάλογα με την αύξηση ή τη μείωση της τάσης.
- Ρεύμα (I) - (μονάδα: A) υποδεικνύεται με ευθεία γραμμή, από το μηδενικό φορτίο έως την πλήρη λειτουργία του κινητήρα. Δείχνει τη σχέση μεταξύ έντασης και ροπής.
- Ροπή (T) - (μονάδα: gf-cm) το φορτίο που φέρεται από τον άξονα του κινητήρα και απεικονίζεται στον άξονα X.
- Η απόδοση (η) - (μονάδα:%) υπολογίζεται από τις τιμές εισόδου και εξόδου και αντιπροσωπεύεται από τη διακεκομμένη γραμμή. Για να μεγιστοποιηθεί η δυναμική των κινητήρων γραναζιών, θα πρέπει να χρησιμοποιείται κοντά στην υψηλότερη απόδοση.
- Έξοδος (P) - (μονάδα: W) η ποσότητα μηχανικής ενέργειας που βγάζει ο κινητήρας.

8.4 Οδήγηση Κινητήρων με το SN754410 H-Bridge Motor

Το SN754410 είναι ένα πρακτικό ολοκληρωμένο κύκλωμα (chip) που επιτρέπει σε κάποιον να ελέγχει την ταχύτητα και την κατεύθυνση ενός κινητήρα DC με μόνο μία έξοδο PWM και δύο ψηφιακές εξόδους από ένα Arduino.

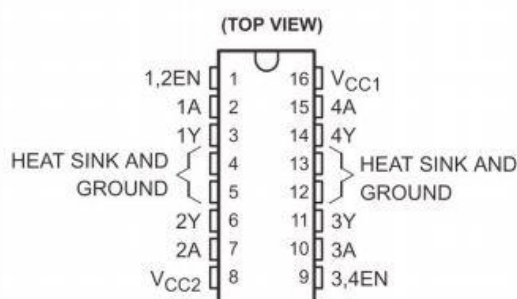


Εικόνα 8.4 Ο μικροελεγκτής SN754410 H-Bridge

Το SN754410 είναι ένας τετραπλός οδηγός υψηλού ρεύματος μισό-H που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει αμφίδρομα ρεύματα μέχρι 1A σε τάσεις από 4,5 V έως 36 V. Το chip έχει σχεδιαστεί για την οδήγηση επαγωγικών φορτίων όπως ρελέ, ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, κινητήρες DC, καθώς και άλλα φορτία υψηλής τάσης. Όλες οι εισόδους του chip είναι συμβατές με τη λογική TTL (Transistor-Transistor Logic) και χαμηλού επιπέδου λογική CMOS. Κάθε έξοδος (Y) είναι ένας οδηγός Darlington και πηγή ψευδο-Darlington.

Οι οδηγοί ενεργοποιούνται σε ζεύγη. Οι οδηγοί 1 και 2 ενεργοποιούνται από το 1,2EN και οι οδηγοί 3 και 4 ενεργοποιούνται από το 3,4EN. Όταν η είσοδος 1,2EN ή 3,4EN είναι λογικά υψηλή, ενεργοποιούνται οι αντίστοιχοι οδηγοί και οι εξοδοί τους λειτουργούν σε φάση με τις εισόδους τους. Όταν η είσοδος 1,2EN ή 3,4EN είναι λογικά χαμηλή, οι αντίστοιχοι οδηγοί τους τίθενται εκτός λειτουργίας και οι εξοδοί τους μπαίνουν σε κατάσταση υψηλής αντίστασης.

SN754410 QUADRUPLE HALF-H DRIVER



FUNCTION TABLE
(each driver)

INPUTS†		OUTPUT
A	EN	Y
H	H	H
L	H	L
X	L	Z

H = high-level, L = low-level
X = irrelevant

Z = high-impedance (off)

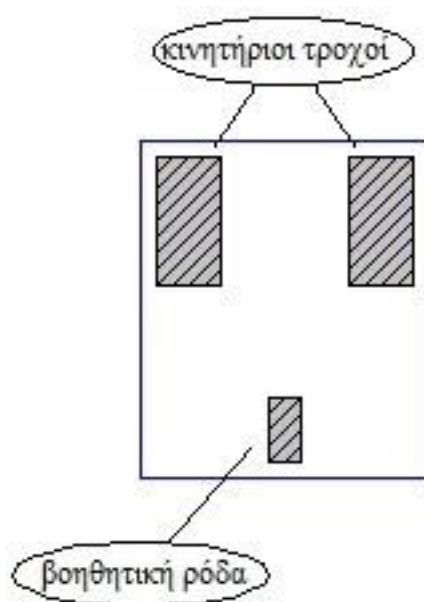
† In the thermal shutdown mode, the output is in a high-impedance state regardless of the input levels.

Εικόνα 8.5 Οι ακροδέκτες και ο πίνακας λειτουργίας για κάθε οδηγό του H-Bridge Motor Driver

Με τις σωστές εισόδους δεδομένων, το κάθε ζεύγος οδηγών δημιουργεί ένα πλήρες-H (ή γέφυρα) κατάλληλο για εφαρμογές με κινητήρες. Μια ξεχωριστή τάση τροφοδοσίας (VCC1) παρέχεται για τα κυκλώματα εισόδου και για την ελαχιστοποίηση της εξουδετέρωσης της ισχύος του microchip. Η τάση τροφοδοσίας VCC2 χρησιμοποιείται για τα κυκλώματα εξόδου. Το SN754410 είναι σχεδιασμένο για λειτουργία από -40°C έως 85°C .

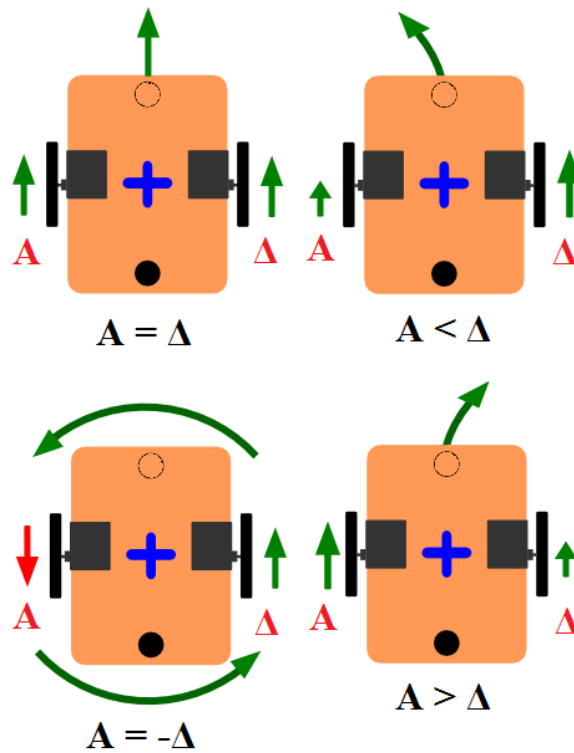
8.5 Διαφορική οδήγηση

Ο διαφορικός μηχανισμός κίνησης είναι ένα σύστημα δύο τροχών με ανεξάρτητους κινητήρες για τον κάθε τροχό. Το όνομα αναφέρεται στο γεγονός ότι το διάνυσμα κίνησης του οχήματος είναι το άθροισμα των ανεξάρτητων κινήσεων τροχού, κάτι που ισχύει και για το μηχανικό διαφορικό (ωστόσο, αυτό το σύστημα κίνησης δεν χρησιμοποιεί μηχανικό διαφορικό). Οι κινητήριιοι τροχοί τοποθετούνται συνήθως σε κάθε πλευρά του μπροστινού μέρους του οχήματος.



Εικόνα 8.6 Όχημα διαφορικής οδήγησης

Η κίνηση σε ευθεία γραμμή επιτυγχάνεται με την περιστροφή των κινητήριων τροχών με τον ίδιο ρυθμό προς την ίδια κατεύθυνση. Η περιστροφή επιτόπου (μηδενική ακτίνα στροφής) πραγματοποιείται περιστρέφοντας τους κινητήριους τροχούς με τον ίδιο ρυθμό προς την αντίθετη κατεύθυνση. Οι αυθαίρετες διαδρομές κίνησης μπορούν να υλοποιηθούν με δυναμική τροποποίηση της γωνιακής ταχύτητας και / ή της κατεύθυνσης των κινητήριων τροχών. Στην πράξη, ωστόσο, η πολυπλοκότητα μειώνεται με την εφαρμογή διαδρομών κίνησης ως εναλλασσόμενες αλληλουχίες γραμμικών μεταφράσεων και περιστροφών στο χώρο.



Εικόνα 8.7 Κινήσεις διαφορικής οδήγησης

Πλεονεκτήματα:

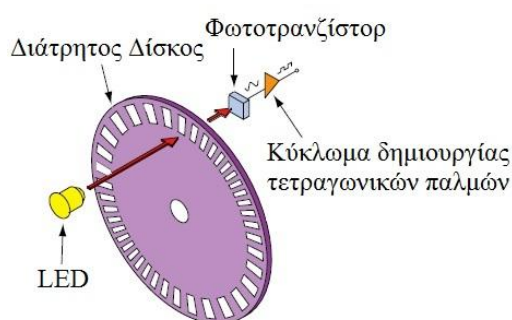
- Απλότητα - Το σύστημα διαφορικής οδήγησης είναι πολύ απλό, συχνά ο κινητήριος τροχός είναι απευθείας συνδεδεμένος με τον κινητήρα, ο οποίος συνήθως είναι ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC) με γρανάζια (gearmotor).

Μειονεκτήματα:

- Έλεγχος - Μπορεί να είναι δύσκολο να μετακινηθεί ένα ρομπότ διαφορικού κίνησης σε μια ευθεία γραμμή. Δεδομένου ότι οι κινητήριοι τροχοί είναι ανεξάρτητοι, αν δεν στρέφονται με τον ίδιο ρυθμό, το όχημα μπορεί να κλίνει προς τη μία πλευρά. Η κίνηση των κινητήρων με τον ίδιο ρυθμό είναι μια πρόκληση λόγω των μικρών διαφορών στους κινητήρες, των διαφορών τριβής στις οδοντωτές τροχαλίες και των διαφορών τριβής στη διεπαφή τροχού-εδάφους.

8.6 Ψηφιακοί Οπτικοί Κωδικοποιητές

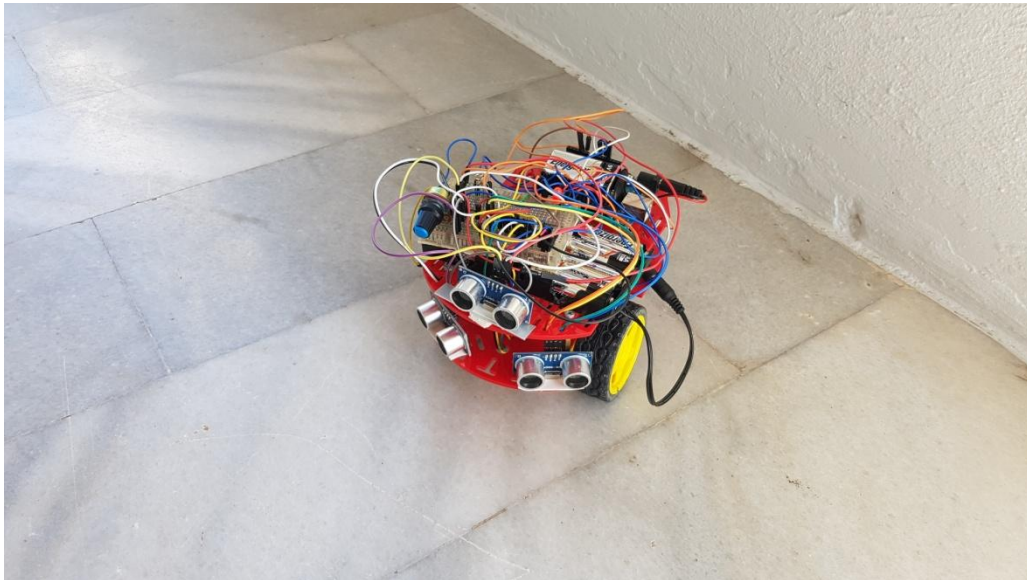
Οι οπτικοί κωδικοποιητές αποτελούνται από μία μικρή πηγή φωτός, έναν περιστρεφόμενο τροχό και ένα αισθητήρα φωτός για την αίσθηση της περιστροφής. Η καρδιά ενός κοινού κωδικοποιητή είναι ένας τροχός με σχισμές πάνω του. Ένα φωτοτρανζίστορ και ένα LED είναι τοποθετημένα σε κάθε πλευρά του τροχού, αντικριστά. Το φως της λυχνίας LED περνάει μέσα από τις σχισμές και λαμβάνεται από το φωτοτρανζίστορ, αλλά επίσης μπλοκάρεται από τις ακτίνες μεταξύ των σχισμών. Ο μικροελεγκτής μπορεί έτσι να μετρήσει τους παλμούς από το φωτοτρανζίστορ, δηλαδή το πόσες σχισμές και ακτίνες έχουν βρεθεί ανάμεσα στο LED και το φωτοτρανζίστορ και άρα, κατά συνέπεια, πόσο έχει γυρίσει ο τροχός. Γενικά, οι κωδικοποιητές είναι πιο αποτελεσματικοί για τη μέτρηση της ταχύτητας παρά της θέσης. Οι κωδικοποιητές ήταν πολύ συνηθισμένοι στα παλαιότερα ποντίκια υπολογιστών. Το σχήμα 5.8 δείχνει έναν τυπικό οπτικό κωδικοποιητή.



Εικόνα 8.8 Οπτικός Κωδικοποιητής

Κεφάλαιο 9 – Σενάρια / Συμπεριφορές οχήματος

Το όχημα όσο υπάρχει έντονος φωτισμός, ένα ακίνητο, ενώ ένα κόκκινο LED είναι αναμμένο. Εάν κάτι πλησιάσει το όχημα από εμπρός σε κάποια συγκεκριμένη απόσταση, το όχημα απομακρύνεται προς τα πίσω και σταματάει όταν φτάσει πάλι την ασφαλή απόσταση. Όταν ο φωτισμός πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο, το LED σβήνει και το όχημα ξεκινάει να κινείται προς τα εμπρός. Εάν συναντήσει εμπόδιο εμπρός, τότε στρίβει δεξιά ή αριστερά, αναλόγως με το που υπάρχει πιο πολύς χώρος να κινηθεί. Σταματάει πάλι όταν ο φωτισμός ανέβει ξανά το προκαθορισμένο όριο.



Εικόνα 9.1 Το όχημα της εργασίας

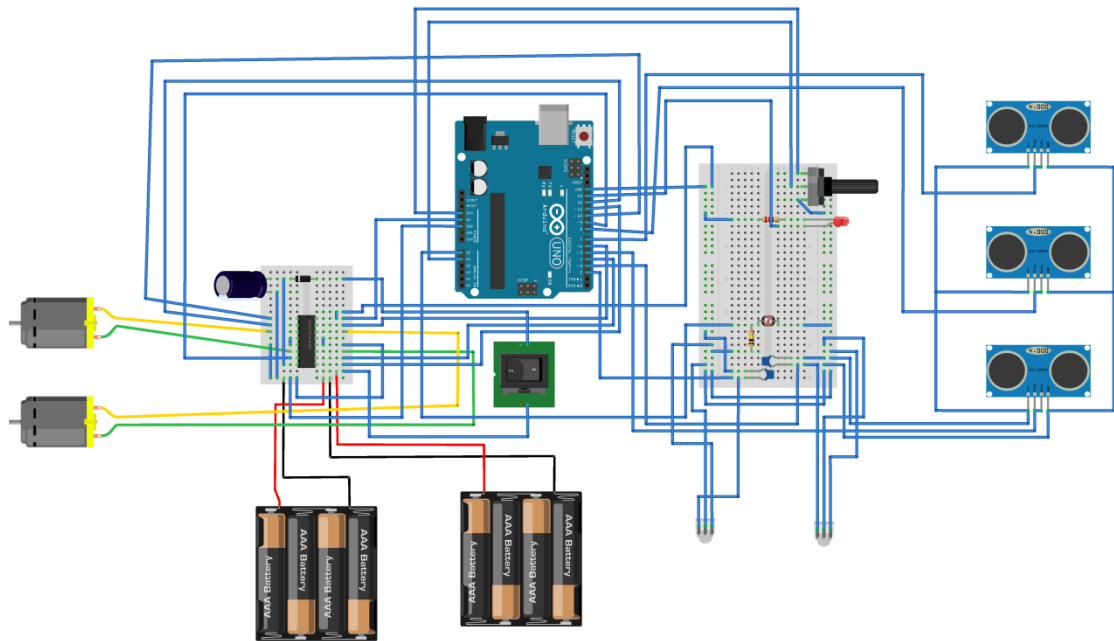
Κεφάλαιο 10 – Συμπεράσματα

Το συμπέρασμα που μπορεί να βγει από αυτή την εργασία, είναι ότι η νοημοσύνη (ανθρώπινη ή μη) μπορεί να εκπροσωπηθεί από άποψη δομών συμβόλων και συμβολικών λειτουργιών που μπορούν να προγραμματιστούν σε ψηφιακό υπολογιστή. Χωράει πολλή συζήτηση σχετικά με το κατά πόσον ένας τέτοιος κατάλληλα προγραμματισμένος υπολογιστής θα μπορούσε να θεωρηθεί ένα μυαλό ή απλώς να προσομοιώνει ένα, αλλά οι ερευνητές της τεχνητής νοημοσύνης δεν χρειάζεται να περιμένουν το συμπέρασμα αυτής της συζήτησης ούτε για τον υποθετικό υπολογιστή που θα μπορούσε να μοντελοποιήσει όλη την ανθρώπινη νοημοσύνη .

Οι πτυχές της ευφυούς συμπεριφοράς, όπως η επίλυση προβλημάτων, η εξαγωγή συμπερασμάτων ή, στην συγκεκριμένη εργασία, η αναγνώριση και αποφυγή εμποδίων, έχουν ήδη κωδικοποιηθεί ως προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών και σε κάποιους τομείς, τα προγράμματα μπορούν να φέρουν καλύτερα αποτελέσματα ακόμα και από τους ανθρώπους. Τώρα η μεγάλη πρόκληση για τις ρομποτικές συμπεριφορές είναι να βρεθεί τρόπος να αντιπροσωπευθεί η συνειδητή γνώση και εμπειρία που επιτρέπει στους ανθρώπους να διεξάγουν καθημερινές δραστηριότητες, όπως η εύρεση της σωστής πορείας σε έναν πολυσύχναστο δρόμο. Οι συμβατικοί ψηφιακοί υπολογιστές μπορεί να είναι σε θέση να εκτελούν τέτοια προγράμματα ή ίσως χρειαστεί να αναπτύξουμε νέες μηχανές ή ρομπότ που μπορούν να υποστηρίξουν την πολυπλοκότητα της ανθρώπινης συμπεριφοράς.

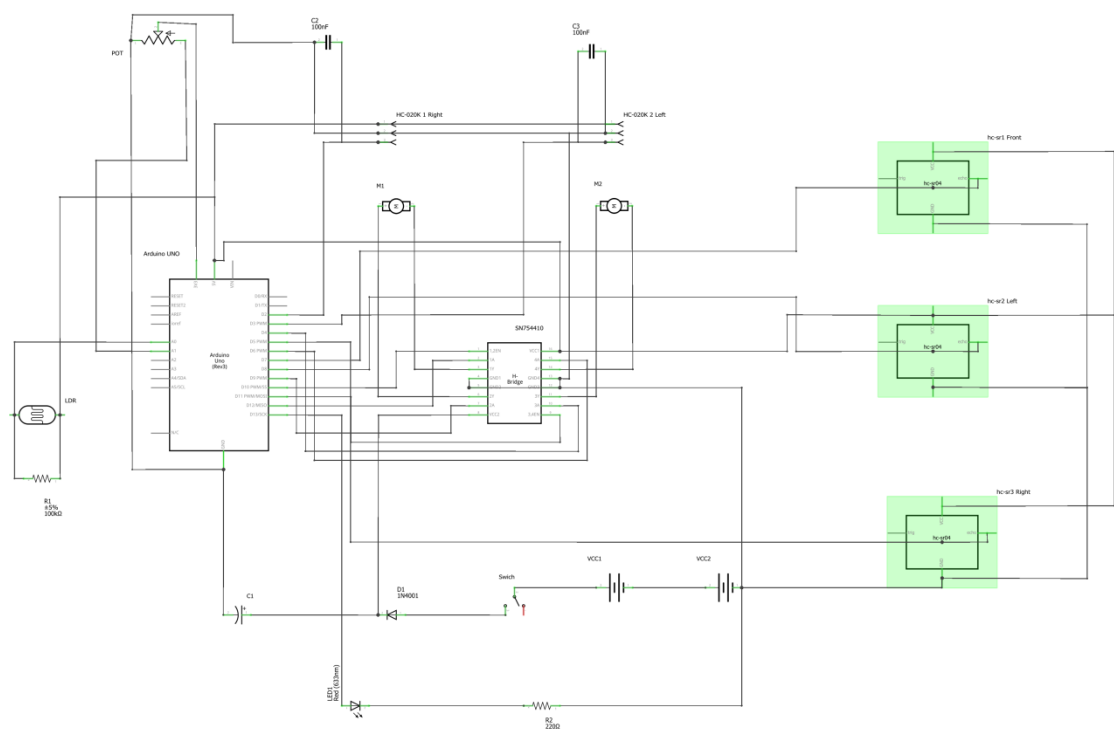
Κεφάλαιο 11 – Συνδεσμολογία Arduino

11.1 Μακέτα



fritzing

11.2 Σχηματικό



fritzing

Κεφάλαιο 12 – Προγραμματισμός Arduino

12.1 Κώδικας

```
#include <NewPing.h> // Include the NewPing library for easy use of the ultrasonic sensor.

#define TRIGGER_PIN_F 7 // Arduino pin connected to trigger pin on the Front ultrasonic sensor.
#define ECHO_PIN_F 7 // Arduino pin connected to echo pin on the Front ultrasonic sensor.(Same as trigger pin to save arduino digital pins,
since they never function at the same time.)
#define TRIGGER_PIN_L 8 // Arduino pin connected to trigger pin on the Left ultrasonic sensor.
#define ECHO_PIN_L 8 // Arduino pin connected to echo pin on the Left ultrasonic sensor.(Same as trigger pin to save arduino digital pins,
since they never function at the same time.)
#define TRIGGER_PIN_R 5 // Arduino pin connected to trigger pin on the Right ultrasonic sensor.
#define ECHO_PIN_R 5 // Arduino pin connected to echo pin on the Right ultrasonic sensor.(Same as trigger pin to save arduino digital pins,
since they never function at the same time.)
#define MAX_DISTANCE 400 // Maximum distance (in centimeters) to ping. (Maximum HC-SR04 sensor distance is rated at ~400cm)

NewPing sonar_frnt(TRIGGER_PIN_F, ECHO_PIN_F, MAX_DISTANCE); // NewPing setup of Front ultrasonic sensor pins and maximum
distance.
NewPing sonar_r(TRIGGER_PIN_L, ECHO_PIN_L, MAX_DISTANCE); // NewPing setup of Left ultrasonic sensor pins and maximum distance.
NewPing sonar_l(TRIGGER_PIN_R, ECHO_PIN_R, MAX_DISTANCE); // NewPing setup of Right ultrasonic sensor pins and maximum
distance.

int distancefCm; // The distance from the front ultrasonic sensor.
int distancelCm; // The distance from the left ultrasonic sensor.
int distancerCm; // The distance from the right ultrasonic sensor.

int leftA = 4; // Arduino pin connected to 3A. (Pin 10 of the SN754410 H-Bridge)
int leftB = 6; // Arduino pin connected to 4A. (Pin 15 of the SN754410 H-Bridge)
int rightA = 9; // Arduino pin connected to 2A. (Pin 7 of the SN754410 H-Bridge)
int rightB = 12; // Arduino pin connected to 1A. (Pin 2 of the SN754410 H-Bridge)
int enA=10; // Enables/disables right motor whether taken HIGH or LOW.(Used for controlling the supplied power to the motors too with pwm)
int enB=11; // Enables/disables left motor whether taken HIGH or LOW. (Used for controlling the supplied power to the motors too with pwm)

int vel = 0; // Engine speed. (0-255)
int potvalue = analogRead(1); // Potentiometer connected to Pin A1 to control the power supplied to the motors.

int diff=1; // variable to compare speed of two morors.

//Constants for the HC-020K encoders (with 100nF capacitor):
int encoder_pin_r = 2; // The Arduino pin the right encoder is connected.
int encoder_pin_l = 3; // The Arduino pin the left encoder is connected.
unsigned int rpm1; // The Rotations Per Minute of the left motor.
unsigned int rpm2; // The Rotations Per Minute of the right motor.
volatile byte pulses1; // The number of pulses of the left sensor.
volatile byte pulses2; // The number of pulses of the right sensor.
unsigned long timeold;
unsigned int pulsespertum = 20; // The number of pulses per revolution. (It depends on the index disc holes)

//Constants for the photoresistor:
const int pResistor = A0; // Photoresistor connected to Arduino pin A0.
const int ledPin=13; // Led pin connected to Arduino pin 9.
int value; // Store value from photoresistor. (0-1023)

//Counters to sum the pulses of the encoders:
void counter1()
{
  //Update count
  pulses1++;
}

void counter2()
{
  //Update count
  pulses2++;
}

//Routine to stop the motors:
void halt(){

  analogWrite(enA, 0);
  analogWrite(enB, 0);

  digitalWrite(rightA, LOW);
  digitalWrite(leftA, LOW);
  digitalWrite(rightB, LOW);
  digitalWrite(leftB, LOW);
}

//Routine to drive straight:
```

```

void drive(){

  potvalue = analogRead(1); // Potentiometer connected to Pin A1
  vel = map(potvalue, 0, 700, 0, 255); // Maps the pot between 0 and 255.

  analogWrite(enA, vel+2); // More power to right motor for keeping on moving straight.
  analogWrite(enB, vel); // Power to the left motor.

  digitalWrite(rightA, HIGH); // Drive Straight
  digitalWrite(leftA, HIGH);
  digitalWrite(rightB, LOW);
  digitalWrite(leftB, LOW);
}

//Routine to drive fast:
void drivefast(){

  analogWrite(enA, 200+2); // More power to right motor for keeping on moving straight.
  analogWrite(enB, 200); // Power to the left motor.

  digitalWrite(rightA, HIGH); // Drive Straight
  digitalWrite(leftA, HIGH);
  digitalWrite(rightB, LOW);
  digitalWrite(leftB, LOW);
}

//Routine to spin left:
void spin_left(){

  potvalue = analogRead(1); // Potentiometer connected to Pin A1
  vel = map(potvalue, 0, 700, 0, 255); // Maps the pot between 0 and 255.

  analogWrite(enA, vel+2); // More power to right motor for keeping on moving straight.
  analogWrite(enB, vel); // Power to the left motor.

  digitalWrite(rightA, HIGH); // Spin Left
  digitalWrite(leftA, LOW);
  digitalWrite(rightB, LOW);
  digitalWrite(leftB, HIGH);
}

//Routine to spin right:
void spin_right(){

  potvalue = analogRead(1); // Potentiometer connected to Pin A1
  vel = map(potvalue, 0, 700, 0, 255); // Maps the pot between 0 and 255.

  analogWrite(enA, vel+2); // More power to right mitor for keeping on moving straight.
  analogWrite(enB, vel); // Power to the left motor.

  digitalWrite(rightA, LOW); // Spin Right
  digitalWrite(leftA, HIGH);
  digitalWrite(rightB, HIGH);
  digitalWrite(leftB, LOW);
}

//Routine to spin 90 degrees left (Delay depends on vel. E.g. vel=73-delay=500)
void spin_90_degrees_left(){

  potvalue = analogRead(1); // Potentiometer connected to Pin A1
  vel = map(potvalue, 0, 700, 0, 255); // Maps the pot between 0 and 255.

  analogWrite(enA, vel); // Power to the right motor.
  analogWrite(enB, vel); // Power to the left motor.

  digitalWrite(rightA, HIGH); // Spin Left
  digitalWrite(leftA, LOW);
  digitalWrite(rightB, LOW);
  digitalWrite(leftB, HIGH);

  delay (500); // Wait until 90 degrees rotation is completed.
}

//Routine to spin 90 degrees right (Delay depends on vel. E.g. vel=73-delay=500)
void spin_90_degrees_right(){

  potvalue = analogRead(1); // Potentiometer connected to Pin A1
  vel = map(potvalue, 0, 700, 0, 255); // Maps the pot between 0 and 255.

  analogWrite(enA, vel); // Power to the right motor.
  analogWrite(enB, vel); // Power to the left motor.

  digitalWrite(rightA, LOW); // Spin Right
  digitalWrite(leftA, HIGH);
  digitalWrite(rightB, HIGH);
  digitalWrite(leftB, LOW);
}

```

```

    delay (500); // Wait until 90 degrees rotation is completed.
}

// Routine to move backwards:
void back_off(){

    potvalue = analogRead(1); // Potentiometer connected to Pin A1
    vel = map(potvalue, 0, 700, 0, 255); // Maps the pot between 0 and 255.

    analogWrite(enA, vel+2); // More power to right motor for keeping on moving straight.
    analogWrite(enB, vel); // Power to the left motor.

    digitalWrite(rightA, LOW); // Reverse
    digitalWrite(leftA, LOW);
    digitalWrite(rightB, HIGH);
    digitalWrite(leftB, HIGH);

}

// Routine to move backwards fast:
void back_off_fast(){

    analogWrite(enA, 200+2); // More power to right motor for keeping on moving straight.
    analogWrite(enB, 200); // Power to the left motor.

    digitalWrite(rightA, LOW); // Reverse
    digitalWrite(leftA, LOW);
    digitalWrite(rightB, HIGH);
    digitalWrite(leftB, HIGH);

}

//Routine to contol straight drive:
void drive_straight()
{
    potvalue = analogRead(1); // Potentiometer connected to Pin A1
    vel = map(potvalue, 0, 700, 0, 255); // Maps the pot between 0 and 255.

    analogWrite(enA, vel); // Power to the right motor.
    analogWrite(enB, vel); // Power to the left motor.

    digitalWrite(rightA, HIGH); // Drive Straight
    digitalWrite(leftA, HIGH);
    digitalWrite(rightB, LOW);
    digitalWrite(leftB, LOW);

    if ((pulses2 - pulses1) > diff) {
        // Tending to the right. Turn right motor on, left motor off.
        digitalWrite(enA, HIGH);
        digitalWrite(enB, LOW);
    }
    else if ((pulses1 - pulses2) > diff) {
        // Tending to the left. Turn left motor on, right motor off.
        digitalWrite(enA, LOW);
        digitalWrite(enB, HIGH);
    }
    else {
        // Continue moving straight.
        digitalWrite(enA, HIGH);
        digitalWrite(enB, HIGH);
    }
}

void look_ahead(){

    if (distanceCm >= 400 || distanceCm <= 2) {
        Serial.println ("No obstacle detected. going forward");
        delay (15);

        drive();

    }

    else if (distanceCm < 40 && distanceCm > 2)/*if there's an obstacle 40 centimers, ahead, do the following: */ {

        if (distancelCm >= distancerCm){

            Serial.println ("Close Obstacle ahead detected!");
            Serial.println ("Obstacle Details:");
            Serial.print ("Distance From Obstacle Ahead is ");
            Serial.print ( distanceCm);
            Serial.print ( " CM!"); // print out the distance ahead in centimeters.

            Serial.println (" The obstacle is declared a threat due to close distance. ");
            Serial.println (" Stopping and Turning !");

```

```

spin_90_degrees_left();// if the distance from the left ultrasonic sensor is bigger, turn left.
}

else {
spin_90_degrees_right();// if the distance from the right ultrasonic sensor is bigger, turn right.
}

}

else{

Serial.println ("No obstacle detected. going forward");
delay (15);

drive();

}
}

void look_ahead_fast(){

if (distanceCm >= 400 || distanceCm <= 2) {
Serial.println ("No obstacle detected. going forward");
delay (15);

drivefast();

}

else if (distanceCm < 40 && distanceCm > 2)*if there's an obstacle 40 centimeters, ahead, do the following: */ {

if (distancelCm >= distancerCm){

Serial.println ("Close Obstacle ahead detected!" );
Serial.println ("Obstacle Details:");
Serial.print ("Distance From Obstacle Ahead is " );
Serial.print ( distanceCm);
Serial.print ( " CM!");// print out the distance ahead in centimeters.

Serial.println (" The obstacle is declared a threat due to close distance. ");
Serial.println (" Stopping and Turning !");

spin_90_degrees_left();// if the distance from the left ultrasonic sensor is bigger, turn left.
}

else {
spin_90_degrees_right();// if the distance from the right ultrasonic sensor is bigger, turn right.
}

}

else{

Serial.println ("No obstacle detected. going forward");
delay (15);

drivefast();

}
}

void look_left(){

if (distancelCm >= 400 || distancelCm <= 2) {
Serial.println ("No obstacle detected. going forward");
delay (15);

drive();

}

else if (distancelCm < 20 && distancelCm > 2)*if there's an obstacle 20 centimeters from the left, do the following: */ {
Serial.println ("Close Obstacle detected!" );
Serial.println ("Obstacle Details:");
Serial.print ("Distance From Robot from left is " );
Serial.print ( distancelCm);
Serial.print ( " CM!");// print out the distance in centimeters.

Serial.println (" The obstacle is declared a threat due to close distance. ");
Serial.println (" Stopping and Turning Right!");

spin_90_degrees_left();
}

else{

```



```

Serial.println ("No obstacle detected. going forward");
delay (15);

drive();

}

}

void look_right(){

if (distancerCm >= 400 || distancerCm <= 2) {
  Serial.println ("No obstacle detected. going forward");
  delay (15);

  drive();

}

else if (distancerCm < 20 && distancerCm > 2){/*if there's an obstacle 20 centimeters from the right, do the following: */ {
Serial.println ("Close Obstacle detected!");
Serial.println ("Obstacle Details:");
Serial.print ("Distance From Robot from right is " );
Serial.print ( distancerCm);
Serial.print ( " CM!");// print out the distance in centimeters.

Serial.println (" The obstacle is declared a threat due to close distance. ");
Serial.println (" Stopping and Turning Left!");

  spin_90_degrees_right();
  }

else{

Serial.println ("No obstacle detected. going forward");
delay (15);

drive();
}
}

void encoders(){

  if (millis() - timeold >= 1000){ /*Update every one second, this will be equal to reading frequency (Hz).*/

//Don't process interrupts during calculations
detachInterrupt(0);
detachInterrupt(1);

//Note that this would be 60*1000/(millis() - timeold)*pulses if the interrupt
//happened once per revolution
rpm1 = (60 * 1000 / pulsesperturn )/ (millis() - timeold)* pulses1;
rpm2 = (60 * 1000 / pulsesperturn )/ (millis() - timeold)* pulses2;
timeold = millis();
pulses1 = 0;
pulses2 = 0;

//Write it out to serial port
Serial.print("RPM of right motor = ");
Serial.print(rpm1,DEC);
Serial.print(" RPM of left motor = ");
Serial.println(rpm2,DEC);

//Restart the interrupt processing
attachInterrupt(0, counter1, FALLING);
attachInterrupt(1, counter2, FALLING);
}
}

void lights(){

value = analogRead(pResistor);

//Serial.println(value);

//value "600" can be changed according to the following note.

/* Note

Flashlight:930
Lights on: 845
Semi-light:400
Lights off:195
*/

```

```

if (value < 600){

    digitalWrite(ledPin, LOW); //Turn led off

    look_ahead();
    look_right();
    look_left();

}

else{

    if (distanceCm >= 400 || distanceCm <= 1) {
        Serial.println("Out of range");
        digitalWrite(ledPin, HIGH); //Turn led on
        halt();
    }

    else if (distanceCm < 20)/*if there's an obstacle 20 centimeters, ahead, do the following: */ {
        digitalWrite(ledPin, LOW); //Turn led off
        Serial.println ("Close Obstacle detected!");
        Serial.println ("Obstacle Details:");
        Serial.print ("Distance From Robot is " );
        Serial.print ( distanceCm);
        Serial.print ( " CM!");// print out the distance in centimeters.

        Serial.println (" The obstacle is declared a threat due to close distance. ");
        Serial.println (" BACKING OFF !");

        //back off fast
        analogWrite(enA, 200+2); // More power to right motor for keeping on moving straight.
        analogWrite(enB, 200); // Power to the left motor.

        digitalWrite(rightA, LOW); // Reverse
        digitalWrite(leftA, LOW);
        digitalWrite(rightB, HIGH);
        digitalWrite(leftB, HIGH);

        delay(1000);

        if (distanceCm >= distanceCm){ // if the distance from the left ultrasonic sensor is bigger, turn left.

            analogWrite(enA, 150); // Power to the right motor.
            analogWrite(enB, 150); // Power to the left motor.

            digitalWrite(rightA, HIGH); // Spin Left
            digitalWrite(leftA, LOW);
            digitalWrite(rightB, LOW);
            digitalWrite(leftB, HIGH);

            delay (1000); // Wait until 90 degrees rotation is completed.

        }

        else { // if the distance from the right ultrasonic sensor is bigger, turn right.

            analogWrite(enA, 150); // Power to the right motor.
            analogWrite(enB, 150); // Power to the left motor.

            digitalWrite(rightA, LOW); // Spin Right
            digitalWrite(leftA, HIGH);
            digitalWrite(rightB, HIGH);
            digitalWrite(leftB, LOW);

            delay (1000); // Wait until 90 degrees rotation is completed.

        }

        //drive fast
        drivefast();

        delay(2000);

        halt();

    }

    else {
        digitalWrite(ledPin, HIGH); //Turn led on
        halt();
    }
}

```

```

}
}

}

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  pinMode(rightA, OUTPUT); // Set rightA pin as an output.
  pinMode(rightB, OUTPUT); // Set rightB pin as an output.
  pinMode(leftA, OUTPUT); // Set leftA pin as an output.
  pinMode(leftB, OUTPUT); // Set leftB pin as an output.

  analogWrite(rightA, 0); // Stops the Motors.
  analogWrite(leftA, 0);
  analogWrite(rightB, 0);
  analogWrite(leftB, 0);

  pinMode(ledPin, OUTPUT); // Set ledPin - pin 13 as an output.
  pinMode(pResistor, INPUT); // Set pResistor - pin A0 as an input. (optional)

  //Use statusPins to flash along with interrupts
  pinMode(encoder_pin_r, INPUT);
  pinMode(encoder_pin_l, INPUT);

  //Interrupt 0 is digital pin 2, so that is where the right IR detector is connected
  //Triggers on FALLING (change from HIGH to LOW)
  attachInterrupt(0, counter1, FALLING);

  //Interrupt 1 is digital pin 3, so that is where the left IR detector is connected
  //Triggers on FALLING (change from HIGH to LOW)
  attachInterrupt(1, counter2, FALLING);

  // Initialize
  pulses1 = 0;
  rpm1 = 0;

  pulses2 = 0;
  rpm2 = 0;

  timeold = 0;

}

void loop() {

  distanceCm=sonar_frnt.ping_cm(); //sets distanceCm to the distance from the front ultrasonic sensor.
  distanceCm=sonar_l.ping_cm(); //sets distanceCm to the distance from the left ultrasonic sensor.
  distanceCm=sonar_r.ping_cm(); //sets distanceCm to the distance from the right ultrasonic sensor.

  encoders();

  lights();

}

```

Βιβλιογραφία

1. “*Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*” του Valentino Braitenberg.
2. “*Behavior Based Robotics*” του Ronald C Arkin.
3. “*I Robot*” του Isaac Asimov.
4. “*Physical Computing*” των Dan O’Sullivan και Tom Igoe.
5. “*Autonomous Land Vehicles*” των Karsten Berns και Ewald von Puttkamer.
6. “*Springer Handbook of Robotics*” των Bruno Sicilian και Oussama Khatib.
7. “*Behavior Coordination Mechanisms*” του Paolo Pirjanian.
8. “*The Robotics Primer*” της Maja J Mataric.
9. “*Introduction to Autonomous Mobile Robots*” των Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh και Davide Scaramuzza.
10. “*Discrete and Continuous Simulation - Theory and Practice*” των Susmita Bandyopadhyay και Ranjan Bhattacharya.
11. “*Bio-Inspired Artificial Intelligence*” των Dario Floreano και Claudio Mattiussi
12. Περιοδικό “*ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΕΣ*”, Τεύχος 96, Σεπτέμβριος 2005.
13. <https://mars.nasa.gov>
14. <https://www.robotics.org>
15. <https://www.arduino.cc>
16. <https://en.wikipedia.org/>
17. <https://playground.arduino.cc>
18. <https://core-electronics.com.au>
19. <https://www.open-electronics.org>
20. <https://learn.sparkfun.com>
21. <https://components101.com>
22. <https://gregorykelleher.com>
23. <http://fritzing.org>
24. <https://www.britannica.com>
25. <https://www.islproducts.com>
26. <http://www.ti.com/>
27. <https://groups.csail.mit.edu>
28. <https://www.cs.bham.ac.uk>