



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

**Απομακρυσμένος έλεγχος ρομποτικών οχημάτων μέσω
ασύρματων δικτύων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Δημήτριου Δάβου

Επιβλέπων : Σκούτας Δημήτριος

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

Σκούτας Δημήτριος, Επίκουρος Καθηγητής

Κορμέντζας Γεώργιος, Καθηγητής

Βλάχου Ακριβή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Σάμος, [Μάρτιος, 2023]

Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και δηλώνω ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω αναφέρει τις πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.

Πρόλογος και ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την στήριξη που μου παρέχει όλα αυτά τα χρόνια. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Δημήτριο Σκούτα, για την πολύτιμη συνεισφορά του καθώς και τους συναδέλφους μου αλλά και του μαθητές μου, που με υποστήριξαν ψυχολογικά. Τέλος να ευχαριστήσω του φίλους μου, τους συμφοιτητές μου, αλλά και τους καθηγητές του εν λόγω μεταπτυχιακού προγράμματος, που με τις συμβουλές τους και τις γνώσεις τους, συνέβαλαν τα μέγιστα για την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

© [2023]

του

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΔΑΒΟΥ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	1
1.1	Απομακρυσμένος έλεγχος, ασύρματα δίκτυα και ρομπότ	1
1.2	Αντικείμενο διπλωματικής	2
1.3	Δομή της διπλωματικής	2
2	Ιστορική αναδρομή. Τα πρώτα ρομπότ	4
2.1	Ο όρος ρομπότ	4
2.2	Ρομπότ από τον αρχαίο ελληνικό μύθο και ιστορία	4
2.2.1	Το ιπτάμενο περιστέρι του Αρχύτα - Ένα από τα πρώτα ρομπότ	5
2.2.2	Τα αυτόματα θέατρα του Ήρωνος	6
2.2.3	Ο ατμοστρόβιλος του Ήρωνος	6
2.3	Ρομπότ στον 20 ^ο αιώνα	7
2.3.1	Robot Rat	7
2.3.2	Elektro	7
2.3.3	Ρομπότ Elmer και Elsie	8
2.3.4	Τηλεχειριζόμενος αρθρωτός βραχίονας	8
2.3.5	Squee	9
2.3.6	Stanford Cart	9
2.3.7	Unimate	10
2.3.8	Rancho Arm	11
2.3.9	Stanford Arm	11
2.3.10	Shakey	12
2.3.11	WABOT-1	12
2.3.12	Dante 1992	13
2.3.13	RoboTuna	13
2.4	Ρομπότ και εξερεύνηση του διαστήματος	14
2.4.1	Robonaut	14
2.4.2	Spirit	14
2.4.3	Spidernaut	15
2.4.4	Curiosity	16
2.4.5	Perseverance	17
2.5	Η χρήση των ρομπότ σήμερα σε πληθώρα εφαρμογών	19
2.5.1	Οικιακή χρήση	20
2.5.2	Βιομηχανία	20

2.5.3	Ιατρική	20
2.5.4	Χρήση στις επιστήμες της Φυσικής και της Χημείας	20
2.5.5	Εκπαίδευση	21
3	Η δομή ενός συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου.....	22
3.1	Γενική αρχιτεκτονική ενός συστήματος ελέγχου ρομποτικών οχημάτων.....	23
3.2	Τύποι ρομποτικών συστημάτων.....	27
3.2.1	Κινητά ρομπότ	27
3.2.2	Βιομηχανικά / Αρθρωτά ρομπότ	29
3.2.3	Ανθρωποειδή ρομπότ	29
3.2.4	Cobots / Συνεργατικά ρομπότ	30
3.2.5	Υβριδικά ρομπότ	30
3.3	Απομακρυσμένος έλεγχος ρομποτικών οχημάτων	30
3.3.1	Συστήματα τηλεχειρισμού	31
3.4	Δίκτυα και απομακρυσμένος έλεγχος.....	35
3.4.1	Ασύρματες Τεχνολογίες	36
3.4.2	Ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής (WPAN)	38
3.4.3	Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN)	40
3.4.4	Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα (WMAN)	43
3.4.5	Ασύρματα Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (WWAN)	44
4	Υλοποίηση συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου.....	50
4.1	Εισαγωγή.....	50
4.2	Η ρομποτική πλατφόρμα.....	52
4.3	Το κύκλωμα τροφοδοσίας του ρομποτικού συστήματος.....	52
4.4	Υλοποίηση του ρομποτικού συστήματος	55
4.5	Ανάπτυξη λογισμικού ελέγχου λειτουργιών	57
4.6	Δημιουργία εφαρμογής απομακρυσμένου ελέγχου.....	62
4.7	Ενεργοποίηση του ρομποτικού οχήματος, αποτελέσματα και συμπεράσματα	64
	Βιβλιογραφία	67
	Παράρτημα Ι Επεξήγηση του κώδικα ελέγχου του ρομποτικού οχήματος.....	72

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 Το ιπτάμενο περιστέρι του Αρχύτα [1]	5
Εικόνα 2 Το αυτόματο θέατρο του Ήρωνα [1]	6
Εικόνα 3 Σχέδιο που απεικονίζει τον ατμοστρόβιλο του Ήρωνα	6
Εικόνα 4 Απόκομμα εφημερίδας που αναφέρεται στο μηχανικό αρουραίο [2]	7
Εικόνα 5 Το ρομπότ Elektro [3]	7
Εικόνα 6 Το ρομπότ Elmer [4]	8
Εικόνα 7 Ο τηλεχειριζόμενος αρθρωτός βραχίονας [5]	8
Εικόνα 8 Το ρομπότ Squee [7]	9
Εικόνα 9 Το Stanford Cart [8]	10
Εικόνα 10 Το βιομηχανικό ρομπότ Unimate [9]	10
Εικόνα 11 Το ρομπότ Rancho Arm [10]	11
Εικόνα 12 Το Stanford Arm [10]	11
Εικόνα 13 Το ρομπότ Shakey [12]	12
Εικόνα 14 Το WABOT-1 [13]	13
Εικόνα 15 Το ρομπότ Robonaut [16]	14
Εικόνα 16 Το ρόβερ Spirit [18]	15
Εικόνα 17 Το Spidernaut [20]	15
Εικόνα 18 Το ρόβερ Curiosity [21]	16
Εικόνα 19 Το ρόβερ Curiosity [21]	17
Εικόνα 20 Το ρόβερ Perseverance [22]	17
Εικόνα 21 Το πρώτο δείγμα [22]	18
Εικόνα 22 Το ελικόπτερο Ingenuity λίγο πριν την απελευθέρωσή του [22]	19
Εικόνα 23 Ένα σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου[25]	23
Εικόνα 24 Βασικό μοντέλο ενός ρομποτικού οχήματος [26]	26
Εικόνα 25 Σχέδιο ρομποτικού βραχίονα με αρίθμηση συνδέσμων και αρθρώσεων	29
Εικόνα 26 Ρομποτικό όχημα με εξωτερικούς αισθητήρες[29]	32
Εικόνα 28 Ο σταθμός DSN στη Μαδρίτη της Ισπανίας [31]	33
Εικόνα 27 Κεραίες του DSN στο Goldstone της Καλιφόρνιας [30]	33
Εικόνα 29 Ο σταθμός DSN στη Καμπέρα της Αυστραλίας [32]	34
Εικόνα 30 Οι τέσσερις κατηγορίες ασύρματων δικτύων [34]	36
Εικόνα 31 Συσκευές συνδεδεμένες στο δίκτυο Wi-Fi	40
Εικόνα 32 Ομάδα δορυφόρων LEO με σκοπό την καθολική συνδεσιμότητα	48
Εικόνα 33 Electromagnetic Spectrum[44]	49
Εικόνα 34 Η δομή ενός συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου	50
Εικόνα 35 Το κύκλωμα τροφοδοσίας του ρομπότ	52

Εικόνα 36 Το κύκλωμα τροφοδοσίας του ρομποτικού οχήματος.....	53
Εικόνα 37 Ο μετασχηματιστής που χρησιμοποιήσαμε για τις αρχικές δοκιμές	53
Εικόνα 38 Οι μπαταρίες τύπου 18650	54
Εικόνα 39 Ο φορτιστής των μπαταριών μας.....	54
Εικόνα 40 Η βάση μπαταριών	55
Εικόνα 41 Το Stepper Driver Dual H Bridge Module	55
Εικόνα 42 Η πλακέτα ESP8266	56
Εικόνα 43 Το τελικό κύκλωμα του ρομπότ [47].....	56
Εικόνα 44 Η τελική μορφή του ρομποτικού οχήματος.....	57
Εικόνα 45 Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) [48]	58
Εικόνα 46 Ένα βασικό πρόγραμμα Arduino [48]	59
Εικόνα 47 Ο κώδικας που φορτώνουμε στην πλακέτα 1[48]	60
Εικόνα 48 Ο κώδικας που φορτώνουμε στην πλακέτα 2[48]	60
Εικόνα 49 Ο κώδικας που φορτώνουμε στην πλακέτα 3[48]	61
Εικόνα 50 Ο κώδικας που φορτώνουμε στην πλακέτα 4[48]	61
Εικόνα 51 Το λογότυπο της διαδικτυακής εφαρμογής App Inventor [49]	62
Εικόνα 52 Στιγμιότυπο από τη δημιουργία της εφαρμογής 1[49]	62
Εικόνα 53 Στιγμιότυπο από τη δημιουργία της εφαρμογής 2[49]	63
Εικόνα 54 Η τελική εφαρμογή που εγκαταστήσαμε στην έξυπνη συσκευή.....	64
Εικόνα 55 Ενεργειακή κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής.....	65
Εικόνα 56 Μέση ενεργειακή κατανάλωση σε κατάσταση οδήγησης.....	65
Εικόνα 57 Γραφική παράσταση της απόστασης σε σχέση με το χρόνο	66

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 Η εξέλιξη του προτύπου 802.11 [36]	43
Πίνακας 2 Σύγκριση μεταξύ των τεχνολογιών 4G και 5G [37].....	45
Πίνακας 3 Radio Frequency Spectrum[43].....	48

Ακρωνύμια

DC	Direct Current
Wi-Fi	Wireless Fidelity
H/Y	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής
LAN	Local Area Network
RC	Remote Controlled
NASA	National Aeronautics and Space Administration
MIT	Massachusetts Institute of Technology
AUVs	Autonomous Underwater Vehicles
MER-A	Mars Exploration Rover - A
FDMA	Frequency Division Multiple Access
TDMA	Time Division Multiple Access
DSN	Deep Space Network
UHF	Ultra High Frequency
UAVs	Unmanned Aerial Vehicle
ΔτΠ	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
ADrs	Amateur Drones
SDrs	Surveillance Drones
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
MU MIMO	Multiple User Multiple Input Multiple Output
MU OFDMA	Multi User Orthogonal Frequency Division Multiple Access

SR	Spatial Reuse
MAC	Media Access Control
QoS	Quality of Service
BDMA	Beam Division Multiple Access
HD	High Definition
WPANs	Wireless Personal Area Networks
WLANs	Wireless Local Area Networks
WMANs	Wireless Metropolitan Area Networks
WWANs	Wireless Wide Area Networks
IrDA	Infrared Data Association
UWB	Ultra Wide Band
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WiBro	Wireless Broadband
6LoWPAN	IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks
FCC	Federal Communications Commission
LEO	Low Earth Orbit
5G NR	5G New Radio
NodeMCU	Node MicroController Unit
SoC	System on a Chip
SDK	Software Development Kit
IDE	Integrated Development Environment
BLE	Bluetooth Low Energy

VLEO	Very-Low Earth Orbit
RF	Radio Frequency
VLF	Very Low Frequency
LF	Low Frequency
MF	Medium Frequency
HF	High Frequency
VHF	Very High Frequency
SHF	Super High Frequency
EHF	Extremely High Frequency
HTTP	Hypertext Transfer Protocol

Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με τον απομακρυσμένο έλεγχο ρομποτικών οχημάτων μέσω ασύρματων δικτύων. Στις μέρες μας, η χρήση των ρομπότ ολοένα και αυξάνεται. Χρησιμοποιούμε ρομπότ για να μαγειρέψουμε, για να διασκεδάσουμε, για να μας βοηθήσουν με τον καθαρισμό του σπιτιού ή της πισίνας μας, για να επιτηρήσουμε τα σύνορά μας, για να τραβήξουμε φωτογραφίες, για να πραγματοποιήσουμε δύσκολες χειρουργικές επεμβάσεις, για να παρακολουθήσουμε επικίνδυνα περιβάλλοντα που είναι δύσκολα να πλησιάσουμε και πολλά άλλα. Ξεκινάμε με μία ιστορική αναδρομή, εξηγώντας τι σημαίνει ο όρος "ρομπότ" αλλά και από που αυτός προέρχεται και συνεχίζουμε με αναφορές από τον αρχαίο ελληνικό μύθο και την αρχαία Ελλάδα που αναφέρονται στα πρώτα ρομπότ. Εν συνεχεία, στεκόμαστε σε ρομπότ που δημιουργήθηκαν τον προηγούμενο αιώνα και αποτέλεσαν την βάση για τα σημερινά ρομπότ. Μετά το πέρας της ιστορικής αναδρομής, ακολουθούν αναφορές για το τι είναι ο απομακρυσμένος έλεγχος και ποια η γενική αρχιτεκτονική και οι απαιτήσεις επικοινωνίας ενός συστήματος ελέγχου ρομποτικών οχημάτων. Επίσης θα μιλήσουμε για τα ασύρματα δίκτυα και τις ασύρματες τεχνολογίες γενικότερα αλλά και για τους διάφορους τύπους ρομπότ και τις χρήσεις αυτών, στην καθημερινή μας ζωή.

Στο τέλος αναφερόμαστε στη δομή ενός συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου και δημιουργούμε μια ρομποτική κατασκευή. Πρόκειται για ένα ρομποτικό όχημα που ελέγχεται μέσω ενός ασύρματου δικτύου. Το δίκτυο που χρησιμοποιούμε είναι το Wi-Fi και για τηλεχειριστήριο χρησιμοποιούμε μια κινητή συσκευή Android. Το όχημά μας αποτελείται από δύο κινητήρες DC, μία πλακέτα με Wi-Fi module, έναν οδηγητή κινητήρων, ένα κύκλωμα τροφοδοσίας, καλώδια και μπαταρίες. Χρησιμοποιούμε λογισμικό Arduino για την δημιουργία του απαραίτητου προγράμματος που θα "φορτώσουμε" στην πλακέτα, καθώς και την διαδικτυακή πλατφόρμα App Inventor για την δημιουργία του app που θα εγκαταστήσουμε στην κινητή μας συσκευή.

Τροποποιήσεις και μελλοντικές αλλαγές που θα μπορούσαν να γίνουν στο ρομπότ θα ήταν η χρήση μιας 4G/5G πλακέτας αντί της πλακέτας Wi-Fi. Με αυτό τον τρόπο το ρομπότ θα είναι σε θέση να ελεγχθεί μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας 4G ή 5G, οπότε έτσι ο απομακρυσμένος έλεγχος θα μπορεί να πραγματοποιηθεί από οποιοδήποτε σημείο της γης.

Λέξεις Κλειδιά: ρομπότ, Wi-Fi, δίκτυα

Abstract

In this thesis, we will deal with the remote control of robotic vehicles via wireless networks. Nowadays, the use of robots is increasing. We use robots to cook, to entertain, to help us with cleaning our house or swimming pool, to guard our borders, to take pictures, to perform difficult surgical procedures, to monitor dangerous environments that are difficult to approach, and many more. We start with a historical review, explaining what the term "robot" means and where it comes from, and continue with references from ancient Greek myth and ancient Greece that refer to the first robots. Next, we look at robots that were created in the last century and formed the basis for today's robots. After the historical review, there follow reports on what remote control is and what the general architecture and communication requirements of a robotic vehicle control system are. We will also talk about wireless networks and wireless technologies in general, as well as the different types of robots and their uses in our daily life.

At the end, we refer to the structure of a remote control system and create a robotic construction. It is a robotic vehicle controlled via a wireless network. The network we use is Wi-Fi, and for remote control, we use an Android mobile device. Our vehicle consists of two DC motors, a board with a Wi-Fi module, a motor driver, a power supply circuit, cables, and batteries. We use Arduino software to create the necessary program to "load" in the board and the App Inventor web platform to create the app to install on our mobile device.

Modifications and future changes that could be made to the robot would be to use a 4G/5G board instead of the Wi-Fi board. This way, the robot would be able to be controlled via a 4G or 5G cellular network, so remote control could be carried out from anywhere on earth.

Keywords: *robot, Wi-Fi, networks*

1

Εισαγωγή

1.1 Απομακρυσμένος έλεγχος, ασύρματα δίκτυα και ρομπότ

Η ρομποτική έχει αναπτυχθεί γρήγορα και έχει προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον. Τα τηλεχειριζόμενα κινητά ρομπότ είναι ένα από αυτά και αποτελούν σημαντικό κλάδο στον τομέα της έρευνας των ρομπότ. Έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς και έχουν επιτύχει εκπληκτικά αποτελέσματα. Τα ρομπότ έχουν ζωτικό ρόλο στην τηλεϊατρική, την εκπαίδευση, τους πυρηνικούς χώρους, τις στρατιωτικές εφαρμογές και την εξερεύνηση του διαστήματος ενώ επίσης απασχολούνται σε επικίνδυνα ή άβολα μέρη για να διασφαλίσουν την ασφάλεια του εργατικού δυναμικού.

Κατά συνέπεια, τα τηλεχειριζόμενα κινητά ρομπότ έχουν γίνει δημοφιλή. Τα τελευταία χρόνια, τα τηλεχειριζόμενα ρομπότ χρησιμοποιούσαν ως επί το πλείστον σταθερούς Η/Υ, φορητούς υπολογιστές ή βιομηχανικούς υπολογιστές ως κέντρα ελέγχου. Αυτές οι συσκευές είναι αρκετά δαπανηρές, έχουν σημαντική κατανάλωση ενέργειας, δεν είναι φορητές και είναι δύσκολο να τροφοδοτηθούν σε εξωτερικούς χώρους. Διάφορες νέες συσκευές, όπως τα κινητά τηλέφωνα ή τα τάμπλετ, μπορούν σήμερα να χρησιμοποιηθούν σαν συστήματα ελέγχου, για την παρακολούθηση και τον απομακρυσμένο έλεγχο άλλων αντικειμένων. Αν και τα συστήματα παρακολούθησης δεν έχουν υψηλές απαιτήσεις στην ταχύτητα μετάδοσης των εμφανιζόμενων δεδομένων, ο έλεγχος ενός απομακρυσμένου κινητού ρομπότ σε πραγματικό χρόνο έχει υψηλές απαιτήσεις.

1.2 Αντικείμενο διπλωματικής

Στη παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με τον απομακρυσμένο έλεγχο ρομποτικών οχημάτων μέσω ασύρματων δικτύων. Αρχικά θα δούμε τι είναι γενικά ο απομακρυσμένος έλεγχος, πότε χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά αλλά και ποια ήταν η αρχική του δομή. Στη συνέχεια θα δούμε την μεταβολή του εξαιτίας της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας και ποια είναι η τελική του μορφή. Θα ακολουθήσει η γενική αρχιτεκτονική και οι απαιτήσεις επικοινωνίας ενός συστήματος ελέγχου ρομποτικών οχημάτων ενώ θα γίνει αναφορά και σε συστήματα που χρησιμοποιούνται σε μια πυρηνική εγκατάσταση αλλά και στην NASA. Αναφορές θα γίνουν και για τους διάφορους τύπους των σημερινών ρομπότ και που τα χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή αφού είναι αυτά που αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο ενός συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου.

Επίσης θα αναφερθούμε στα δίκτυα που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου. Για παράδειγμα, τα σημερινά κινητά τηλέφωνα αλλά και οι μικροί φορητοί υπολογιστές, έγιναν δημοφιλή μόλις πρόσφατα, ωστόσο διαθέτουν υποστήριξη για μεγάλο πλήθος τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας. Εκτός από τα δίκτυα που διατίθενται από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας, όπως το 3G, το 4G και το 5G, υποστηρίζονται ακόμη το Bluetooth και το Wi-Fi (Wireless Fidelity) σχεδόν σε όλες αυτές τις νέες συσκευές. Ακόμα, η δυνατότητα εκτέλεσης προσαρμοσμένου κώδικα σε αυτές τις συσκευές, αλλά και οι υπόλοιπες εξελίξεις που λαμβάνουν χώρα τον τελευταίο καιρό, αυξάνουν τις δυνατότητες για απεριόριστο απομακρυσμένο έλεγχο. Οι σύγχρονοι τεχνικοί δεν είναι πλέον υποχρεωμένοι να κάθονται στους σταθμούς εργασίας τους στο γραφείο ή σε οποιοδήποτε άλλο πεδίο, εκτός αν υπάρχουν μοναδικές ανάγκες, όπως σενάρια με πολλούς χειριστές ή πολλούς πράκτορες.

Στις μέρες μας, τα συστήματα-στόχοι είναι προσβάσιμα σχεδόν από οπουδήποτε. Όταν μια κινητή συσκευή βρίσκεται κοντά στο αντικείμενο που πρέπει να ελεγχθεί, μπορεί να χρησιμοποιήσει Bluetooth ή ασύρματο LAN (Local Area Network) ενώ όταν βρίσκεται μακριά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ασύρματα δίκτυα 4G ή 5G. Τα τηλεχειριζόμενα κινητά ρομπότ με βάση το δίκτυο έχουν γίνει το επίκεντρο της έρευνας λόγω της ευρείας χρήσης των δικτύων Wi-Fi. Τελειώνοντας θα δημιουργήσουμε και εμείς με τη σειρά μας ένα σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου. Θα κατασκευάσουμε από την αρχή ένα ρομποτικό όχημα που θα ελέγχεται απομακρυσμένα μέσω ενός δικτύου Wi-Fi. Εμείς θα είμαστε οι χειριστές του συστήματος, το έξυπνο κινητό μας θα είναι η συσκευή ελέγχου, το δίκτυο μετάδοσης θα είναι όπως είπαμε το Wi-Fi ενώ η ελεγχόμενη συσκευή θα είναι το τρίτροχο ρομποτικό όχημα.

1.3 Δομή της διπλωματικής

Η δομή της διπλωματικής διαρθρώνεται ως εξής. Στο κεφάλαιο 2 ξεκινάμε με μία ιστορική αναδρομή, εξηγώντας τι σημαίνει ο όρος "ρομπότ" και συνεχίζουμε με αναφορές από τον αρχαίο ελληνικό μύθο που αναφέρονται στα πρώτα ρομπότ. Έπειτα, στεκόμαστε σε ρομπότ που δημιουργήθηκαν τον προηγούμενο αιώνα και αποτέλεσαν την βάση για τα σημερινά ρομπότ. Στο κεφάλαιο 3 ακολουθούν αναφορές για τη δομή ενός συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου, τα

ασύρματα δίκτυα και τις ασύρματες τεχνολογίες γενικότερα αλλά και για τους διάφορους τύπους ρομπότ και τις χρήσεις αυτών, στην καθημερινή μας ζωή.

Στο κεφάλαιο 4, δημιουργούμε ένα σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου που είναι μια ρομποτική κατασκευή. Πρόκειται για ένα ρομποτικό όχημα που ελέγχεται μέσω ενός ασύρματου δικτύου. Το δίκτυο που χρησιμοποιούμε είναι το πρότυπο 802.11 και για τηλεχειριστήριο χρησιμοποιούμε το κινητό μας. Το όχημά μας αποτελείται από δύο κινητήρες DC, μία πλακέτα με Wi-Fi module, έναν οδηγητή κινητήρων, ένα κύκλωμα τροφοδοσίας, καλώδια και μπαταρίες. Χρησιμοποιούμε λογισμικό Arduino για την δημιουργία του απαραίτητου προγράμματος που θα "φορτώσουμε" στην πλακέτα, καθώς και την διαδικτυακή πλατφόρμα App Inventor για την δημιουργία του app που θα εγκαταστήσουμε στην κινητή μας συσκευή.

2

Ιστορική αναδρομή. Τα πρώτα ρομπότ

2.1 Ο όρος ρομπότ

Από την αρχαιότητα σκέφτονταν πως να δημιουργήσουν μηχανές που θα μπορούσαν να εκτελούν επίπονες ή επαναλαμβανόμενες εργασίες, απαλλάσσοντας τους ανθρώπους από αυτό το φορτίο. Ορισμένες από αυτές τις μηχανές, γνωστές ως "αυτόματα", έχουν επινοηθεί και δημιουργηθεί από την ελληνιστική εποχή και έχουν περάσει σε διάφορους πολιτισμούς στο πέρασμα των αιώνων. Ενώ ο όρος "ρομπότ" έχει έναν ευρύτερο ορισμό, η λέξη "αυτόματα" αναφέρεται κυρίως σε μηχανές που μοιάζουν με ανθρώπους. Το 1920 ένας Τσέχος συγγραφέας ο Karel Čapek είναι αυτός που χρησιμοποιεί την λέξη "robota" για πρώτη φορά στο βιβλίο του "R.U.R. : Rossum's Universal Robots". Η λέξη αυτή σημαίνει "καταναγκαστική εργασία" ή "επίπονη προσπάθεια" και από αυτήν προέκυψε ο σημερινός όρος "ρομπότ". Στο συγκεκριμένο έργο ο συγγραφέας σατιρίζει την εξάρτηση της κοινωνίας από τα ρομπότ, που στο τέλος εξοντώνουν τους δημιουργούς τους.

2.2 Ρομπότ από τον αρχαίο ελληνικό μύθο και ιστορία

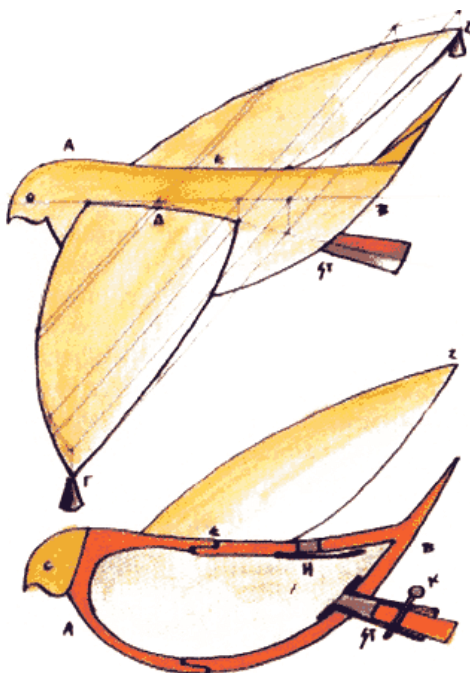
Αρκετές αναφορές για ρομπότ έχουμε στους αρχαίους ελληνικούς μύθους. Ένα από τα αρχαία αυτά ελληνικά μυθικά ρομπότ είναι ο φρουρός της Κρήτης Τάλως. Κατασκευάστηκε από τον θεό Ήφαιστο σαν δώρο προς τον βασιλιά της Κρήτης Μίνωα και πρόκειται για ένα χάλκινο γίγαντα ο οποίος προστάτευε την Κρήτη από τους εχθρούς της εκσφενδονίζοντας μεγάλους βράχους στους αντιπάλους του και επίσης επισκεπτόταν τα χωριά της και επέβλεπε για την εφαρμογή και τήρηση των νόμων. Ο Τάλως ήταν ένα τεράστιο ανθρωπόμορφο μηχανικό σύστημα, που είχε στο εσωτερικό του ένα υδραυλικό σύστημα. Επίσης είχε ένα σωλήνα για φλέβα, μέσα στον οποίο υπήρχε το υγρό ιχώρ, που ήταν το τεχνητό αίμα του γίγαντα, παρόμοιο με λιωμένο μολύβι. Το υγρό αυτό ήταν σημαντικό για τη κίνηση των μεταλλικών μερών αυτής της θεόρατης ανθρωπομηχανής. Οι περιγραφές αυτού του μυθικού αυτόματου προέρχονται από τον Απολλώνιο τον Ρόδιο, τον Σοφοκλή και τον Απολλόδωρο.

Σε Ραψωδία της Ιλιάδας που καλείται Οπλοποιία αναφέρεται άλλο ένα μυθικό αυτόματο. Πρόκειται για τους αυτόματους τρίποδες. Αυτοί οι αυτόματοι τρίποδες ήταν πολύτιμα σκεύη, σταθερά ή κινούμενα, με ρόδες από κάτω, που χρησιμοποιούνταν είτε σαν σκεύη σε θρησκευτικές τελετές και

θυσίες, είτε για την προσφορά οίνου ή νερού στους φιλοξενούμενους. Τέτοιους κινητούς τρίποδες έφτιαχνε ο Ήφαιστος [1].

2.2.1 Το ιπτάμενο περιστέρι του Αρχύτα - Ένα από τα πρώτα ρομπότ

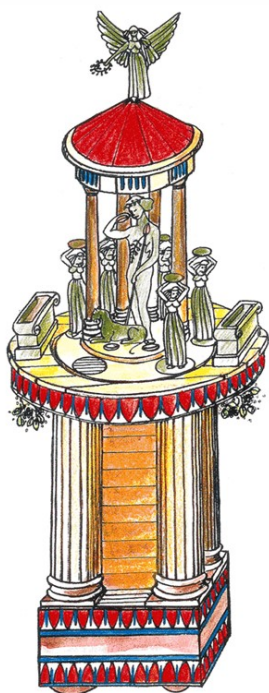
Ο Αρχύτας ο Ταραντινός ήταν επιφανής Πυθαγόρειος φιλόσοφος με καταγωγή από τον Τάραντα (428 π.Χ. – 347 π.Χ.). Ήταν γνωστός σαν μηχανικός, πολιτικός και στρατιωτικός άνδρας αλλά και σαν μαθηματικός. Μπορούμε να πούμε με σχετική βεβαιότητα ότι ο Αρχύτας κατασκεύασε ένα ιπτάμενο περιστέρι που μπορούσε να πετάξει για ένα σύντομο χρονικό διάστημα, αξιοποιώντας την ώθηση που προκαλεί η εκτόνωση πεπιεσμένου αέρα από ένα θάλαμο στο εσωτερικό του περιστεριού.



Εικόνα 1 Το ιπτάμενο περιστέρι του Αρχύτα [1]

Μελέτησε με μαθηματική ακρίβεια την αεροδυναμική συμπεριφορά και την ευστάθεια του ιπτάμενου περιστεριού παρατηρώντας και αντιγράφοντας τη φύση και κατασκεύασε τα φτερά και το σώμα από ξύλο έτσι ώστε να ζυγίζει λιγότερο. Ο Αρχύτας ήταν ο πρώτος που εισήγαγε ένα νέο κεφάλαιο στη φυσική, τα λεγόμενα Πνευματικά συστήματα με αυτή του τη κατασκευή [1].

2.2.2 Τα αυτόματα θέατρα του Ήρωνος



Η Αυτοματοποιητική του Ήρωνος είναι το αρχαιότερο γνωστό κείμενο που εμπεριέχει επιγραφές αυτόματων μηχανικών συστημάτων που είναι σε θέση να πραγματοποιούν προγραμματισμένες κινήσεις. Σε αυτό, ο Ήρωνας παρουσιάζει δύο είδη αυτόματων θεάτρων. Το κινητό και το σταθερό αυτόματο.

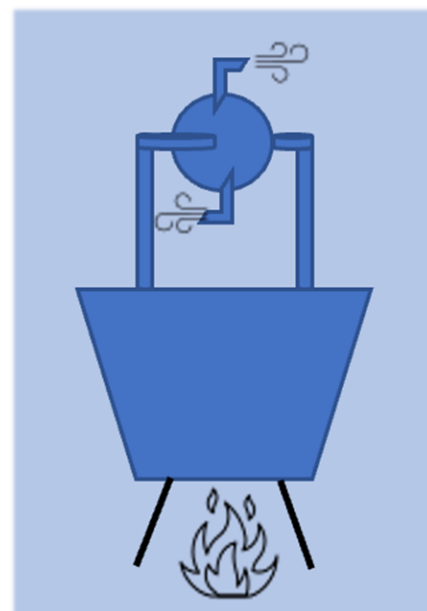
Και στα δύο αυτά είδη αυτόματων θεάτρων η κίνηση προέρχεται από την πτώση ενός μολύβδινου βάρους μέσα σε μια κλεψύδρα. Οι προγραμματιζόμενες κινήσεις πραγματοποιούνται με τρία διαφορετικά είδη περιελίξεων του νήματος. Αυτά τα αυτόματα θέατρα έμοιαζαν με ναούς και εμπεριείχαν βωμούς και Βάκχες που χόρευαν κάτω από τον ήχο κυμβάλων και τυμπάνων. Οι κεντρικές μορφές των θεάτρων αυτών ήταν ο Διόνυσος ή η Νίκη και πάνω σε αυτά τα θέατρα άναβαν φωτιές ενώ λουλούδια στεφάνωναν τον κάθε ναό [1].

Εικόνα 2 Το αυτόματο θέατρο του Ήωνα [1]

2.2.3 Ο ατμοστρόβιλος του Ήρωνος

Ο ατμοστρόβιλος ή αλλιώς αιολόσφαιρα του Ήωνα, είναι μια συσκευή που θεωρείται ο πρόάγγελος της ατμομηχανής. Πρόκειται για ένα σκεύος σφραγισμένο με καπάκι, μέσα στο οποίο υπάρχει ποσότητα νερού. Στο πάνω μέρος του καπακιού είναι τοποθετημένοι δύο σωλήνες. Τέλος, στις άκρες αυτών των σωλήνων είναι τοποθετημένη μια σφαίρα με ακόμα δύο σωλήνες εξαέρωσης. Ο ατμοστρόβιλος μετατρέπει την πίεση του ατμού σε κινητήρια περιστροφική κίνηση ως εξής:

Το νερό βράζει στο εσωτερικό του σκεύους με αποτέλεσμα την παραγωγή ατμού. Ο ατμός εισέρχεται μέσω των σωλήνων στην σφαίρα. Μόλις η σφαίρα γεμίσει με αρκετή ποσότητα υδρατμών, αυτοί προσπαθούν να διαφύγουν μέσω των δύο άλλων σωλήνων εξαέρωσης. Ο τρόπος με τον οποίο είναι τοποθετημένοι αυτοί οι δύο μικρότεροι σωλήνες, προκαλεί στη σφαίρα αυτή τη περιστροφική κίνηση.



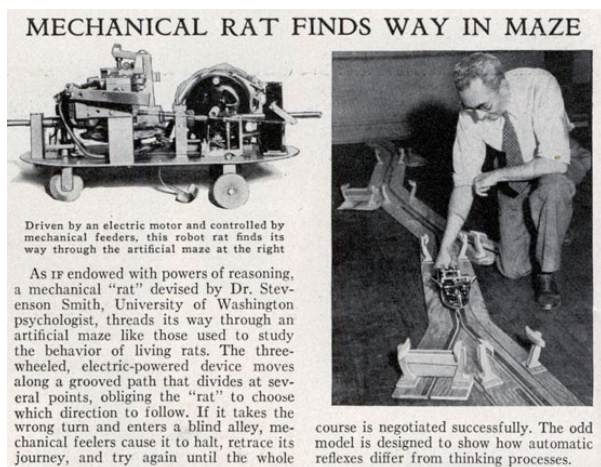
Εικόνα 3 Σχέδιο που απεικονίζει τον ατμοστρόβιλο του Ήωνα

2.3 Ρομπότ στον 20^ο αιώνα

Στο σημείο αυτό ας σταθούμε σε ορισμένα ρομπότ που δημιουργήθηκαν τα προηγούμενα χρόνια. Η ανακάλυψη τους ήταν πολύ σημαντική γιατί αποτέλεσαν την βάση για τα σημερινά ρομπότ.

2.3.1 Robot Rat

Το 1935, ο Thomas Ross, ένας ηλεκτροχημικός από το Πανεπιστήμιο της Ουάσιγκτον, μοιράστηκε τις ιδέες του με ένα καθηγητή του, τον ψυχολόγο Stevenson Smith. Ο Stevenson Smith αξιοποίησε και χρησιμοποίησε αυτές τις ιδέες με σκοπό την κατασκευή ενός μηχανικού αρουραίου.



Εικόνα 4 Απόκομμα εφημερίδας που αναφέρεται στο μηχανικό αρουραίο [2]

Το Robot Rat ήταν ένα όχημα τριών τροχών, μήκους 31 εκατοστών και πλάτους 22, με μικρούς κινητήρες, ηλεκτρομαγνήτες και διακόπτες. Ο μηχανικός αρουραίος τοποθετούνταν σε μια πίστα με αυλάκια μέσα στην οποία υπήρχαν αδιέξοδα. Όταν έμπαινε σε ένα αδιέξοδο, μηχανικές κεραίες το οδηγούσαν ξανά στην κεντρική διαδρομή ώστε να προχωρήσει πάλι εμπρός. Ο μηχανικός αρουραίος αποθήκευε τα δεδομένα έτσι ώστε την δεύτερη φορά να ολοκληρώνει την διαδρομή χωρίς κανένα σφάλμα [2].

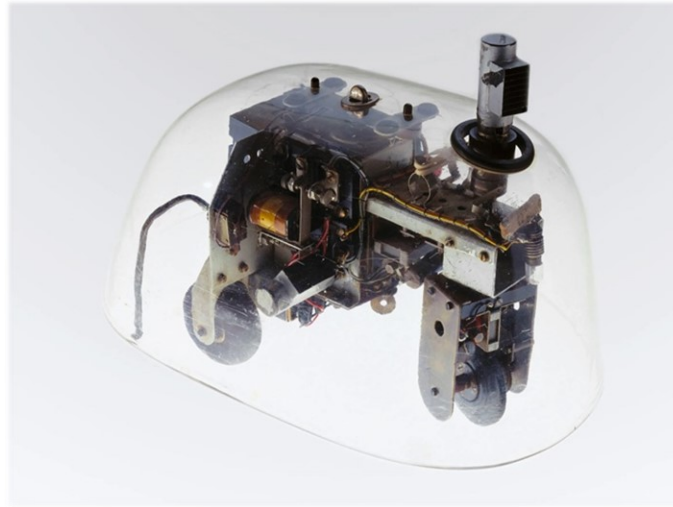
2.3.2 Elektro

Elektro είναι το όνομα ενός ρομπότ που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε από την εταιρία Westinghouse Electric Corporation μεταξύ 1937 και 1939. Το ρομπότ αυτό είχε ύψος 2.1 μέτρα, ζύγιζε 120.2 κιλά και ήταν ανθρωπόμορφο. Μπορούσε να περπατήσει, να μιλήσει, να καπνίσει, να φουσκώσει μπαλόνια και να κουνήσει το κεφάλι και τα χέρια του. Το σώμα του αποτελούνταν από ένα γρανάζι, μια κάμερα και ένα κινούμενο σκελετό επικαλούμενο από ένα στρώμα αλουμινίου. Τα "μάτια" του μπορούσαν να διακρίνουν κόκκινο και πράσινο φωτισμό [3].



Εικόνα 5 Το ρομπότ Elektro [3]

2.3.3 Ρομπότ Elmer και Elsie

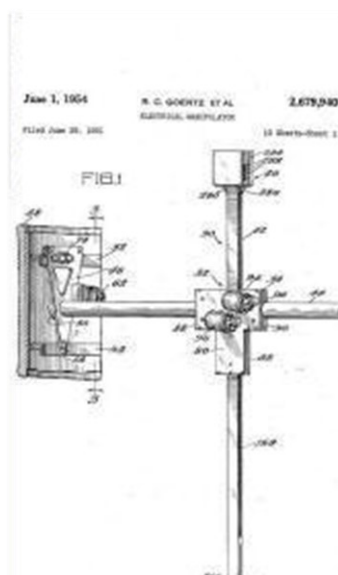


Εικόνα 6 Το ρομπότ Elmer [4]

Το 1948 και 1949 δημιουργήθηκαν τα πρώτα αυτόνομα ρομπότ με πολύπλοκη συμπεριφορά από τον William Grey Walter του Νευρολογικού Ινστιτούτου του Burden στο Bristol της Αγγλίας. Ήθελε να αποδείξει ότι λίγες συνδέσεις μεταξύ ενός μικρού αριθμού νευρώνων ήταν ικανές για την ανάπτυξη πολύπλοκων συμπεριφορών. Τα πρώτα του ρομπότ, που ονομάζονταν Elmer και Elsie, κατασκευάστηκαν ανάμεσα στο 1948 και 1949 και συχνά περιγράφονταν σαν χελώνες εξαιτίας του σχήματός τους και της αργής τους κίνησης. Είχαν τρεις τροχούς και έναν αισθητήρα ανίχνευσης φωτός για να βρίσκουν τους σταθμούς επαναφόρτισης όταν η μπαταρία τους έφτανε προς το τέλος της [4].

2.3.4 Τηλεχειριζόμενος αρθρωτός βραχίονας

Ο Raymond Goertz ήταν ένας από τους πρώτους εφευρέτες στο πεδίο της Ρομποτικής και ειδικότερα στα RC (Remote-Controlled) ρομπότ.

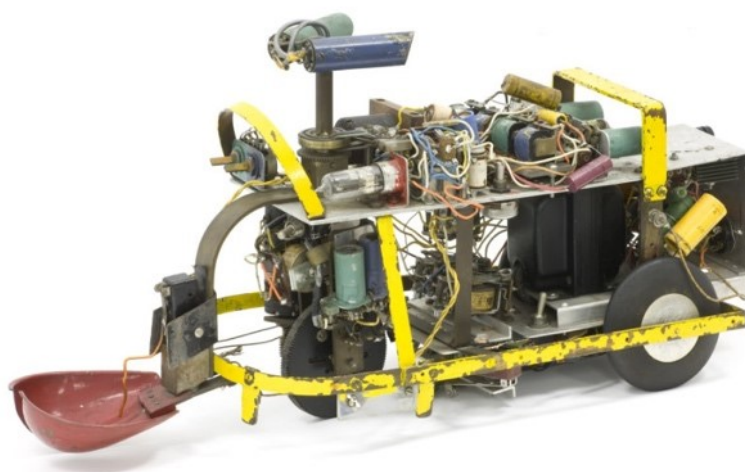


Εικόνα 7 Ο τηλεχειριζόμενος αρθρωτός βραχίονας [5]

Το 1951 καθώς εργαζόταν για την Κομισιόν Ατομικής Ενέργειας ανέπτυξε τον πρώτο βραχίονα αφέντη/σκλάβου (master/slave) με σκοπό να χειριστεί ραδιενεργά υλικά [6].

2.3.5 Squee

Το 1951, αναπτύχθηκε από τον επιστήμονα και διάσημο συγγραφέα Edmund Berkeley το Squee, ένα ηλεκτρονικό ρομπότ σκίουρος. Το ρομπότ αυτό ήταν σε θέση να μεταφέρει αντικείμενα και να ολοκληρώσει κάποιες αποστολές. Μπορούσε να μεταφέρει "καρύδια", που στην περίπτωση του ρομπότ καρύδια σημαίνει μπαλάκια του τένις. Γι' αυτό τον λόγο χαρακτηρίστηκε ως το "το πρώτο από τα αληθινά ρομπότ". Το Squee ήταν επίσης το πρώτο ρομπότ που είχε χειριστήριο.

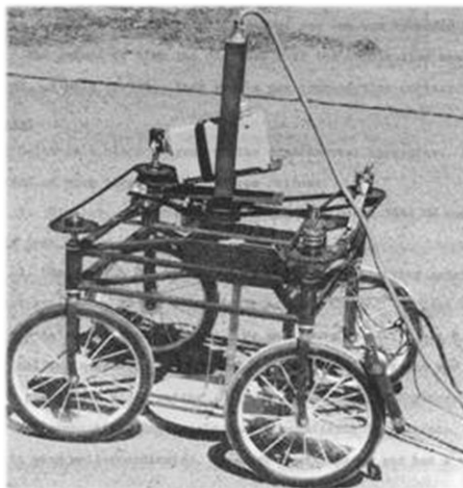


Εικόνα 8 Το ρομπότ Squee [7]

Το ρομπότ αποτελείται από 4 αισθητήρια. Επίσης περιέχει ένα μικρό εγκέφαλο από ηλεκτρονόμεους. Το ρομπότ λειτουργεί ως εξής. Κάποιος φωτίζει το μπαλάκι με σταθερό φως ώστε να καταφέρει να το ανιχνεύσει. Μόλις το Squee το ανιχνεύσει, το πλησιάζει, σηκώνει το μπαλάκι και σταματάει να ελέγχει το σταθερό φως. Στην συνέχεια ανιχνεύει ένα λαμπάκι που αναβοσβήνει και πηγαίνει το μπαλάκι στο σημείο που αναβοσβήνει το φως. Όταν ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία συνεχίζει να ψάχνει για άλλα "καρύδια" [7].

2.3.6 Stanford Cart

Το Stanford Cart κατασκευάστηκε από τον Μηχανολόγο Μηχανικό James L. Adams το 1960 για να υποστηρίξει την έρευνά του πάνω στο πρόβλημα του απομακρυσμένου ελέγχου οχήματος που χρησιμοποιούσε πληροφορίες από βίντεο. Το ρομπότ αναπτύχθηκε, όταν αυτός εργαζόταν σε ένα εργαστήριο της NASA, με σκοπό να αποσταλεί στο φεγγάρι. Το Stanford Cart αποτελούνταν από τέσσερις ρόδες με ηλεκτροκινητήρες που τροφοδοτούνταν από μπαταρία. Ήταν εξοπλισμένο με



Εικόνα 9 To Stanford Cart [8]

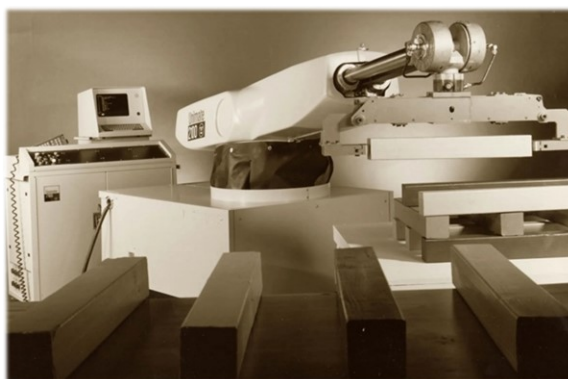
κάμερα, τοποθετημένη με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να μεταδίδει την εικόνα της μπροστινής κατεύθυνσης.

Το ρομπότ ήταν συνδεδεμένο με ένα μακρύ καλώδιο για να επικοινωνεί με την κεντρική κονσόλα. Η κεντρική κονσόλα αποτελούνταν από μια οθόνη και κοντρόλ για τον έλεγχο της διεύθυνσης και της ταχύτητας [8].

2.3.7 Unimate

Το 1961 το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ, Unimate, χρησιμοποιήθηκε στην γραμμή παραγωγής της Τζένεραλ Μότορς. Η εργασία που επιτελούσε στην συγκεκριμένη εταιρία ήταν η μεταφορά σιδερένιων εξαρτημάτων που προορίζονταν για τον σκελετό του αυτοκινήτου. Η συνεισφορά του ήταν πολύ σημαντική γιατί στον χώρο που λειτουργούσε υπήρχαν τοξικά αέρια και πολλοί άλλοι κίνδυνοι για τους ανθρώπους.

Το ρομπότ Unimate δημιουργήθηκε από την εταιρία Unimation που ιδρύθηκε από τον George Devol και τον Joseph F. Engelberger το 1956. Τα ρομπότ αυτής της εταιρίας μετέφεραν αντικείμενα από ένα σημείο σε κάποιο άλλο, για αποστάσεις τεσσάρων μέτρων το πολύ.



Εικόνα 10 Το βιομηχανικό ρομπότ Unimate [9]

Ήταν γνωστά και ως μηχανές προγραμματισμένων μεταφορών. Είχαν προγραμματιστεί σε κοινές συντεταγμένες και χρησιμοποιούσαν υδραυλικούς ενεργοποιητές [9].

2.3.8 Rancho Arm



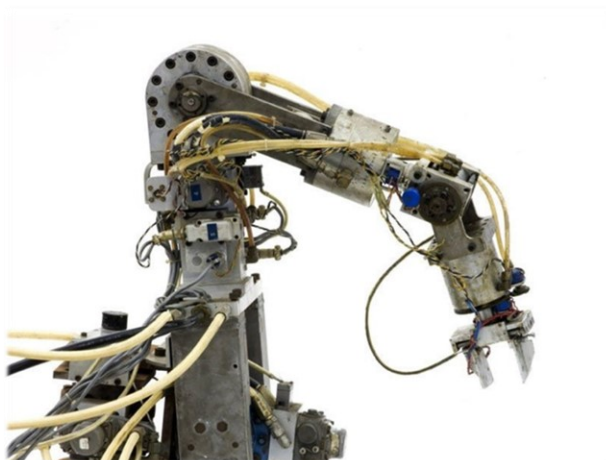
Εικόνα 11 Το ρομπότ Rancho Arm [10]

Το ρομπότ Rancho Arm ήταν ένας ρομποτικός βραχίονας που είχε σαν στόχο να βοηθήσει άτομα με ειδικές ικανότητες. Αυτό το τεχνητό μέλος αναπτύχθηκε το 1963 από μια ομάδα επιστημόνων του νοσοκομείου Λος Αμίγκος της Καλιφόρνια.

Αγοράστηκε από το πανεπιστήμιο του Stanford το 1963 και έγινε το πρώτο τεχνητό μέλος που ελεγχόταν από ηλεκτρονικό υπολογιστή [10].

2.3.9 Stanford Arm

Το 1969 στο Πανεπιστήμιο του Stanford κατασκευάστηκε το Stanford Arm από τον Victor Scheinman. Ήταν ένας πλήρης ηλεκτρικός, ρομποτικός άξονας με έξι αρθρώσεις, σχεδιασμένος κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ακολουθεί με ακρίβεια αυθαίρετες διαδρομές στον χώρο. Αυτό το γεγονός διέυρνε τις δυνατότητες χρήσης του ρομπότ σε πιο εξελιγμένες εφαρμογές όπως η συναρμολόγηση και η συγκόλληση.



Εικόνα 12 Το Stanford Arm [10]

Μετά από αυτήν την ανακάλυψη ο Scheinman εφηύρε και δεύτερο ρομποτικό βραχίονα. Στην συνέχεια πούλησε τα σχέδιά του στην εταιρία Unimation οπότε με την βοήθεια της General Motors τα εξέλιξε και τα έβγαλε αργότερα στην αγορά ως την καθολικά προγραμματιζόμενη μηχανή για συναρμολόγηση [11].

2.3.10 Shakey

Το Shakey ήταν το πρώτο κινητό ρομπότ γενικής χρήσης, και ήταν ικανό να γνωρίζει για ποιο λόγο κάνει μια ενέργεια. Μπορούσε να αναλύσει μια εντολή και να την σπάσει σε μικρά κομμάτια από μόνο του. Εξαιτίας αυτού, συνδυάζει ανάπτυξη της Ρομποτικής, της Μηχανικής Όρασης (Computer Vision) και της Επεξεργασίας Φυσικής Γλώσσας (Natural Language Processing).

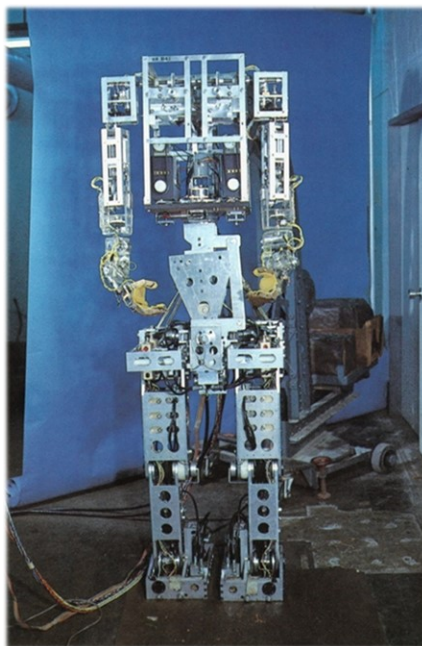


Εικόνα 13 Το ρομπότ Shakey [12]

Το Shakey συνδυάζει επίσης και αρκετούς αισθητήρες όπως κάμερες, αισθητήρες laser και αισθητήρες πλοήγησης. Το Shakey αναπτύχθηκε στο Artificial Intelligence Center του τεχνολογικού ινστιτούτου Stanford μεταξύ 1966 και 1972 [12].

2.3.11 WABOT-1

Το WABOT-1 ήταν το πρώτο ανθρωπόμορφο ρομπότ κανονικού μεγέθους που δημιουργήθηκε στον κόσμο. Το κατασκευαστικό του κομμάτι περιείχε ένα ειδικό σύστημα συνομιλίας και όρασης καθώς και ένα ακόμα σύστημα ελέγχου για τα χέρια και τα πόδια του. Το ρομπότ μπορούσε να συνομιλήσει με ένα άνθρωπο στα Ιαπωνικά και ήταν ικανό να μετράει αποστάσεις και διαδρομές σε διπλανά αντικείμενα χρησιμοποιώντας διάφορους αισθητήρες όπως τεχνητά μάτια, αυτιά και στόμα.



Εικόνα 14 Το WABOT-1 [13]

Το WABOT-1 κινούνταν και ήταν ικανό να αρπάζει και να μεταφέρει αντικείμενα με τα χέρια του. Εκτιμάται ότι είχε την νοημοσύνη ενός παιδιού 1.5 χρόνων. Το WABOT-1 επινοήθηκε και δημιουργήθηκε από τον Ichiro Kato το 1973 [13].

2.3.12 Dante 1992

Το ρομπότ αυτό δημιουργήθηκε από την επιστημονική ομάδα του πανεπιστημίου Καρνέγκι Μέλον στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Πρόκειται για το πρώτο ρομπότ που επέτρεψε στον άνθρωπο να μελετήσει από πολύ κοντά τον κρατήρα ενός ενεργού ηφαιστείου. Ωστόσο η πρώτη εξερεύνησή του σε ηφαίστειο στο βουνό Έρεβος της Ανταρκτικής απέτυχε αλλά αργότερα ακολούθησε και δεύτερη που στέφθηκε με επιτυχία.

Ο Dante κατάφερε να μπει και στον κρατήρα του ηφαιστείου του βουνού Σπουρ στην Αλάσκα και να συλλέξει πολύτιμες πληροφορίες. Το ρομπότ μπορούσε να σκαρφαλώσει σε πολύ δύσβατες περιοχές και με μεγάλη κλίση. Είχε μορφή αράχνης και ήταν εξοπλισμένο με κάμερες και πολλά αισθητήρια ώστε να περισυλλέγει τα ευρήματα και τις πληροφορίες από αυτά τα υψηλών θερμοκρασιών και δύσκολων συνθηκών περιβάλλοντα [14].

2.3.13 RoboTuna

Το RoboTuna είναι ένα ρομποτικό ψάρι που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από μια ομάδα επιστημόνων στο M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology).

Το έργο ξεκίνησε το 1993. Ο στόχος ήταν να διερευνηθεί η πιθανότητα κατασκευής ενός ρομποτικού υποβρυχίου που θα μπορούσε να αναπαράγει τον τρόπο με τον οποίο κολυμπούν οι τόνοι, και να δουν αν μπορούσαν να βρουν ένα ανώτερο σύστημα πρόωσης για τα αυτόνομα υποβρύχια οχήματα (Autonomous Underwater Vehicles- AUVs). Το πείραμα στέφθηκε με επιτυχία

αφού ανακάλυψαν ότι ήταν πιο ευέλικτα και εξοικονομούσαν λιγότερη ενέργεια από άλλα ρομποτικά υποβρύχια.

Η ομάδα που συμμετείχε στο έργο περιλαμβάνει τον Μιχαήλ Τριανταφύλλου καθώς και τον David Barrett που δημιούργησε το ρομπότ (Charlie I) για το διδακτορικό του το 1995 όπως επίσης και τους David Beal και Michael Sachinis που εισήγαγαν τροποποιήσεις για την δημιουργία του RoboTuna II [15].

2.4 Ρομπότ και εξερεύνηση του διάστηματος

2.4.1 Robonaut

Το Robonaut είναι ένα ανθρωποειδές ρομπότ που δημιουργήθηκε από την NASA για να χρησιμοποιείται σε εργασίες που απαιτούν μεγάλη επιδεξιότητα.

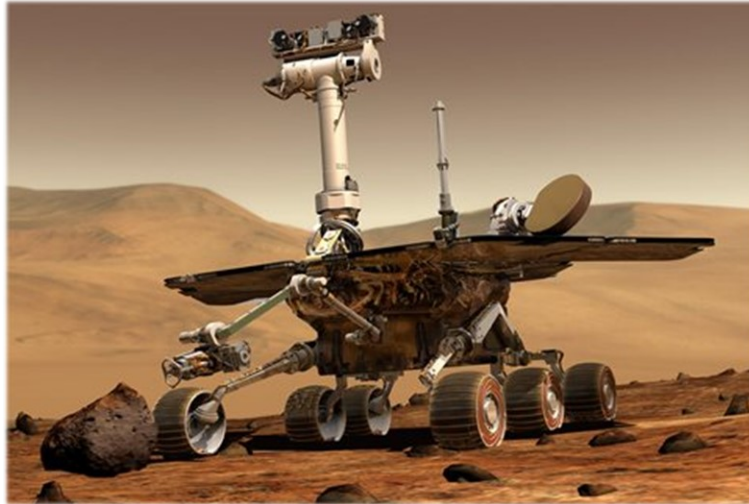


Εικόνα 15 Το ρομπότ Robonaut [16]

Οι εργασίες για την δημιουργία του πρώτου Robonaut ξεκίνησαν το 1997 και η κεντρική ιδέα ήταν η δημιουργία ενός ρομπότ που θα λειτουργούσε δίπλα στους αστροναύτες όπου θα ήταν χρήσιμο ένα δεύτερο ζευγάρι χέρια ή αν η εργασία ήταν επικίνδυνη για τους αστροναύτες. Αυτό το ρομπότ δεν χρειαζόταν περαιτέρω ειδικό εξοπλισμό αφού ήταν σε θέση να χρησιμοποιήσει τον εξοπλισμό των αστροναυτών [17].

2.4.2 Spirit

Το ρομπότ Spirit γνωστό και ως MER-A (Mars Exploration Rover- A) είναι ένα από τα δύο ρόβερ που προσγειώθηκαν στον πλανήτη Άρη. Προσγειώθηκε με τηλεχειρισμό από την Γη στις 4 Ιανουαρίου του 2004. Το Spirit παρέμεινε σε λειτουργία και εξερευνούσε τον κόκκινο πλανήτη μέχρι τις 22 Μαρτίου του 2010 όταν και η επικοινωνία χάθηκε.



Εικόνα 16 Το ρόβερ Spirit [18]

Τα προβλήματα με το Spirit ξεκίνησαν από το 2009 όταν χάλασε ο ένας από τους έξι τροχούς του με αποτέλεσμα να παγιδευτεί στην σκληρή επιφάνεια του Άρη. Το Spirit κατάφερε να διανύσει 7,7 χιλιόμετρα. Αναπτύχθηκε από τη NASA με σκοπό την εξερεύνηση του κόκκινου πλανήτη [19].

2.4.3 Spidernaut

Το Spidernaut είναι ένα αραχνοειδές ρομπότ που σχεδιάστηκε από την NASA με σκοπό την κατασκευή, την συντήρηση και την αποκατάσταση έργων σε μελλοντικές διαστημικές κατασκευές που θα είναι δύσκολες και επικίνδυνες για τους ανθρώπους. Τα πόδια αυτού του ρομπότ, μπορούν να κινηθούν σε τρία διαφορετικά σημεία. Μπορούν να κάνουν μια περιστροφική κίνηση και να κινηθούν μπρος και πίσω. Κάθε πόδι ζυγίζει περίπου 18 κιλά αλλά είναι ικανό να υποστηρίξει μέχρι 45 κιλά βάρος ποδιού και ασκώντας πάνω από 113 κιλά δύναμης. Το ρομπότ ζυγίζει ολόκληρο περίπου 272 κιλά αλλά αυτή η δύναμη κατανέμεται ομοιόμορφα στα οχτώ του πόδια.



Εικόνα 17 Το Spidernaut [20]

Είναι ικανό να αναρριχηθεί σε πολλές επιφάνειες συμπεριλαμβανομένων των ηλιακών συλλεκτών και της εξωτερικής επιφάνειας του διαστημόπλοιου χωρίς να προκαλεί βλάβη. Τα ηλεκτρονικά και τα ηλεκτρικά συστήματά του βρίσκονται στον θώρακα. Το ρομπότ περιλαμβάνει DC κινητήρες που τροφοδοτούνται με τάση 72V από μια μπαταρία λιθίου [20].

2.4.4 Curiosity



Εικόνα 18 Το ρόβερ Curiosity [21]

Το Curiosity είναι ένα ρομποτικό όχημα (ρόβερ) το οποίο στάλθηκε από την NASA στον πλανήτη Άρη με σκοπό την εξερεύνηση του κρατήρα Γκέιλ. Το όχημα ξεκίνησε από την Γη, στις 26 Νοεμβρίου του 2011 και έφτασε στον πλανήτη Άρη στις 6 Αυγούστου του 2012. Σκοπός του Curiosity είναι να εξερευνήσει το κλίμα και την γεωλογία του Άρη, και να εξετάσει αν ο πλανήτης προσέφερε ποτέ ευνοϊκές συνθήκες για την ύπαρξη ζωής. Επίσης έχει σαν στόχο να μελετήσει την ύπαρξη νερού και αν ο πλανήτης έχει ευνοϊκές συνθήκες για μελλοντική εξερεύνηση από τους ανθρώπους.

Το Curiosity ζυγίζει 889 κιλά και έχει 2.9 μέτρα μήκος, 2.7 μέτρα πλάτος και 2.2 μέτρα ύψος. Έχει δηλαδή το μέγεθος ενός μικρού αυτοκινήτου. Το ρομπότ περιλαμβάνει επιστημονικά όργανα και



Εικόνα 19 Το ρόβερ Curiosity [21]

εξοπλισμό για να λαμβάνει δείγματα εδάφους από τον πλανήτη και να αναλύει την χημική τους σύσταση.

Τα όργανα αυτά είναι χρωματογράφος, για την χημική ανάλυση πετρωμάτων, φασματόμετρο μάζας, για την ταυτοποίηση χημικών στοιχείων, καθώς και το φασματόμετρο λέιζερ για την μέτρηση ελαφρών στοιχείων που σχετίζονται με την ζωή, όπως ο άνθρακας, το οξυγόνο και το άζωτο [21].

2.4.5 Perseverance

Το Perseverance είναι το τελευταίο ρόβερ το οποίο στάλθηκε από την NASA στον πλανήτη Άρη και βασίζεται στο προηγούμενο ρόβερ Curiosity. Σκοπός του είναι η εξερεύνηση μιας περιοχής του Άρη κοντά στο κρατήρα Jezero. Το όχημα ξεκίνησε από την Γη, στις 30 Ιουλίου του 2020 και έφτασε στον πλανήτη Άρη στις 18 Φεβρουαρίου του 2021. Το μέγεθός του είναι περίπου 3 μέτρα



Εικόνα 20 Το ρόβερ Perseverance [22]

μήκος με 2.7 μέτρα πλάτος και 2.2 μέτρα ύψος ενώ ζυγίζει 1.025 κιλά, λιγότερο δηλαδή και από ένα μικρό αυτοκίνητο.

Το ρόβερ αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα: Ένα σώμα, δηλαδή μια δομή που προστατεύει τα ενσωματωμένα όργανα, εγκεφάλους οι οποίοι επεξεργάζονται τις πληροφορίες, συστήματα ελέγχου θερμοκρασίας όπως εσωτερικά θερμαντικά σώματα, στρώματα μόνωσης κ.λπ., κάμερες και όργανα που παρέχουν στο ρόβερ πληροφορίες για το περιβάλλον του, έναν βραχίονα που επεκτείνεται για να συλλέγει δείγματα πετρωμάτων για μελέτη, τροχούς, μπαταρίες και κεραίες επικοινωνίας. Το Perseverance διαθέτει ανανεωμένο toolbox.

Σημαντική καινοτομία είναι το τρυπάνι που διαθέτει. Με τη βοήθεια αυτού, μπορεί να συλλέγει δείγματα πετρωμάτων από βαθύτερα στρώματα του πλανήτη. Στη συνέχεια αποθηκεύει αυτά τα δείγματα σε κάψουλες τις οποίες αφήνει σε διάφορα σημεία στην επιφάνεια του Άρη με σκοπό να συλλεχθούν και να αποσταλούν στη Γη από μελλοντικές αποστολές.



Εικόνα 21 Το πρώτο δείγμα [22]

Αυτή είναι η βασική διαφορά μεταξύ του Perseverance και του Curiosity. Το πρώτο χρησιμοποιεί αυτό το τρυπάνι ώστε να συλλέγει τα πετρώματα και να τα εναποθέτει στην επιφάνεια του Άρη για ενδεχομένως μελλοντικές αποστολές που θα τα μελετήσουν, ενώ το δεύτερο μελετάει τα δείγματα που συλλέγονται επιτόπου χρησιμοποιώντας το ενσωματωμένο εργαστήριό του. Επίσης το Perseverance εκτός από το τρυπάνι, περιλαμβάνει και άλλα δύο επιστημονικά όργανα καθώς και μία έγχρωμη κάμερα για την επιθεώρηση της επιφάνειας του πλανήτη από κοντά αλλά και για την λήψη φωτογραφιών selfies για τον έλεγχο της κατάστασης του αμαξώματος.

Όπως και το Curiosity, έτσι και το Perseverance περιλαμβάνει τρεις κεραίες επικοινωνίας. Την κεραία Ultra High Frequency, την κεραία υψηλού κέρδους και την κεραία χαμηλού κέρδους. Τις περισσότερες φορές το ρόβερ χρησιμοποιεί την κεραία UHF για την επικοινωνία με τη Γη μέσω των διαστημοπλοίων που περιστρέφονται γύρω από τον Άρη.



Εικόνα 22 Το ελικόπτερο Ingenuity λίγο πριν την απελευθέρωσή του [22]

Η χρήση των διαστημοπλοίων για την αναμετάδοση μηνυμάτων είναι πιο αποτελεσματική επειδή βρίσκονται πολύ πιο κοντά στο Perseverance από ότι οι κεραίες του DSN στη Γη.

Το Perseverance δεν πήγε στον πλανήτη Άρη μόνο του. Μαζί του κουβαλούσε και το πρώτο ελικόπτερο που ονομάζεται Ingenuity. Σκοπός ήταν να δοκιμαστεί για πρώτη φορά η μηχανοκίνητη ελεγχόμενη πτήση σε έναν άλλο κόσμο. Όταν το ρόβερ βρέθηκε σε κατάλληλη περιοχή, απελευθέρωσε το Ingenuity ώστε να πραγματοποιήσει μια σειρά πτήσεων στον κόκκινο πλανήτη. Η πρώτη πτήση πραγματοποιήθηκε στις 19 Απριλίου του 2021. Σε αυτή, το ελικόπτερο πέταξε σε ένα ύψος τριών μέτρων κάνοντας ένα σύντομο κύκλο και προσγειώθηκε ξανά με επιτυχία. Αυτή η πτήση αποτελεί ορόσημο γιατί πρώτον πρόκειται για την πρώτη πτήση πέρα από τη Γη, και δεύτερον λόγω της δυσκολίας της, αφού η ατμόσφαιρα του πλανήτη Άρη είναι αραιή [22].

2.5 Η χρήση των ρομπότ σήμερα σε πληθώρα εφαρμογών

Όπως προείπαμε πριν από εκατό χρόνια περίπου, ένα θεατρικό έργο επιστημονικής φαντασίας που έκανε το ντεμπούτο του το 1920 ήταν το πρώτο που χρησιμοποίησε τη λέξη "ρομπότ". Η ρομποτική δεν αποτελεί πλέον έννοια επιστημονικής φαντασίας και είναι ήδη πραγματικότητα έναν αιώνα αργότερα. Η χρήση ρομπότ στην καθημερινή μας ζωή, από την οικιακή έως τη βιομηχανική ρομποτική, διευκολύνει τις δραστηριότητές μας στο σπίτι και στην εργασία αντίστοιχα. Για παράδειγμα, πολλοί άνθρωποι είναι ευγνώμονες όταν ένα ρομπότ σκουπίζει όλο το σπίτι ή όταν το ρομπότ της κουζίνας τους βοηθάει στην προετοιμασία του δείπνου. Ακόμα, η χρήση των ρομπότ πηγαίνει στην πραγματικότητα πολύ πιο μακριά και έχει διευκολύνει τη καθημερινότητα σε βασικούς κλάδους όπως η ιατρική, η εκπαίδευση, η φυσική και η χημεία. Ας ρίξουμε μια ματιά σε μερικά από αυτά:

2.5.1 Οικιακή χρήση

Τα οικιακά ρομπότ χρησιμοποιούνται από όλο και περισσότερα άτομα για την εκτέλεση οικιακών εργασιών. Οι ρομποτικές ηλεκτρικές σκούπες και οι συσκευές κουζίνας είναι από τις πιο δημοφιλείς πλέον, αλλά έχουμε επίσης ρομπότ που μπορούν να καθαρίσουν τα παράθυρά μας, να σιδερώσουν τα ρούχα μας, να κουρέψουν το γκαζόν στην αυλή ή να καθαρίσουν την πισίνα μας. Τα τελευταία, ωστόσο, εξακολουθούν να είναι αρκετά ακριβά και να καταλαμβάνουν πολύ χώρο. Επιπλέον, η ρομποτική έχει καταστήσει δυνατή την αυτοματοποίηση του σπιτιού (θέρμανση, φώτα, περσίδες ή συστήματα ασφαλείας).

2.5.2 Βιομηχανία

Τα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται σε εργασίες συγκόλλησης, συναρμολόγησης και μεταφοράς σε αυτοκινητοβιομηχανίες και όχι μόνο. Είναι σε θέση να μεταφέρουν πολύ βαριά αντικείμενα πράγμα που θα ήταν δύσκολο ή επικίνδυνο για έναν άνθρωπο, να επεξεργάζονται διάφορα εξαρτήματα (π.χ. βαφή, χρήση σε συσκευαστήριο, χρήση σε εργασίες ανακύκλωσης) και πολλά άλλα. Καταλαβαίνουμε ότι η ρομποτική μπορεί να τα καταφέρει όλα αυτά πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια από τους ανθρώπους. Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για όλες αυτές τις διεργασίες, ενώ οι άνθρωποι είναι υπεύθυνοι για την επίβλεψή τους.

2.5.3 Ιατρική

Όταν πρόκειται για διαγνωστικές εργασίες, θεραπεία, αποκατάσταση ή βοήθεια ασθενών, τα ρομπότ είναι ένας καταπληκτικός σύμμαχος για το ιατρικό προσωπικό. Υπάρχουν ρομπότ που μπορούν να εντοπίσουν προβλήματα πολύ γρήγορα, επειδή είναι ικανά να εντοπίζουν μοτίβα, να συλλέγουν δεδομένα και να συνδέουν διαφορετικά κομμάτια γνώσης. Τα ρομπότ είναι επίσης ικανά για εργασίες που το χέρι ενός γιατρού μπορεί να μην είναι σε θέση να ολοκληρώσει με το ίδιο επίπεδο ακρίβειας, καθιστώντας τα απίστευτα χρήσιμα κατά τη διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων. Επιπλέον, υπάρχουν ρομπότ που βοηθούν ηλικιωμένους, άτομα με αναπηρίες ή ειδικές ανάγκες, αλλά και ρομποτικά χέρια ή πόδια για άτομα που έχουν χάσει κάποιο άκρο. Συνοψίζοντας, η συγχώνευση της ρομποτικής και της ιατρικής ανοίγει όλο και περισσότερες ευκαιρίες για την επίτευξη του ίδιου στόχου: τη βελτίωση της ζωής και της υγείας των ανθρώπων.

2.5.4 Χρήση στις επιστήμες της Φυσικής και της Χημείας

Τα ρομπότ έχουν διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην επιστήμη της φυσικής για την εκτέλεση δραστηριοτήτων που οι άνθρωποι δεν θα μπορούσαν να κάνουν. Μιλάμε κυρίως για διαστημικά ρομπότ, τα οποία μπορούν να δρουν στο διάστημα, να παραδίδουν εξοπλισμό για διαστημικές αποστολές, να παρακολουθούν διαστημικούς σταθμούς ή απλώς να κινούνται στο έδαφος, αφήνοντας τους ανθρώπους να τα ελέγχουν από απόσταση. Όσον αφορά τη Χημεία, η ακρίβεια των ρομπότ ήταν το κλειδί για την παραγωγή και τη συσκευασία χημικών προϊόντων που απαιτούν υψηλό επίπεδο ακρίβειας, διαδικασία η οποία ήταν εξαιρετικά δύσκολη για τον άνθρωπο.

2.5.5 Εκπαίδευση

Τέλος, η ρομποτική χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στα σχολεία, καθώς είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει την ελκυστική, παιγνιώδη μάθηση σε διάφορα μαθήματα. Τα παιδιά μπορούν επίσης να βελτιώσουν τις κοινωνικές τους δεξιότητες, όπως η ομαδική εργασία, καθώς η χρήση των ρομπότ στην τάξη συνδέεται με τη μάθηση βάσει έργου. Επιπλέον, αυτές οι εργασίες ενθαρρύνουν τη φαντασία και τη δημιουργικότητα των παιδιών, τα ωθούν να εργάζονται σκληρά και να σκέφτονται κριτικά και ενισχύουν την αυτοεκτίμησή τους όταν καταφέρνουν να ξεπεράσουν τις δυσκολίες.

Τα ρομπότ εξελίσσονται διαρκώς και γίνονται όλο και πιο χρήσιμα μέρα με τη μέρα. Επομένως, εκτός από τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές που έχουμε παρατηρήσει, υπάρχουν πολυάριθμες επιπλέον βιομηχανίες που ενσωματώνουν σήμερα τη ρομποτική σε δευτερεύουσες εργασίες ή που διαθέτουν λειτουργικά πρωτότυπα που σύντομα θα χρησιμοποιούνται σε τακτική βάση. Ένα παράδειγμα είναι η γεωργική βιομηχανία, η οποία χρησιμοποιεί ήδη ρομπότ που μπορούν να συλλέγουν σημαντικά δεδομένα για το τοπίο και τις καλλιέργειες, αλλά ίσως σύντομα να είναι σε θέση να χρησιμοποιεί και επίγεια ρομπότ με τη μορφή τρακτέρ για να βοηθήσει στην ενίσχυση της παραγωγής.

Όλες οι εφαρμογές της ρομποτικής έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό την απλούστευση της ανθρώπινης εργασίας και τη βελτίωση της καθημερινής ζωής. Η ευρεία χρήση της ρομποτικής, όπως όλες οι τεχνολογικές εξελίξεις, έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ο καθορισμός του τρόπου υπεύθυνης και συνειδητής χρήσης των ρομπότ, η εξέταση των εφαρμογών τους και η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας τους, καθώς και η εκπαίδευση που προωθεί την αρμονική συνύπαρξη ανθρώπων και ρομπότ, είναι ζωτικής σημασίας [23].

3

Η δομή ενός συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου

Η χρήση των τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία σε διάφορους νέους τομείς, όπως η διαστημική τεχνολογία, ο βιομηχανικός αυτοματισμός, ο έλεγχος κτιρίων, τα συστήματα παρακολούθησης και η αυτοματοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών. Τα ευφυή κινητά ρομπότ και τα συνεργατικά ρομποτικά συστήματα πολλαπλών πρακτόρων μπορούν να αποτελέσουν εξαιρετικά αποτελεσματικά μέσα για την επιτάχυνση της αναζήτησης και των ερευνητικών δραστηριοτήτων σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Η ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης, της μηχανικής μάθησης και της ανάλυσης δεδομένων, αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την αποτελεσματική σχεδίαση συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας και ασύρματων δικτύων.

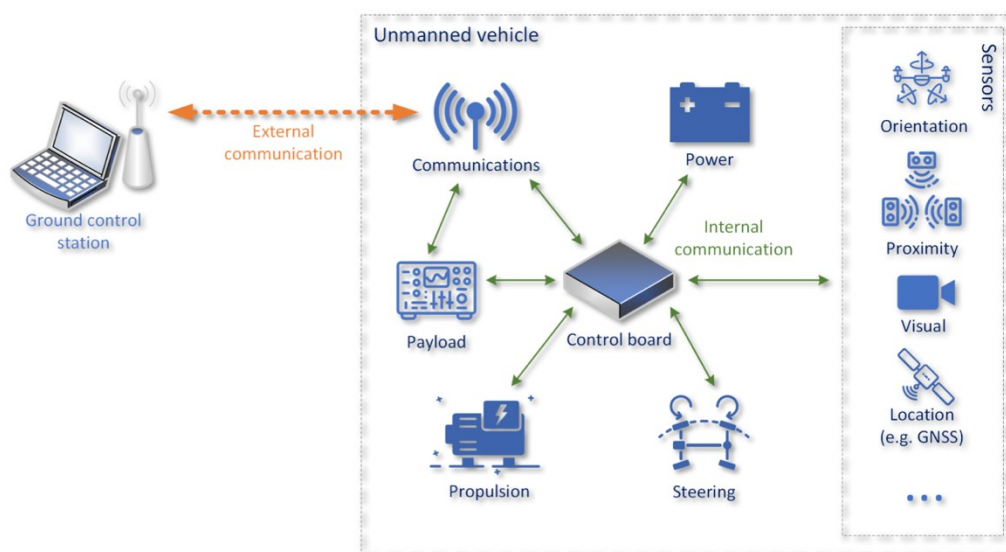
Στο σημείο αυτό, μπορούμε να πούμε ότι τα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του απομακρυσμένου ελέγχου στις μέρες μας, είναι τα εξής:

- Ο χειριστής διαθέτει μια συσκευή τηλεχειρισμού, η οποία παράγει σήματα ελέγχου.
- Τα σήματα μεταδίδονται με τη βοήθεια ενός μέσου μετάδοσης.
- Τα σήματα λαμβάνονται από τον δέκτη.
- Ο δέκτης στέλνει σήματα ελέγχου στην ελεγχόμενη συσκευή.

Σκεφτείτε το τηλεχειριστήριο της τηλεόρασης ως παράδειγμα. Εσείς είστε ο χειριστής. Όταν θέλετε να αλλάξετε σταθμό, να δυναμώσετε τον ήχο ή να κάνετε οτιδήποτε άλλο στην τηλεόραση, στρέφετε τον πομπό, δηλαδή το τηλεκοντρόλ, προς την τηλεόραση. Το υπέρυθρο φως που εκπέμπει ο πομπός και από το οποίο ένα μέρος φτάνει στον δέκτη, αποτελεί τη σύνδεση μετάδοσης. Ο δέκτης της τηλεόρασης, ο οποίος συνήθως βρίσκεται σε ένα πάνελ στην πρόσοψη, παρέχει σήματα ελέγχου στα απαραίτητα εξαρτήματα [24].

3.1 Γενική αρχιτεκτονική ενός συστήματος ελέγχου ρομποτικών οχημάτων

Παρά τις διαφοροποιήσεις στο σχεδιασμό των διάφορων μη επανδρωμένων ρομποτικών οχημάτων (π.χ. εναέρια, επιφανειακά, επίγεια κ.λπ.), τα συστήματα ελέγχου τους περιέχουν συνήθως παρόμοια στοιχεία. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η γενική αρχιτεκτονική ενός τέτοιου συστήματος. Φυσικά, όπως περιγράφεται παρακάτω, καθένα από αυτά τα γενικά στοιχεία μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές αρχιτεκτονικές υλικού, φυσικές συνδέσεις, πρωτόκολλα επικοινωνίας κ.λπ.



Εικόνα 23 Ένα σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου[25]

Τα εξαρτήματα ελέγχου ενός ρομποτικού οχήματος και πολλές φορές η πρόωση πρέπει να τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιεί τις περισσότερες φορές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες με κατάλληλες διατάξεις ελέγχου ώστε να επιτρέπει τόσο την παροχή ενέργειας σε πολλά διαφορετικά υποσυστήματα όσο και την αναπλήρωση της αποθηκευμένης ενέργειας από εξωτερικές ή επί του σκάφους πηγές (π.χ. ηλιακούς συλλέκτες). Το σύστημα ελέγχου διεύθυνσης επιτρέπει τη χρήση εξαρτημάτων όπως οι στρεφόμενοι τροχοί, οι έλικες ή ένα πηδάλιο, ενώ το σύστημα ελέγχου πρόωσης είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο των κινητήρων.

Ένα μη επανδρωμένο όχημα μπορεί να συλλέγει δεδομένα για το περιβάλλον του χρησιμοποιώντας διάφορους αισθητήρες. Τέτοιοι αισθητήρες είναι οι αισθητήρες υπερήχων ή υπέρυθρων, μία κάμερα ή ένα αισθητήριο θερμοκρασίας. Τα δεδομένα που προέρχονται από αισθητήρια όπως τα προηγούμενα, είναι χρήσιμα όχι μόνο για τον ασφαλή και αποτελεσματικό έλεγχο του ρομποτικού οχήματος από τον χειριστή, αλλά βοηθούν επίσης στην εκτέλεση λειτουργιών αυτόνομου ελέγχου, αν αυτό υποστηρίζεται.

Το κεντρικό στοιχείο ελέγχου είναι μια πλακέτα που είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση άλλων στοιχείων ελέγχου ώστε να επιτρέπει στο ρομποτικό όχημα να κινείται με τον επιθυμητό τρόπο και

ενδεχομένως να αντιδρά σε απρόβλεπτα γεγονότα. Αυτή η πλακέτα παρακολουθεί την κατάσταση των άλλων εξαρτημάτων του ρομποτικού οχήματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας διάφορους αισθητήρες που αναφέραμε και πιο πάνω και διαχειρίζεται τα συστήματα ελέγχου πρόωσης και διεύθυνσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι επίσης υπεύθυνη για τις αρμοδιότητες που σχετίζονται με ένα ειδικό για την αποστολή ωφέλιμο φορτίο, όπως μια κάμερα ή διάφορα επιστημονικά όργανα.

Οι λειτουργίες του κεντρικού στοιχείου ελέγχου μπορούν να υλοποιηθούν ως ενιαία συσκευή ή να καταναμεθούν σε πολλά εξειδικευμένα στοιχεία υλικού. Για παράδειγμα μπορούμε να μεταφέρουμε την επεξεργασία δεδομένων από αισθητήρες σε έναν εξωτερικό υπολογιστή που διαχωρίζεται από την κύρια μονάδα ελέγχου. Η εσωτερική επικοινωνία είναι απαραίτητη δεδομένου ότι το σύστημα ελέγχου ενός ρομποτικού οχήματος αποτελείται από πολλά εξαρτήματα. Τα σήματα παλμών, τα πολύπλοκα συστήματα σειριακής επικοινωνίας πολλαπλών σημείων και άλλοι τύποι σειριακών διεπαφών σημείου-προς-σημείου είναι οι πιο συχνές τεχνολογίες για το σκοπό αυτό.

Η ανάπτυξη για εσωτερική επικοινωνία μεταξύ των στοιχείων του συστήματος ελέγχου είναι αρκετά απλή. Ωστόσο, είναι πιο δύσκολο να δοθεί μια αξιόπιστη και αποτελεσματική ικανότητα εξωτερικής επικοινωνίας σε ένα ρομποτικό όχημα. Μία από τις αιτίες είναι το γεγονός ότι οι ανάγκες ανταλλαγής εξωτερικών δεδομένων μπορεί να μεταβληθούν εξαιτίας διαφορών συνθηκών. Ένα από τα πιο σημαντικά είναι ο βαθμός αυτονομίας του μη επανδρωμένου οχήματος:

- Οχήματα που ελέγχονται εξ αποστάσεως - εξαρτώνται πλήρως από τον χειριστή για την είσοδο ελέγχου
- Τα ημιαυτόνομα οχήματα είναι ικανά να εκτελούν ένα ολοκληρωμένο σχέδιο αποστολής και να υποστηρίζουν ποικίλες αυτόματες διαδικασίες που τους επιτρέπουν να προσαρμόζονται γρήγορα στα περισσότερα τυπικά προγραμματισμένα γεγονότα χωρίς να τροποποιούν σημαντικά το σχέδιο αποστολής. Δεδομένου ότι το περιβάλλον των αποστολών συχνά περιέχει διαφορετικές καταστάσεις, αυτές συνήθως ελέγχονται ή εποπτεύονται εξ αποστάσεως και συμπληρώνονται από αυτόματες διαδικασίες ώστε να βοηθούν τον χειριστή.
- Τα πλήρως αυτόνομα οχήματα είναι σε θέση να δημιουργούν αυτόματα το σχέδιο αποστολής τους με βάση γενικούς στόχους και να το τροποποιούν αυτόματα, εφόσον αυτό είναι απαραίτητο, σε περίπτωση απρόβλεπτων καταστάσεων. Τα πλήρως αυτόνομα οχήματα λειτουργούν κανονικά χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης.

Τα τηλεχειριζόμενα οχήματα χρειάζονται εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες ελέγχου με χαμηλή καθυστέρηση, απομακρυσμένη τηλεμετρία και συχνά πρόσβαση σε διάφορους αισθητήρες επί του οχήματος που επιτρέπουν στον ελεγκτή να παρακολουθεί συνεχώς την κατάσταση του ρομποτικού οχήματος και το περιβάλλον. Οι απαιτήσεις εύρους ζώνης του ελέγχου και της πρόσβασης των αισθητήρων τείνουν να είναι πολύ διαφορετικές. Παρόλο που η πρόσβαση σε συσκευές όπως οι κάμερες απαιτεί τη μεταφορά πολλών πληροφοριών, η κίνηση ελέγχου και τηλεμετρίας χρησιμοποιεί μόνο ένα μικρό ποσό εύρους ζώνης. Είναι κοινή πρακτική να χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες επικοινωνίας για κάθε μία από αυτές τις εργασίες ως αποτέλεσμα αυτής της ιδιότητας. Μια τέτοια λύση δημιουργεί νέες προκλήσεις, καθώς πρέπει να τηρούνται διαφορετικές απαιτήσεις εγκατάστασης και να λαμβάνονται υπόψη διαφορετικά χαρακτηριστικά χρήσης.

Παρόλο που τα ημιαυτόνομα οχήματα έχουν παρόμοιες απαιτήσεις με τα τηλεχειριζόμενα οχήματα, μπορούν συνήθως να λειτουργούν καλά με λιγότερη πρόσβαση στους αισθητήρες και να

χρησιμοποιούν επικοινωνίες ελέγχου που είναι λιγότερο αξιόπιστες και με μεγαλύτερη καθυστέρηση. Από την άλλη πλευρά, απαιτούν μια αξιόπιστη λειτουργία μεταφοράς δεδομένων για τη διαχείριση των σχεδίων αποστολής και την αναδιαμόρφωση των διαφόρων παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για τη περάτωση των αυτοματοποιημένων λειτουργιών τους.

Θεωρητικά, τα πλήρως αυτόνομα οχήματα θα πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργούν ανεξάρτητα, μετά το αρχικό ανέβασμα της περιγραφής της αποστολής. Προκειμένου να είναι δυνατή η εποπτεία της λειτουργίας τους και ο χειροκίνητος έλεγχος σε σενάρια έκτακτης ανάγκης, αναπτύσσονται στην πράξη δυνατότητες απομακρυσμένου ελέγχου και παρακολούθησης όπως αυτές που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση των ημιαυτόνομων οχημάτων. Ένα άλλο πράγμα που πρέπει να έχουμε κατά νου είναι ότι ορισμένες υλοποιήσεις συστημάτων ελέγχου αυτόνομων οχημάτων χρησιμοποιούν εξωτερικές συνδέσεις επικοινωνίας για την ανάθεση συγκεκριμένων αρμοδιοτήτων σε εξωτερικές υποδομές.

Εκτός από το ίδιο το σύστημα ελέγχου, μια ικανότητα επικοινωνίας μπορεί να είναι απαραίτητη και για το ειδικό ωφέλιμο φορτίο της αποστολής του μη επανδρωμένου οχήματος. Επειδή εξαρτώνται πλήρως από το είδος και τον σκοπό του ωφέλιμου φορτίου, τα χαρακτηριστικά αυτής της επικοινωνίας είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Γενικά, οι ακόλουθοι παράγοντες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν το είδος της κίνησης: το απαραίτητο εύρος ζώνης, ο αποδεκτός βαθμός και το εύρος της καθυστέρησης παράδοσης και τα κριτήρια αξιοπιστίας.

Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ένα σύνολο βασικών αναγκών που δεν σχετίζονται ρητά με έναν συγκεκριμένο τύπο μη επανδρωμένου οχήματος κατά την εξέταση των χαρακτηριστικών της εξωτερικής επικοινωνίας. Το πιο προφανές από αυτά είναι το εύρος επικοινωνίας που προσφέρει μια συγκεκριμένη λύση, ή το εύρος στο οποίο μπορούμε να επικοινωνήσουμε με το μη επανδρωμένο όχημα. Συχνά ισούται με την εμβέλεια μετάδοσης μιας δεδομένης τεχνολογίας επικοινωνίας, αν και όταν χρησιμοποιείται ένα σύστημα επικοινωνίας πολλαπλών σταθμών, αυτό δεν είναι απαραίτητο. Ένα τέτοιο σύστημα επιτρέπει τη μετάδοση της πληροφορίας σε έναν αριθμό ενδιάμεσων συσκευών πριν φτάσει στον τελικό προορισμό της.

Το δεύτερο χαρακτηριστικό είναι η ικανότητα διατήρησης της αποδοτικότητας ακόμη και σε περιβάλλον με πολύ κόσμος, ενώ συνυπάρχει με άλλα συστήματα που χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνοτήτων. Το τελευταίο χαρακτηριστικό είναι το επίπεδο ασφάλειας του συστήματος επικοινωνίας. Αν και το κριτήριο αυτό είναι περίπλοκο, μπορούν να προσδιοριστούν τρία θεμελιώδη χαρακτηριστικά:

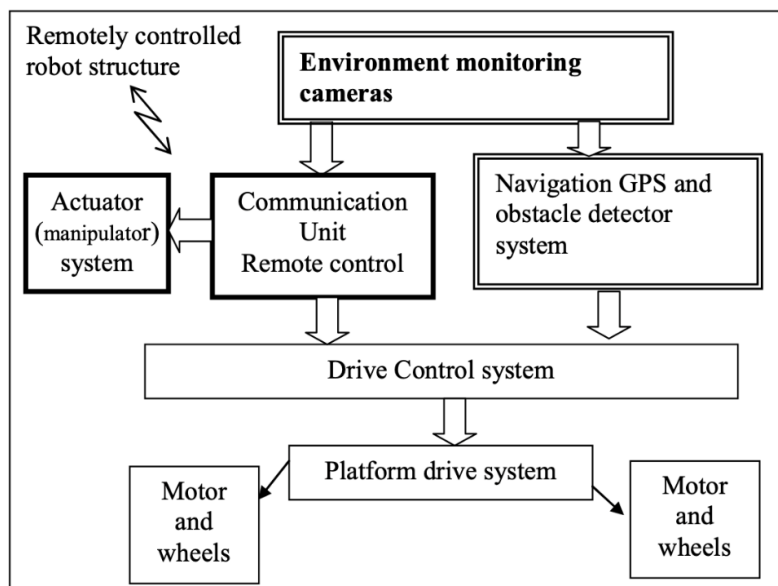
- Αυθεντικοποίηση - μια ικανότητα επιβεβαίωσης της ταυτότητας του αποστολέα της πληροφορίας, η οποία συνήθως υλοποιείται με υπογραφές μηνυμάτων.
- Η ακεραιότητα - η επιβεβαίωση ότι οι πληροφορίες δεν έχουν αλλοιωθεί κατά τη μετάδοση - μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αθροισμάτων ελέγχου ή ως συστατικό στοιχείο τεχνικών για τον καθορισμό της αυθεντικοποίησης.
- Εμπιστευτικότητα - αποτροπή της πρόσβασης μη εξουσιοδοτημένων αποδεκτών στο περιεχόμενο των μεταδιδόμενων πληροφοριών - υλοποιείται μέσω μηχανισμών κρυπτογράφησης [25].

Επί του παρόντος, τα κινητά ρομπότ είναι αρκετά έξυπνα ώστε να πλοηγούνται μόνα τους, που σημαίνει ότι μπορούν να παρακολουθούν μια προκαθορισμένη διαδρομή, κάνοντας μικρές παρακάμψεις όταν ανιχνεύουν εμπόδια. Η εύρεση της διαδρομής με βάση την παρούσα θέση και

τον στόχο του ρομπότ χρειάζεται υψηλό βαθμό ευφυΐας. Τα περισσότερα ρομπότ χρησιμοποιούν ένα σήμα τηλεχειρισμού που δημιουργείται από έναν χειριστή, έτσι ώστε το ρομπότ να εκτελέσει την απαιτούμενη ενέργεια. Ένα σύστημα τηλεχειρισμού που συμπληρώνεται από έναν ανθρώπινο χειριστή ο οποίος παρακολουθεί το ρομπότ και τροποποιεί την κατεύθυνση της κίνησής του είναι η ενδιάμεση λύση. Για την αποφυγή συγκρούσεων, το ρομπότ πρέπει να διαθέτει ένα πρόσθετο σύστημα τηλεχειρισμού συνδεδεμένο με το σύστημα οδήγησης, καθώς και ένα σύστημα ανίχνευσης εμποδίων. Η πλοήγηση είναι σημαντικά απλούστερη στον αέρα απ' ό,τι στο έδαφος διότι εκεί ενδέχεται να υπάρχουν πιο πολλά εμπόδια. Μια κάμερα που τοποθετείται στο ρομπότ μπορεί να βοηθήσει τον χειριστή να ενημερώνεται για την τρέχουσα κατάσταση και τη θέση του.

Τα βασικά στοιχεία του ρομποτικού συστήματος είναι: Μια επίγεια πλατφόρμα, ένα σύστημα πλοήγησης με ανιχνευτές εμποδίων, ένας ενεργοποιητής - ανιχνευτής που χρησιμοποιείται στο σύστημα αναζήτησης, ένα σύστημα ελέγχου και ένα σύστημα επίγνωσης της κατάστασης. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές πλατφόρμες οδήγησης που είναι προσβάσιμες αυτή τη στιγμή. Ωστόσο, το σύστημα πλοήγησης είναι πολύ πιο περίπλοκο, παρόλο που μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλοί τύποι ανιχνευτών εμποδίων. Ένας αλγόριθμος οδήγησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη θέση ενός ανιχνευτή εμποδίων σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως στην εύρεση διαδρομής σε έναν λαβύρινθο. Όταν ένας κινητήρας έρχεται σε επαφή με έναν τοίχο, η αντίσταση του κινητήρα και το ρεύμα αυξάνονται γρήγορα και το σύστημα ελέγχου αλλάζει την πορεία του προς μια προκαθορισμένη ή τυχαία κατεύθυνση. Όταν ένα ρομπότ κατευθύνεται από έναν χειριστή, αυτός μπορεί να παρακολουθεί την κίνηση του ρομπότ και να το κατευθύνει σε μια ελεύθερη περιοχή κοντά στην προβλεπόμενη διαδρομή.

Ακολουθεί το βασικό μοντέλο ενός τηλεχειριζόμενου ρομποτικού οχήματος:



Εικόνα 24 Βασικό μοντέλο ενός ρομποτικού οχήματος [26]

3.2 Τύποι ρομποτικών συστημάτων

Τα ρομπότ αποτελούν εδώ και πολύ καιρό πηγή γοητείας. Παραδείγματα ρομπότ από τον κινηματογράφο αποτελούν ο R2-D2, ο Εξολοθρευτής και ο WALL-E. Αυτές οι ανθρωπόμορφες αναπαραστάσεις των ρομπότ συχνά μοιάζουν να είναι υπερβολικές. Ωστόσο τα ρομπότ αναπτύσσουν μηχανικές και διανοητικές δεξιότητες που δεν αποκλείουν την πιθανότητα μιας μηχανής σαν τον R2-D2 στο μέλλον.

Αφού η τεχνολογία εξελίσσεται, εξελίσσεται ταυτόχρονα και η επιστήμη της ρομποτικής. Το 2005, αρκετά ρομπότ βρέθηκαν να χρησιμοποιούνται σε εργοστάσια αυτοκινήτων. Αυτά τα ρομπότ αποτελούνται κυρίως από μηχανικούς βραχίονες που χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση ή τη σύνδεση ορισμένων εξαρτημάτων αυτοκινήτων. Η έννοια της ρομποτικής, όπως υπάρχει σήμερα, έχει αναπτυχθεί και διευρυνθεί ώστε να περιλαμβάνει την κατασκευή, τη χρήση και την ανάπτυξη ρομπότ που εκτελούν δραστηριότητες όπως η εξερεύνηση δύσκολων περιβαλλόντων στη Γη και στο διάστημα, η υποστήριξη της επιβολής του νόμου, η απλούστευση των ιατρικών διαδικασιών και η εκτέλεση αποστολών διάσωσης.

Τα ρομπότ αποτελούνται από κάποιο είδος μηχανικής κατασκευής. Το μηχανικό αυτό στοιχείο βοηθά ένα ρομπότ να εκτελεί δραστηριότητες στο περιβάλλον για το οποίο δημιουργήθηκε. Για παράδειγμα, οι τροχοί του ρόβερ Perseverance της NASA, είναι κατασκευασμένοι από σωλήνες τιτανίου που το βοηθούν να πατάει σταθερά στο σκληρό έδαφος του κόκκινου πλανήτη. Τα ηλεκτρικά μέρη είναι απαραίτητα για τον έλεγχο και την τροφοδοσία του εξοπλισμού των ρομπότ. Ουσιαστικά, η συντριπτική πλειονότητα των ρομπότ απαιτεί ηλεκτρικό ρεύμα για να λειτουργήσει, το οποίο παρέχεται από μια μπαταρία. Τα ρομπότ είναι προγραμματισμένα από υπολογιστή. Ένα ρομπότ θα ήταν ένα ακόμη βασικό μηχανήμα, αν δεν είχε ένα σύνολο οδηγιών που να το καθοδηγεί για το τι πρέπει να εκτελέσει. Ένα ρομπότ πρέπει να είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να γνωρίζει πότε και πώς να εκτελέσει μια εργασία.

Χάρη στη βελτίωση της ταχύτητας επεξεργασίας και των δυνατοτήτων της τεχνητής νοημοσύνης, μπορούμε πλέον να χρησιμοποιούμε ρομπότ με διάφορους τρόπους για την εκτέλεση βασικών καθηκόντων. Οι εφαρμογές της ρομποτικής ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό και ανάλογα με τον τρόπο αλλά και το μέρος που χρησιμοποιούνται, τα σημερινά ρομπότ μπορούν γενικά να ομαδοποιηθούν σε έξι κατηγορίες.

3.2.1 Κινητά ρομπότ

Ένα mobile robot (κινητό ρομπότ) είναι μια αυτόματη μηχανή που είναι ικανή να κινείται από μέρος σε μέρος. Δηλαδή τα mobile robots δεν είναι σχεδιασμένα να μένουν σε μια φυσική θέση, αλλά μετακινούνται στο περιβάλλον τους. Αποτελούν σημείο έρευνας για πολλά πανεπιστήμια και τεχνολογικά ιδρύματα αλλά χρησιμοποιούνται κυρίως για ψυχαγωγικούς σκοπούς αλλά και για δουλειές στο σπίτι, όπως για σκούπισμα ή για κλάδεμα.

Ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα, είναι ένα κινητό ρομπότ. Ας το δούμε αναλυτικότερα. Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAVs) και αρκετές άλλες νέες έξυπνες συνδεδεμένες συσκευές ενσωματώνονται όλο και περισσότερο στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Τα UAVs δεν παρέχουν μόνο μια πρακτική λύση στα μειονεκτήματα των σταθερών επίγειων υποδομών του ΔτΠ, αλλά παρέχουν επίσης νέους τρόπους σε διαδικασίες παρακολούθησης, επιτήρησης και μεταφοράς

αντικειμένων. Τα UAVs προβλέπεται ότι σύντομα θα αποτελέσουν ζωτικό στοιχείο των πόλεων μας και θα κυριαρχήσουν στον εναέριο χώρο αλλά ενδέχεται να δημιουργηθούν νέα ζητήματα όσον αφορά την ασφαλή διαχείριση της λειτουργίας των UAVs υπό συνθήκες έντονης κίνησης αλλά και την προστασία της ιδιωτικής ζωής.

Η ιδέα αυτών των εναέριων ρομπότ χρονολογείται από τις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα και συγκεκριμένα πριν από τις πρώτες επανδρωμένες πτήσεις, άσχετα αν η λέξη "UAV" χρησιμοποιήθηκε ευρέως μόλις στα τέλη του εικοστού αιώνα για να αναφερθεί σε οποιοδήποτε ρομποτικό αεροσκάφος. Τα μοντέλα που δημιούργησαν ο Sir George Cayley, ο John Stringfellow, ο Felix Du Temple και μερικοί άλλοι πρωτοπόροι της αεροπορίας ως προοίμιο των προσπαθειών τους για επανδρωμένες πτήσεις στις αρχές του εικοστού αιώνα, συνέβαλαν στη διάδοση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Ωστόσο, οι προτάσεις του Nikola Tesla που δημοσιεύθηκαν στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα με τίτλο "Method of and apparatus for controlling mechanism of moving vessels or vehicles" ίσως είναι ζωτικής σημασίας για τη ιδέα της μη επανδρωμένης αεροπορίας. Ο Tesla δεν αξίζει μόνο τα εύσημα για την έννοια της μη επανδρωμένης αεροπορίας, αλλά και για το ότι οραματίστηκε ένα μέλλον όπου η ιδέα αυτή θα έχει εμπορική εφαρμογή [27].

Τα drone, όπως είναι γνωστά σήμερα, επειδή έχουν μεγάλη ευελιξία και κινητικότητα, χρησιμοποιούνται ευρέως σε στρατιωτικές, εμπορικές και κυβερνητικές υπηρεσίες, παρέχοντας εξαιρετικές λύσεις. Χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση του πλήθους κατά τη διάρκεια διαμαρτυριών, αθλητικών εκδηλώσεων, παρελάσεων και συναυλιών, για την αναγνώριση εγκληματιών και εντοπισμό κακόβουλων ενεργειών. Μπορούν να ελέγχουν τον αέρα, τα εδάφη αλλά και σημεία σε υδάτινες περιοχές, την άγρια ζωή και τα δάση, διάφορες γεωργικές καλλιέργειες αλλά και να επιτηρούν, αναζητούν και να διασώζουν. Η χρήση του ελεύθερου αέρα έχει αρκετά οφέλη και ένα από αυτά είναι ότι δεν υπάρχουν οι περιορισμοί που υπάρχουν στο έδαφος.

Αυτό προσφέρει στα drone ένα τεράστιο πλεονέκτημα έναντι των επίγειων εναλλακτικών και γι' αυτό χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά σε επιτηρήσεις, logistics και signal coverage. Τέλος, χρησιμοποιούνται για την εσωτερική ασφάλεια ενός κράτους περιπολώντας τα σύνορα για τυχόν παραβιάσεις, λαθρεμπόριο ναρκωτικών και όπλων καθώς και για τρομοκρατικές διεισδύσεις. Ωστόσο, στις μέρες μας, η εκτεταμένη χρήση των ερασιτεχνικών drone (ADrs), αποτελεί απειλή για τη δημόσια ασφάλεια γιατί μπορεί, όπως αναφέραμε και παραπάνω, οποιοσδήποτε να τα χρησιμοποιήσει με κακό σκοπό. Ορισμένα ερασιτεχνικά drone μπορούν να μεταφέρουν όπλα ή εκρηκτικά με αποτέλεσμα να σκοτώσουν πολίτες και κυβερνητικά στελέχη ή να καταστρέψουν εγκαταστάσεις. Γι' αυτό το λόγο, έχουν δημιουργηθεί κάποια drone επιτήρησης (SDrs), που εντοπίζουν και εξαλείφουν τέτοιες απειλές. Η χρήση των drone αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον, λόγω του αυξανόμενου ενδιαφέροντος από τους ερευνητές, τους χομπίστες και τους επενδυτές [28].

Τα αυτόνομα κινητά ρομπότ τώρα, κινούνται σε όλο το πεδίο και λαμβάνουν αποφάσεις σχεδόν σε πραγματικό χρόνο καθώς κινούνται. Τεχνολογίες όπως αισθητήρες και κάμερες τα βοηθούν να λαμβάνουν πληροφορίες για το περιβάλλον τους ενώ ο ενσωματωμένος εξοπλισμός επεξεργασίας τα βοηθά να τις αναλύσουν και να λάβουν μια τεκμηριωμένη απόφαση. Για παράδειγμα, καταλαβαίνουν πότε πρέπει να μετακινηθούν για να αποφύγουν έναν επερχόμενο εργαζόμενο, ποιο είναι το σωστό δέμα προς μετακίνηση, είτε ποια είναι η κατάλληλη επιφάνεια για απολύμανση. Πρόκειται για κινητές λύσεις που απαιτούν περιορισμένη ανθρώπινη συμβολή για να κάνουν τη δουλειά τους.

- **Ειδική κατηγορία αποτελούν τα αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα**

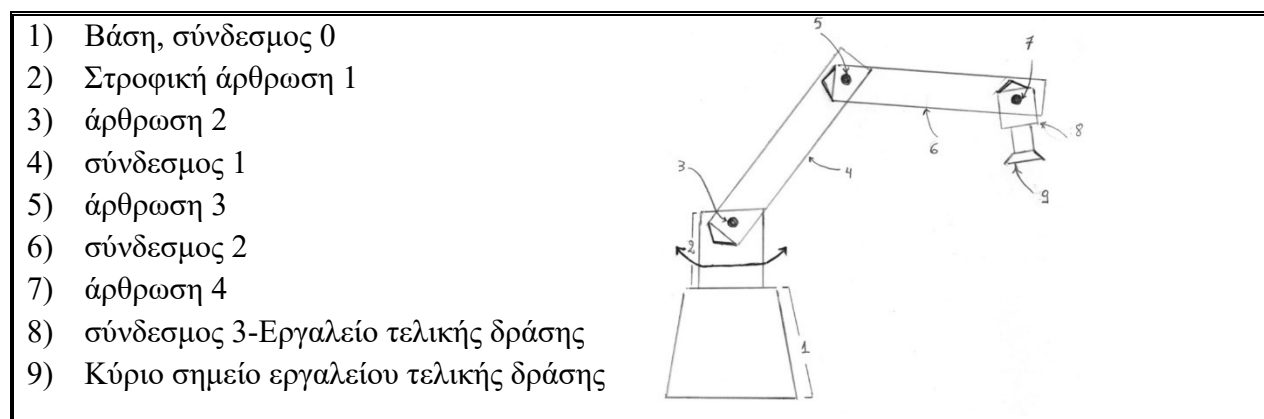
Ενώ τα αυτόνομα κινητά ρομπότ μπορούν να κινούνται ελεύθερα, τα αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα χρειάζονται συχνά την επίβλεψη του χειριστή και βασίζονται σε ράγες ή προκαθορισμένες διαδρομές. Χρησιμοποιούνται συχνά σε ρυθμιζόμενες τοποθεσίες, όπως αποθήκες και δάπεδα παραγωγής, για τη διανομή εμπορευμάτων και τη μετακίνηση αντικειμένων.

3.2.2 Βιομηχανικά / Αρθρωτά ρομπότ

Άλλη μια κατηγορία ρομπότ είναι τα βιομηχανικά ρομπότ. Αυτά τα ρομπότ, σε αντίθεση με τα mobile robots, είναι συνήθως στερεωμένα σε μια σταθερή επιφάνεια. Αποτελούνται από έναν αρθρωτό βραχίονα και από μια αρπάγη ή ένα τελικό εργαλείο δράσης. Ένας ρομποτικός βραχίονας είναι ένας προγραμματιζόμενος μηχανισμός σχεδιασμένος να μετακινεί αντικείμενα με κατάλληλες προγραμματιζόμενες κινήσεις που στοχεύουν στη βελτίωση της απόδοσης μιας σειράς εργασιών. Τα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται για εργασίες βαφής, συγκόλλησης, μεταφοράς αντικειμένων, συναρμολόγησης καθώς και για δοκιμές και έλεγχο προϊόντων.

Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα βιομηχανικά ρομπότ είναι αυτά που χρησιμοποιούν καρτεσιανές συντεταγμένες, τα αρθρωτά ρομπότ αλλά και τα ρομπότ SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm). Ορισμένα βιομηχανικά ρομπότ προγραμματίζονται για να επιτελούν εργασίες με μεγάλη επαναληψιμότητα αλλά που η μεγάλη ακρίβεια δεν αποτελεί πρόβλημα. Συνήθως είναι ρομπότ που χρησιμοποιούνται για μεταφορά και τοποθέτηση πακέτων σε αποθήκες βιομηχανιών. Ωστόσο σε πολλές βιομηχανίες που απαιτείται μεγάλη ακρίβεια, τα ρομπότ πρέπει να είναι ευέλικτα έτσι ώστε να μην προκαλέσουν φθορά στο παραγόμενο προϊόν. Για αυτή την ακριβή καθοδήγηση, τα ρομπότ περιέχουν υποσυστήματα μηχανικής όρασης που ενεργούν ως μάτια συνδεδεμένα με ισχυρούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές ή ελεγκτές.

Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνονται οι αρθρώσεις και οι σύνδεσμοι ενός ρομποτικού βραχίονα.



Εικόνα 25 Σχέδιο ρομποτικού βραχίονα με αρίθμηση συνδέσμων και αρθρώσεων

Το εργαλείο τελικής δράσης μπορεί να είναι ένα σύστημα αναρρόφησης ή μια αρπάγη. Με λίγα λόγια, είναι το εργαλείο με το οποίο ο ρομποτικός βραχίονας εκτελεί εργασίες.

3.2.3 Ανθρωποειδή ρομπότ

Αν και πολλά κινητά ανθρωποειδή ρομπότ θα μπορούσαν δυνητικά να θεωρηθούν αυτόνομα κινητά ρομπότ, η λέξη χρησιμοποιείται συχνά για να αναφερθεί σε ρομπότ που μοιάζουν με τον άνθρωπο και εκτελούν καθήκοντα που είναι ανθρωποκεντρικά. Κατά την εκτέλεση καθηκόντων όπως η

παροχή οδηγιών ή η παροχή υπηρεσιών, χρησιμοποιούν πολλά ίδια τεχνολογικά στοιχεία με τα κινητά ρομπότ προκειμένου να αντιλαμβάνονται, να σχεδιάζουν και να ενεργούν.

3.2.4 Cobots / Συνεργατικά ρομπότ

Τα Cobots είναι μηχανές που εργάζονται με τον άνθρωπο ή απευθείας για τον άνθρωπο. Τα Cobots μπορούν να μοιράζονται χώρους εργασίας με τους εργαζόμενους, ώστε να μπορούν να εργάζονται πιο αποτελεσματικά, σε αντίθεση με την πλειονότητα των άλλων τύπων ρομπότ, τα οποία εκτελούν τις εργασίες τους μόνα τους ή σε εντελώς διαχωρισμένους χώρους εργασίας. Χρησιμοποιούνται συχνά σε επίπονες και επικίνδυνες εργασίες και έχουν περιστασιακά την ικανότητα να αντιδρούν και να αντιλαμβάνονται τις ανθρώπινες κινήσεις.

3.2.5 Υβριδικά ρομπότ

Ρομπότ διαφορετικών ειδών ενώνονται συχνά για την παραγωγή υβριδικών συστημάτων που μπορούν να κάνουν πιο δύσκολες εργασίες. Για παράδειγμα, ένα ρομπότ για το χειρισμό αντικειμένων μέσα σε μια αποθήκη μπορεί να κατασκευαστεί με τη χρήση τεχνολογιών ενός κινητού ρομπότ και ενός ρομποτικού βραχίονα.

3.3 Απομακρυσμένος έλεγχος ρομποτικών οχημάτων

Μετά από την αναφορά στους τύπους των ρομπότ, ας δούμε με ποιους τρόπους μπορούν να ελεγχθούν ορισμένα από αυτά.

- **Πλοήγηση από απόσταση (Τηλεχειρισμός)**

Με αυτό τον τρόπο το ρομπότ μπορεί να κινηθεί από ένα joystick ή από μια άλλη συσκευή ελέγχου. Η συσκευή μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο ρομπότ με καλώδιο, μπορεί να επικοινωνεί ασύρματα ή ακόμα μπορεί να αποτελεί εξάρτημα ενός ασύρματου υπολογιστή ή άλλου ελεγκτή.

- **Πλοήγηση σε προκαθορισμένη διαδρομή**

Με αυτό τον τρόπο πλοήγησης, το ρομπότ κινείται πάνω σε μια προκαθορισμένη διαδρομή χρησιμοποιώντας αισθητήρια. Συνήθως τα αισθητήρια αυτά είναι αισθητήρια υπερύθρων. Αρκεί μια λεπτή γραμμή σκούρου χρώματος για να δημιουργηθεί μια διαδρομή. Τα περισσότερα ρομπότ αυτής της κατηγορίας κρατούν την γραμμή στον κεντρικό αισθητήρα.

- **Αυτόνομη πλοήγηση με αποφυγή εμποδίων**

Το ρομπότ έχει την ικανότητα να κινείται μόνο του και να αποφεύγει εμπόδια αλλά μπορεί επίσης να κινηθεί και από μια απομακρυσμένη θέση. Μόλις το ρομπότ ανιχνεύσει στο δρόμο του κάποιο εμπόδιο, αλλάζει πορεία μόνο του για να μην συγκρουστεί. Τα αισθητήρια που χρησιμοποιούνται κυρίως για την αποφυγή εμποδίων είναι τα αισθητήρια υπερήχων.

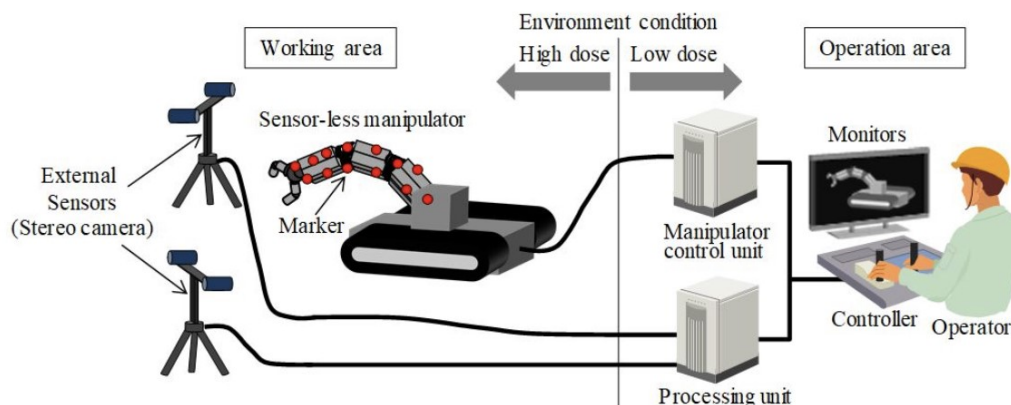
3.3.1 Συστήματα τηλεχειρισμού

Συνήθως, χρησιμοποιούμε ασύρματες συσκευές τηλεχειρισμού. Για τη μετάδοση του σήματος διεύθυνσης στο σύστημα οδήγησης, ο ελεγχόμενος εξοπλισμός λαμβάνει και αποκωδικοποιεί ένα κωδικοποιημένο σήμα. Όταν ένα μεμονωμένο ρομπότ ελέγχεται από μία μόνο ζώνη συχνοτήτων χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ελέγχου ραδιοσυχνοτήτων, αυτό είναι απλό. Χρειαζόμαστε τόσες διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων όσες και τα ρομπότ, διότι αν αναπτύξουμε μερικά ρομπότ που λειτουργούν στην ίδια ζώνη, ενδέχεται να παρεμβάλλονται μεταξύ τους. Η μέθοδος αυτή αναφέρεται ως FDMA (Frequency Division Multiple Access). Η πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου (TDMA, Time Division Multiple Access) είναι μια ακόμη μορφή μετάδοσης δεδομένων μεταξύ μικρού αριθμού πομπών και δεκτών. Κάθε ζεύγος πομπού-δέκτη χρησιμοποιεί την ίδια ζώνη συχνοτήτων σε αυτή την προσέγγιση, αλλά το καθένα έχει μια μοναδική και καθορισμένη χρονική περίοδο για την ανταλλαγή δεδομένων. Τα drones που είναι εμπορικά διαθέσιμα χρησιμοποιούν και τις δύο αυτές μεθόδους [26].

3.3.1.1 Σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου ρομποτικών οχημάτων διαχείρισης πυρηνικών ατυχημάτων

Ας δούμε τώρα μια συγκεκριμένη εφαρμογή ενός συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου. Σε περίπτωση ατυχήματος, για να τεθούν εκτός λειτουργίας οι αντιδραστήρες πυρηνικής ενέργειας χρησιμοποιούνται διάφορα ρομπότ. Αυτά τα τηλεχειριζόμενα ρομπότ είναι σε θέση να εκτελούν ορισμένες εργασίες στη θέση των ανθρώπων σε περιβάλλοντα υψηλής ακτινοβολίας συμπεριλαμβανομένης της απολύμανσης, της απομάκρυνσης δομών κ.λπ. Για να χρησιμοποιηθούν για βαριές εργασίες σε συνθήκες υψηλής ακτινοβολίας, τα ρομπότ αυτά πρέπει να είναι ανθεκτικά στην ακτινοβολία. Εάν τα ρομπότ διαθέτουν ηλεκτρικά κυκλώματα και ενσωματωμένους αισθητήρες, οι επιδράσεις της ακτινοβολίας ίσως τα καταστρέψουν οπότε θα πρέπει να αντικατασταθούν με καινούργια πριν από μια βλάβη.

Κατά συνέπεια, απαιτείται μια θωράκιση για την προστασία των αισθητήρων. ωστόσο λόγω του περιορισμού του ωφέλιμου φορτίου, η προσθήκη της "ασπίδας" αυτής αποτελεί πρόκληση. Ακόμα, είναι δύσκολο να ελέγξουμε τα ρομπότ και να παρακολουθούμε το περιβάλλον, εάν οι αισθητήρες αυτοί αφαιρεθούν από τα ρομπότ. Για να παρακολουθούν και να ρυθμίζουν τις θέσεις τους, οι ρομποτικοί βραχίονες περιέχουν συνήθως έναν αισθητήρα σε κάθε άρθρωση. Ωστόσο, όπως προαναφέραμε, η ακτινοβολία βλάπτει αυτούς τους αισθητήρες. Ως εκ τούτου, στο παρακάτω σύστημα τηλεχειρισμού, αυτοί οι εσωτερικοί αισθητήρες καταργούνται και οι παρούσες συνθήκες υπολογίζονται αντ' αυτού χρησιμοποιώντας μόνο πληροφορίες από εξωτερικούς αισθητήρες. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η ιδέα ενός τηλεχειριζόμενου ρομποτικού συστήματος χωρίς αισθητήρες.



Εικόνα 26 Ρομποτικό όχημα με εξωτερικούς αισθητήρες[29]

Μια σύνδεση με καλώδιο συνδέει το ρομποτικό βραχίονα με τον χειριστή στην περιοχή εργασίας. Για εξωτερικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται κάμερες που τοποθετούνται γύρω από το ρομπότ. Μια συσκευή επεξεργασίας στην περιοχή λειτουργίας λαμβάνει το σήμα από τις κάμερες. Από τα πλάνα που έχουν καταγράψει οι κάμερες, υπολογίζονται οι κινήσεις που πρέπει να εκτελέσει ο ρομποτικός βραχίονας. Ο χειριστής μπορεί να βλέπει σε πραγματικό χρόνο τον ρομποτικό βραχίονα, αφού βλέπει τις καταγραφές των καμερών, και έτσι να πραγματοποιεί τις απαιτούμενες ενέργειες για την εκπλήρωση της εκάστοτε εργασίας [29].

3.3.1.2 Σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου ρομποτικών οχημάτων της NASA

Ένα παγκόσμιο δίκτυο κεραιών που ονομάζεται Deep Space Network (DSN) της NASA επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ επιστημόνων και μηχανικών στη Γη και αποστολών στον Άρη και το διάστημα. Το DSN αποτελείται από τρεις σταθμούς επικοινωνίας που βρίσκονται σε απόσταση περίπου 120 μοιρών μεταξύ τους σε όλο τον κόσμο: στο Goldstone στην έρημο Mojave της Καλιφόρνιας, κοντά στη Μαδρίτη της Ισπανίας και κοντά στην Καμπέρα της Αυστραλίας. Καθώς η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της χάρη σε αυτή την έξυπνη τοποθέτηση, τα διαστημόπλοια μπορούν να φαίνονται συνεχώς. Οι κεραίες DSN είναι τεράστιες, με διαστάσεις 70 μέτρων και 34 μέτρων έτσι οι άνθρωποι μπορούν να επικοινωνούν με τα μακρινά διαστημόπλοια χάρη σε αυτές. Όσο μεγαλύτερη είναι η κεραία, τόσο ισχυρότερο είναι το σήμα και τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα πληροφοριών που μπορεί να στείλει και να λάβει. Οι κεραίες χαμηλού και μεσαίου κέρδους χρησιμοποιήθηκαν από το Mars Science Laboratory για την επικοινωνία όταν βρισκόταν στη διαμόρφωση του σταδίου του ταξιδιού του. Χρησιμοποιώντας την κεραία υψηλού



Εικόνα 28 Κεραίες του DSN στο Goldstone της Καλιφόρνιας [30]



Εικόνα 27 Ο σταθμός DSN στη Μαδρίτη της Ισπανίας [31]

κέρδους X-band και την κεραία UHF (Ultra High Frequency), το Curiosity επικοινωνεί με το DSN στη Γη και το Mars Reconnaissance Orbiter, ενώ περιπλανιέται στον κόκκινο πλανήτη.

Σχεδόν κάθε διαστημικό σκάφος στο ηλιακό μας σύστημα είναι συνδεδεμένο με το DSN.

Πολλά διαστημόπλοια ταξιδεύουν στο διάστημα, παρατηρώντας τον Κρόνο, τον ήλιο, τους αστεροειδείς και τους κομήτες, έτσι η επικοινωνία είναι απαραίτητη. Επιπλέον, το Mars Reconnaissance Orbiter της NASA έχει ενταχθεί σε άλλη τροχιά στον Άρη, ενώ τα Mars Exploration Rovers εξακολουθούν να είναι ενεργά στην επιφάνεια του πλανήτη. Οι κεραίες του DSN εργάζονται εξαιρετικά σκληρά για να παρακολουθούν ταυτόχρονα κάθε μία από αυτές τις διαστημικές αποστολές. Ένα εξελιγμένο σύστημα προγραμματισμού που είναι εγκατεστημένο σε όλο τον κόσμο διασφαλίζει την τήρηση των προτεραιοτήτων κάθε αποστολής.



Εικόνα 29 Ο σταθμός DSN στη Καμπέρα της Αυστραλίας [32]

- **Πώς τα ρόβερ μπορούν να επικοινωνούν μέσω των διαστημοπλοίων που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τον Άρη;**

Τα ρόβερ είναι σε θέση να στέλνουν πληροφορίες σε άλλα διαστημόπλοια που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τον Άρη, εκτός από την αποστολή μηνυμάτων απευθείας στους σταθμούς DSN. Ως αγγελιοφόρους χρησιμοποιούν κυρίως τα διαστημόπλοια Mars Reconnaissance Orbiter και Mars Odyssey, τα οποία αναμεταδίδουν πληροφορίες στη Γη. Οι κεραίες UHF σε κάθε διαστημικό σκάφος είναι το κύριο μέσο με το οποίο "επικοινωνούν". Το Mars Science Laboratory μπορεί να πλοηγηθεί με ασφάλεια προς τον Άρη με τη βοήθεια ενός συστήματος Electra UHF που μεταφέρει το Mars Reconnaissance Orbiter. Το πλεονέκτημα της χρήσης διαστημοπλοίων είναι ότι βρίσκονται πιο κοντά στα ρόβερ από ό,τι οι επίγειες κεραίες DSN και έχουν τον πλανήτη Γη στο οπτικό τους πεδίο για πολύ μεγαλύτερες χρονικές περιόδους από ό,τι τα ρόβερ. Τα ρόβερ επικοινωνούν με τα διαστημόπλοια και το DSN, μέσω ραδιοκυμάτων.

Η επικοινωνία αυτή πραγματοποιείται μέσω ραδιοκυμάτων X-band η συχνότητα των οποίων είναι σημαντικά υψηλότερη από εκείνη των σταθμών FM. Οι κεραίες UHF, οι οποίες είναι κεραίες κοντινής εμβέλειας που μοιάζουν με walkie-talkies σε σύγκριση με το μεγάλο βεληνεκές των κεραιών χαμηλού και υψηλού κέρδους, χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ραδιοκυμάτων από και προς το ρόβερ μέσω των διαστημοπλοίων. Το Curiosity χρησιμοποιεί την κεραία χαμηλού κέρδους για τη λήψη σήματος. Αυτή η κεραία είναι "πανκατευθυντική", που σημαίνει ότι μπορεί να λαμβάνει δεδομένα από όλες τις κατευθύνσεις. Ραδιοκύματα χαμηλής συχνότητας αποστέλλονται από την κεραία αυτή προς τις κεραίες του DSN στη Γη.

Το Curiosity επίσης λαμβάνει οδηγίες από την ομάδα αποστολής στη Γη χρησιμοποιώντας και την κεραία υψηλού κέρδους. Η κατευθυνόμενη κεραία υψηλού κέρδους μπορεί να κινηθεί ώστε να κατευθυνθεί απευθείας προς οποιαδήποτε άλλη κεραία στη Γη. Μπορεί δηλαδή να εκπέμψει μια δέσμη πληροφοριών προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Το πλεονέκτημα της κατευθυνόμενης κεραίας είναι ότι εξαλείφει την ανάγκη μετακίνησης ολόκληρου του οχήματος για να επικοινωνήσει με τη Γη. Το ρόβερ μπορεί να εξοικονομήσει ενέργεια με την απλή περιστροφή της κεραίας, όπως όταν γυρίζετε το λαιμό σας για να μιλήσετε με κάποιον δίπλα σας αντί να γυρίζετε ολόκληρο το σώμα σας [33].

3.4 Δίκτυα και απομακρυσμένος έλεγχος

Ας θυμηθούμε ξανά τι είναι ένα ρομπότ. Ένα ρομπότ είναι μια μηχανική κατασκευή η οποία μπορεί να αντικαθιστά τον άνθρωπο σε διάφορες δύσκολες ή επικίνδυνες εργασίες. Η επιστήμη που αναπτύσσει και μελετά τα ρομπότ ονομάζεται Ρομποτική επιστήμη που αποτελεί συνδυασμό πολλών κλάδων άλλων επιστημών. Οι κυριότεροι κλάδοι είναι αυτοί της Πληροφορικής, της Ηλεκτρονικής και της Μηχανολογίας. Ένα ρομπότ μπορεί να δράσει κάτω από τον απευθείας έλεγχο ενός ανθρώπου ή αυτόνομα κάτω από τον έλεγχο ενός προγραμματισμένου υπολογιστή.

Ένα ασύρματο δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξ αποστάσεως διαχείριση ενός κινητού ρομπότ για κατασκευαστικές εργασίες που δεν μπορούν να προσεγγίσουν άνθρωποι ή αποτελούν κίνδυνο για την υγεία τους. Εκεί είναι που η χρήση ενός ρομπότ αποτελεί την μόνη λύση. Με τη χρήση ενός ασύρματου δικτύου για τη μεταφορά δεδομένων, η εμβέλεια εργασίας των ρομπότ μπορεί να αυξηθεί σημαντικά. Η αποτελεσματικότητα της εργασίας των ρομπότ βελτιώνεται μέσω της έρευνας σχετικά με τον τρόπο υλοποίησης ενός αξιόπιστου και ακριβούς συστήματος τηλεχειρισμού σε πραγματικό χρόνο.

Σημαντικό στοιχείο των αναπτυσσόμενων σύγχρονων υπηρεσιών είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, ένα νέο τεχνολογικό σύστημα που αποτελείται από πολλές νέες τεχνολογίες. Η εμφάνιση του Διαδικτύου των Πραγμάτων μεταβάλλει τα παλιά παραδοσιακά δίκτυα. Πλέον έχουμε τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε ρομπότ ελεγχόμενα από έξυπνες κινητές συσκευές. Με την πρόοδο των ενσωματωμένων συστημάτων και των υπολογιστών, τα ασύρματα δίκτυα και τα έξυπνα κινητά έχουν γίνει μέρος της καθημερινής μας ζωής και επίσης τα πρώτα ρομπότ αρχίζουν να κάνουν σιγά σιγά την εμφάνισή τους.

Στην ενότητα αυτή γίνεται αναφορά στα ασύρματα δίκτυα. Ορίζονται και συζητούνται οι διάφορες ασύρματες τεχνολογίες καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά τους, οι ανησυχίες για την ασφάλεια, τα οφέλη και οι χρήσεις ή εφαρμογές τους. Τα ασύρματα δίκτυα είναι δίκτυα που συνδέουν συσκευές χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα και όχι καλώδια όπως χρησιμοποιούν τα ενσύρματα δίκτυα.

Οι φορητοί υπολογιστές, οι επιτραπέζιοι υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα και τα τάμπλετ είναι μεταξύ των συσκευών που χρησιμοποιούνται συχνά στα ασύρματα δίκτυα. Σε αντίθεση με τα ενσύρματα δίκτυα, τα ασύρματα δίκτυα λειτουργούν μετατρέποντας τα σήματα πληροφοριών σε μορφή κατάλληλη για μετάδοση στον αέρα. Τα ασύρματα δίκτυα έχουν ποικίλες χρήσεις. Ορισμένες φορές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντικατάσταση καλωδίων, ενώ μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παροχή πρόσβασης απομακρυσμένων χρηστών σε εταιρικά δεδομένα.

Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές ενσύρματες επιλογές, η ασύρματη υποδομή μπορεί να δημιουργηθεί με σχετικά χαμηλό κόστος. Ωστόσο, η κατασκευή ασύρματων δικτύων δεν αφορά μόνο τη μείωση του κόστους. Το Διαδίκτυο προσφέρει ευκολότερη, γρηγορότερη αλλά και φθηνότερη πρόσβαση σε πολλές διαφορετικές πληροφορίες οπότε χρησιμοποιώντας το ωφελούμαστε κατά πολύ. Ο χρόνος και η προσπάθεια που εξοικονομείται από την πρόσβαση στο παγκόσμιο δίκτυο πληροφοριών είναι πολύ σημαντικοί παράγοντες, καθώς περισσότερες εργασίες μπορούν να γίνουν σε λιγότερο χρόνο και με λιγότερη προσπάθεια. Τα ασύρματα δίκτυα επιτρέπουν τη σύνδεση απομακρυσμένων συσκευών χωρίς δυσκολία, ανεξάρτητα από το αν οι συσκευές αυτές βρίσκονται σε απόσταση λίγων μέτρων ή πολλών χιλιομέτρων και δεν χρειάζεται να σπάσετε

τοίχους για να περάσετε καλώδια ή να εγκαταστήσετε συνδέσμους. Για αυτούς τους λόγους η χρήση των ασύρματων δικτύων έχει γίνει πολύ δημοφιλής και παρουσιάζει ταχεία ανάπτυξη.

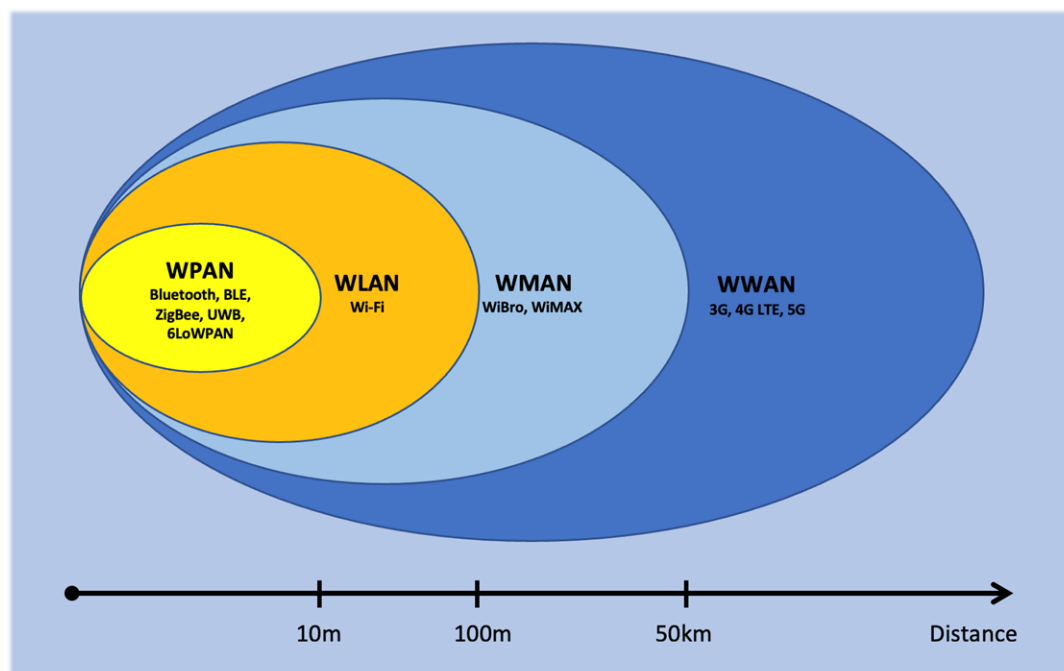
Υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες μετάδοσης και έχουν διαφορετικές ταχύτητες και εμβέλειες μετάδοσης. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν ορισμένα προβλήματα σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διέπεται από τον νόμο. Πολυάριθμες τεχνολογίες μεταδίδουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα, ωστόσο τα κύματα αυτά είναι ευάλωτα σε παρεμβολές. Συνεπώς, όλα τα έθνη απαιτούν κανόνες που καθορίζουν τις ζώνες συχνοτήτων και τα όρια ισχύος μετάδοσης για κάθε τεχνολογία. Επιπλέον, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι δύσκολο να περιοριστούν σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Για το λόγο αυτό, εάν τα δεδομένα που αποστέλλονται δεν είναι κρυπτογραφημένα, ένας κακόβουλος χρήστης μπορεί εύκολα να τα υποκλέψει ή και να τα αλλοιώσει. Προκειμένου να διαφυλαχθεί το απόρρητο των δεδομένων που μεταδίδονται μέσω ασύρματων δικτύων, θα πρέπει να ακολουθούνται όλες οι κατάλληλες προφυλάξεις [34].

3.4.1 Ασύρματες Τεχνολογίες

Ανάλογα με την περιοχή εφαρμογής και την εμβέλεια του σήματος, τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες:

1. Ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής (WPANs),
2. Ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (WLANs),
3. Ασύρματα δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής (WMANs) και
4. Ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWANs).

Ακολουθεί σχήμα με τις τέσσερις κατηγορίες ασύρματων δικτύων.



Εικόνα 30 Οι τέσσερις κατηγορίες ασύρματων δικτύων [34]

Επιπλέον, υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες στις οποίες μπορούν να χωριστούν τα ασύρματα δίκτυα: μικρής και μεγάλης εμβέλειας. Τα δίκτυα που περιορίζονται σε ένα μικρό χώρο θεωρούνται ασύρματα δίκτυα μικρής εμβέλειας. Αυτό ισχύει για τοπικά δίκτυα (LANs), όπως εταιρικά κτίρια, σχολικές εγκαταστάσεις, εργοστάσια παραγωγής ή σπίτια, καθώς και για δίκτυα προσωπικής περιοχής (PANs), όπου φορητοί υπολογιστές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους πρέπει να επικοινωνούν. Συνήθως, τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούν μη αδειοδοτημένο φάσμα που προορίζεται για χρήση από τον βιομηχανικό, επιστημονικό και ιατρικό τομέα. Από το ένα κράτος στο άλλο, διατίθενται διαφορετικές συχνότητες αλλά οι δύο πιο δημοφιλείς είναι τα 2.4 GHz και τα 5 GHz επειδή είναι προσβάσιμες στην πλειονότητα του κόσμου. Λόγω της διαθεσιμότητας αυτών των συχνοτήτων, οι χρήστες μπορούν να λειτουργούν ασύρματα δίκτυα δωρεάν και χωρίς άδεια. Αυτό έχει διευκολύνει την ανάπτυξη τέτοιων δικτύων, επειδή δεν είναι απαραίτητη η άδεια χρήσης. Τα δίκτυα μεγάλης εμβέλειας έχουν συχνά σύνδεση που παρέχεται από επιχειρήσεις που προσφέρουν την ασύρματη συνδεσιμότητα ως υπηρεσία. Αυτά τα δίκτυα καλύπτουν τεράστιες περιοχές, όπως ένα ολόκληρο έθνος, μια πολιτεία ή επαρχία ή μια μητροπολιτική περιοχή. Η παγκόσμια ασύρματη κάλυψη είναι ο στόχος των δικτύων μεγάλης εμβέλειας. Το ασύρματο δίκτυο ευρείας περιοχής είναι το πιο δημοφιλές δίκτυο μεγάλης εμβέλειας (WWAN). Τα δορυφορικά δίκτυα είναι επίσης μια επιλογή εάν απαιτείται πραγματική παγκόσμια κάλυψη [34].

Στα ασύρματα δίκτυα κυριαρχούν δύο είδη αρχιτεκτονικών. Η πρώτη είναι η μέθοδος ad hoc ενώ η δεύτερη είναι η μέθοδος της υποδομής. Στη λειτουργία ad hoc οι συσκευές επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους, ενώ στη λειτουργία υποδομής αλληλεπιδρούν μέσω ενός σημείου πρόσβασης που λειτουργεί ως γέφυρα με άλλα δίκτυα.

- **Δίκτυα Ad Hoc**

Όλες οι συσκευές ασύρματου δικτύου μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους απευθείας σε ομότιμη λειτουργία χρησιμοποιώντας τη λειτουργία ad hoc. Επίσης, δεν υπάρχουν μόνιμες τοποθεσίες ή δομές στο δίκτυο, ενώ για την επικοινωνία από συσκευή σε συσκευή, δεν είναι απαραίτητο ένα σημείο πρόσβασης. Μικρές ομάδες συσκευών που είναι σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους είναι οι καταλληλότερες για τη λειτουργία ad hoc αλλά καθώς αυξάνεται ο αριθμός των συσκευών, η απόδοση του δικτύου μειώνεται. Ακόμα τυχαίες αποσυνδέσεις συσκευών μπορεί να πραγματοποιούνται συχνά πράγμα που κάνει δυσκολότερη τη διαχείριση του δικτύου από τους διαχειριστές του. Η αδυναμία των δικτύων με λειτουργία ad hoc να συνδεθούν με ενσύρματα τοπικά δίκτυα και να αποκτήσουν πρόσβαση στο διαδίκτυο χωρίς την εγκατάσταση ειδικών πυλών είναι ένα άλλο μειονέκτημα. Ωστόσο, η λειτουργία ad hoc είναι η απλούστερη και πιο προσιτή προσέγγιση για τη δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου και λειτουργεί καλά σε μικρά περιβάλλοντα.

- **Δίκτυα υποδομής**

Ένας διαφορετικός σχεδιασμός ασύρματου δικτύου είναι η λειτουργία υποδομής στον οποίο απαιτείται ένα σημείο πρόσβασης για τη σύνδεση όλων των διαθέσιμων συσκευών στο συγκεκριμένο ασύρματο δίκτυο. Τις περισσότερες φορές, τα ασύρματα σημεία πρόσβασης είναι μεταγωγείς ή δρομολογητές που μετατρέπουν τα ασύρματα δεδομένα σε ενσύρματα δεδομένα Ethernet και χρησιμεύουν ως γέφυρα μεταξύ των χρηστών ενσύρματου LAN και των

ασύρματων χρηστών. Ένας ενσύρματος κορμός Ethernet που συνδέει πολλά σημεία πρόσβασης μπορεί να αυξήσει την κάλυψη του ασύρματου δικτύου. Μια κινητή συσκευή εισέρχεται στην εμβέλεια ενός άλλου σημείου πρόσβασης καθώς εξέρχεται από την εμβέλεια του πρώτου. Έτσι, οι ασύρματοι πελάτες μπορούν να μετακινούνται ελεύθερα μεταξύ διαφορετικών περιοχών σημείων πρόσβασης, διατηρώντας παράλληλα μια σταθερή σύνδεση δικτύου. Η λειτουργία υποδομής προσφέρει πολύ μεγαλύτερη σταθερότητα, επεκτασιμότητα και διαχειριστική απλότητα μαζί με καλύτερη ασφάλεια. Ωστόσο, η χρήση της επιλογής υποδομής απαιτεί την καταβολή περισσότερων χρημάτων για την εγκατάσταση σημείων πρόσβασης, όπως μεταγωγείς ή δρομολογητές [34].

3.4.2 Ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής (WPAN)

Το πρότυπο IEEE 802.15 χρησιμεύει ως βάση για τα ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής. Αυτά τα δίκτυα επιτρέπουν την επικοινωνία σε μια σχετικά μικρή περιοχή, περίπου 10 μέτρων. Σε αντίθεση με τις συνδέσεις που πραγματοποιούνται μέσω άλλων ασύρματων δικτύων, οι συνδέσεις WPAN απαιτούν ελάχιστη έως καθόλου υποδομή ή άμεση επαφή με τον εξωτερικό κόσμο. Αυτό καθιστά δυνατή την ανάπτυξη απλών, προσιτών και ενεργειακά αποδοτικών λύσεων για μια ποικιλία συσκευών, συμπεριλαμβανομένων των κινητών συσκευών.

Χαρακτηριστικά των δικτύων αυτών είναι οι χαμηλές απαιτήσεις ισχύος και οι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων. Τα δίκτυα αυτά βασίζονται σε Bluetooth, IrDA (Infrared Data Association), ZigBee ή UWB (Ultra Wide Band), μεταξύ άλλων τεχνολογιών. Σύμφωνα με τη χρήση για την οποία προορίζονται, το Bluetooth είναι κατασκευασμένο για ασύρματα ποντίκια, πληκτρολόγια και ακουστικά hands-free, το IrDA είναι κατασκευασμένο για συνδέσεις σημείου-προς-σημείου μεταξύ δύο συσκευών για γρήγορη μεταφορά δεδομένων και συγχρονισμό αρχείων, το ZigBee είναι κατασκευασμένο για αξιόπιστα ασύρματα δίκτυα παρακολούθησης και ελέγχου και το UWB είναι κατασκευασμένο για συνδέσεις πολυμέσων υψηλού εύρους ζώνης [34].

- **Bluetooth**

Το Bluetooth αντιστοιχεί στο πρότυπο IEEE 802.15.1. Αρχικά, το Bluetooth σχεδιάστηκε για επικοινωνίες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και μικρής εμβέλειας για να χρησιμοποιηθεί ως αντικαταστάτης καλωδίων, συνδέοντας συσκευές μέσω μιας ad hoc σύνδεσης ραδιοκυμάτων. Αυτές τις μέρες, οι σχεδιαστές δημιουργούν συσκευές και συστήματα με δυνατότητα Bluetooth για διάφορες επιπλέον χρήσεις. Η εμβέλεια των συσκευών κλάσης 1, κλάσης 2 και κλάσης 3 που υποστηρίζει αυτή η τεχνολογία είναι περίπου 100 μέτρα, 10 μέτρα και 1 μέτρο αντίστοιχα. Δύο συσκευές που χρησιμοποιούν τη ζώνη 2.4 GHz μπορούν να μοιραστούν έως και 720 Kbps χωρητικότητας ή ρυθμού μεταφοράς, εάν βρίσκονται η μία εντός της εμβέλειας κάλυψης της άλλης. Η κατηγορία 2 είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη. Εκτός από την τεχνολογία Bluetooth, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και η παραλλαγή Bluetooth Low Energy (BLE) που στοχεύει σε ακόμη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας.

- **IrDA**

Η Infrared Data Association, γνωστή και ως IrDA, είναι μια συλλογή κατασκευαστών υπολογιστών και συσκευών που δημιούργησε ένα πρότυπο για τη μετάδοση δεδομένων με τη χρήση υπέρυθρων φωτεινών κυμάτων. Το IrDA ιδρύθηκε το 1993 με στόχο τη δημιουργία

προτύπων για την ασύρματη μεταφορά δεδομένων με υπέρυθρες ακτίνες μεταξύ υπολογιστών αλλά και άλλων συσκευών. Οι πιο δημοφιλείς συσκευές που διέθεταν θύρες IrDA παλαιότερα ήταν οι φορητοί υπολογιστές και οι εκτυπωτές ενώ σήμερα η τεχνολογία αυτή συναντάται στα τηλεκοντρόλ των έξυπνων τηλεοράσεων. Οι συσκευές μπορούσαν να χρησιμοποιούν έναν εκτυπωτή ή να μεταφέρουν δεδομένα μέσω της σύνδεσης IrDA χωρίς την ανάγκη για επιπλέον καλώδια. Για παράδειγμα, εάν ο φορητός υπολογιστής και ο εκτυπωτής σας διέθετε θύρες IrDA, μπορούσατε να εκτυπώσετε ένα έγγραφο απλώς τοποθετώντας τον υπολογιστή μπροστά από τον εκτυπωτή, χωρίς να χρειάζεστε καλώδιο. Σήμερα για αυτή την διαδικασία χρησιμοποιούμε εκτυπωτές με δυνατότητα Wi-Fi σύνδεσης.

- **ZigBee και 6LoWPAN**

Το IEEE 802.15.4 χρησιμεύει ως βάση για το ZigBee και το 6LoWPAN, το οποίο δημιουργήθηκε ως ένα ανοικτό παγκόσμιο πρότυπο για να ικανοποιήσει τις ειδικές απαιτήσεις για απλή υλοποίηση, υψηλή αξιοπιστία, προσιτή τιμή, χαμηλή ισχύ και χαμηλό ρυθμό δεδομένων ορισμένων ασύρματων συσκευών. Με μέγιστο ρυθμό μεταφοράς 250 Kbps σε μη αδειοδοτημένες ζώνες, συμπεριλαμβανομένων των 2.4 GHz, 900 MHz και 868 MHz, το ZigBee μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις αισθητήρων και αυτοματισμού.

- **UWB**

Η τεχνολογία Ultra Wide Band, η οποία βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.3, έχει λάβει πρόσφατα μεγάλο ενδιαφέρον ως μέθοδος ασύρματων επικοινωνιών υψηλής ταχύτητας μικρής εμβέλειας σε εσωτερικούς χώρους. Σε σύγκριση με τις άλλες τεχνολογίες που καλύπτονται στην παρούσα ενότητα, η UWB έχει μια σημαντικά διαφορετική λειτουργία. Χάρη στο UWB μπορούν να αποστέλλονται μαζικά αρχεία σε μικρές αποστάσεις με υψηλές ταχύτητες δεδομένων. Έτσι, το UWB έχει ρυθμό μεταφοράς δεδομένων από 110 Mbps έως 480 Mbps σε αποστάσεις έως λίγα μέτρα, ρυθμός ο οποίος μπορεί να ικανοποιήσει την πλειονότητα των εφαρμογών πολυμέσων, όπως η παράδοση ήχου και βίντεο στην οικιακή δικτύωση. Μπορεί επίσης να αντικαταστήσει τους σειριακούς διαύλους υψηλής ταχύτητας όπως το USB 2.0. Η περιοχή 3.1 GHz έως 10.6 GHz έχει οριστεί ως το φάσμα συχνοτήτων UWB στις Ηνωμένες Πολιτείες ενώ οι συχνότητες στην Ευρώπη χωρίζονται σε δύο περιοχές: 3.4 GHz έως 4.8 GHz και 6 GHz έως 8.5 GHz.

3.4.3 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN)

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) χρησιμοποιούνται συνήθως σε σπίτια, σχολεία, εργαστήρια πληροφορικής και γραφεία και προορίζονται για την ασύρματη συνδεσιμότητα σε τοποθεσίες με τυπική εμβέλεια έως και 100 μέτρα. Χάρη σε αυτό οι χρήστες μπορούν να κινούνται μέσα σε μια περιορισμένη περιοχή κάλυψης, παραμένοντας συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Τα WLAN βασίζονται στα πρότυπα IEEE 802.11 και διατίθενται στην αγορά με την εμπορική ονομασία Wi-Fi (Wireless Fidelity). Το πρότυπο IEEE 802.11 έφτασε ταχύτερα στην αγορά και ήταν πιο απλό, έτσι άλλα πρότυπα όπως το HiperLAN που δεν χρησιμοποιήθηκαν αρκετά, δεν κατάφεραν να εδραιωθούν εξαιτίας του χαμηλού ανταγωνισμού.



Εικόνα 31 Συσκευές συνδεδεμένες στο δίκτυο Wi-Fi

Η οικογένεια τεχνολογιών ασύρματων τοπικών δικτύων IEEE 802.11 περιλαμβάνει διάφορες προδιαγραφές. Το πρώτο ευρέως χρησιμοποιούμενο πρότυπο, το IEEE 802.11b, υποστήριζε ρυθμούς δεδομένων έως και 11 Mbps στη μη αδειοδοτημένη περιοχή συχνοτήτων 2.4 GHz. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε το πρότυπο IEEE 802.11g ως διάδοχος του IEEE 802.11b με υψηλότερο εύρος ζώνης. Ένα σημείο πρόσβασης IEEE 802.11g θα υποστηρίξει πελάτες 802.11b και 802.11g. Παρόμοια, ένας φορητός υπολογιστής εξοπλισμένος με μια κάρτα IEEE 802.11g θα μπορεί να συνδεθεί τόσο στα νέα σημεία πρόσβασης 802.11g όσο και στα τρέχοντα σημεία πρόσβασης 802.11b. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ασύρματα LAN που βασίζονται στο 802.11g θα χρησιμοποιούν την ίδια περιοχή 2.4 GHz με το 802.11b. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης της ασύρματης σύνδεσης IEEE 802.11g είναι τα 54 Mbps, ωστόσο εάν εντοπιστούν παρεμβολές ή κακό σήμα, μειώνεται [34].

Μπορούμε να ελέγχουμε το ρομπότ από απόσταση χάρη στην τεχνολογία Wi-Fi μέσω ενός κινητού τηλεφώνου. Τα δίκτυα Wi-Fi, γνωστά επίσης ως IEEE 802.11, έχουν γίνει όλο και πιο διαδεδομένα τα τελευταία χρόνια, τόσο σε εμπορικές όσο και σε οικιακές εφαρμογές δικτύωσης και αυτό θα συνεχιστεί στο μέλλον επειδή ταυτόχρονα αναπτύσσεται και ο κινητός εξοπλισμός με τον οποίο συνδυάζονται αρμονικά. Τα κινητά τηλέφωνα έχουν πλέον πάρα πολλές εφαρμογές, η τιμή τους ολοένα και μειώνεται, είναι πιο εύκολα στη χρήση, ενώ παράλληλα είναι φορητά. Οι πιο δημοφιλείς

πλατφόρμες ανάπτυξης κινητών συσκευών αυτή τη στιγμή είναι το Symbian, το iPhone και το Android. Ως αποτέλεσμα του ανοιχτού κώδικα και του υψηλού βαθμού λειτουργίας του, το λειτουργικό σύστημα Android χρησιμοποιείται ευρέως. Η χρήση των δικτύων υπολογιστών είναι ζωτικής σημασίας για την εύρυθμη λειτουργία των σημερινών εμπορικών επιχειρήσεων. Οι επιχειρήσεις δικτύωσης κινούνται όλο και περισσότερο προς την ασύρματη τεχνολογία, ιδίως την τεχνολογία Wi-Fi, ως αποτέλεσμα της τάσης προς την κινητή πληροφορική και επικοινωνία. Τα ασύρματα δίκτυα, ιδίως εκείνα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία Wi-Fi, γίνονται όλο και πιο διαδεδομένα και στους οικιακούς χρήστες και όχι μόνο στον επιχειρηματικό κόσμο. Τα ακόλουθα σημεία δείχνουν τους παράγοντες που καθιστούν τα ασύρματα δίκτυα πιο δημοφιλή από τα ενσύρματα:

- **Κινητικότητα:** Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα μπορούν να δώσουν στους χρήστες πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μέσα στον οργανισμό τους χωρίς τους περιορισμούς που επιβάλλουν οι φυσικές καλωδιακές συνδέσεις.
- **Ταχύτητα και απλότητα εγκατάστασης:** Η εγκατάσταση ασύρματων τοπικών δικτύων είναι γρήγορη και εύκολη, επειδή δεν χρειάζεται να περάσουν καλώδια μέσα από τοίχους και οροφές.
- **Ευελιξία εγκατάστασης:** Η πρόσβαση είναι δυνατή σε τοποθεσίες όπου δεν μπορούν να περάσουν καλώδια δικτύου.
- **Κόστος ιδιοκτησίας:** Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα έχουν χαμηλότερο συνολικό κόστος εγκατάστασης και κόστος κύκλου ζωής από τα συμβατικά τοπικά δίκτυα. Σε χώρους εργασίας που απαιτούνται συχνές μετακινήσεις και προσαρμογές, η διαφορά είναι σημαντικά μεγαλύτερη.
- **Επεκτασιμότητα:** Δεδομένου ότι η διάταξη των φυσικών καλωδίων δικτύου δεν είναι απαραίτητη για τη διαμόρφωση του ασύρματου τοπικού δικτύου, η επεκτασιμότητα είναι σχετικά απλή.

Τα ασύρματα δίκτυα θα αποκτήσουν μεγαλύτερη σημασία στο μέλλον, ωστόσο δεν θα μπορέσουν να εκτοπίσουν πλήρως τα συμβατικά ενσύρματα δίκτυα. Όσο αναφορά τον απομακρυσμένο έλεγχο ενός ρομπότ, εκτός από τη τεχνολογία Wi-Fi, χρησιμοποιείται επίσης και η τεχνολογία του Bluetooth. Αρκετά συχνά σε συσκευές χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και χαμηλού ρυθμού δεδομένων για επικοινωνία, χρησιμοποιούμε το ασύρματο δίκτυο Bluetooth γιατί απαιτεί πολύ λιγότερη ενέργεια από το Wi-Fi, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Λόγω του κόστους που σχετίζεται με τη σύνδεση ή τη διατήρηση των συνδέσεων με το σημείο πρόσβασης, οι συσκευές Wi-Fi καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια. Γι' αυτό το λόγο το Bluetooth εξακολουθεί να χρησιμοποιείται συχνά για την επικοινωνία σε πολλές συσκευές με μπαταρία, όπως είναι τα έξυπνα ρολόγια, τα ασύρματα ακουστικά και οι αισθητήρες του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Ωστόσο, εν αντιθέσει με τις συσκευές Wi-Fi, οι συσκευές Bluetooth χρειάζονται σχεδόν τρεις φορές περισσότερη ενέργεια για τη μετάδοση ενός bit δεδομένων στο φυσικό επίπεδο.

Όπως αναφέραμε πιο πάνω, είναι ενδιαφέρον ότι, παρόλο που το Bluetooth απαιτεί λιγότερη ενέργεια για να στείλει ένα bit πληροφορίας στο επίπεδο εφαρμογής, στην πραγματικότητα απαιτεί σχεδόν τριπλάσια ενέργεια από το Wi-Fi για να μεταδώσει ένα bit δεδομένων στο φυσικό επίπεδο. Στο φυσικό επίπεδο, η ενέργεια που απαιτείται για τη μετάδοση ενός bit δεδομένων μέσω Bluetooth είναι 275-300 nJ/bit, ενώ με το Wi-Fi είναι 10-100 ανάλογα με τον ρυθμό μετάδοσης. Το πρόβλημα

είναι ότι για εφαρμογές που απαιτούν μόνο περιοδική επικοινωνία Wi-Fi με μικρές ποσότητες δεδομένων π.χ. διάφορες συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων, προκύπτουν σημαντικές απαιτήσεις ενέργειας για την εγκαθίδρυση και τη διατήρηση της σύνδεσης με το σημείο πρόσβασης. Για παράδειγμα, θεωρήστε ότι έχουμε έναν ασύρματο αισθητήρα θερμοκρασίας με μπαταρία, ο οποίος περνάει το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου του σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας για εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά ξυπνάει περιοδικά κάθε 10 λεπτά για να στείλει την ένδειξη της θερμοκρασίας του σε ένα σταθμό. Εάν αυτός ο αισθητήρας χρησιμοποιεί ένα ασύρματο δίκτυο Wi-Fi, κατά την αφύπνιση από την κατάσταση αναστολής λειτουργίας, πρέπει να επανασυνδεθεί με το σταθμό πριν μεταδώσει δεδομένα. Ως αποτέλεσμα, για να μεταδοθούν μερικά bytes πραγματικών δεδομένων, πρέπει πρώτα να γίνει ανταλλαγή διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, διαδικασία η οποία απαιτεί σημαντική ενέργεια [35].

Το Wi-Fi είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη ασύρματη τεχνολογία που βελτιώνεται συνεχώς για να ανταποκριθεί σε απαιτήσεις όπως η υψηλή απόδοση, η επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, τα πυκνά δίκτυα και η οικονομία πόρων και ενέργειας. Ταχύτητες δεδομένων έως και περίπου 10 Gb/s, μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και αυξημένη αξιοπιστία, είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά που υποστηρίζει το πρότυπο IEEE 802.11ax, γνωστό και ως Wi-Fi 6. Οι δυνατότητές του ξεπερνούν κατά πολύ τις δυνατότητες του Wi-Fi 5 (802.11ac), ως αποτέλεσμα των νέων τεχνικών που έχουν χρησιμοποιηθεί. Ορισμένες από τις τεχνικές που περιλαμβάνει το πρότυπο 802.11ax είναι η εξυπηρέτηση πολλαπλών χρηστών με συστημάτων πολλαπλών εισόδων - εξόδων (MU MIMO, Multi-User Multiple-Input Multiple-Output), η πολλαπλή πρόσβαση με ορθογώνια διαίρεση συχνότητας πολλαπλών χρηστών (MU OFDMA, Multi-User Orthogonal Frequency Division Multiple Access), νέους μηχανισμούς για χωρική επαναχρησιμοποίηση (SR, Spatial Reuse), νέους μηχανισμούς για εξοικονόμηση ενέργειας, διαμόρφωση υψηλότερης τάξης και άλλες μικρές πρόσθετες βελτιώσεις.

Τα επόμενα χρόνια, το ασύρματο φορτίο θα αυξηθεί δραστικά. Μέχρι το 2023, η Cisco προβλέπει 71% κινητή συνδεσιμότητα. Οι κύριες εφαρμογές για τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (WLANs, Wireless Local Area Networks) είναι η υγειονομική περίθαλψη για την παρακολούθηση και διάγνωση ασθενών, ο βιομηχανικός αυτοματισμός με την ευελιξία κίνησης ενεργοποιητών, αισθητήρων, ελεγκτών, κινητών χρηστών, πυκνά δίκτυα που περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό χρηστών κ.λπ. Λόγω της μεγάλης πυκνότητας των χρηστών και των σημείων πρόσβασης, τα πυκνά δίκτυα παράγουν πολλές παρεμβολές γι' αυτό απαιτούν αποτελεσματική χρήση των χωρικών συχνοτήτων. Το πρότυπο IEEE 802.11 πληροί αυτές τις απαιτήσεις. Το πρότυπο 802.11 είναι μια μη αδειοδοτημένη τεχνολογία που επικεντρώνεται στο φυσικό επίπεδο (Physical) και στο MAC (Media Access Control) επίπεδο. Χρησιμοποιείται κυρίως για επιχειρήσεις και οικιακά δίκτυα και είναι κατάλληλο για κινητή και υψηλής ταχύτητας πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Το 2023 θα υπάρχουν 628 εκατομμύρια δημόσια Wi-Fi hotspots, καθώς πολλές υποδομές βασίζονται στην τεχνολογία Wi-Fi. Το IEEE 802.11ac, το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πρότυπο Wi-Fi, δεν είναι αρκετά αποδοτικό σε ενέργεια για τα δίκτυα του Διαδικτύου των Πραγμάτων ούτε ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις πραγματικού χρόνου και υψηλής αξιοπιστίας των εφαρμογών πολυμέσων υψηλής ποιότητας. Επίσης προκαλεί αναποτελεσματική διαχείριση ισχύος και εμποδίζει την υποστήριξη πολλών χρηστών ταυτόχρονα με υψηλή ποιότητα υπηρεσίας (QoS, Quality of Service).

Στο πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η εξέλιξη του προτύπου 802.11.

Amendment	Year Released	Target
IEEE 802.11b	1999	Wi-Fi 1
IEEE 802.11a	1999	Wi-Fi 2
IEEE 802.11g	2003	Wi-Fi 3
IEEE 802.11e	2005	QoS enhancements
IEEE 802.11n	2009	Wi-Fi 4
IEEE 802.11ac	2013	Wi-Fi 5
IEEE 802.11ah	2017	Low-power WLAN Extended range
IEEE 802.11ax	2021	Wi-Fi 6

Πίνακας 1 Η εξέλιξη του προτύπου 802.11 [36]

Το 2014, η ομάδα εργασίας IEEE 802.11ax άρχισε να ερευνά και να αναπτύσσει την επόμενη γενιά WLAN, κατάλληλη για πυκνά δίκτυα και επικοινωνίες πραγματικού χρόνου. Τον Μάιο του 2021, το πρότυπο Wi-Fi 6 κυκλοφόρησε επίσημα. Ο κύριος στόχος της ομάδας εργασίας ήταν η αύξηση του ρυθμού μετάδοσης ανά σταθμό κατά τέσσερις φορές με ταυτόχρονη διατήρηση ή μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε σχέση με το IEEE 802.11ac. Το πρότυπο αυτό αναφέρεται ως πρότυπο υψηλής απόδοσης. Για να βελτιώσει την ικανοποίηση των χρηστών Wi-Fi, το IEEE 802.11ax ενημερώνει τόσο το φυσικό επίπεδο όσο και το επίπεδο MAC και προσθέτει πολυάριθμες λειτουργίες. Το 802.11ax λειτουργεί στις ζώνες συχνοτήτων 2.4, 5 και 6 GHz. Μαζί, αυτά τα χαρακτηριστικά οδηγούν σε υψηλούς ρυθμούς δεδομένων έως και 9.6 Gb/s. Τα δίκτυα ακόμα υψηλότερης απόδοσης βρίσκονται στο επίκεντρο του προτύπου IEEE 802.11be (Wi-Fi 7), του διαδόχου του προτύπου Wi-Fi 6. Ωστόσο, βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και δεν θα είναι πιθανότατα διαθέσιμο πριν το 2024 [36].

3.4.4 Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα (WMAN)

Η τρίτη κατηγορία ασύρματων δικτύων είναι γνωστή ως Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα (WMAN). Τα WMAN βασίζονται στο πρότυπο IEEE 802.16, συχνά γνωστό ως WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Το WiMAX είναι μια τεχνολογία επικοινωνιών που υποστηρίζει αρχιτεκτονική από σημείο σε πολλαπλά σημεία με στόχο την παροχή ασύρματων δεδομένων υψηλής ταχύτητας σε μητροπολιτικά δίκτυα. Αυτό καθιστά δυνατή τη σύνδεση μικρότερων ασύρματων LAN με χρήση WiMAX για τη δημιουργία ενός μεγάλου WMAN. Ως αποτέλεσμα, η δικτύωση μεταξύ πόλεων είναι δυνατή χωρίς τη χρήση δαπανηρών καλωδιώσεων. Το WiMAX μοιάζει με το Wi-Fi, αλλά έχει μεγαλύτερο εύρος κάλυψης. Το WiMAX λειτουργεί σε δύο ζώνες συχνοτήτων, έναν συνδυασμό αδειοδοτημένης και μη αδειοδοτημένης ζώνης, από 2 GHz έως 11 GHz και από 10 GHz έως 66 GHz, και μπορεί να μεταφέρει περίπου 70 Mbps σε χιλιάδες χρήστες από έναν μόνο σταθμό βάσης σε απόσταση 50 km. Το Wi-Fi έχει σχεδιαστεί για να παρέχει κάλυψη σε σχετικά μικρές περιοχές, όπως σε γραφεία, εργοστάσια ή σχολικές μονάδες. Το WiMAX μπορεί να λειτουργήσει τόσο σε περιβάλλοντα με οπτική επαφή όσο και σε περιβάλλοντα χωρίς οπτική επαφή, καθώς μπορεί να χρησιμοποιήσει δύο ζώνες συχνοτήτων. Όταν χρησιμοποιείται η μη οπτική επαφή στη ζώνη συχνοτήτων 2 έως 11 GHz, ένας υπολογιστής εντός ενός κτιρίου συνδέεται με έναν πύργο ή μια κεραία εκτός του κτιρίου. Τα φυσικά εμπόδια δεν παρεμβαίνουν εύκολα στις εκπομπές μικρής εμβέλειας. Για υπηρεσία οπτικής επαφής,

χρησιμοποιούνται εκπομπές υψηλότερης συχνότητας. Ως αποτέλεσμα, οι πύργοι και οι κεραίες μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους ευρύτερα [34].

3.4.5 Ασύρματα Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (WWAN)

3.4.5.1 Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας

Σε σύγκριση με ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο, ένα ασύρματο δίκτυο ευρείας περιοχής έχει μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης. Η κάλυψη συνήθως περιλαμβάνει την υποδομή ασύρματου δικτύου σε εθνικό επίπεδο που προέρχεται από ένα πάροχο ασύρματων υπηρεσιών. Εάν ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο χρησιμοποιείται για να επιτρέψει στους χρήστες του δικτύου να μετακινούνται σε περιορισμένο χώρο, ένα ασύρματο δίκτυο ευρείας περιοχής χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να προσφέρει σε επαγγελματίες ή τεχνικούς πεδίου μια κινητή σύνδεση στο διαδίκτυο με ευρύτερη περιοχή κάλυψης.

Ακόμη και όταν οι χρήστες βρίσκονται μακριά από το γραφείο, το ασύρματο WAN τους επιτρέπει να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο, στο ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, στις εφαρμογές και στα εταιρικά δεδομένα. Τα κυψελοειδή δίκτυα χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων στο ασύρματο WAN ενώ τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται συχνά περιλαμβάνουν 3G, 4G και 5G δίκτυα. Η αρχιτεκτονική του κυψελοειδούς δικτύου έχει υποστεί συνεχείς βελτιώσεις προκειμένου να αντιμετωπίσει τον αυξανόμενο αριθμό χρηστών και τα αυξανόμενα επίπεδα κίνησης (φωνή, δεδομένα, κ.λπ.). Η αναζήτηση για μεγαλύτερο εύρος ζώνης συχνοτήτων αλλά και ταχύτερο χρόνο σύνδεσης, ώθησε τους μηχανικούς να αναζητήσουν καλύτερες λύσεις. Το 4G αρχικά και το 5G αργότερα, στόχευσαν σε ορισμένους κρίσιμους αλλά δύσκολους στόχους, όπως είναι η παροχή εξαιρετικά υψηλών ρυθμών δεδομένων για χρήστες που κινούνται με υψηλές ταχύτητες ή η εξασφάλιση της αδιάλειπτης μεταβίβασης του χρήστη.

Στις μέρες μας, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αναπτύσσονται με πολύ γρήγορο ρυθμό και χτίζονται γύρω από δύο πρότυπα: Το 4G και το 5G. Πράγματι, το 5G είναι το νέο ασύρματο ευρυζωνικό δίκτυο πέμπτης γενιάς, το οποίο παρέχει καλύτερες ταχύτητες και κάλυψη από το σημερινό 4G. Το 5G προσφέρει ταχύτητες έως και 1 Gbps για δεκάδες συνδέσεις ή δεκάδες Mb/s για δεκάδες χιλιάδες συνδέσεις. Επιπλέον, το 5G χρησιμοποιεί νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν υψηλότερες ραδιοσυχνότητες για τη μεταφορά περισσότερων δεδομένων σε ταχύτερους ρυθμούς με λιγότερη συμφόρηση και χαμηλότερη καθυστέρηση. Ακόμα, περισσότερες συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ίδια περιοχή χάρη σε αυτή τη νέα διεπαφή, η οποία εκμεταλλεύεται το φάσμα των χιλιοστομετρικών κυμάτων. Το 4G μπορεί να υποστηρίξει περίπου 4.000 συσκευές ανά Km^2 , ενώ το 5G υποστηρίζει περίπου ένα εκατομμύριο.

Οι περισσότεροι επαγγελματίες της ασύρματης επικοινωνίας συμφωνούν ότι όταν το 5G αντικαταστήσει το 4G, θα πρέπει να καλύπτει τρεις βασικές ανάγκες:

- Μειωμένη καθυστέρηση, μικρότερη από ένα χιλιοστό του δευτερόλεπτου.
- Αυξημένους ρυθμούς δεδομένων τουλάχιστον 1 Gbps για δεκάδες χιλιάδες χρήστες ταυτόχρονα.
- Αυξημένη ενεργειακή απόδοση.

Πράγματι, η μειωμένη καθυστέρηση αποτελεί βασικό παράγοντα διαφοροποίησης μεταξύ των προτύπων 4G και 5G. Στην πραγματικότητα, η χαμηλή καθυστέρηση σημαίνει ότι θα μπορούμε να κατεβάζουμε και να ανεβάζουμε δεδομένα γρήγορα και εύκολα και θα υποστηρίζονται εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει τη σύγκριση μεταξύ των τεχνολογιών 4G και 5G.

Standard	4G	5G
Start Form	2010	2016
Data Rate	2Mbps – 1Gbps	1Gbps and higher
Frequency Domain	2 – 8 GHz	3 – 300 GHz
Handover	Horizontal and Vertical	Horizontal and Vertical
Core Network	All IP network	Flatter IP network, 5G network interfacing (5G - NI)
Multiple Access	CDMA	CDMA, BDMA

Πίνακας 2 Σύγκριση μεταξύ των τεχνολογιών 4G και 5G [37]

Από την άλλη πλευρά, τα δίκτυα 5G είναι δομημένα γύρω από ένα συνδυασμό πολλαπλών τεχνολογιών και έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει μια ποικιλία εφαρμογών, όπως το ΔτΠ, η επαυξημένη πραγματικότητα και τα βιντεοπαιχνίδια. Σε αντίθεση με το αντίστοιχο 4G, το πρότυπο 5G προσφέρει τη δυνατότητα χειρισμού χιλιάδων συνδεδεμένων συσκευών και πληθώρας τύπων κίνησης. Για παράδειγμα, το 5G παρέχει συνδέσεις υψηλών ταχυτήτων για ροή βίντεο HD (High Definition) καθώς και ταχύτητες χαμηλού ρυθμού δεδομένων για δίκτυα αισθητήρων[37].

Όπως είναι φανερό μπορούμε να επιλέξουμε και ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας για να ελέγξουμε ένα ρομπότ. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να τηλεχειριστούμε ένα ρομπότ από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου ξεπερνώντας τα στενά όρια των δικτύων Wi-Fi και Bluetooth.

Γενικά, τα ασύρματα δίκτυα είναι λιγότερο ασφαλή από τα ενσύρματα δίκτυα. Στο πιο βασικό τους επίπεδο, τα ενσύρματα δίκτυα μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ δύο σημείων που συνδέονται μεταξύ τους με μια σύνδεση δικτύου. Τα ασύρματα δίκτυα, από την άλλη πλευρά, έχουν περιορισμένη εμβέλεια και μεταδίδουν δεδομένα προς όλες τις κατευθύνσεις σε οποιαδήποτε συσκευή τυχαίνει να ακούει. Περιορίζοντας τη φυσική πρόσβαση και τοποθετώντας τείχη προστασίας, για παράδειγμα, ένα ενσύρματο δίκτυο μπορεί να προστατευτεί. Ωστόσο, ακόμη και με τα ίδια μέτρα ασφάλειας, η υποκλοπή είναι δυνατή στα ασύρματα δίκτυα. Επομένως, η διατήρηση της ασφάλειας στα ασύρματα δίκτυα απαιτεί μια πιο στοχευμένη προσπάθεια [38].

Η χρήση ασύρματων συσκευών WAN διέπεται από την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC, Federal Communications Commission). Αποδέχεται πλέον έναν αριθμό προτύπων λειτουργίας και προδιαγραφών από τις Ηνωμένες Πολιτείες που αναπτύχθηκαν και υποστηρίζονται από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers). Ορισμένα από αυτά τα πρότυπα είναι το IEEE 802.16e και το IEEE 802.20 [39].

3.4.5.2 Δορυφορικά Συστήματα

Η ανάπτυξη μικρών δορυφόρων που περιστρέφονται σε χαμηλή τροχιά γύρω από τη γη (LEO, Low Earth Orbit) με σκοπό την υποστήριξη των δικτύων 5G και πέρα από 5G (B5G, Beyond -5G) είναι το επόμενο βήμα προς την ολοκληρωτική συνδεσιμότητα. Οι δορυφόροι LEO είναι επίσης ικανοί να υποστηρίξουν εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες με χαλαρές απαιτήσεις καθυστέρησης μερικών δεκάδων χιλιοστών του δευτερολέπτου, εκτός από τις βελτιωμένες κινητές ευρυζωνικές επικοινωνίες. Ο σχεδιασμός και η λειτουργία αυτών των δικτύων αντιμετωπίζει σημαντικά εμπόδια λόγω των περιορισμών των μικρών δορυφόρων και των χαμηλών τροχιών τους, αλλά παρουσιάζουν επίσης δυνατότητες για νέες καινοτομίες.

Προκειμένου να υποστηριχθούν και να συμπληρωθούν οι επικοινωνίες 5G New Radio (NR) και Beyond-5G (B5G), οι μικροί δορυφόροι που λειτουργούν σε χαμηλές τροχιές (LEO) αποτελούν μια ελκυστική εναλλακτική λύση. Αυτοί οι δορυφόροι βρίσκονται σε υψόμετρο μεταξύ 500 και 2000 χιλιομέτρων και η ενσωμάτωσή τους με το 5G NR θα προσφέρει σχεδόν καθολική κάλυψη και υποστήριξη για τα ακόλουθα: βελτιωμένη κινητή ευρυζωνικότητα, η οποία θα προσφέρει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων χρήστη, μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής, οι οποίες θα επιτρέψουν σε μια ποικιλία εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων να λειτουργούν σε τεράστιες γεωγραφικές περιοχές και τέλος εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες. Οι δορυφόροι LEO έχουν μικρή επίγεια κάλυψη και κινούνται γρήγορα σε σχέση με την επιφάνεια της Γης.

Συγκεκριμένα, το 0.45% της επιφάνειας της Γης καλύπτεται από έναν δορυφόρο LEO που αναπτύσσεται 600 km πάνω από την επιφάνεια του πλανήτη και έχει τυπική γωνία ανύψωσης 30°. Οι δορυφόροι LEO μπορούν επίσης να συνδεθούν με διάφορους επίγειους τερματικούς σταθμούς λόγω του χαμηλού υψομέτρου ανάπτυξής τους, συμπεριλαμβανομένων ειδικών επίγειων σταθμών, πλοίων και άλλων οχημάτων ή συσκευών του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Για να εξασφαλιστεί ότι κάθε επίγειος τερματικός σταθμός καλύπτεται συνεχώς από τουλάχιστον έναν δορυφόρο, τα χαρακτηριστικά αυτά απαιτούν μια σχετικά πυκνή ομάδα δορυφόρων. Ως αποτέλεσμα, οι εμπορικές λύσεις περιλαμβάνουν συνήθως πάνω από εκατό δορυφόρους.

Για παράδειγμα, οι ομάδες δορυφόρων των Kepler, Telesat και Starlink θα περιλαμβάνουν 140, 300 και μεταξύ 12000 και 42000 δορυφόρους, αντίστοιχα. Φυσικά, η απαίτηση για πολλούς δορυφόρους θέτει ένα όριο στο κόστος κατασκευής και ανάπτυξης του καθενός. Ως αποτέλεσμα, σε σύγκριση με τους συμβατικούς τεράστιους δορυφόρους, οι εφαρμογές LEO περιλαμβάνουν συχνά μικρούς ή ακόμη και νάνο-δορυφόρους με ελάχιστο κόστος κατασκευής, διαστάσεις και βάρος. Αυτές οι ιδιότητες μειώνουν επίσης τα έξοδα που συνδέονται με την εκτόξευση. Οι μικροί δορυφόροι έχουν, ωστόσο, αυστηρούς περιορισμούς συνδεσιμότητας, επεξεργασίας και ενέργειας, οι οποίοι επιδεινώνονται από τις μεγάλες αποστάσεις μετάδοσης και τη δυνητικά μεγάλη μετατόπιση Doppler λόγω της ταχείας κίνησής τους.

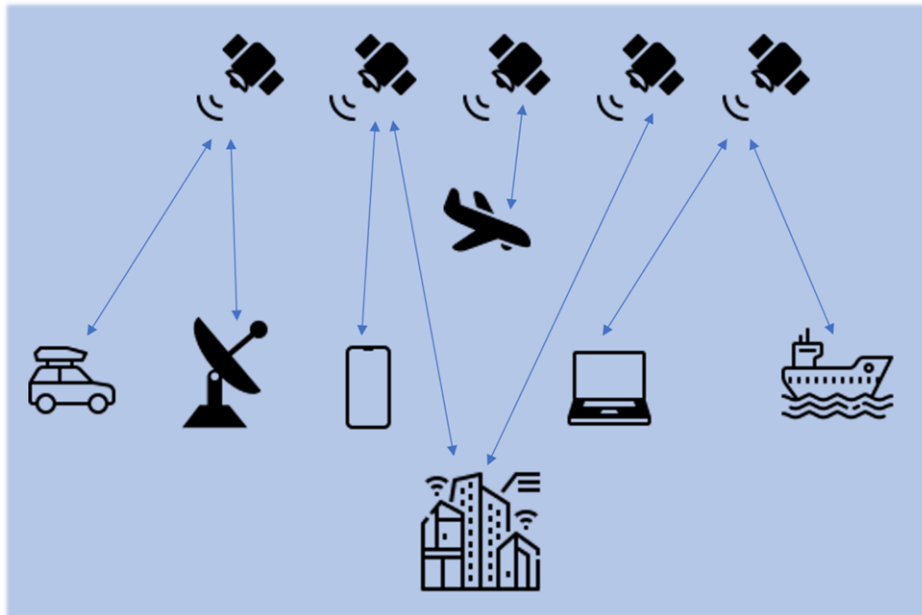
Ένας δορυφορικός αστερισμός είναι συνήθως οργανωμένος σε διάφορα τροχιακά επίπεδα, τα οποία περιλαμβάνουν ομάδες δορυφόρων που αναπτύσσονται στο ίδιο υψόμετρο και με την ίδια κλίση. Ένα πέρασμα είναι το χρονικό παράθυρο κατά το οποίο ένας δορυφόρος έχει επικοινωνία με μια συγκεκριμένη τοποθεσία στο έδαφος. Για έναν δορυφόρο LEO, ένα πέρασμα διαρκεί συνήθως μερικά λεπτά, ανάλογα με τη γωνία ανύψωσης και την απόσταση μεταξύ αυτού και των τερματικών σταθμών. Η ελάχιστη γωνία ανύψωσης είναι συνήθως μεταξύ 10° και 45°.

Τέλος να αναφέρουμε ότι κάθε διαστημική αποστολή περιλαμβάνει τα παρακάτω τρία στοιχεία. Πρώτον, το διαστημικό τμήμα, που στην προκειμένη περίπτωση είναι ο αστερισμός των δορυφόρων, έπειτα το επίγειο τμήμα, το οποίο αποτελείται από τους επίγειους σταθμούς που εκτελούν την πλειονότητα των λειτουργιών ελέγχου και διαχείρισης του διαστημικού τμήματος, καθώς και τα επίγεια δίκτυα και άλλα κέντρα ελέγχου της αποστολής και τέλος το τμήμα χρήστη, το οποίο περιλαμβάνει όλες τις άλλες επίγειες συσκευές επικοινωνίας, όπως συσκευές του ΔτΠ, κινητές συσκευές, πύλες και σταθμούς βάσης κυψελωτής τηλεφωνίας [40].

Εκτός από τους δορυφόρους LEO, υπάρχουν και οι δορυφόροι VLEO (Very - Low Earth Orbit). Πρόκειται για δορυφόρους που περιστρέφονται σε τροχιά κάτω των 300km γεγονός που προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι όσο πιο κοντά στη Γη βρίσκεται ένας δορυφόρος, τόσο χαμηλότερη είναι η απαιτούμενη ισχύς εκπομπής, τόσο χαμηλότερη η καθυστέρηση και τόσο καλύτερη η σύνδεση. Άλλα πλεονεκτήματα είναι ότι παρουσιάζουν ευρύτερη διαθέσιμη επιλογή ζώνης που οδηγεί σε χαμηλότερες παρεμβολές, περιορίζουν την ακτινοβολία και περιλαμβάνουν βελτιωμένη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων καθώς και ελαττωμένο κόστος εκτόξευσης.

Εκτός όμως από αυτά τα οφέλη υπάρχουν και προκλήσεις όπως η διάβρωση που προκαλεί το ατομικό οξυγόνο στο σκάφος του δορυφόρου και τα μειωμένα παράθυρα επικοινωνίας. Ένα βασικό μειονέκτημα ενός δορυφόρου VLEO είναι η υψηλή αντίσταση που προέρχεται από την υπολειπόμενη ατμόσφαιρα. Σε αυτά τα ύψη, η ατμόσφαιρα έχει σημαντικά μεγαλύτερη πυκνότητα και συμπεριφέρεται σαν ελεύθερη μοριακή ροή. Αυτό έχει σοβαρές επιπτώσεις στην αύξηση των ροπών και των δυνάμεων αντίστασης με αποτέλεσμα την δραστική μείωση της διάρκειας ζωής του δορυφόρου. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα υποσυστήματα ηλεκτρικής πρόωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

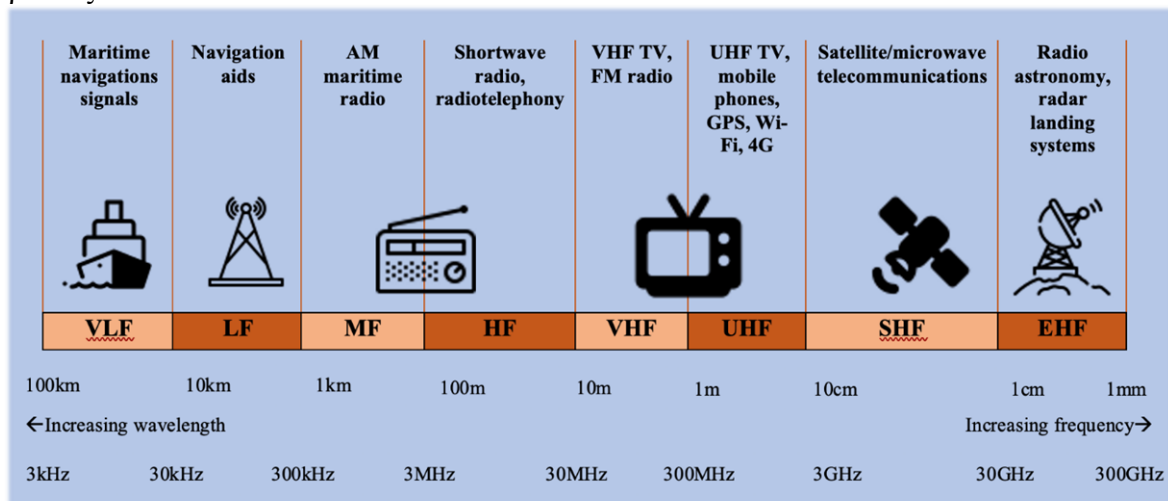
Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος, καθώς και η Ιαπωνική Υπηρεσία Αεροδιαστημικής Εξερεύνησης έχουν χρησιμοποιήσει τέτοια υποσυστήματα ηλεκτρικής πρόωσης σε δορυφόρους τους [41]. Επειδή οι δορυφόροι έχουν το πλεονέκτημα της παγκόσμιας κάλυψης, ο ρόλος τους στο δίκτυο 6G θα είναι ζωτικής σημασίας. Οι τεχνικές αφαίρεσης δικτύου και εικονικοποίησης, όπως το network slicing και το edge computing, εισάγονται στα δορυφορικά δίκτυα για να αυξήσουν την ευελιξία και την αποδοτικότητα των πόρων, αφού αυτοί οι δορυφόροι επόμενης γενιάς θα πρέπει να ικανοποιούν ποικίλες απαιτήσεις και ανάγκες υπηρεσιών των χρηστών. Καθώς η αφαίρεση και η εικονικοποίηση έχουν μελετηθεί για την παροχή δυναμικών υπηρεσιών με χαμηλή καθυστέρηση για το επίγειο δίκτυο 5G, δορυφόροι που χρησιμοποιούν edge computing, έχουν πρόσφατα



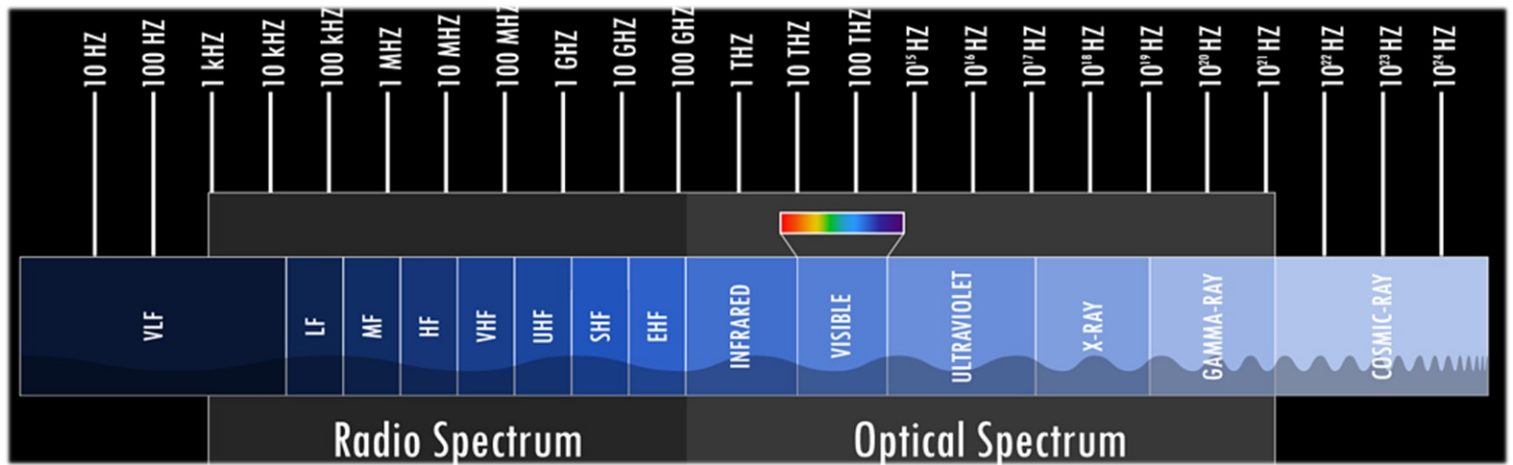
Εικόνα 32 Ομάδα δορυφόρων LEO με σκοπό την καθολική συνδεσιμότητα

διερευνηθεί για εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων υπηρεσιών 6G, με δυνατότητες ενσωμάτωσης με τα επίγεια δίκτυα [42].

Ο αριθμός των χρήσεων της δορυφορικής τεχνολογίας αυξάνεται διαρκώς και αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς. Εκτός από τις επικοινωνίες, οι δορυφόροι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στην αστρονομία, στην πρόγνωση καιρού, τις ραδιοηλεκτρονικές μεταδόσεις, τη χαρτογράφηση και για ένα ευρύ φάσμα άλλων σκοπών. Οι δορυφόροι συνήθως χρησιμοποιούν συχνότητες από 1GHz έως 40GHz. Οι υψηλότερες ζώνες συχνοτήτων συνήθως παρέχουν πρόσβαση σε μεγαλύτερο εύρος ζώνης συχνοτήτων, ωστόσο μπορεί να συμβεί υποβάθμιση του σήματος εξαιτίας της απορρόφησης των σημάτων από το χιόνι τον πάγο ή την βροχή. Η συμφόρηση στις χαμηλότερες ζώνες συχνοτήτων είναι ένα από τα κύρια προβλήματα και προέρχεται από την αύξηση του αριθμού των δορυφόρων. Για τη χρήση υψηλότερων ζωνών διερευνώνται νέες τεχνολογίες. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται το φάσμα RF (Radio Frequency), το οποίο αποτελεί κομμάτι του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας [43]. Τέλος, ακολουθεί το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.



Πίνακας 3 Radio Frequency Spectrum[43]



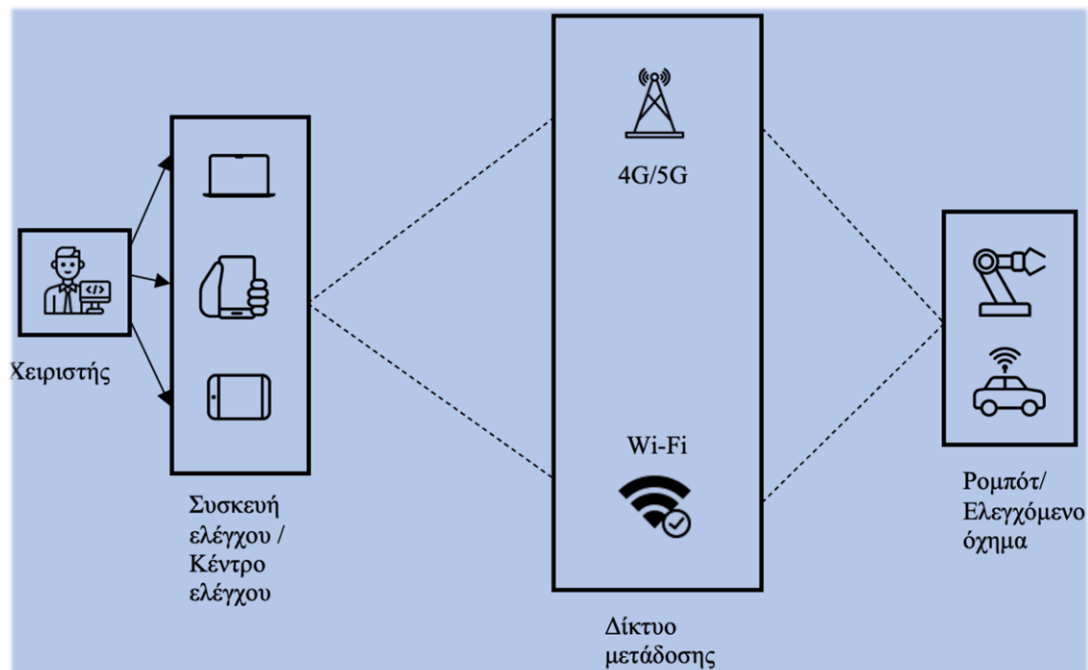
Εικόνα 33 Electromagnetic Spectrum[44]

4

Υλοποίηση συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου

4.1 Εισαγωγή

Η δομή ενός συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Στα αριστερά του σχήματος βρίσκεται ο χειριστής ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιήσει έναν υπολογιστή, μία κινητή συσκευή ή ένα τάμπλετ ως συσκευή ελέγχου. Με αυτόν τον τρόπο αρχικά δημιουργείται το κέντρο ελέγχου. Στη συνέχεια πρέπει να παρεμβληθεί ένα δίκτυο μετάδοσης ώστε να μεταφέρονται όλες οι απαραίτητες εντολές και τα σχέδια αποστολής από το κέντρο ελέγχου στην ελεγχόμενη συσκευή. Εδώ, στο παρόν σχήμα το δίκτυο μετάδοσης είναι ένα δίκτυο Wi-Fi ή ένα δίκτυο 4G/5G. Τέλος, στα δεξιά του σχήματος βρίσκεται η συσκευή ή το ρομπότ που θέλουμε να ελέγξουμε.



Εικόνα 34 Η δομή ενός συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου.

Γιατί όμως είναι επιτακτική ανάγκη η μελέτη των συστημάτων απομακρυσμένου ελέγχου; Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει τα δυνητικά οφέλη των ρομπότ στους τομείς της βιομηχανίας, της ιατρικής, των πυρηνικών, της εξερεύνησης του διαστήματος και των επιχειρήσεων διάσωσης. Η ρομποτική έχει υιοθετηθεί από διάφορους τομείς με την πάροδο των ετών. Για παράδειγμα τα βιομηχανικά ρομπότ έχουν σχεδιαστεί για πιο συγκεκριμένα υλικά, τμήματα, εργαλεία ή εξοπλισμό που με συγκεκριμένες προγραμματιζόμενες κινήσεις μπορούν να εκτελέσουν ποικίλες εργασίες. Σύμφωνα με την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση υπάρχει ανάγκη για ένα ενιαίο σύστημα που να μπορεί να ενσωματώνει, να βοηθάει στην εσωτερική και εξωτερική επικοινωνία και να ελέγχει διάφορα ρομπότ διαφόρων τύπων και προδιαγραφών. Αν και μόνο ένα μέρος των πρόσφατων εξελίξεων στη ρομποτική μπορεί να αποδοθεί στη μηχανική μάθηση, η μηχανική μάθηση έχει επίσης αναζωπυρώσει το ενδιαφέρον για τη ρομποτική.

Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης έχουν συμπεριληφθεί σε πρόσφατα έργα ανάπτυξης ρομποτικής για την ενίσχυση της νοημοσύνης των ρομπότ. Αυτό θα μειώσει τελικά το κόστος και τα ηλεκτρονικά απόβλητα, ενώ θα ενισχύσει τη βιομηχανική παραγωγικότητα. Μελέτες σχετικά με την απασχόληση ανθρωποειδών ρομπότ διεξάγονται ενεργά για τη μείωση του αριθμού των ατυχημάτων και των θανάτων των πυροσβεστών, καθώς και για τη βελτίωση της παραγωγικότητας, της ασφάλειας, της αποδοτικότητας και της ποιότητας της εργασίας. Για να αποφευχθεί αυτό, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα μη επανδρωμένο όχημα υποστήριξης σχεδιασμένο να αναζητά και να σβήνει πυρκαγιές. Σήμερα διατίθενται διάφορα οχήματα για την κατάσβεση πυρκαγιών σε κατοικίες και δασικές πυρκαγιές. Τέτοια ρομπότ επιτρέπουν τον ασφαλέστερο εντοπισμό πυρκαγιών και τη διάσωση παγιδευμένων ατόμων χωρίς να θέτουν σε κίνδυνο το πυροσβεστικό προσωπικό. Με άλλα λόγια, η χρήση ρομπότ μπορεί να μειώσει την ανάγκη των πυροσβεστών να θέτουν τον εαυτό τους σε επικίνδυνες συνθήκες. Επιπλέον, το μικρό μέγεθος του ρομπότ και ο απομακρυσμένος έλεγχος του επιτρέπουν να χρησιμοποιηθεί σε επικίνδυνες τοποθεσίες όπου η πυρκαγιά συμβαίνει σε στενά σημεία ή σήραγγες [45].

Ακόμα ελεγχόμενα ρομπότ θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στα πυρηνικά εργοστάσια. Στις 11 Μαρτίου 2011, ένας μεγάλος σεισμός έπληξε την Ιαπωνία. Ακολούθησε τσουνάμι, το οποίο σε συνδυασμό με την τεράστια δόνηση προκάλεσε ατύχημα στον πυρηνικό σταθμό της Fukushima. Το ατύχημα είχε ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση πολλών ραδιενεργών υλικών. Ως απάντηση στο ατύχημα, χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι τηλεχειρισμού, συμπεριλαμβανομένης της τεχνολογίας των ρομπότ. Τα συστήματα τηλεχειρισμού αποδείχθηκαν απαραίτητα για τις δραστηριότητες παροπλισμού του πυρηνικού αντιδραστήρα, προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος έκθεσης του ανθρώπινου δυναμικού στην ακτινοβολία. Στην πραγματικότητα, μια μεγάλη ποικιλία τηλεχειριζόμενου εξοπλισμού και ρομπότ έχει τοποθετηθεί σε όλο το συγκρότημα και τα κτίρια του αντιδραστήρα μετά το ατύχημα [46]. Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε την σπουδαιότητα του απομακρυσμένου ελέγχου ρομποτικών οχημάτων που σε συνάρτηση με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας απαιτεί νέες ιδέες και καινοτομίες για την βελτίωση και εξέλιξή του.

Στην παρούσα εργασία, δημιουργούμε ένα κινητό ρομπότ ελεγχόμενο από μια κινητή συσκευή χρησιμοποιώντας το δίκτυο Wi-Fi έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν τα μειονεκτήματα του υψηλού κόστους, της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας, της έλλειψης κινητικότητας και των δυσκολιών στην εξωτερική τροφοδοσία. Το σύστημα ελέγχου αποτελείται από δύο στοιχεία: τον ενσωματωμένο ελεγκτή και την κινητή συσκευή με το λειτουργικό σύστημα Android. Το πρωτότυπο ρομπότ δημιουργήθηκε και υποβλήθηκε σε δοκιμές.

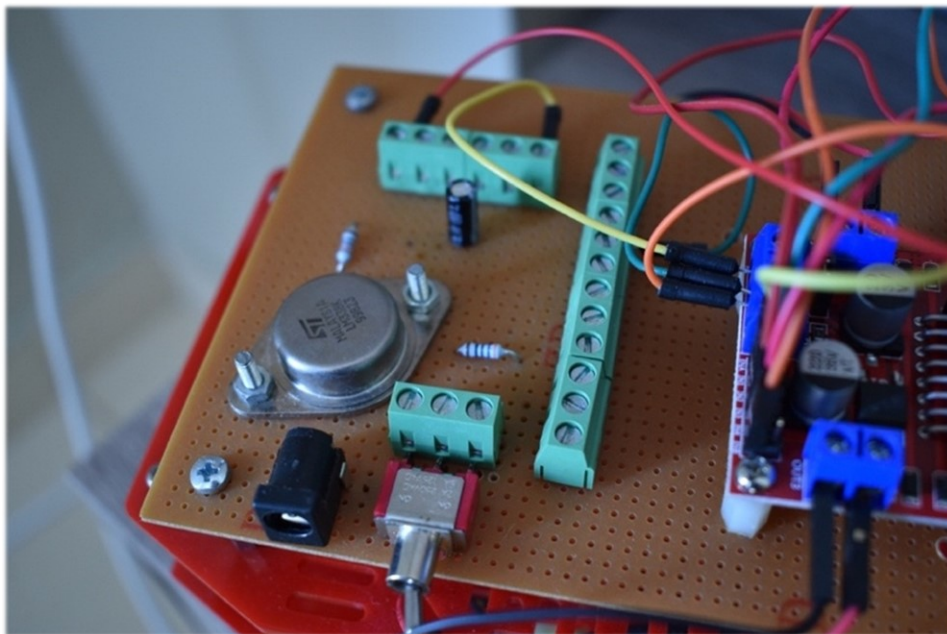
Ακολουθούν τα βήματα κατασκευής, λεπτομέρειες για τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν, τα ηλεκτρονικά κυκλώματα καθώς και ο κώδικας.

4.2 Η ρομποτική πλατφόρμα

Ως βάση για την κατασκευή του ρομπότ χρησιμοποιήθηκε η ρομποτική πλατφόρμα Magician Chassis της εταιρίας Dagu. Αποτελείται από δύο επίπεδα από ακρυλικό με ευρεία ποικιλία από οπές στήριξης για μικροελεγκτές, αισθητήρες, τροφοδοσία και άλλα όργανα. Αυτή η ρομποτική πλατφόρμα περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία όπως τροχούς, κινητήρες, βίδες, παξιμάδια ακόμα και κατσαβίδι. Οι κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν και περιλαμβάνονται στο παραπάνω σετ είναι οι DC motors DG01D 48:1. Τροφοδοτούνται από 4.5V τάση και χρειάζονται περίπου 190mA ρεύμα με μέγιστο τα 250mA.

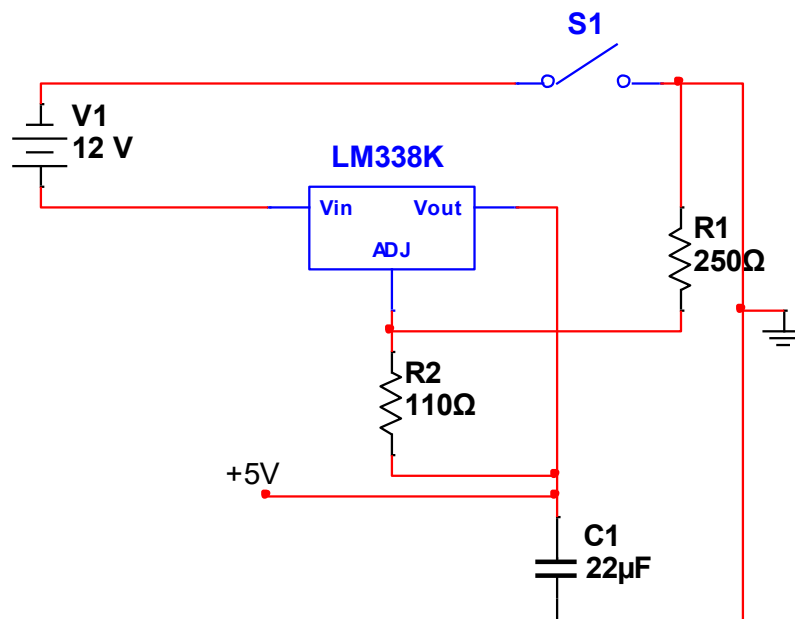
4.3 Το κύκλωμα τροφοδοσίας του ρομποτικού συστήματος

Για την δημιουργία κυκλώματος τροφοδοσίας χρησιμοποιήθηκε ο σταθεροποιητής τάσης LM338K. Το LM338K είναι ένας ρυθμιζόμενος γραμμικός σταθεροποιητής τάσης τριών ακροδεκτών που μπορεί να παρέχει ρεύμα έως και 5A στην περιοχή τάσεων από 1.2V μέχρι 32V. Ο σταθεροποιητής τάσης είναι εύκολος στην χρήση του αφού απαιτεί μόνο δύο αντιστάσεις για να ρυθμιστεί η τάση εξόδου του. Αν ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του κυκλώματος ακολουθηθούν προσεκτικά, τότε το αποτέλεσμα είναι ένα τροφοδοτικό παρόμοιο με αυτά που κυκλοφορούν στην αγορά. Για την δημιουργία του τροφοδοτικού χρησιμοποιήθηκαν εκτός από τον σταθεροποιητή τάσης LM338K, ένας πυκνωτής 22μF, ένας διακόπτης, μια αντίσταση 110Ω καθώς και μια αντίσταση τιμής 250Ω. Το κύκλωμα λαμβάνει στην είσοδο του 12V και βγάζει 5V. Δημιουργήσαμε το παρακάτω κύκλωμα τροφοδοσίας γιατί οι δύο πλακέτες καθώς και οι κινητήρες χρειάζονται 5V τάση.



Εικόνα 35 Το κύκλωμα τροφοδοσίας του ρομπότ

Το σχέδιο στο πρόγραμμα NI Multisim.



Εικόνα 36 Το κύκλωμα τροφοδοσίας του ρομποτικού οχήματος

Για να τροφοδοτήσουμε το κύκλωμα χρησιμοποιήσαμε ένα κοινό μετασχηματιστή του εμπορίου.



Εικόνα 37 Ο μετασχηματιστής που χρησιμοποιήσαμε για τις αρχικές δοκιμές

Στο σημείο αυτό να πούμε ότι δημιουργήσαμε το παραπάνω κύκλωμα τροφοδοσίας έτσι ώστε να κάνουμε όλες τις απαραίτητες δοκιμές που απαιτούνται για την κίνηση του ρομπότ με ασφάλεια ώστε να μην “κάψουμε” κάποια πλακέτα ή κάποιον από τους κινητήρες.



Εικόνα 38 Οι μπαταρίες τύπου 18650

Πλέον εφόσον η κατασκευή μας λειτουργεί όπως ακριβώς είχαμε σχεδιάσει, προχωρήσαμε στην αγορά μπαταριών, ώστε να απεμπλακούμε από τον μετασχηματιστή και την άβολη καλωδίωση με στόχο το ρομπότ μας να γίνει πλέον αυτόνομο και ανεξάρτητο. Προμηθευτήκαμε λοιπόν δύο μπαταρίες τύπου 18650, 3500mAh και 3.7V.

Για να επαναφορτίζουμε τις εν λόγω μπαταρίες χρησιμοποιούμε τον παρακάτω φορτιστή μπαταριών.



Εικόνα 39 Ο φορτιστής των μπαταριών μας



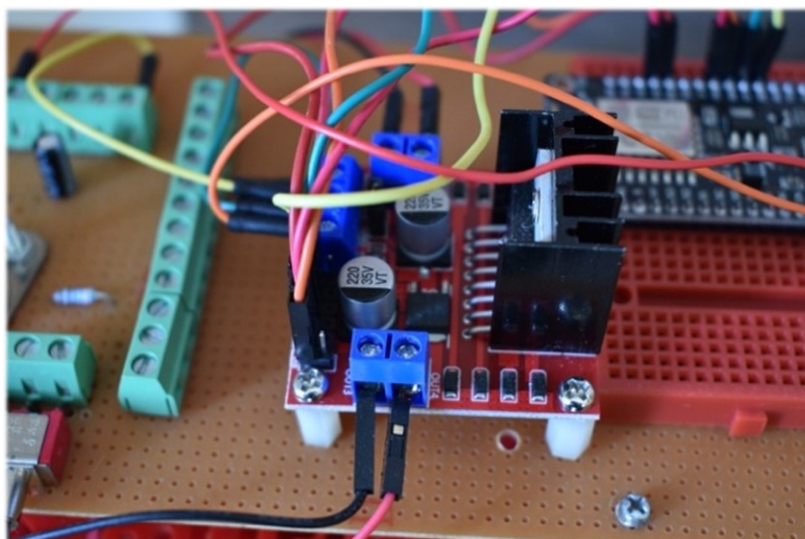
Εικόνα 40 Η βάση μπαταριών

Τέλος, για την τοποθέτηση των μπαταριών επάνω στο ρομποτικό όχημα χρησιμοποιούμε την παρακάτω βάση μπαταριών.

Αφού συναρμολογήσαμε το ρομπότ και δημιουργήσαμε το κύκλωμα τροφοδοσίας που είναι πολύ σημαντικό, συνεχίζουμε με τις συνδεσμολογίες και τοποθετήσεις των δυο πλακετών που απαιτούνται για την εφαρμογή.

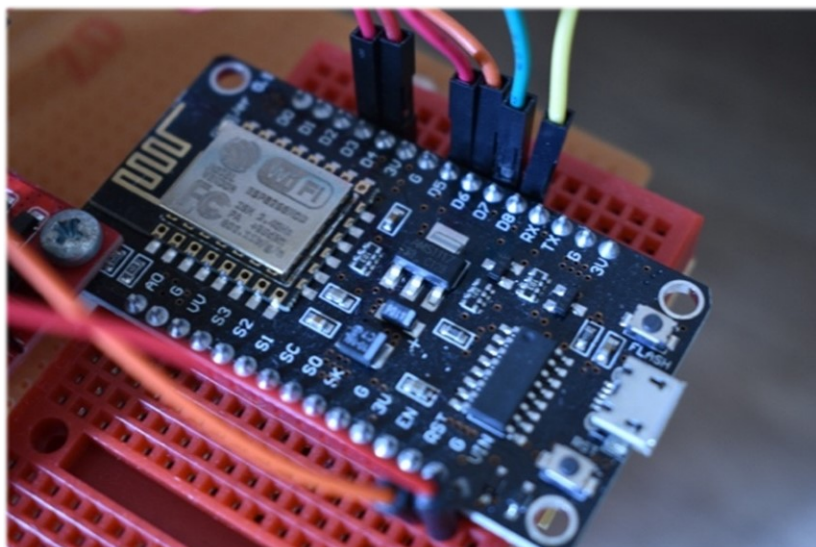
4.4 Υλοποίηση του ρομποτικού συστήματος

Πρώτη πλακέτα είναι το Stepper Driver Dual H Bridge Module (L298N) για Arduino, που μπορεί να οδηγήσει έναν βηματικό κινητήρα 2 φάσεων, έναν βηματικό κινητήρα 4 φάσεων ή δύο κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Εμείς, όπως αναφέραμε και πιο πάνω, χρησιμοποιούμε τους τελευταίους δηλαδή δυο κινητήρες συνεχούς ρεύματος.



Εικόνα 41 Το Stepper Driver Dual H Bridge Module

Η δεύτερη πλακέτα είναι το ESP8266 ESP-12E CH340G NodeMCU.

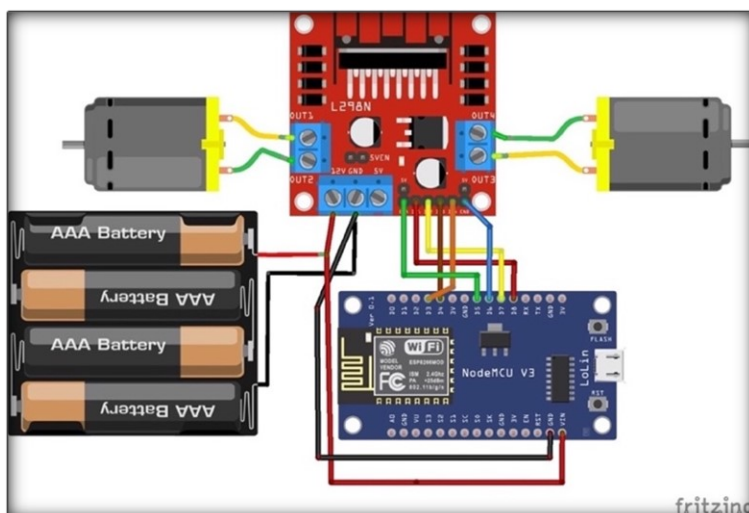


Εικόνα 42 Η πλακέτα ESP8266

Το NodeMCU (Node MicroController Unit) είναι ένα περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού και υλικού ανοικτού κώδικα που βασίζεται σε ένα φθηνό System-on-a-Chip (SoC) που ονομάζεται ESP8266.

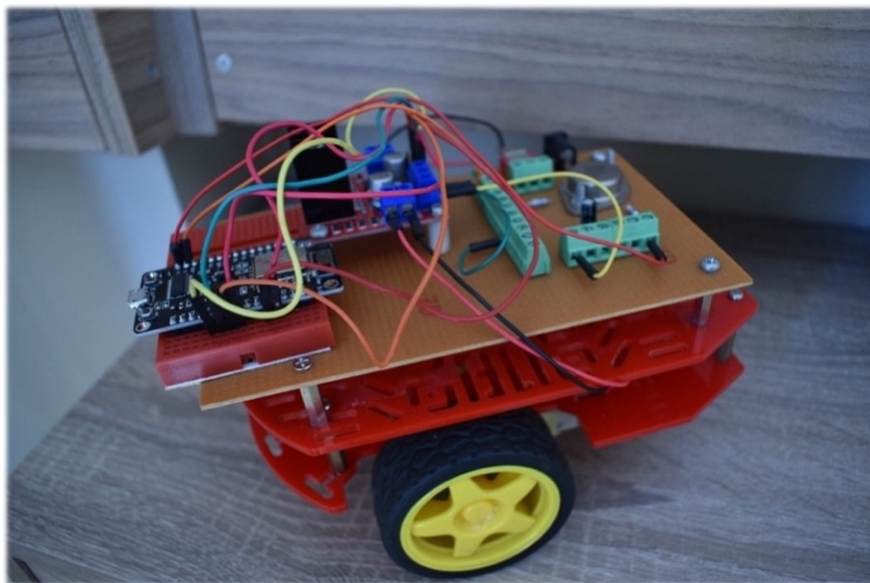
Το ESP8266 περιέχει τα κρίσιμα στοιχεία ενός υπολογιστή όπως CPU, RAM, δικτύωση (Wi-Fi), ένα σύγχρονο λειτουργικό σύστημα αλλά και ένα SDK (Software Development Kit) και σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από την Espressif Systems. Πρόκειται για μια εξαιρετική επιλογή για έργα του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Αυτή η δημοφιλής και ευρέως χρησιμοποιούμενη πλακέτα ανάπτυξης που βασίζεται στη μονάδα ESP-12E Wi-Fi συνδυάζει στοιχεία εύκολου προγραμματισμού με το Arduino IDE (Integrated Development Environment) και δυνατότητα σύνδεσης με Wi-Fi.

Χρησιμοποιώντας καλώδια δημιουργούμε το κατάλληλο κύκλωμα μεταξύ των εξαρτημάτων της κατασκευής μας. Ακολουθεί σχήμα με τις συνδέσεις που πραγματοποιήσαμε δημιουργημένο με το πρόγραμμα fritzing.



Εικόνα 43 Το τελικό κύκλωμα του ρομπότ [47]

Αφού έχουμε δημιουργήσει το κύκλωμα τροφοδοσίας αλλά και το κύκλωμα ανάμεσα στις πλακέτες και τους κινητήρες, το ρομπότ μας πλέον έχει πάρει την τελική του μορφή.



Εικόνα 44 Η τελική μορφή του ρομποτικού οχήματος

Στο σημείο αυτό πρέπει να αρχίσουμε να δημιουργούμε το απαραίτητο πρόγραμμα με τις εντολές ώστε στη συνέχεια δημιουργώντας μια εφαρμογή για κινητή συσκευή με το App Inventor του MIT, να μπορούμε να χειριστούμε το ρομπότ μας.

Για να προγραμματίσουμε την πλακέτα ESP8266 χρησιμοποιούμε το Arduino IDE.

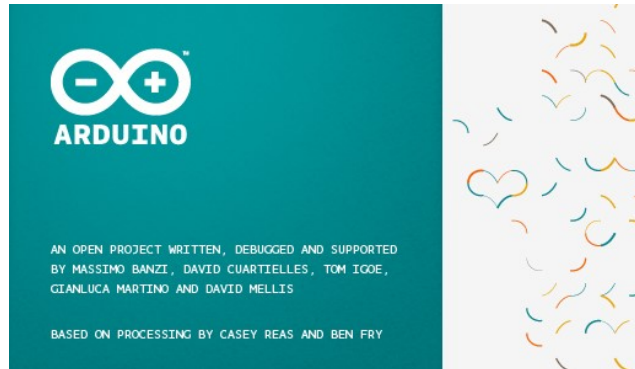
4.5 Ανάπτυξη λογισμικού ελέγχου λειτουργιών

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) είναι ένα ειδικό πρόγραμμα που τρέχει στον υπολογιστή και μας επιτρέπει να δημιουργούμε κώδικες για την πλακέτα του Arduino αλλά και άλλων πλακετών λογισμικού ανοικτού κώδικα, σε απλή γλώσσα. Το μαγικό ξεκινάει από την στιγμή που πατούμε το πλήκτρο που ανεβάζει το έργο στην πλακέτα. Ο κώδικας που έχουμε γράψει μετατρέπεται σε γλώσσα C που περνάει στον μεταγλωττιστή, ένα σημαντικό κομμάτι του ανοικτού κώδικα, που την μεταφράζει σε γλώσσα που καταλαβαίνει ο μικροελεγκτής.

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) δηλαδή συνδυάζει ένα επεξεργαστή πηγαίου κώδικα (text editor), έναν μεταγλωττιστή (compiler), ένα ειδικό πρόγραμμα αποσφαλμάτωσης (debugger) και αρκετά άλλα εργαλεία που βοηθούν τους προγραμματιστές στην ανάπτυξη προγραμμάτων.

Τα ολοκληρωμένα περιβάλλοντα ανάπτυξης έχουν σχεδιαστεί για να μεγιστοποιούν την παραγωγικότητα του προγραμματιστή παρέχοντάς του στιβαρά προγράμματα με παρόμοιες διεπαφές για την επικοινωνία ανθρώπου- υπολογιστή. Το IDE δηλαδή είναι ένα ενιαίο πρόγραμμα στο οποίο μπορεί να γίνει όλη η ανάπτυξη. Το πρόγραμμα αυτό συνήθως παρέχει πολλές δυνατότητες για την συγγραφή, την τροποποίηση, την μεταγλώττιση, την ανάπτυξη και τον εντοπισμό σφαλμάτων λογισμικού.

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) ακολουθεί παρακάτω. Το IDE του Arduino μας επιτρέπει να φτιάξουμε “ σκίτσα “ (sketches), προγράμματα δηλαδή, που θα τα φορτώσουμε στην εκάστοτε πλακέτα.

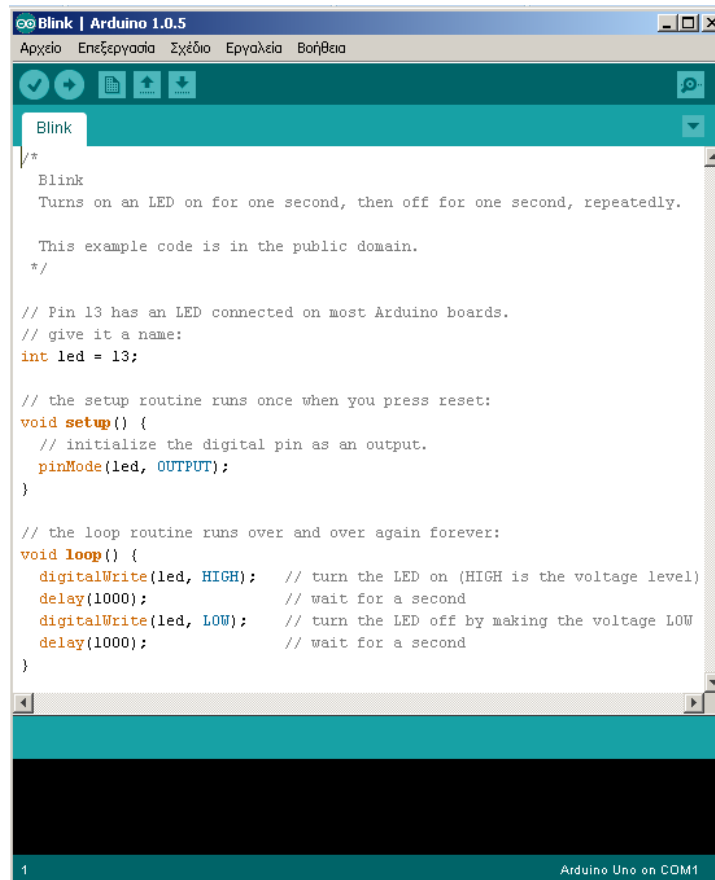


Εικόνα 45 Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) [48]

Για την δημιουργία ενός προγράμματος απαιτούνται δύο βασικές συναρτήσεις. Οι δύο αυτές συναρτήσεις είναι οι παρακάτω:

- `setup()`: μια συνάρτηση που τρέχει μια φορά στην αρχή του προγράμματος η οποία αρχικοποιεί τις ρυθμίσεις.
- `loop()`: μια συνάρτηση η οποία περιέχει το κυρίως μέρος το προγράμματος. Περιλαμβάνει ένα σετ εντολών που επαναλαμβάνεται συνέχεια μέχρι την στιγμή που η πλακέτα θα απενεργοποιηθεί.

Ένα βασικό πρόγραμμα Arduino ακολουθεί παρακάτω. Το πρόγραμμα αυτό αναβοσβήνει ένα LED. Το LED ανάβει για ένα δευτερόλεπτο, έπειτα μένει σβηστό για ένα δευτερόλεπτο και αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς [48].



```

Blink | Arduino 1.0.5
Αρχείο Επεξεργασία Σχέδιο Εργαλεία Βοήθεια

Blink
/*
  Blink
  Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.

  This example code is in the public domain.
  */

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

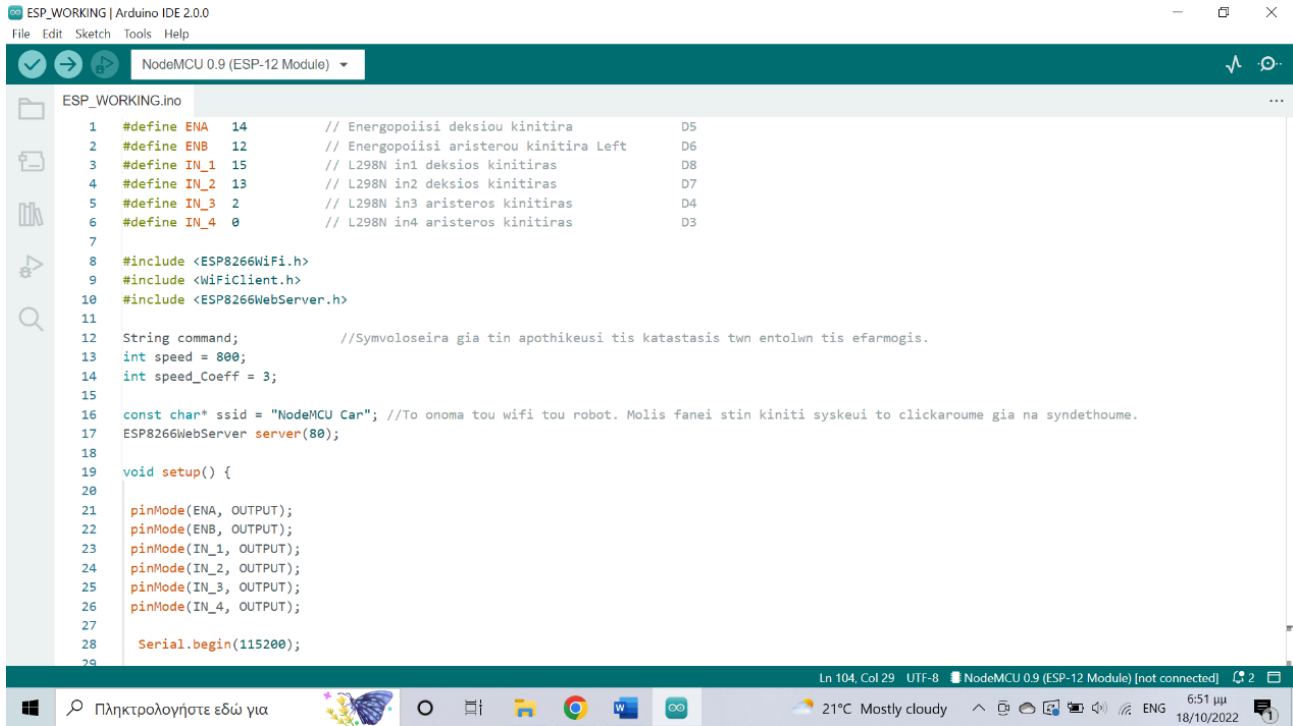
// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);             // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW);  // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);             // wait for a second
}
  
```

1 Arduino Uno on COM1

Εικόνα 46 Ένα βασικό πρόγραμμα Arduino [48]

Ο κώδικας που δημιουργούμε με το παραπάνω λογισμικό και τον οποίο φορτώνουμε στην πλακέτα ακολουθεί παρακάτω. Η επεξήγηση του κώδικα ελέγχου του ρομποτικού οχήματος βρίσκεται αναλυτικά στο Παράρτημα Ι.

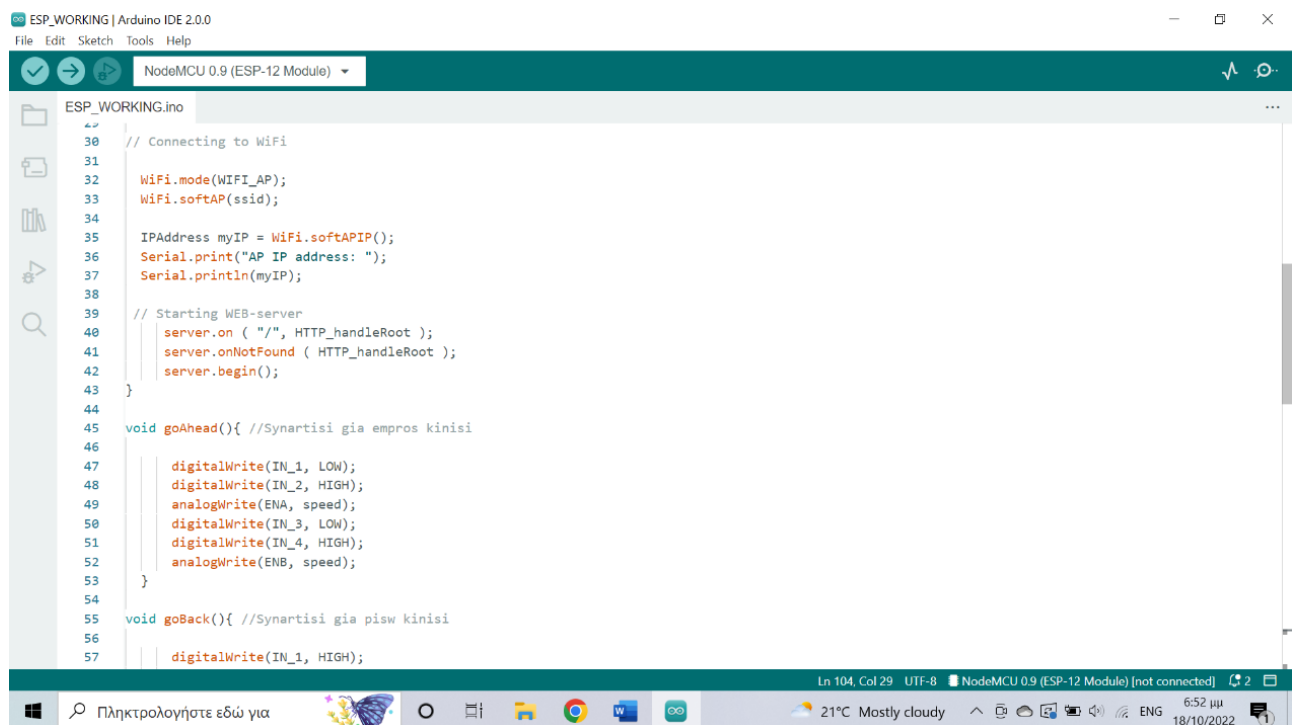


```

ESP_WORKING.ino
1  #define ENA 14 // Energopoiisi deksiou kinitira D5
2  #define ENB 12 // Energopoiisi aristerou kinitira Left D6
3  #define IN_1 15 // L298N in1 deksios kinitiras D8
4  #define IN_2 13 // L298N in2 deksios kinitiras D7
5  #define IN_3 2 // L298N in3 aristeros kinitiras D4
6  #define IN_4 0 // L298N in4 aristeros kinitiras D3
7
8  #include <ESP8266WiFi.h>
9  #include <WiFiClient.h>
10 #include <ESP8266WebServer.h>
11
12 String command; //Symboloseira gia tin apothikeusi tis katastasis twm entolwn tis efarmogis.
13 int speed = 800;
14 int speed_Coeff = 3;
15
16 const char* ssid = "NodeMCU Car"; //To onoma tou wifi tou robot. Molis fanei stin kiniti syskeui to clickaroume gia na syndethoume.
17 ESP8266WebServer server(80);
18
19 void setup() {
20
21   pinMode(ENA, OUTPUT);
22   pinMode(ENB, OUTPUT);
23   pinMode(IN_1, OUTPUT);
24   pinMode(IN_2, OUTPUT);
25   pinMode(IN_3, OUTPUT);
26   pinMode(IN_4, OUTPUT);
27
28   Serial.begin(115200);
29

```

Εικόνα 47 Ο κώδικας που φορτώνουμε στην πλακέτα 1[48]

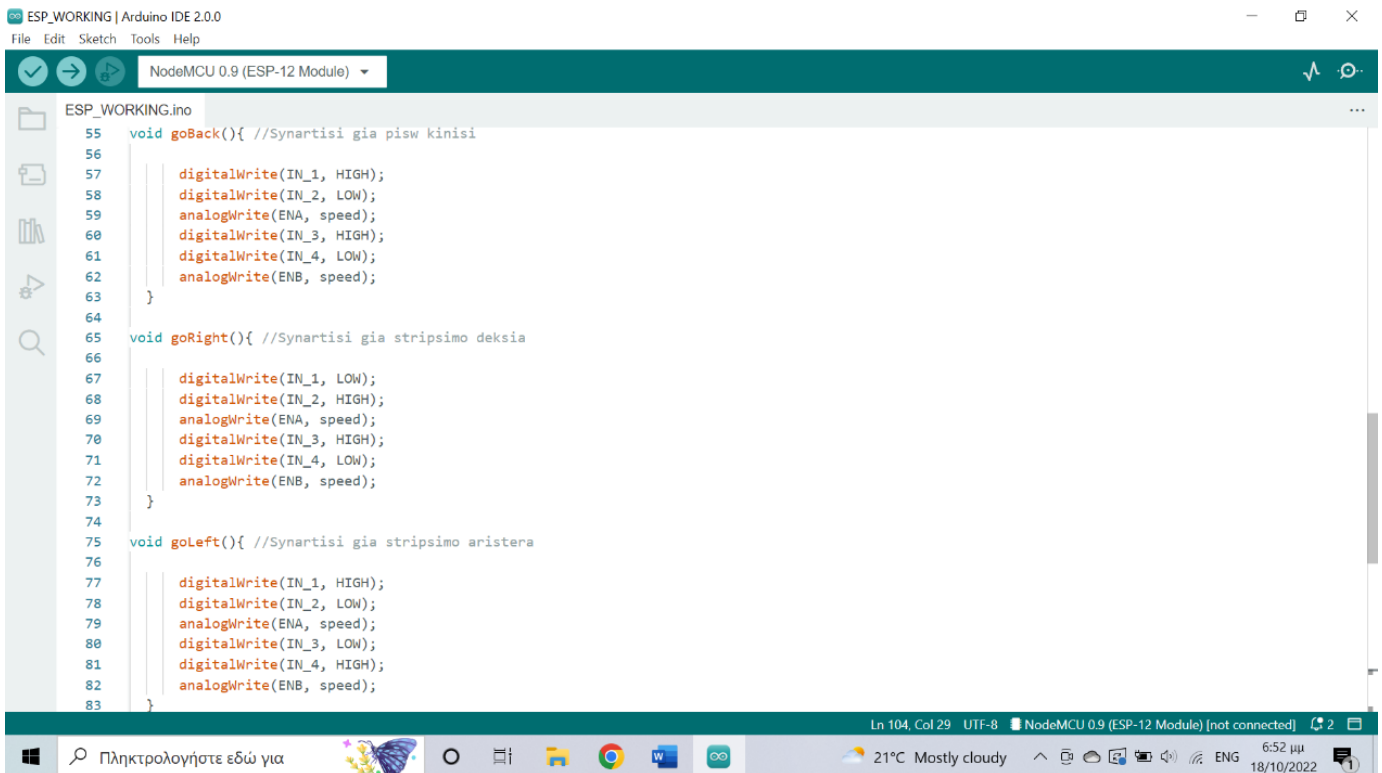


```

ESP_WORKING.ino
30 // Connecting to Wifi
31
32 WiFi.mode(WIFI_AP);
33 WiFi.softAP(ssid);
34
35 IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
36 Serial.print("AP IP address: ");
37 Serial.println(myIP);
38
39 // Starting WEB-server
40 server.on ("/", HTTP_handleRoot );
41 server.onNotFound ( HTTP_handleRoot );
42 server.begin();
43
44
45 void goAhead() { //Synartisi gia empros kinisi
46
47   digitalWrite(IN_1, LOW);
48   digitalWrite(IN_2, HIGH);
49   analogWrite(ENA, speed);
50   digitalWrite(IN_3, LOW);
51   digitalWrite(IN_4, HIGH);
52   analogWrite(ENB, speed);
53 }
54
55 void goBack() { //Synartisi gia pisw kinisi
56
57   digitalWrite(IN_1, HIGH);

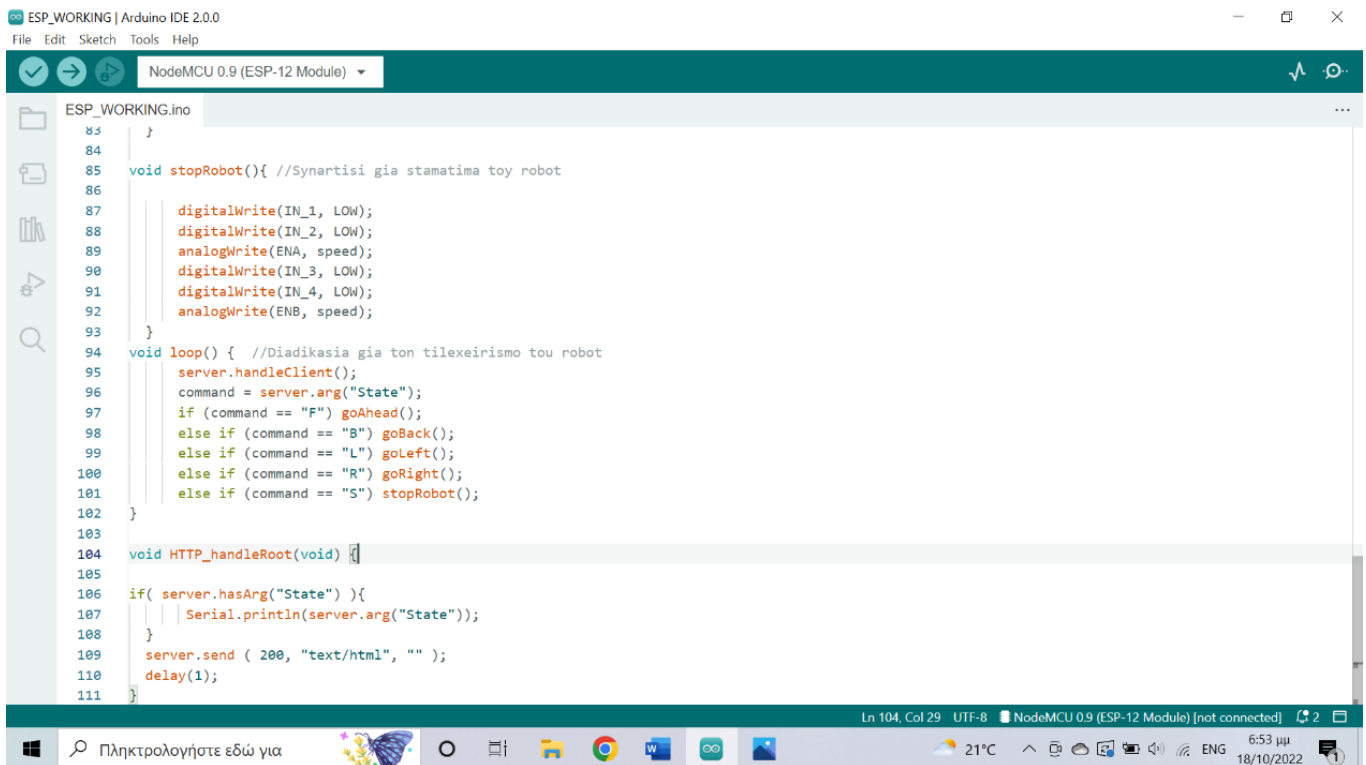
```

Εικόνα 48 Ο κώδικας που φορτώνουμε στην πλακέτα 2[48]



```
ESP_WORKING.ino
55 void goBack(){ //Synartisi gia pismu kinisi
56
57     digitalWrite(IN_1, HIGH);
58     digitalWrite(IN_2, LOW);
59     analogWrite(ENA, speed);
60     digitalWrite(IN_3, HIGH);
61     digitalWrite(IN_4, LOW);
62     analogWrite(ENB, speed);
63 }
64
65 void goRight(){ //Synartisi gia stripsimo deksia
66
67     digitalWrite(IN_1, LOW);
68     digitalWrite(IN_2, HIGH);
69     analogWrite(ENA, speed);
70     digitalWrite(IN_3, HIGH);
71     digitalWrite(IN_4, LOW);
72     analogWrite(ENB, speed);
73 }
74
75 void goLeft(){ //Synartisi gia stripsimo aristera
76
77     digitalWrite(IN_1, HIGH);
78     digitalWrite(IN_2, LOW);
79     analogWrite(ENA, speed);
80     digitalWrite(IN_3, LOW);
81     digitalWrite(IN_4, HIGH);
82     analogWrite(ENB, speed);
83 }
```

Εικόνα 49 Ο κώδικας που φορτώνουμε στην πλακέτα 3[48]



```
ESP_WORKING.ino
83 }
84
85 void stopRobot(){ //Synartisi gia stamatima toy robot
86
87     digitalWrite(IN_1, LOW);
88     digitalWrite(IN_2, LOW);
89     analogWrite(ENA, speed);
90     digitalWrite(IN_3, LOW);
91     digitalWrite(IN_4, LOW);
92     analogWrite(ENB, speed);
93 }
94 void loop() { //Diadikasia gia ton tilexeirismo tou robot
95     server.handleClient();
96     command = server.arg("State");
97     if (command == "F") goAhead();
98     else if (command == "B") goBack();
99     else if (command == "L") goLeft();
100    else if (command == "R") goRight();
101    else if (command == "S") stopRobot();
102 }
103
104 void HTTP_handleRoot(void) {
105
106 if( server.hasArg("State") ){
107     Serial.println(server.arg("State"));
108 }
109 server.send ( 200, "text/html", "" );
110 delay(1);
111 }
```

Εικόνα 50 Ο κώδικας που φορτώνουμε στην πλακέτα 4[48]

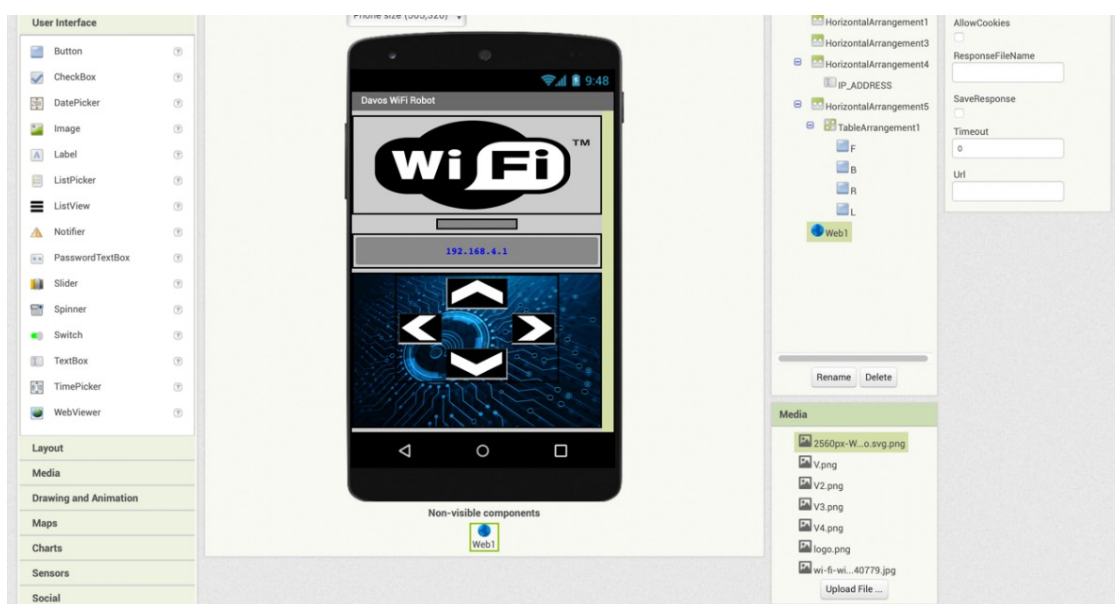
4.6 Δημιουργία εφαρμογής απομακρυσμένου ελέγχου

Τέλος απομένει η δημιουργία του app μέσω του οποίου θα χειριζόμαστε το mobile robot. Χρησιμοποιούμε την διαδικτυακή πλατφόρμα App Inventor του Πανεπιστημίου MIT. Πρόκειται για μια διαδικτυακή εφαρμογή που περιλαμβάνει έναν Designer αλλά και έναν Blocks Editor. Στον Designer αρχίζουμε και δημιουργούμε την εφαρμογή μας, χρησιμοποιώντας button, media, label και διάφορες άλλες διατάξεις.



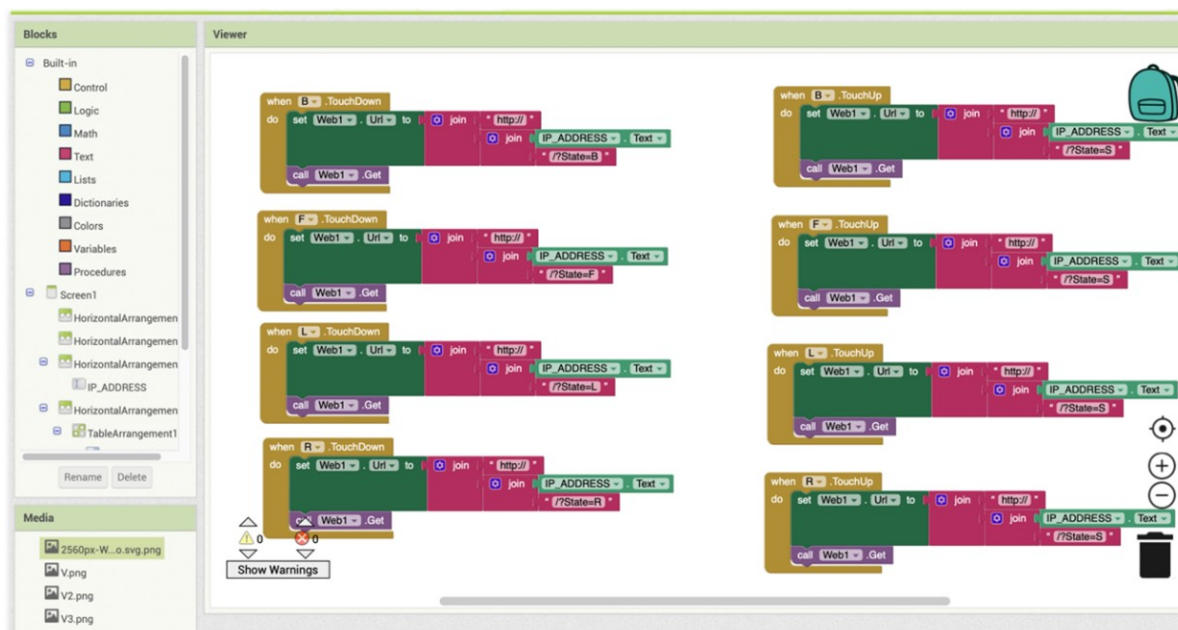
Εικόνα 51 Το λογότυπο της διαδικτυακής εφαρμογής App Inventor [49]

Την δημιουργούμε με τέτοιο τρόπο ώστε να φαίνεται στη κινητή συσκευή όπως ακριβώς θέλουμε εμείς. Στην εικόνα που ακολουθεί έχουμε χρησιμοποιήσει μια οριζόντια διάταξη όπου έχουμε τοποθετήσει το εικονίδιο του Wi-Fi και άλλη μια για να προσθέσουμε την IP που “ακούει” το ESP8266. Ακόμα έχουμε εισαγάγει μια διάταξη πίνακα προσθέτοντας μέσα σε αυτή τέσσερα κουμπιά ώστε να δημιουργηθεί το τηλεχειριστήριο. Κάθε κουμπί περιλαμβάνει το κατάλληλο εικονίδιο-βελάκι ώστε να ταιριάζει στην εκάστοτε ενέργεια, π.χ. εικονίδιο αριστερού βέλους στο κουμπί που αφορά την αριστερή κίνηση. Τέλος έχουμε προσθέσει και το Web1 που είναι ένα μη ορατό στοιχείο που παρέχει λειτουργίες για αιτήσεις HTTP GET, POST, PUT και DELETE [37].



Εικόνα 52 Στιγμιότυπο από τη δημιουργία της εφαρμογής 1 [49]

Στον Blocks Editor τώρα, αφού έχουμε προσθέσει όλα τα κατάλληλα αντικείμενα στον Designer, με την διαδικασία του σύρε και άφησε, δημιουργούμε τις κατάλληλες εντολές έτσι ώστε να επιτευχθεί το αναμενόμενο αποτέλεσμα.



Εικόνα 53 Στιγμιότυπο από τη δημιουργία της εφαρμογής 2[49]

Στο πρώτο μπλοκ εντολών αριστερά φαίνεται αρχικά η ενέργεια για την πίσω κίνηση. Όταν πατάμε το βελάκι, μέσω του δικτύου Wi-Fi, καλείται η απαιτούμενη διαδικασία, οπότε αν τα έχουμε όλα σωστά, το ρομπότ αρχίζει να κινείται προς τα πίσω. Στο ακριβώς απέναντι μπλοκ εντολών φαίνεται ότι μόλις ανασηκώσουμε τον αντίχειρα από το πλήκτρο, τότε διακόπτεται η συγκεκριμένη κίνηση και το ρομπότ μας σταματά.

Τέλος, αφού δημιουργήσουμε την εφαρμογή μας στην πλατφόρμα του App Inventor, κατεβάζουμε το αρχείο σε κατάληξη .apk και το εγκαθιστούμε στην κινητή μας συσκευή.

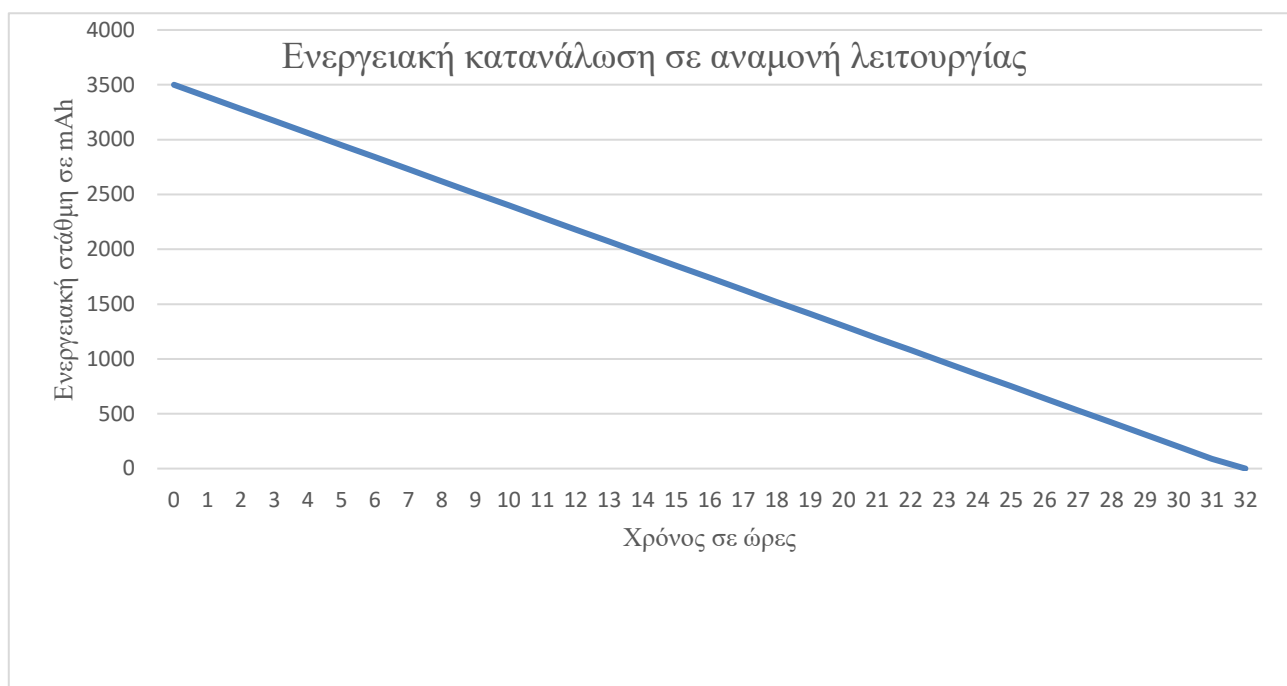


Εικόνα 54 Η τελική εφαρμογή που εγκαταστήσαμε στην έξυπνη συσκευή

4.7 Ενεργοποίηση του ρομποτικού οχήματος, αποτελέσματα και συμπεράσματα

Στο σημείο αυτό αφού έχουμε κατασκευάσει το ρομποτικό όχημα αλλά και την εφαρμογή που είναι απαραίτητη για την πλοήγησή του, είμαστε σε θέση να ελέγξουμε την λειτουργία του. Αρχικά αλλάζουμε θέση στο διακόπτη που βρίσκεται στο όχημα έτσι ώστε να ενεργοποιηθεί. Στη συνέχεια, στη κινητή μας συσκευή στην οποία έχουμε εγκατεστημένη την εφαρμογή, επιλέγουμε το δίκτυο Wi-Fi με όνομα NodeMCU Car. Πλέον το ρομποτικό όχημα και το κινητό μας είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω ενός δικτύου Wi-Fi. Αγγίζουμε τα πλήκτρα πλοήγησης που πραγματοποιούν τις κινήσεις και βλέπουμε ότι το όχημα ανταποκρίνεται σωστά. Στο άγγιγμα του πάνω βέλους πηγαίνει μπροστά, στο άγγιγμα του αριστερού βέλους αριστερά κ.ο.κ. Απομακρυνόμαστε αρκετά από το χώρο που βρίσκεται το ρομποτικό όχημα και βλέπουμε ότι πάλι λειτουργεί με τον ενδεδειγμένο τρόπο. Ο στόχος ήταν να δημιουργήσουμε ένα σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου ρομποτικών οχημάτων μέσω ασύρματων δικτύων πράγμα που καταφέραμε.

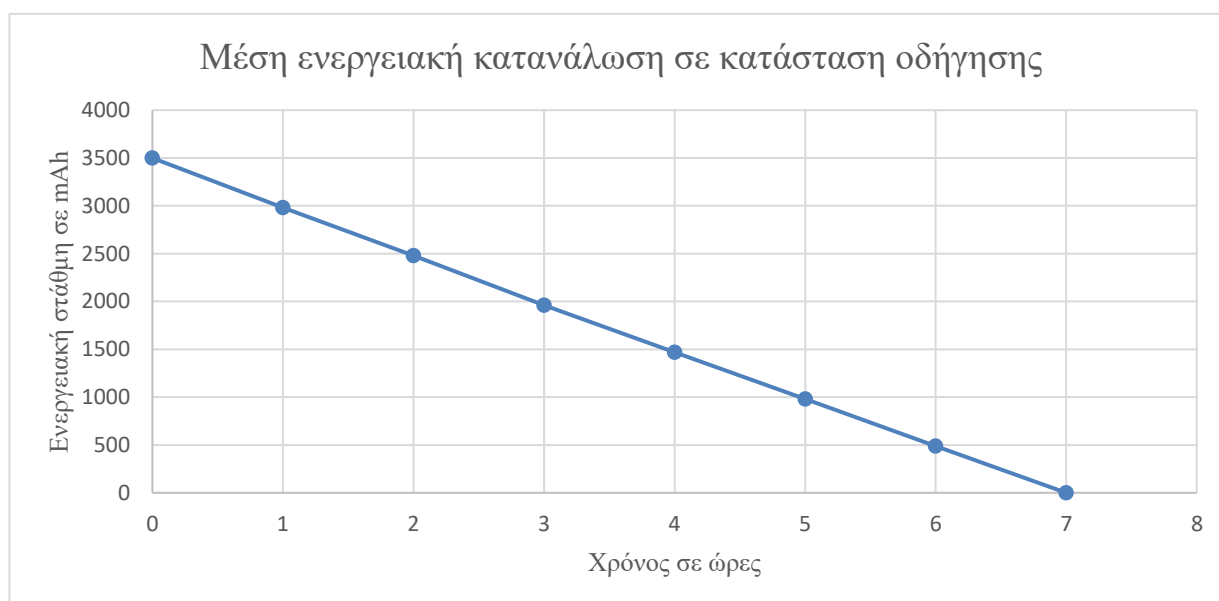
Προχωρήσαμε μελετώντας την ενεργειακή κατανάλωση του ρομποτικού οχήματος σε δυο καταστάσεις. Αρχικά μετρήσαμε την ενεργειακή κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής λειτουργίας, δηλαδή με ενεργοποιημένο το όχημα αλλά χωρίς κίνηση των κινητήρων. Σε αυτή τη κατάσταση, στο κύκλωμα του ρομποτικού οχήματος διέρχεται ρεύμα 110mA. Η μέγιστη ενεργειακή στάθμη είναι τα 3.500mAh οπότε έχουμε την παρακάτω γραφική παράσταση.



Εικόνα 55 Ενεργειακή κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής

Το ρομποτικό όχημα μπορεί να μείνει ενεργοποιημένο αλλά ακίνητο για 32 ώρες περίπου.

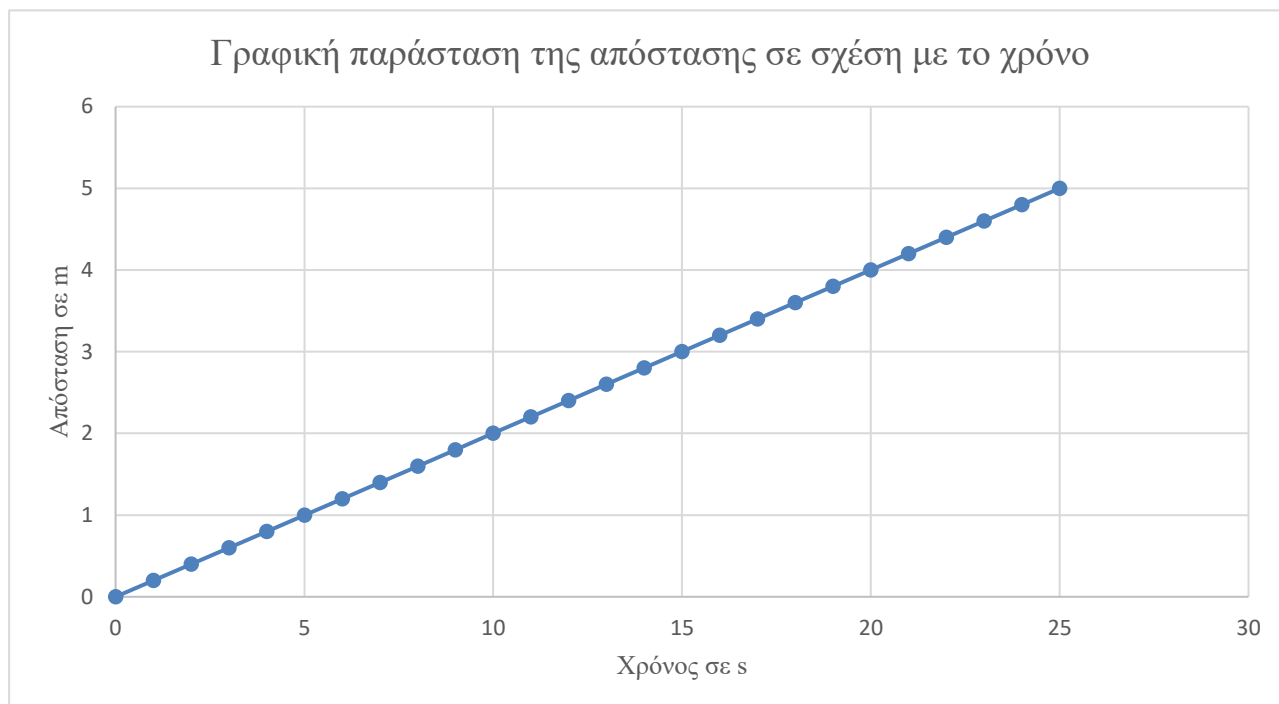
Σε κατάσταση οδήγησης, στο κύκλωμα διέρχεται ρεύμα 500mA με αυξομειώσεις. Αν για παράδειγμα το δάπεδο είναι λίγο ανηφορικό ή πιο δύσβατο, οι κινητήρες θα χρειαστούν παραπάνω ρεύμα. Αυτή η τιμή μπορεί να φτάσει και τα 600mA σε συνδυασμό και με τις απαιτήσεις των άλλων δύο πλακετών του κυκλώματος. Η γραφική παράσταση της μέσης ενεργειακής κατανάλωσης σε κατάσταση οδήγησης ακολουθεί.



Εικόνα 56 Μέση ενεργειακή κατανάλωση σε κατάσταση οδήγησης

Το ρομποτικό όχημα μπορεί να κινείται συνεχόμενα για περίπου 7 ώρες.

Τέλος δημιουργήσαμε τη γραφική παράσταση της απόστασης σε σχέση με το χρόνο. Το ρομποτικό όχημα κινείται περίπου με ταχύτητα 0.2 m/s.



Εικόνα 57 Γραφική παράσταση της απόστασης σε σχέση με το χρόνο

Τελειώνοντας αυτή τη διπλωματική εργασία μπορούμε να επικεντρωθούμε στα παρακάτω:

- Ρομπότ ή διάφορες άλλες συσκευές μπορούν να ελεγχθούν απομακρυσμένα μέσω δικτύων Bluetooth, Wi-Fi ή 4G/5G
- Το σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου αποτελείται από το κέντρο ελέγχου, το μέσο μετάδοσης και την ελεγχόμενη συσκευή
- Τα συστήματα απομακρυσμένου ελέγχου έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στους τομείς της βιομηχανίας, της ιατρικής, των πυρηνικών, της εξερεύνησης του διαστήματος και των επιχειρήσεων διάσωσης
- Τα τηλεχειριζόμενα οχήματα χρειάζονται εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες ελέγχου με χαμηλή καθυστέρηση, απομακρυσμένη τηλεμετρία και συχνά πρόσβαση σε διάφορους αισθητήρες
- Μέσω ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας μπορούμε να ελέγξουμε ένα ρομπότ από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου ξεπερνώντας τα στενά όρια των δικτύων Wi-Fi και Bluetooth.

Βιβλιογραφία

- [1] Δ. Καλλιγερόπουλος και Σ. Βασιλειάδου, *Ιστορία της Τεχνολογίας και των Αυτομάτων*. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική, 2005.
- [2] H. C. Staff, “Thomas Ross – complete biography, history, and inventions,” *History*, 20-Nov-2022. [Online]. Available: <https://history-computer.com/thomas-ross-complete-biography/>. [Accessed: 08-Feb-2023].
- [3] A. Marsh, “Elektro the moto-man had the biggest brain at the 1939 World's fair,” *IEEE Spectrum*, 10-Jan-2023. [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/elektro-the-motoman-had-the-biggest-brain-at-the-1939-worlds-fair>. [Accessed: 08-Feb-2023].
- [4] A. Marsh, “Meet the roomba’s ancestor: The cybernetic tortoise,” *IEEE Spectrum*, 28-Feb-2020. [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/meet-roombas-ancestor-cybernetic-tortoise>. [Accessed: 20-Jan-2023].
- [5] *Robotics*. [Online]. Available: <https://datapeak.net/robotics.htm>. [Accessed: 22-Jan-2023].
- [6] B. McMorris, “A history timeline of industrial robotics,” *Futura Automation*, 15-May-2019. [Online]. Available: <https://futura-automation.com/2019/05/15/a-history-timeline-of-industrial-robotics/>. [Accessed: 20-Jan-2023].
- [7] D. Spicer, “Squee: The robot squirrel,” *CHM*, 24-Oct-2012. [Online]. Available: <https://computerhistory.org/blog/squee-the-robot-squirrel/>. [Accessed: 20-Jan-2023].
- [8] L. Earnest, “Stanford Cart,” *Stanford.edu*, 2012. [Online]. Available: <https://web.stanford.edu/~learnest/sail/oldcart.html>. [Accessed: 20-Jan-2023].
- [9] B. Malone, “George Devol: A life devoted to invention, and robots,” *IEEE Spectrum*, 26-Sep-2011. [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/george-devol-a-life-devoted-to-invention-and-robots>. [Accessed: 20-Jan-2023].
- [10] S. Jain, “Robotic Arms: A brief,” *Github.io*, 03-Jan-2021. [Online]. Available: https://erc-bpgc.github.io/blog/blog/robotic_arms/. [Accessed: 20-Jan-2023].

- [11] A. Gasparetto and L. Scalera, “From the unimate to the delta robot: The early decades of industrial robotics,” in *Explorations in the History and Heritage of Machines and Mechanisms*, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 284–295.
- [12] Abby, “Shakey the robot explained: Everything you need to know,” *History-Computer*, 04-Jan-2021. [Online]. Available: <https://history-computer.com/shakey-the-robot/>. [Accessed: 20-Jan-2023].
- [13] “Humanoid History -WABOT-,” *Waseda.ac.jp*. [Online]. Available: https://www.humanoid.waseda.ac.jp/booklet/kato_2.html. [Accessed: 20-Jan-2023].
- [14] W. E. Leary, “Robot named Dante to explore inferno of Antarctic volcano,” *The New York times*, The New York Times, 08-Dec-1992.
- [15] E. A. Thomson, “Robotuna is first of new 'genetic' line,” *MIT News | Massachusetts Institute of Technology*. [Online]. Available: <https://news.mit.edu/1994/robotuna-0921>. [Accessed: 11-Mar-2023].
- [16] K. Rainey, “First humanoid robot in space receives NASA invention of the year,” *NASA*, 09-Jun-2015. [Online]. Available: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/invention_of_the_year/. [Accessed: 11-Mar-2023].
- [17] J. Badger, D. Gooding, K. Ensley, K. Hambuchen, and A. Thackston, “Ros in space: A case study on robonaut 2,” *Studies in Computational Intelligence*, pp. 343–373, 2016.
- [18] “NASA - NSSDCA - spacecraft - details.” [Online]. Available: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2003-027A>. [Accessed: 11-Mar-2023].
- [19] “In Depth,” *NASA Solar System Exploration*, 16-Jul-2019. [Online]. Available: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/spirit/in-depth/>. [Accessed: 20-Jan-2023].
- [20] “Spidernaut,” *NASA*. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/specials/spidernaut/index.html>. [Accessed: 22-Jan-2023].
- [21] “Mars Curiosity Rover,” *NASA*, 11-Sep-2020. [Online]. Available: <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/rover/summary/>. [Accessed: 20-Jan-2023].

- [22] “Mars 2020 perseverance rover,” *NASA*. [Online]. Available: <https://mars.nasa.gov/mars2020/>. [Accessed: 04-Feb-2023].
- [23] “The use of robots in everyday life,” *Codelearn.com*. [Online]. Available: <https://codelearn.com/blog/the-use-of-robots-in-everyday-life/>. [Accessed: 22-Jan-2023].
- [24] O. N., *Remote Control Handbook*. London, England: Bernard Babani Publishing, 1988.
- [25] A. Stateczny, K. Gierlowski, and M. Hoeft, “Wireless Local Area Network Technologies as communication solutions for unmanned surface vehicles,” *Sensors*, vol. 22, no. 2, p. 655, 2022.
- [26] J. Deda and T. Mirosław, “Remotely controlled robot swarms: A structural analysis and model for structural optimization,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 18, p. 8539, 2021.
- [27] N. S. Labib, M. R. Brust, G. Danoy, and P. Bouvry, “The rise of drones in internet of things: A survey on the evolution, prospects and challenges of unmanned aerial vehicles,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 115466–115487, 2021.
- [28] T. Long, M. Ozger, O. Cetinkaya, and O. B. Akan, “Energy neutral internet of drones,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, no. 1, pp. 22–28, 2018.
- [29] 7-C Dismantling/Decontamination, “EJAM (11-1-NT93),” *Jsm.or.jp*. [Online]. Available: <https://www.jsm.or.jp/ejam/Vol.11No.1/NT/NT93/93.html>. [Accessed: 22-Jan-2023]
- [30] T. Greicius, “NASA prepares for Moon, Mars with new addition to Deep Space Network,” *NASA*, 12-Feb-2020. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/feature/jpl/nasa-prepares-for-moon-and-mars-with-new-addition-to-its-deep-space-network>. [Accessed: 04-Feb-2023].
- [31] B. Dunbar, “Deep Space Network,” *NASA*, 24-Apr-2015. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/archive/directorates/heo/scan/services/networks/dsn>. [Accessed: 04-Feb-2023].
- [32] “Antennas - Canberra Deep Space Communication Complex,” *NASA*. [Online]. Available: <https://www.cdsc.nasa.gov/Pages/antennas.html>. [Accessed: 04-Feb-2023].
- [33] “Communications with Earth,” *NASA Mars Exploration*. [Online]. Available: <https://mars.nasa.gov/msl/mission/communications/>. [Accessed: 22-Jan-2023].
- [34] J. Salazar, *Wireless networks*. 2017.

- [35] A. Abedi, O. Abari, and T. Brecht, “Wi-LE: Can WiFi replace Bluetooth?,” in *Proceedings of the 18th ACM Workshop on Hot Topics in Networks*, 2019.
- [36] E. Mozaffariahrar, F. Theoleyre, and M. Menth, “A survey of Wi-Fi 6: Technologies, advances, and challenges,” *Future Internet*, vol. 14, no. 10, p. 293, 2022.
- [37] E. Hajlaoui, A. Zaier, A. Khlifi, J. Ghodhbane, M. B. Hamed, and L. Sbita, “4G and 5G technologies: A Comparative Study,” in *2020 5th International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)*, 2020.
- [38] E. Ezhilarasan and M. Dinakaran, “A Review on Mobile Technologies: 3G, 4G and 5G,” in *2017 Second International Conference on Recent Trends and Challenges in Computational Models (ICRTCCM)*, 2017.
- [39] A. Singh, “Types of Wireless Networks and Their Advantages and Disadvantages,” *Technowizah*, 11-Dec-2022.
- [40] I. Leyva-Mayorga, B. Soret, M. Roper, D. Wubben, B. Matthiesen, A. Dekorsy, and P. Popovski, “Leo small-satellite constellations for 5G and beyond-5G communications,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 184955–184964, 2020.
- [41] L. Berthoud, R. Hills, A. Bacon, M. Havouzaris-Waller, K. Hayward, J.-D. Gayrard, F. Arnal, and L. Combelles, “Are very low earth orbit (VLEO) satellites a solution for Tomorrow’s telecommunication needs?,” *CEAS Space Journal*, vol. 14, no. 4, pp. 609–623, 2022.
- [42] T. Kim, J. Kwak, and J. P. Choi, “Satellite Edge Computing Architecture and Network Slice Scheduling for IOT Support,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 16, pp. 14938–14951, 2022.
- [43] “Satellite frequency bands,” *ESA*. [Online]. Available: https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Satellite_frequency_bands. [Accessed: 07-Feb-2023].
- [44] B. Dunbar, “Electromagnetic spectrum,” *NASA*, 22-May-2015. [Online]. Available: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/spectrum/txt_electromagnetic_spectrum.html. [Accessed: 07-Feb-2023].
- [45] M. Aliff, N. Samsiah, M. I. Yusof, and A. Zainal, “Development of Fire Fighting Robot (qrob),” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, no. 1, 2019.

- [46] K. Kawabata, “Toward technological contributions to remote operations in the decommissioning of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station,” *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 59, no. 5, p. 050501, 2020.
- [47] “Welcome to fritzing,” *Welcome to*. [Online]. Available: <https://fritzing.org/>. [Accessed: 11-Mar-2023].
- [48] “Software,” *Arduino.cc*. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/software>. [Accessed: 22-Jan-2023].
- [49] “News & events,” *MIT App Inventor*. [Online]. Available: <https://appinventor.mit.edu/>. [Accessed: 22-Jan-2023].
- [50] X. Lu, W. Liu, H. Wang, and Q. Sun, “Robot control design based on smartphone,” in *2013 25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, 2013.
- [51] S. P. Makhanya, E. M. Dogo, N. I. Nwulu, and U. Damisa, “A smart switch control system using ESP8266 Wi-fi module integrated with an android application,” in *2019 IEEE 7th International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE)*, 2019.
- [52] W. Sun, C. Liu, and J. Zhu, “A remote controlled mobile robot based on wireless transmission,” in *2018 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)*, 2018.
- [53] W. Siringoringo, “Teaching and learning Wi-Fi networking fundamentals using limited resources,” in *Selected Readings on Telecommunications and Networking*, IGI Global, 2011, pp. 22–40.
- [54] “Free icons, clipart illustrations, photos, and Music,” *Free Icons, Clipart Illustrations, Photos, and Music*. [Online]. Available: <https://icons8.com/>. [Accessed: 09-Feb-2023].

Παράρτημα I

Επεξήγηση του κώδικα ελέγχου του ρομποτικού οχήματος

```
#define ENA 14 // Ενεργοποίηση δεξιού κινητήρα. Συνδέουμε τον ακροδέκτη  
ENA του L298N στον ακροδέκτη 14 του NodeMCU που ονομάζεται D5  
  
#define ENB 12 // Ενεργοποίηση αριστερού κινητήρα. Συνδέουμε τον  
ακροδέκτη ENA του L298N στον ακροδέκτη 12 του NodeMCU που ονομάζεται D6  
  
#define IN_1 15 // Συνδέουμε τον ακροδέκτη IN_1 του L298N στον ακροδέκτη  
15 του NodeMCU που ονομάζεται D8. Δεξιός κινητήρας  
  
#define IN_2 13 // Συνδέουμε τον ακροδέκτη IN_2 του L298N στον ακροδέκτη  
13 του NodeMCU που ονομάζεται D7. Δεξιός κινητήρας  
  
#define IN_3 2 // Συνδέουμε τον ακροδέκτη IN_3 του L298N στον ακροδέκτη  
2 του NodeMCU που ονομάζεται D4. Αριστερός κινητήρας  
  
#define IN_4 0 // Συνδέουμε τον ακροδέκτη IN_4 του L298N στον ακροδέκτη  
0 του NodeMCU που ονομάζεται D3. Αριστερός κινητήρας  
  
#include <ESP8266WiFi.h> // Αυτή η βιβλιοθήκη παρέχει ειδικές ρουτίνες Wi-Fi για  
το ESP8266 τις οποίες καλούμε για να συνδεθούμε στο δίκτυο.  
  
#include <WiFiClient.h> // Βιβλιοθήκη για Arduino Wi-Fi Shield  
  
#include <ESP8266WebServer.h> // Βιβλιοθήκη που υποστηρίζει μόνο έναν ταυτόχρονο  
πελάτη, γνωρίζει πώς να χειρίζεται τα GET και POST  
  
String command; // Συμβολοσειρά για την αποθήκευση της κατάστασης των  
εντολών της εφαρμογής  
  
int speed = 800; // Τιμή ταχύτητας 800. Μπορούμε να θέσουμε μεταξύ 400  
έως 1023  
int speed_Coeff = 3;  
  
const char* ssid = "NodeMCU Car"; // Το όνομα του δικτύου Wi-Fi του ρομπότ. Μόλις  
εμφανιστεί στη κινητή συσκευή, το κλικάρουμε για να συνδεθούμε  
  
ESP8266WebServer server(80); // Δημιουργεί ένα αντικείμενο WebServer που  
περιμένει αιτήσεις HTTP στη θύρα 80
```

```
void setup() {

  pinMode(ENA, OUTPUT); // Η συνάρτηση pinMode() χρησιμοποιείται για τη
  διαμόρφωση ενός συγκεκριμένου ακροδέκτη ώστε να συμπεριφέρεται είτε ως είσοδος
  είτε ως έξοδος. Εδώ αναφέρεται στον ακροδέκτη ENA

  pinMode(ENB, OUTPUT);
  pinMode(IN_1, OUTPUT);
  pinMode(IN_2, OUTPUT);
  pinMode(IN_3, OUTPUT);
  pinMode(IN_4, OUTPUT);

  Serial.begin(115200); // Ορίζει το ρυθμό δεδομένων σε bit ανά δευτερόλεπτο
  (baud) για τη σειριακή μετάδοση δεδομένων

  // Σύνδεση στο Wi-Fi

  WiFi.mode(WIFI_AP); // Ενεργοποιούμε την λειτουργία για την δημιουργία Access
  Point
  WiFi.softAP(ssid); // Ενεργοποιούμε την λειτουργία για την δημιουργία Access
  Point

  IPAddress myIP = WiFi.softAPIP(); // Επιστροφή της διεύθυνσης IP της διασύνδεσης
  δικτύου του σημείου πρόσβασης
  Serial.print("AP IP address: ");
  Serial.println(myIP);

  // Ξεκίνημα WebServer

  server.on ( "/", HTTP_handleRoot ); // Κλήση της συνάρτησης 'handleRoot' όταν
  ένας πελάτης ζητά URI

  server.onNotFound ( HTTP_handleRoot ); // Όταν ένας πελάτης ζητά ένα άγνωστο
  URI (δηλ. κάτι διαφορετικό από "/"), καλέστε τη συνάρτηση "handleNotFound"

  server.begin(); // Πραγματική εκκίνηση του διακομιστή
}

void goAhead(){ // Συνάρτηση για την εμπρός κίνηση

  digitalWrite(IN_1, LOW); // Εάν ο ακροδέκτης έχει διαμορφωθεί ως OUTPUT με
  την pinMode(), η τάση του θα οριστεί στην αντίστοιχη τιμή: 5V ή 3.3V για HIGH, 0V
  για LOW

  digitalWrite(IN_2, HIGH);
  analogWrite(ENA, speed); // Γράφει μια αναλογική τιμή σε έναν ακροδέκτη.
  Μετά από μια κλήση στην analogWrite(), το pin θα παράγει ένα σταθερό ορθογώνιο
```

κύμα του καθορισμένου κύκλου λειτουργίας μέχρι την επόμενη κλήση της analogWrite() στο ίδιο pin

```
        digitalWrite(IN_3, LOW);
        digitalWrite(IN_4, HIGH);
        analogWrite(ENB, speed);
    }

void goBack(){ // Συνάρτηση για την πίσω κίνηση

    digitalWrite(IN_1, HIGH);
    digitalWrite(IN_2, LOW);
    analogWrite(ENA, speed);
    digitalWrite(IN_3, HIGH);
    digitalWrite(IN_4, LOW);
    analogWrite(ENB, speed);
}

void goRight(){ // Συνάρτηση για στροφή δεξιά

    digitalWrite(IN_1, LOW);
    digitalWrite(IN_2, HIGH);
    analogWrite(ENA, speed);
    digitalWrite(IN_3, HIGH);
    digitalWrite(IN_4, LOW);
    analogWrite(ENB, speed);
}

void goLeft(){ // Συνάρτηση για στροφή αριστερά

    digitalWrite(IN_1, HIGH);
    digitalWrite(IN_2, LOW);
    analogWrite(ENA, speed);
    digitalWrite(IN_3, LOW);
    digitalWrite(IN_4, HIGH);
    analogWrite(ENB, speed);
}

void stopRobot(){ // Συνάρτηση για σταμάτημα του ρομπότ

    digitalWrite(IN_1, LOW);
    digitalWrite(IN_2, LOW);
    analogWrite(ENA, speed);
    digitalWrite(IN_3, LOW);
    digitalWrite(IN_4, LOW);
    analogWrite(ENB, speed);
}

void loop() { // Συνάρτηση για τον τηλεχειρισμό του ρομπότ
```

```

    server.handleClient(); // Εάν το handleClient ανιχνεύσει νέες αιτήσεις, θα
    εκτελέσει αυτόματα τις σωστές συναρτήσεις που καθορίσαμε στη ρύθμιση
    command = server.arg("State"); // Η server.arg() λαμβάνει την τιμή της
    μεταβλητής που επισυνάπτεται/παραδίδεται στη διεύθυνση URL που αποστέλλεται μέσω
    GET ή POST HTTP
    if (command == "F") goAhead();
    else if (command == "B") goBack();
    else if (command == "L") goLeft();
    else if (command == "R") goRight();
    else if (command == "S") stopRobot();
}

void HTTP_handleRoot(void) {

if( server.hasArg("State") ){ // Εάν υπάρξει αποσύνδεση από το δίκτυο και πατηθεί
κάποιο πλήκτρο κίνησης, εμφανίζεται στον χρήστη μήνυμα προβλήματος

    Serial.println(server.arg("State"));
}
server.send ( 200, "text/html", "" ); // Αποστολή κατάστασης HTTP 200 και
αποστολή κάποιου κειμένου στον πελάτη
delay(1); // Καθυστερήση 1 millisecond
}

```