

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής

Πτυχιακή εργασία

Κατασκευή ρομποτικού οχήματος με δυνατότητα αποφυγής εμποδίων

Αθανασάκη Δέσποινα

Επιβλέπων καθηγητής: Παναγιωτάκης Σπυρίδων



2015

Σύνοψη

Κάνοντας μία εισαγωγή στα ρομπότ και σε έννοιες τις ρομποτικής, το παρόν έγγραφο εξετάζει μια λύση χαμηλού κόστους για την δημιουργία ενός κινητού ρομπότ με δυνατότητα αποφυγής εμποδίων. Αυτό το έγγραφο παρουσιάζει επίσης ένα δυναμικό αλγόριθμο διεύθυνσης, που εξασφαλίζει ότι το ρομπότ δεν χρειάζεται να σταματήσει μπροστά σε ένα εμπόδιο το οποίο μπορεί να προσπεραστεί ώστε να πλοηγηθεί ομαλά σε ένα άγνωστο περιβάλλον, αποφεύγοντας τις συγκρούσεις. Η στρατηγική αποφυγής εμποδίων και η λειτουργία του ρομπότ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ανίχνευση των εμποδίων από τους αισθητήρες και την αντίστοιχη απόκριση του ρομπότ. Η στρατηγική αποφυγής εμποδίων, η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων, ο περιορισμό χρήσης τους και ο αλγόριθμος αποφυγής εμποδίων περιγράφονται λεπτομερώς.

Abstract

Making an introduction to robots and robotic concepts, this paper deals with a low cost solution to obstacle avoidance for a mobile robot. This paper also presents a dynamic steering algorithm which ensures that the robot doesn't have to stop in front of an obstacle which can be overturned in order to navigate smoothly in an unfamiliar environment, avoiding collisions. The strategy of avoiding movements and the operation of the robot greatly depends on the detection of obstacles by the sensors and the corresponding response of the robot. The obstacle avoidance strategy, the operating principle of the sensors, their usage restrictions and the obstacle avoidance algorithm are described in detail.

Περιεχόμενα

Σύνοψη	1
Abstract	3
Περιεχόμενα	4
Λίστα εικόνων	8
§ 1	8
§ 2	8
§ 3	9
§ 4	10
§ 5	11
§ 6	11
§.1 Εισαγωγή	14
1.1 Αναφορά στα ρομπότ	14
1.2 Εισαγωγή στα τροχοφόρα κινητά ρομπότ	18
§.2 Γνωρίζοντας τα Robots	20
2.1 Ποιο είναι το πρώτο πράγμα που έρχεται στο μυαλό όταν σκέφτεστε ένα ρομπότ;	20
2.2 Τι είναι Robot;	21
2.3 Γενικές πληροφορίες για τα ρομπότ	23
2.4 Ιστορία	24
2.4.1 Αρχικά	24
2.4.2 Ανθρωποειδή Robots	27
2.4.3 Σύγχρονα αυτόνομα Robots	28
2.5 Ετοιμολογία	29
2.6 Τα Robots σήμερα	32
2.6.1 Κινούμενα robots (mobile robots)	32
2.6.2 Βιομηχανικά ρομπότ (Industrial robots)	33
2.6.3 Robot υπηρεσιών (Service robot)	33

2.6.4 Εκπαιδευτικά ρομπότ (Educational robot)	34
2.6.5 Αρθρωτά ή σπονδυλωτά ρομπότ (Modular robot)	35
2.6.6 Συνεργατικά ή συλλογικά ρομπότ (Collaborative Robots)	36
2.7 Τα Ρομπότ στην κοινωνία	37
2.7.1 Αυτονομία και ηθικά ερωτήματα	38
2.7.2 Στρατιωτικά Robots	39
2.7.3 Η σχέση των Robots με την ανεργία	41
2.8 Σύγχρονες χρήσεις	43
2.8.1 Αυτόνομα Robots γενικής χρήσης	43
2.8.2 Factory robots	44
2.8.3 Χρήση Ρομπότ στην εξόρυξη μετάλλων	47
2.8.4 Robot στην υγεία (Healthcare)	47
2.8.5 Ερευνητικά robots	48
2.9 Το μέλλον της ρομποτικής	52
2.9.1 Τεχνολογική ανάπτυξη	53
2.9.2 Νέες λειτουργίες και ικανότητες	53
§.3 Αυτοκινούμενα τροχοφόρα ρομπότ	56
3.1 Κίνηση (locomotion)	56
3.1.1 Βασικά θέματα κίνησης	57
3.2 Κινούμενα ρομπότ με σκέλη	58
3.2.1 Σχηματισμός σκελών και στατικότητα	59
3.2.2 Παραδείγματα αρθρωτών ρομπότ κίνησης	60
3.3 Τροχοφόρο ρομπότ	64
3.3.1 Τροχοφόρα οχήματα: σχεδιασμός	65
3.3.2 Κίνηση τροχών: μελέτη περιπτώσεων	72
3.3.3 Walking wheels (Τροχοί που βαδίζουν)	75
3.4 Αισθητήρες για ρομπότ	75
3.4.1 Ταξινόμηση αισθητήρων	76
3.4.2 Αισθητήρες Τροχού/κινητήρα	78
3.4.3 Αισθητήρες κατεύθυνσης	79
3.4.4 Αισθητήρες κίνησης / ταχύτητας	83
3.4.5 Αισθητήρες με βάση την όραση (Vision-based)	83

3.4.6 Στατιστική απεικόνιση και μετάδοση σφαλμάτων	84
3.4.7 Εξαγωγή παραμέτρων	88
§.4 Εντοπισμός & Πλοήγηση των ρομπότ	92
4.1 Η πρόκληση του Εντοπισμού	92
(θόρυβος & ομαλοποίηση)	92
4.1.1 Θόρυβος αισθητήρων	93
4.1.2 Εξομάλυνση αισθητήρων	95
4.1.3 Επίδραση θορύβου	96
4.2 Απεικόνιση	98
4.2.1 Πεποίθηση ενιαίας υπόθεσης απεικόνισης (Single-hypothesis belief)	98
4.2.2 Πεποίθηση πολλών υποθέσεων	100
4.3 Σχεδιασμός διαδρομής και πλοήγηση	101
4.3.2 Πλοήγηση	104
4.3.2 Δύο Σύγχρονα Συστήματα	106
§.5 Υλοποίηση του ρομποτικού οχήματος με χρήση Arduino	110
5.1 Τι είναι το Arduino;	110
5.1.1 Μικροελεγκτής - η καρδιά του Arduino	111
5.1.2 Είσοδοι – Έξοδοι	112
5.1.3 Τροφοδοσία	115
5.1.4 Ενσωματωμένα κουμπιά και LED	116
5.1.5 Arduino IDE και σύνδεση με τον υπολογιστή	117
5.1.6 Γλώσσα προγραμματισμού	118
5.1.7 Shields	120
5.2 Υλοποίηση οχήματος βήμα – βήμα	122
5.2.1 Παράμετροι υλοποίησης	123
5.2.2 Λίστα στοιχείων υλοποίησης	123
5.3 Υλοποίηση με Arduino microcontroler	124
5.3.1 Έλεγχος κινητήρων	125
5.3.2 Αισθητήρας εμβέλειας	128
5.3.3 Αισθητήρας υπερύθρων IR	130
5.3.4 Bluetooth επικοινωνία	131
5.3.5 Ολοκλητωμένο διάγραμμα σύνδεσης του οχήματος	134

5.3.6 Οι λεπτομερείς αναθέσεις των pin για όλα τα modules _____	135
5.3.7 Ο κώδικας υλοποίησης της εφαρμογής για την αποφυγή εμποδίων με σχόλια _____	136
5.3.8 IP Camera _____	140
§.6 Εφαρμογές των αυτόνομων ρομπότ και _____	144
μελλοντική επέκταση. _____	144
6.1 Γιατί είναι σημαντικό ρομποτικά οχήματα; _____	145
6.2. Προκλήσεις στην έρευνα _____	150
6.3 Διεθνής έρευνα _____	152
6.3.1 Έρευνα για Ρομποτικά Οχήματα - Ηνωμένες Πολιτείες _____	153
6.3.2 Έρευνα για Ρομποτικά Οχήματα - Ιαπωνία και Νότια Κορέα _____	157
6.3.3 Έρευνα για Ρομποτικά Οχήματα - Ευρώπη _____	159
Βιβλιογραφία _____	164
Διαδικτυακά άρθρα και πηγές _____	164
PAPERS _____	165
Παράρτημα _____	168
1. Grey Goo _____	168
2. Φερρορευστά υλικά (Ferrofluid) _____	168
3. DOF (Degrees of freedom) _____	168
4. Ολονομικά συστήματα _____	169
5. Φαινόμενο Hall _____	170
6. Ιξώδες απόσβεση _____	170
7. Φαινόμενο Doppler _____	171
8. Coarse _____	172
9. Dead- reckoning _____	172
10. Βηματικός κινητήρας _____	172
11. MCU _____	173

Λίστα εικόνων

§ 1

Εικόνα 1.0 1: <i>Goddard Celebrates Curiosity's Landing</i> _____	14
Εικόνα 1.0 2 <i>Pioneer is a remote reconnaissance system for structural</i> _____	15
Εικόνα 1.0 3 <i>KHEPERA is a small mobile robot for research and education</i> _____	16
Εικόνα 1.0 4 <i>Alice is one of the smallest fully autonomous robots.</i> _____	16
Εικόνα 1.0 5 <i>Reference control scheme for mobile robot systems used throughout this book.</i> _____	17

§ 2

Εικόνα 2. 1 <i>Robot Mars Rover:σε αποστολή για την εξερεύνηση του κόκκινου πλανήτη & το ηλεκτρονικό παιχνίδι Tekno the Robotic Purpy</i> _____	20
Εικόνα 2. 2 <i>ASIMO (2000) ένα δίποδο ανθρωποειδές & το τετράποδο στρατιωτικό ρομπότ cheetah το γρηγορότερο ρομπότ με πόδια μέχρι το 2012</i> _____	23
Εικόνα 2. 3 <i>Τάλως, ο μυθικός φύλακας της Κρήτης</i> _____	25
Εικόνα 2. 4 <i>Το μοντέλο του Leonardo's Robot και η εσωτερική του λειτουργία όπως φαίνεται σε μουσείο του Βερολίνου</i> _____	26
Εικόνα 2. 5 <i>Τα 3 αυτόματα του Vaucanson's, Ο φλαουτίστας, ο ταμπουρίστας και η πάπια.</i> _____	27
Εικόνα 2. 6 <i>The Robots of Westinghouse: Ο Roy Wensley με το Televox του & ο Elektro the Moto-Man με τον σκύλο του Sparko</i> _____	28
Εικόνα 2. 7 <i>Elmer-Elsie Robot</i> _____	29
Εικόνα 2. 8 <i>Σκηνή από το θεατρικό R.U.R(Rossum's Universal Robots) του Karel Čapek, δείχνει τρία ρομπότ</i> _____	30
Εικόνα 2. 9 <i>Dr. Isaac Asimov 1965 και το έργο του I,Robot ο πρώτος από τους Τρεις νόμους τις Ρομποτικής</i> _____	31
Εικόνα 2. 10 <i>Pull-Push transport AVG για meter box</i> _____	32
Εικόνα 2. 11 <i>Ένα Pick -and- Place Robot εν ώρα εργασίας</i> _____	33
Εικόνα 2. 12 <i>Robot Vacuum (ηλεκτρική σκούπα)</i> _____	34
Εικόνα 2. 13 <i>Η χελώνα (The turtle) ελέγχεται μέσω της θύρας RS-232 από pc με τη γλώσσα LOGO</i> _____	34
Εικόνα 2. 14 <i>Το αρθρωτό ρομπότ ASERDO</i> _____	35
Εικόνα 2. 15 <i>Ρομποτικό μηχάνημα λαπαροσκοπικής χειρουργικής</i> _____	36
Εικόνα 2. 16 <i>Το συνεργατικό ρομπότ Baxter</i> _____	37
Εικόνα 2. 17 <i>Ο Τορίο, ένα ανθρωποειδές ρομπότ στη διεθνή έκθεση (IREX) το 2009 στο Τόκυο</i> _____	39
Εικόνα 2. 18 <i>Armed Predator drone</i> _____	40

Εικόνα 2. 19 Στρατιωτικό E.A.T.R	41
Εικόνα 2. 20 Ένα ανθρωποειδές σχεδιασμένο για να κρατάει συντροφιά και να φροντίζει ανθρώπους. Κάποιοι το βρίσκουν ελκυστικό ενώ άλλοι αποκρουστικό.	42
Εικόνα 2. 21 Ρομπότ γενικού σκοπού το οποίο λειτουργεί σαν ενημερωτικός	44
Εικόνα 2. 22	45
Εικόνα 2. 23 Automotive industry	45
Εικόνα 2. 24 Ρομπότ συσκευασίας	46
Εικόνα 2. 25 Ρομπότ δημιουργίας ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με την μέθοδο pick-and-place	46
Εικόνα 2. 26 Τα ρομποτικά φορτηγά-οχήματα komatsu	47
Εικόνα 2. 27 Το Ρομπότ παροχής φροντίδας FRIEND	48
Εικόνα 2. 28 BionicKangaroo-energy-efficient jump kinetics βασισμένο σε φυσικό μοντέλο.	49
Εικόνα 2. 29 Nano-robot επιδρά σε αιμοπετάλια	50
Εικόνα 2. 30 Αυτόνομο modular robot στο διάστημα	50
Εικόνα 2. 31 Soft robot	51
Εικόνα 2. 32 Ένα σμήνος ρομπότ από Project ανοιχτού κώδικα	52

§ 3

Εικόνα 3. 1 Ένα σμήνος ρομπότ από Project ανοιχτού κώδικα	56
Εικόνα 3. 2 Ένα δίποδο σύστημα μπορεί να προσεγγιστεί από κυλιόμενο πολύγωνο	57
Εικόνα 3. 3 Δύο παραδείγματα σκελών με τρεις βαθμούς ελευθερίας	59
Εικόνα 3. 4 3D_horper ρομπότ ενός σκέλους	60
Εικόνα 3. 5 WABIAN-2RIII Robot Walks More Like a Person	61
Εικόνα 3. 6 MIT Leg Lab's Spring Flamingo Robot	62
Εικόνα 3. 7 Sony AIBO PS-5638	63
Εικόνα 3. 8 Walking Robot LAURON V - Hexapod on Wooden Slope (2013)	63
Εικόνα 3. 9 Τέσσερις βασικοί τύποι τροχών	64
Εικόνα 3. 10 α Διαμορφώσεις τροχών κύλισης για οχήματα.	68
Εικόνα 3. 11 β Επεξηγήσεις σχημάτων σχ.3.11 α	69
Εικόνα 3. 12 Cyg, a commercially available domestic robot that can vacuum and make deliveries in the home	70
Εικόνα 3. 13 The Carnegie Mellon Uranus robot, an omnidirectional robot with four powered-swedish 45 wheels	71
Εικόνα 3. 14 Synchro drive: The robot can move in any direction; however, the orientation of the chassis is not controllable.	72

<i>Εικόνα 3. 15 The Tribolo designed at EPFL (Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switzerland)</i>	73
<i>Εικόνα 3. 16 A 3D printable omnidirectional OddBot Launchpad</i>	74
<i>Εικόνα 3. 17 The Nomad XR4000 from Nomadic Technologies</i>	74
<i>Εικόνα 3. 18 Robotic Crawler Rover: DC Motor Applications</i>	75
<i>Εικόνα 3. 19 Ταξινόμηση των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στη ρομποτική</i>	77
<i>Εικόνα 3. 20 Codewheel Generator</i>	79
<i>Εικόνα 3. 21 The observed phase relationship between channel A and B pulse trains are used to determine the direction of the rotation</i>	79
<i>Εικόνα 3. 22 Digital Compass Sensor</i>	80
<i>Εικόνα 3. 23 Μηχανικό γυροσκόπιο</i>	81
<i>Εικόνα 3. 24 Οπτικό γυροσκόπιο</i>	82
<i>Εικόνα 3. 25 Three-pass sequential color CCD imaging system</i>	84
<i>Εικόνα 3. 26 A sample probability density function, showing a single probability peak (i.e., unimodal) with asymptotic drops in both directions.</i>	85
<i>Εικόνα 3. 27 Estimating a line in the least-squares sense. The model parameters γ (length of the perpendicular) and α (its angle to the abscissa) uniquely describe a line.</i>	87
<i>Εικόνα 3. 28</i>	87
<i>Εικόνα 3. 29</i>	87
<i>Εικόνα 3. 30 The perceptual pipeline: from sensor readings to knowledge models.</i>	89
<i>Εικόνα 3. 31 Environment representation and modeling: (a) feature based (continuous metric); (b) occupancy grid (discrete metric).</i>	91

§ 4

<i>Εικόνα 4. 1</i>	92
<i>Εικόνα 4. 2 Movement of a differential-drive robot</i>	97
<i>Εικόνα 4. 3 Belief representation regarding the robot position (1D) in continuous and discretized (tessellated) maps.</i>	99
<i>Εικόνα 4. 4</i>	100
<i>Εικόνα 4. 5 a) "4-star" b) "8-star" c) "16-star".</i>	102
<i>Εικόνα 4. 6 "4-star" and "8-star" mapped onto a square pattern.</i>	102
<i>Εικόνα 4. 7 Schematic of GPS satellite constellation</i>	107
<i>Εικόνα 4. 8 GNSS satellite systems consist of three major components</i>	107
<i>Εικόνα 4. 9 A system to allow air- and ground-based robot vehicles to work together</i>	108

§ 5

<i>Εικόνα 5. 1 Arduino UNO module</i>	110
<i>Εικόνα 5. 2</i>	112
<i>Εικόνα 5. 3</i>	113
<i>Εικόνα 5. 4</i>	115
<i>Εικόνα 5. 5</i>	118
<i>Εικόνα 5. 6 Arduino shield</i>	121
<i>Εικόνα 5. 7</i>	Error! Bookmark not defined.
<i>Εικόνα 5. 8</i>	124
<i>Εικόνα 5. 9</i>	125
<i>Εικόνα 5. 10</i>	126
<i>Εικόνα 5. 11</i>	127
<i>Εικόνα 5. 12</i>	128
<i>Εικόνα 5. 13</i>	128
<i>Εικόνα 5. 14</i>	129
<i>Εικόνα 5. 15</i>	130
<i>Εικόνα 5. 16</i>	130
<i>Εικόνα 5. 17</i>	131
<i>Εικόνα 5. 18 An Android device and a cheap Huawei Y210.</i>	132
<i>Εικόνα 5. 19</i>	133
<i>Εικόνα 5. 20</i>	133
<i>Εικόνα 5. 21</i>	134
<i>Εικόνα 5. 22</i>	142

§ 6

<i>Εικόνα 6. 1 Artist's conception of the Curiosity rover vaporizing rock on Mars. The rover landed on Mars in August 2012.</i>	145
<i>Εικόνα 6. 2</i>	146
<i>Εικόνα 6. 3 Asterx and Idefx, the two Ifremer AUVs, are medium sized systems for coastal and deep water survey</i>	147
<i>Εικόνα 6. 4 Robotics and intelligent systems for large scale agriculture</i>	147
<i>Εικόνα 6. 5 The Internet of Things, robotics and plasma are transforming mining into a safer and more productive industry</i>	148
<i>Εικόνα 6. 6 I bot</i>	149
<i>Εικόνα 6. 7</i>	151

<i>Εικόνα 6. 8 Integration of hierarchical and behavior control architectures in a search-and-rescue domain (Center for Robot-Assisted Search and Rescue (CRASAR), University of South Florida (USF), U.S.).</i>	151
<i>Εικόνα 6. 9 Artist's conception of how small autonomous platforms might enhance human sensing in hazardous situations by working synergistically in confined spaces.</i>	152
<i>Εικόνα 6. 10 Examples of military and defense robotic vehicles.</i>	153
<i>Εικόνα 6. 11 MBARI marine operations technicians work on a research buoy in Monterey Bay. This buoy carried several PUCK-enabled instruments.</i>	155
<i>Εικόνα 6. 12 HROV (Hybrid ROV) project (Johns Hopkins University(JHU) and Woods Hole (WHOL), U.S.).</i>	155
<i>Εικόνα 6. 13 Search-and-rescue robotics (CRASAR, USF, U.S.).</i>	157
<i>Εικόνα 6. 14</i>	158
<i>Εικόνα 6. 15</i>	158
<i>Εικόνα 6. 16 Tri-Dog AUV with sensor guidance (U. Tokyo, Japan).</i>	159
<i>Εικόνα 6. 17 Sensor-based mapping and localization using SLAM algorithms (U. Oxford, U.K.).</i>	160
<i>Εικόνα 6. 18 CYBERCar Prototype (INRIA, France).</i>	160
<i>Εικόνα 6. 19 Autonomous road following and vehicle following at high speed (U. Braunschweig, Germany).</i>	161
<i>Εικόνα 6. 20 Undersea robotic vehicles.</i>	161
<i>Εικόνα 6. 21 Prototype vehicles used in urban and indoor settings.</i>	162

§.1 Εισαγωγή

1.1 Αναφορά στα ρομπότ

Η ρομποτική έχει σημειώσει την μεγαλύτερη επιτυχία της μέχρι σήμερα στον κόσμο της βιομηχανικής παραγωγής. Ρομποτικοί βραχίονες, ή χειριστές, περιλαμβάνονται στη βιομηχανία των πολλών δισεκατομμυρίων δολαρίων. Βιδωμένος σε ώμο σε μια συγκεκριμένη θέση στην γραμμή συναρμολόγησης, ο ρομποτικός βραχίονας μπορεί να κινείται με μεγάλη ταχύτητα και ακρίβεια στην εκτέλεση επαναλαμβανόμενων εργασιών, όπως η συγκόλληση στοιχείων και ο σχεδιασμός. Στη ηλεκτρονική βιομηχανία, χειριστές τοποθετούν σε επιφάνειες στοιχεία με «υπεράνθρωπη» ακρίβεια. Ωστόσο, για όλες τις επιτυχίες τους, τα εν λόγω εμπορικά ρομπότ πάσχουν από ένα θεμελιώδη μειονέκτημα: την έλλειψη κινητικότητας. Ένας σταθερός βραχίονας έχει περιορισμένο εύρος κίνησης που εξαρτάται από το πού είναι βιδωμένος. Από την άλλη, ένα κινητό ρομπότ είναι σε θέση να ταξιδέψει σε όλη τη μονάδα παραγωγής και έχει περισσότερη ευελιξία να εφαρμόζει τις ικανότητες του, κάνοντάς το αποτελεσματικότερο.



Εικόνα 1.0 1: Goddard Celebrates Curiosity's Landing

Αυτή η εργασία εστιάζει στην τεχνολογία της κινητικότητας: πώς μπορεί ένα κινητό ρομπότ να κινείται χωρίς επίβλεψη μέσα από περιβάλλοντα πραγματικού κόσμου, για να εκπληρώσει τα καθήκοντά του. Η πρώτη πρόκληση είναι η ίδια μετακίνηση. Πώς

πρέπει ένα κινητό ρομπότ να κινείται, και τι είναι αυτό που το καθιστά καλύτερο σε διάφορους μηχανισμούς κίνησης;

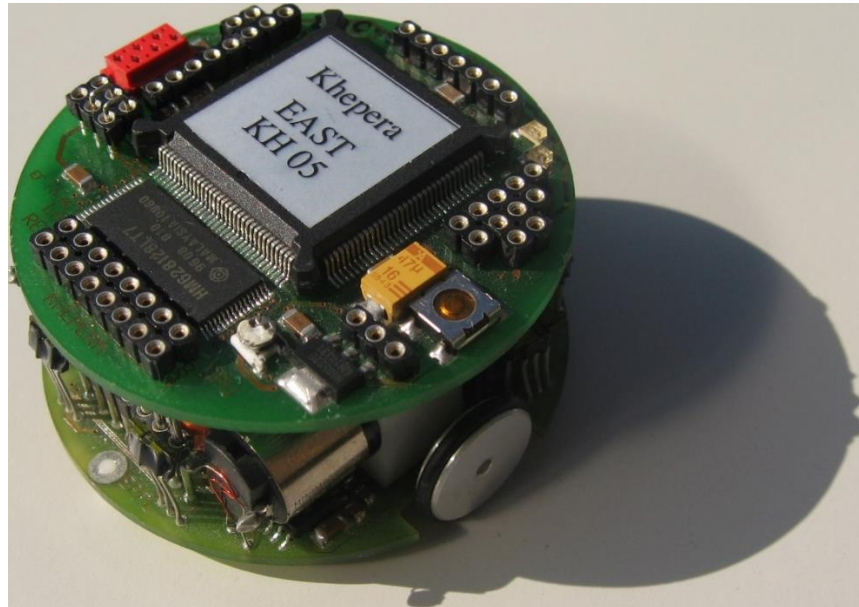
Σε πολλά εχθρικά περιβάλλοντα, όπως στον Άρη, τα ρομπότ έχουν ακόμη πιο ασυνήθιστους μηχανισμούς κίνησης (εικόνα 1.01). Σε άλλα επικίνδυνα και αφιλόξενα περιβάλλοντα, ακόμα και στη Γη, έχουν κερδίσει σε δημοτικότητα τα τηλεχειριζόμενα συστήματα (εικόνα 1.02).



Εικόνα 1.0 2 Pioneer is a remote reconnaissance system for structural

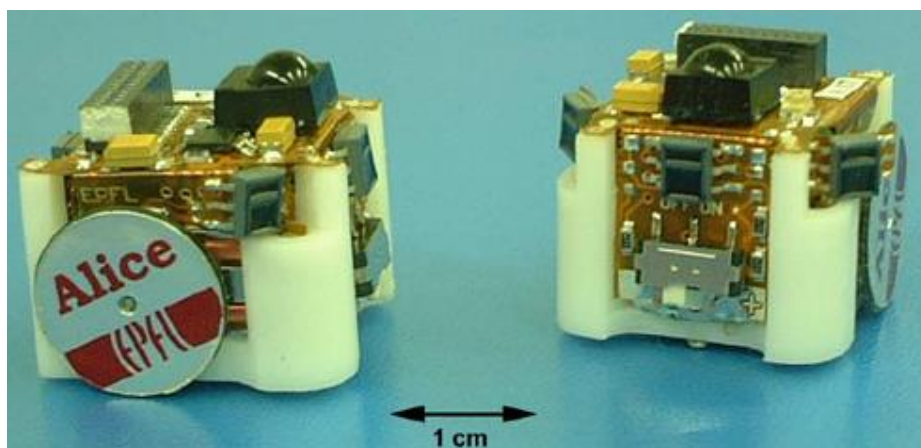
Σε αυτές τις περιπτώσεις, το χαμηλό επίπεδο πολυπλοκότητας του ρομπότ συχνά το καθιστά αδύνατο για έναν άνθρωπο να ελέγχει άμεσα τις κινήσεις του. Ο άνθρωπος μπορεί να πραγματοποιήσει τον εντοπισμό (localization) και τις γνωστικές δραστηριότητες, αλλά βασίζεται στο σύστημα ελέγχου του ρομπότ για τον έλεγχο της κίνησης. Η έρευνα σε υψηλού επιπέδου ζητήματα της γνωστικής λειτουργίας, του εντοπισμού και της πλοήγησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση τυποποιημένων πλατφορμών ερευνητικών ρομπότ που είναι συντονισμένες στο εργαστηριακό περιβάλλον. Διάφορες πλατφόρμες κινητών ρομπότ είναι διαθέσιμες για

προγραμματισμό και κυμαίνονται σε πολλά μεγέθη και ικανότητες πλοήγησης σε διαφορετικά εδάφη.



Εικόνα 1.03 KHEPERA is a small mobile robot for research and education

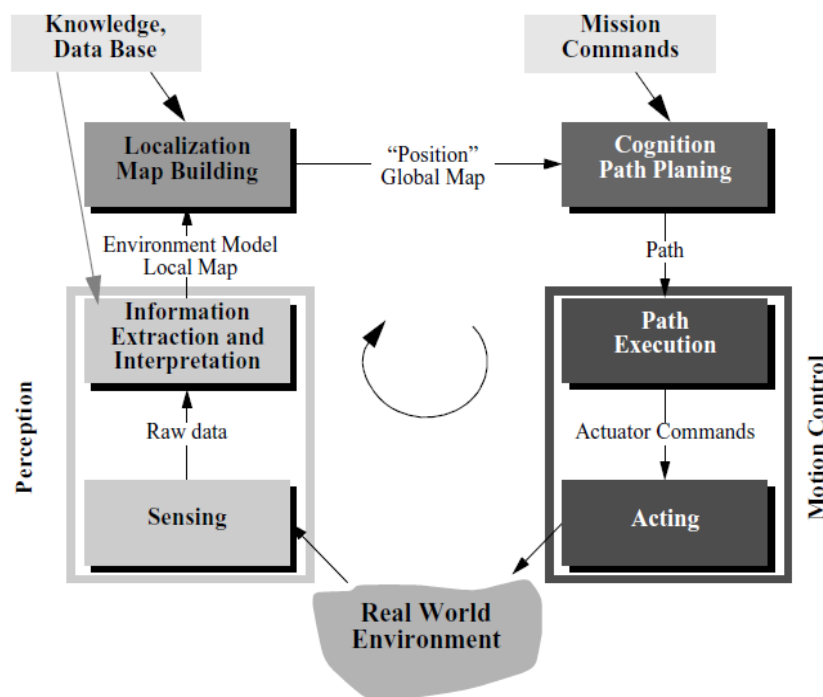
Τα πιο δημοφιλή ερευνητικά ρομπότ είναι τα ActivMedia Robotic, τα K-Team A.E., και τα IRobot (εικόνα 1.03) αλλά και τα πολύ μικρά ρομπότ, όπως η Αλίκη από την EPFL (Ελβετικό Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Τεχνολογίας στη Λωζάνη) (εικόνα 1.04).



Εικόνα 1.04 Alice is one of the smallest fully autonomous robots.

Αν και τα κινητά ρομπότ υπόκεινται σε ένα ευρύ φάσμα των εφαρμογών και των αγορών, όπως αναφέρεται παραπάνω, υπάρχει ένα γεγονός που ισχύει για κάθε σχεδόν επιτυχημένο κινητό ρομπότ: ο σχεδιασμός του συνεπάγεται την ενσωμάτωση πολλών διαφορετικών φορέων γνώσης. Δεν είναι μικρό επίτευγμα, γεγονός που καθιστά την κινητή ρομποτική ως διεπιστημονικό πεδίο. Για την επίλυση των προβλημάτων μετακίνησης και θέσης, η κινητή ρομποτική πρέπει να αντιληφθεί μηχανισμούς κίνησης, κινηματική, δυναμική και θεωρία ελέγχου. Επιπλέον πρέπει να αξιοποιήσει τα πεδία της ανάλυσης σήματος και εξειδικευμένους φορείς γνώσης, όπως η "όραση" του υπολογιστή για να χρησιμοποιήσει σωστά πλήθος τεχνολογιών αισθητήρων, ώστε να δημιουργήσει ισχυρά αντιληπτικά συστήματα. Ο εντοπισμός και η πλοήγηση είναι ζητήματα γνώσης αλγορίθμων, θεωρίας της πληροφορίας, τεχνητής νοημοσύνης και θεωρίας των πιθανοτήτων.

Η εικόνα απεικονίζει ένα αφηρημένο σύστημα ελέγχου για τα κινητά συστήματα ρομποτικής που θα χρησιμοποιήσουμε στο παρόν κείμενο. Σε αυτήν την εικόνα απεικονίζονται πολλά από τα κύρια όργανα της γνώσης που σχετίζονται με την κινητή ρομποτική.



Εικόνα 1.05 Reference control scheme for mobile robot systems used throughout this book.

1.2 Εισαγωγή στα τροχοφόρα κινητά ρομπότ

Ένα τροχοφόρο κινητό ρομπότ είναι ένα τροχοφόρο όχημα το οποίο έχει την ικανότητα της αυτόνομης κίνησης. Τα αυτόνομα κινητά ρομπότ είναι πολύ ενδιαφέροντα ως αντικείμενα, τόσο σε επιστημονικές έρευνες όσο και σε πρακτικές εφαρμογές. Σε αυτήν την εργασία ,πρώτον προτείνονται στρατηγικές ελέγχου με τη χρήση του ελεγκτή για κάθε κινητήρα, συμπεριλαμβανομένου του απλού ελεγκτή ανάδρασης PI και του αντισταθμιστή προσωτροφοδότησης που έχει αντίστροφη δυναμική. Δεύτερον, αναλύεται ο ασαφής αντιδραστικός έλεγχος ενός τροχοφόρου κινητού ρομπότ σε άγνωστο περιβάλλον με εμπόδια. Το μοντέλο του οχήματος έχει τέσσερις κινητήριους τροχούς των οποίων οι γωνιακές ταχύτητες ελέγχονται ανεξάρτητα. Το κέντρο των τροχών θεωρείται ως το κέντρο βάρους του οχήματος. Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι από τα πιο απλά και το πλέον κατάλληλο για μικρού μεγέθους αυτόνομα και ελαφριά οχήματα, που χρησιμοποιούν μπαταρίες.

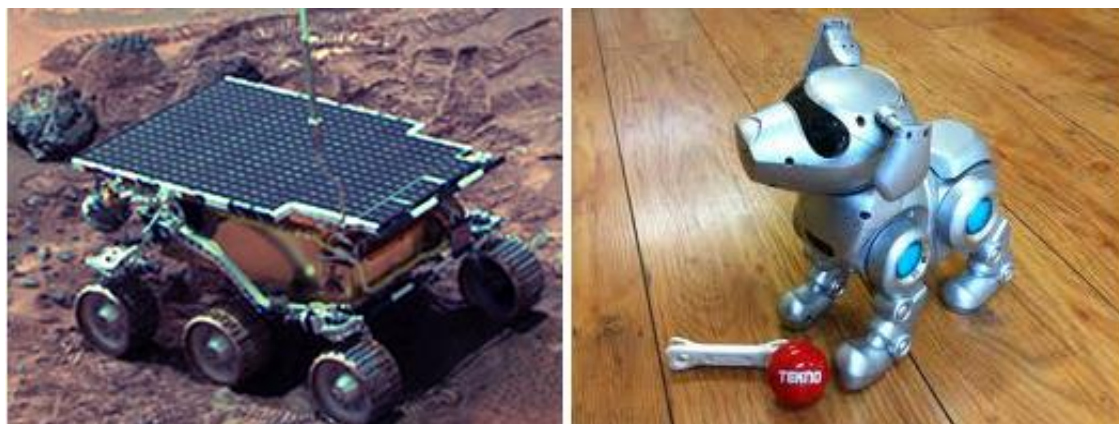
Αυτή η εργασία είναι οργανωμένη ως εξής: Στο κεφάλαιο 1 αναφέρονται εισαγωγικά στοιχεία για τα ρομπότ με έμφαση στα αυτόνομα τροχοφόρα κινούμενα ρομπότ. Στο κεφάλαιο 2 γίνεται γνωριμία με όλες σχεδόν τις κατηγορίες των ρομπότ και τις έννοιες που τα διέπουν όπως η έννοια ρομποτικής, από την αρχή της εμφάνισής τους μέχρι την σημερινή εποχή. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται εκτενή αναφορά στα κινούμενα τροχοφόρα οχήματα ρομπότ. Στο κεφάλαιο 4 εξετάζονται οι έννοιες του εντοπισμού (locomotion) και της πλοήγησης (navigation). Τέλος το κεφάλαιο 5 εξηγεί πως γίνεται η υλοποίηση ενός τετράτροχου αυτόνομου ρομπότ με δυνατότητα αποφυγής εμποδίων.

§.2 Γνωρίζοντας τα Robots

2.1 Ποιο είναι το πρώτο πράγμα που έρχεται στο μυαλό όταν σκέφτεστε ένα ρομπότ;

Για πολλούς είναι μια μηχανή που μιμείται τον άνθρωπο (όπως τα *androids* στο *Star Wars*, *Terminator* και *Star Trek: The Next Generation*). Παρ'όλο που αυτά τα ρομπότ έχουν αιχμαλωτίσει τη φαντασία μας, υπάρχουν μόνο στη σφαίρα της Επιστημονικής Φαντασίας. Οι άνθρωποι εξακολουθούν να μην έχουν τη δυνατότητα να δώσουν σε ένα ρομπότ «κοινή λογική» ώστε να μπορεί να αλληλοεπιδράσει αξιόπιστα σε ένα δυναμικό κόσμο. Ωστόσο, ο *Rodney Brooks* και η ομάδα του στο MIT "*Artificial Intelligence Lab*" εργάζονται για τη δημιουργία τέτοιων ανθρωποειδών ρομπότ.

Ο τύπος των ρομπότ που θα συναντήσετε πιο συχνά είναι τα ρομπότ που κάνουν δουλειά ή οποία είναι πολύ επικίνδυνη, βαρετή, απεχθείς, ή απλά δυσάρεστη. Χρησιμοποιούνται συχνότερα στην αυτοκινητοβιομηχανία, την ιατρική, την κατασκευαστική βιομηχανία και την διαστημική βιομηχανία. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν πάνω από ένα εκατομμύριο από αυτούς τους τύπους των ρομπότ που εργάζονται για μας σήμερα.



Εικόνα 2. 1 Robot Mars Rover:σε αποστολή για την εξερεύνηση του κόκκινου πλανήτη & το ηλεκτρονικό παιχνίδι Tekno the Robotic Puppy

Μερικά ρομπότ, όπως το *Mars Rover Sojourner* και το επερχόμενο *Mars Exploration Rover*, ή το υποβρύχιο ρομπότ *Caribou* μας βοηθάνε να μάθουμε πληροφορίες σχετικά

με περιοχές που είναι πάρα πολύ επικίνδυνες για μας να βρεθούμε. Ενώ άλλα είδη ρομπότ είναι απλά για διασκέδαση παιδιών όλων των ηλικιών. Όπως τα δημοφιλή παιχνίδια *Teckno* ή *AIBO ERS-220* που βρίσκονται στα ράφια των καταστημάτων κάθε χρόνο τα Χριστούγεννα.

Όσο διασκεδαστικό είναι να παίζουμε με τα ρομπότ , άλλο τόσο , ίσως και περισσότερο, είναι να τα κατασκευάζουμε. Στην εκπομπή *Being Digital*, του *Nicholas Negroponte* αναφέρει μια θαυμάσια ιστορία για ένα οκτάχρονο, το οποίο ασχολείται για τρεις περίπου ώρες με το *LEGO / Logo MITMedia Lab*. Ρωτώντας το παιδί αν διασκεδάζει παίζοντας με *LEGO / Logo*, κοίταξε την κάμερα και απάντησε, «*Ναι, είναι διασκεδαστικό, αλλά είναι δύσκολη διασκέδαση.*»

Αλλά τι ακριβώς είναι ένα ρομπότ;

2.2 Τι είναι Robot;

Ένα ρομπότ είναι ένα μηχανικό ή εικονικό τεχνητό αντικείμενο (bot), συνήθως ένα ηλεκτρο-μηχανικό μηχάνημα που καθοδηγείται από ένα πρόγραμμα υπολογιστή ή μόνο από ηλεκτρονικά κυκλώματα. Τα ρομπότ μπορεί να είναι αυτόνομα ή ημι-αυτόνομα και κυμαίνονται από ανθρωποειδή, όπως το προηγμένο επίτευγμα της Honda για το *Innovative Mobility (ASIMO)* μέχρι βιομηχανικά ρομπότ, ρομπότ ιατρικών λειτουργιών, συλλογικά προγραμματισμένο ρομπότ (swarm), μη επανδρωμένα αεροσκάφη UAV όπως η *General Atomics MQ-1 Predator*, ακόμη και μικροσκοπικά ρομπότ nano-robot. Μιμούμενα μια ρεαλιστική εμφάνιση και με την αυτοματοποίηση των κινήσεων, ένα ρομπότ μπορεί να μεταδώσει την αίσθηση της νοημοσύνης ή της σκέψης από μόνο του.

Ο κλάδος της τεχνολογίας που ασχολείται με το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία και την εφαρμογή των ρομπότ, καθώς και τα συστήματα πληροφορικής για τον έλεγχό τους, τα αισθητήρια, την ανατροφοδότηση, και την επεξεργασία των πληροφοριών, ονομάζεται ρομποτική. Οι τεχνολογίες αυτές ασχολούνται με αυτόματες μηχανές που μπορούν να πάρουν τη θέση των ανθρώπων σε επικίνδυνα περιβάλλοντα, ή μοιάζουν με τους ανθρώπους στην εμφάνιση, τη συμπεριφορά και τη γνωστική λειτουργία, ή χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες κατασκευής. Πολλά από τα σημερινά

ρομπότ είναι εμπνευσμένα από τη φύση συμβάλλοντας στον τομέα της βιο-ρομποτικής. Αυτή ή κατηγορία ρομπότ ανήκει σε ένα νεότερο υπο-κλάδο της ρομποτικής, γνωστός ως *Soft Robotics*.

Από την εποχή του αρχαίου πολιτισμού υπήρξαν πολλοί χρήστες είχαν τη δυνατότητα ρύθμισης αυτόματων συσκευών, ακόμα και αυτόματων μηχανών που έμοιαζαν με τα ζώα ή και ανθρώπους, τα οποία χρησιμοποιούσαν κυρίως ως ψυχαγωγικά μέσα. Μέσα από την βιομηχανική εποχή, εμφανίστηκαν πιο πρακτικές εφαρμογές αυτών, όπως αυτόματες μηχανές ροφημάτων, ασύρματο τηλεχειριστήριο και άλλες συσκευές που χρησιμοποιούμε καθημερινά.

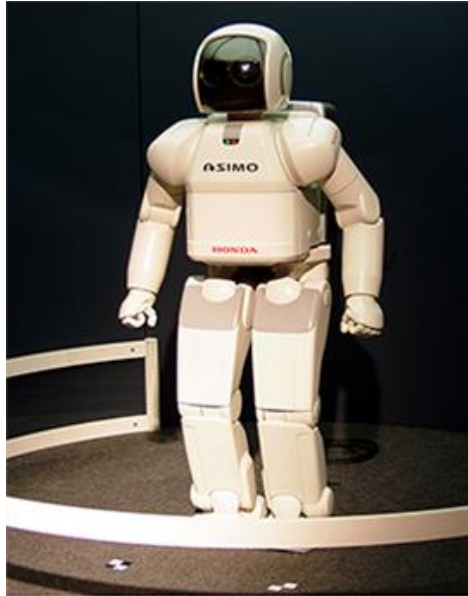
Η λέξη «ρομπότ» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για να υποδηλώσει ένα φανταστικό ανθρωποειδές στο παιχνίδι RUR του 1921 από τον Τσέχο συγγραφέα, [Karel Čapek](#).

Ο κλάδος ηλεκτρονική εξελίχθηκε στη κινητήρια δύναμη της ανάπτυξης των ρομπότ, με την έλευση των πρώτων ηλεκτρονικά αυτόνομων ρομπότ που δημιουργήθηκαν από τον [William Grey Walter](#) στο Μπρίστολ της Αγγλίας, το 1948. Το πρώτο ψηφιακά προγραμματιζόμενο ρομπότ εφευρέθηκε από τον [George Devol](#) το 1954 και πήρε το όνομά *Unimate*. Πωλήθηκε για την *General Motors* το 1961, όπου είχε χρησιμοποιηθεί για να άρει τα κομμάτια του ζεστού μετάλλου από μηχανές χύτευσης στο νησί Fisher Guide Plant στο West Trenton του Ewing Township στο Νιού Τζέρσεϋ.

Τα ρομπότ έχουν αντικαταστήσει τους ανθρώπους στην εκτέλεση των εν λόγω επαναλαμβανόμενων και επικίνδυνες εργασίες που οι άνθρωποι προτιμούν ή δεν είναι σε θέση να κάνουν λόγω των περιορισμών μεγέθους και την ύπαρξη ακραίων περιβαλλόντων , όπως το διάστημα ή το βυθό της θάλασσας, όπου οι άνθρωποι δεν θα μπορούσαν να επιβιώσουν σε αυτά.

Υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την αυξανόμενη χρήση των ρομπότ και το ρόλο τους στην κοινωνία. Τα ρομπότ έχουν κατηγορηθεί για την αύξηση της ανεργίας, καθώς χρησιμοποιούνται στην αντικατάσταση των εργαζομένων σε όλο και μεγαλύτερο αριθμό λειτουργιών. Επίσης η χρήση των ρομπότ σε στρατιωτικές μάχες εγείρει ηθικά ζητήματα. Οι δυνατότητες αυτονομίας τους και οι δυνητικές επιπτώσεις αυτών

εξετάζονται σε αρκετές ταινίες μυθοπλασίας, οι οποίες προκαλούν μια ρεαλιστική ανησυχία για το μέλλον.



Εικόνα 2. 2 ASIMO (2000) ένα δίποδο ανθρωποειδές & το τετράποδο στρατιωτικό ρομπότ cheetah το γρηγορότερο ρομπότ με πόδια μέχρι το 2012

2.3 Γενικές πληροφορίες για τα ρομπότ

Η λέξη ρομπότ μπορεί να αναφέρεται τόσο σε υλικά όσο και σε εικονικά ρομπότ , αλλά συνήθως στα τελευταία αναφερόμαστε ως bots. Δεν υπάρχει συναίνεση για το ποια μηχανήματα πληρούν τις προϋποθέσεις να αποκαλούνται ρομπότ, αλλά υπάρχει γενική συμφωνία μεταξύ των εμπειρογνομώνων, και το επενδυτικό κοινό, ότι τα ρομπότ έχουν την τάση να κάνουν μερικά ή όλα από τα ακόλουθα: να κινούνται, να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους, και επιδεικνύουν ευφυή συμπεριφορά η οποία μιμείται τους ανθρώπους ή ζώα. Σε πρακτικό επίπεδο, η έννοια "ρομπότ" αναφέρεται συνήθως σε μια μηχανή που μπορεί να προγραμματίζεται ηλεκτρονικά για να πραγματοποιήσει μια σειρά από σωματικές εργασίες ή ενέργειες.

Δεν υπάρχει κανένας ορισμός του ρομπότ που να τους ικανοποιεί όλους έτσι πολλοί άνθρωποι έχουν το δικό τους. Για παράδειγμα, ο [Joseph Engelberger](#), πρωτοπόρος στη βιομηχανική ρομποτική, ανέφερε κάποτε: "Δεν μπορώ να ορίσω ένα ρομπότ, αλλά το γνωρίζω όταν το δω. "

Οι δύο τομείς που τα ρομπότ διαφέρουν από τα πραγματικά όντα, είναι ο τομέας της γνώσης και ο τομέας της βιομορφολογίας. Η γενική συναίνεση είναι ότι ένα "ρομπότ" είναι ένα μηχάνημα το οποίο απαιτεί προγραμματισμό για να λειτουργήσει. Σε αντίθεση, μια φανταστική «μηχανή» ή «μηχανή τεχνητής μορφής ζωής» (όπως στις ταινίες επιστημονικής φαντασίας), που θα μπορούσε να σκεφτεί σαν ανθρώπινο ον, έχοντας αισθήσεις, δεν θα είναι πλέον ένα «ρομπότ», αλλά ένα είδος "τεχνητού όντος" ([artificial being](#)) γνωστό σαν [cyborg](#).

Σύμφωνα με την εγκυκλοπαίδεια Britannica, ένα ρομπότ είναι "μια οποιοδήποτε αυτόματη μηχανή που αντικαθιστά την ανθρώπινη προσπάθεια, αν και δεν είναι απαραίτητο να μοιάζει με τα ανθρώπινα όντα στην εμφάνιση ή να εκτελεί λειτουργίες με ανθρώπινο τρόπο."

2.4 Ιστορία

Η ιδέα των αυτομάτων μηχανών προέρχεται από τη μυθολογία διάφορων πολιτισμών σε όλο τον κόσμο. Μηχανικοί και εφευρέτες από αρχαίους πολιτισμούς, συμπεριλαμβανομένου της αρχαίας Κίνας, Αρχαίας Ελλάδας, των Πτολεμαίων και της Αιγύπτου, προσπαθούσαν να χτίσουν αυτο-μηχανήματα (auto-machines) που να μοιάζουν με ζώα και ανθρώπους.

2.4.1 Αρχικά

Πολλές αρχαίες μυθολογίες, και πιο σύγχρονες θρησκείες περιλαμβάνουν τεχνητούς ανθρώπους, όπως τους μηχανικούς υπηρέτες που φτιάχτηκαν από τον Έλληνα θεό Ήφαιστο, τα πέτρινα Γκόλεμ από εβραϊκός μύθος, τους πήλινους γίγαντες των Νορβηγών και την Γαλάτεια, το μυθικό άγαλμα του Πυγμαλίων που ήρθε στη ζωή. Περίπου το 400 π.Χ., οι μύθοι της Κρήτης περιλαμβάνουν τον [Τάλω](#), έναν άνθρωπο από μπρούτζο που φύλαγε το νησί από τους πειρατές.



Εικόνα 2. 3 Τάλως, ο μυθικός φύλακας της Κρήτης

Στην αρχαία Ελλάδα, ο Έλληνας μηχανικός [Κτησίβιος \(γ. 270 Π.Χ.\)](#) μελετούσε υδραυλικά συστήματα πεπιεσμένου αέρα για την παραγωγή των πρώτων ρολογιών νερού με κινούμενα σχήματα.

Τον 4ο αιώνα π.Χ., ο Έλληνας μαθηματικός [Αρχύτας ο Ταραντίνος](#) υπέθεσε τη λειτουργία μιας μηχανική ατμού που ονομάζεται "The Pigeon". Ενώ ο [Ήρων ο Αλεξανδρεύς](#), Έλληνας μαθηματικός και εφευρέτης, δημιούργησε πολυάριθμες αυτοματοποιημένες συσκευές, ρυθμιζόμενες από το χρήστη και μηχανήματα που τροφοδοτούνται από την πίεση του αέρα, του ατμού και του νερού.

Το 11ο αιώνα ο *Lokarannatti* λέει πως τα λείψανα του Βούδα προστατεύονται από μηχανική ρομπότ (Bhuta vahana Yanta), από το βασίλειο του Visaya Ρομά έως ότου αφοπλιστεί από τον βασιλιά Ashoka.

Στην αρχαία Κίνα, το κείμενο του 3ου αιώνα του Lie Zi περιγράφει αυτόματα ανθρωποειδή, και αργότερα τη συνάντηση μεταξύ του κινέζου αυτοκράτορα King Mu of Zhou και του μηχανολόγου μηχανικού Yan Shi. Yan Shi παρουσίασε με υπερηφάνεια στο βασιλιά ένα ον στο μέγεθος και το σχήμα ανθρώπου, κατασκευασμένο στο χέρι από δέρμα, ξύλο και τεχνητά όργανα.

Η αρχή των "automata" σχετίζεται με την εφεύρεση του αστρονομικού πύργο ρολογιού από τον Su Song τον οποίο χαρακτηρίζουν οι μηχανική φιγούρες που κινούνται σε κάθε χτύπο του. Ο μηχανισμός του είχε μια προγραμματιζόμενη drum machine με πείρους που ανεβαίνει με μοχλούς. Ο ντράμερ μπορούσε να παίξει

διαφορετικούς ρυθμούς και διαφορετικά μοτίβα τύμπανων με τη μετακίνηση των πασσάλων σε διαφορετικές θέσεις.

Στην Αναγέννηση στην Ιταλία, [Leonardo da Vinci \(1452-1519\)](#) δημιούργησε τα σχέδια για ένα ανθρωποειδές ρομπότ περίπου το 1495. Οι σημειώσεις αυτές ανακαλύφθηκαν στη δεκαετία του 1950 και περιέχουν λεπτομερή σχέδια ενός μηχανικού ιππότης γνωστό πλέον ως ρομπότ του Ντα Βίντσι ([Leonardo's Robot](#)), το οποίο είναι σε θέση να κάθεται, να μετακινεί τα χέρια του και να κουνάει το κεφάλι και το σαγόνι του. Το σχέδιο πιθανότατα δημιουργήθηκε με βάση την ανατομική έρευνα από το έργο του "Vitruvian Man". Δεν είναι γνωστό αν ο ίδιος προσπάθησε να το υλοποιήσει.

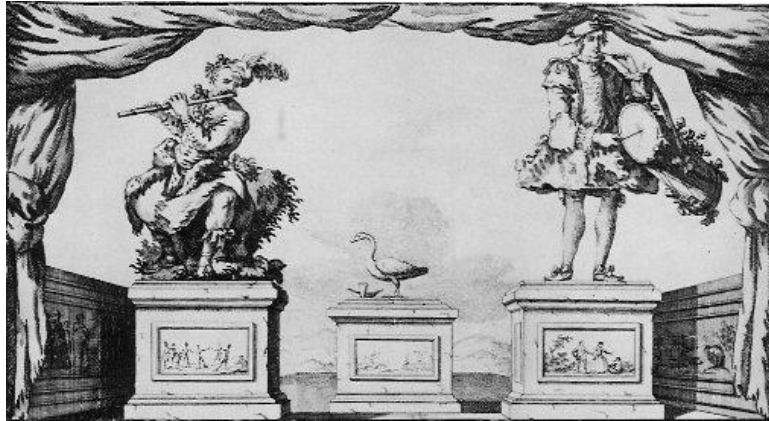


Εικόνα 2. 4 Το μοντέλο του Leonardo's Robot και η εσωτερική του λειτουργία όπως φαίνεται σε μουσείο του Βερολίνου

Στην Ιαπωνία, μια σύνθεση μεταξύ ζώου και του ανθρώπου δημιουργήθηκε μεταξύ του 17ο έως τον 19ο αιώνα, με πολλές περιγράφεται στο βιβλίο του *Karakuri zui (Illustrated machines, 1796)*. Ένα τέτοιο αυτόματο ήταν η μαριονέτα *Karakuri ningyō*.

Τέλος, Στη Γαλλία, μεταξύ 1738 και 1739, ο *Jacques de Vaucanson* παρουσιάζει αρκετά ανθρωποειδή με γνωστότερο, τον παίκτη φλάουτου, τον παίκτη ταμπούρου και την πάπια. Η μηχανική πάπια μπορούσε να κουνά τα φτερά της και να τα καταπίνει

τροφή από το χέρι του εκθέτη δίνοντας την ψευδαίσθηση της πέψης της τροφής αποβάλλοντας την και αποθηκεύοντας την σε μία κρυφή θήκη.



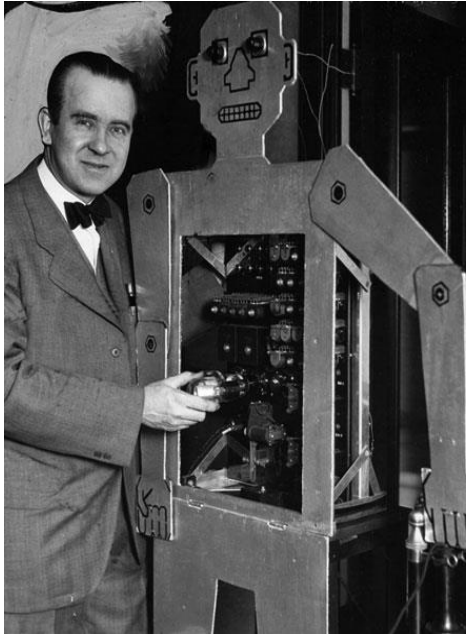
Εικόνα 2. 5 Τα 3 αυτόματα του Vaucanson's, Ο φλαουτίστας, ο ταμπουρίστας και η πάπια.

2.4.2 Ανθρωποειδή Robots

Το 1928, ένα από τα πρώτα ανθρωποειδές ρομπότ παρουσιάστηκε στην ετήσια έκθεση του Model Engineers Society του Λονδίνου το οποίο εφευρέθηκε από τον *WH Richards*. Το ρομπότ Έρικ αποτελούνταν από ένα αλουμινένιο σώμα με πανοπλία, με έντεκα ηλεκτρομαγνήτες και ένα κινητήρα που τροφοδοτείται από μια μπαταρία δώδεκα βολτ. Το ρομπότ μπορούσε να κινεί τα χέρια και το κεφάλι του να ελεγχθεί μέσω τηλεχειριστηρίου ή φωνητικού ελέγχου.

Η εταιρία Westinghouse Electric Corporation κατασκεύασε το Televox το 1926, μια κατασκευή από χαρτόνι που συνδέεται με διάφορες συσκευές που οι χρήστες μπορούν να το ενεργοποιήσουν και να το απενεργοποιήσουν. Το 1939, το ανθρωποειδές ρομπότ γνωστό ως **Elektro** έκανε το ντεμπούτο του στη Διεθνή Έκθεση της Νέας Υόρκης. Ήταν επτά πόδια ψηλό (2,1 m) και ζύγιζε 120,2 κιλά. Μπορούσε να περπατήσει με φωνητική εντολή, να μιλήσει προφέροντας περίπου 700 λέξεις (χρησιμοποιώντας ένα 78-rpm πικάπ), να καπνίσει τσιγάρα, να σκάσει μπαλόνια, και να μετακινήσει το κεφάλι και τους βραχίονες του. Το σώμα του αποτελείτο από ένα γρανάζι χάλυβα, έκκεντρο κινητήρα και σκελετό που ήταν καλυμμένος από «δέρμα» αλουμινίου.

Το 1928, το πρώτο ρομπότ της Ιαπωνίας, Gakutensoku, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από τον βιολόγο *Makoto Nishimura*.



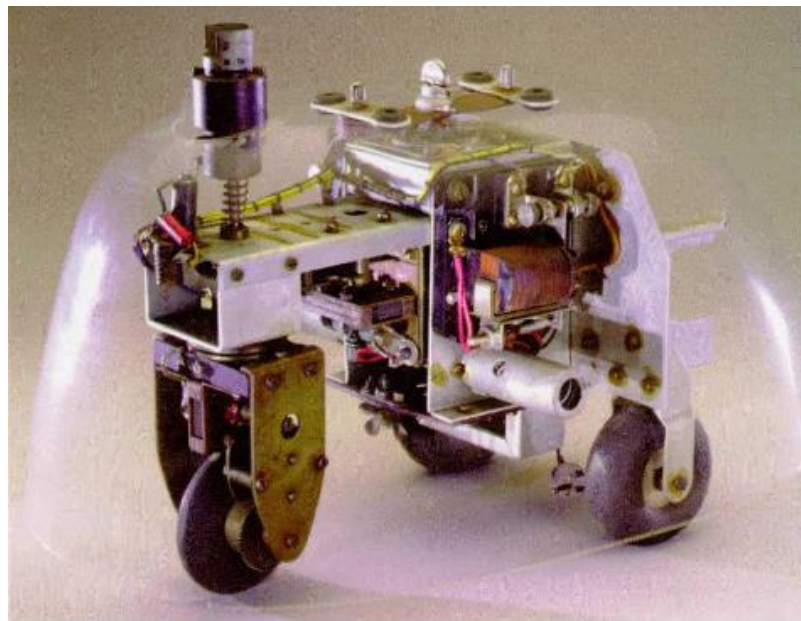
Εικόνα 2. 6 *The Robots of Westinghouse*: Ο Roy Wensley με το Televox του & ο Elektro the Moto-Man με τον σκύλο του Sparko

2.4.3 Σύγχρονα αυτόνομα Robots

Τα πρώτα ηλεκτρονικά αυτόνομα ρομπότ με σύνθετη συμπεριφορά δημιουργήθηκαν από τον *William Grey Walter* στο Νευρολογικό Ινστιτούτο Burden στο Bristol της Αγγλίας το 1948 και το 1949. Ο *William* ήθελε να αποδείξει ότι οι εκατοντάδες συνδέσεις ανάμεσα σε ένα μικρό αριθμό εγκεφαλικών κυττάρων θα μπορούσε να οδηγήσει σε πολύ περίπλοκες συμπεριφορές - κατ' ουσίαν, ότι το μυστικό για το πώς ο εγκέφαλος δουλεύει βρίσκεται στο πώς είναι συνδεδεμένος. Τα πρώτα ρομπότ του, που ονομάζονται *Elmer* και *Elsie*, κατασκευάστηκαν μεταξύ 1948 και 1949 και συχνά περιγράφονται ως χελώνες, λόγω του σχήματός τους και του αργού ρυθμού κίνησης τους. Τα τρίτροχα ρομπότ χελώνες ήταν σε θέση να κάνουν φωτόταξη, με την οποία επαναφόρτιζαν σταθμούς που είχαν τελειώσει οι μπαταρίες, όταν έτρεχαν.

Ο *Walter* τόνισε τη σημασία της χρήσης καθαρά αναλογικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων για την προσομοίωση διεργασιών Ψτου εγκεφάλου σε μια εποχή που οι

σύγχρονοί του, όπως ο [Alan Turing](#) και ο [John von Neumann](#) είχαν στραφεί προς την άποψη για τη δημιουργία των ψυχικών διαδικασιών με ψηφιακούς υπολογισμούς. Το έργο του ενέπνευσε τις επόμενες γενιές των ρομποτικών ερευνητών όπως ο Rodney Brooks, Hans Moravec και Mark Tilden. Σύγχρονη ενσαρκώσεις των χελωνών του Walter βρίσκονται με τη μορφή της BEAM ρομποτικής (Biology, Electronics, Aesthetics and Mechanics).



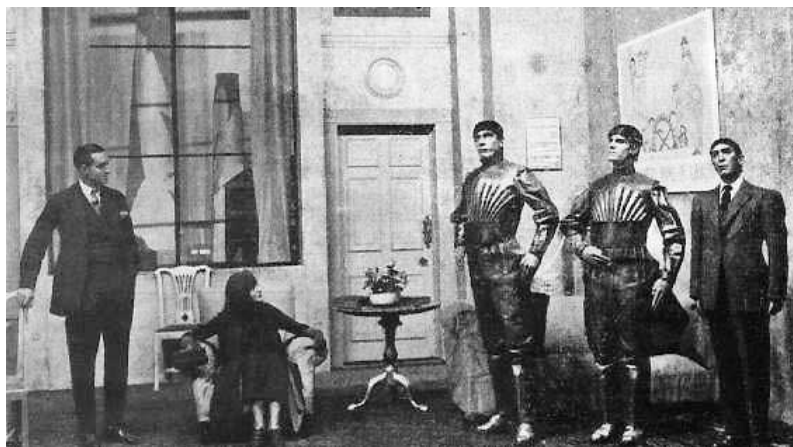
Εικόνα 2. 7 Elmer-Elsie Robot

2.5 Ετοιμολογία

Η λέξη «ρομπότ» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη στην Τσεχία του μεσοπολέμου από τον συγγραφέα [Karel Čapek](#) στο έργο του *RUR (Rossum Universal Robots)*, που δημοσιεύθηκε το 1920. Το έργο ξεκινάει σε ένα εργοστάσιο που χρησιμοποιεί ένα χημικό υποκατάστατο για την κατασκευή πρωτοπλάσματος, αυτοί οι τύποι ανθρώπων ονομάζονται Robots. Το έργο δεν επικεντρώνεται λεπτομερώς στην τεχνολογία πίσω από τη δημιουργία αυτών των ζωντανών πλασμάτων, αλλά περισσότερο στην εμφάνιση τους, προαναγγέλλοντας τις σύγχρονες ιδέες των ανδροειδών, πλάσματα που μπορεί να είναι λάθος για την ανθρωπότητα. Αυτοί οι μαζικής παραγωγής εργάτες απεικονίζονται ως αποτελεσματικοί, αλλά χωρίς συναισθήματα, ανίκανοι για

πρωτότυπη σκέψη, αδιαφορώντας για την αυτοσυντήρησή τους. Το ζήτημα είναι κατά πόσον τα ρομπότ γίνονται αντικείμενο εκμετάλλευσης και οι επιπτώσεις της ανθρώπινης εξάρτησης από την εμπορευματοποίηση της εργασίας. (ιδιαίτερα μετά από μια σειρά από ειδικά σχεδιασμένα ρομπότ με αυτογνωσία τα οποία υποκινούν τα ρομπότ σε όλο τον κόσμο να ξεσηκωθούν ενάντιον των ανθρώπων).

Ο Karel Čapek δεν επινόησε από μόνος του την λέξη. Έγραψε μια σύντομη επιστολή σε σχέση με την ετυμολογία της στο αγγλικό λεξικό της Οξφόρδης στην οποία αναφέρει ότι ο αδελφός του ζωγράφος και συγγραφέας Josef Čapek, είναι ο πραγματικός δημιουργός της.



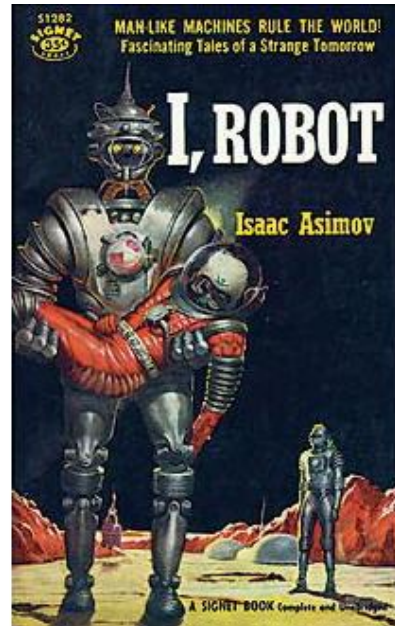
Εικόνα 2. 8 Σκηνή από το θεατρικό R.U.R(Rossum's Universal Robots) του Karel Čapek, δείχνει τρία ρομπότ

Σε ένα άρθρο στο Τσεχικό περιοδικό *Lidové noviny* το 1933, εξήγησε ότι αρχικά ήθελε να αποκαλεί τα πλάσματα αυτά "laboři" δηλαδή "εργαζόμενοι" (στα Λατινικά). Ωστόσο, στον ίδιο δεν άρεσε αυτή η λέξη, και ζήτησε συμβουλές από τον αδελφό του Josef, ο οποίος πρότεινε το "roboti". Η λέξη *Robota* σημαίνει κυριολεκτικά "δουλοπάροικος", και μεταφορικά "αγγαρεία" ή "σκληρή δουλειά" στην Τσεχική γλώσσα και "εργασία" σε πολλές σλαβικές γλώσσες.

Οι λέξη ρομποτική (Robotics), που χρησιμοποιείται για να περιγράψει αυτό το πεδίο μελέτης, επινοήθηκε από τον συγγραφέα επιστημονικής φαντασίας [Isaac Asimov](#). Ο Asimov δημιούργησε τους "Τρεις Νόμους της Ρομποτικής» γνωστοί και ως "Οι νόμοι του Asimov", ένα θέμα που αναφέρεται στα βιβλία του. Αυτοί χρησιμοποιούνται έκτοτε

από πολλούς για να καθορίσουν τους νόμους που χρησιμοποιούνται στην πραγματικότητα αλλά και στην φαντασία.

Μια αναφορά προς τιμήν του. Οι αυτοί νόμοι εισήχθησαν το 1942 στο διήγημά του «*I, Robot-Runaround*», παρά το γεγονός ότι είχαν προαναγγελθεί σε κάποιες προηγούμενες ιστορίες του.



Εικόνα 2. 9 Dr. Isaac Asimov 1965 και το έργο του *I, Robot* ο πρώτος από τους Τρεις νόμους τις Ρομποτικής

Οι τρεις νόμοι, όπως αναφέρονται στο "Εγχειρίδιο της Ρομποτικής, 56η έκδοση, 2058 AD», είναι:

1. Το ρομπότ δε θα κάνει κακό σε άνθρωπο, ούτε με την αδράνειά του θα επιτρέψει να βλαφτεί ανθρώπινο όν
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, εφόσον αυτό δεν συγκρούεται με τον πρώτο και τον δεύτερο νόμο

Στους νόμους αυτούς, αλλά και στις παραβιάσεις τους στηρίχθηκαν τα διηγήματα για ρομπότ του Asimov, αλλά και πολλών άλλων συγγραφέων.

2.6 Τα Robots σήμερα

2.6.1 Κινούμενα robots (mobile robots)

Τα *mobile robots* έχουν την ικανότητα να κινούνται στο περιβάλλον τους δηλαδή δεν μένουν σταθερά σε μία φυσική θέση. Ένα παράδειγμα ενός κινητού ρομπότ που είναι σε κοινή χρήση σήμερα είναι το αυτοματοποιημένο καθοδηγούμενο όχημα ή αλλιώς *automatic guided vehicle* (AGV). Το AGV είναι ένα κινητό ρομπότ που ακολουθεί χρωματικούς δείκτες ή σύρματα στο πάτωμα, ή χρησιμοποιεί το τεχνητή όραση ή και λέιζερ.



Εικόνα 2. 10 Pull-Push transport AVG για meter box

Τα κινητά ρομπότ χρησιμοποιούνται επίσης, στη βιομηχανία και σε στρατιωτικές εφαρμογές. Μπορούν επίσης να εμφανιστούν ως καταναλωτικά προϊόντα, για διασκέδαση ή για την εκτέλεση ορισμένων καθηκόντων, οικιακά ρομπότ για τον καθαρισμό και τη συντήρηση εμφανίζονται όλο και πιο συχνές στις αναπτυγμένες χώρες πχ. ηλεκτρική σκούπα. Ένα mobile robot είναι το επίκεντρο στην τρέχουσα έρευνα και σχεδόν σε κάθε μεγάλο πανεπιστήμιο έχει ένα ή περισσότερα εργαστήρια που εστιάζουν με την ερευνά τους στα mobile robots.

2.6.2 Βιομηχανικά ρομπότ (Industrial robots)

Τα βιομηχανικά ρομπότ συνήθως αποτελούνται από έναν αρθρωτό βραχίονα (multi-linked manipulator) όπου το ένα άκρο του είναι συνδεδεμένο σε μία σταθερή επιφάνεια. Ο πιο κοινός τύπος τους είναι η διάταξη με το γάντζο.

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης δίνει έναν ορισμό για τα βιομηχανικά ρομπότ με το πρότυπο ISO 8373:

"ένα αυτόματα ελεγχόμενο, επαναπρογραμματιζόμενο, πολλαπλών χρήσεων, με προγραμματιζόμενο βραχίονα σε τρεις ή περισσότερους άξονες, το οποίο μπορεί να είναι είτε σταθερό στη θέση του είτε κινητό για χρήση σε βιομηχανικές εφαρμογές αυτοματισμού.»



Εικόνα 2. 11 Ένα Pick -and- Place Robot εν ώρα εργασίας

2.6.3 Robot υπηρεσιών (Service robot)

Τα συνηθέστερα Robot υπηρεσιών είναι τα βιομηχανικά ρομπότ σταθερό ρομποτικών βραχιόνων με χειριστήρια που χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή και τη διανομή των εμπορευμάτων. Ο όρος "Service robot" είναι λιγότερο καλά καθορισμένος. Η Διεθνής Ομοσπονδία Ρομποτικής έχει προτείνει ένα ενδεικτικό ορισμό, «Ένα Service robot είναι ένα ρομπότ που λειτουργεί μερικώς ή πλήρως

αυτόνομα για παροχές υπηρεσιών χρήσιμες για την ευημερία των ανθρώπων και τον εξοπλισμό, εκτός από τις κατασκευαστικές λειτουργίες.



Εικόνα 2. 12 Robot Vacuum (ηλεκτρική σκούπα)

2.6.4 Εκπαιδευτικά ρομπότ (Educational robot)

Από τη δεκαετία του 1980, ρομπότ χρησιμοποιούνται ως εκπαιδευτικοί βοηθοί σε σχολεία. Από τα πιο γνωστά είναι τα turtles (χελώνες) τα οποία είχαν χρησιμοποιηθεί σε σχολεία και προγραμματίζονταν χρησιμοποιώντας τη γλώσσα Logo.



Εικόνα 2. 13 Η χελώνα (The turtle) ελέγχεται μέσω της θύρας RS-232 από pc με τη γλώσσα LOGO

Υπάρχουν ρομποτικά σετ εργαλείων όπως το Mindstorms της Lego, το BIOLOID, το Olo από την RoBotis και το BotBrain. Τα εκπαιδευτικά ρομπότ μπορούν να βοηθήσουν

τα παιδιά να μελετήσουν ευκολότερα και να διευρύνουν τις γνώσεις τους σε διάφορους τομείς όπως για τα μαθηματικά, τη φυσική, τον προγραμματισμό και τα ηλεκτρονικά. Η ρομποτική έχει επίσης εισαχθεί στη ζωή της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης με τη μορφή αγώνων με ρομπότ με την εταιρεία FIRST πρωτοπόρο στην διοργάνωση τέτοιων αγώνων παγκοσμίως.

2.6.5 Αρθρωτά ή σπονδυλωτά ρομπότ (Modular robot)

Τα αρθρωτά ρομπότ είναι μια νέα γενιά ρομπότ που έχουν σχεδιαστεί βασιζόμενα στη modularizing αρχιτεκτονική. Είναι περισσότερο λειτουργικά και αποτελεσματικά σε σχέση με τα συμβατικά ρομπότ. Η αρχιτεκτονική τους δομή επιτρέπει να σχεδιάζονται με περισσότερους από 8 βαθμούς ελευθερίας (Degrees Of Freedom) ενώ προγραμματισμός τους είναι πιο περίπλοκος από ό, τι στα παραδοσιακά.

Τα αρθρωτά ρομπότ συνήθως αποτελούνται από τρία σταθερά μέλη (συνδέσμους) που ενώνονται με στροφικές αρθρώσεις και είναι τοποθετημένα πάνω σε μια στρεφόμενη βάση. Η κινηματική διάταξη μοιάζει με εκείνη του ανθρώπινου χεριού. Το εργαλείο (δαγκάνα) είναι ανάλογο της παλάμης και προσαρμόζεται στον κάτω βραχίονα μέσω του καρπού. Ο "αγκώνας" συνδέει τον κάτω με τον άνω βραχίονα και ο "ώμος" συνδέει τον άνω βραχίονα με τη βάση.



Εικόνα 2. 14 Το αρθρωτό ρομπότ ASERDO

Πολλές φορές στην άρθρωση του ώμου διατίθεται και μια περιστροφική κίνηση σε οριζόντιο επίπεδο. Επειδή το αρθρωτό έχει και τους τρεις άξονες στροφικούς, η διακριτική ικανότητα θέσης εξαρτάται τελείως από τη θέση του βραχίονα. Η ολική ακρίβεια ενός αρθρωτού ρομπότ είναι μικρή γιατί τα σφάλματα των αρθρώσεων συσσωρεύονται στο άκρο του βραχίονα δηλαδή στη θέση του καρπού.



Εικόνα 2. 15 Ρομποτικό μηχάνημα λαπαροσκοπικής χειρουργικής

Η τεχνολογία των αρθρωτών ρομπότ εφαρμόζεται σε υβριδικές μεταφορές, στο βιομηχανικό αυτοματισμό, σε αγωγούς καθαρισμού και κυρίως στην ιατρική με μεγάλη επιτυχία στις λαπαροσκοπικές επεμβάσεις. Πολλά ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια έχουν επίσης μελετήσει αυτή την τεχνολογία, και έχουν αναπτύξει πρωτότυπα.

2.6.6 Συνεργατικά ή συλλογικά ρομπότ (Collaborative Robots)

Ένα συλλογικό ρομπότ ή *cobot* είναι ένα ρομπότ που μπορεί να αλληλοεπιδράσει με το ανθρώπινο δυναμικό ώστε να συνεργαστούν με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα κατά την εκτέλεση απλών αλλά και πιο πολύπλοκων βιομηχανικών εργασιών. Ωστόσο, απολήξεις και άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες ενδέχεται να δημιουργήσουν

κινδύνους, έτσι η αξιολόγηση του κινδύνου πρέπει να γίνεται πριν από τη κάθε χρήση της εφαρμογής όπως έλεγχος ορθής κίνησης.

Τα συνεργατικά ρομπότ που χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως στις βιομηχανίες κατασκευάζεται από την Universal Robots στη Δανία.



Εικόνα 2. 16 Το συνεργατικό ρομπότ Baxter

Στην εικόνα 16, ο Baxter θα σταματήσει εάν ανιχνευθεί άνθρωπος, με τους ρομποτικούς του βραχίονες να έχουν εξέχουσες λειτουργίες. Προορίζεται για πωλήσεις σε μικρές επιχειρήσεις και η χρήση του είναι πλέον τόσο απαραίτητη όσο και οι Ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Από το Μάιο του 2014, πάνω από 190 εταιρείες στις ΗΠΑ έχουν αγοράσει Baxters ενώ χρησιμοποιούνται εξίσου και στο Ηνωμένο Βασίλειο.

2.7 Τα Ρομπότ στην κοινωνία

Περίπου τα μισά ρομπότ στον κόσμο βρίσκονται στην Ασία, το 32% στην Ευρώπη, το 16% στη Βόρεια Αμερική, και μόλις το 2% στην Αυστραλία και στην Αφρική. Η Ιαπωνία είναι χώρα με το μεγαλύτερο αριθμό ρομπότ παγκοσμίως αφού έχει το 40% του συνόλου.

2.7.1 Αυτονομία και ηθικά ερωτήματα

Η Ρομπο-ηθική (Roboethics) είναι μια έκφραση που χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια για να εκφράσει την ηθική της ρομποτικής. Συχνά ασχολείται με την συμπεριφορά των ανθρώπων. Πώς οι άνθρωποι σχεδιάζουν, κατασκευάζουν, χρησιμοποιούν και αντιμετωπίζουν τα ρομπότ και άλλα τεχνητά «νοήμονα» όντα, ενώ η ηθική μηχανής (*Machine ethics*) ασχολείται με τη συμπεριφορά των ίδιων των ρομπότ.

Αν και το θέμα είναι τόσο παλιό όσο και η λέξη ρομπότ, η λέξη roboethics χρησιμοποιήθηκε πιθανότατα για πρώτη φορά από τον ρομποτιστή [Gianmarco Veruggio](#) το 2002, ο οποίος υπηρέτησε επίσης ως πρόεδρος του *Atelier* που χρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Ρομποτικής έρευνας.

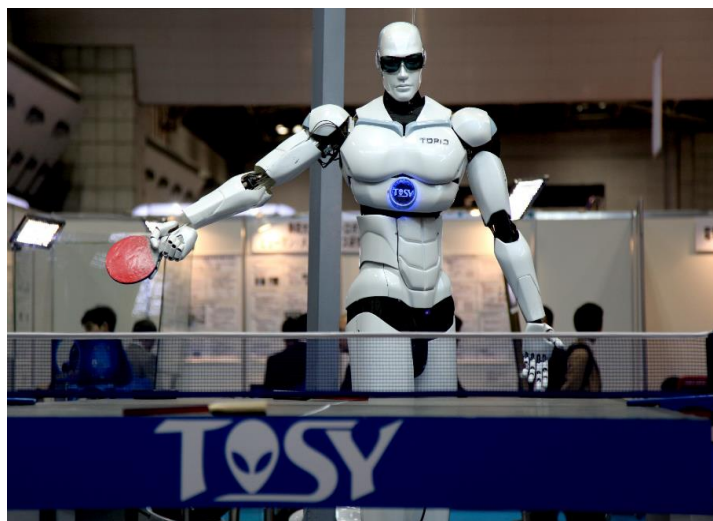
Ο σχεδιασμός της Roboethics απαιτεί τη συνδυασμένη δέσμευση των εμπειρογνομόνων διαφόρων ειδικοτήτων, οι οποίοι, εργάζονται σε διακρατικά σχέδια από επιτροπές οι οποίες πρέπει να προσαρμόσουν τους νόμους και τους κανονισμούς για τα προβλήματα που προκύπτουν από τα επιστημονικά και τεχνολογικά επιτεύγματα σε Ρομποτική και AI .

Καθώς τα ρομπότ έχουν γίνει πιο προηγμένα και εξελιγμένα, εμπειρογνώμονες και ακαδημαϊκοί έχουν να διερευνήσουν ερωτήματα για το τι μπορεί να ισχύει για την ηθική συμπεριφορά των ρομπότ και αν τα ρομπότ θα μπορούσαν να είναι σε θέση να διεκδικήσουν κάθε είδους κοινωνικά, πολιτιστικά, ηθικά ή νομικά δικαιώματα. Μια επιστημονική ομάδα δήλωσε ότι είναι πιθανό ένας εγκέφαλος ρομπότ να δημιουργηθεί περίπου το 2019. Ο κοινωνικός αντίκτυπος των ευφυών ρομπότ είναι το θέμα του ντοκιμαντέρ του 2010 [Plug & Pray](#).

Ο [Vernor Vinge](#) καθηγητής Μαθηματικών και Επιστήμης Υπολογιστών, πρότεινε ότι μπορεί να υπάρξει μια στιγμή όπου οι υπολογιστές και τα ρομπότ θα είναι εξυπνότερα από τους ανθρώπους, το οποίο αποκαλεί «η Μοναδικότητα (the Singularity)». Ο ίδιος πίστευε ότι μπορεί ενδεχομένως να είναι πολύ επικίνδυνο για τον άνθρωπο. Το θέμα αυτό εξετάζεται από μια φιλοσοφία που ονομάζεται Singularitarianism.

Το 2009, οι ειδικοί παρακολούθησαν ένα συνέδριο που διοργάνωσε η Ένωση για την Πρόοδο της Τεχνητής Νοημοσύνης -*Association for the Advancement of Artificial*

Intelligence (AAAI), για να συζητήσουν εάν οι υπολογιστές και τα ρομπότ θα μπορούσαν να είναι σε θέση να αποκτήσουν αυτονομία, και κατά πόσο οι ικανότητες αυτές θα μπορούσαν να θέσουν την ανθρωπότητα σε απειλή ή κίνδυνο. Σημειωτέων ορισμένα ρομπότ έχουν αποκτήσει διάφορες μορφές ημι-αυτονομίας, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητας τους να βρίσκουν τις πηγές τροφοδοσίας από μόνα τους και να είναι σε θέση να επιλέγουν ανεξάρτητα στόχους για να επιτεθούν με όπλα. Επίσης ορισμένοι ιοί υπολογιστών μπορούν να αποφύγουν την εξάλειψη το οποίο αναφέρεται ως "νοημοσύνη κατσαρίδας" (*cockroach intelligence*).



Εικόνα 2. 17 Ο Τορίο, ένα ανθρωποειδές ρομπότ στη διεθνή έκθεση (IREX) το 2009 στο Τόκυο

Οι κύριοι τομείς που εμπλέκονται στην Roboethics είναι: η ρομποτική, η επιστήμη των υπολογιστών, η τεχνητή νοημοσύνη, η φιλοσοφία, η θεολογία, η βιολογία, η φυσιολογία, οι διάφορες νευρο-επιστήμες, η νομική, η κοινωνιολογία, η ψυχολογία, και το βιομηχανικό σχέδιο.

2.7.2 Στρατιωτικά Robots

Τα στρατιωτικά ρομπότ είναι αυτόνομες ή τηλεχειριζόμενες συσκευές που έχουν σχεδιασθεί για στρατιωτικές εφαρμογές.

Τέτοια συστήματα είναι υπό έρευνα από μεγάλο αριθμό στρατών παγκοσμίως.

Τα στρατιωτικά ρομπότ, με την ευρεία έννοια, χρονολογούνται από το την εποχή του Β 'Παγκόσμιου και του Ψυχρού Πόλεμου. Υπό την υπηρεσία του γερμανικού στρατού παρακολουθούσαν νάρκες και τα σοβιετικά teletanks. Το *MQB-1 Predator drone* εναέριο ρομπότ για συλλογή πληροφοριών, χρησιμοποιήθηκε από αξιωματικούς της CIA οι οποίοι άρχισαν να βλέπουν τα πρώτα πρακτικά αποτελέσματα που δεκαετίες πριν είχαν φανταστεί.

Πολλοί πιστεύουν ότι το μέλλον του σύγχρονου πολέμου είναι με τη χρήση με αυτοματοποιημένων οπλικών συστημάτων. Ο αμερικανικός στρατός επενδύει αρκετά στην έρευνα και την ανάπτυξη για τις δοκιμές σε ολοένα και πιο αυτοματοποιημένα συστήματα. Το πιο σημαντικό σύστημα που χρησιμοποιείται σήμερα είναι το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (IAI Pioneer & RQ-1 Predator), το οποίο μπορεί να είναι οπλισμένο με βλήματα αέρος-εδάφους και ελέγχεται με τηλεχειρισμό από ένα κέντρο διοίκησης.



Εικόνα 2. 18 Armed Predator drone

Η [DARPA](#) είχε διοργανώσει διαγωνισμούς το 2004 και το 2005 για τη συμμετοχή ιδιωτικών εταιρειών και πανεπιστημίων ώστε να αναπτύξουν μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους για να μπορούν να περιηγηθούν πάνω και μέσα σε ανώμαλο έδαφος στην έρημο Mojave , με τελικό έπαθλο 2 εκατομμύρια δολάρια.

Ορισμένοι εμπειρογνώμονες και ακαδημαϊκοί έχουν αμφισβητήσει τη χρήση των ρομπότ για στρατιωτικές μάχες, ιδίως όταν σε τέτοια ρομπότ έχει δοθεί ένας αριθμός αυτόνομων λειτουργιών. Υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την τεχνολογία την οποία θα

μπορούσε να επιτρέψει σε ορισμένα ένοπλα ρομπότ να ελέγχονται κυρίως από άλλα ρομπότ.

Κυρίως ένα ρομπότ, η EATR (*Energetically Autonomous Tactical Robot*), προκάλεσε την ανησυχία του κοινού καθώς μπορεί να ανεφοδιάζεται με καύσιμα συνεχώς, με χρήση οργανικών ουσιών.



Εικόνα 2. 19 Στρατιωτικό E.A.T.R

Παρά το γεγονός ότι ο κινητήρας της EATR έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με βιομάζα και βλάστηση που επιλέγονται από ειδικούς αισθητήρες και τα οποία μπορεί να βρει στο πεδίο της μάχης, μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει και λίπος κοτόπουλου.

Ο Manuel De Landa, αμερικανό-μεξικάνος συγγραφέας και φιλόσοφος, έχει επισημάνει ότι τα «έξυπνα βλήματα» και οι αυτόνομες βόμβες που είναι εξοπλισμένα με αντίληψη μπορεί να θεωρηθούν ρομπότ, καθώς παίρνουν ορισμένες από τις αποφάσεις τους αυτόνομα. Ο ίδιος πιστεύει ότι αυτό αποτελεί μια επικίνδυνη τάση στην οποία οι άνθρωποι παραδίδουν σημαντικές αποφάσεις στις μηχανές.

2.7.3 Η σχέση των Robots με την ανεργία

Με τον όρο «τεχνολογική ανεργία» (*Technological unemployment*) εννοούμε την απώλεια θέσεων εργασίας που προκαλείται από κάποια τεχνολογική αλλαγή. Η αλλαγή

αυτή συνήθως περιλαμβάνει την εισαγωγή μηχανών ώστε να επιτευχθεί εξοικονόμηση εργασίας ή αποτελεσματικότερες διαδικασίες. Ένα παράδειγμα τεχνολογικής ανεργίας είναι η αντικατάσταση των ταμιών σε μεγάλα καταστήματα λιανικής, από self-service ταμεία.



Εικόνα 2. 20 Ένα ανθρωποειδές σχεδιασμένο για να κρατάει συντροφιά και να φροντίζει ανθρώπους. Κάποιοι το βρίσκουν ελκυστικό ενώ άλλοι αποκρουστικό.

Ένα πρόσφατο παράδειγμα της ανθρώπινης αντικατάστασης περιλαμβάνει η ταϊβανέζικη εταιρεία *Foxconn Technology* που, τον Ιούλιο του 2011, ανακοίνωσε ένα τριετές σχέδιο για την αντικατάσταση των εργαζομένων με ρομπότ. Σήμερα, η εταιρεία χρησιμοποιεί δέκα χιλιάδες robots, ενώ σκοπεύει να τα αυξήσει σε ένα εκατομμύριο robots τα επόμενα τρία έτη.

Οι δικηγόροι έχουν σκεφτεί ότι ο αυξημένος αριθμός των ρομπότ στο χώρο εργασίας θα μπορούσε να οδηγήσει στην ανάγκη να αναθεωρήσουν τους νόμους περί απολύσεων.

2.8 Σύγχρονες χρήσεις

Επί του παρόντος, υπάρχουν δύο κύριοι τύποι ρομπότ, σύμφωνα με την χρήση τους: τα γενικής χρήσης αυτόνομα ρομπότ και τα ειδικά ρομπότ.

Τα Ρομπότ μπορεί να ταξινομηθούν σύμφωνα με την ιδιαιτερότητα του σκοπούς τους. Ένα ρομπότ μπορεί να σχεδιαστεί για να εκτελεί μία συγκεκριμένη εργασία εξαιρετικά καλά, ή μια σειρά από άλλα καθήκοντα λιγότερο καλά. Φυσικά, όλα τα ρομπότ από τη φύση τους μπορούν να προγραμματιστούν εκ νέου και να συμπεριφέρονται διαφορετικά, με μόνο περιορισμό τη φυσική τους μορφή. Για παράδειγμα, ένα ρομπότ βραχίονας μπορεί να εκτελεί εργασίες όπως η κοπή, συγκόλληση, ή να ενεργεί σε ένα εκθεσιακό χώρο επιδεικνύοντας τις διάφορες λειτουργίες του, ενώ ένα ρομπότ Pick-and-Place μπορεί μόνο να συμπληρώνει τυπωμένα κυκλώματα.

2.8.1 Αυτόνομα Robots γενικής χρήσης

Τα αυτόνομα Robots γενικής χρήσης μπορούν να εκτελούν μια ποικιλία λειτουργιών ανεξάρτητα. Συνήθως ένα αυτόνομο Robot μπορεί να πλοηγηθεί σε γνωστούς για αυτό χώρους, καλύπτοντας τις δικές του ανάγκες επαναφόρτισης. Μπορεί να αλληλοεπιδρά με διάφορα αντικείμενα του χώρου του όπως ηλεκτρονικές πόρτες και ανελκυστήρες και να εκτελεί άλλες βασικές εργασίες. Όπως και οι υπολογιστές έτσι και τα αυτόνομα ρομπότ μπορούν να συνδεθούν σε δίκτυα για να επικοινωνούν με άλλες συσκευές, ακόμα και να ενημερώσουν το λογισμικό τους.

Μπορούν να αναγνωρίσουν ανθρώπους ή αντικείμενα, να μιλήσουν, να παρέχουν συντροφικότητα, να παρακολουθούν την ποιότητα του περιβάλλοντος, να αποκρίνονται σε συναγερμούς και να εκτελούν άλλες χρήσιμες εργασίες. Κάποια

Ρομπότ γενικής χρήσης μπορούν να εκτελούν ποικιλία λειτουργιών ταυτόχρονα ή μπορούν να αναλάβουν διαφορετικούς ρόλους σε διαφορετικές ώρες της ημέρας.

Μερικά προσπαθούν να μιμηθούν τον άνθρωπο και μπορεί ακόμη και να μοιάζουν με τους ανθρώπους στην εμφάνιση. Αυτό το είδος των ρομπότ ονομάζεται ανθρωποειδή (Android) ρομπότ. Τα ανθρωποειδή ρομπότ είναι ακόμη σε πολύ περιορισμένο στάδιο, καθώς δεν μπορούν να πλοηγηθούν σε χώρο που δεν έχουν χαρτογραφήσει πριν.



Εικόνα 2. 21 Ρομπότ γενικού σκοπού το οποίο λειτουργεί σαν ενημερωτικός οδηγός το πρωί και σαν φύλακας το βράδυ

2.8.2 Factory robots

A. Στην παραγωγή αυτοκινήτων

Κατά τη διάρκεια των τριών τελευταίων δεκαετιών, τα εργοστάσια αυτοκινήτων έχουν κυριευτεί από ρομπότ. Ένα τυπικό εργοστάσιο περιέχει εκατοντάδες βιομηχανικά ρομπότ που εργάζονται σε πλήρως αυτοματοποιημένες γραμμές παραγωγής, με ένα ρομπότ για κάθε δέκα εργαζομένους ανθρώπους. Σε μια

αυτοματοποιημένη γραμμή παραγωγής, ένα σασί περνώντας πάνω σε ένα μεταφορέα, συγκολλάτε, βάφεται και τελικά συναρμολογείται από μία σειρά ρομποτικών σταθμών.



Εικόνα 2. 22



Εικόνα 2. 23 Automotive industry

Β. Στη συσκευασία

Βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται επίσης εκτενώς για παλετοποίηση και συσκευασία των μεταποιημένων προϊόντων, για παράδειγμα για την ταχεία λήψη χαρτοκιβώτιων με ποτά από το τέλος ενός μάντα μεταφοράς και την τοποθέτησή τους σε κουτιά, ή για κέντρα επεξεργασίας φόρτωσης και εκφόρτωσης.



Εικόνα 2. 24 Ρομπότ συσκευασίας

Γ. Στην ηλεκτρονική

Μαζικής παραγωγής πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB) κατασκευάζονται σχεδόν αποκλειστικά από *pick-and-place* ρομπότ, συνήθως με βραχίονες SCARA, που αφαιρούν μικροσκοπικά ηλεκτρονικά στοιχεία από ταινίες ή δίσκους, και τα τοποθετούν πάνω σε PCB με μεγάλη ακρίβεια. Τα εν λόγω ρομπότ μπορούν να τοποθετήσουν εκατοντάδες χιλιάδες εξαρτημάτων ανά ώρα, έτσι κανένας άνθρωπος δεν μπορεί να τα ανταγωνιστεί σε ταχύτητα, ακρίβεια και αξιοπιστία.



Εικόνα 2. 25 Ρομπότ δημιουργίας ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με την μέθοδο *pick-and-place*

2.8.3 Χρήση Ρομπότ στην εξόρυξη μετάλλων

Τα ρομπότ εξόρυξης έχουν σχεδιαστεί για να λύσουν μια σειρά από προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα η εξορυκτική βιομηχανία, συμπεριλαμβανομένων των ελλείψεων δεξιοτήτων, τη βελτίωση της παραγωγικότητας από τη μείωση της ποιότητας των μεταλλευμάτων, και την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων. Λόγω του επικίνδυνου χαρακτήρα της εξορυκτικής βιομηχανίας, ιδίως δε της υπόγειας εξόρυξης, η επικράτηση της αυτόνομης, ημιαυτόνομης και τηλε-ρομποτικής λειτουργίας έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια.



Εικόνα 2. 26 Τα ρομποτικά φορτηγά-οχήματα komatsu

Μια σειρά από κατασκευαστές οχημάτων παρέχουν αυτονομία σε τρένα, φορτηγά και εκσκαφείς που θα φορτώσουν το υλικό, θα το μεταφέρουν από τον χώρο του ορυχείου στον προορισμό του, και θα το ξεφορτώσουν χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση. Μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες εξόρυξης στον κόσμο, η Rio Tinto, που εδρεύει στη Δυτική Αυστραλία, επέκτεινε πρόσφατα τον στόλο των αυτόνομων οχημάτων της, που αποτελείται από 150 φορτηγά Komatsu.

2.8.4 Robot στην υγεία (Healthcare)

Τα Ρομπότ στον τομέα της υγείας έχουν δύο βασικές λειτουργίες. Εκείνα που βοηθούν ένα άτομο, όπως ένα πάσχοντα από μια ασθένεια (π.χ σκλήρυνση κατά

πλάκας) και εκείνα που βοηθούν σε συνολικά συστήματα όπως τα φαρμακεία και τα νοσοκομεία.



Εικόνα 2. 27 Το Ρομπότ παροχής φροντίδας FRIEND

Γνωστά ως *Disability robots*, χρησιμοποιούνται συνήθως στο οικιακό περιβάλλον. Με την πάροδο του χρόνου αναπτύχθηκαν από απλές βασικές ρομποτικές βοηθούς, όπως η Handy 1 σε ημι-αυτόνομων ρομπότ, όπως ο FRIEND που μπορούν να βοηθούν ηλικιωμένους και άτομα με ειδικές ανάγκες σε κοινές εργασίες.

Ο FRIEND (εικόνα 2.27) έχει σχεδιαστεί για ασθενείς που είναι παραπληγικοί, έχουν μυϊκές δυσλειτουργίες ή σοβαρή παράλυση (λόγω εγκεφαλικών επεισοδίων, κλπ.), για την εκτέλεση καθηκόντων, χωρίς την ανάγκη βοήθειας από άλλους ανθρώπους.

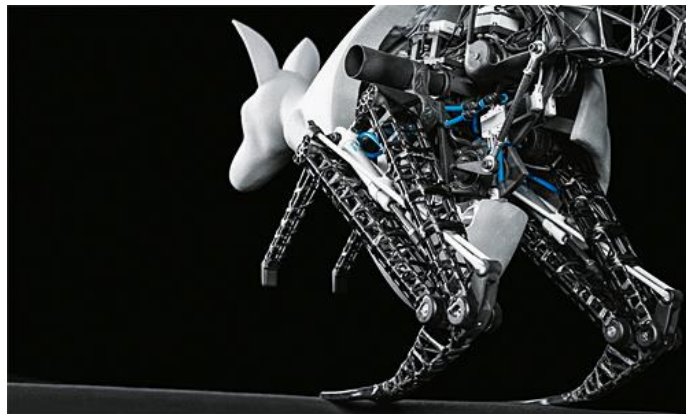
2.8.5 Ερευνητικά robots

Ενώ τα περισσότερα ρομπότ σήμερα εγκατασταθεί στα εργοστάσια ή τα σπίτια, για εκτέλεση εργασιών ή διάσωση ζώων, πολλά νέα είδη ρομπότ αναπτύσσονται σε εργαστήρια σε όλο τον κόσμο. Μεγάλο μέρος της έρευνας στον τομέα της ρομποτικής,

εστιάζει στις έρευνες σε νέους τύπους ρομπότ που θα είναι σε θέση να λύσουν προβλήματα του πραγματικού κόσμου.

A. Βιονικά και βιομιμητικά ρομπότ

Στη ρομποτική, η βιονική και η βιομημητική χρησιμοποιούν τον τρόπο που κινούνται τα ζώα με το σχεδιασμό των ρομπότ. Εφαρμόζοντας μεθόδους από κινηματική, βιονική, και βιομιμητική, ερευνητές και μηχανικοί της Festo δημιούργησαν το *BionicKangaroo*, ένα μοντέλο που αναπτύχθηκε μελετώντας τις κινήσεις και τη φυσιολογία των καγκουρό.



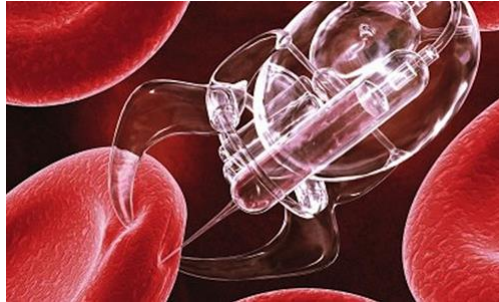
Εικόνα 2. 28 *BionicKangaroo-energy-efficient jump kinetics* βασισμένο σε φυσικό μοντέλο.

Το ρομπότ εξοικονομεί ενέργεια από κάθε άλμα και την εφαρμόζει στο επόμενο άλμα του, όπως κάνει ένα πραγματικό καγκουρό.

B. Νανορομποτική

Η νανορομποτική είναι το αναδυόμενο πεδίο της τεχνολογίας για τη δημιουργία μηχανών ή ρομπότ του οποίου τα συστατικά είναι κοντά στη μικροσκοπική κλίμακα του ενός μανομέτρου (10^{-9} μέτρα). Είναι γνωστά ως "nanobots" ή "nanites", που μπορούν να κατασκευαστούν από μοριακές μηχανές. Μέχρι στιγμής, οι ερευνητές έχουν παράγει μόνο τμήματα αυτών των πολύπλοκων συστημάτων, όπως ρουλεμάν, αισθητήρες, και μοριακούς κινητήρες. Οι ερευνητές ελπίζουν επίσης ότι θα να είναι σε θέση να δημιουργήσουν ολόκληρο το ρομπότ τόσο μικρό όσο οι ιοί ή τα βακτήρια, τα

οποία θα μπορούσαν να εκτελούν εργασίες σε μικροσκοπική κλίμακα. Πιθανές εφαρμογές θα περιλαμβάνονται στη μικρο-χειρουργική επέμβαση (στο επίπεδο των μεμονωμένων κυττάρων).

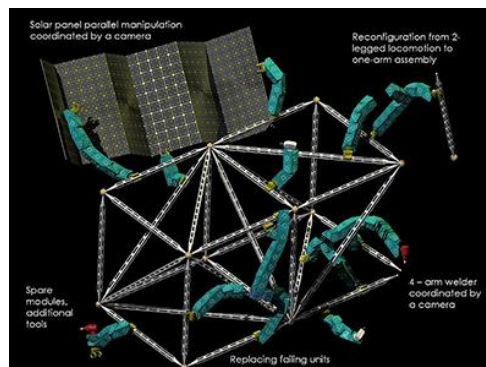


Εικόνα 2. 29 Nano-robot επιδρά σε αιμοπετάλια

Μερικοί έχουν προτείνει ότι εάν υπήρχαν nanobots που θα μπορούσαν να αναπαραχθούν, η γη θα μετατρέποταν σε «grey goo¹», ενώ άλλοι υποστηρίζουν ότι αυτό είναι μη εφικτό.

Γ. Αναδιαμορφούμενα ρομπότ (modular robots)

Κάποιοι ερευνητές έχουν διερευνήσει τη δυνατότητα δημιουργίας ρομπότ που μπορούν να αλλοιώσουν τη φυσική τους μορφή για να ταιριάζουν σε μια συγκεκριμένη εργασία, όπως το [T-1000](#). Τα πραγματικά ρομπότ είναι αρκετά μακριά από αυτό το περίπλοκο επίτευγμα, ωστόσο, υπάρχει ένα είδος αναδιαμορφούμενου ρομπότ αποτελούμενο από ένα μικρό αριθμό μονάδων σε σχήμα κύβου, το οποίο μπορεί να κινηθεί σε σχέση με τους γείτονές τους.



Εικόνα 2. 30 Αυτόνομο modular robot στο διάστημα

Δ. Μαλακά ρομπότ (Soft robots)

Ρομπότ με φορείς σιλικόνη και ευέλικτους κινητήρες (μυς αέρα, ηλεκτροενεργά πολυμερή, και *φερρορευστά*² (ferrofluid), που ελέγχονται με τη χρήση ασαφούς λογικής και νευρωνικών δικτύων, είναι διαφορετικά από τα ρομπότ με άκαμπτο σκελετό, και έχουν διαφορετική συμπεριφορά.



Εικόνα 2. 31 Soft robot

Ε. Σμήνος Ρομπότ

Εμπνευσμένοι από τις αποικίες των εντόμων όπως τα μυρμήγκια και οι μέλισσες, οι ερευνητές μοντελοποίησαν την συμπεριφορά των σμηνών σε χιλιάδες μικροσκοπικά ρομπότ που εκτελούν κάποιο έργο, όπως ο καθαρισμός δύσκολων ή επικίνδυνων χώρων ή χρησιμοποιούνται για κατασκοπεία. Κάθε ρομπότ είναι αρκετά απλό, αλλά η συμπεριφορά του σμήνους είναι περισσότερο περίπλοκη. Το σύνολο των ρομπότ μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ενιαίο καταναμημένο σύστημα που παρουσιάζει νοημοσύνη σμήνους, με τον ίδιο τρόπο που μια κοινότητα μυρμηγκιών μπορεί να θεωρηθεί υπεροργανισμός. Τα σμήνη είναι περισσότερο ανθεκτικά σε αποτυχίες. Όταν ένα «μεγάλο» ρομπότ αποτύχει, μπορεί να καταστρέψει μια αποστολή, ενώ ένα σμήνος μπορεί να συνεχίσει ακόμα και αν πολλά ρομπότ του αποτύχουν. Αυτό θα μπορούσε να είναι ελκυστικό για τις αποστολές εξερεύνησης του διαστήματος, όπου η αποτυχία είναι συνήθως εξαιρετικά δαπανηρή.



Εικόνα 2. 32 Ένα σμήνος ρομπότ από Project ανοιχτού κώδικα

ΣΤ. Ρομποτ απτικής διεπαφής (Haptic interface robots)

Η ρομποτική έχει εφαρμογή στο σχεδιασμό διεπαφών εικονικής πραγματικότητας. Εξειδικευμένα ρομπότ χρησιμοποιούνται ευρέως στην απτική ερευνητική κοινότητα. Αυτά τα ρομπότ, που ονομάζονται «απτικής διασύνδεσης ή απτικής διεπαφής», επιτρέπουν την αλληλεπίδραση του χρήστη από το πραγματικό στο εικονικό περιβάλλον. Οι ρομποτικές ικανότητες επιτρέπουν πλέον την προσομοίωση των μηχανικών ιδιοτήτων των «εικονικών» αντικείμενων, τα οποία οι χρήστες μπορούν να βιώσουν μέσα από την αίσθηση της αφής.

2.9 Το μέλλον της ρομποτικής

Διάφορες τεχνικές έχουν εμφανιστεί για την ανάπτυξη της επιστήμης της ρομποτικής και των ρομπότ. Μια μέθοδος είναι η εξελικτική ρομποτική (*evolutionary robotics*), κατά την οποία ένας αριθμός διαφορετικών ρομπότ έχουν υποβληθεί σε διάφορες δοκιμασίες. Εκείνα που έχουν τις καλύτερες επιδόσεις χρησιμοποιούνται ως πρότυπα για τη δημιουργία μιας μετέπειτα "γενιάς" ρομπότ. Μια άλλη μέθοδος είναι ή αναπτυξιακή ρομποτική (*developmental robotics*), η οποία παρακολουθεί τις αλλαγές και την ανάπτυξη σε ένα ρομπότ ώστε να επιφέρει επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων.

2.9.1 Τεχνολογική ανάπτυξη

Η Ιαπωνία ελπίζει να έχει πλήρη εμπορευματοποίηση των ρομπότ υπηρεσιών (service robots) από το 2025. Μεγάλο μέρος της τεχνολογικής έρευνας στην Ιαπωνία οδηγείται από ιαπωνικές κυβερνητικές υπηρεσίες, ιδιαίτερα το Υπουργείο Εμπορίου.

Καθώς τα ρομπότ γίνονται πιο προηγμένα, είναι απαραίτητο ένα τυποποιημένο λειτουργικό σύστημα σχεδιασμένο κυρίως για ρομπότ. Ένα τέτοιο λειτουργικό σύστημα είναι ένα σετ προγραμμάτων ανοιχτού κώδικα και αναπτύσσεται ήδη στο Πανεπιστήμιο του Στάνφορντ, στο MIT και στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο του Μονάχου, στη Γερμανία. Το λειτουργικό αυτό σύστημα γνωστό ως [Robot Operating System \(ROS\)](#) παρέχει τρόπους για τον προγραμματισμό της πλοήγησης και των άκρων ενός ρομπότ, ανεξάρτητα από το υλικό που χρησιμοποιείται στην υλοποίηση του. Επίσης, παρέχει εντολές υψηλού επιπέδου όπως αναγνώριση εικόνας, ακόμα και άνοιγμα θυρών. Όταν το ROS κάνει εκκίνηση στον υπολογιστή ενός ρομπότ, θα αποκτήσει δεδομένα σχετικά με χαρακτηριστικά όπως το μήκος και την κίνηση των άκρων ρομπότ και θα αναμεταδώσει αυτά τα δεδομένα σε αλγορίθμους υψηλότερου επιπέδου. Η Microsoft αναπτύσσει επίσης ένα "Windows για ρομπότ" σύστημα με το Robotics Developer Studio, το οποίο είναι διαθέσιμο ήδη από το 2007.

2.9.2 Νέες λειτουργίες και ικανότητες

Η Caterpillar Inc. κατασκευάζει ένα ανατρεπόμενο φορτηγό που μπορεί να κινηθεί χωρίς ανθρώπινο χειριστή.

Πολλές μελλοντικές εφαρμογές της ρομποτικής φαίνονται προφανές για τους ανθρώπους, ακόμη και αν οι δυνατότητες των ρομπότ είναι περιορισμένες. Ήδη από το 1982 οι άνθρωποι ήταν σίγουροι ότι κάποια μέρα τα ρομπότ θα καθάριζαν δυσπρόσιτα και επικίνδυνα μέρη, θα έβαφαν αυτοκίνητα ψεκάζοντας χρώμα και θα συσκεύαζαν αντικείμενα σε πακέτα χωρίς απολύτως καμία ανθρώπινη παρουσία.

Ένα προβλεπόμενο χρονοδιάγραμμα αναφέρει κάποιες εξελίξεις και τελειοποιήσεις που σχετίζονται με την ρομποτική από την Ιαπωνική NISTEP:

2014-2015– τα γεωργικά ρομπότ ([AgRobots](#)).

2013-2017 - ρομπότ που φροντίζουν ηλικιωμένους

2017 - ιατρικά ρομπότ που εκτελούν απλή επεμβατική
χειρουργική

2017-2019 - Ρομπότ οικιακής χρήσης με πλήρη αυτονομία .

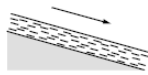
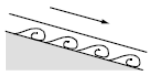

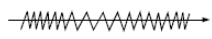

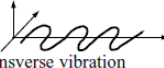






2019-2021 – nanorobot.

§.3 Αυτοκινούμενα τροχοφόρα ρομπότ

Ένα κινητό ρομπότ (mobile robot) ή mobot είναι μια αυτόματη μηχανή με ικανότητα μετακίνησης. Τα mobots μπορεί να είναι "αυτόνομα" (AMR - autonomous mobile robot) που σημαίνει ότι είναι ικανά να πλοηγηθούν εντός μη ελεγχόμενου περιβάλλοντος χωρίς την ανάγκη φυσικής ή ηλεκτρο-μηχανικής συσκευής καθοδήγησης. Εναλλακτικά, κάποιες κατηγορίες mobots μπορούν να βασίζονται σε συσκευές καθοδήγησης που τους επιτρέπουν να ακολουθούν μια προκαθορισμένη διαδρομή σε ελεγχόμενο χώρο (AGV - autonomous guided vehicle). Αντίθετα, τα βιομηχανικά ρομπότ είναι συνήθως στατικά και αποτελούνται από μια δαγκάνα και ένα βραχίονα που συνδέεται με μία σταθερή επιφάνεια.

3.1 Κίνηση (locomotion)

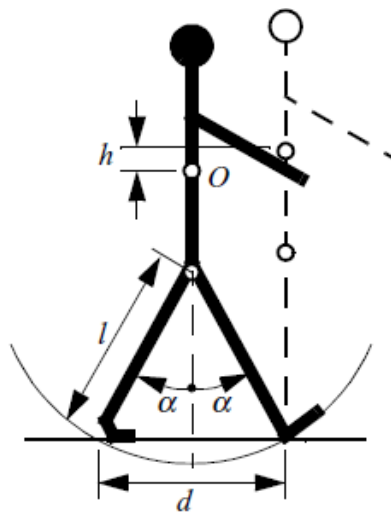
Ένα κινούμενο ρομπότ χρειάζεται μηχανισμούς κίνησης που του επιτρέπουν να κυκλοφορεί απεριόριστα στο περιβάλλον του. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία από πιθανούς τρόπους κίνησης κάνοντας την επιλογή της μια σημαντική πτυχή του σχεδιασμού των mobot.

Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel 	Hydrodynamic forces	Eddies 
Crawl 	Friction forces	Longitudinal vibration 
Sliding 	Friction forces	Transverse vibration 
Running 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Jumping 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Walking 	Gravitational forces	Rolling of a polygon (see figure 2.2) 

Εικόνα 3. 1 Μηχανισμοί κίνησης που χρησιμοποιούνται στα βιολογικά συστήματα

Πλέον όταν μιλάμε για κίνηση στην ρομποτική και την μηχανική θα χρησιμοποιούμε τον όρο *locomotion*. Οι περισσότεροι από τους μηχανισμούς κίνησης έχουν εμπνευστεί από αντιστοιχίσεις βιολογικών λειτουργιών.

Υπάρχει, ωστόσο, μία εξαίρεση, ο τροχός που είναι μια ανθρώπινη εφεύρεση που επιτυγχάνει εξαιρετικά υψηλή απόδοση σε επίπεδο έδαφος. Αυτός ο μηχανισμός δεν είναι εντελώς ξένος προς τα βιολογικά συστήματα. Το δίποδο περπάτημα μπορεί να προσεγγιστεί από ένα κυλιόμενο πολύγωνο με πλευρές μήκους ίσου με d στην διάρκεια ενός βήματος. Καθώς το μέγεθος του βήματος μειώνεται, το πολύγωνο προσεγγίζει έναν κύκλο ή τροχό ακτίνας l .



Εικόνα 3. 2 Ένα δίποδο σύστημα μπορεί να προσεγγιστεί από κυλιόμενο πολύγωνο

Τα κινητά ρομπότ γενικά χρησιμοποιούν είτε τροχοφόρους μηχανισμούς, γνωστά ως οχήματα, ή ένα μικρό αριθμό αρθρωτών ποδιών. Σε γενικές γραμμές, η μετακίνηση με πόδια απαιτεί μεγαλύτερη μηχανική πολυπλοκότητα από ότι με τροχούς. Στην πραγματικότητα, η αποτελεσματικότητα των τροχών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιότητες του περιβάλλοντος, ιδιαίτερα από το πόσο λείο ή αδρό είναι το έδαφος, ενώ η απόδοση των ποδιών εξαρτάται από τη μάζα ποδιού και του σώματος.

3.1.1 Βασικά θέματα κίνησης

Η κίνηση (*locomotion*) αποτελεί συμπλήρωμα του χειρισμού. Στο χειρισμό, ο ρομποτικός βραχίονας είναι σταθερός και κινούνται τα αντικείμενα στο χώρο εργασίας, ενώ στην *locomotion* κινείται το ρομπότ το οποίο αλληλοεπιδρά με το σταθερό

περιβάλλον. Και στις δύο περιπτώσεις η επιστημονική βάση είναι η μελέτη των μηχανισμών που δημιουργούν δυνάμεις διάδρασης οι οποίες δημιουργούν τις επιθυμητές κινηματικές και δυναμικές ιδιότητες.

Η κίνηση και ο χειρισμός μοιράζονται τοιούτοτρόπως ζητήματα στατικότητας, χαρακτηριστικά επαφής και τύπο περιβάλλοντος.

- Στατικότητα:
 - πλήθος και γεωμετρία σημείων επαφής
 - κέντρο βάρους
 - στατική /δυναμική σταθερότητα
 - κλίση εδάφους
- Χαρακτηριστικά επαφής
 - σημείο επαφής/διαδρομή(path) μέγεθος και σχήμα
 - γωνία επαφής
 - τριβή
- Τύπος περιβάλλοντος
 - υφή
 - ενδιάμεσα υλικά, (π.χ. νερό, αέρας, σκληρό ή μαλακό χώμα)

Η θεωρητική ανάλυση της κίνησης ξεκινάει από τη φυσική και την μηχανική. Με αυτά τα σημεία αναφοράς μπορούμε να ορίσουμε και να αναλύσουμε όλα τα πιθανά συστήματα κίνησης ενός robot.

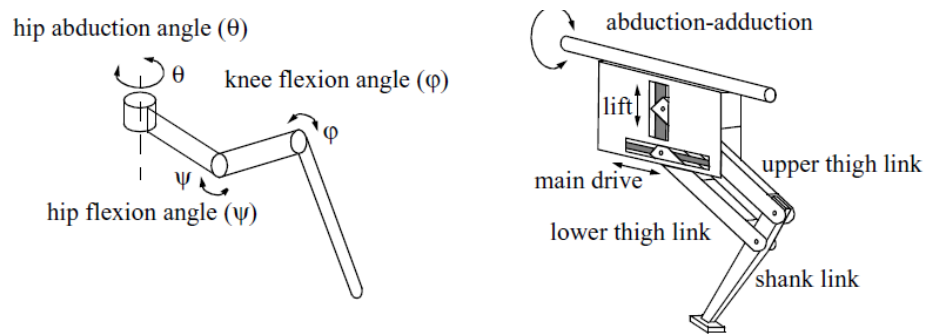
3.2 Κινούμενα ρομπότ με σκέλη

Στην συγκεκριμένη παράγραφο θα γίνει μια μικρή αναφορά στα ρομπότ τα οποία χρησιμοποιούν πόδια για να μετακινηθούν.

Η μετακίνηση με σκέλη χαρακτηρίζεται από μια σειρά σημείων επαφής μεταξύ του ρομπότ και του εδάφους. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα είναι η προσαρμοστικότητα και η ικανότητα ελιγμών σε ανώμαλα εδάφη. Εξαιτίας των σημείων που απαιτούνται, η ποιότητα του εδάφους μεταξύ αυτών των σημείων δεν έχει τόση σημασία εφόσον το ρομπότ μπορεί να διατηρεί επαφή με ομαλό σχετικά έδαφος. Επιπλέον, ένα ρομπότ

που περπατάει είναι ικανό να διασχίζει τρύπες ή χαντάκια τόσο μεγέθους όσο μπορεί να είναι το άνοιγμα των ποδιών του. Τέλος, ένα ακόμα πλεονέκτημα των ρομπότ με πόδια είναι η ικανότητά τους να χειρίζονται αντικείμενα του περιβάλλοντος τους με αρκετά μεγάλη επιδεξιότητα.

Το βασικό μειονέκτημα των συγκεκριμένων ρομπότ είναι η ενέργεια που χρειάζονται και η μηχανική του πολυπλοκότητα. Τα άκρα τους, τα οποία μπορεί να έχουν μεγάλο βαθμό ελευθερίας (DOF^3) πρέπει να συγκρατούν το συνολικό βάρος τους. Επιπλέον, η ικανότητα ελιγμών μπορεί να επιτευχθεί μόνο αν τα πόδια έχουν επαρκή βαθμό ελευθερίας, ώστε να διαδώσουν δυνάμεις σε διαφορετικές κατευθύνσεις.



Εικόνα 3. 3 Δύο παραδείγματα σκελών με τρεις βαθμούς ελευθερίας

3.2.1 Σχηματισμός σκελών και στατικότητα

Επειδή τα ρομπότ με πόδια είναι εμπνευσμένα από τη βιολογία, είναι σκόπιμο να εξετάσουμε βιολογικά την λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος κίνησης. Διαφορετικός σχεδιασμός οργανισμών όσον αφορά τον αριθμό των ποδιών τους βρίσκετε στη φύση. Μεγάλα ζώα όπως τα θηλαστικά και αρκετά ερπετά έχουν τέσσερα πόδια, ενώ έντομα και αραχνοειδή έχουν έξι, οκτώ ή και περισσότερα πόδια. Κάποια θηλαστικά έχουν τελειοποιήσει την ικανότητά τους να περπατούν στα δύο πόδια. Ειδικά οι άνθρωποι έχουν αναπτύξει την ικανότητα να έχουν ισορροπία και στο ένα μόνο πόδι.

Στην περίπτωση των πολύποδων robots, υπάρχει κανόνας που σχετίζει τις συντεταγμένες της κίνησης του ποδιού με τον έλεγχο του βαδίσματος. Ο αριθμός των πιθανών βημάτων εξαρτάτε από το πλήθος των ποδιών. Το κάθε βήμα είναι

αποτέλεσμα της συνέπειας μιας ανασήκωσης, μιας μετατόπισης και μιας ελευθέρωσης κάθε ποδιού ξεχωριστά. Για ένα robot με k αριθμό ποδιών, ο συνολικός αριθμός πιθανών κινήσεων είναι N όπου:

$$N = (2k - 1)!$$

Δηλαδή, ένα δίποδο ($k=2$) μπορεί να κάνει συνολικά,

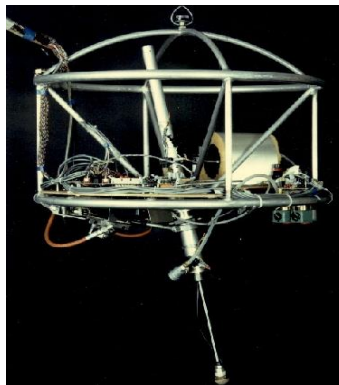
$N = (2k - 1)! = 3! = 6$ διαφορετικές κινήσεις:

1. σήκωμα αριστερού ποδιού.
2. σήκωμα δεξιού ποδιού.
3. ελευθέρωση αριστερού ποδιού.
4. Ελευθέρωση δεξιού ποδιού
5. σήκωμα και των δύο ποδιών.
6. ελευθέρωση και των δύο ποδιών.

3.2.2 Παραδείγματα αρθρωτών ρομπότ κίνησης

A. Ρομπότ με ένα σκέλος (monopod)

Ο ελάχιστος αριθμός σκελών είναι πλεονεκτικός για πολλούς λόγους. Η μάζα του σώματος μικραίνει και δεν συσσωρεύεται στα άκρα. Με ένα μόνο σκέλος δεν είναι απαραίτητη τόσες συντεταγμένες κίνησης. Η μεγαλύτερη πρόκληση για τέτοιου είδους ρομπότ είναι η ισορροπία, αφού η σταθερότητα τόσο κατά την διάρκεια της κίνησης όσο και σε κατάσταση ακινησίας είναι σχεδόν αδύνατη.



Εικόνα 3. 4 3D_hopper ρομπότ ενός σκέλους

Το ρομπότ πρέπει να ισορροπεί τον εαυτό του αλλάζοντας το κέντρο βάρους του, ή διορθώνοντας την συνισταμένη των δυνάμεων. Έτσι θεωρείται “δυναμικά σταθερό”

Β. Ρομπότ με δύο σκέλη (biped)

Πλήθος δίποδων ρομπότ έχουν δημιουργηθεί τα τελευταία 20 χρόνια. Συνήθως εκτός από το να περπατούν μπορούν και να τρέχουν, να πηδούν, να ανεβοκατεβαίνουν σκάλες ακόμα και να κάνουν τούμπες. Στον εμπορικό τομέα τόσο η Honda όσο και η Sony είναι πρωτοπόρες στο σχεδιασμό δίποδων ρομπότ.

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό των δίποδων ρομπότ είναι το ανθρωπόμορφο σχήμα τους, αφού έχουν φτιαχτεί έτσι ώστε να έχουν παρόμοιες αναλογίες με το ανθρώπινο σώμα. Τα δίποδα ρομπότ μπορεί να έχουν μόνο “στατική σταθερότητα” (statically stable) με κάποιους περιορισμούς. Έτσι τέτοια ρομπότ όπως το P2 και το WABIAN πρέπει συνεχώς να υπολογίζουν την ισορροπία τους.



Εικόνα 3. 5 WABIAN-2RIII Robot Walks more like a Person

Specifications:

Weight: 131 [kg]

Height: 1.88 [m]

DOF in total: 43

Lower Limbs: 2 x 6

Trunk: 3

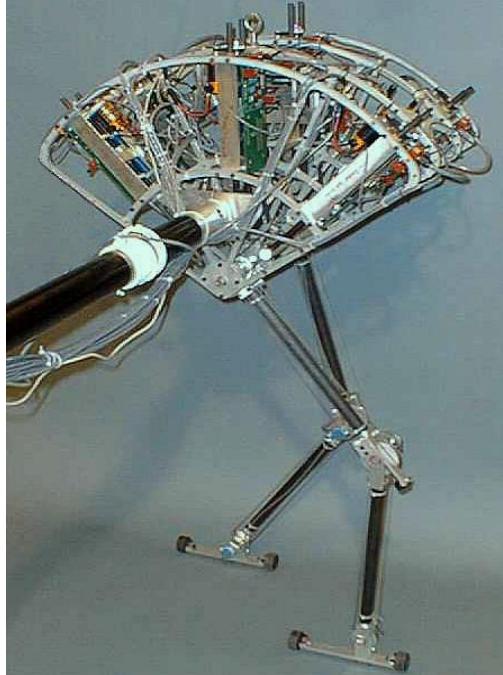
Arms: 2 x 10

Neck: 4

Eyes: 2 x 2

<http://www.33rdsquare.com/2013/06/wabian-2riii-robot-walks-more-like.html>

Επιπλέον, κάθε πόδι πρέπει να έχει συγκεκριμένη μάζα για να μπορεί να υποστηρίξει όλο το βάρος του ρομπότ.

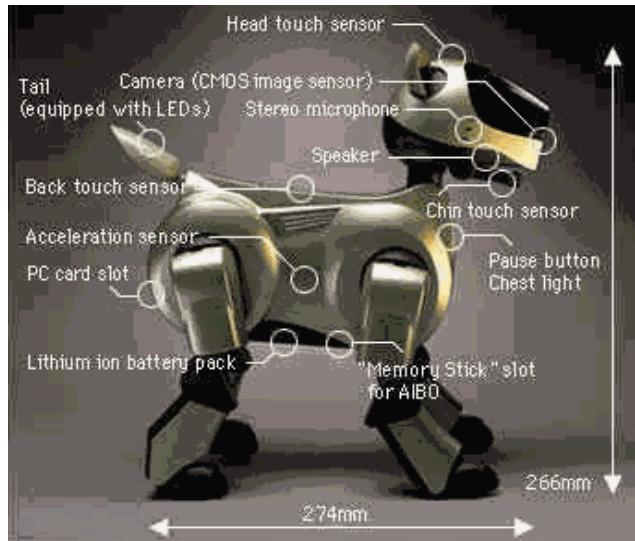


Εικόνα 3. 6 MIT Leg Lab's Spring Flamingo Robot

Ένα κομψό δίποδο ρομπότ είναι το “Spring Flamingo”, δημιούργημα του MIT, το οποίο έχει μια σειρά ελατηρίων σε κάθε πόδι ώστε να επιτυγχάνει πιο ελαστικό βήμα. Συνδυάζοντας «επιγονατίδες» που ενώνονται σε αρθρωτούς αγκώνες, το Spring Flamingo έχει καταφέρει να έχει καταπληκτική βιομιμική κίνηση.

Γ. Ρομπότ με τέσσερα σκέλη (quadruped)

Παρά το γεγονός ότι το να στέκεσαι στα τέσσερα πόδια είναι παθητικά σταθερό, το περπάτημα εξακολουθεί να είναι πρόκληση γιατί πρέπει να παραμείνει σταθερό το κέντρο βάρους του ρομπότ ώστε να μπορεί να μετατοπιστεί σωστά κατά τη διάρκεια της βόδισης. Η Sony έχει σχεδιάσει το περπάτημα του AIBO και τη γενική συμπεριφορά του ώστε να μιμείται τη μάθηση και την ωρίμανση όπως ένα αληθινό κατοικίδιο. Σαν αποτέλεσμα, η δυναμική συμπεριφορά του με την πάροδο του χρόνου να είναι περισσότερο ενδιαφέρουσα για τον ιδιοκτήτη, ο οποίος μπορεί να παρακολουθεί την αλλαγή της.

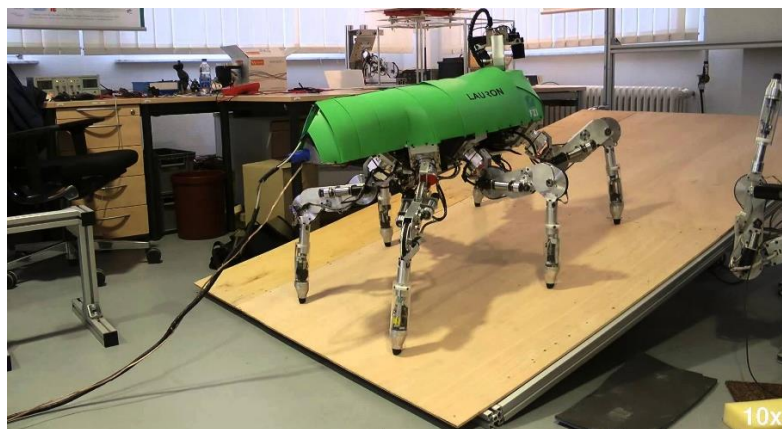


Εικόνα 3. 7 Sony AIBO PS-5638

Δεδομένου ότι η πρόκληση της υψηλής αποθήκευσης ενέργειας και η τεχνολογία των κινητήρων έχουν επιλυθεί, είναι πιθανόν τα τετράποδα ρομπότ να γίνουν πιο εύχρηστα για το ευρύ κοινό στο μέλλον.

Δ. Ρομπότ με έξι σκέλη (hexapod)

Η σύνθεση εξαπόδων ρομπότ είναι εξαιρετικά δημοφιλής λόγω της “στατικής σταθερότητας” τους κατά το περπάτημα, μειώνοντας έτσι την πολυπλοκότητα του ελέγχου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το κάθε σκέλος έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας, συμπεριλαμβανομένων της κάμψη του ισχίου, της κάμψη του γόνατου, και την απαγωγή του ισχίου.

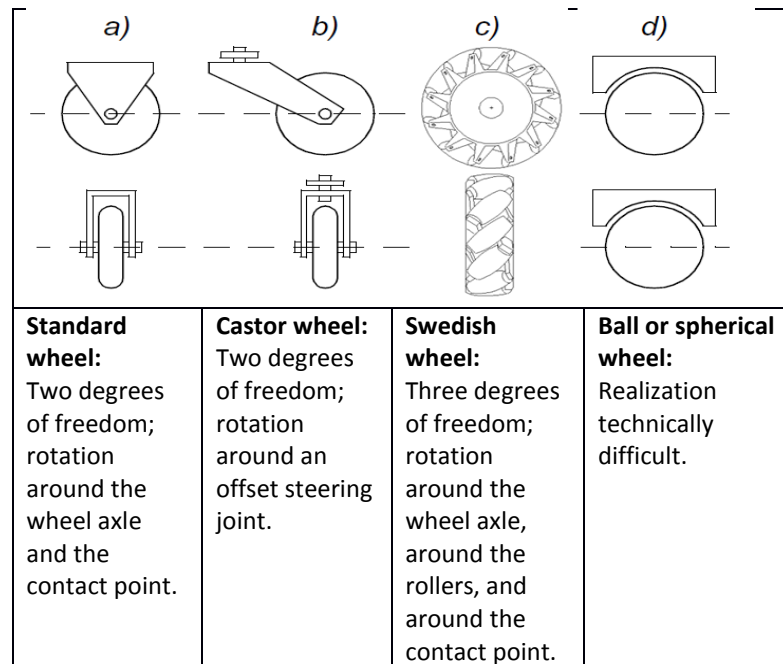


Εικόνα 3. 8 Walking Robot LAURON V - Hexapod on Wooden Slope (2013)

Τα έντομα, τα οποία έχουν αναμφισβήτητα το πιο επιτυχημένο μοντέλο κίνησης στη γη, υπερέχουν στο να διασχίζουν όλες τις μορφές του εδάφους, ακόμη και ανάποδα. Προς το παρόν, το χάσμα μεταξύ των δυνατοτήτων των έξι ποδιών των εντόμων και των τεχνητών έξι ποδιών εξακολουθεί να είναι αρκετά μεγάλο.

3.3 Τροχοφόρο ρομπότ

Ο τροχός είναι μακράν ο πιο δημοφιλής μηχανισμός κίνησης στην κινητή ρομποτική και γενικά στα τεχνητά οχήματα. Μπορεί να πετύχει πολύ καλές αποδόσεις, και το κάνει με μια σχετικά απλή μηχανική εφαρμογή. Επιπλέον, συνήθως τα τροχοφόρα ρομπότ δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα ισορροπίας αφού είναι σχεδόν πάντα σχεδιασμένα έτσι ώστε όλοι οι τροχοί βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος. Έτσι, τρεις τροχοί είναι επαρκής ώστε να εξασφαλίζεται ισορροπία, αν και, όπως θα δούμε παρακάτω, τα δίτροχα ρομπότ μπορεί επίσης να είναι σταθερά. Όταν χρησιμοποιούνται περισσότεροι από τρεις τροχοί, ένα σύστημα ανάρτησης είναι υποχρεωτικό ώστε να επιτρέπει σε όλους τους τροχούς να διατηρούν επαφή με το έδαφος.



Εικόνα 3. 9 Τέσσερις βασικοί τύποι τροχών

Αντί να ανησυχούμε για την ισορροπία, η έρευνα για τα τροχοφόρα ρομπότ τείνει να επικεντρωθεί στα προβλήματα της πρόσφυση, της ευστάθειας και της ευελιξίας. Μπορούν οι τροχοί να παρέχουν επαρκή πρόσφυση και ευστάθεια ώστε το ρομπότ να μπορεί να καλύψει τα δυσκολότερα είδη εδάφους, και κάνει έλεγχο για την ταχύτητα του;

3.3.1 Τροχοφόρα οχήματα: σχεδιασμός

Όπως θα δούμε, υπάρχει πλήθος πιθανών διαμορφώσεων των τροχών. Θα εξετάσουμε με λεπτομέρεια τους τροχούς, καθώς υπάρχει μια σειρά από διαφορετικούς τύπους τροχών με ειδικές δυνατότητες και αδυναμίες.

A. Είδη τροχών

Υπάρχουν τέσσερις κύριες κατηγορίες τροχών, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.9. Διαφέρουν ευρέως στην κινηματική τους, και ως εκ τούτου η επιλογή του τύπου τροχού έχει μεγάλη επίπτωση στην συνολική κινηματική του ρομπότ. Ο κανονικός τροχός (standard wheel) και ο τροχός Castor έχουν κύριο άξονα περιστροφής ώστε να έχουν μεγάλη κατευθυντικότητα. Για να μετακινηθεί σε διαφορετική κατεύθυνση, ο τροχός πρέπει πρώτα να καθοδηγείται κατά μήκος ενός κατακόρυφου άξονα. Η βασική διαφορά μεταξύ αυτών των δύο τροχών είναι ότι Standard τροχός μπορεί να καταφέρει αυτή τη κίνηση του συστήματος διεύθυνσης, χωρίς προβλήματα, καθώς το κέντρο περιστροφής περνά μέσα από την επιφάνεια επαφής με το έδαφος, ενώ ο Castor τροχός περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα, προκαλώντας μια δύναμη αντιστάθμισης, η οποία μεταδίδεται στο σασί του ρομπότ κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

Τόσο ο σουηδικός (Swedish) τροχός όσο και ο σφαιρικός τροχός περιορίζονται λιγότερο από την κατευθυντικότητα σε σχέση με τον standard τροχό. Ο σουηδικός λειτουργεί όπως ο κανονικός τροχός, αλλά παρέχει χαμηλή αντίσταση σε επιπλέον κατευθύνσεις, επίσης μπορεί να κατευθύνεται κάθετα προς την συμβατική κατεύθυνση (Swedish 90), ή σε μια ενδιάμεση γωνία (Swedish 45). Οι μικροί κύλινδροι βρίσκονται γύρω από την περιφέρεια του τροχού και χρησιμεύουν ώστε να τροφοδοτείται ενεργά ο τροχός.


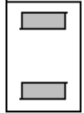
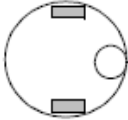

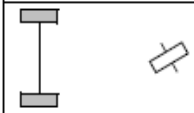
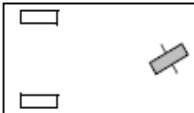
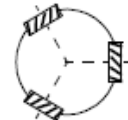
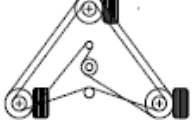
Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του σχεδιασμού είναι ότι, αν και η περιστροφή του τροχού τροφοδοτείται μόνο κατά μήκος του κύριου άξονα, ο τροχός μπορεί να κινηθεί κινηματικά με πολύ μικρή τριβή κατά μήκος πολλών πιθανών τροχιών, και όχι μόνο προς τα εμπρός αλλά και προς τα πίσω.

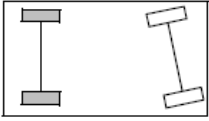
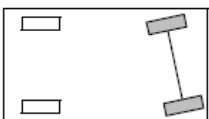
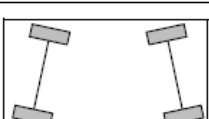

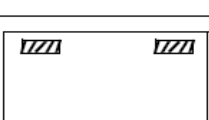
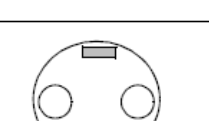
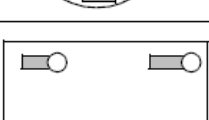
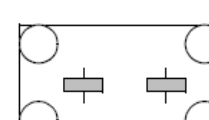
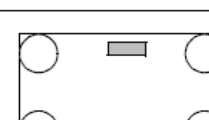
Ο σφαιρικός τροχός είναι πραγματικά κατευθυντικός και συχνά σχεδιάζεται έτσι ώστε να μπορεί να κινείται για να περιστρέφεται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση.

B. Γεωμετρία τροχών








Η επιλογή των τύπων τροχό για ένα κινητό ρομπότ είναι στενά συνδεδεμένη με τη γεωμετρία του τροχού. Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ρομπότ διέπονται από: την ευελιξία, τη δυνατότητα ελέγχου, και τη σταθερότητα.

Σε αντίθεση με τα αυτοκίνητα, τα οποία σε μεγάλο βαθμό έχουν σχεδιαστεί για ένα εξαιρετικά τυποποιημένο περιβάλλον (το οδικό δίκτυο), τα κινητά ρομπότ έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές σε ένα ευρύ φάσμα εδαφικών συνθηκών. Στην πραγματικότητα, μερικά ρομπότ χρησιμοποιούν την Ackerman διάταξη τροχών των αυτοκινήτων (Εικόνα 3.10), εξαιτίας των ελάχιστων ελιγμών, με εξαίρεση τα κινητά ρομπότ που έχουν σχεδιαστεί για το οδόστρωμα.

# of wheels	Arrangement	Description	Typical examples
2		One steering wheel in the front, one traction wheel in the rear	Bicycle, motorcycle
		Two-wheel differential drive with the center of mass (COM) below the axle	Cye personal robot
3		Two-wheel centered differential drive with a third point of contact	Nomad Scout, smartRob EPFL
		Two independently driven wheels in the rear/front, 1 unpowered omnidirectional wheel in the front/rear	Many indoor robots, including the EPFL robots Pygmalion and Alice
		Two connected traction wheels (differential) in rear, 1 steered free wheel in front	Piaggio minitrucks
		Two free wheels in rear, 1 steered traction wheel in front	Neptune (Carnegie Mellon University), Hero-1
		Three motorized Swedish or spherical wheels arranged in a triangle; omnidirectional movement is possible	Stanford wheel Tribolo EPFL, Palm Pilot Robot Kit (CMU)
		Three synchronously motorized and steered wheels; the orientation is not controllable	"Synchro drive" Denning MRV-2, Georgia Institute of Technology, I-Robot B24, Nomad 200

# of wheels	Arrangement	Description	Typical examples
4		Two motorized wheels in the rear, 2 steered wheels in the front; steering has to be different for the 2 wheels to avoid slipping/skidding.	Car with rear-wheel drive
		Two motorized and steered wheels in the front, 2 free wheels in the rear; steering has to be different for the 2 wheels to avoid slipping/skidding.	Car with front-wheel drive
		Four steered and motorized wheels	Four-wheel drive, four-wheel steering Hyperion (CMU)
		Two traction wheels (differential) in rear/front, 2 omnidirectional wheels in the front/rear	Charlie (DMT-EPFL)
		Four omnidirectional wheels	Carnegie Mellon Uranus
		Two-wheel differential drive with 2 additional points of contact	EPFL Khepera, Hyperbot Chip
		Four motorized and steered castor wheels	Nomad XR4000
6		Two motorized and steered wheels aligned in center, 1 omnidirectional wheel at each corner	First
		Two traction wheels (differential) in center, 1 omnidirectional wheel at each corner	Terregator (Carnegie Mellon University)

Εικόνα 3. 10 α Διαμορφώσεις τροχών κύλισης για οχήματα.

Icons for the each wheel type are as follows:	
	unpowered omnidirectional wheel (spherical, castor, Swedish);
	motorized Swedish wheel (Stanford wheel);
	unpowered standard wheel;
	motorized standard wheel;
	motorized and steered castor wheel;
	steered standard wheel;
	connected wheels.

Εικόνα 3. 11 β Επεξηγήσεις σχημάτων σχ.3.11 α

Το σχήμα 3.11 α παρουσιάζει μια επισκόπηση των συνθέσεων του τροχού κατά αύξοντα αριθμό τροχών. Σημειωτέων, μερικές από τις διατάξεις που παρουσιάζονται δεν έχουν καμία χρησιμότητα σε εφαρμογές για κινητά ρομπότ. Για παράδειγμα, η δίτροχη διάταξη των ποδήλατων έχει μέτρια ευελιξία και ελάχιστη δυνατότητα ελέγχου.

Ο αριθμός των διακυμάνσεων στον σχήμα 3.11 είναι αρκετά μεγάλος. Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικές ομάδες που δραστηριοποιούνται σε αυτό το θέμα και μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της κάθε διαμόρφωσης.

Γ. Σταθερότητα

Παραδόξως, ο ελάχιστος αριθμός των τροχών που απαιτούνται για την στατική σταθερότητα είναι δύο. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, ένα διαφορικό-ρομπότ με δύο κινητήριους τροχούς μπορεί να καταφέρει στατική ευστάθεια εάν το κέντρο μάζας του βρίσκεται κάτω από τον άξονα των τροχών. Ο [Cyc](#) είναι ένα εμπορικό κινητό ρομπότ που χρησιμοποιεί τη συγκεκριμένη διαμόρφωση τροχών.



Εικόνα 3. 12-Cye, a commercially available domestic robot that can vacuum and makes deliveries at home.

Ωστόσο, υπό φυσιολογικές συνθήκες, μια τέτοια λύση απαιτεί τροχούς πολύ μεγάλης διαμέτρου. Επίσης, λόγω της δυναμικής μπορεί να προκληθούν έντονα χτυπήματα με το έδαφος, για παράδειγμα, ξεκινώντας με αρκετά υψηλές ροπές του κινητήρα από την κατάσταση ακινησίας.

Συμβατικά, η στατική σταθερότητα απαιτεί τουλάχιστον τρεις τροχούς, με την πρόσθετη προειδοποίηση ότι το κέντρο βάρους θα πρέπει να περιέχεται στο τρίγωνο που σχηματίζεται από τα σημεία επαφής με το έδαφος κάτω από τους τροχούς. Η σταθερότητα μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με την προσθήκη περισσότερων τροχών. Αν και όταν ο αριθμός των σημείων επαφής υπερβαίνει τα τρία, η υπερστατική φύση της γεωμετρίας θα απαιτεί κάποια μορφή ευέλικτης ανάρτησης στο ανώμαλο έδαφος.

Δ. Δυνατότητα ελιγμών

Μερικά ρομπότ είναι πανκατευθυντικά, που σημαίνει ότι μπορούν να κινηθούν οποιαδήποτε στιγμή προς οποιοδήποτε κατεύθυνση κατά μήκος του επιπέδου (x, y) , ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό του ρομπότ, γύρω από τον κατακόρυφο άξονά του. Αυτό το επίπεδο ευελιξίας απαιτεί τροχούς που μπορούν να κινηθούν σε περισσότερες από μία μόνο κατευθύνσεις, γι' αυτό στα πανκατευθυντικά ρομπότ χρησιμοποιούνται συνήθως Swedish ή spherical είδη τροχών.



Εικόνα 3. 13 The Carnegie Mellon Uranus robot, an omnidirectional robot with four powered-swedish 45 wheels

Ένα καλό παράδειγμα είναι ο Uranus, που φαίνεται στην εικόνα 3.13. Αυτό το ρομπότ χρησιμοποιεί τέσσερις Swedish τροχούς που περιστρέφονται ανεξάρτητα χωρίς περιορισμούς.

Σε γενικές γραμμές, η απόσταση από το έδαφος των ρομπότ με τους σουηδικούς και τους σφαιρικούς τροχούς είναι κάπως περιορισμένη λόγω των περιορισμών της μηχανικής κατασκευής των πανκατευθυντικών τροχών. Μια ενδιαφέρουσα πρόσφατη λύση στο πρόβλημα της πανκατευθυντικής πλοήγησης είναι η διαμόρφωση τροχών τύπου *Castor*.

Ε. Δυνατότητα ελέγχου

Υπάρχει γενικά μια αντίστροφη συσχέτιση μεταξύ του ελέγχου και της ικανότητας ελιγμών. Για παράδειγμα, οι πανκατευθυντικοί τύποι, όπως η διαμόρφωση του τροχού *Castor*, απαιτούν σημαντική επεξεργασία για να μετατρέψουν την επιθυμητή περιστροφή και ταχύτητά σε εντολές για κάθε ένα τροχό. Επιπλέον, τέτοια πανκατευθυντικά σχέδια συχνά έχουν μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας στον τροχό.

Ο έλεγχος ενός πανκατευθυντικού ρομπότ προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση είναι πιο δύσκολος και συχνά λιγότερο ακριβής σε σχέση με λιγότερο ευέλικτα ρομπότ. Για παράδειγμα, ένα όχημα τύπου *Ackerman* μπορεί να προχωράει ευθεία απλά κλειδώνοντας τα κατευθυντικούς τροχούς και οδηγώντας με τους κινητήριους τροχούς.

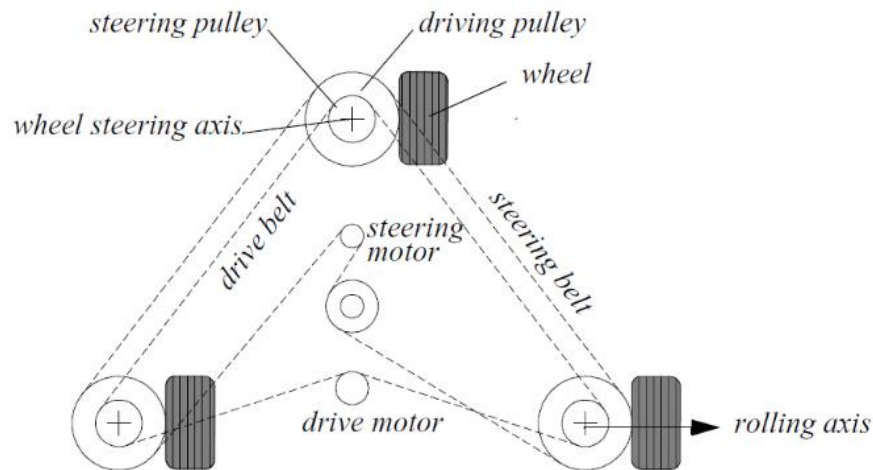
Εν ολίγοις, δεν υπάρχει "ιδανική" διαμόρφωση οδήγησης που να μεγιστοποιεί ταυτόχρονα τη σταθερότητα, την ευελιξία και την δυνατότητα ελέγχου.

3.3.2 Κίνηση τροχών: μελέτη περιπτώσεων

A. Συγχρονισμένη κίνηση

Η συγχρονισμένη διαμόρφωση οδήγησης είναι μία δημοφιλής διάταξη τροχών κυρίως για εσωτερικές εφαρμογές κινητών ρομπότ.

Η συγχρονισμένη κίνηση έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε πολλές περιπτώσεις όπου επιδιώκεται η πανκατευθυντικότητα. Εφ' όσον κάθε κατακόρυφος άξονας διεύθυνσης είναι ευθυγραμμισμένος με τη διαδρομή κάθε τροχού, το ρομπότ μπορεί πάντα επαναπροσανατολίζει τους τροχούς ώστε να κινούνται κατά μήκος μιας νέας τροχιάς, χωρίς να αλλάζει το αποτύπωμα του.



Εικόνα 3. 14 Synchro drive: The robot can move in any direction; however, the orientation of the chassis is not controllable.

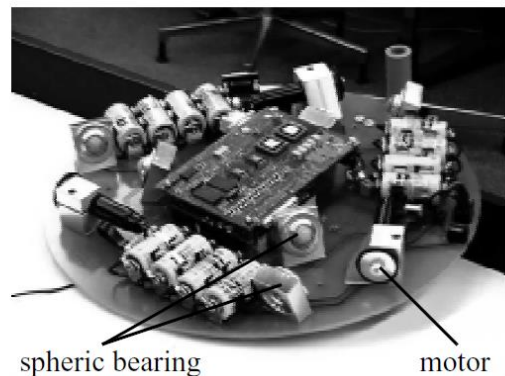
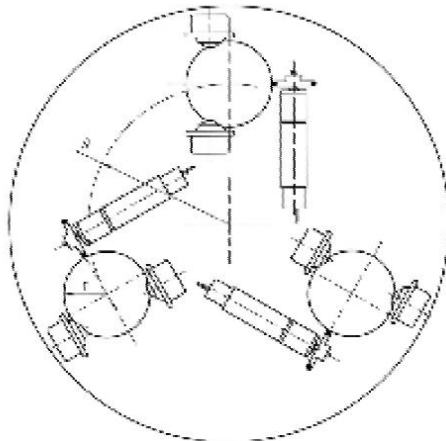
B. Πανκατευθυντική κίνηση

Η πανκατευθυντική κίνηση παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον όσον αφορά το θέμα των ελιγμών. Τα πανκατευθυντικά ρομπότ που είναι σε θέση να κινηθούν προς οποιαδήποτε κατεύθυνση (x, y, θ) , είναι επίσης ολονομικά⁴ οποιαδήποτε στιγμή. Μπορούν να υλοποιηθούν είτε χρησιμοποιώντας σφαιρικούς, Castor, ή σουηδικούς τροχούς. Τρία παραδείγματα τέτοιων ολονομικών ρομπότ παρουσιάζονται παρακάτω.

1. Πανκατευθυντική κινήσεως με τρεις σφαιρικούς τροχούς.

Το πανκατευθυντικό ρομπότ, εικόνα 3.15, βασίζεται σε τρεις σφαιρικούς τροχούς, όπου ο καθένας ενεργοποιείται από ένα κινητήρα. Οι σφαιρικοί τροχοί

ανακόπτονται από τρία σημεία επαφής, δυο από σφαιρικά ρουλεμάν και ένα από έναν τροχό που συνδέεται με τον άξονα του κινητήρα. Αυτή η ιδέα παρέχει εξαιρετική ευελιξία και είναι απλή στο σχεδιασμό. Ωστόσο, έχει περιορισμούς σε επίπεδες επιφάνειες και μικρά φορτία, και είναι αρκετά δύσκολο να βρεθεί στρογγυλός τροχός με υψηλούς συντελεστές τριβής.



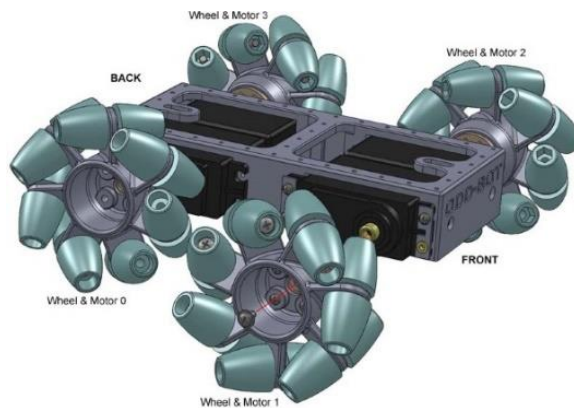
Εικόνα 3. 15 The Tribolo designed at EPFL (Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switzerland)

2. Πανκατευθυντική κίνηση με τέσσερις σουηδικούς τροχούς.

Η μη κατευθυντική διάταξη που απεικονίζεται στο σχήμα 3.16 έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε αρκετά ερευνητικά ρομπότ, συμπεριλαμβανομένου του Carnegie Mellon Uranus που προαναφέρθηκε. Αυτή η διαμόρφωση αποτελείται από τέσσερις σουηδικούς τροχούς των 45 μοιρών, που ο καθένας κινείται από ένα ξεχωριστό κινητήρα. Μεταβάλλοντας την κατεύθυνση της περιστροφής και τις σχετικές ταχύτητες των τεσσάρων τροχών, το ρομπότ μπορεί να μετακινηθεί κατά μήκος οποιασδήποτε τροχιάς στο επίπεδο και, ακόμη πιο εντυπωσιακό, μπορεί ταυτόχρονα να περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα του.

Για παράδειγμα, όταν οι τέσσερις τροχοί κινούνται "προς τα εμπρός" ή "πίσω", το ρομπότ στο σύνολό του κινείται σε ευθεία γραμμή μπροστά ή πίσω, αντίστοιχα. Ωστόσο, όταν ένα διαγώνιο ζεύγος τροχών περιστρέφεται στην ίδια κατεύθυνση και το άλλο ζεύγος διαγώνιος περιστρέφεται προς την αντίθετη κατεύθυνση, το ρομπότ κινείται πλάγια.

Μία εφαρμογή η οποία, δέχεται τέτοια πανκατευθυντικά σχέδια είναι ο χειρισμός οχημάτων. Σε αυτή την περίπτωση, είναι επιθυμητό να μειωθούν οι βαθμοί ελευθερίας κάθε βραχίονα χειρισμού ώστε να γίνει εξοικονόμηση της μάζας του βραχίονα. Όπως και με τους ανθρώπους, θα ήταν ιδανικό αν η βάση μας μπορούσε να κινηθεί προς όλες τις κατευθύνσεις, χωρίς να επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό η θέση του βραχίονα μας. Μια τέτοια βάση, όπως ο Uranus έχει ακριβώς τέτοιου είδους δυνατότητες.



Εικόνα 3. 16 A 3D printable omnidirectional OddBot Launchpad

3. Πανκατευθυντική κίνηση με τέσσερις Castor τροχούς

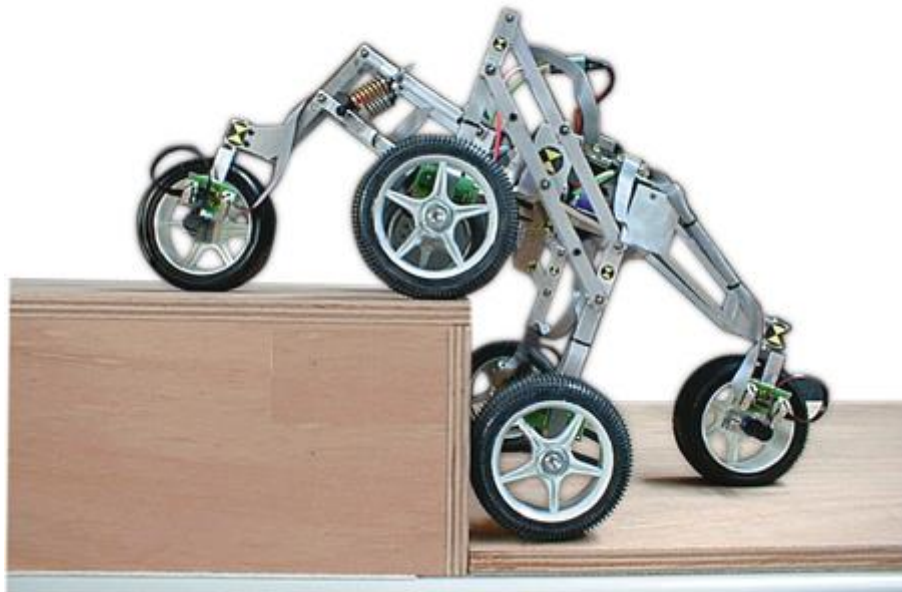
Μια άλλη λύση για πανκατευθυντικότητα είναι χρήση τροχών τύπου Castor. Η Nomadic Technologies είχε δημιουργήσει το Nomad XR4000, το οποίο είχε εξαιρετική ευελιξία. Δυστυχώς, η Nomadic σταμάτησε την παραγωγή των κινητών ρομπότ.



Εικόνα 3. 17 The Nomad XR4000 from Nomadic Technologies

3.3.3 Walking wheels (Τροχοί που βαδίζουν)

Αξίζει να κάνουμε μία μικρή αναφορά σε αυτήν την ιδιόρρυθμη κατηγορία τροχών. Τα walking wheels θα μπορούσαν να προσφέρουν καλύτερη ευελιξία σε ανώμαλο έδαφος. Ωστόσο, είναι αναποτελεσματικά σε επίπεδο έδαφος και χρειάζονται εξεζητημένο έλεγχο. Είναι υβριδικές εφαρμογές, που συνδυάζουν την προσαρμοστικότητα των ποδιών με την αποτελεσματικότητα των τροχών, προσφέροντας μια ενδιαφέρουσα συμβιβαστική λύση. Είναι λύσεις που μπορούν παθητικά να προσαρμοστούν στο έδαφος παρουσιάζοντας ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον τομέα της ρομποτικής και συγκεκριμένα της εξερεύνησης του διαστήματος. Το *Sojourner*, ρομπότ της NASA / JPL αντιπροσωπεύει μια τέτοια υβριδική λύση και είναι σε θέση να ξεπεράσει αντικείμενα μέχρι το μέγεθος των τροχών του.



Εικόνα 3. 18 Robotic Crawler Rover: DC Motor Applications

3.4 Αισθητήρες για ρομπότ

Ένα από τα πιο σημαντικά καθήκοντα κάθε είδους αυτόνομου συστήματος είναι να αποκτήσει γνώσεις σχετικά με το περιβάλλον του. Αυτό γίνεται με τη λήψη μετρήσεων χρησιμοποιώντας διάφορων ειδών αισθητήρες και στη συνέχεια εκμαιεύοντας ουσιαστικές πληροφορίες από τις μετρήσεις αυτές.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία από αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε κινητά ρομπότ (Σχήμα 3.19). Μερικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση απλών τιμών, όπως η εσωτερική θερμοκρασία των ηλεκτρονικών του ρομπότ ή η ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων του. Άλλοι, πιο εξελιγμένοι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον του ρομπότ ή ακόμα και τον άμεσο υπολογισμό της γεωγραφικής του θέσης. Σε αυτό το κεφάλαιο θα επικεντρωθούμε κυρίως σε αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον του ρομπότ. Θα ξεκινήσουμε με ταξινόμηση σύμφωνα με την λειτουργία των αισθητήρων. Στη συνέχεια, μετά την παρουσίαση βασικών εργαλείων θα περιγράψουμε λεπτομερώς επιλεγμένους αισθητήρες.

3.4.1 Ταξινόμηση αισθητήρων

Θα ταξινομήσουμε τους αισθητήρες, χρησιμοποιώντας δύο σημαντικές ιδιότητες σε *ιδιοδεκτικούς/ εξωδεκτικούς (proprioceptive/ exteroceptive)* και *παθητικούς/ενεργητικούς (passive/active)*.

Ιδιοδεκτικοί αισθητήρες μετρούν τιμές στο εσωτερικό του συστήματος του ρομπότ για παράδειγμα, την ταχύτητα του κινητήρα, το φορτίο των τροχών, τις γωνίες των βραχιόνων, την τάση της μπαταρίας κ.α.

Εξωδεκτικοί αισθητήρες συλλέγουν πληροφορίες από το περιβάλλον του ρομπότ. Για παράδειγμα, μέτρηση απόστασης, ένταση του φωτός, το πλάτος του ήχου κ.α. Ως εκ τούτου, οι μετρήσεις από τους εξωδεκτικούς αισθητήρες λαμβάνονται από το ρομπότ για να αποσπάσουν σημαντικές περιβαλλοντικές πληροφορίες.

Παθητικοί αισθητήρες μετρούν ατμοσφαιρικές και περιβαλλοντικές τιμές τις οποίες λαμβάνουν από την ενεργειακή είσοδο του αισθητήρα. Παραδείγματα παθητικών αισθητήρων είναι, οι αισθητήρες θερμοκρασίας, τα μικρόφωνα, οι CCD και CMOS κάμερες.

Ενεργητικοί αισθητήρες εκπέμπουν ενέργεια στο περιβάλλον, και στη συνέχεια μετρούν την αντίδραση των περιβαλλοντικών φαινομένων. Επειδή οι ενεργητικοί

αισθητήρες έχουν πιο ελεγχόμενη αλληλεπίδραση με το περιβάλλον, συχνά επιτυγχάνουν καλύτερες επιδόσεις, ωστόσο παρουσιάζουν πολλούς κινδύνους λανθασμένων αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα η εξερχόμενη ενέργεια μπορεί να επηρεάσει κάποια χαρακτηριστικά του ίδιου του αισθητήρα που προσπαθεί να πάρει μέτρηση. Επιπλέον, οι ενεργητικοί αισθητήρες μπορεί να επιφέρουν παρεμβολές μεταξύ των σημάτων τους.

General classification (typical use)	Sensor Sensor- System	PC or EC	A or P
Tactile sensors (detection of physical contact or closeness; security switches)	Contact switches, bumpers	EC	P
	Optical barriers	EC	A
	Noncontact proximity sensors	EC	A
Wheel/motor sensors (wheel/motor speed and position)	Brush encoders	PC	P
	Potentiometers	PC	P
	Synchros, resolvers	PC	A
	Optical encoders	PC	A
	Magnetic encoders Inductive encoders	PC	A
	Capacitive encoders	PC	A
Heading sensors (orientation of the robot in relation to a fixed reference frame)	Compass	EC	P
	Gyroscopes	PC	P
	Inclinometers	EC	A/P
Ground-based beacons (localization in a fixed reference frame)	GPS	EC	A
	Active optical or RF beacons	EC	A
	Active ultrasonic beacons	EC	A
	Reflective beacons	EC	A
Active ranging (reflectivity, time-of-flight, and geometric triangulation)	Reflectivity sensors	EC	A
	Ultrasonic sensor	EC	A
	Laser rangefinder	EC	A
	Optical triangulation (1D)	EC	A
	Structured light (2D)	EC	A
Motion/speed sensors (speed relative to fixed or moving objects)	Doppler radar	EC	A
	Doppler sound	EC	A
Vision-based sensors (visual ranging, whole-image analysis, segmentation, object recognition)	CCD/CMOS camera(s) Visual ranging packages Object tracking packages	EC	P

Εικόνα 3. 19 Ταξινόμηση των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στη ρομποτική

3.4.2 Αισθητήρες Τροχού/κινητήρα

Οι αισθητήρες Τροχού/κινητήρα είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της εσωτερικής κατάστασης και της δυναμικής ενός κινητού ρομπότ. Αυτοί οι αισθητήρες έχουν απεριόριστες εφαρμογές εκτός της κινητής ρομποτικής και, ως εκ τούτου, η κινητή ρομποτική έχει γνωρίσει τα οφέλη της υψηλής ποιότητας των αισθητήρων Τροχού/κινητήρα οι οποίοι είναι χαμηλού κόστους και προσφέρουν εξαιρετική ανάλυση.

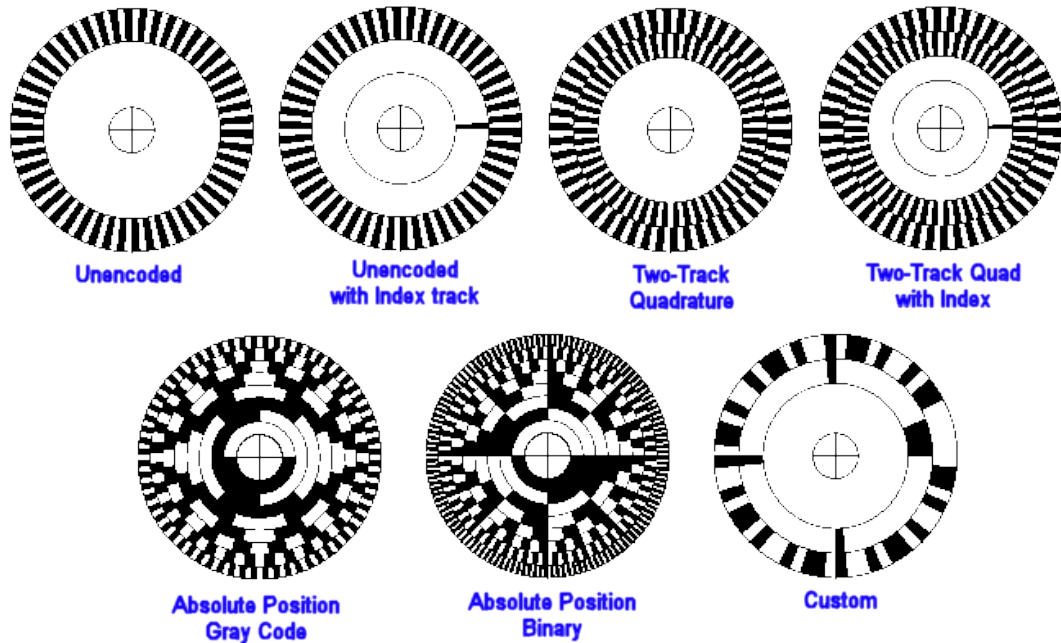
Ένα παράδειγμα τέτοιων αισθητήρων είναι οι **οπτικοί κωδικοποιητές**.

Οι αυξητικοί οπτικοί κωδικοποιητές (*Optical incremental encoders*) έχουν γίνει οι πιο δημοφιλείς συσκευές για τη μέτρηση της γωνιακής ταχύτητας και της θέσης μέσα σε ένα μοτέρ ή στον άξονα του τροχού ενός μηχανισμού ή συστήματος διεύθυνσης. Στην κινητή ρομποτική, οι κωδικοποιητές χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της θέσης ή της ταχύτητας των τροχών και άλλων μηχανοκίνητων αρθρώσεων. Επειδή οι αισθητήρες αυτοί είναι ιδιοδεκτικοί, το καλύτερο σημείο αναφοράς για να υπολογίσουν θέση είναι το πλαίσιο του ρομπότ.

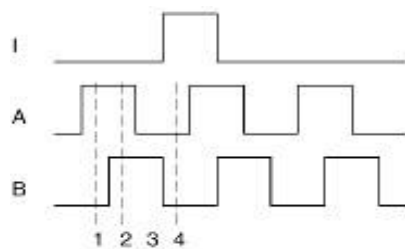
Ένας οπτικός κωδικοποιητής είναι βασικά ένας μηχανικός πρισματικός έλικας που παράγει έναν ορισμένο αριθμό ημιτονικών ή τετραγωνικών κυματικών παλμών για κάθε περιστροφή του άξονα. Αποτελείται από μια φωτεινή πηγή, μία σταθερή σχάρα που κρύβει το φως, ένα δίσκο ρότορα με ένα λεπτό οπτικό πλέγμα που περιστρέφεται με τον άξονα, και σταθερούς οπτικούς ανιχνευτές. Καθώς κινείται ο ρότορας, η ποσότητα του φωτός που προσπίπτει στα οπτικούς ανιχνευτές ποικίλει ανάλογα με την ευθυγράμμιση των σταθερών και των κινητών σχισμών (πλέγμα και σχάρα). Στη ρομποτική, το προκύπτον ημιτονοειδές κύμα μετατρέπεται σε ένα διακριτό τετραγωνικό παλμό χρησιμοποιώντας ένα κατώτατο όριο για την επιλογή ανάμεσα στο φως και το σκοτάδι των σημείων. Ανάλυση μετριέται σε κύκλους ανά περιστροφή (**Cycles Per Revolution**).

Συνήθως στην κινητή ρομποτική χρησιμοποιείται ο κωδικοποιητής τετραγωνισμού. Σε αυτήν την περίπτωση, ένα δεύτερο ζεύγος ανιχνευτή, φωτεινής πηγής τοποθετείται 90 μοίρες σε σχέση με τον αρχικό δίσκο του ρότορα. Τα προκύπτοντα “δίδυμα” τετραγωνικά κύματα, που απεικονίζονται στο *σχήμα 3.21*, παρέχουν σημαντικά

περισσότερες πληροφορίες. Έτσι, ένας κωδικοποιητής των 2000 CPR δίνει 8000 μετρήσεις.



Εικόνα 3. 20 Codewheel Generator



State	Ch A	Ch B
S1	high	low
S2	high	high
S3	low	high
S4	low	low

Εικόνα 3. 21 The observed phase relationship between channel A and B pulse trains are used to determine the direction of the rotation

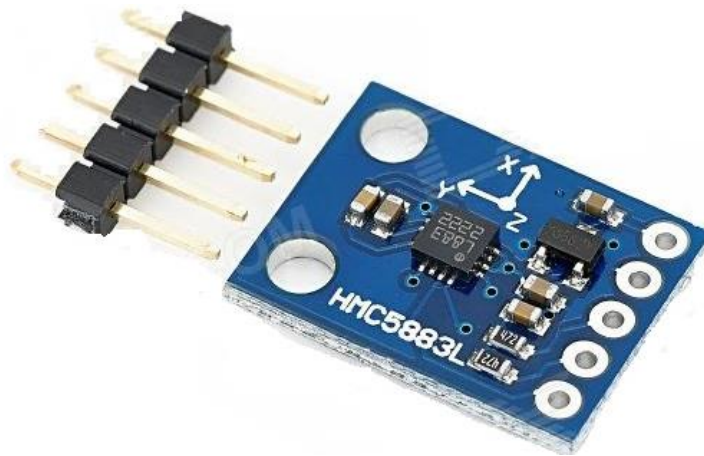
3.4.3 Αισθητήρες κατεύθυνσης

Οι αισθητήρες κατεύθυνσης μπορεί να είναι ιδιοδεκτικοί (γυροσκόπιο, κλισιομέτρο) ή εξωδεκτικοί (πυξίδα). Χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του προσανατολισμού και της κλίσης του ρομπότ. Μας επιτρέπουν, μαζί με κατάλληλες

πληροφορίες για την ταχύτητα, να ενσωματώσουμε την κίνηση σε μια εκτίμηση της θέσης. Αυτή η διαδικασία, η οποία έχει τις ρίζες της από την πλοήγηση σκαφών και πλοίων, καλείται υπολογισμό του στίγματος.

A. Πυξίδες

Οι δύο πιο κοινοί σύγχρονοι αισθητήρες για τη μέτρηση της διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου είναι το «φαινόμενο Hall⁵» και οι *πυξίδες μαγνητικής ροής (fluxgate compasses)*. Όσον αφορά τις fluxgate πυξίδες, δύο μικρά πηνία τυλίγονται σε πυρήνες φερρίτη και στερεώνονται κάθετα το ένα στο άλλο. Όταν περνάει εναλλασσόμενο ρεύμα και από τις δύο σπείρες, το μαγνητικό πεδίο προκαλεί μεταβολές στη φάση ανάλογα με τη σχετική του ευθυγράμμιση με κάθε σπείρα. Με τη μέτρηση των δύο μεταβολών φάσης, η διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου σε δύο διαστάσεις μπορεί να υπολογιστεί. Η πυξίδα μαγνητικής ροής μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια την ισχύ του μαγνητικού πεδίου και έχει μεγάλη ανάλυση και ακρίβεια.



Εικόνα 3. 22 Digital Compass Sensor

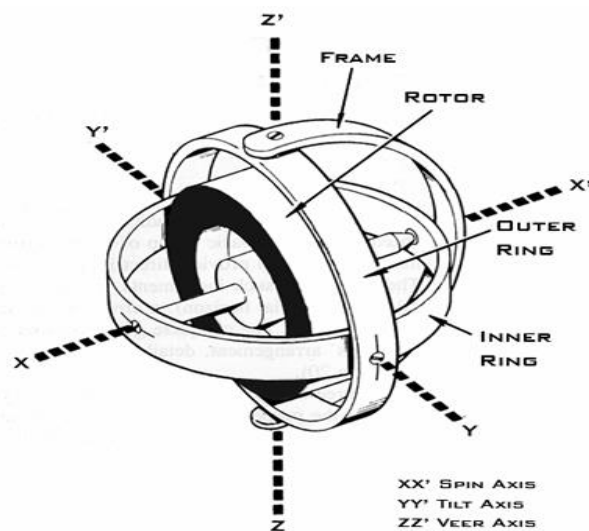
Ανεξάρτητα από τον τύπο της πυξίδας που χρησιμοποιείται, ένα σημαντικό μειονέκτημα όσον αφορά τη χρήση του μαγνητικού πεδίου της Γης για τις κινητές εφαρμογές ρομπότ, είναι η διαταραχή του εν λόγω μαγνητικού πεδίου από άλλα μαγνητικά αντικείμενα και τεχνητές κατασκευές, καθώς και οι περιορισμοί εύρους ζώνης των ηλεκτρονικών πυξίδων και η ευαισθησία τους σε κραδασμούς.

Β. Γυροσκόπια

Τα γυροσκόπια είναι αισθητήρες κατεύθυνσης οι οποίοι διατηρούν τον προσανατολισμό τους σε σχέση με ένα σταθερό σημείο αναφοράς. Έτσι, παρέχουν ένα απόλυτο μέτρο για τη θέση ενός κινητού συστήματος. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, μηχανικά και οπτικά.

Μηχανικά γυροσκόπια. Η έννοια του μηχανικού γυροσκοπίου βασίζεται στις αδρανειακές ιδιότητες μιας ταχέως περιστρεφόμενης σφαίρας, γνωστή ως η γυροσκοπική μετάπτωση. Αν προσπαθήσετε να περιστρέψετε μια σβούρα γύρω από τον κάθετο άξονά της, θα νιώσετε μια έντονη αντίδραση στον οριζόντιο άξονα. Αυτό οφείλεται στην γωνιακή ορμή που συνδέεται με την περιστρεφόμενη σβούρα και είναι αυτή που θα κρατήσει τον άξονα του γυροσκοπίου σταθερό λόγω αδράνειας. Η ροπή τ της αντίδρασης και έτσι η ευστάθεια του αδρανειακού συστήματος είναι ανάλογη με την ταχύτητα περιστροφής ω , την ταχύτητα μετάπτωσης Ω , και την αδράνεια του τροχού I .

$$\tau = I\omega\Omega$$



Εικόνα 3. 23 Μηχανικό γυροσκόπιο

Για την πλοήγηση, ο άξονας περιστροφής πρέπει να επιλεγθεί στην αρχή. Αν ο άξονας περιστροφής ευθυγραμμίζεται με κατεύθυνση βορρά-νότου του μεσημβρινού, η περιστροφή της γης δεν έχει καμία επίδραση στον οριζόντιο άξονα του γυροσκοπίου.

Αν ευθυγραμμίσει με κατεύθυνση ανατολής-δύσης, ο οριζόντιος άξονας θα διαβάζει την περιστροφή της γης.

Τα περισσότερα μηχανικά γυροσκόπια έχουν την ίδια βασική μορφή όπως αυτό της εικόνας 3.23, με μικρές τροποποιήσεις. Τα αντιζύγια συγκρατούνται από στρεπτό ελατήριο με επιπλέον *ιξώδης απόσβεση*⁶. Αυτό επιτρέπει τον αισθητήρα να μετράει τη γωνιακή ταχύτητα αντί τον απόλυτο προσανατολισμό.

Οπτικά γυροσκόπια, είναι σχετικά νεότερη καινοτομία. Η εμπορική χρήση τους ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 80, όταν για πρώτη φορά εγκαταστάθηκε σε αεροσκάφος. Τα οπτικά γυροσκόπια είναι αισθητήρες γωνιακής ταχύτητας που χρησιμοποιούν δύο μονοχρωματικές δέσμες φωτός ή λέιζερ, οι οποίες εκπέμπονται από την ίδια πηγή, αντί να κινούνται μηχανικά μέρη. Λειτουργούν με την αρχή ότι η ταχύτητα του φωτός παραμένει αμετάβλητη και, ως εκ τούτου, μια γεωμετρική αλλαγή μπορεί να προκαλέσει διαφορά στο χρονικό διάστημα που θα φτάσει το φως στον προορισμό του.



Εικόνα 3. 24 Οπτικό γυροσκόπιο

Μια ακτίνα λέιζερ αποστέλλεται ταξιδεύοντας δεξιόστροφα μέσω οπτικών ινών ενώ μια άλλη αριστερόστροφα. Επειδή το λέιζερ που ταξιδεύει στην κατεύθυνση της περιστροφής έχει μια ελαφρώς μικρότερη διαδρομή, θα έχει μια υψηλότερη συχνότητα. Η διαφορά στην συχνότητα Δf μεταξύ των δύο δεσμών είναι ανάλογη με την γωνιακή ταχύτητα Ω του κυλίνδρου.

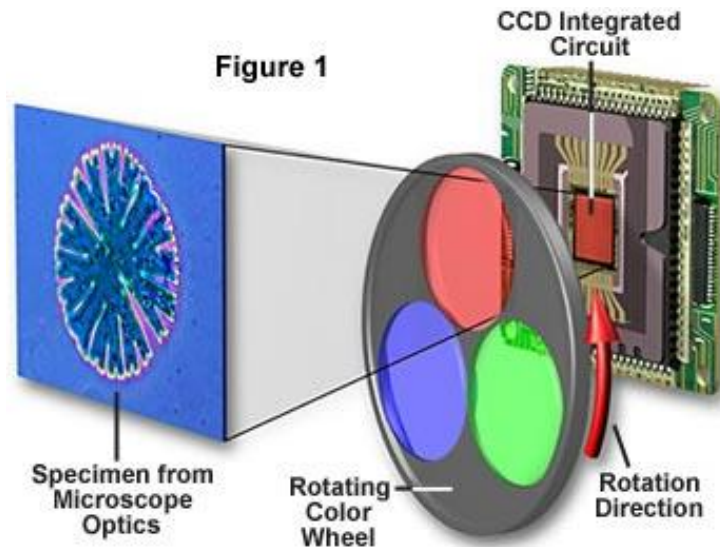
3.4.4 Αισθητήρες κίνησης / ταχύτητας

Κάποιοι αισθητήρες μετρούν απευθείας τη σχετική κίνηση μεταξύ του ρομπότ και του περιβάλλοντος του. Δεδομένου ότι αυτοί οι αισθητήρες κίνησης ανιχνεύουν τη σχετική κίνηση, εφόσον ένα αντικείμενο κινείται σε σχέση με το ρομπότ, αυτό θα πρέπει να ανιχνεύεται και η ταχύτητα του να μπορεί να εκτιμηθεί. Υπάρχει ένας είδος αισθητήρων που μετρούν εγγενώς κάποια πτυχή της κίνησης ή αλλαγή αυτής. Για παράδειγμα, ένας πυροηλεκτρικός αισθητήρας ανιχνεύει αλλαγή στη θερμότητα. Όταν ένας άνθρωπος διασχίζει το πεδίο του αισθητήρα, η κίνηση του πυροδοτεί μια αλλαγή στη θερμότητα στο πλαίσιο αναφοράς του αισθητήρα. Ένας σημαντικός τύπος ανιχνευτή κίνησης είναι με βάση το *φαινόμενο Doppler*⁷. Αυτοί οι αισθητήρες αντιπροσωπεύουν μια γνωστή τεχνολογία που για δεκαετίες έχει πολλές γενικές εφαρμογές. Για ρομπότ γρήγορης κίνησης (*fast moving robots*), όπως αυτόνομα οχήματα οδικής κυκλοφορίας και μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα, οι ανιχνευτές κίνησης που βασίζονται στο Doppler effect είναι αισθητήρες ανίχνευσης εμποδίων.

3.4.5 Αισθητήρες με βάση την όραση (Vision-based)

Η όραση είναι πιο ισχυρή μας αίσθηση. Μας παρέχει ένα τεράστιο όγκο πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον και επιτρέπει την πλούσια και συνάμα έξυπνη αλληλεπίδραση με δυναμικά περιβάλλοντα. Επομένως, δεν είναι έκπληξη το γεγονός ότι έχουν γίνει επενδύσεις στην μελέτη και τη δημιουργία μηχανών με αισθητήρες που μιμούνται τις δυνατότητες του συστήματος της ανθρώπινης όρασης.

Το πρώτο βήμα σε αυτή τη διαδικασία είναι η δημιουργία της αίσθησης ότι οι συσκευές λαμβάνουν και χρησιμοποιούν με τον ίδιο τρόπο πληροφορίες από το φως, όπως το σύστημα της ανθρώπινης όρασης. Δύο σύγχρονες τεχνολογίες για τη δημιουργία vision αισθητήρων είναι η *CCD* και η *CMOS*.



Εικόνα 3. 25 Three-pass sequential color CCD imaging system

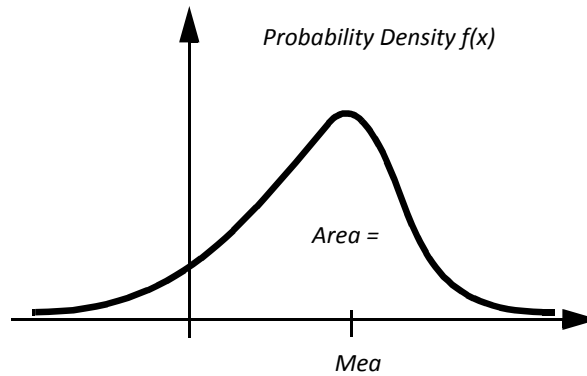
Οι vision-based αισθητήρες είναι συνήθως ανιχνευτές κίνησης ή ανιχνευτές χρώματος. Αυτοί οι αισθητήρες έχουν συγκεκριμένους περιορισμούς στην απόδοση σε σύγκριση με το ανθρώπινο μάτι και είναι σημαντικό να γίνουν κατανοητοί αυτοί οι περιορισμοί.

3.4.6 Στατιστική απεικόνιση και μετάδοση σφαλμάτων

A. Στατιστική απεικόνιση

Έχουμε ορίσει το σφάλμα ως τη διαφορά ανάμεσα σε μια μέτρηση αισθητήρα και στην πραγματική τιμή της. Από στατιστικής άποψης, επιθυμούμε να χαρακτηριστεί το σφάλμα ενός αισθητήρα, όχι για μια συγκεκριμένη μέτρηση αλλά για κάθε μέτρηση. Ας διατυπώσουμε το πρόβλημα της αίσθησης ως ένα πρόβλημα εκτίμησης. Ο αισθητήρας έχει λάβει μια σειρά μετρήσεων n με τιμές p_i . Ο στόχος είναι να χαρακτηριστεί η εκτίμηση της πραγματικής αξίας $EX []$ που δίνεται από αυτές τις μετρήσεις:

$$EX [] = g (\rho_1, \rho_2, \dots \rho_n)$$



Εικόνα 3. 26 A sample probability density function, showing a single probability peak (i.e., unimodal) with asymptotic drops in both directions.

Από αυτή την προοπτική, η πραγματική αξία αντιπροσωπεύεται από μία τυχαία (και επομένως δεν είναι γνωστή) μεταβλητή X . Χρησιμοποιούμε μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για να χαρακτηρίσουμε τις στατιστικές ιδιότητες της αξίας του X .

Στο σχήμα 3.26, η συνάρτηση πυκνότητας προσδιορίζει για κάθε πιθανή τιμή του x μία πυκνότητα πιθανότητας $f(x)$ κατά μήκος του άξονα y . Η περιοχή κάτω από την καμπύλη είναι 1, υποδεικνύοντας την πλήρη πιθανότητα του X να έχει κάποια τιμή:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$$

Η πιθανότητα της τιμής του X , μεταξύ δύο ορίων a και b υπολογίζεται ως το ορισμένο ολοκλήρωμα:

$$P[a < X \leq b] = \int_a^b f(x) dx$$

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας είναι ένας χρήσιμος τρόπος για να οριστούν οι πιθανές τιμές των X , επειδή δεν καταγράφει μόνο το φάσμα αλλά και τη συγκριτική πιθανότητα διαφορετικών τιμών για το X . Χρησιμοποιώντας την $f(x)$ μπορούμε να ορίσουμε ποσοτικά τη μέση τιμή, τη διακύμανση, και την τυπική απόκλιση ως εξής:

Η μέση τιμή μ είναι ισοδύναμη με την αναμενόμενη τιμή $E[X]$, εάν επρόκειτο να μετρηθεί το X άπειρες φορές και να υπολογιστεί ο μέσος όρος όλων των τιμών που προκύπτουν. Μπορούμε εύκολα να ορίσουμε $E[X]$:

$$\mu = E[X] = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

Σημείωση ότι στην παραπάνω εξίσωση ο υπολογισμός της $E[X]$ είναι πανομοιότυπος με το σταθμισμένο μέσο όρο όλων των πιθανών τιμών της. Σε αντίθεση, ο χ τετραγωνικός μέσος όρος είναι απλά ο σταθμισμένος μέσος όρος των τετραγώνων όλων των τιμών του x :

$$E[X^2] = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x)dx$$

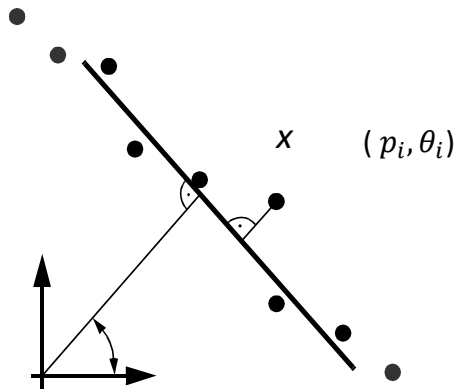
Ο χαρακτηρισμός του «πλάτος» των πιθανών τιμών του X είναι ένα βασικό στατιστικό μέτρο, και αυτό απαιτεί πρώτα τον καθορισμό της διακύμανσης σ^2 :

$$Var(X) = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x)dx$$

Τέλος, η τυπική απόκλιση σ είναι απλά η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης σ^2 και παίζουν σημαντικό ρόλο στο χαρακτηρισμός του σφάλματος ενός μόνο αισθητήρα, καθώς και το σφάλμα του μοντέλου που δημιουργείται από το συνδυασμό πολλαπλών αναγνώσεων των αισθητήρων.

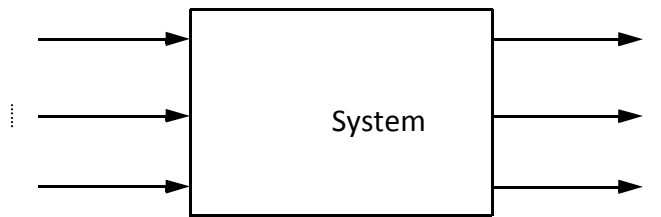
B. Μετάδοση σφάλματος

Οι μηχανισμοί πιθανοτήτων παραπάνω μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν τα σφάλματα που σχετίζονται με ένα μόνο αισθητήρα για τη μέτρηση μιας πραγματικής τιμής. Αλλά στην κινητή ρομποτική, συχνά χρησιμοποιείται μια σειρά μετρήσεων, όλες αυτές αβέβαιες, για να εξαχθεί μία ενιαία μέτρηση. Για παράδειγμα, μια σειρά από αβέβαιες μετρήσεις ίδιου τύπου μπορούν να συντηχθούν για τον υπολογισμό της θέσης μιας γραμμής (π.χ., ένας τοίχος διάδρομου) σχήμα 3.27.

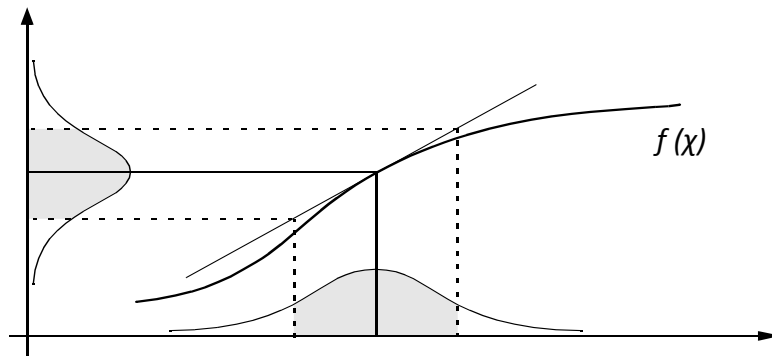


Εικόνα 3. 27 Estimating a line in the least-squares sense. The model parameters y (length of the perpendicular) and α (its angle to the abscissa) uniquely describe a line.

Ας εξετάσουμε το σύστημα στο σχήμα 3.28, όπου X_i είναι n σήματα εισόδου με γνωστή κατανομή πιθανοτήτων και Y_i είναι m έξοδοι. Το ερώτημα που μας ενδιαφέρει είναι το εξής: τι μπορούμε να πούμε για την κατανομή πιθανοτήτων των Y_i σημάτων εξόδου, αν εξαρτώνται με γνωστές συναρτήσεις f_i από τα σήματα εισόδου;



Εικόνα 3. 28 απεικονίζει την εκδοχή του σφάλματος αυτού του προβλήματος διάδοσης.



Εικόνα 3. 29

Η γενική λύση μπορεί να δημιουργηθεί με τη χρήση της πρώτης σειράς Taylor στην f_i . Ο πίνακα διασποράς εξόδου C_Y δίνεται από το νόμο μετάδοσης σφάλματος:

$$C_Y = F_X C_X F_X^T$$

Όπου:

C_X =πίνακας διακύμανσης που αναπαριστά τις αβέβαιες τιμές εισόδου.

C_Y = πίνακας διακύμανσης που αναπαριστά τις μεταδιδόμενες αβέβαιες τιμές εισόδου.

F_X^T =πίνακας με τις Jacobian μεταβλητές και ορίζεται ως:

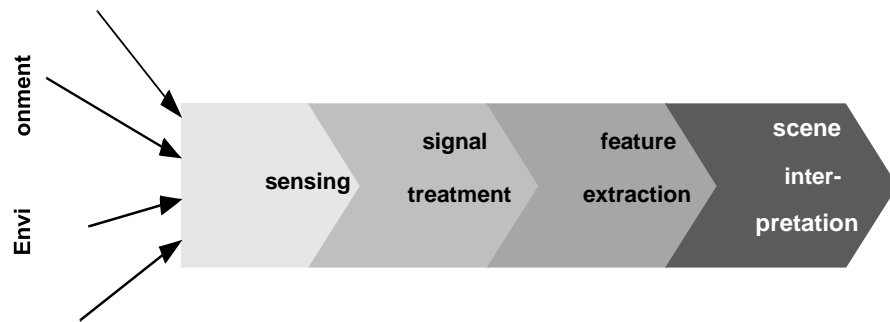
$$F_X = \nabla f = \left[\nabla_X \cdot f(X)^T \right]^T = \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial X_1} & \cdots & \frac{\partial}{\partial X_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial X_1} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial X_n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial X_1} & \cdots & \frac{\partial f_m}{\partial X_n} \end{bmatrix}$$

3.4.7 Εξαγωγή παραμέτρων

Ένα αυτόνομο κινητό ρομπότ πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίζει τη σχέση του με το περιβάλλον κάνοντας μετρήσεις με τους αισθητήρες του. Μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών ανίχνευσης είναι διαθέσιμη, όπως φαίνεται στην προηγούμενη ενότητα. Αλλά κάθε αισθητήρας που παρουσιάσαμε είναι ατελής: οι μετρήσεις έχουν πάντα σφάλματα και, επομένως, οι μετρήσεις είναι πάντα αβέβαιες. Ως εκ τούτου, οι εισοδοί του αισθητήρα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με τέτοιο τρόπο που να επιτρέπουν στο ρομπότ να αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον του επιτυχώς παρά την αβεβαιότητα των μετρήσεων.

Σε πρακτικό επίπεδο, τα κινητά ρομπότ δεν χρησιμοποιούν κατ'ανάγκη εξαγωγή χαρακτηριστικών και ερμηνεία της σκηνής για κάθε δραστηριότητα τους. Αντ' αυτού, το ρομπότ θα ερμηνεύσει τον κάθε αισθητήρα του διαφορετικά ανάλογα με την λειτουργικότητα του. Για παράδειγμα, προκειμένου να διασφαλιστεί το σταμάτημα έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση των άμεσων εμποδίων, το ρομπότ μπορεί να κάνει άμεση χρήση των ακατέργαστων τιμών των εμπρός αισθητήρων για να σταματήσει την κίνηση των τροχών. Για τοπική αποφυγή εμποδίων, υπάρχει ένα μοντέλο που μπορεί να συνδυάσει τις ακατέργαστες τιμές των αισθητήρων με τιμές

υπολογισμένων σφαλμάτων, επιτρέποντας την ομαλή αποφυγή των εμποδίων. Για την χαρτογράφηση της πλοήγησης, το φάσμα των τιμών των αισθητήρων, πρέπει να περάσει μέσα από ολόκληρο τον αγωγό (pipeline) αντίληψης, ώστε γίνει η ερμηνεία της σκηνής.



Εικόνα 3. 30 The perceptual pipeline: from sensor readings to knowledge models.

A. Ορισμός παραμέτρων

Οι παράμετροι είναι αναγνωρίσιμες δομές στοιχείων του περιβάλλοντος. Συνήθως μπορεί να εξαχθούν από τις μετρήσεις και να οριστούν μαθηματικά. Διακρίνουμε χαρακτηριστικά χαμηλού επιπέδου (πρωτογενή γεωμετρικά σχήματα), όπως γραμμές, κύκλους, πολύγωνα ή και υψηλού επιπέδου χαρακτηριστικά (αντικείμενα), όπως άκρα, πόρτες, τραπέζια.

Τα χαρακτηριστικά χαμηλού επιπέδου είναι αφαιρέσεις των πρωτογενών δεδομένων, και ως εκ τούτου παρέχουν ένα χαμηλότερο όγκο δεδομένων, αυξάνοντας παράλληλα την ιδιαιτερότητα κάθε χαρακτηριστικού. Η διαδικασία εξαγωγής των χαρακτηριστικών είναι αποτέλεσμα φιλτραρίσματος άχρηστων δεδομένων, αλλά, φυσικά, είναι πιθανό ορισμένες έγκυρες πληροφορίες να χαθούν.

Τα χαρακτηριστικά υψηλού επιπέδου παρέχουν τη μέγιστη αφαίρεση από τα ανεπεξέργαστα δεδομένα, μειώνοντας έτσι τον όγκο των δεδομένων όσο το δυνατόν περισσότερο, παρέχοντας παράλληλα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Και πάλι, η διαδικασία αφαίρεσης έχει τον κίνδυνο φιλτραρίσματος πιθανών σημαντικών πληροφοριών.

Στην κινητή ρομποτική, τα χαρακτηριστικά παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη δημιουργία των περιβαλλοντικών προτύπων. Επιτρέπουν πιο συμπαγής και ισχυρές περιγραφές του περιβάλλοντος, βοηθώντας το κινητό ρομπότ κατά τη διάρκεια τόσο της χαρτογράφησης όσο και του εντοπισμού του. Κατά το σχεδιασμό ενός κινητού ρομπότ, είναι κρίσιμη απόφαση η επιλογή των κατάλληλων χαρακτηριστικών τα οποία θα χρησιμοποιήσει το ρομπότ .

B. Το περιβάλλον στόχος

Για να είναι χρήσιμα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, οι γεωμετρικοί στόχοι πρέπει να ανιχνεύονται εύκολα στο πραγματικό περιβάλλον.

Για παράδειγμα, τα χαρακτηριστικά των γραμμών είναι εξαιρετικά χρήσιμα σε περιβάλλον κτιρίου με τοίχους, λόγω της αφθονίας των ευθύγραμμων τμημάτων , ενώ τα ίδια χαρακτηριστικά είναι σχεδόν άχρηστο κατά την πλοήγηση στον Άρη.

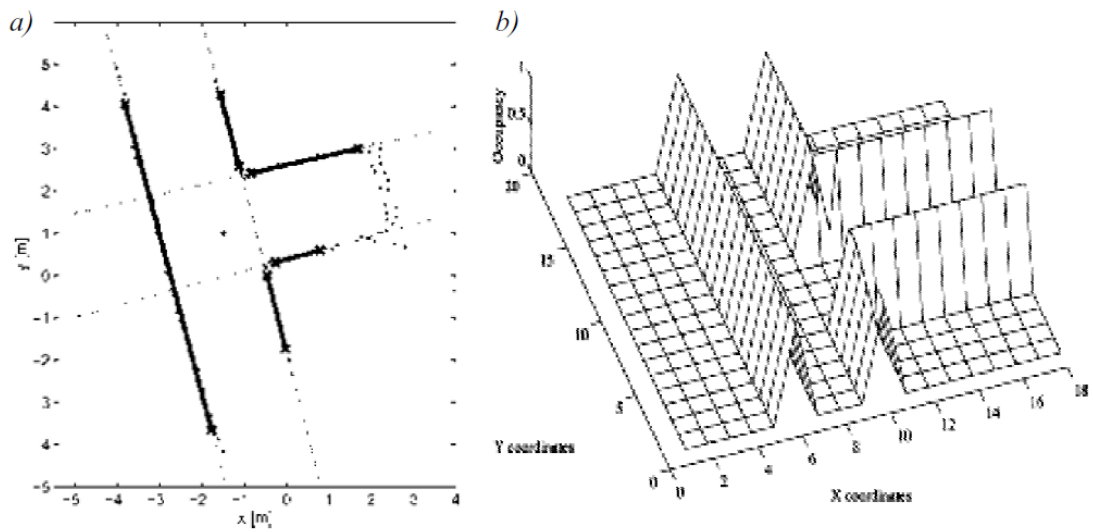
Δ. Διαθέσιμοι αισθητήρες.

Προφανώς, συγκεκριμένοι αισθητήρες και αισθητήρια του ρομπότ χρησιμοποιούνται με κατάλληλα χαρακτηριστικά και παραμέτρους. Ένα ρομπότ που φέρει laser μέτρησης απόστασης έχει τα προσόντα για να χρησιμοποιεί λεπτομερή γεωμετρικά χαρακτηριστικά, όπως παραμέτρους γωνιών λόγω της υψηλής ποιότητας γωνιακής μέτρησης του σαρωτή laser. Σε αντίθεση, ένα εξοπλισμένο ρομπότ με sonar μπορεί να μην έχει τα κατάλληλα εργαλεία για την εξαγωγή χαρακτηριστικών γωνιών.

E. Αναπαράσταση του περιβάλλοντος.

Η εξαγωγή χαρακτηριστικών είναι ένα σημαντικό βήμα προς την ερμηνεία σκηνών, και απ 'αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που εξάγονται πρέπει να παρέχονται πληροφορίες που είναι σύμφωνές με την αναπαράσταση που χρησιμοποιείται για τον περιβαλλοντικό μοντέλο.

Για παράδειγμα, τα νανογεωμετρικά χαρακτηριστικά που βασίζονται στην όραση έχουν ελάχιστη σημασία σε καθαρά γεωμετρικά περιβαλλοντικά μοντέλα, αλλά έχουν μεγάλη σημασία σε τοπολογικά περιβαλλοντικά μοντέλα



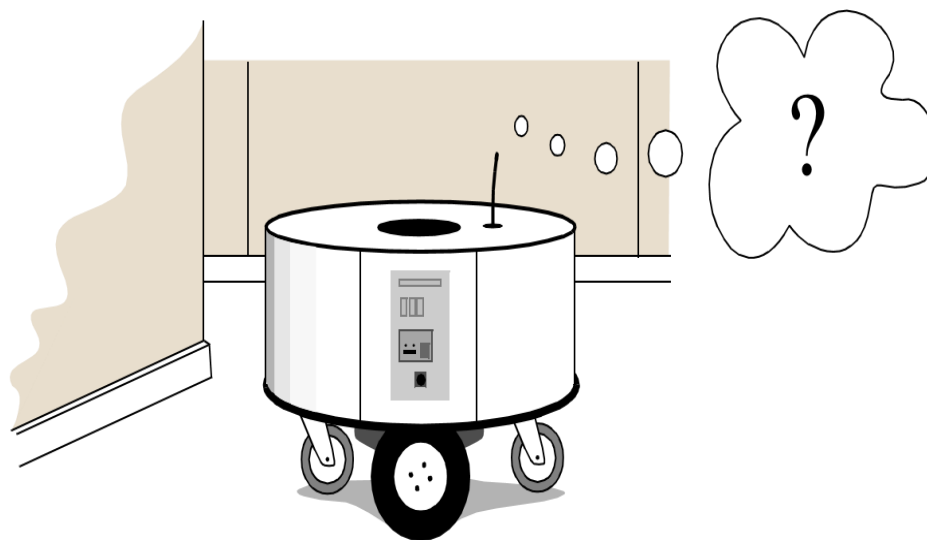
Εικόνα 3. 31 Environment representation and modeling: (a) feature based (continuous metric); (b) occupancy grid (discrete metric).

Το σχήμα 3.30 δείχνει την εφαρμογή των δύο διαφορετικών αναπαραστάσεων για το έργο της μοντελοποίησης ενός κτιρίου γραφείων με διάδρομους. Κάθε προσέγγιση έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, αλλά η εξαγωγή των παραμέτρων των γραμμών και των γωνιών έχει πολύ μεγαλύτερη σημασία στην αριστερή αναπαράσταση.

§.4 Εντοπισμός & Πλοήγηση των ρομπότ

Η πλοήγηση είναι μια από τις πιο ενδιαφέρουσες ικανότητες που απαιτούνται από ένα κινητό ρομπότ. Η επιτυχία στην πλοήγηση απαιτεί επιτυχία στα τέσσερα δομικά στοιχεία της:

- i. Αντίληψη, το ρομπότ πρέπει να ερμηνεύσει τους αισθητήρες του για την εξαγωγή χρήσιμων δεδομένων.
- ii. Εντοπισμός, το ρομπότ πρέπει να καθορίσει τη θέση του στο περιβάλλον.
- iii. Γνωστική λειτουργία, το ρομπότ πρέπει να αποφασίσει πώς θα ενεργήσει για την επίτευξη των στόχων του.
- iv. Έλεγχος κίνησης, το ρομπότ πρέπει να διαμορφώσει τα σήματα εξόδου του κινητήρα του, για να επιτευχθεί η επιθυμητή τροχιά.



Εικόνα 4. 1

4.1 Η πρόκληση του Εντοπισμού (θόρυβος & ομαλοποίηση)

Αν εφαρμοστεί ένα ακριβές σύστημα αισθητήρα GPS (Global Positioning System) σε ένα κινητό ρομπότ, ένα μεγάλο μέρος του προβλήματος εντοπισμού έχει αποφευχθεί. Το GPS ενημερώνει το ρομπότ για την θέση του σε εξωτερικούς χώρους, έτσι ώστε η

ερώτηση “Πού βρίσκομαι;” να έχει άμεσα διαθέσιμη απάντηση. Δυστυχώς, ένα τέτοιο αισθητήριο δεν είναι πάντα εφικτό. Το υφιστάμενο δίκτυο GPS προσφέρει ακρίβεια εντός μερικών μέτρων, το οποίο είναι απαράδεκτο για τον εντοπισμό ρομπότ μικρής κλίμακας, όπως ρομπότ γραφείου και νανορομπότ .

Επιπλέον, οι τεχνολογία GPS δεν μπορεί να λειτουργήσει σε εσωτερικούς χώρους ή σε περιοχές με εμπόδια.

Αλλά, πέρα από τους περιορισμούς του GPS, εντοπισμός σημαίνει περισσότερα από το να γνωρίζουμε την απόλυτη θέση του αντικειμένου σε σύστημα αναφοράς της Γης. Σκεφτείτε ένα ρομπότ που αλληλεπιδρά με ανθρώπους. Αυτό το ρομπότ μπορεί να χρειαστεί να προσδιορίσει την απόλυτη θέση του, σε σχέση με κάποιον άνθρωπο χρησιμοποιώντας μια συστοιχία αισθητήρων. Επιπλέον, κατά το στάδιο της γνωστικής λειτουργίας ένα ρομπότ θα επιλέξει μια στρατηγική για την επίτευξη των στόχων του. Το ρομπότ μπορεί να χρειαστεί να αποκτήσει ή να κατασκευάσει ένα περιβαλλοντικό πρότυπο, ένα χάρτη, που βοηθά στο σχεδιασμό μιας διαδρομής προς το στόχο.

4.1.1 Θόρυβος αισθητήρων

Οι αισθητήρες είναι η βασική είσοδος των ρομπότ για τη διαδικασία της αντίληψης, έτσι ο βαθμός που οι αισθητήρες μπορούν να διακρίνουν τον κόσμο είναι σημαντικός. Ο θόρυβος του αισθητήρα προκαλεί περιορισμούς σχετικά με τη συνοχή της ανάγνωσης του στην ίδια περιβαλλοντική κατάσταση και, κατά συνέπεια στον αριθμό των χρήσιμων bits που διαβάζει. Συχνά, η πηγή των προβλημάτων θορύβου του αισθητήρα είναι ότι ορισμένα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά είναι αδύνατον να σταματήσουν και έτσι παραβλέπονται.

Για παράδειγμα, ένα σύστημα όρασης που χρησιμοποιείται για εσωτερική πλοήγηση σε ένα κτίριο, μπορεί να χρησιμοποιήσει τις τιμές χρώματος που ανιχνεύονται από την έγχρωμη CCD κάμερα του. Όταν ο ήλιος είναι κρυμμένος πίσω από τα σύννεφα, ο φωτισμός του εσωτερικού του κτιρίου αλλάζει εξαιτίας των παραθύρων. Ως αποτέλεσμα, οι τιμές των αποχρώσεων να μην είναι σταθερές. Το χρώμα της CCD φαίνεται θορυβώδης από την πλευρά του ρομπότ, σαν να υπόκεινται

σε τυχαίο σφάλμα, και οι τιμές απόχρωσης που λαμβάνονται από την CCD κάμερα είναι άχρηστες, εκτός αν το ρομπότ είναι σε θέση να προσέξει τη θέση του ήλιου και των σύννεφων.

Ο φωτισμός είναι μόνο ένα παράδειγμα εμφανούς θορύβου σε ένα σύστημα αισθητήρων με βάση την όραση. Η διακύμανση εικόνας (jitter), η απολαβή σήματος (gain), η αναγνώριση ακμών (blooming), και η θόλωση (blurring) είναι επιπλέον πηγές θορύβου, που μειώνουν δυνητικά τον χρήσιμο περιεχόμενο μιας έγχρωμης εικόνας ή βίντεο.

Σκεφτείτε το επίπεδο των αισθητήρων υπερήχων εύρους μέτρησης (ultrasonic range-measuring sensors) ή κοινώς sonar. Όταν ένας πομποδέκτης sonar εκπέμπει ήχο προς μια σχετικά ομαλή και γωνιακή επιφάνεια, ένα μεγάλο μέρος του σήματος αντανακλάται συνεκτικά (coherently) μακριά, παραλείποντας να δημιουργήσει ηχώ επιστροφής. Ωστόσο, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του υλικού, μια μικρή ποσότητα της ενέργειας μπορεί να επιστρέψει. Όταν αυτό το επίπεδο είναι κοντά στο όριο κέρδους του αισθητήρα, τότε το σόναρ άλλες φορές θα πετύχει και, άλλες φορές, θα αδυνατεί να ανιχνεύσει το αντικείμενο. Από την πλευρά του ρομπότ, μία σχεδόν αμετάβλητη περιβαλλοντική κατάσταση μπορεί να οδηγήσει σε δύο διαφορετικές πιθανές ενδείξεις του σόναρ: μία βραχεία και μία μακρά.

Ο ασθενής λόγος σήματος προς θόρυβο του αισθητήρα sonar διαταράσσεται περαιτέρω από παρεμβολές μεταξύ πολλαπλών πομπών sonar. Συχνά, τα ερευνητικά ρομπότ έχουν μεταξύ δώδεκα και σαράντα οκτώ sonar σε μια ενιαία πλατφόρμα. Σε ηχοανακλαστικά περιβάλλοντα, είναι δυνατό να υπάρξουν παρεμβολές πολλαπλών διαδρομών μεταξύ των εκπομπών sonar ενός μετατροπέα και της ηχούς του κυκλώματος ανίχνευσης του άλλου μετατροπέα.

Εν κατακλείδι, ο θόρυβος του αισθητήρα μειώνει τις χρήσιμες πληροφορίες του περιεχομένου των μετρήσεων του. Προφανώς, η λύση είναι να λαμβάνει υπόψιν του πολλαπλές αναγνώσεις, μικρών χρονικών διαστημάτων ή πολλαπλών αισθητήρων, ώστε να αυξηθεί το συνολικό περιεχόμενο πληροφοριών εισόδου του ρομπότ.

4.1.2 Εξομάλυνση αισθητήρων

Μια δεύτερη αδυναμία των αισθητήρων ρομπότ τους αναγκάζει να δίνουν μικρή ποσότητα πληροφοριών, επιδεινώνοντας περαιτέρω το πρόβλημα της αντίληψης και, ως εκ τούτου, τον εντοπισμό τους. Το πρόβλημα, γνωστό ως εξομάλυνση αισθητήρων (sensor aliasing), είναι ένα φαινόμενο που οι άνθρωποι αντιμετωπίζουν σπάνια. Το ανθρώπινο αισθητήριο σύστημα, ιδιαίτερα το οπτικό σύστημα, τείνει να λαμβάνει μοναδικές εισόδους σε κάθε μοναδική τοπική κατάσταση. Με άλλα λόγια, κάθε διαφορετικό μέρος έχει διαφορετική εμφάνιση. Η δύναμη αυτού του μοναδικού τρόπου χαρτογράφησης είναι μόνο φαινομενική. Σκεφτείτε ότι κινείστε μέσα σε άγνωστο κτίριο το οποίο είναι εντελώς σκοτεινό. Όταν το οπτικό σύστημα βλέπει μόνο το μαύρο, το σύστημα εντοπισμού γρήγορα υποβαθμίζεται.

Στο ρομπότ, η μη μοναδικότητα των μετρήσεων του αισθητήρα ή η εξομάλυνση αισθητήρα, είναι ο κανόνας και όχι η εξαίρεση. Σκεφτείτε ένα αποστασιόμετρο στενής δέσμης υπερήχων ή υπέρυθρων. Αυτός ο αισθητήρας παρέχει εύρος πληροφοριών σε ενιαία κατεύθυνση χωρίς πρόσθετα στοιχεία σχετικά με τη σύνθεση του υλικού, όπως το χρώμα, την υφή και τη σκληρότητα. Ακόμη και για ένα ρομπότ με διάφορους τέτοιους αισθητήρες σε συστοιχία, υπάρχει μια ποικιλία περιβαλλοντικών καταστάσεων που θα δώσουν τις ίδιες τιμές. Τυπικά, υπάρχει μια σχέση πολλά-προς-ένα για χαρτογράφηση του περιβάλλοντος από καταστάσεις στις εισόδους του ρομπότ. Έτσι, η αντίληψη του ρομπότ δεν μπορεί να διακρίνει τις διαφορετικές αυτές καταστάσεις. Ένα κλασικό πρόβλημα των *sonarbased* ρομπότ είναι η διάκριση μεταξύ ανθρώπων και άψυχων αντικείμενων με μια εσωτερική ρύθμιση. Όταν αντιμετωπίζει ένα προφανή εμπόδιο μπροστά του, θα πρέπει το ρομπότ λέει "Συγγνώμη", αν είναι ένας άνθρωπος, ή απλά να προσπερνά αν είναι ένα άψυχο αντικείμενο; Με σόναρ και μόνο, αυτές οι καταστάσεις είναι αδύνατον να διαφοροποιηθούν.

Το πρόβλημα που τίθεται για την πλοήγηση λόγω της εξομάλυνσης αισθητήρων είναι ότι, ακόμη και χωρίς θόρυβο, η ποσότητα των πληροφοριών είναι γενικά ανεπαρκής για να προσδιορίσουν τη θέση του ρομπότ από μια ενιαία αντίληψη-ανάγνωση. Οι τεχνικές που πρέπει να χρησιμοποιηθούν απαιτούν μια σειρά

μετρήσεων ώστε να συσσωρευτεί επαρκής πληροφορία για να ανακτηθεί η θέση του ρομπότ με την πάροδο του χρόνου.

4.1.3 Επίδραση θορύβου

Οι προκλήσεις του εντοπισμού δεν βαρύνουν μόνο την τεχνολογία αισθητήρων. Ακριβώς όπως οι αισθητήρες των ρομπότ προκαλούν θόρυβο, περιορίζοντας το περιεχόμενο των πληροφοριών του σήματος, έτσι και οι τα ίδια τα ρομπότ σαν συσκευές δημιουργούν θόρυβο. Με λίγα λόγια, οι τελεστές του ρομπότ εισάγουν στοιχεία αβεβαιότητας σχετικά με τη μελλοντική κατάσταση.

Πρώτα, όμως, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε την ακριβή φύση του θορύβου των τελεστών που επηρεάζουν το ρομπότ.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, από την πλευρά του ρομπότ, το σφάλμα κίνησης θεωρείται ως το σφάλμα μέτρησης της απόστασης, ή η αδυναμία εκτίμησης της θέσης του κατά την πάροδο του χρόνου, χρησιμοποιώντας γνώσεις κινηματικής και δυναμικής. Η πραγματική πηγή σφάλματος γενικά κείται σε ένα ατελές μοντέλο του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, το ρομπότ δεν μπορεί να μοντελοποιήσει το γεγονός ότι το δάπεδο μπορεί να έχει κλίση, οι τροχοί μπορεί να γλιστρούν, ή ένας άνθρωπος μπορεί να το ωθήσει. Όλες αυτές οι μη –μοντελοποιημένες πηγές αποτελέσματος λάθους, η φυσική κίνηση του ρομπότ, η προβλεπόμενη κίνηση του ρομπότ, και οι ιδιοδεκτικοί αισθητήρες, υπολογίζουν την κίνηση του.

Στη συνέχεια θα επικεντρωθούμε στην οδομετρία με βάση τις μετρήσεις των αισθητήρων τροχού του ρομπότ διαφορικής κίνησης . Χρησιμοποιώντας επιπλέον αισθητήρες πορείας (π.χ., γυροσκόπιο) μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των σωρευτικών λαθών, αλλά τα κύρια προβλήματα παραμένουν τα ίδια.

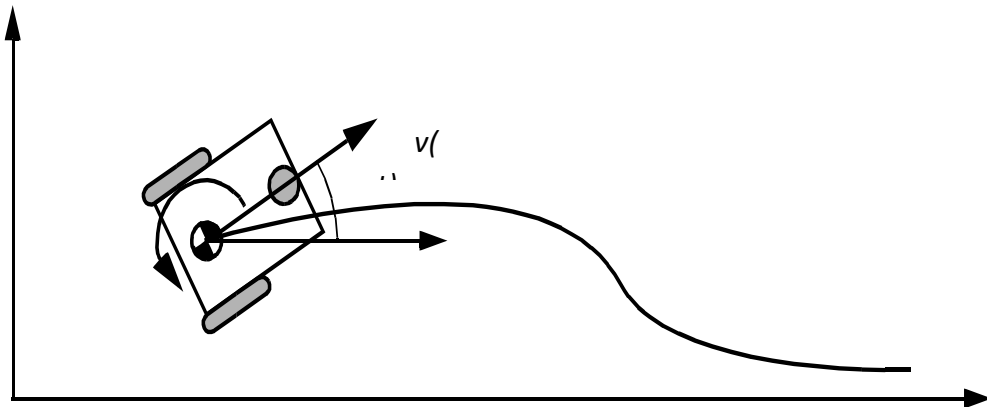
Υπάρχουν πολλές πηγές οδομετρικών λαθών, από περιβαλλοντικούς παράγοντες:

- Περιορισμένη ανάλυση κατά τη διάρκεια ολοκλήρωσης (προσαυξήσεις χρόνου, η ανάλυση μέτρησης, κλπ.)
- Κακή ευθυγράμμιση των τροχών (ντετερμινιστική)

- Αβεβαιότητα ως προς τη διάμετρο του τροχού και ιδίως άνισες διάμετροι τροχών (ντετερμινιστική).
- Μεταβολή του σημείου επαφής του τροχού.
- Περίπτωση ανισόπεδης επαφής (ολίσθηση, μη-επίπεδη επιφάνεια, κλπ.).

Ορισμένα από τα σφάλματα μπορεί να είναι ντετερμινιστικά (συστηματικά), έτσι μπορούν να εξαλειφθούν με την κατάλληλη βαθμονόμηση του συστήματος. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν μια σειρά από μη ντετερμινιστική (τυχαία) σφάλματα τα οποία παραμένουν, οδηγώντας σε αβεβαιότητες στην εκτίμηση της θέσης κατά την πάροδο του χρόνου. Από γεωμετρικής άποψης, μπορεί κανείς να κατατάξει τα σφάλματα σε τρεις τύπους:

1. Range error: ολοκληρωμένο μήκος διαδρομής (απόσταση) της κίνησης του ρομπότ (άθροισμα των κινήσεων των τροχών).
2. Turn error: παρόμοια με το range error, αλλά για στροφές (διαφορά των κινήσεων των τροχών).
3. Drift error: η διαφορά στο σφάλμα των τροχών οδηγεί στο σφάλμα του γωνιακού προσανατολισμού του ρομπότ.



Εικόνα 4. 2 Movement of a differential-drive robot

4.2 Απεικόνιση

Το θεμελιώδες ζήτημα που διαφοροποιεί τα διάφορα map-based συστήματα εντοπισμού ή απεικόνιση. Υπάρχουν δύο συγκεκριμένες έννοιες που πρέπει να αντιπροσωπεύει το ρομπότ, και η καθεμία έχει τις δικές τις μοναδικές πιθανές λύσεις. Το ρομπότ πρέπει να έχει μια απεικόνιση (ένα μοντέλο) του περιβάλλοντος, ή ένα χάρτη. Ποιες παράμετροι του περιβάλλοντος περιέχονται σε αυτόν το χάρτη; Σε ποιο επίπεδο πιστότητας ο χάρτης αντιπροσωπεύει το περιβάλλον; Αυτά είναι τα ερωτήματα για το σχεδιασμό του χάρτη απεικόνισης.

Το ρομπότ πρέπει να έχει επίσης μια αναπαράσταση της θέσης του στο χάρτη. Μήπως πρέπει να προσδιορίσει μια ενιαία μοναδική θέση ως την τρέχουσα θέση του, ή μήπως να περιγράψει τη θέση του σε σχέση με μια σειρά από πιθανές θέσεις;

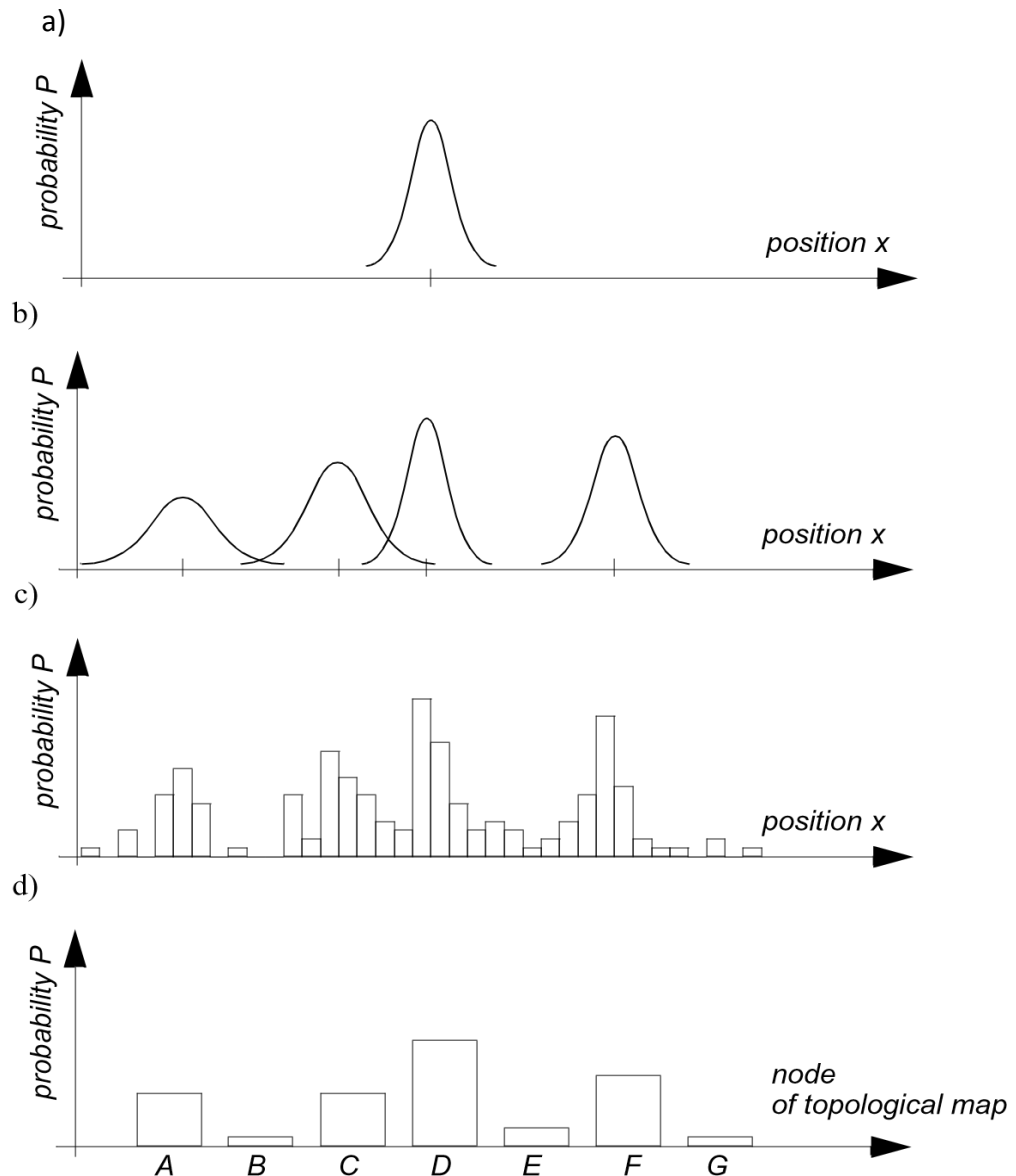
Οι αποφάσεις μεταξύ αυτών των δύο αξόνων σχεδιασμού μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά επίπεδα της αρχιτεκτονικής πολυπλοκότητας, της υπολογιστικής πολυπλοκότητας, και της συνολικής ακρίβειας εντοπισμού.

4.2.1 Πεποίθηση ενιαίας υπόθεσης απεικόνισης (Single-hypothesis belief)

Είναι η αμεσότερη δυνατή τοποθέτηση των κινητών ρομπότ θέσης. Λαμβάνοντας υπόψιν κάποιους περιβαλλοντικούς χάρτες, η πεποίθηση (belief) της θέσης του εκφράζεται ως ενιαίο μοναδικό σημείο στο χάρτη.

Στο σχήμα 4.2, τρία παραδείγματα μιας *Single-hypothesis belief* χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές απεικονίσεις χάρτη του ίδιου πραγματικού περιβάλλοντος (Σχήμα 4.2a). Στο σχήμα 4.2b, ένα μοναδικό σημείο είναι γεωμετρικά σημειωμένο ως η θέση του ρομπότ σε ένα γεωμετρικό 2D χάρτη. Στο σχήμα 4.2c, ο χάρτης είναι ένας διακριτός, ψηφιδωτός χάρτης και η θέση επισημαίνεται στο ίδιο επίπεδο με το κελί του χάρτη (map cell). Στο σχήμα 4.2d, ο χάρτης δεν είναι καθόλου γεωμετρικός αλλά αφηρημένος και τοπολογικός. Σε αυτήν την περίπτωση, η ενιαία υπόθεση της θέσης περιλαμβάνει τον προσδιορισμό ενός μοναδικού κόμβου i στο τοπολογικό διάγραμμα ως θέση του ρομπότ.

Το κύριο πλεονέκτημα της Single-hypothesis belief απεικόνισης πηγάζει από το γεγονός ότι, δεδομένης μια μοναδική πεποίθησης (belief), δεν υπάρχει καμία ασάφεια θέσης. Η μονοσήμαντη φύση αυτής της απεικόνισης διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων στο γνωστικό επίπεδο του ρομπότ (π.χ., το σχεδιασμό διαδρομής). Το ρομπότ μπορεί απλά να υποθέσει ότι η πεποιθήσεις του είναι σωστές, και στη συνέχεια να επιλέξει τις μελλοντικές ενέργειές του με βάση τη μοναδική θέση του.

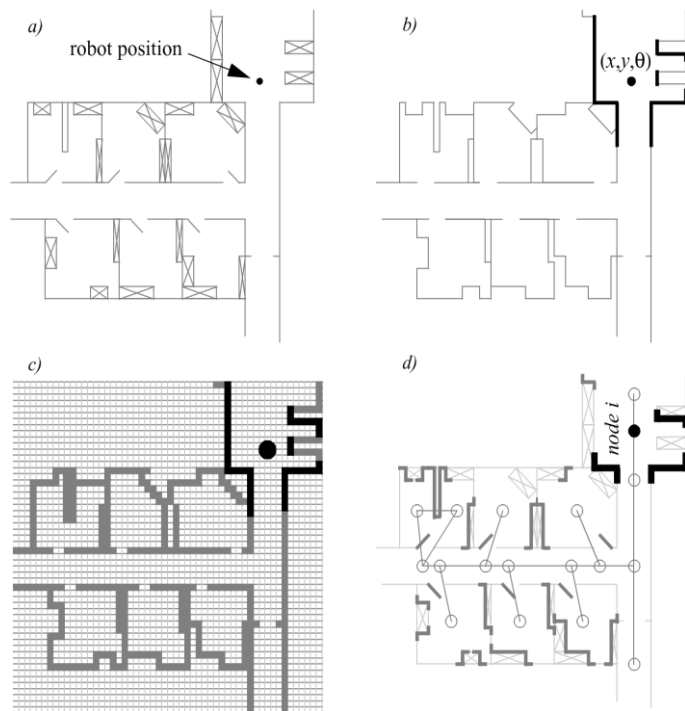


Εικόνα 4. 3 Belief representation regarding the robot position (1D) in continuous and discretized (tessellated) maps.

4.2.2 Πεποίθηση πολλών υποθέσεων

Στην περίπτωση των πεποιθήσεων πολλών υποθέσεων (*multiple-hypothesis beliefs*) σχετικά με τη θέση, το ρομπότ παρακολουθεί όχι μόνο μια ενιαία δυνατή θέση, αλλά πιθανώς άπειρο σύνολο θέσεων.

Σε ένα απλό παράδειγμα που προέρχεται από την εργασία του Jean-Claude Latombe, η θέση του ρομπότ περιγράφεται σε όρους ενός κυρτού πολυγώνου τοποθετημένο σε 2D χάρτη περιβάλλοντος. Αυτή η αναπαράσταση πολλαπλών υποθέσεων σχετίζει το σύνολο των πιθανών θέσεων του ρομπότ γεωμετρικά, χωρίς να έχουν συγκεκριμένη προτεραιότητα. Κάθε σημείο στο χάρτη είτε περιέχεται στο πολύγωνο και, ως εκ τούτου, ανήκει στο σετ σημείων πεποίθησης του ρομπότ, ή έξω από το πολύγωνο ώστε να αποκλείεται. Από μαθηματικής άποψης, το πολύγωνο χρησιμεύει για να στεγανοποιεί το χώρο των πιθανών θέσεων του ρομπότ. Μια τέτοια πολυγωνική παράσταση της πεποίθησης πολλαπλών υποθέσεων μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα συνεχή, γεωμετρικό χάρτη περιβάλλοντος, ή, εναλλακτικά, σε ένα ψηφιδωτό διακριτό χάρτη.



Εικόνα 4. 4

Μια στρατηγική για την αναπαράσταση πολλαπλών υποθέσεων για τις πιθανές θέσεις είναι η μαθηματική κατανομή, δεδομένου ότι ορισμένες θέσεις ρομπότ είναι πιθανότερες από ό, τι άλλες.

Τρία παραδείγματα μεμονωμένων υποθέσεων θέσης που χρησιμοποιούν διαφορετικές αναπαραστάσεις χάρτη (σχήμα 4.3): (α) πραγματικός χάρτης με τοίχους, πόρτες και έπιπλα? (b) line-based χάρτης (περίπου 100 γραμμές με δύο παραμέτρους) (c) χωρητικότητα grid-based χάρτη (περίπου 3000 κύτταρα σε πλέγμα με διαστάσεις 50 x 50 εκατοστά) (d) τοπολογικός χάρτης με χαρακτηριστικά γραμμής (γραμμές Z / S) και πόρτες (περίπου 50 χαρακτηριστικά και 18 κόμβους).

4.3 Σχεδιασμός διαδρομής και πλοήγηση

Ο σχεδιασμός της διαδρομής και η πλοήγηση των κινητών ρομπότ, ιδίως στην περίπτωση που είναι γνωστό το περιβάλλον, είναι ένα καλά μελετημένο πρόβλημα. Στην πράξη, ωστόσο, δεν έχουμε πάντα πλήρη γνώση του διαθέσιμου περιβάλλοντος. Έχοντας ένα λεπτομερή χάρτη με όλα τα εμπόδια φαίνεται να είναι μη ρεαλιστικό για τις περισσότερες περιπτώσεις. Σε πολλές εξωτερικές εφαρμογές τα ρομπότ μπορούν να καθορίσουν τις συντεταγμένες τους χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, το GPS.

Για προ-σχεδιασμό διαδρομής η επιλογή ενός *coarse*⁷ είναι αρκετά καλή. Επιπλέον, είναι σημαντικό το ρομπότ να μπορεί να επανασχεδιάσει τη διαδρομή απευθείας με βάση τις νέες πληροφορίες που συλλέγονται από τους αισθητήρες κατά την πλοήγηση.

4.3.1 Σχεδιασμός διαδρομής

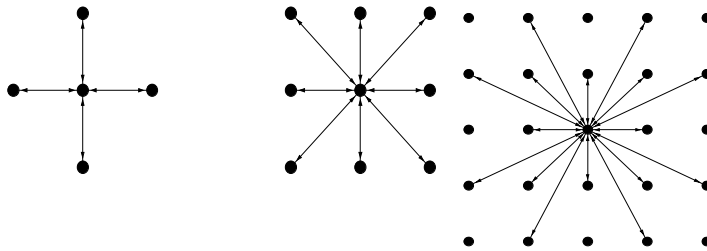
Τρεις βασικές υποθέσεις χρησιμοποιούνται σε αυτή την προσέγγιση:

- Το ρομπότ να έχει ένα μικρό εύρος ανίχνευσης σε σύγκριση με το μέγεθος της περιοχής ενδιαφέροντος.
- Να αισθάνεται ακτινικά. (π.χ. εμπόδια μπορεί να εμποδίζουν την ανίχνευση σε ορισμένες κατευθύνσεις).
- Να γνωρίζει τις συντεταγμένες του και τον προσανατολισμό του (π.χ. μέσω GPS).

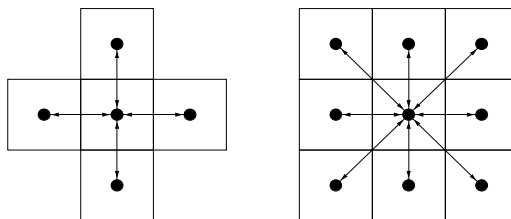
A. Διακριτοποίηση

Για τη μοντελοποίηση, είναι απαραίτητο η τοπική περιοχή που εξετάζεται να διακριτοποιείται. Διακριτοποιώντας το πρόβλημα προφανώς αποκλείονται πολλές λύσεις. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι ακριβής η διαδρομή, έτσι είναι απαραίτητα τα επόμενα βήματα ώστε να μπορεί να σχεδιαστεί ικανοποιητικά. Μια άλλη ανησυχία είναι ότι σε ορισμένες περιπτώσεις ο σχεδιασμός μπορεί να οδηγήσει σε μη-ομαλή πορεία. Ευτυχώς αυτό το ζήτημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση ενός αλγόριθμου ελέγχου εξομάλυνσης κίνησης.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5 το έδαφος περιγράφεται από κόμβους που συνδέονται με τόξα. Κάθε τόξο έχει ένα συγκεκριμένο κόστος για τη μετακίνηση κατά μήκος του. Μια άλλη προσέγγιση που χρησιμοποιείται είναι να χωριστεί το περιβάλλον σε τετράγωνα / ορθογώνια ίσου μεγέθους (εικόνα 4.6). Στη συνέχεια, εκχωρείται ένα κόστος στο καθένα, για τη μετάβαση μεταξύ δύο γειτονικών τετραγώνων.



Εικόνα 4. 5 a) "4-star" b) "8-star" c) "16-star".



Εικόνα 4. 6 "4-star" and "8-star" mapped onto a square pattern.

Αυτό το σχέδιο διακριτοποίησης των γειτόνων χρησιμοποιεί την πασίγνωστη μέθοδο του απλού δικτύου για το σχεδιασμό διαδρομής.

B. Ροή ελάχιστου κόστους

Για λόγους πληρότητας περιγράφεται αυτό το γραμμικό πρόβλημα βελτιστοποίησης.

Θεωρήστε ένα δίκτυο που αποτελείται από n κόμβους καθώς και τα τόξα που τους συνδέουν.

Το μοναδιαίο κόστος του τόξου που πηγαίνει από τον κόμβο i στον κόμβο j είναι το c_{ij} . Η ροή δηλώνεται ως x_{ij} . Στον κόμβο i μπορεί να υπάρχει παροχή ή ζήτηση ροής που συμβολίζεται b_i (όπου παροχή όταν $b_i > 0$, ή ζήτηση όταν: $b_i < 0$). Αυτό το πρόβλημα

$$\sum_{i=1}^n b_i$$

είναι ισορροπημένο όταν $\sum_{i=1}^n b_i = 0$. Σε κάθε κόμβο ισχύει, εισροές μείον εκροές ίσων ζήτηση / προσφορά.

Το Network simplex είναι μία γνωστή και αποτελεσματική μέθοδος για την επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος. Λειτουργεί με τις λεγόμενες βασικές λύσεις του προβλήματος. Μια τέτοια λύση αντιστοιχεί σε ένα δένδρο επικάλυψης.

Γ. Αλγόριθμος σχεδιασμού διαδρομής

Η γενική ιδέα είναι ότι μια διαδρομή σχεδιάζεται με βάση ότι είναι γνωστό αυτή τη στιγμή. Όταν το ρομπότ παίρνει νέα πληροφορία θεωρείται ότι επιλέγει ένα άλλο μονοπάτι. Η σταδιακή μάθηση του περιβάλλοντος έχει ως αποτέλεσμα όλο και καλύτερα σχέδια. Πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον, μεταφράζονται σε τόξα κόστους c_{ij} . Αν το έδαφος είναι εντελώς άγνωστο τα τόξα μπορεί αρχικά να έχουν κόστη σαν να μη επηρεάζονται από εμπόδια. Διαφορετικές πληροφορίες π.χ. από χάρτες μπορούν να ενσωματωθούν ως κατάλληλα κόστη τόξων.

Βήμα 1. Σχεδιασμός

Με βάση τις σημερινές γνώσεις, ένα μονοπάτι από τον τρέχοντα κόμβο στον κόμβο στόχου σχεδιάζεται με τη χρήση απλού δικτύου. Αν το κόστος αυτής της διαδρομής είναι υψηλό, είναι σαφές ότι το τόξο έχει «άπειρο» κόστος και ο αλγόριθμος πρέπει να τερματιστεί. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει εφικτή διαδρομή μέσα στο δίκτυο. Εάν το κόστος είναι λογικό μεταφερόμαστε στο βήμα 2.

Βήμα 2. Μετακίνηση και ανίχνευση

Η πλατφόρμα κινείται κατά μήκος του πρώτου τόξου που είναι μέρος της λύσης, ενώ συλλέγονται πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον. Στο τέλος του τόξου επιτυγχάνεται ένας νέος κόμβος. Αν αυτός είναι ο κόμβος στόχος η εργασία έχει ολοκληρωθεί, διαφορετικά πάμε στο βήμα 3.

Βήμα 3 Εναποθέτοντας το πρόβλημα

Το σύστημα τώρα γνωρίζει περισσότερα για το περιβάλλον και έχει ενημερώσει μια σειρά από κόστη τόξου c_{ij} , εκτός αν το τόξο έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν και τίποτα δεν έχει αλλάξει. Αυτή η νέα πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ανασχεδιασμό. Το μόνο που χρειάζεται είναι προσαρμογή στη ρύθμιση της ροής του τελευταίου τόξου χρησιμοποιώντας το μηδέν. Σε περίπτωση που έχει προστεθεί νέα πληροφορία αυτή αποτελεί τη βέλτιστη λύση. Ο αλγόριθμος επιστρέφει τώρα στο βήμα 1.

4.3.2 Πλοήγηση

Η πλοήγηση στην κινητή ρομποτική καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα διαφορετικών συστημάτων με διαφορετικές απαιτήσεις και λύσεις. Μελετώντας αυτό το φάσμα των απαιτήσεων, θα εντοπίσουμε τις σημαντικές περιοχές και θα βρούμε τα κατάλληλα συστήματα για την εκπλήρωση των απαιτήσεων αυτών.

Η φυσική κλίμακα των απαιτήσεων πλοήγησης μιας συσκευής μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια, αυτό είναι η ανάλυση της πλοήγησης. Οι απαιτήσεις αυτές ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό σε κάθε εφαρμογή, ωστόσο, σε μια πρώτη προσέγγιση απαιτείται η ακρίβεια των διαστάσεων του ίδιου του οχήματος. Κάθε αυτόνομη συσκευή πρέπει να μπορεί να καθορίσει τη θέση της σε μια ανάλυση, τουλάχιστον σε σχέση με τις δικές της διαστάσεις, ώστε να είναι σε θέση να περιηγηθεί και να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του σωστά.

Στο ένα άκρο της κλίμακας, υπάρχουν ρομπότ μόλις μερικά εκατοστά σε μέγεθος, τα οποία απαιτούν υψηλή ακρίβεια πλοήγησης σε ένα μικρό εύρος (λόγω περιορισμών

του ενεργειακού εφοδιασμού), ενώ λειτουργούν σε ένα σχετικά ήμερο περιβάλλον. Στο άλλο άκρο της κλίμακας, υπάρχουν Jumbo αεροσκάφη και υπερωκεάνεια, το καθένα με κάποιο αυτόματο σύστημα πλοήγησης, το οποίο απαιτεί ακρίβεια σε μέτρα (ή δεκάδες μέτρα), πάνω από ένα τεράστιο (παγκόσμιο) εύρος, σε κάπως πιο αντίξοες συνθήκες.

Για την κατηγοριοποίηση αυτών των απαιτήσεων, χρησιμοποιούμε τρεις όρους: -

- *Η παγκόσμια πλοήγηση (global navigation)*, η οποία καθορίζει τη θέση του αντικειμένου με απόλυτους όρους, ώστε να προχωρήσει σε ένα επιθυμητό σημείο προορισμού.
- *Τοπική πλοήγηση (local navigation)*, προσδιορίζει τη θέση του αντικειμένου σε σχέση με άλλα αντικείμενα (στατικά ή κινητά) στο περιβάλλον, ώστε να αλληλοεπιδρούν σωστά μεταξύ τους.
- *Προσωπική πλοήγηση (personal navigation)*, περιλαμβάνει την επίγνωση της θέσης των διαφόρων μερών που απαρτίζουν το αντικείμενο σε σχέση το ένα με το άλλο και τον χειρισμό τους.

Η κλίμακα των προδιαγραφών πλοήγησης, είναι το πλαίσιο μέσα στο οποίο το στίγμα της θέσεως είναι σχετικό. Οι δύο όροι που χρησιμοποιούνται εδώ είναι οι: *Απόλυτη και Σχετική*.

Σε όρους στίγματος θέσεως, η απόλυτη συνεπάγεται την εύρεση της θέσης σε σχέση με την απόλυτη αρχή. Ένα σταθερό σημείο είναι σταθερό για όλες τις θέσεις σε όλο το φάσμα της πλοήγησης. Ως εκ τούτου, στην παγκόσμια ναυσιπλοΐα, θα πρέπει να υπάρχει ένα τέτοιο σημείο στον πλανήτη που όλα να είναι σταθερά σε σχέση με αυτό. Στην τοπική πλοήγηση η απόλυτη αρχή είναι κάποιο σταθερό σημείο στο περιβάλλον του ρομπότ, και στην προσωπική πλοήγηση η αρχή μπορεί να θεωρηθεί ως το κέντρο του ίδιου του ρομπότ.

Μια σχετική θέση κατά την παγκόσμια πλοήγηση, που λαμβάνεται σε σχέση με κάποιο άλλο σημείο αναφοράς (σχετικό με περιβάλλον), είναι ανάλογη με την απόλυτη θέση στην τοπική πλοήγηση. Ομοίως, ένα στίγμα που λαμβάνεται σε σχέση με την θέση του ίδιου του ρομπότ σε κάποια άλλη χρονική στιγμή (self-relative), είναι σαν το στίγμα της απόλυτης προσωπικής θέσης.

4.3.2 Δύο Σύγχρονα Συστήματα

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στην πλοήγηση των ρομπότ αναπτύσσεται ταχύτατα. Εδώ είναι δύο σχετικά σύγχρονα συστήματα που μελετιούνται, τα δορυφορικά συστήματα παγκόσμιου εντοπισμού θέσης (GPS) και τα συστήματα εντοπισμού θέσης βασιζόμενα στην όραση (VPS), τα οποία έχουν το κοινό χαρακτηριστικό ότι είναι υπό συνεχή ανάπτυξη. Τα δύο αυτά συστήματα, μπορούν να ικανοποιήσουν μεγάλη κλίμακα απαιτήσεων πλοήγησης .

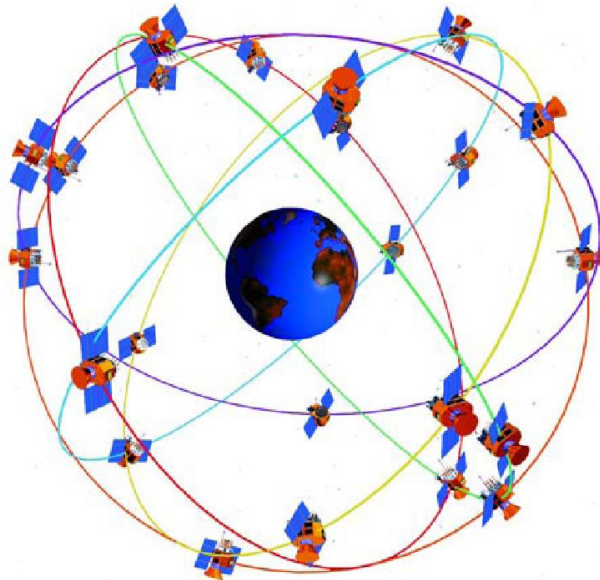
4.3.2.1 GPS Global Positioning System ()

Το 1973 ιδρύθηκε το αμερικάνικο αμυντικό δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (A.D.N.S.S), ως κοινή υπηρεσία μεταξύ του Αμερικανικού Ναυτικού και της Πολεμικής Αεροπορίας, μαζί με άλλες υπηρεσίες όπως το Υπουργείο Μεταφορών, με στόχο την ανάπτυξη ενός εξαιρετικά ακριβούς δορυφορικού συστήματος πλοήγησης - το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης GPS .

Όταν το GPS αποδεσμεύθηκε από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ, αντικαταστάθηκε από διάφορα άλλα συστήματα, ωστόσο, είναι έτσι σχεδιασμένο ώστε να έχει περιορισμένη ακρίβεια στη διάθεση των μη στρατιωτικών (ΗΠΑ) χρηστών. Αρκετές μέθοδοι για τη βελτίωση της απόδοσης του έχουν αναπτυχθεί οι οποίες αυξάνουν σημαντικά την χρησιμότητα του συστήματος στα ρομπότ.

Το GPS απαρτίζεται από 3 τμήματα:

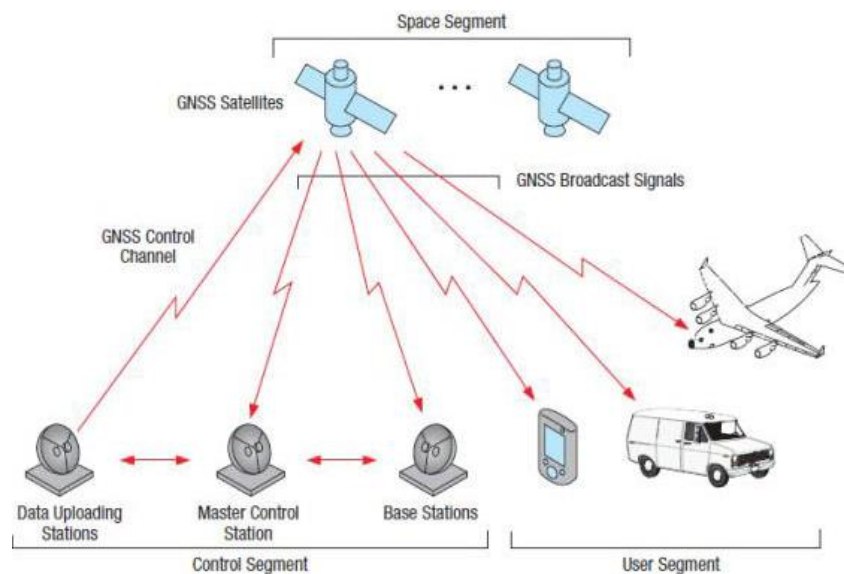
Το διαστημικό τμήμα του GPS αποτελείται από 24 δορυφόρους σε τροχιά γύρω από τον πλανήτη σε ύψος περίπου 20.200 χιλιόμετρα, έτσι ώστε γενικά τουλάχιστον τέσσερεις δορυφόροι να είναι ορατοί από την επιφάνεια της Γης, ανά πάσα στιγμή. Αυτό επιτρέπει να προσδιοριστεί η στιγμιαία θέση του χρήστη, οποιαδήποτε στιγμή, με τη μέτρηση της χρονικής καθυστέρησης μιας εκπομπής ραδιοφωνικού σήματος από κάθε δορυφόρο και σε συνδυασμό με την ταχύτητα διάδοσης να υπολογιστεί η απόσταση του από τον δορυφόρο (η ψευδό-κλίμακα).



Εικόνα 4. 7 Schematic of GPS satellite constellation

Οι δορυφόροι δεδομένων παρακολουθούνται και ελέγχονται από επίγεια τμήματα GPS - παγκόσμιους σταθμούς θέσης για να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του συστήματος.

Το τμήμα χρηστών, το οποίο αποτελείται από τον κινητό χρήστη και τον εξοπλισμό λήψης GPS. Ο εξοπλισμός λήψης έχει βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, επιτρέποντας ταχύτερη και ακριβέστερη επεξεργασία των λαμβανόμενων δεδομένων.



Εικόνα 4. 8 GNSS satellite systems consist of three major components

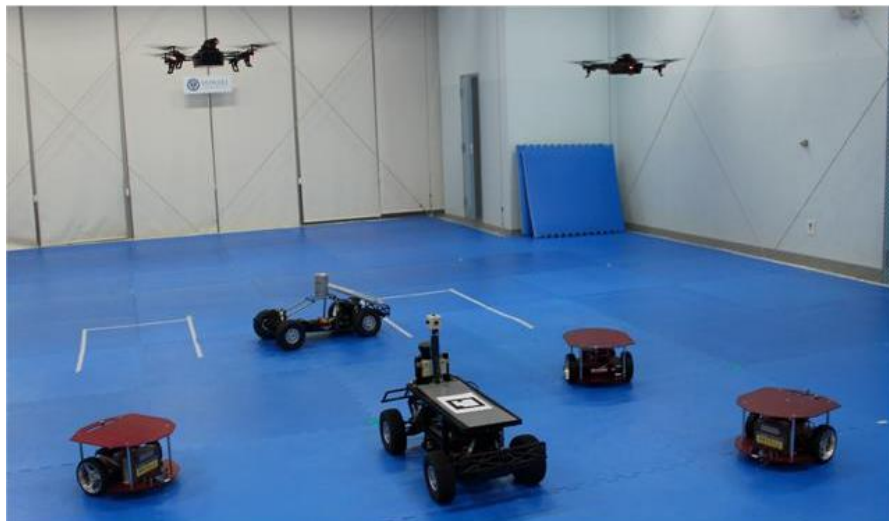
Το GPS παρέχει ακρίβεια 100 m στην πρότυπη υπηρεσία εντοπισμού θέσης (SPS) χρηστών, λόγω της επιλεκτικής διαθεσιμότητας σφαλμάτων που εισάγονται σκόπιμα από τον στρατό των ΗΠΑ, για λόγους άμυνας. Αυτό μπορεί να βελτιωθεί σε περίπου 15 m για τους εγκεκριμένους χρήστες υπηρεσιών εντοπισμού θέσης (PPS) .

4.3.2.2 Vision-based positioning system (VPS)

Το σύστημα εντοπισμού θέσης βασιζόμενο στη όραση χρησιμοποιεί τις ίδιες βασικές αρχές του συστήματος θέσης με βάση τον χάρτη, αλλά στηρίζεται σε οπτικούς αισθητήρες υπερήχων και όχι σε αισθητήρες αδράνειας.

Οι πιο συχνοί οπτικοί αισθητήρες περιλαμβάνουν λέιζερ που βασίζεται σε μετρητές απόστασης και φωτομετρικές κάμερες χρησιμοποιώντας συστοιχίες CCD. Ωστόσο, λόγω του όγκου των πληροφοριών που παρέχουν, η εξαγωγή των οπτικών χαρακτηριστικών για τον προσδιορισμό θέσης δεν είναι καθόλου απλή. Πολλές τεχνικές έχουν προταθεί για τον εντοπισμό χρησιμοποιώντας πληροφορίες όραση, τα κύρια συστατικά των οποίων είναι:

- αναπαραστάσεις του περιβάλλοντος.
- μοντέλα ανίχνευσης.
- αλγόριθμοι.



Εικόνα 4. 9 A system to allow air- and ground-based robot vehicles to work together

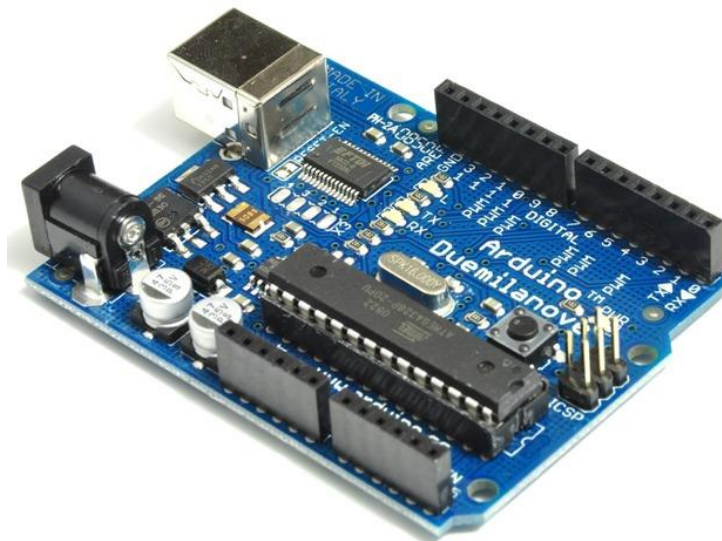
Παρά το γεγονός ότι φαίνεται να είναι μια καλή ιδέα ο συνδυασμός τεχνικών πλοήγησης βασισμένες στην όραση με μεθόδους που χρησιμοποιούν νεκρή-αναγνώριση (dead – reckoning⁸), αισθητήρες αδράνειας και υπερήχων και αισθητήρες λέιζερ, οι εφαρμογές υπό πραγματικές συνθήκες εξακολουθούν να είναι σπάνιες.

Οι εφαρμογές του πραγματικού κόσμου που προβλέπονται στα περισσότερα τρέχοντα ερευνητικά προγράμματα, απαιτούν πολύ λεπτομερείς πληροφορίες αισθητήρων για να παρέχει το ρομπότ καλές δυνατότητες αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον. Οι οπτικοί αισθητήρες είναι πιθανώς η πιο ισχυρή πηγή πληροφοριών μεταξύ όλων των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για τα ρομπότ σήμερα. Έτσι, προς το παρόν, φαίνεται ότι οι οπτικοί αισθητήρες υψηλής ανάλυσης κρατούν τις μεγαλύτερες υποσχέσεις για τον κινητό εντοπισμό θέσης και πλοήγησης στα ρομπότ.

§.5 Υλοποίηση του ρομποτικού οχήματος με χρήση Arduino

5.1 Τι είναι το Arduino;

Όπως το περιγράφει ο δημιουργός του, το Arduino είναι μια «ανοικτού κώδικα» πλατφόρμα «πρωτοτυποποίησης» ηλεκτρονικών, βασισμένη σε ευέλικτο και εύκολο στη χρήση hardware και software που προορίζεται για οποιονδήποτε έχει λίγη προγραμματιστική εμπειρία, στοιχειώδεις γνώσεις ηλεκτρονικών και ενδιαφέρεται να δημιουργήσει διαδραστικά αντικείμενα ή περιβάλλοντα.



Εικόνα 5. 1 Arduino UNO module

Στην ουσία, πρόκειται για ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega της Atmel και του οποίου όλα τα σχέδια, καθώς και το software που χρειάζεται για την λειτουργία του, διανέμονται ελεύθερα και δωρεάν ώστε να μπορεί να κατασκευαστεί από τον καθένα (απ' όπου και ο περίεργος -για hardware- χαρακτηρισμός «ανοικτού κώδικα»). Αφού κατασκευαστεί, μπορεί να συμπεριφερθεί σαν ένας μικροσκοπικός υπολογιστής, αφού ο χρήστης μπορεί να συνδέσει επάνω του πολλαπλές μονάδες εισόδου/εξόδου και να προγραμματίσει τον μικροελεγκτή να δέχεται δεδομένα από τις μονάδες εισόδου, να τα επεξεργάζεται και να στέλνει

κατάλληλες εντολές στις μονάδες εξόδου. Μάλιστα κάποιος θα μπορούσε να ισχυριστεί - και θα ήταν ένας αρκετά πετυχημένος παραλληλισμός - ότι λειτουργικά το Arduino μοιάζει πολύ με το NXT Brick των Lego Mindstorms NXT. Άλλωστε η ρομποτική είναι μια από τις πολλές εφαρμογές στις οποίες το Arduino διαπρέπει.

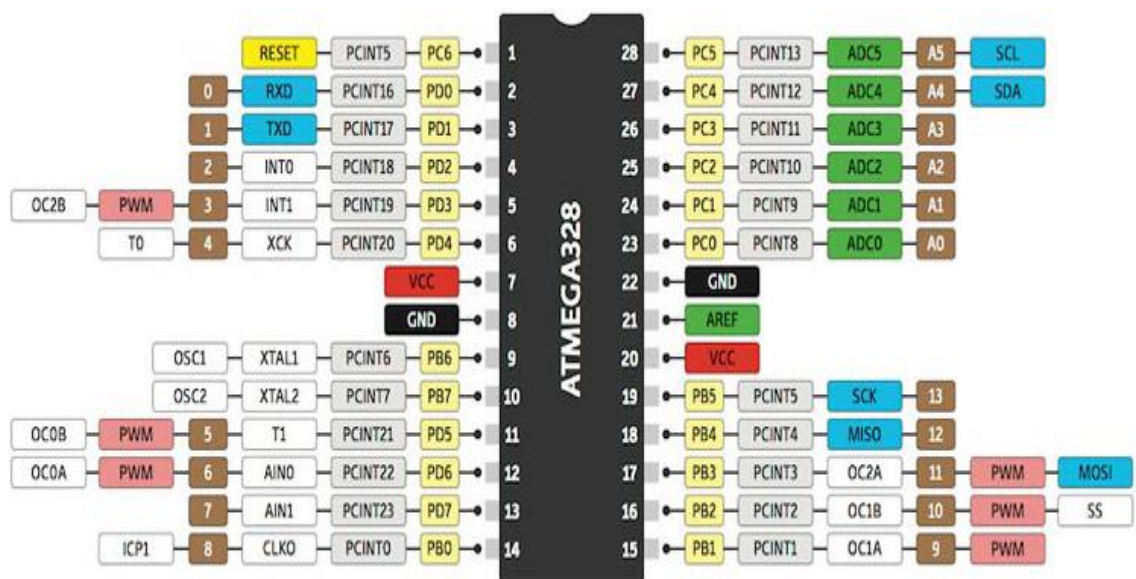
Το Arduino βέβαια, δεν είναι ούτε ο μοναδικός, ούτε και ο καλύτερος δυνατός τρόπος για την δημιουργία μιας οποιασδήποτε διαδραστικής ηλεκτρονικής συσκευής. Όμως το κύριο πλεονέκτημά του είναι η τεράστια κοινότητα που το υποστηρίζει και η οποία έχει δημιουργήσει, συντηρεί και επεκτείνει μια ανάλογο μεγέθους online γνωσιακή βάση. Έτσι, παρότι ένας έμπειρος ηλεκτρονικός μπορεί να προτιμήσει διαφορετική πλατφόρμα ή εξαρτήματα ανάλογα με την εφαρμογή που έχει στον νου του, το Arduino, με το εκτενές documentation, καταφέρνει να κερδίσει όλους αυτούς των οποίων οι γνώσεις στα ηλεκτρονικά περιορίζονται στα όσα λίγα έμαθαν στο σχολείο.

5.1.1 Μικροελεγκτής - η καρδιά του Arduino

Το Arduino βασίζεται στον ATmega328, έναν 8-bit RISC μικροελεγκτή, τον οποίο χρονίζει στα 16MHz. Ο ATmega328 διαθέτει ενσωματωμένη μνήμη τριών τύπων:

- 2Kb μνήμης SRAM που είναι η ωφέλιμη μνήμη που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα προγράμματά σας για να αποθηκεύουν μεταβλητές, πίνακες κ.λπ. κατά το runtime. Όπως και σε έναν υπολογιστή, αυτή η μνήμη χάνει τα δεδομένα της όταν η παροχή ρεύματος στο Arduino σταματήσει ή αν γίνει reset.
- 1Kb μνήμης EEPROM η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για «ωμή» εγγραφή/ανάγνωση δεδομένων (χωρίς datatype) ανά byte από τα προγράμματά σας κατά το runtime. Σε αντίθεση με την SRAM, η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset οπότε είναι το ανάλογο του σκληρού δίσκου.
- 32Kb μνήμης Flash, από τα οποία τα 2Kb χρησιμοποιούνται από το firmware του Arduino που έχει εγκαταστήσει ήδη ο κατασκευαστής του. Το firmware αυτό

που στην ορολογία του Arduino ονομάζεται bootloader είναι αναγκαίο για την εγκατάσταση των δικών σας προγραμμάτων στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB, χωρίς δηλαδή να χρειάζεται εξωτερικός hardware programmer. Τα υπόλοιπα 30Kb της μνήμης Flash χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση αυτών ακριβώς των προγραμμάτων, αφού πρώτα μεταγλωττιστούν στον υπολογιστή σας. Η μνήμη Flash, όπως και η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset. Επίσης, ενώ η μνήμη Flash υπό κανονικές συνθήκες δεν προορίζεται για χρήση runtime μέσα από τα προγράμματά σας, λόγω της μικρής συνολικής μνήμης που είναι διαθέσιμη σε αυτά (2Kb SRAM + 1Kb EEPROM), έχει σχεδιαστεί μια βιβλιοθήκη που επιτρέπει την χρήση όσου χώρου περισσεύει (30Kb μείον το μέγεθος του προγράμματός σας σε μεταγλωττισμένη μορφή).



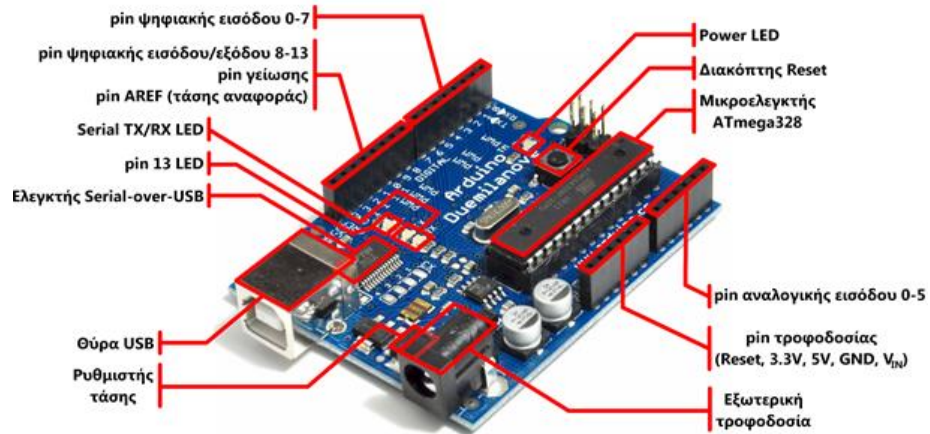
Εικόνα 5. 2

5.1.2 Είσοδοι – Έξοδοι

Καταρχήν το Arduino διαθέτει σειριακό interface. Ο μικροελεγκτής ATmega υποστηρίζει σειριακή επικοινωνία, την οποία το Arduino προωθεί μέσα από έναν ελεγκτή Serial-over-USB ώστε να συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω USB. Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται για την μεταφορά των προγραμμάτων που σχεδιάζονται από τον

υπολογιστή στο Arduino αλλά και για αμφίδρομη επικοινωνία του Arduino με τον υπολογιστή μέσα από το πρόγραμμα την ώρα που εκτελείται.

Επιπλέον, στην πάνω πλευρά του Arduino βρίσκονται 14 θηλυκά pin, αριθμημένα από 0 ως 13, που μπορούν να λειτουργήσουν ως ψηφιακές εισοδοι και έξοδοι. Λειτουργούν στα 5V και καθένα μπορεί να παρέχει ή να δεχτεί το πολύ 40mA.



Εικόνα 5. 3

Ως ψηφιακή έξοδος, ένα από αυτά τα pin μπορεί να τεθεί από το πρόγραμμά σας σε κατάσταση HIGH ή LOW, οπότε το Arduino θα ξέρει αν πρέπει να διοχετεύσει ή όχι ρεύμα στο συγκεκριμένο pin. Με αυτόν τον τρόπο μπορείτε λόγω χάρη να ανάψετε και να σβήσετε ένα LED που έχετε συνδέσει στο συγκεκριμένο pin. Αν πάλι ρυθμίσετε ένα από αυτά τα pin ως ψηφιακή είσοδο μέσα από το πρόγραμμά σας, μπορείτε με την κατάλληλη εντολή να διαβάσετε την κατάστασή του (HIGH ή LOW) ανάλογα με το αν η εξωτερική συσκευή που έχετε συνδέσει σε αυτό το pin διοχετεύει ή όχι ρεύμα στο pin (με αυτόν τον τρόπο λόγω χάρη μπορείτε να «διαβάζετε» την κατάσταση ενός διακόπτη).

Μερικά από αυτά τα 14 pin, εκτός από ψηφιακές εισοδοι/έξοδοι έχουν και δεύτερη λειτουργία. Συγκεκριμένα:

Τα pin 0 και 1 λειτουργούν ως RX και TX της σειριακής όταν το πρόγραμμά σας ενεργοποιεί την σειριακή θύρα. Έτσι, όταν λόγω χάρη το πρόγραμμά σας στέλνει

δεδομένα στην σειριακή, αυτά προωθούνται και στην θύρα USB μέσω του ελεγκτή Serial-Over-USB αλλά και στο pin 0 για να τα διαβάσει ενδεχομένως μια άλλη συσκευή (π.χ. ένα δεύτερο Arduino στο δικό του pin 1). Αυτό φυσικά σημαίνει ότι αν στο πρόγραμμά σας ενεργοποιήσετε το σειριακό interface, χάνετε 2 ψηφιακές εισόδους/εξόδους.

Τα pin 2 και 3 λειτουργούν και ως εξωτερικά interrupt (interrupt 0 και 1 αντίστοιχα). Με άλλα λόγια, μπορείτε να τα ρυθμίσετε μέσα από το πρόγραμμά σας ώστε να λειτουργούν αποκλειστικά ως ψηφιακές εισοδοί στις οποίες όταν συμβαίνουν συγκεκριμένες αλλαγές, η κανονική ροή του προγράμματος σταματάει *άμεσα* και εκτελείται μια συγκεκριμένη συνάρτηση. Τα εξωτερικά interrupt είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε εφαρμογές που απαιτούν συγχρονισμό μεγάλης ακρίβειας.

Τα pin 3, 5, 6, 9, 10 και 11 μπορούν να λειτουργήσουν και ως ψευδοαναλογικές έξοδοι με το σύστημα PWM (Pulse Width Modulation), δηλαδή το ίδιο σύστημα που διαθέτουν οι μητρικές των υπολογιστών για να ελέγχουν τις ταχύτητες των ανεμιστήρων. Έτσι, μπορείτε να συνδέσετε λόγω χάρη ένα LED σε κάποιο από αυτά τα pin και να ελέγξετε πλήρως την φωτεινότητά του με ανάλυση 8bit (256 καταστάσεις από 0-σβηστό ως 255-πλήρως αναμμένο) αντί να έχετε απλά την δυνατότητα αναμμένο-σβηστό που παρέχουν οι υπόλοιπες ψηφιακές έξοδοι. Είναι σημαντικό να καταλάβετε ότι το PWM δεν είναι πραγματικά αναλογικό σύστημα και ότι θέτοντας στην έξοδο την τιμή 127, δεν σημαίνει ότι η έξοδος θα δίνει 2.5V αντί της κανονικής τιμής των 5V, αλλά ότι θα δίνει ένα παλμό που θα εναλλάσσεται με μεγάλη συχνότητα και για ίσους χρόνους μεταξύ των τιμών 0 και 5V.

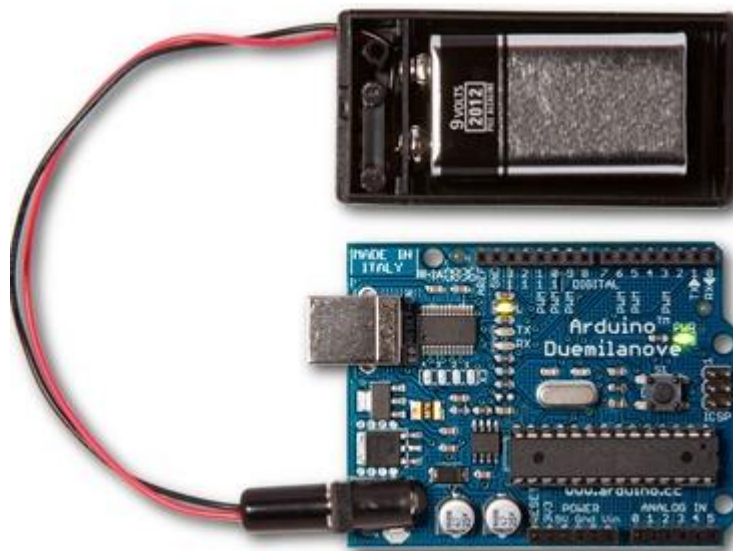
Στην κάτω πλευρά του Arduino, με τη σήμανση ANALOG IN, θα βρείτε μια ακόμη σειρά από 6 pin, αριθμημένα από το 0 ως το 5. Το καθένα από αυτά λειτουργεί ως αναλογική είσοδος κάνοντας χρήση του ADC (Analog to Digital Converter) που είναι ενσωματωμένο στον μικροελεγκτή. Για παράδειγμα, μπορείτε να τροφοδοτήσετε ένα από αυτά με μια τάση την οποία μπορείτε να κυμαίνεται με ένα ποτενσιόμετρο από 0V ως μια τάση αναφοράς Vref η οποία, αν δεν κάνετε κάποια αλλαγή είναι προρυθμισμένη στα 5V. Τότε, μέσα από το πρόγραμμά σας μπορείτε να «διαβάσετε» την τιμή του pin ως ένα ακέραιο αριθμό ανάλυσης 10-bit, από 0 (όταν η τάση στο pin είναι

0V) μέχρι 1023 (όταν η τάση στο pin είναι 5V). Η τάση αναφοράς μπορεί να ρυθμιστεί με μια εντολή στο 1.1V, ή σε όποια τάση επιθυμείτε (μεταξύ 2 και 5V) τροφοδοτώντας εξωτερικά με αυτή την τάση το pin με την σήμανση AREF που βρίσκεται στην απέναντι πλευρά της πλακέτας. Έτσι, αν τροφοδοτήσετε το pin AREF με 3.3V και στην συνέχεια δοκιμάσετε να διαβάσετε κάποιο pin αναλογικής εισόδου στο οποίο εφαρμόζετε τάση 1.65V, το Arduino θα σας επιστρέψει την τιμή 512.

Τέλος, καθένα από τα 6 αυτά pin, με κατάλληλη εντολή μέσα από το πρόγραμμα μπορεί να μετατραπεί σε ψηφιακό pin εισόδου/εξόδου όπως τα 14 που βρίσκονται στην απέναντι πλευρά και τα οποία περιεγράφηκαν πριν. Σε αυτή την περίπτωση τα pin μετονομάζονται από 0~5 σε 14~19 αντίστοιχα.

5.1.3 Τροφοδοσία

Το Arduino μπορεί να τροφοδοτηθεί με ρεύμα είτε από τον υπολογιστή μέσω της σύνδεσης USB, είτε από εξωτερική τροφοδοσία που παρέχεται μέσω μιας υποδοχής φισ των 2.1mm (θετικός πόλος στο κέντρο) και βρίσκεται στην κάτω-αριστερή γωνία του Arduino.



Εικόνα 5. 4

Για να μην υπάρχουν προβλήματα, η εξωτερική τροφοδοσία πρέπει να είναι από 7 ως 12V και μπορεί να προέρχεται από ένα κοινό μετασχηματιστή του εμπορίου, από μπαταρίες ή οποιαδήποτε άλλη πηγή DC.

Δίπλα από τα pin αναλογικής εισόδου, υπάρχει μια ακόμα συστοιχία από 6 pin με την σήμανση POWER. Η λειτουργία του καθενός έχει ως εξής:

Το πρώτο, με την ένδειξη RESET, όταν γειωθεί (σε οποιοδήποτε από τα 3 pin με την ένδειξη GND που υπάρχουν στο Arduino) έχει ως αποτέλεσμα την επανεκκίνηση του Arduino.

Το δεύτερο, με την ένδειξη 3.3V, μπορεί να τροφοδοτήσει τα εξαρτήματά σας με τάση 3.3V. Η τάση αυτή δεν προέρχεται από την εξωτερική τροφοδοσία αλλά παράγεται από τον ελεγκτή Serial-over-USB και έτσι η μέγιστη ένταση που μπορεί να παρέχει είναι μόλις 50mA.

Το τρίτο, με την ένδειξη 5V, μπορεί να τροφοδοτήσει τα εξαρτήματά σας με τάση 5V. Ανάλογα με τον τρόπο τροφοδοσίας του ίδιου του Arduino, η τάση αυτή προέρχεται είτε άμεσα από την θύρα USB (που ούτως ή άλλως λειτουργεί στα 5V), είτε από την εξωτερική τροφοδοσία αφού αυτή περάσει από ένα ρυθμιστή τάσης για να την «φέρει» στα 5V.

Το τέταρτο και το πέμπτο pin, με την ένδειξη GND, είναι φυσικά γειώσεις.

Το έκτο και τελευταίο pin, με την ένδειξη Vin έχει διπλό ρόλο. Σε συνδυασμό με το pin γείωσης δίπλα του, μπορεί να λειτουργήσει ως μέθοδος εξωτερικής τροφοδοσίας του Arduino, στην περίπτωση που δεν σας βολεύει να χρησιμοποιήσετε την υποδοχή του φισ των 2.1mm. Αν όμως έχετε ήδη συνδεδεμένη εξωτερική τροφοδοσία μέσω του φισ, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε αυτό το pin για να τροφοδοτήσετε εξαρτήματα με την πλήρη τάση της εξωτερικής τροφοδοσίας (7~12V), πριν αυτή περάσει από τον ρυθμιστή τάσης όπως γίνεται με το pin των 5V.

5.1.4 Ενσωματωμένα κουμπιά και LED

Πάνω στην πλακέτα του Arduino υπάρχει ένας διακόπτης micro-switch και 4 μικροσκοπικά LED επιφανειακής στήριξης.

Η λειτουργία του διακόπτη (που έχει την σήμανση RESET) και του ενός LED με την σήμανση POWER είναι μάλλον προφανής.

Τα δύο LED με τις σημάνσεις TX και RX, χρησιμοποιούνται ως ένδειξη λειτουργίας του σειριακού interface, καθώς ανάβουν όταν το Arduino στέλνει ή λαμβάνει (αντίστοιχα) δεδομένα μέσω USB. Σημειώστε ότι τα LED αυτά ελέγχονται από τον ελεγκτή Serial-over-USB και συνεπώς δεν λειτουργούν όταν η σειριακή επικοινωνία γίνεται αποκλειστικά μέσω των ψηφιακών pin 0 και 1.

Τέλος, υπάρχει το LED με την σήμανση L. Η βασική δοκιμή λειτουργίας του Arduino είναι να του αναθέσετε να αναβοσβήνει ένα LED (θα το δείτε αυτό στην συνέχεια όταν θα φτιάξετε την πρώτη εφαρμογή σας). Για να μπορείτε να το κάνετε αυτό από την πρώτη στιγμή, χωρίς να συνδέσετε τίποτα πάνω στο Arduino, οι κατασκευαστές του σκέφτηκαν να ενσωματώσουν ένα LED στην πλακέτα, το οποίο σύνδεσαν στο ψηφιακό pin 13. Έτσι, ακόμα και αν δεν έχετε συνδέσει τίποτα πάνω στο φυσικό pin 13, αναθέτοντάς του την τιμή HIGH μέσα από το πρόγραμμά σας, θα ανάψει αυτό το ενσωματωμένο LED.

5.1.5 Arduino IDE και σύνδεση με τον υπολογιστή

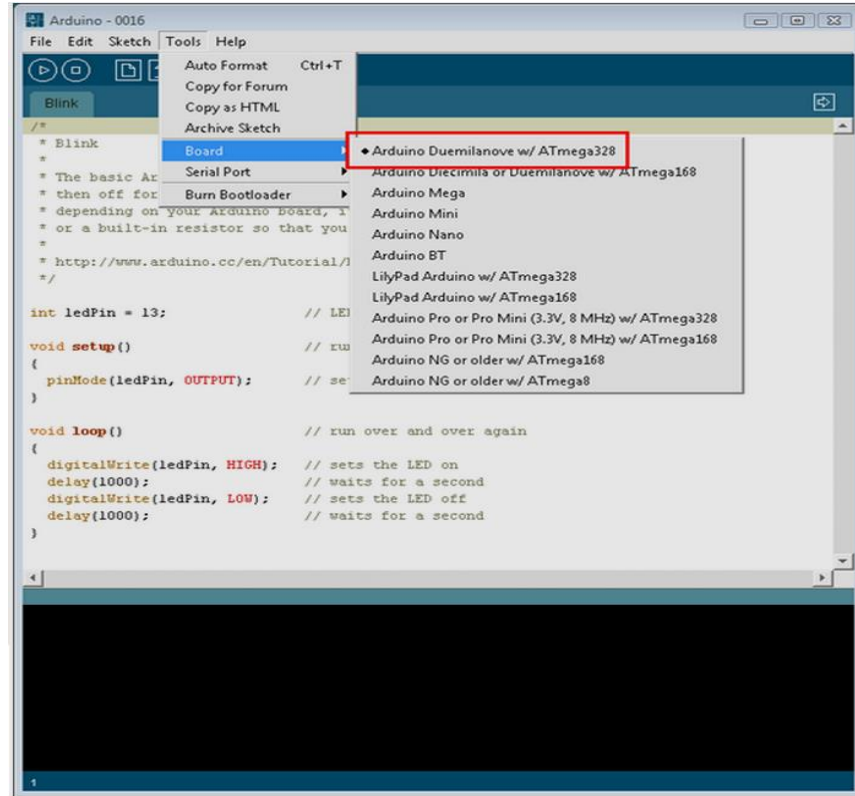
Ότι χρειάζεστε για την διαχείριση του Arduino από τον υπολογιστή σας το παρέχει το Arduino IDE, την τελευταία έκδοση του οποίου μπορείτε να κατεβάσετε από το επίσημο site για καθένα από τα τρία δημοφιλέστερα λειτουργικά συστήματα.

Το Arduino IDE είναι βασισμένο σε Java και συγκεκριμένα παρέχει:

- ένα πρακτικό περιβάλλον για την συγγραφή των προγραμμάτων σας (τα οποία ονομάζονται sketch στην ορολογία του Arduino) με συντακτική χρωματική σήμανση,
- μερικές έτοιμες βιβλιοθήκες για προέκταση της γλώσσας και για να χειρίζεστε εύκολα μέσα από τον κώδικά σας τα εξαρτήματα που συνδέετε στο Arduino,
- τον compiler για την μεταγλώττιση των sketch σας,
- ένα serial monitor που παρακολουθεί τις επικοινωνίες της σειριακής (USB), αναλαμβάνει να στείλει αλφαριθμητικά της επιλογής σας στο Arduino μέσω

αυτής και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για το debugging των sketch σας

- και την επιλογή να ανεβάσετε το μεταγλωττισμένο sketch στο Arduino.



Εικόνα 5. 5

5.1.6 Γλώσσα προγραμματισμού

Η γλώσσα του Arduino βασίζεται στη γλώσσα Wiring, μια παραλλαγή C/C++ για μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής AVR όπως ο ATmega, και υποστηρίζει όλες τις βασικές δομές της C καθώς και μερικά χαρακτηριστικά της C++. Για compiler χρησιμοποιείται ο AVR gcc και ως βασική βιβλιοθήκη C χρησιμοποιείται η AVR libc.

Λόγω της καταγωγής της από την C, στην γλώσσα του Arduino μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ουσιαστικά τις ίδιες βασικές εντολές και συναρτήσεις, με την ίδια σύνταξη, τους ίδιους τύπων δεδομένων και τους ίδιους τελεστές όπως και στην C. Πέρα από αυτές όμως, υπάρχουν κάποιες ειδικές εντολές, συναρτήσεις και σταθερές που

βοηθούν για την διαχείριση του ειδικού hardware του Arduino. Οι πιο σημαντικές από αυτές εξηγούνται στον πίνακα που ακολουθεί:

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

Επιπλέον, στην γλώσσα του Arduino κάθε πρόγραμμα αποτελείται από δύο βασικές ρουτίνες ώστε να έχει την γενική δομή:

```
// Ενσωματώσεις βιβλιοθηκών, δηλώσεις μεταβλητών...
```

```
void setup()  
{  
  // ...  
}
```

```
void loop()  
{  
  // ...  
}
```

```
// Υπόλοιπες συναρτήσεις...
```

Η βασική ρουτίνα *setup()* εκτελείται μια φορά μόνο κατά την εκκίνηση του προγράμματος ενώ η βασική ρουτίνα *loop()* περιέχει τον βασικό κορμό του προγράμματος και η εκτέλεσή της επαναλαμβάνεται συνέχεια σαν ένας βρόγχος *while(true)*.

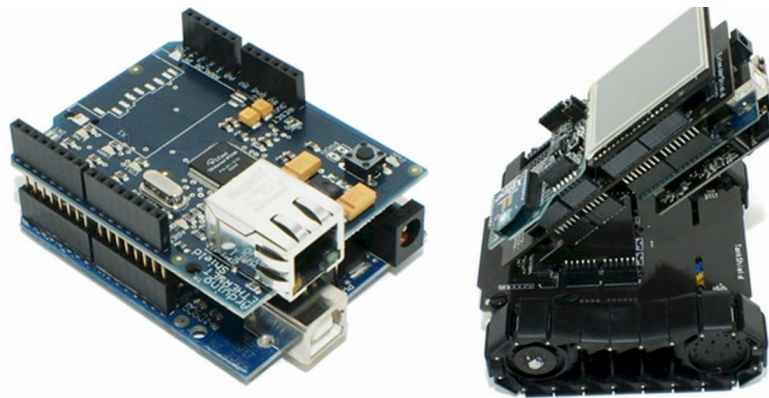
5.1.7 Shields

Τα shield είναι ολοκληρωμένες πλακέτες οι οποίες είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να κουμπώνουν πάνω στο Arduino προεκτείνοντας την λειτουργικότητά του. Είναι η hardware αντίστοιχη έννοια των plugin, addon και extension που υπάρχουν στο hardware.

Μερικά από τα πιο δημοφιλή shield που κυκλοφορούν στο εμπόριο για το Arduino είναι:

- *Ethernet shield*: Δίνει στο Arduino την δυνατότητα να δικτυωθεί σε ένα LAN ή στο internet μέσω ενός τυπικού καλωδίου Ethernet.
- *WiFi shield*: Όμοιο με το Ethernet shield, χωρίς φυσικά το καλώδιο.
- *Διάφορα shield οθόνης*: Προσθέτουν οθόνη στο Arduino. Κυκλοφορούν από απλές οθόνες τύπου calculator μέχρι OLED touchscreen υψηλής ανάλυσης τύπου iPhone.

- *Wave shield*: Δίνει στο Arduino την δυνατότητα να παίζει ήχους/μουσική από κάρτες SD.
- *GPS shield*: Προσθέτει GPS δυνατότητες στο Arduino (εντοπισμό στίγματος).
- *Διάφορα Motor Shields*: Σας επιτρέπουν να οδηγήσετε εύκολα μοτέρ διάφορων τύπων (απλά DC, servo, stepper κ.λπ.) από το Arduino.
- *ProtoShield*: Προσχεδιασμένη πλακέτα πρωτοτυποποίησης, συμβατή στις διαστάσεις του Arduino και χωρίς εξαρτήματα για να φτιάξετε το δικό σας shield.



Εικόνα 5. 6 Arduino shield

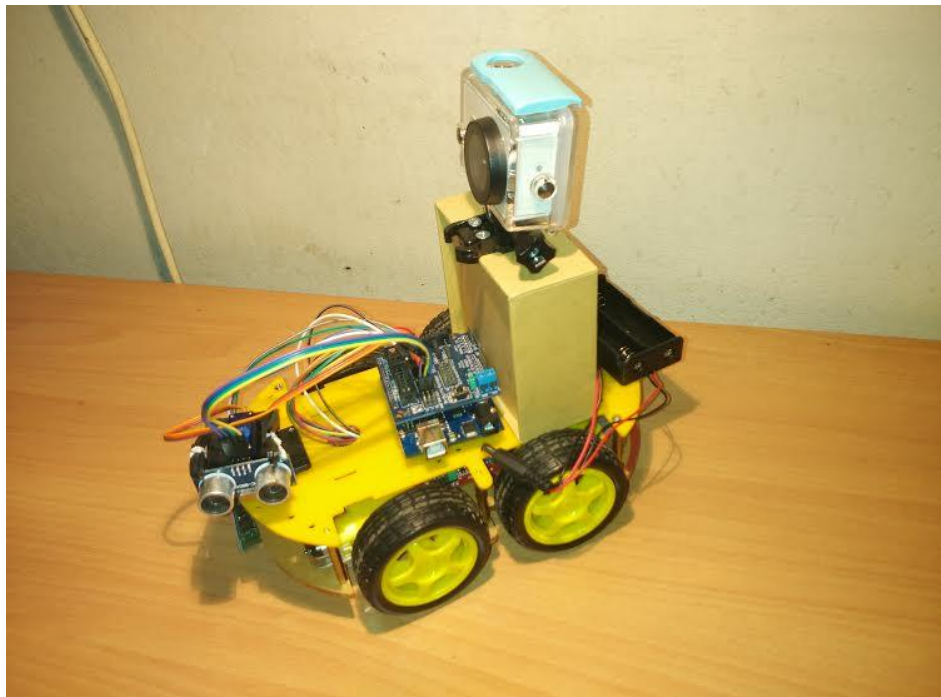
Τα shield είναι σχεδιασμένα ώστε αφού κουμπωθούν πάνω στο Arduino να προωθούν τις υποδοχές του, ώστε να μπορείτε να συνδέσετε επιπλέον τα δικά σας εξαρτήματα ή να κουμπώσετε και επόμενο shield. Φυσικά, το κάθε shield χρησιμοποιεί ορισμένους από τους πόρους συνδεσιμότητας του Arduino και έτσι δεν μπορείτε να συνδέσετε απεριόριστα shield. Μάλιστα κάποια shield μπορεί να μην είναι συμβατά μεταξύ τους γιατί χρησιμοποιούν τα ίδια pin του Arduino για επικοινωνία με αυτό. Επίσης, επειδή κάποια shield δεν προωθούν τις συνδέσεις του Arduino (όπως π.χ. οι οθόνες οι οποίες δεν έχουν νόημα αν τις καλύψετε από πάνω με ένα επόμενο shield), υπάρχουν ειδικά extender shield που κουμπώνουν στο Arduino και δίνουν την δυνατότητα σε δύο άλλα shield να κουμπώσουν πάνω τους, λειτουργώντας σαν πολύπριζα.

Όπως και για το ίδιο το Arduino, το βασικό πλεονέκτημα των shield δεν είναι τόσο το προφανές πλεονέκτημα του έτοιμου hardware όσο ότι συνοδεύονται συνήθως από

έτοιμες βιβλιοθήκες που σας επιτρέπουν να προγραμματίζετε τα sketch σας σε high level. Έτσι, λόγω χάρη, δεν χρειάζεται να διαβάσετε datasheet ή να γίνετε ηλεκτρονικός για να συνδέσετε και να λειτουργήσετε ένα GPS module πάνω στο Arduino. Απλά συνδέετε το shield, εγκαθιστάτε τη βιβλιοθήκη που το συνοδεύει και χρησιμοποιείτε μια έτοιμη συνάρτηση -του στυλ getLocation- για να πάρετε το γεωγραφικό στίγμα και να το επεξεργαστείτε περαιτέρω στο sketch σας.

Τα shield σας λύνουν τα χέρια όταν θέλετε να δημιουργήσετε εύκολα ένα πραγματικά πρακτικό project. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν συνιστάται η αγορά κάποιας έκδοσης του Arduino που δεν είναι 100% συμβατή με τα shield.

5.2 Υλοποίηση οχήματος βήμα – βήμα



Εικόνα 5. 7

Το συγκεκριμένο όχημα είναι ένα σύστημα ανάπτυξης εφαρμογών ενός τσιπ με μικροελεγκτή Arduino με πυρήνα ATmega-328. Έχει δυνατότητα αποφυγής εμποδίων και τηλεχειρισμό με επικοινωνία βασισμένη σε Bluetooth και υπέρυθρες. Υπάρχει η

δυνατότητα επέκτασης του εξωτερικού κυκλώματος, αυξάνοντας έτσι τη λειτουργικότητα του οχήματος.

5.2.1 Παράμετροι υλοποίησης

1. Παράμετροι κινητήρα : Εύρος τάσης από 6-9 V με λόγο μείωσης από 1 έως 48
2. Δύο μονάδες ελέγχου κινητήρα με αυτόνομους απομονωμένους μικροεπεξεργαστές L298N (microcontroller real isolation)
3. Μονάδα υπερύθρων για εξ αποστάσεως επικοινωνία, με σύστημα τηλεχειρισμού.
4. Μονάδα υπερήχων για το σύστημα αποφυγής εμποδίων του οχήματος.
5. Ασύρματη μονάδα Bluetooth η οποία μπορεί να συνδεθεί με το τηλεχειριστήριο ή ένα smart phone για τηλεχειρισμό.

Μπορούμε αλλάζοντας την εξωτερική τάση από 7 - 12V και εξοπλίζοντάς το με τους κατάλληλους αισθητήρες να επιτύχουμε πλήθος επιπλέον λειτουργιών.

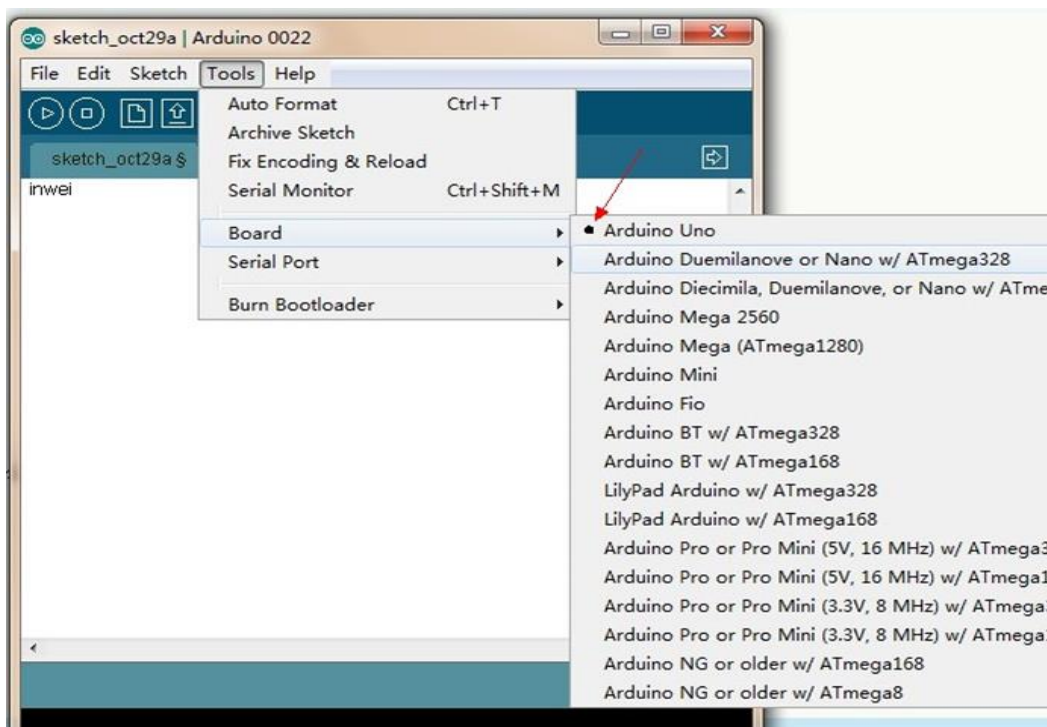
5.2.2 Λίστα στοιχείων υλοποίησης

i. 4 gear motor	viii. 1 Ultrasonic Module
ii. 4 motor fixing member	ix. 1 Three groups hunt module
iii. 2 100*213*5MM Plexiglas plate	x. IR receiver sensor
iv. 1 L298 motor driver board	xi. MCU remote control
v. 1 Arduino Uno328 control panel	xii. 18650 battery box a Section
vi. 1 Arduino sensor expansion V5	xiii. 2 18650 battery
vii. 1 Servo	xiv. 1 Bluetooth module

5.3 Υλοποίηση με Arduino microcontroler

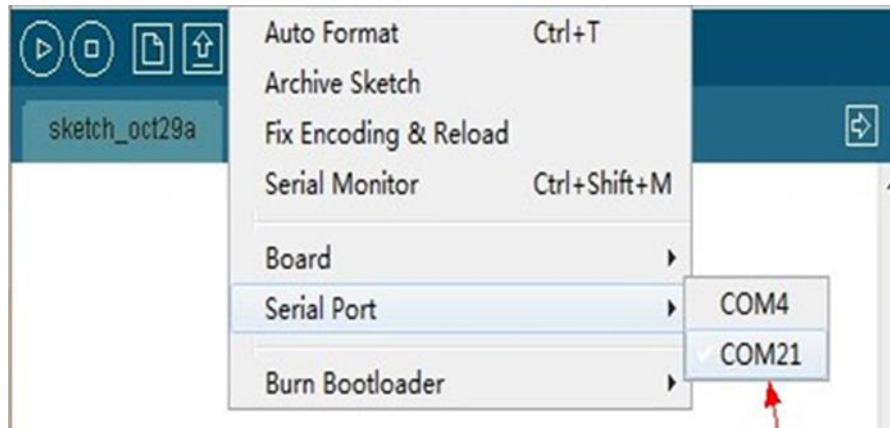
Όπως αναφέραμε και στην αρχή της ενότητας το Arduino είναι ένα open-source πρόγραμμα πλατφόρμας υλικού που περιλαμβάνει απλές λειτουργίες I / O κυκλωμάτων και ένα σύνολο εφαρμογών περιβάλλοντος ανάπτυξης λογισμικού. Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη διαδραστικών προϊόντων, καθώς επίσης μπορεί να διαβαστεί από ένα μεγάλο αριθμό διακοπών, να διαβάσει σήματα αισθητήρων, και να ελέγξει διάφορα είδη φυσικών συσκευών. Το Arduino μπορεί επίσης να αναπτύξει συνδέσεις περιφερειακών συσκευών με τον υπολογιστή και το πρόγραμμα του για ανάπτυξη λογισμικού στο περιβάλλον του μπορείτε να το κατεβάσετε δωρεάν από το Internet. <http://arduino.cc/en/Main/Software>

Στο interface του Arduino-0023, επιλέγουμε το [Tools], από το drop-down μενού [Board] επιλέγουμε από το pop-up menu το [Arduino UNO].



Εικόνα 5. 8

Την επιλογή της σωστής σύνδεσης COM, απλά δηλώνουμε στις απαιτήσεις υλικού της εγγραφής ότι (COMX) έχει την τιμή X. Συνήθως η θύρα του Arduino UNO μόλις εγκατασταθεί είναι 21.



Εικόνα 5. 9

5.3.1 Έλεγχος κινητήρων

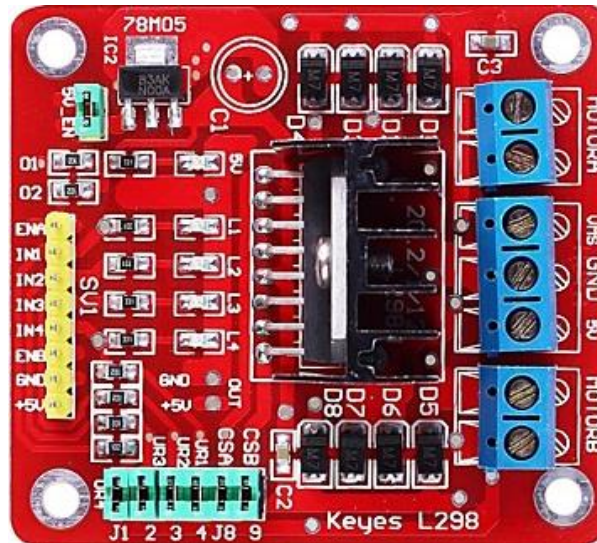
Η μονάδα ελέγχου των κινητήρων βασίζεται στον οδηγό *L298N*. Παρόλο που υπάρχουν πολλά boards που βασίζονται σε αυτόν τον οδηγό, πληροφορίες για την υλοποίηση του είναι αρκετά δύσκολο να βρεθούν. Έτσι, χρειάστηκε να συλλέξω πληροφορίες κομμάτι ώστε να καταλάβω πώς χρησιμοποιείται αυτή η μονάδα.

L298N Controller Module είναι ένα υψηλής τάσης και υψηλής έντασης τσιπ κινητήρα, με υψηλότερη τάση λειτουργίας στα 46V και ένταση στα 2A με στιγμιαίο ρεύμα αιχμής έως 3A. Το τσιπ περιέχει δύο "H bridges" οι οποίες είναι υψηλής τάσης και έντασης ρεύματος οδηγοί πλήρους γέφυρας που μπορεί να κινήσουν άμεσα δύο κινητήρες συνεχούς ρεύματος (ή 1 δύο φάσεων διπολικό βηματικό κινητήρα⁹).

Οι προδιαγραφές του controller:

- Χρησιμοποιεί ST' *L298N* τσιπ που μπορεί να κινήσει άμεσα δύο 3-30V DC κινητήρες, και να παρέχει διασύνδεση εξόδου (output interface) 5V, και υποστήριξη ελέγχου 3.3V MCU¹⁰.
- Μπορεί να ελέγξει εύκολα την ταχύτητα και την κατεύθυνση κινητήρα συνεχούς ρεύματος καθώς επίσης και να ελέγξει διφασικό κινητήρα stepper.
- Driver: *L298N* διπλή "H" γέφυρα DC Motor Driver IC
- Καθοδηγούμενο μέρος ακροδεκτών με τάση τροφοδοσίας: 5 ~ 35V

- Καθοδηγούμενο μέρος έντασης ρεύματος με κορυφή I_o : 2A ανά γέφυρα.
- Το λογικό μέρος ακροδεκτών με τάση τροφοδοσίας 4,5~7V
- Το λογικό μέρος ακροδεκτών με πεδίο τιμών ρεύματος: 0 ~ 36mA
- Εύρος τάσης εισόδου σήματος ελέγχου: 4.5~5.5V (high) / 0V (low)
- Μέγιστη κατανάλωση ισχύος: 20W

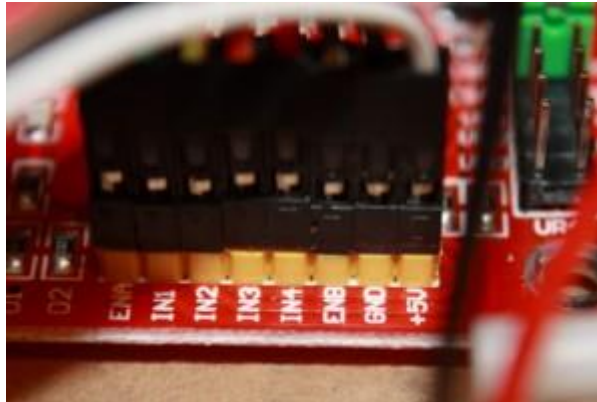


Εικόνα 5. 10

Οι λογικές εισοδοι προς τον ελεγκτή είναι:

- ENA (enable A) και ENB (enable B) θέτουν σε λειτουργία τους κινητήρες A και B, αντίστοιχα.
- IN1 και IN2 ελέγχουν τον κινητήρα A
- IN3 και IN4 ελέγχουν τον κινητήρα B

Το L298N χρειάζεται δύο τάσεις εισόδου: την λογική τάση και την τάση του κινητήρα. Για τη μετατροπή της τάσης κινητήρα σε λογική τάση, η πλακέτα PWM του κινητήρα παρέχει ένα κύκλωμα ρυθμιστή τάσης, το οποίο ενεργοποιείται με τη χρήση του 5V_EN jumper, ώστε να χρησιμοποιείται ελάχιστη τάση από την πλακέτα Arduino.



Εικόνα 5. 11

Τα μπλοκ ακροδεκτών είναι:

- MOTORA και MOTORB παροχή τάσης +/- για κινητήρες
- VMS τάση τροφοδοσίας του κινητήρα
- 5V λογική τάση τροφοδοσίας
- GND είναι η γείωση

Η πλακέτα διαθέτει τέσσερις λυχνίες LED για να υποδηλώσει την κατεύθυνση της περιστροφής του κινητήρα, και το επίπεδο φωτεινότητας τους είναι ανάλογο με την ταχύτητα του κινητήρα. Ένα πέμπτο LED υποδεικνύει την κατάσταση τροφοδοσίας.

Για την κίνηση του ρομπότ χρησιμοποιούμε την παρακάτω συνδεσμολογία:

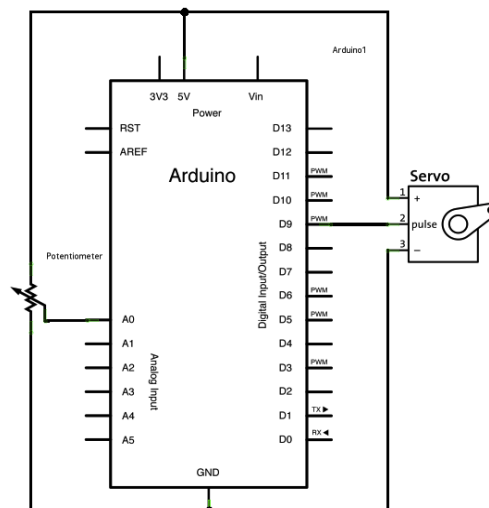
Sensor Shield	L298N Controller
VCC	+5V
GND	GND
D3	ENA
D7	IN4
D5	IN3
D4	IN2
D2	IN1
D6	ENB

5.3.2 Αισθητήρας εμβέλειας



Εικόνα 5. 12

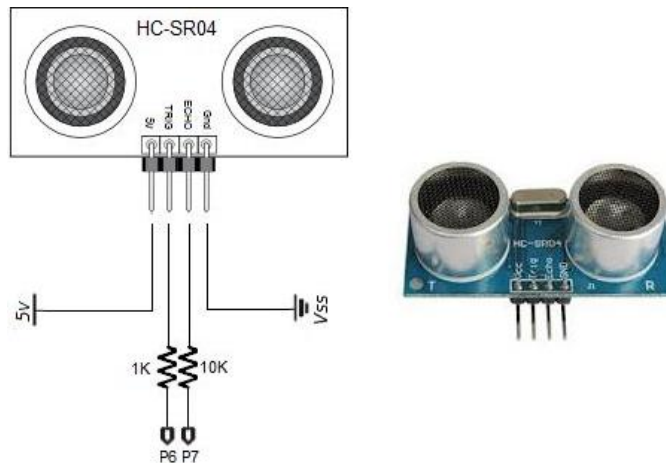
Το ρομπότ περιλαμβάνει έναν αισθητήρα υπερήχων σειράς (HC-SR04), έναν σέρβο κινητήρα 2kg-torque (TowerPro SG90), και μια πλαστική θήκη που τοποθετείται ο κινητήρας στην άνω πλάκα του ρομπότ και παρέχει μια βάση για να συνδεθεί τον αισθητήρα.



Εικόνα 5. 13

Εμβέλεια σάρωσης

Ο σερβοκινητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κινήσει τον αισθητήρα 180 μοίρες, ενώ ο αισθητήρας μετρά την απόσταση σε συγκεκριμένα στάδια γωνίας. Το εύρος σάρωσης εξαρτάται από τις αποστάσεις.



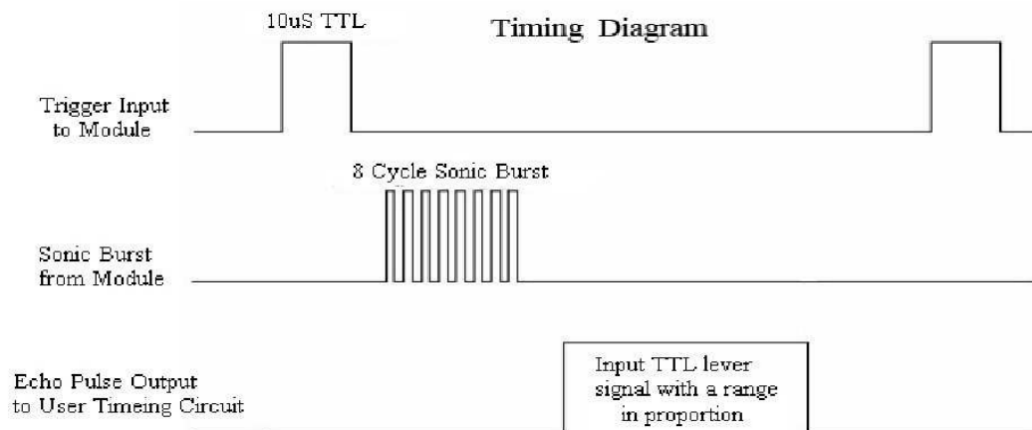
Εικόνα 5. 14

Το παρακάτω απόσπασμα κώδικα δείχνει ότι ο αισθητήρας περιστρέφεται κατά 180 μοίρες δύο φορές σε κάθε κατεύθυνση και υπολογίζεται ο μέσος όρος των τιμών κάθε ανάγνωσης για καλύτερη εκτίμηση της απόστασης. Δύο σημαντικά πράγματα που πρέπει να αναφέρουμε εδώ: Πρώτον, κάποια στιγμή θα πρέπει να επιτρέπεται μετά την εντολή *write ()* πριν από την ανάγνωση του αισθητήρα να εξασφαλιστεί ότι ο κινητήρας έφτασε τη θέση *pos*. Η ταχύτητα του σέρβο είναι 10ms / μοίρα. Δεύτερον, ο χρόνος που χρειάζεται για την *ultrasonic.ranging (CM)* εντολή να επιστρέψει τιμή εξαρτάται την απόσταση των αντικειμένων μπροστά. Ως εκ τούτου, ενδέχεται να παρατηρήσετε ότι ενώ ο αισθητήρας περιστρέφεται, επιβραδύνει όταν υπάρχουν κενά διαστήματα μπροστά.

```
void rangeSweep(int st, int en, int dist[]) {
  int pos = 0;
  for(pos = st; pos < en; pos+=STEP) {
    myservo.write(pos);
    delay(rDelay);
    dist[int(pos/STEP)] = ultrasonic.Ranging(CM);
  }
  for(pos = en; pos > st; pos-=STEP) {
    myservo.write(pos);
    delay(rDelay);
    dist[int(pos/STEP)] += ultrasonic.Ranging(CM);
    dist[int(pos/STEP)] /= 2;
  }
}
```

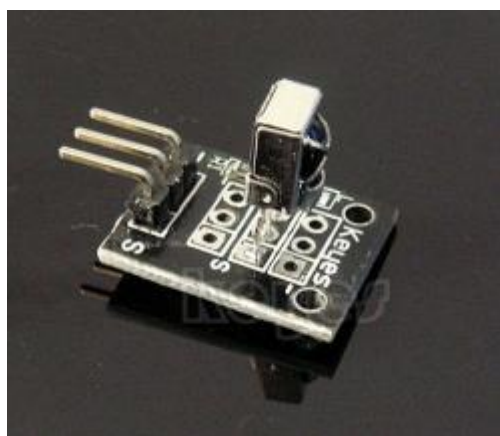
Διάγραμμα χρονισμού

Το μόνο που χρειάζεται είναι να παρέχουμε ένα σύντομο παλμό 10μs στην είσοδο trigger για να ξεκινήσει, και στη συνέχεια, η μονάδα θα στείλει 8-κυκλους παλμούς υπερήχων σε 40 kHz ώστε να αυξήσει το echo του. Μπορεί να υπολογιστεί το εύρος μέσα στο χρονικό διάστημα μεταξύ της αποστολής του σήματος trigger και της λήψης σήματος echo.



Εικόνα 5. 15

5.3.3 Αισθητήρας υπέρυθρων IR

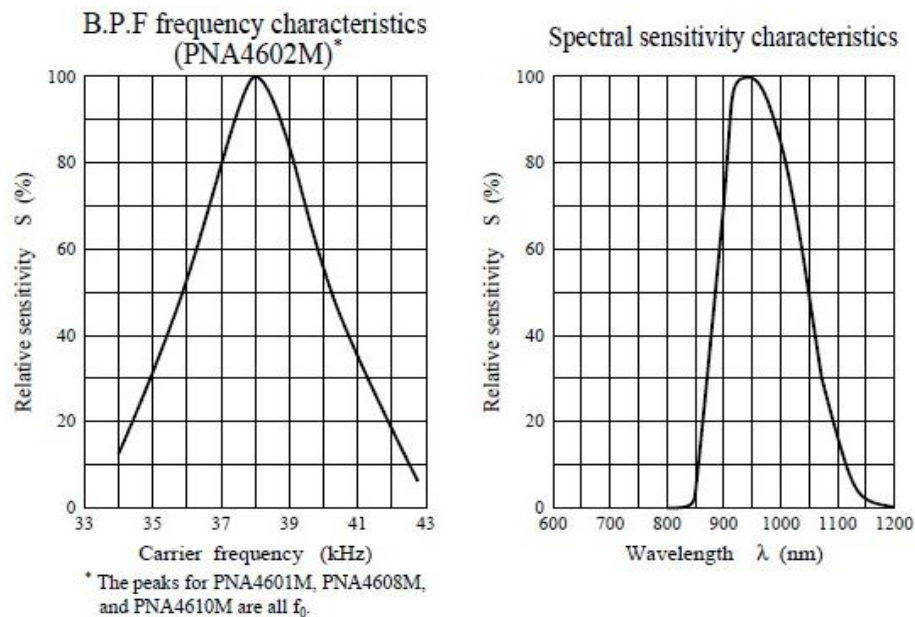


Εικόνα 5. 16

Οι ανιχνευτές IR (Infrared) είναι μικροσίπ με ένα φωτοκύτταρο, συντονισμένοι για να "ακούνε" στο υπέρυθρο φως. Σχεδόν πάντα χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση

τηλεχειριστήριων. Μέσα από στο τηλεχειριστήριο υπάρχει ένα αντίστοιχο LED υπερύθρων, το οποίο εκπέμπει παλμούς IR. Το υπέρυθρο φως δεν είναι ορατό στο ανθρώπινο μάτι, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται λίγο περισσότερη εργασία για δοκιμές κατά την εγκατάσταση των αισθητηρίων.

Τι μετράμε;



Εικόνα 5. 17

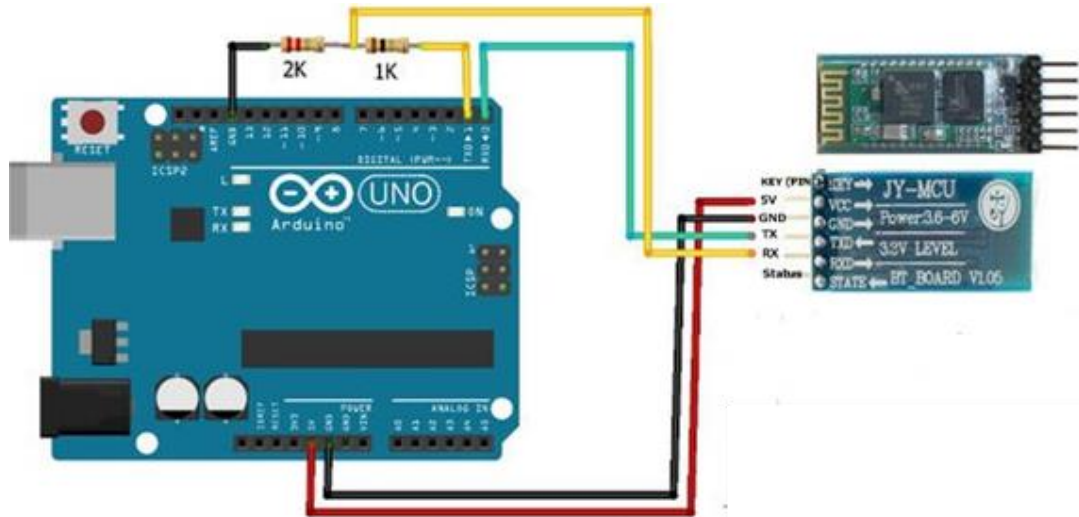
Όπως μπορείτε να δείτε από αυτές τις γραφικές παραστάσεις, η βέλτιστη συχνότητα ανίχνευσης είναι στα 38 KHz και το βέλτιστο μήκος κύματος που αντιστοιχεί στο χρώμα του LED είναι στα 940 nm. Το εύρος συχνοτήτων που λειτουργεί το αισθητήριο είναι από 35KHz -41KHz και το μήκος κύματος του LED κυμαίνεται από 850nm-1100nm.

5.3.4 Bluetooth επικοινωνία

Το Bluetooth είναι μια δημοφιλής μέθοδος επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών. Πολλά smartphones σήμερα που απαιτούν ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μέσω Bluetooth. Ωστόσο, το API του Bluetooth είναι δύσκολο στους χρήστες την πρώτη φορά.

Το αντικειμενικό πρέπει να είναι κοντά στο Arduino ώστε να γίνει η μεταφορά των δεδομένων απευθείας. Ο εξοπλισμός μπορεί να λειτουργήσει πάνω από 10m. Στο συγκεκριμένο Project το έχω χρησιμοποιήσει πάνω από 15 μέτρα με οπτική επαφή.

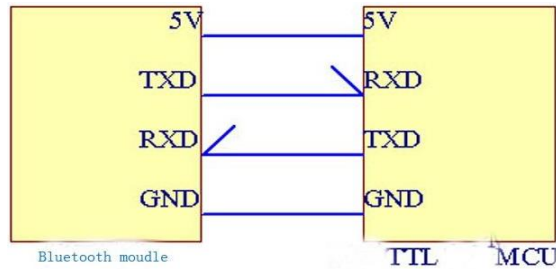
Ένας τοίχος από ελαφρύ υλικό θα μειώσει το εύρος περίπου στα 5m μέγιστο, και ένα στρώμα μόνωσης μπορεί να διακόψει την επικοινωνία εντελώς.



Εικόνα 5. 18 An Android device and a cheap Huawei Y210.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούμε είναι :

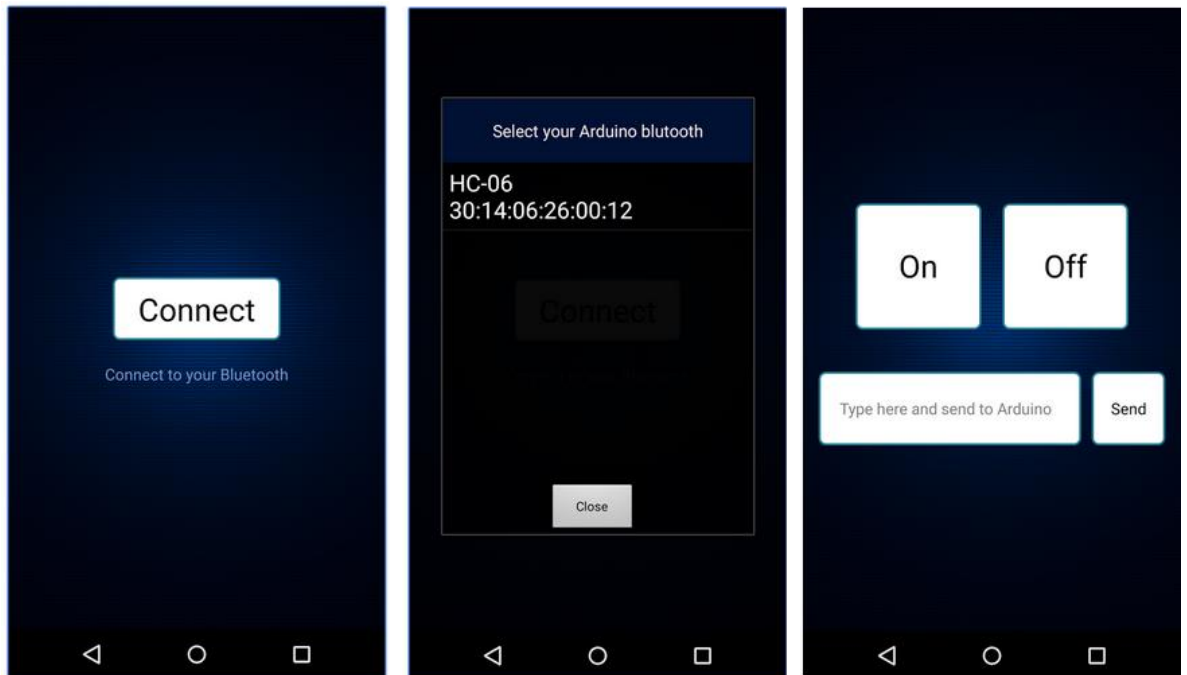
1. Ένα πρότυπο Arduino Uno ή Mega (κάθε Arduino επιτρέπεται αρκεί να είναι 5volt)
2. Μια μονάδα Bluetooth HC-05 ή HC-06 σε ένα backboard JY-MCU.
3. Τρόπος σύνδεσης. Μπορώ να χρησιμοποιήσω ένα καλώδιο τεσσάρων αγωγών (four-conductor) σε μια κεφαλίδα σε ένα proto shield. Ένα lashup breadboard θα ήταν αρκετό, ή θηλυκό-αρσενικό που οδηγεί απευθείας στις κεφαλίδες του Arduino. Επίσης θα μπορούσαμε να κολλήσουμε τη μονάδα απευθείας στο proto shield. Σε αυτή την περίπτωση, καλό θα ήταν να έχουμε ένα jumper στη γραμμή 5V έτσι ώστε το Bluetooth να μπορεί να απομονωθεί όσο ο κώδικας φορτώνεται.



Εικόνα 5. 19

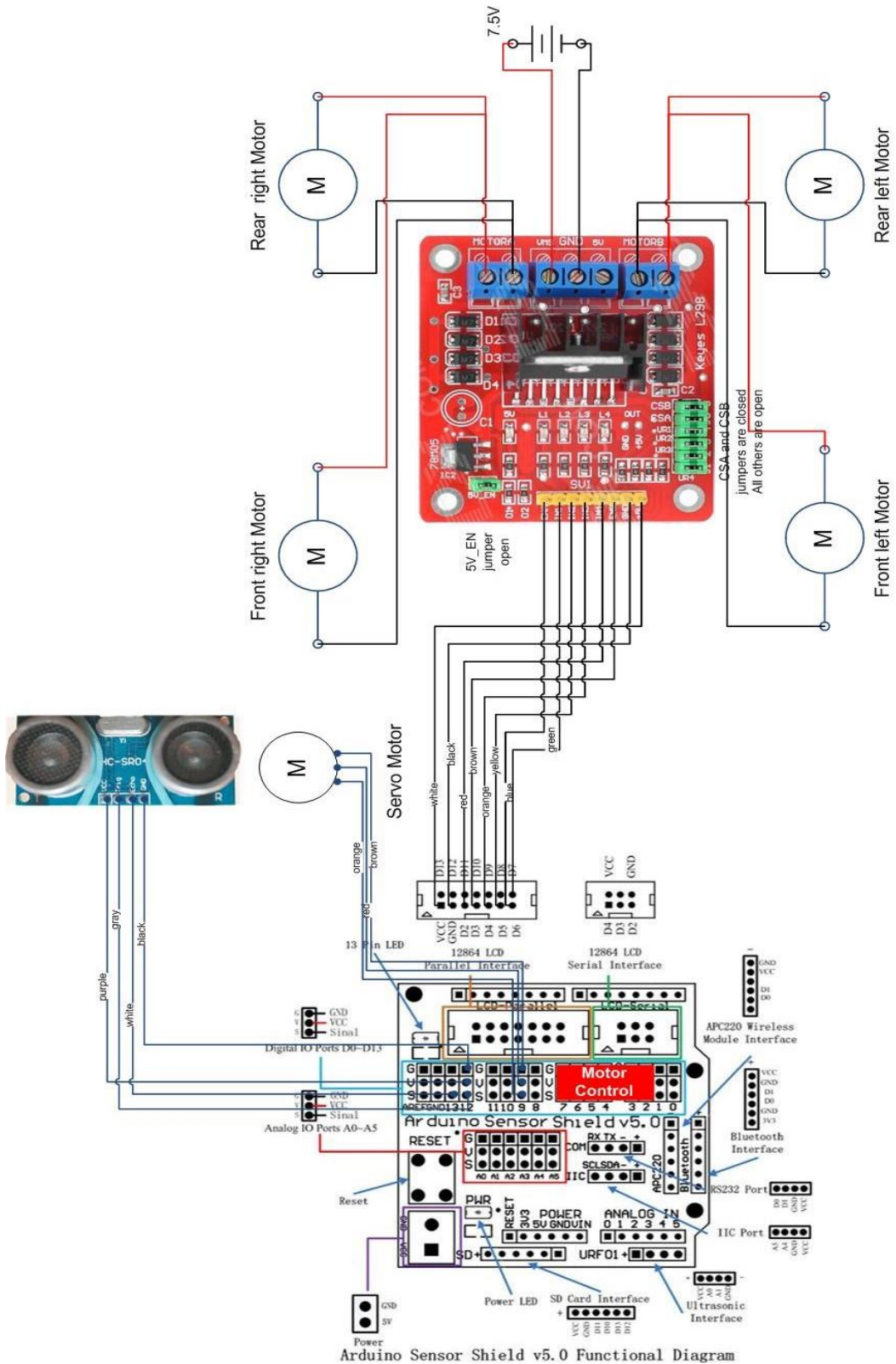
Χρησιμοποιούμε τα pin D0 και D1 του Arduino, τα οποία ορίζονται για το σκοπό αυτό. Το Pin D0, Rx, είναι ο δέκτης και συνδέεται με το Pin Tx του Bluetooth. Αυτό σημαίνει ότι το D1 συνδέεται με Rx του Bluetooth.

Κατεβάζουμε ένα app για την επικοινωνία του smart phone με το kit μας. (πχ *Arduino bluetooth* από *CircuitMagic*)



Εικόνα 5. 20

5.3.5 Ολοκληρωμένο διάγραμμα σύνδεσης του οχήματος



Εικόνα 5. 21

5.3.6 Οι λεπτομερείς αναθέσεις των pin για όλα τα modules

PIN ASSIGNMENT					
Arduino Pin	Description	Motor Controller	Range Sensor	Servo Motor	Bluetooth Module
VCC	VCC	+5V	VCC	Red	VCC
GND	GND	GND	GND	Brown	GND
D0	Digital Pin 0 RX				TXD
D1	Digital Pin 1 TX				RXD
D2	Digital Pin 2	IN4			
D3	Digital Pin 3(PWM)	ENB			
D4	Digital Pin 4	IN3			
D5	Digital Pin 5 (PWM)	IN2			
D6	Digital Pin 6 (PWM)	ENA			
D7	Digital Pin 7	IN1			
D8	Digital Pin 8				
D9	Digital Pin 9 (PWM)			Orange	
D10	Digital Pin 10 (PWM)				
D11	Digital Pin 11 (PWM)				
D12	Digital Pin 12		Trigger		
D13	Digital Pin 13		Echo		
A0	Analog input 0				
A1	Analog input 1				
A2	Analog input 2				
A3	Analog input 3				
A4	Analog input 4				
A5	Analog input 5				

5.3.7 Ο κώδικας υλοποίησης της εφαρμογής για την αποφυγή εμποδίων με σχόλια

```
#include "Ultrasonic.h"
Ultrasonic ultrasonic(12,13); // init ultrasonic sensor pin 12=trigger, pin13=Echo

#include <Servo.h> // include servo functions
Servo myservo;

// define Motor control pins

#define MotIN1 2
#define MotIN2 4
#define MotIN3 5
#define MotIN4 7
#define MotApwm 3 //PWM output to set the motor speed
#define MotBpwm 6 //PWM output to set the motor speed

// define direction
#define GO 0
#define RIGHT 1
#define LEFT 2
#define BACK 3
#define STOP 4
#define sMiddle 95
#define sLeft 0
#define sRight 165

// *** variables
```



```

int CMM; //ultrasonic sensor distance values
int distL; //distance variable for left direction
int distR;
int SpeedA=120; // motor speed variable, 255=max
int SpeedB=110;

// Setup
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(MotIN1, OUTPUT);
  pinMode(MotIN2, OUTPUT);
  pinMode(MotIN3, OUTPUT);
  pinMode(MotIN4, OUTPUT);
  pinMode(MotApwm, OUTPUT);
  pinMode(MotBpwm, OUTPUT);
  analogWrite(MotApwm, 200); //set motor PWM to 200
  analogWrite(MotBpwm, 200);
  myservo.attach(10); // servo control at pin 10
}

// ***** Function to set the motor driver lines *****
void setlines( int line1, int line2, int line3, int line4)
{
  digitalWrite(MotIN1, line1);
  digitalWrite(MotIN2, line2);
  digitalWrite(MotIN3, line3);
  digitalWrite(MotIN4, line4);
}

```

```

//***** Function to set robot direction

void robotdir(int dir)
{
switch(dir)
{

case 0: //GO
    setlines(HIGH, LOW, LOW, HIGH);
    break;
case 1: //Right
    setlines(LOW, HIGH, LOW, HIGH);
    break;
case 2: //Left
    setlines(HIGH, LOW, HIGH, LOW);
    break;
case 3: //Back
    setlines(LOW, HIGH, HIGH, LOW);
    break;
case 4: //Stop
    setlines(LOW, LOW, LOW, LOW);
    break;

}
}

// **** Measuring distance at given position, and wait for servo setting
int MeasDistInPos(int servpos,int waitime)
{
    int result;
    myservo.write(servpos);

```

```

delay(waitime);
result=ultrasonic.Ranging(CM);
return result;
}

//***** TURN *****

void Turn(int turndir)
{
  robotdir(turndir);
  analogWrite(MotApwm, 200); // the turning speed is lower
  analogWrite(MotBpwm, 200);
  delay(500);
  myservo.write(sMiddle);
  robotdir(STOP);
  delay(500);
}

//***** MAIN LOOP *****

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop()
{
  CMM = MeasDistInPos(sMiddle,50);
  if (CMM > 70)
  {
    robotdir(GO);
    analogWrite(MotApwm, 250); // tune 2 motors to run straight ahead
    analogWrite(MotBpwm, 250);
  }
  else

```

```

{
  analogWrite(MotApwm, 150);
  analogWrite(MotBpwm, 150);
  robotdir(BACK); // brake with a short opposite direction
  delay(150);
  robotdir(STOP);
  distR=MeasDistInPos(20,500); //look around left and right
  distL=MeasDistInPos(170,500);

  if (distL > distR) // select the bigger distance direction
  {
    Turn(LEFT);
  }
  else
  {
    Turn(RIGHT);
  }
}
}

```

5.3.8 IP Camera

Για να ολοκληρωθεί το project μας θα τοποθετήσουμε μια κάμερα από την οποία θα παίρνουμε οπτική πληροφορία για το περιβάλλον μέσα στο οποίο κινείται το όχημα μας.

Η επικοινωνία με την κάμερα θα γίνεται μέσω Wi-Fi , ενώ η σύνδεση θα γίνεται είτε από smartphone κατεβάζοντας την εκάστοτε εφαρμογή (στην δική μας περίπτωση είναι η ip xiaomi yi camera) είτε μέσω σύνδεσης με Telnet στο cmd του υπολογιστή.

Εγκατάσταση Xiaomi yi ip camera από cmd βήμα, βήμα

```
/$ ifconfig | grep 192.168
    inet 192.168.42.5 netmask 0xfffff00 broadcast 192.168.42.255
/$ ping 192.168.42.1
PING 192.168.42.1 (192.168.42.1): 56 data bytes
64 bytes from 192.168.42.1: icmp_seq=0 ttl=64 time=6.117 ms
64 bytes from 192.168.42.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=4.463 ms
64 bytes from 192.168.42.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=9.405 ms
^C
--- 192.168.42.1 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 4.463/6.662/9.405/2.054 ms
/$ nc -vvn 192.168.42.1 23
found 0 associations
found 1 connections:
  1: flags=82<CONNECTED,PREFERRED>
    outif en1
    src 192.168.42.5 port 49395
    dst 192.168.42.1 port 23
    rank info not available
    TCP aux info available

Connection to 192.168.42.1 port 23 [tcp/*] succeeded!
?????????
buildroot login: root
root
~ # whoami
whoami
root
~ # u
```

```
~ # netstat -ntlp
netstat -ntlp
netstat: showing only processes with your user ID
Active Internet connections (only servers)
Proto Recv-Q Send-Q Local Address           Foreign Address         State       PID/Program name
tcp        0      0 0.0.0.0:7878            0.0.0.0:*                LISTEN      752/network_message
tcp        0      0 0.0.0.0:554            0.0.0.0:*                LISTEN      751/AmbaOnDemandRTS
tcp        0      0 0.0.0.0:80             0.0.0.0:*                LISTEN      946/ Cherokee-worker
tcp        0      0 0.0.0.0:8787           0.0.0.0:*                LISTEN      752/network_message
tcp        0      0 0.0.0.0:53             0.0.0.0:*                LISTEN      871/dnsmasq
tcp        0      0 0.0.0.0:23             0.0.0.0:*                LISTEN      744/telnetd
netstat: /proc/net/tcp6: No such file or directory
~ # netstat -ntp
netstat -ntp
Active Internet connections (w/o servers)
Proto Recv-Q Send-Q Local Address           Foreign Address         State       PID/Program name
tcp        0    145 192.168.42.1:23         192.168.42.5:49395     ESTABLISHED 744/telnetd
tcp        0      0 127.0.0.1:7878         127.0.0.1:49689       ESTABLISHED 752/network_message
tcp        0      0 127.0.0.1:49689       127.0.0.1:7878       ESTABLISHED 767/cgiBridge
netstat: /proc/net/tcp6: No such file or directory
~ #
```

```

~ # ifconfig
ifconfig
lo          Link encap:Local Loopback
           inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
           UP LOOPBACK RUNNING  MTU:16436  Metric:1
           RX packets:9 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
           TX packets:9 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
           collisions:0 txqueuelen:0
           RX bytes:484 (484.0 B)  TX bytes:484 (484.0 B)

wlan0      Link encap:Ethernet  HWaddr 04:E6:76:36:DB:76
           inet addr:192.168.42.1  Bcast:192.168.42.255  Mask:255.255.255.0
           UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
           RX packets:574 errors:0 dropped:50 overruns:0 frame:0
           TX packets:117 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
           collisions:0 txqueuelen:1000
           RX bytes:46367 (45.2 KiB)  TX bytes:16418 (16.0 KiB)

```

```

/ # mount
mount
rootfs on / type rootfs (rw)
ubi0:linux on / type ubifs (ro,relatime)
devtmpfs on /dev type devtmpfs (rw,relatime,size=18816k,nr_inodes=4704,mode=755)
none on /dev type tmpfs (rw,relatime)
proc on /proc type proc (rw,relatime)
devpts on /dev/pts type devpts (rw,relatime,gid=5,mode=620)
tmpfs on /dev/shm type tmpfs (rw,relatime,mode=777)
tmpfs on /tmp type tmpfs (rw,relatime)
sysfs on /sys type sysfs (rw,relatime)
a on /tmp/fuse_a type fuse.a (rw,nosuid,nodev,relatime,user_id=0,group_id=0)
1 on /tmp/fuse_d type fuse.1 (rw,nosuid,nodev,relatime,user_id=0,group_id=0)
z on /tmp/fuse_z type fuse.z (rw,nosuid,nodev,relatime,user_id=0,group_id=0)
a on /pref type fuse.a (rw,nosuid,nodev,relatime,user_id=0,group_id=0)
none on /sys/kernel/debug type debugfs (rw,relatime)
tmpfs on /var/www/live type tmpfs (rw,relatime)
tmpfs on /var/www/mjpeg type tmpfs (rw,relatime)
1 on /var/www/DCIM type fuse.1 (rw,nosuid,nodev,relatime,user_id=0,group_id=0)

```

```

/ # df -h
df -h

```

Filesystem	Size	Used	Available	Use%	Mounted on
ubi0:linux	30.1M	16.8M	13.3M	56%	/
devtmpfs	18.4M	0	18.4M	0%	/dev
none	18.4M	0	18.4M	0%	/dev
tmpfs	18.4M	0	18.4M	0%	/dev/shm
tmpfs	18.4M	36.0K	18.4M	0%	/tmp
a	17.0M	66.0K	16.9M	0%	/tmp/fuse_a
1	14.8G	87.9M	14.7G	1%	/tmp/fuse_d
z	10.0M	10.0M	0	100%	/tmp/fuse_z
a	17.0M	66.0K	16.9M	0%	/pref
tmpfs	18.4M	36.0K	18.4M	0%	/var/www/live
tmpfs	18.4M	36.0K	18.4M	0%	/var/www/mjpeg
1	14.8G	87.9M	14.7G	1%	/var/www/DCIM

Εικόνα 5. 22

§.6 Εφαρμογές των αυτόνομων ρομπότ και μελλοντική επέκταση.

Το πεδίο της ρομποτικής καλύπτει ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών, στο οποίο η υπολογιστική νοημοσύνη σε συνδυασμό με την μηχανική είναι ενσωματωμένες σε φυσικές μηχανές, δημιουργώντας συστήματα με δυνατότητες που υπερβαίνουν κατά πολύ τα βασικά κατασκευαστικά στοιχεία και μόνο. Τέτοια ρομποτικά συστήματα είναι σε θέση να εκτελούν καθήκοντα που είναι ανέφικτα με συμβατικές μηχανές, ή ακόμη και από ανθρώπους που εργάζονται με συμβατικά εργαλεία. Η ικανότητα μιας μηχανής να κινείται από μόνη της, δηλαδή, «αυτόνομα», δημιουργεί ένα τεράστιο φάσμα εφαρμογών μοναδικά κατάλληλων για ρομποτικά συστήματα.

Τα ρομποτικά οχήματα είναι μηχανές που κινούνται «αυτόνομα» στο έδαφος, στον αέρα, υποθαλάσσια, ή στο διάστημα. Αυτά τα οχήματα είναι "μη επανδρωμένα», με την έννοια ότι δεν υπάρχουν άνθρωποι να επιβαίνουν σε αυτά. Σε γενικές γραμμές, τα οχήματα αυτά κινούνται από μόνα τους, σύμφωνα με τη δική τους δύναμη, με αισθητήρες. Ωστόσο, υπάρχουν «μη επανδρωμένων" ρομποτικά οχήματα που συνήθως είναι υπό την ανθρώπινη εποπτεία, που μπορεί να λάβει διάφορες μορφές, ανάλογα με το περιβάλλον και την εφαρμογή. Είναι συνηθισμένο να χρησιμοποιείται η λεγόμενη "εποπτείας ελέγχου" για υψηλού επιπέδου παρατήρηση και παρακολούθηση της κίνησης του οχήματος, σε άλλες περιπτώσεις η εποπτεία γίνεται μέσω μιας διεπαφής τηλεχειρισμού ROV (Remotely operated vehicle). Στην περίπτωση ROV γίνεται σύνδεση είτε με καλώδιο είτε ασύρματη ώστε να παρέχεται το υψηλότερο εύρος ζώνης επικοινωνίας εισόδου χειριστή. Στην εξέλιξη της ρομποτικής τεχνολογίας οχημάτων είναι σαφές ότι η τάση των νέων τεχνολογιών απαιτεί ένα υψηλότερο επίπεδο αυτονομίας, καθώς και ο τρόπος λειτουργίας των ROV αντικαθίσταται σταδιακά από τον εποπτικό έλεγχο των αυτόνομων λειτουργιών.

Υπάρχουν αρκετά είδη αυτόνομων ρομπότ για διαφορετικές εφαρμογές σε διαφορετικά μέρη και από διαφορετικές εταιρίες κατασκευής, με γνωστότερες την NASA στην διαστημική τεχνολογία και την DARPA στις στρατιωτικές εφαρμογές.

6.1 Γιατί είναι σημαντικά τα ρομποτικά οχήματα;

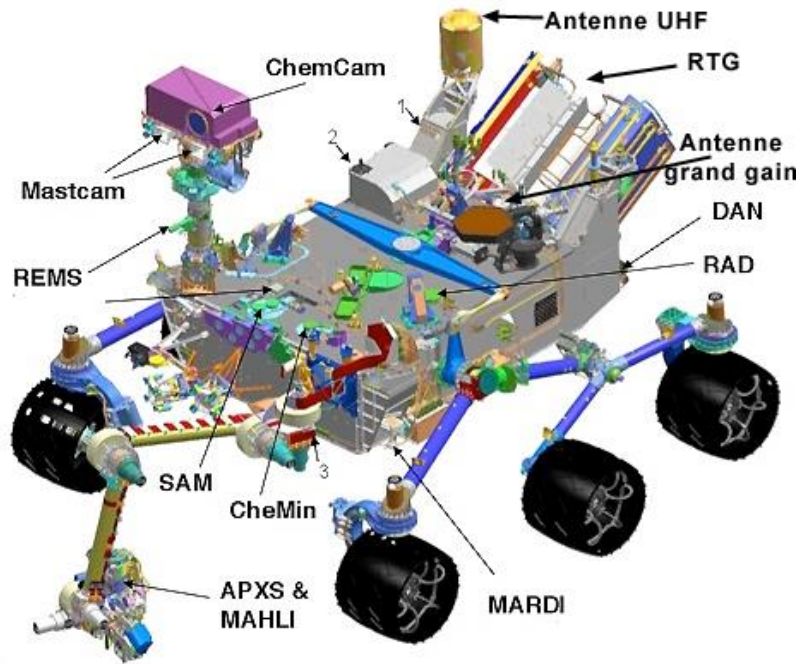
Αλλά γιατί τόση συζήτηση και έρευνα για τα ρομποτικά οχήματα;

Πρώτον, τα ρομποτικά οχήματα μπορούν να ταξιδεύουν εκεί που οι άνθρωποι δεν μπορούν να φτάσουν (ακόμα τουλάχιστον), ή εκεί που οι κίνδυνοι της ανθρώπινης παρουσίας είναι μεγάλοι. Μην ξεχνάμε το επίκαιρο γεγονός της εξερεύνησης της επιφάνειας του Άρη. Για να φθάσει στην επιφάνεια του Άρη, ένα διαστημικό σκάφος πρέπει να ταξιδέψει περισσότερο από ένα χρόνο, και κατά την άφιξη του η επιφάνεια δεν έχει αέρα, ούτε νερό (πόσιμο), ή άλλους πόρους για να υποστηρίξει την ανθρώπινη ζωή. Παρόλο που η ανθρώπινη εξερεύνηση του Άρη μπορεί κάποια μέρα να είναι εφικτή, είναι σαφές ότι η ρομποτική εξερεύνηση είναι ένα θεμελιώδες βήμα που παρέχει τεράστιες επιστημονικές και τεχνολογικές ανταμοιβές εμπλουτίζοντας τις γνώσεις μας για τους άλλους πλανήτες.



Εικόνα 6. 1 Artist's conception of the Curiosity rover vaporizing rock on Mars. The rover landed on Mars in August 2012.

Το Mars Rover (εικόνα 6.1) είναι ένα ρομποτικό όχημα που έχει επιτύχει αυτούς τους στόχους, να γίνει δηλαδή ένα απομακρυσμένο επιστημονικό εργαστήριο για την εξερεύνηση της επιφάνειας του Άρη. Είναι ένα παράδειγμα ενός ρομποτικού οχήματος υπό εποπτικό έλεγχο από τη γη, και ικανό να έχει τοπική αυτόνομη λειτουργία για τα τμήματα κίνησης και για τον ορισμό των επιστημονικών του καθηκόντων.



Εικόνα 6. 2

Ένα άλλο παράδειγμα ενός εχθρικού και επικίνδυνου περιβάλλοντος όπου ρομποτικά οχήματα είναι βασικά εργαλεία δουλειάς και εξερεύνησης, είναι ο υποθαλάσσιος κόσμος. Οι δύτες μπορούν να βουτήξει σε εκατοντάδες μέτρα ή περισσότερο, αλλά η πίεση, το φως, τα ρεύματα και άλλοι παράγοντες περιορίζουν την ανθρώπινη εξερεύνηση του τεράστιου όγκου των ωκεανών της Γης. Οι ωκεανογράφοι έχουν αναπτύξει μια μεγάλη ποικιλία εξελιγμένων τεχνολογιών για την ανίχνευση, τη χαρτογράφηση και την παρακολούθηση των ωκεανών σε πολλές κλίμακες, από μικρούς βιολογικούς οργανισμούς σε μεγάλα ωκεάνια ρεύματα κυκλοφορίας.

Η εικόνα 6.3 δείχνει ένα υπό κατασκευή αυτόνομο υποβρύχιο όχημα (AUV) , το ASTER από το Γαλλικό Ινστιτούτο Έρευνας Θαλάσσιας Επιστήμης και Τεχνολογίας για την εξερεύνηση των θαλασσών (IFREMER). Το ASTER θα χρησιμοποιηθεί για παράκτιες έρευνες έως 3000 μέτρα βάθος και είναι ικανό να μεταφέρει μεγάλη ποικιλία οργάνων για φυσική, χημική και βιολογική ανίχνευση και παρακολούθηση. Στις Ηνωμένες Πολιτείες η εξέλιξη στην έρευνα των αυτόνομων οχημάτων για εξερεύνηση των ωκεανών επέτρεψε την διερεύνηση του βυθισμένου Τιτανικού.



Εικόνα 6. 3 Asterx and Idefx, the two Ifremer AUVs, are medium sized systems for coastal and deep water survey.

Εκτός από το διάστημα και τους ωκεανούς, υπάρχουν πολλές εφαρμογές όπου η ανθρώπινη παρουσία τίθεται σε κίνδυνο. Συχνά πρέπει να διερευνηθούν και να χαρτογραφηθούν πυρηνικά και βιολογικά σημεία μόλυνσης για τον προσδιορισμό του είδους και την έκταση της μόλυνσης ώστε να παρέχουν τη βάση για την αποκατάσταση τους. Οι στρατιωτικές επιχειρήσεις ενσωματώνουν πολλές διαφορετικές αυτόνομες και εξ αποστάσεως τεχνολογίες για τον αέρα, τη θάλασσα, και το έδαφος. Ολοένα και περισσότερο, τα συστήματα ασφάλειας και άμυνας μπορούν να χρησιμοποιούν τα δίκτυα των προηγμένων κινητών αισθητήρων για παρατήρηση και εντοπισμό πιθανών γεγονότων που μπορεί να απειλούν πληθυσμούς.



Εικόνα 6. 4 Robotics and intelligent systems for large scale agriculture

Σε μια δεύτερη κατηγορία εφαρμογών, τα ρομποτικά οχήματα χρησιμοποιούνται για εργασίες ρουτίνας σε χώρους και περιβάλλοντα, όπου η κινητικότητα της μηχανής μπορεί να αντικαταστήσει αποτελεσματικά την άμεση ανθρώπινη παρουσία. Για παράδειγμα, στη μεγάλης κλίμακας γεωργία απαιτούνται μηχανές για καλλιέργεια, σπορά, άρδευση και συγκομιδή πολύ μεγάλων εκτάσεων εδάφους.

Η δυνατότητα παρακολούθησης ενός αυτόνομου οχήματος με παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS), ανιχνεύοντας τις συνθήκες του εδάφους και των φυτών στα χωράφια, ενθαρρύνει την χρήση ρομποτικών οχημάτων για γεωργικές εφαρμογές. Η εικόνα 6.4 δείχνει ένα παράδειγμα ενός γεωργικού ρομποτικού οχήματος υπό εξέλιξη στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η εικόνα 6.5 δείχνει ένα μεγάλο αυτόνομο φορτηγό ανάσχυσης ορυχείων που αναπτύχθηκε στην Αυστραλία.



Εικόνα 6. 5 The Internet of Things, robotics and plasma are transforming mining into a safer and more productive industry

Παρόμοιες προκλήσεις εμφανίζονται σε περιοχές παρακολούθησης του περιβάλλοντος, όπου τα κινητά οχήματα μπορούν να κινηθούν μέσω του αέρα, του νερού ή του εδάφους για να παρατηρήσουν την παρουσία ρύπων και να παρακολουθήσουν τις μορφές και τις πηγές των ρύπων αυτών. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής, μια ποικιλία ρομποτικών καθοδηγούμενων οχημάτων χρησιμοποιούνται σε τομείς όπου η κινητικότητα (mobility) είναι απαραίτητη για τη

μεταφορά εξαρτημάτων και συναρμολογημένων μερών κατά τη διαδικασία κατασκευής .

Μια τρίτη κατηγορία εφαρμογής των ρομποτικών οχημάτων εμφανίζεται στην υποστήριξη της προσωπικής βοήθειας, της αποκατάστασης και της ψυχαγωγίας των ανθρώπων. Η ρομποτική αναπηρική καρέκλα μπορεί να παρέχει κινητικότητα σε έναν άνθρωπο που διαφορετικά δεν θα ήταν σε θέση να μετακινηθεί. Η ενσωμάτωση αισθητήρων, υπολογιστικής νοημοσύνης, καθώς και η βελτίωση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας έχουν γίνει ικανοί προσωπικοί βοηθοί ρομπότ, ολοένα και περισσότερο πρακτικοί για καθημερινή χρήση. Στην εικόνα 6.6 παρουσιάζεται μια αναπηρική καρέκλα που χρησιμοποιεί τεχνολογίες ρομποτικής για την καθοδήγηση και την ισορροπία.



Εικόνα 6. 6 i bot

Άλλα παραδείγματα τέτοιων προσωπικών βοηθών περιλαμβάνουν οχήματα που υποστηρίζουν την φροντίδα των ηλικιωμένων φροντίζοντας τη διατροφή ακόμα και τη σίτιση τους , τις οικιακές εργασίες, και την κοινοποίηση έκτακτης ανάγκης.

6.2. Προκλήσεις στην έρευνα

Ανέκαθεν, υπήρχαν παραδείγματα τεχνολογιών που θα μπορούσαν να ελέγχονται εξ αποστάσεως μέσω μηχανικών συνδέσεων (π.χ. μηχανικά χειριστήρια για το χειρισμό επικίνδυνων χημικών ουσιών), καθώς και άλλες τεχνολογίες που παρέχουν προγραμματισμένες κινήσεις (π.χ. βλήματα και τορπίλες). Ωστόσο, μόνο με την ανάπτυξη της μικροηλεκτρονικής και ενσωματωμένων συστημάτων υπολογισμού κατέστη δυνατό να σχεδιαστούν συστήματα που συνδυάζουν τόσο την κινητικότητα όσο και την αυτονομία. Τέσσερις σημαντικές ερευνητικές προκλήσεις έχουν κυριαρχήσει στις εξελίξεις αυτές, και συνεχίζουν να αποτελούν τα βασικά θέματα για διεθνή μελέτη:

1. Μηχανισμοί και κινητικότητα

Τόσο η εφαρμοσμένη μηχανική όσο και η βιομηχανική τεχνολογία χρησιμοποιούνται πλέον στο σχεδιασμό ρομποτικών οχημάτων, καθώς και οι τρέχουσες ερευνητικές προσπάθειες συνεχίζουν να εξελίσσονται. Βασικά ερευνητικά θέματα περιλαμβάνουν: αρχές της κίνησης και ιδιότητες των υλικών και σχεδιασμό.

2. Ισχύς και προώθηση

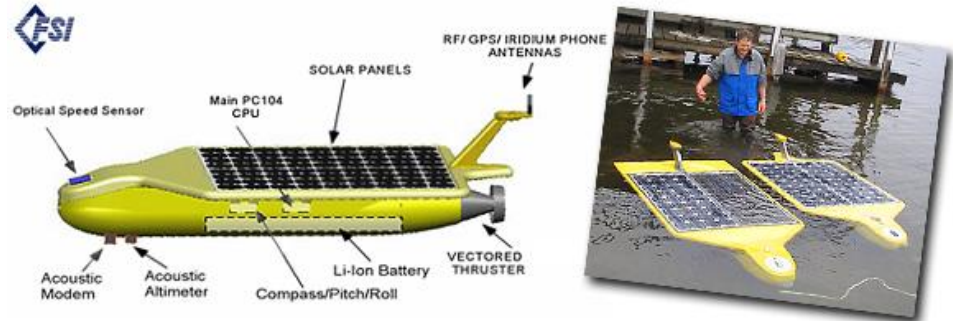
Η μακροπρόθεσμη αυτονομία των οχημάτων είναι άμεσα επηρεαζόμενη από τη διαθέσιμη ισχύ και την ενεργειακή απόδοση της κίνησης. Αυτές οι θεωρίες είναι πλέον σημαντικές σε απομακρυσμένες περιοχές, όπως η διαστημικές και υποθαλάσσιες υλοποιήσεις, όταν η ανάκτηση ενέργειας ή ο ανεφοδιασμός είναι ανέφικτο.

Την εικόνα 6.7 φαίνεται ένα ηλιακής ενέργειας αυτόνομο υποβρύχιο όχημα υπό μελέτη του *Rensselaer Polytechnic Institute*

3. Υπολογισμός και έλεγχος

Η εισαγωγή στα microcomputation επέτρεψε τη χρήση των ενσωματωμένων συστημάτων πληροφορικής που είναι μικρά, ελαφριά και υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Τέτοια ενσωματωμένα υπολογιστικά συστήματα έχουν συμβάλει στην ανάπτυξη των ρομποτικών οχημάτων με εξελιγμένες αρχιτεκτονικές υπολογιστών που οργανώνουν αισθητήρες που βασίζονται

στην ανατροφοδότηση και τον έλεγχο των ενεργειών επί του οχήματος (onboard).



Εικόνα 6. 7

Ένα μεγάλο μέρος της τρέχουσας έρευνας διεθνώς επικεντρώνεται στις προηγμένες αρχιτεκτονικές υπολογιστών και στις εφαρμογές που συντονίζουν τα καθήκοντα αυτά. Υπάρχουν δύο βασικές στρατηγικές που συχνά ενσωματώνονται σε αυτά τα συστήματα:

Η Ιεραρχική (ή Διαβουλευτική) Δομή Ελέγχου και η Συμπεριφορική Δομή Ελέγχου



Εικόνα 6. 8 Integration of hierarchical and behavior control architectures in a search-and-rescue domain (Center for Robot-Assisted Search and Rescue (CRASAR), University of South Florida (USF), U.S.).

4. Αισθητήρες και πλοήγηση

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην επιτυχία της ρομποτικής τεχνολογίας οχημάτων για το έδαφος, τον αέρα και το νερό έχουν συνδεθεί με την ανάπτυξη βελτιωμένων αισθητήρων και δικτύων αισθητήρων. Τέτοιοι αισθητήρες εξυπηρετούν δύο σημαντικούς σκοπούς για ρομποτικά οχήματα:

- a. Αισθητήρες που παρακολουθούν το περιβάλλον και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο διαδραστικών εργασιών.
- b. Αισθητήρες είναι απαραίτητοι για τη βασική πλοήγηση ενός ρομποτικού οχήματος.



Εικόνα 6. 9 Artist's conception of how small autonomous platforms might enhance human sensing in hazardous situations by working synergistically in confined spaces.

6.3 Διεθνής έρευνα

Τα ρομποτικά οχήματα είναι ένα κύριο θέμα της ρομποτικής έρευνας σε πολλά εργαστήρια παγκοσμίως. Σε πολλές περιπτώσεις, η έμφαση των τύπων των οχημάτων, και οι προσεγγίσεις για το σχεδιασμό των εφαρμογών ποικίλει μεταξύ αυτών των διαφορετικών διεθνών κοινοτήτων. Αυτή η ενότητα συνοψίζει αυτές τις παρατηρήσεις.

6.3.1 Έρευνα για Ρομποτικά Οχήματα - Ηνωμένες Πολιτείες

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η έρευνα για τα ρομποτικά οχήματα φαίνεται κυρίως στους ακόλουθους πέντε τομείς:

i. Στρατιωτικά και Αμυντικά Συστήματα

Υπάρχει μια ισχυρή έμφαση στην ανάπτυξη και την ένταξη αυτόνομων ανιχνευτών και παρατηρητών σε πολλά μέρη στρατιωτικών συστημάτων τακτικής. Η ενσωμάτωση εξελιγμένων υπολογιστών και αρχιτεκτονικών επικοινωνιών αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών, και η χρήση αλγορίθμων, όπως ο SLAM ώστε να μπορούν να ερμηνευτούν πολύπλοκες σκηνές είναι μια σημαντική συμβολή σε αυτά τα συστήματα. Οι ΗΠΑ γενικά αναγνωρίζεται ως ο παγκόσμιος ηγέτης στην τεχνολογία στρατιωτικών εφαρμογών ρομποτικών οχημάτων.



Εικόνα 6. 10 Examples of military and defense robotic vehicles.

ii. Διαστημικά Ρομποτικά Οχήματα

Το πεδίο της διαστημικής ρομποτικής το έχουμε αναφέρει λεπτομερώς στην αρχή του συγκεκριμένου κεφαλαίου. Στο πλαίσιο της τεχνολογίας των οχημάτων, τα πρόσφατα προγράμματα στον Άρη έδειξαν μοναδικά ίσως την πιο επιτυχημένη ανάπτυξη τεχνολογίας

ρομποτικών οχημάτων μέχρι σήμερα από κάθε άλλο τομέα εφαρμογών. Τα ROVER έχουν προσγειωθεί και να διερευνήσουν την επιφάνεια του Άρη και έχουν πραγματοποιήσει σημαντικά επιστημονικά πειράματα και παρατηρήσεις που έχουν συμβάλει σημαντικά στην ανθρώπινη κατανόηση του πλανήτη και της φυσικής ιστορίας του. Η προσπάθεια των ΗΠΑ και συγκεκριμένα της NASA ήταν η μόνη επιτυχημένη επίδειξη διαπλανητικού διαστημικού οχήματος.

iii. Ρομποτική εδάφους

Τα ρομποτικά οχήματα εδάφους αναπτύσσονται τόσο για στρατιωτικές όσο και για διαστημικές εφαρμογές και προορίζονται για χρήση σε ανώμαλο έδαφος. Στο πλαίσιο αυτό, η εμπειρία των off-road οχημάτων ρομποτικής στις ΗΠΑ παρέχει επίσης τη βάση για την έρευνα στον τομέα αυτό καθώς και σε άλλους αδόμητους τομείς, όπως η γεωργία, τα ορυχεία, οι κατασκευές και τα επικίνδυνα περιβάλλοντα. Επιπλέον, οι βιομηχανίες στις ΗΠΑ που δραστηριοποιούνται σε αυτούς τους τομείς έχουν επενδύσει σε ανάπτυξη πρωτότυπων αυτών των εφαρμογών.

iv. Υποθαλάσσια ρομποτική

Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν υποστηρίξει την έρευνα σε διάφορους τύπους εφαρμογών υποβρυχίων οχημάτων. Αυτές περιλαμβάνουν:

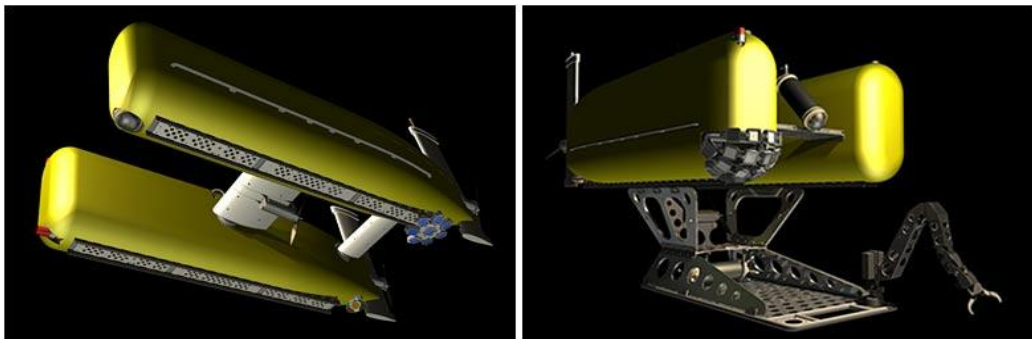
a. Στρατιωτικές και αμυντικές εφαρμογές

Όπως περιγράφονται παραπάνω στα «στρατιωτικά και αμυντικά συστήματα», στις αμυντικές τεχνολογίες των ΗΠΑ έχουν συμπεριληφθεί πολλά θεμελιώδη πρωτότυπα και προϊόντα που προσφέρουν τόσο ROV όσο και AUV τεχνολογίες για τον στρατό.



Εικόνα 6. 11 MBARI marine operations technicians work on a research buoy in Monterey Bay. This buoy carried several PUCK-enabled instruments.

- b. Παράκτια συστήματα ασφάλειας και παρακολούθησης του περιβάλλοντος. Στην εικόνα 6.11 παρουσιάζεται μια επισκόπηση των συστημάτων αυτόνομου Ωκεανογραφικού Δικτύου Αισθητήρων (AOSN), το οποίο αναπτύσσεται ως πείραμα στο Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI) στην Καλιφόρνια, ενσωματώνοντας πολλά διαφορετικά ρομπότ και είδη αισθητήρων.



Εικόνα 6. 12 HROV (Hybrid ROV) project (Johns Hopkins University(JHU) and Woods Hole (WHOL), U.S.).

c. Επιστημονικές αποστολές και Deep Ocean Science.

Η μελέτη των ρευμάτων των ωκεανών, τα ωκεάνια ηφαίστεια, η ανίχνευση τσουνάμι, τα υδάτινα βιολογικά φαινόμενα σε μεγάλα βάθη η μετανάστευση και οι αλλαγές μεγάλων οικοσυστημάτων είναι πολλά από τα παραδείγματα των θεμάτων που μελετώνται με αυτά τα συστήματα. Πολλά από τα σημαντικότερα επιστημονικά εργαστήρια στον κόσμο βρίσκονται στις ΗΠΑ και είναι πρωτοπόροι σε αυτά τα πεδία έρευνας. Ένα νέο επίτευγμα, το HROV, χρηματοδοτείται από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών (NSF) για την ανάπτυξη ενός νέου υβριδικού τηλεχειριζόμενου οχήματος για υποβρύχια εξερεύνηση σε ακραία περιβάλλοντα, με ικανότητα λειτουργίας σε 11.000 μέτρα βάθος, όπως φαίνεται στην εικόνα 6.12 .

v. Ρομποτική Αναζήτησης και διάσωσης

Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει μια αυξημένη έμφαση στην αποτελεσματική αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών, από σεισμούς και τυφώνες, σε συνδυασμό με άλλες καταστροφές, όπως η τρομοκρατική δραστηριότητα. Ρομποτικά οχήματα είναι ένα μέσο για διερεύνηση τέτοιων επικίνδυνων τοποθεσιών σε εξαιρετικά επικίνδυνες περιόδους, παρέχοντας πληροφορίες για τη στήριξη άλλων δράσεων και την καθοδήγηση δραστηριοτήτων αναζήτησης και διάσωσης στην περιοχή. Η ταχεία και αξιόπιστη ανταπόκριση με την ανθρώπινη αλληλεπίδραση είναι τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών των συστημάτων. Ένα παράδειγμα ενός ρομποτικού συστήματος αναζήτησης και διάσωσης έχει αναπτυχθεί από το *Center for Robot-Assisted Search and Rescue (CRASAR) at Texas A&M University* όπως φαίνεται στην εικόνα 6.13



Εικόνα 6. 13 Search-and-rescue robotics (CRASAR, USF, U.S.).

6.3.2 Έρευνα για Ρομποτικά Οχήματα - Ιαπωνία και Νότια Κορέα

Τόσο στην Ιαπωνία όσο και στη Νότια Κορέα, υπάρχει μια μακρά ιστορία στην έρευνα για ρομποτικά οχήματα με έμφαση στα βιομημητικά συστήματα και τις εφαρμογές τους στην προσωπική εξυπηρέτηση ανθρώπων. Επιπλέον, υπάρχει σημαντική έρευνα στα υποθαλάσσια οχήματα.

Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική ερευνητική προσπάθεια για την ανάπτυξη μηχανισμών και συστημάτων που μιμούνται βιολογικά συστήματα κινητικότητας. Τα project αυτά ποικίλλουν από ιπτάμενα έντομα, φίδια και ψάρια που κολυμπούν, και περιλαμβάνουν τόσο δύο πόδια και όσο και περισσότερα πόδια κίνησης όπως έχουμε ήδη αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Οι μελέτες από ένα project εντόμου στην Ιαπωνία από το UoJ ,ένα ρομποτικό ψάρι που κολυμπάει από το Pohang University of Science & Technology (POSTECH), S. Korea και ένα ρομπότ brachiation (αιωρείται μεταξύ κλαδιών δέντρου) από το U. Nagoya, Japan, φαίνονται στην εικόνα 6.14.



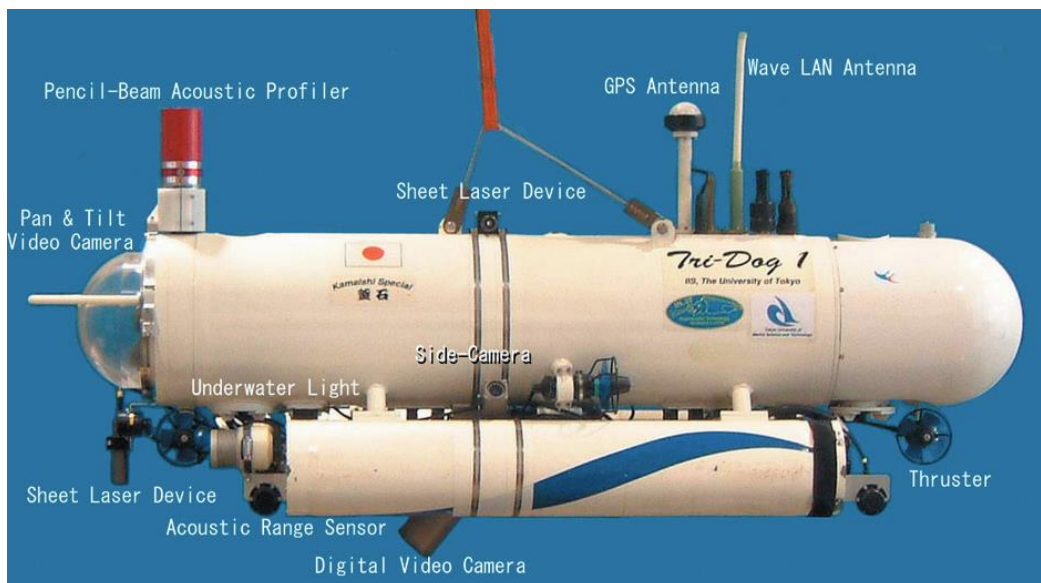
Εικόνα 6. 14

Ο Ιαπωνικός οργανισμός Θαλάσσιας Επιστήμης και Τεχνολογίας (JAMSTEC) έχει αναπτύξει πολύ εξελιγμένα οχήματα βαθών υδάτων για την εξερεύνηση των ωκεάνιων πόρων. Η εικόνα 6.15 δείχνει το όχημα URASHIMA, το οποίο έχει μήκος δέκα μέτρα και τροφοδοτείται από κυψέλες καυσίμου.



Εικόνα 6. 15

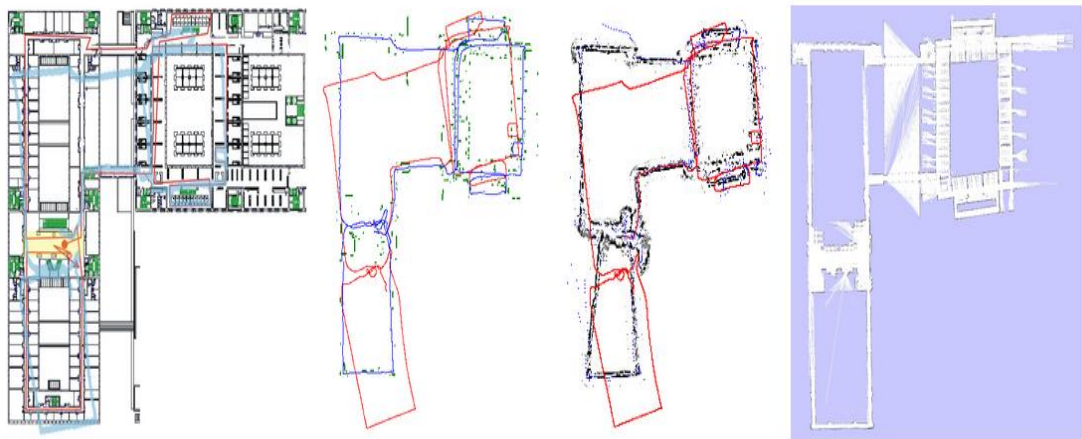
Επίσης το Ura Laboratory από το University of Tokyo, έχει αναπτύξει μια σειρά από υποβρύχια οχήματα που χρησιμοποιούνται στην έρευνα των ωκεανών, και έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για πειράματα παρακολούθησης σε περιβάλλοντα γλυκού νερού (Λίμνη Μπίουα Research Institute). Η εικόνα 6.16 δείχνει μια φωτογραφία ενός οχήματος από το Πανεπιστήμιο του Τόκιο.



Εικόνα 6. 16 Tri-Dog AUV with sensor guidance (U. Tokyo, Japan).

6.3.3 Έρευνα για Ρομποτικά Οχήματα - Ευρώπη

Πολλά Ευρωπαϊκά ερευνητικά εργαστήρια έδωσαν έμφαση στην ανάπτυξη των βασικών ικανοτήτων των ρομποτικών οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων αρχιτεκτονικών σε συστήματα πλοήγησης καθώς και εφαρμογές σε τομείς όπως τα συστήματα μεταφορών, την προσωπική εξυπηρέτηση καθώς και τα υποθαλάσσια οχήματα. Σημαντική βασική έρευνα έχει διεξαχθεί σε διάφορα εργαστήρια, συμπεριλαμβανομένου του Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS) στην Τουλούζη της Γαλλίας, το Εργαστήριο Ρομποτικής στο Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης και το Πανεπιστήμιο της Karlsruhe στην Γερμανία, στις υπολογιστικές αρχιτεκτονικές και επικοινωνίες για τη στήριξη των αλγορίθμων πλοήγησης και χαρτογράφησης. Τα προγράμματα αυτά έχουν συμβάλει σημαντικά στη διεθνή κοινότητα σε συστήματα ελέγχου που βασίζονται σε αισθητήρια οχημάτων πλοήγησης. Ένα παράδειγμα που βασίζεται σε αισθητήρες χαρτογράφησης κτιρίων από το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης φαίνεται στην εικόνα 6.17. Τα ευρωπαϊκά εργαστήρια είναι μεταξύ των κορυφαίων στη διεθνή έρευνα σε αυτούς τους τομείς.

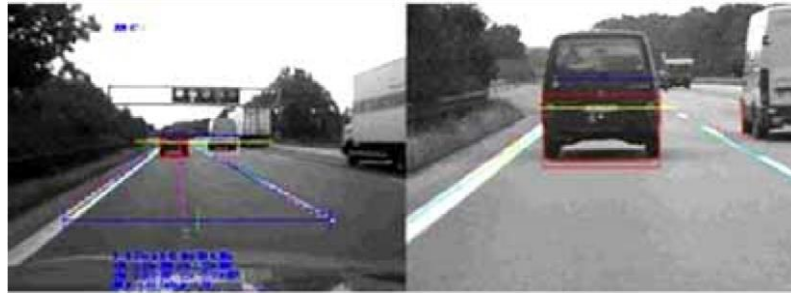


Εικόνα 6. 17 Sensor-based mapping and localization using SLAM algorithms (U. Oxford, U.K.).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση γίνεται επένδυση σε προγράμματα για την ανάπτυξη των ρομποτικών οχημάτων, τα οποία θα μπορούσαν να συμβάλουν στα συστήματα μεταφοράς και να χρησιμοποιηθούν σε αστικά περιβάλλοντα. Η εικόνα 6.18 δείχνει ένα παράδειγμα της CYBERCar στο L'Institut National de Recherche en Informatique et en AUTOMATIQUE (INRIA) SophiaAntipolis στην Γαλλία, κινούμενο με βάση την όραση μετά από έλεγχο. Η εικόνα 6.19 δείχνει την εφαρμογή των συστημάτων όρασης σε οχήματα κινούμενα με μεγάλη ταχύτητα, από το Πανεπιστήμιο του Braunschweig της Γερμανίας.



Εικόνα 6. 18 CYBERCar Prototype (INRIA, France).



Εικόνα 6. 19 Autonomous road following and vehicle following at high speed (U. Braunschweig, Germany).

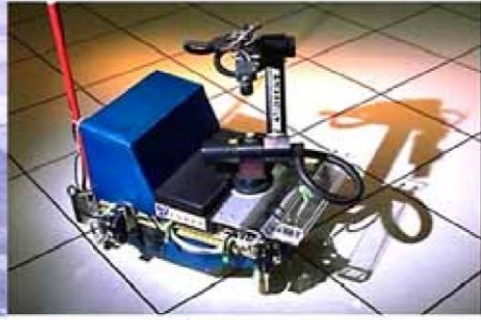
Τα ευρωπαϊκά προγράμματα είναι ιδιαίτερα δραστήρια στη ρομποτική υποθαλάσσια έρευνα. Προγράμματα στο Πανεπιστήμιο Heriot-Watt του Εδιμβούργου, το Ηνωμένο Βασίλειο, το Πανεπιστήμιο του Σαουθάμπτον στη Βρετανία, IFREMER στην Τουλον, Γαλλία, το Cybernetix στη Μασσαλία, και το Πανεπιστήμιο της Girona στην Ισπανία, έχουν σημαντικά ερευνητικά προγράμματα με πρωτότυπα οχήματα και συστήματα που συμβάλλουν σε διεθνή προγράμματα συνεργασίας. Η εικόνα 6.20 παρουσιάζει διάφορα πρωτότυπα και προϊόντα, συμπεριλαμβανομένου του ALIVE AUV που αναπτύχθηκε από την Cybernetix σε συνδυασμό με το IFREMER και το Πανεπιστήμιο Heriot-Watt. Η εικόνα 6.21 δείχνει επίσης το Garbí AUV που χρησιμοποιούνται σε πειράματα στο Πανεπιστήμιο της Girona.



Εικόνα 6. 20 Undersea robotic vehicles.



Univ Oxford, UK



SHRDL, France

Εικόνα 6. 21 Prototype vehicles used in urban and indoor settings.

Βιβλιογραφία

1. Margolis, Michael. *Make an Arduino-Controlled Robot Autonomous and Remote-Controlled Bots on Wheels*. Maker Media, Inc, October 2012.
2. Martin Evans, Joshua Noble, Jordan Hochenbaum. *Arduino in Action*. MANNING SHELTER ISLAND. 2013.
3. Kimmo and Tero Karvinen. *Make: Arduino Bots and Gadgets* O'Reilly Media, Inc.. 2011.
4. George A. Bekey. *Autonomous Robots-From Biological Inspiration to Implementation and Control*. MIT Press. 2005
5. Patrick Lin; Keith Abney; George A. Bekey. *Robot Ethics : The Ethical and Social Implications of Robotics*. MIT Press. 2014.
6. Howie Choset, Kevin M. Lynch, Seth Hutchinson, George A. Kantor, Wolfram Burgard, Lydia E. Kavraki and Sebastian Thrun. *Principles of Robot Motion*. MIT Press. May 2005
7. Roland Siegwart, Illah Reza Nourbakhsh and Davide Scaramuzza. *Introduction to Autonomous Mobile Robots, Second Edition*. MIT Press. February 2011

Διαδικτυακά άρθρα και πηγές

1. http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6565146&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6565146
2. <http://www.robotoid.com/servomag/ardbot/ardbot-making-robots-with-arduino-4.pdf>
3. Robot : <http://www.ece.utah.edu/~bodson/acscr/>
4. http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Chemical-and-Hazardous-Material-Handling-Robotics/content_id/614
5. World survey reports boom in robot investment:
<http://www.engineeringtalk.com/news/ifr/ifr100.html>
6. Robotics Trends:
<http://www.roboticstrends.com/>
7. Marshall Brain essays – Robotic Nation, Robots in 2015
<http://marshallbrain.com/robotic-nation.htm>

8. Book: Rodney Brooks - *Flesh and Machines - How robots will change us:*
<http://www.jimpinto.com/reading.html#ROBOT>
9. *Intelligent Robots will be everywhere:*
<http://www.Automation.com/library/articles-white-papers/articles-by-jim-pinto/intelligent-robots-will-be-everywhere>
10. *Automation unplugged:*
<http://www.Automation.com/store/p1033details2252.php>
11. <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/1766756>
12. <http://ausi.org/research/sauv/>
13. <http://www.who.edu/page.do?pid=33775>
14. <http://www.huey091foundation.org/>
15. <http://crasar.org/2009/09/06/robotics-rodeo-at-ft-hood/>
16. <http://www.eyedesignbook.com/ch5/eyech5-ab.html>
17. <http://www.nauticexpo.com/prod/mitsubishi-heavy-industries-ship-ocean/product-32135-375346.html>
18. https://www-robotics.jpl.nasa.gov/people/Robert_Hogg/peopleImage.cfm?Image=438
19. https://rvlab.icg.tugraz.at/project_page/project_tof_slam/project_tof_slam.htm
20. <http://adhocnode.com/arduino-irrecv-module/>
21. <http://arduino-info.wikispaces.com/IR-RemoteControl>
22. <http://adhocnode.com/motor-control/>
23. <http://arduino-info.wikispaces.com/ArduinoShieldL298N>
24. <http://www.circuitmagic.com/arduino/arduino-and-bluetooth-hc-06-to-control-the-led-with-android-device/>
25. https://en.wikipedia.org/wiki/Grey_goo
26. <https://en.wikipedia.org/wiki/Ferrofluid>
27. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%99%CE%BE%CF%8E%CE%B4%CE%B5%CF%82>
28. <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-B101/541/3556,14672/>
29. https://en.wikipedia.org/wiki/Coarse_structure
30. https://en.wikipedia.org/wiki/Dead_reckoning
31. <https://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>

PAPERS

1. Low Cost Obstacle Avoidance Robot: by Vivek Hanumante, Sahadev Roy, Santanu Maity (*International Journal of Soft Computing and Engineering*)
2. Obstacle Detection And Avoidance by a Mobile Robot: by Sejal Jaiswal (*National Institute of Technology Rourkela, India*)
3. OBSTACLE-AVOIDING ROBOT A possible introduction project for engineering students: by Lok Prasad Khanal (*TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES*)

4. Building of a mobile robot-Sensing or Moving, Time and Energy: by Louis SAINT-RAYMOND (École polytechnique fédérale de Lausanne- SECTION OF MICROENGINEERING)
5. LOW-COST SENSOR PACKAGE FOR SMART WHEELCHAIR OBSTACLE AVOIDANCE : by Chad A. Rockey (Department of Electrical Engineering and Computer Science Case Western Reserve University)
6. Ευφυής Οικία για τον αυτοματισμό περιβαλλοντικών συνθηκών μέσω κινητών εφαρμογών Ανοικτού Υλικού και Λογισμικού: by Αλέξανδρο Ι. Γεωργαντά (ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ)
7. Κατασκευή Delta Robot : by Βαγενάς Γεώργιος (ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ)
8. Γραμμικός βηματικός κινητήρας με σερβοελεγκτή : ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ Α. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ (ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ)

Παράρτημα

1. Grey Goo

Το Grey Goo (ή Gray Goo) είναι ένα υποθετικό end-of-world σενάριο που περιλαμβάνει μοριακή νανοτεχνολογία, κατά το οποίο αυτοαναπαραγόμενα εκτός ελέγχου ρομπότ καταναλώνουν όλη την ύλη στη Γη, δημιουργώντας όλο και περισσότερους κλώνους. Ένα σενάριο που καλείται *ecophagy* («τρώνει το περιβάλλον»). Κατά την αρχική θωρία, μηχανές έχουν σχεδιαστεί ώστε να έχουν αυτή τη δυνατότητα, ενώ πιο δημοφιλή σενάρια θέλουν αυτό να συμβαίνει τυχαία.

Αυτοαναπαραγόμενες μακροσκοπικές μηχανές αρχικά περιγράφονται από τον μαθηματικό John von Neumann, και μερικές φορές αναφέρονται ως μηχανές von Neumann ή κλώνοι clanking.

Ο όρος Grey Goo επινοήθηκε από τον πρωτοπόρο στην νανοτεχνολογία Eric Drexler, το 1986 στο βιβλίο του "Engines of Creation". Το 2004 δήλωσε, «Μακάρι ποτέ να μην είχα χρησιμοποιήσει τον όρο «Grey goo».

2. Φερρορευστά υλικά (Ferrofluid)

Φερρορευστό (από τον συνδυασμό των λέξεων ferromagnetic (σιδηρομαγνητικός) και fluid (υγρό)) είναι ένα υγρό που γίνεται έντονα μαγνητισμένο παρουσία ενός μαγνητικού πεδίου. Το Ferrofluid εφευρέθηκε το 1963 στη NASA από τον Steve Papell ως υγρό καύσιμο πυραύλων που θα μπορούσε να εξαχθεί προς την είσοδο της αντλίας σε ένα περιβάλλον χωρίς βαρύτητα με την εφαρμογή ενός μαγνητικού πεδίου.

3. DOF (Degrees of freedom)

Στη μηχανική, ο βαθμός ελευθερίας (DOF) ενός μηχανικού συστήματος είναι ο αριθμός των ανεξάρτητων παραμέτρων που καθορίζουν τις ρυθμίσεις του. Είναι ο αριθμός των παραμέτρων που καθορίζουν την κατάσταση ενός φυσικού συστήματος

και είναι σημαντικές για την ανάλυση των συστημάτων στον τομέα της μηχανολογίας, της αεροναυπηγικής, της ρομποτικής και των δομικών κατασκευών.

Σε γενικές γραμμές δηλώνει το πόσο ευκίνητο είναι ένα ρομπότ στο χώρο. Συνήθως, κάθε ανεξάρτητα κινούμενη άρθρωση προσθέτει ένα βαθμό ελευθερίας στο ρομπότ.

Ο ορισμός λέει:

“Ο αριθμός των ανεξάρτητων παραμέτρων, που προσδιορίζουν τη θέση ενός σώματος στο χώρο, ονομάζεται Βαθμός Ελευθερίας”

Για να περιγράψουμε ακριβώς τη θέση ενός στερεού σώματος στο χώρο, χρειαζόμαστε 6 μεταβλητές, 3 για την θέση και 3 για τον προσανατολισμό του. Άρα, σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, για να μπορεί ένα ρομπότ να κινηθεί οπουδήποτε στο χώρο με οποιοδήποτε προσανατολισμό, πρέπει να έχει τουλάχιστον 6 βαθμούς ελευθερίας. Ο ρομποτικός βραχίονας του εργαστηρίου RV-2A έχει 6 βαθμούς ελευθερίας. Δηλαδή, κάθε περιστροφική του άρθρωση προσφέρει από ένα βαθμό ελευθερίας. Ο ανθρώπινος βραχίονας υπολογίζεται ότι έχει 7 βαθμούς ελευθερίας. Στα βιομηχανικά ρομπότ σπάνια συναντάμε πάνω από 6 βαθμούς ελευθερίας, αφού και μεν θα βελτιωνόταν η ευελιξία τους, αλλά θα γινόταν πιο περίπλοκος ο αλγόριθμος ελέγχου τους χωρίς να επεκτείνεται ο χώρος δράσης τους.

4. Ολονομικά συστήματα

Στην κλασική μηχανική ένα σύστημα μπορεί να οριστεί ως ολονομικό (holonomic) αν όλοι οι περιορισμοί του συστήματος είναι holonomic. Πρέπει να μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση:

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N, t) = 0,$$

δηλαδή ο περιορισμός για να είναι ένα σύστημα ολονομικό, είναι ότι πρέπει να εξαρτάται μόνο από τις συντεταγμένες x_1, \dots, x_n και τον χρόνο t . Δεν εξαρτάται από την ταχύτητα. Εάν ο περιορισμός δεν ισχύει τότε το σύστημα ονομάζεται μη-ολονομικό.

5. Φαινόμενο Hall

Το 1879 ο Edwin Hall διαπίστωσε ότι σε ένα πλακίδιο που διαρρέεται από ρεύμα, τοποθετημένο μέσα σε μαγνητικό πεδίο, δημιουργείται διαφορά δυναμικού σε διεύθυνση που είναι κάθετη στο ρεύμα και στο μαγνητικό πεδίο. Το φαινόμενο αυτό, που είναι γνωστό ως *φαινόμενο Hall* οφείλεται στην απόκλιση που υφίστανται οι φορείς του ρεύματος, εξ αιτίας της δύναμης που δέχονται από το μαγνητικό πεδίο.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων του φαινομένου Hall σε ένα αγωγίμο πλακίδιο δίνει πληροφορίες για τους φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος και για την πυκνότητά τους. Το φαινόμενο το εκμεταλλευόμαστε στη μέτρηση μαγνητικών πεδίων.

6. Ιξώδες απόσβεση

Η λέξη ιξώδες προέρχεται από τη λέξη ιξός (τη γνωστή κολλώδη ουσία που περιβάλλει κάποιους καρπούς) και σημαίνει το κολλώδες.

Γενικά όμως με τον όρο ιξώδες στη Χημεία και στη Φυσική χαρακτηρίζεται μία από τις ιδιότητες της ύλης, ιδίως των υγρών αλλά και των αερίων, και συγκεκριμένα η αντίσταση που παρουσιάζουν κατά τη ροή τους. Για παράδειγμα, διαφορετικά ρέουν το μέλι, το λάδι και το νερό.

Η αντίσταση αυτή που παρουσιάζουν τα ρευστά οφείλεται στις εσωτερικές τριβές των μορίων τους από δυνάμεις συνοχής, σε βαθμό που το ίδιο το ιξώδες ν' αποτελεί μέτρο αντίστασης του υγρού στη ροή και που εξετάζεται ιδιαίτερα από την Υδροδυναμική.

Το μέτρο του ιξώδους είναι ο συντελεστής συνεκτικότητας ή συντελεστής εσωτερικής τριβής ή συντελεστής ιξώδους του υγρού. Όσο πιο παχύρρευστο είναι ένα υγρό, τόσο μεγαλύτερο ιξώδες λέμε ότι έχει, π.χ. το μέλι έχει μεγαλύτερο ιξώδες από το λάδι.

Το ιξώδες μετριέται με ειδικό όργανο που λέγεται ιξωδόμετρο. Η μέτρηση γίνεται σε βαθμούς " Engler", " Redwood", ή " Saybolt", κ.λπ, που παρέχονται από το εγχειρίδιο του, κατά περίπτωση χρήσης του ομώνυμου οργάνου.

Σημείωση: Αντίθετος όρος του ιξώδους, κατ' έννοια και κατά μέτρο είναι η ρευστότητα, έτσι ένα υγρό που παρουσιάζει μεγάλο ιξώδες έχει μικρή ρευστότητα, και αντίστροφα. Τα μόνα υγρά που παρουσιάζουν μεταβλητό ιξώδες είναι τα *θιξότροπα* μετά την ανάδυσή τους.

7. Φαινόμενο Doppler

Το φαινόμενο Ντόπλερ είναι η παρατηρούμενη αλλαγή στη συχνότητα και το μήκος κύματος ενός κύματος από παρατηρητή που βρίσκεται σε σχετική κίνηση με την πηγή των κυμάτων. Ονομάστηκε προς τιμήν του αυστριακού φυσικού Κρίστιαν Ντόπλερ (Christian Doppler), που το πρότεινε το 1842. Το φαινόμενο παρατηρείται συχνά όταν πλησιάζει και απομακρύνεται ένα όχημα που έχει σειρήνα (πχ ασθενοφόρο) ή κάνει θόρυβο (πχ μηχανές). Συγκεκριμένα η συχνότητα του ήχου αυξάνεται όταν πλησιάζει το όχημα τον παρατηρητή, ενώ μειώνεται όταν απομακρύνεται από αυτόν.

Για κύματα όπως τα ηχητικά κύματα, που διαδίδονται μέσα σε κάποιο υλικό μέσο, η ταχύτητα τόσο του παρατηρητή όσο και της πηγής, πρέπει να προσδιορίζεται σε σχέση με το μέσο διάδοσης. Το τελικό φαινόμενο Ντόπλερ μπορεί επομένως να προκύψει από την κίνηση του παρατηρητή, από την κίνηση της πηγής και από την κίνηση του μέσου διάδοσης. Για κύματα που δεν χρειάζονται ένα υλικό μέσο για τη διάδοσή τους, όπως τα ηλεκτρομαγνητικά (φως) ή τα βαρυτικά κύματα στην ειδική σχετικότητα, μόνο η σχετική ταχύτητα του παρατηρητή και της πηγής παίζει ρόλο.

Για κύματα που διαδίδονται μέσα σε ένα υλικό μέσο (ηχητικά, υπερηχητικά, κύματα πίεσης κλπ.), η σχέση μεταξύ παρατηρούμενης συχνότητας (ν') και εκπεμπόμενης (πραγματικής) συχνότητας (ν) δίνεται από τη σχέση:

$$\nu' = \left(\frac{v \pm v_o}{v \mp v_s} \right) \nu$$

όπου

v είναι η ταχύτητα διάδοσης του κύματος (π.χ. 340 m/s για τον ήχο στον αέρα),

v_o είναι η ταχύτητα του παρατηρητή ως προς το μέσο διάδοσης, και

v_s είναι η ταχύτητα της πηγής (που εκπέμπει το κύμα) ως προς το μέσο διάδοσης.

Τα πρόσημα στις ταχύτητες ακολουθούν την εξής σύμβαση: μια θετική τιμή σημαίνει κίνηση του παρατηρητή προς την πηγή, ενώ μια αρνητική τιμή σημαίνει απομάκρυνση από την πηγή. Για την ταχύτητα της πηγής ισχύει η αντίστροφη σύμβαση.

8. Coarse

Στον τομέα των μαθηματικών, της γεωμετρίας και της τοπολογίας, μια δομή coarse σε ένα σύνολο X είναι μια συλλογή από υποσύνολα του καρτεσιανού γινομένου $X \times X$ με ορισμένες ιδιότητες οι οποίες επιτρέπουν τη μεγάλης κλίμακας δομή των μετρικών και τυπολογικών χώρων που θα καθορισθεί.

9. Dead- reckoning

Στην πλοήγηση, το *dead reckoning* or *dead-reckoning* (επίσης *ded* για *deduced reckoning* ή *DR*) είναι η διαδικασία υπολογισμού της τρέχουσας θέσης ενός ατόμου, χρησιμοποιώντας μια καθορισμένη θέση, ή η διόρθωση και βελτίωση αυτής της θέσης με βάση γνωστές ή εκτιμώμενες ταχύτητες στο διαρρεύσαντα χρόνο και πορεία. Ο αντίστοιχος όρος στη βιολογία, χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις διαδικασίες με τις οποίες τα ζώα προσαρμόζονται ώστε να εκτιμήσουν τη θέση τους για την ολοκλήρωση μιας διαδρομής.

10. Βηματικός κινητήρας

Οι βηματικοί κινητήρες, σε γενικό πλαίσιο, σύμφωνα με τον Bishop (2002) είναι σύγχρονοι ηλεκτρικοί κινητήρες που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Ειδικότερα ως βηματικός κινητήρας ορίζεται μια ηλεκτρομηχανική συσκευή η οποία μετατρέπει τους ηλεκτρικούς παλμούς σε ιδιαίτερες μηχανικές κινήσεις, δηλαδή σε πολλαπλά μηχανικά βήματα. Οι κινήσεις αυτές μπορεί να είναι είτε κυκλικές (περιστροφικός κινητήρας) είτε γραμμικές (γραμμικός κινητήρας). Αναφορικά

υπάρχουν διαφορετικοί τύποι βηματικών κινητήρων (που εκτελούν είτε κυκλικές είτε γραμμικές κινήσεις). Οι τρεις βασικότεροι κατά τον Bishop (2002) είναι οι εξής: κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης (περιστροφικοί ή γραμμικοί), κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (περιστροφικοί ή γραμμικοί) και υβριδικοί κινητήρες (περιστροφικοί ή γραμμικοί)

11. MCU

Ένας Microcontroller Unit (συντομογραφία του μC , UC ή MCU) είναι ένας μικρός υπολογιστής σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο κύκλωμα που περιέχει ένα περιφερειακό κεντρικό επεξεργαστή, μνήμη και προγραμματιζόμενη είσοδο / έξοδο.

Οι MCU χρησιμοποιούνται σε ελεγχόμενα αυτόματα προϊόντα και συσκευές, όπως συστήματα ελέγχου, ιατρικές συσκευές και άλλα ενσωματωμένα συστήματα.