



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

---

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ  
ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Σάμος, 2019

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κατασκευή & Κίνηση Ανθρωποειδούς Ρομπότ**

των

Βασιλείου Μάριου και Τοπαλίδη Χρήστου

Επιβλέπουσα: Δρ. Καβαλλιεράτου Εργίνα  
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Μ.Π.Ε.Σ





UNIVERSITY OF THE  
**AEGEAN**

---

SCHOOL OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INFORMATION  
AND COMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING

Samos, 2019

Diploma Thesis

**Construction & Movement of Humanoid Robot**

by

Vasileiou Marios και Topalidis Christos

Supervisor: Dr. Kavallieratou Ergina  
Associate Professor



Η ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΩΝ ΕΠΙΚΥΡΩΝΕΙ  
ΤΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΤΩΝ  
ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΜΑΡΙΟΥ & ΤΟΠΑΛΙΔΗ ΧΡΗΣΤΟΥ

---

Καβαλλιεράτου Εργίνα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια  
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

---

Σταματάτος Ευστάθιος, Καθηγητής  
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

---

Παπασαλούρος Ανδρέας, Επίκουρος Καθηγητής  
Τμήμα Μαθηματικών

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ  
ΣΑΜΟΣ, 2019



Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

## Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα. Εργίνα Καβαλλιεράτου για την πολύτιμη καθοδήγησή της. Επιπλέον, ευχαριστούμε τις οικογένειες μας για την ηθική, ψυχολογική και οικονομική στήριξη που μας παρείχαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μας.





## Περίληψη

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κατασκευάστηκε ένα ανθρωποειδές ρομπότ κυρίως για ερευνητικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς του εργαστηρίου Τεχνητής Νοημοσύνης του Τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Στο πρώτο μέρος, αναλύεται η σχεδίαση του ρομπότ σε λογισμικό τρισδιάστατης γραφιστικής (3D design) που χρησιμοποιείται για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων και η διαδικασία εκτύπωσης σε εκτυπωτή τριών διαστάσεων (3D Printer). Ακόμα, εξετάζονται λεπτομερώς τα μηχανικά μέρη, οι βαθμοί ελευθερίας, τα ήδη καθώς και η ελευθερία κινήσεων των αρθρώσεων του ανθρωποειδούς. Στη συνέχεια, πραγματεύεται ο προγραμματισμός των χεριών και κατ' επέκταση οι περιορισμοί, τα πλαίσια συντεταγμένων και η κινηματική ανάλυση (ευθεία και αντίστροφη κινηματική) των άνω άκρων.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, σκοπός είναι να εξηγηθεί το κάθε πληροφοριακό μέρος του ρομπότ, πως προγραμματίστηκε και πως έγινε η ισορροπία του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, εξηγούνται οι υπολογιστές που περιλαμβάνει το ρομπότ, γιατί επιλέχθηκαν αυτές οι τεχνολογίες και η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική στην σύνδεση τους.

Σε επόμενη φάση, εξηγείται πως οι συγκεκριμένες συσκευές θα είναι σε θέση προγραμματιστικά να εξυπηρετούν τα επιπλέον συστήματα τα οποία συνδέονται σε επίπεδο υλικού.

Τέλος, είναι ανάγκη να εξηγηθεί πως έγινε η ισορροπία και ο βηματισμός του ρομπότ, γιατί επιλέχθηκε η παρούσα στάση, πως έγινε αυτό προγραμματιστικά και σε επόμενο επίπεδο πως έγινε η δυναμική ισορροπία του συστήματος.

### ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ρομποτική, Ρομπότ, Ανθρωποειδές, 3D design, 3D Printer, πλαίσια συντεταγμένων, Denavit – Hartenberg, Κινηματική ανάλυση, Raspberry, Arduino, αισθητήρες.





## Abstract

In this diploma thesis, a humanoid robot was developed mainly for research and education purposes at the Aegean University's Department of Information and Communication Systems Engineering 's Artificial Intelligence Laboratory.

The first part deals with the design of the robot in 3D graphics design software used to produce 3D models and the printing process in 3D printer. Still, the mechanical parts, the degrees of freedom as well as the freedom of movement of human joints are examined in detail. Then, the programming of the hands and, subsequently, the constrains, the coordinates of the frames and the kinematic analysis (forward & inverse kinematics) of the upper extremities are examined.

In the second part of the work, the purpose is to explain each information part of the robot, how it was programmed and how the system was balanced. More specifically, the computers included in the robot explain why these technologies and the particular architecture were chosen to connect them.

In the next step, it is explained that these devices will be able to programmatically serve the additional hardware-related systems.

Finally, it is explained how the balance and gait of the robot was made, because the present attitude was chosen, how it was programmed and at the next level how the dynamic balance of the system was made.

### **KEY WORDS**

Robotics, Robot, Humanoid, 3D design, 3D Printer, coordinate frames, Denavit – Hartenberg, Kinematic analysis, Raspberry, Arduino, sensors.



## Διαχωρισμός μελέτης

Η παρούσα εργασία έχει χωριστεί σε δύο (2) μέρη:

- Το πρώτο μέρος της εργασίας επιμελήθηκε ο Βασιλείου Μάριος και υλοποιήθηκε η σχεδίαση τρισδιάστατων μοντέλων (3D Models) και η εκτύπωσή τους (3D printing), η συναρμολόγηση του ανθρωποειδούς και ο προγραμματισμός των άνω άκρων. Ακόμα, πραγματοποιήθηκε την βασική ομιλία του ρομπότ.
- Το δεύτερο μέρος της εργασίας ανέλαβε ο Τοπαλίδης Χρήστος και ανέλυσε την σύνδεση των πλακετών, την ισορροπία και τον βηματισμό του ρομπότ.



## Study separation

This work is divided into two (2) parts:

- The first part of the project curated by Vasileiou Marios and implemented the design of 3D models, 3D printing, assembly of humanoid and programming of the upper limbs. Still, he dealt with the basic speech of the robot.
- The second part of the work was undertaken by Topalidis Christos and analyzed the connection of the boards, the balance and the movement of the robot.



## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	6
Περίληψη .....	8
Abstract .....	9
Διαχωρισμός μελέτης .....	10
Study separation .....	11
Κατάλογος Εικόνων.....	15
Κατάλογος Πινάκων.....	18
Κατάλογος Σχημάτων .....	19
Ακρωνύμια .....	20
Μέρος 1 <sup>ο</sup> .....	21
1.1. Εισαγωγή.....	21
1.1.1. Εισαγωγή στη ρομποτική.....	21
1.1.2. Εισαγωγή στα ρομπότ.....	21
1.1.3. Εισαγωγή στο Ανθρωποειδές Ρομπότ.....	29
1.2. Υλισμικό.....	31
1.2.1. Μονάδες Επεξεργασίας.....	31
1.2.2. Κίνηση.....	32
1.2.3. Αισθητήρες .....	37
1.2.4. Μονάδες Εξόδου .....	40
1.2.5. Πηγή ενέργειας .....	41
1.3. Σχεδίαση & 3D Εκτύπωση .....	42
1.3.1. Σχεδίαση Τρισδιάστατων μοντέλων.....	42
1.3.2. Τρισδιάστατη Εκτύπωση.....	43
1.3.3. Υλικά Τρισδιάστατης Εκτύπωσης .....	44
1.3.4. Εργαλεία και ρυθμίσεις Τρισδιάστατης Εκτύπωσης.....	45
1.4. Μηχανικά Μέρη .....	46
1.4.1. Αρθρώσεις.....	46



1.4.2.	Ρομπότ.....	50
1.4.3.	Πόδια.....	52
1.4.4.	Χέρια.....	56
1.4.5.	Κορμός (Σώμα).....	57
<b>1.5.</b>	<b>Προγραμματισμός Χεριών.....</b>	<b>59</b>
1.5.1.	Περιορισμοί (Constrains).....	60
1.5.2.	DH πλαίσια συντεταγμένων.....	62
1.5.3.	Ευθεία & Αντίστροφη Κινηματική (Forward & Inverse Kinematics).....	64
<b>1.6.</b>	<b>Κόστος.....</b>	<b>68</b>
	<b>Μέρος 2<sup>ο</sup>.....</b>	<b>70</b>
<b>2.1.</b>	<b>Εισαγωγή στην Κίνηση.....</b>	<b>70</b>
<b>2.2.</b>	<b>Το πληροφοριακό σύστημα του Ρομπότ.....</b>	<b>72</b>
2.2.1.	Raspberry pi 3 model B+.....	72
2.2.2.	Arduino uno.....	75
2.2.3.	Master-Slave model.....	78
2.2.4.	Raspberry pi Hat τι είναι και γιατί το θέλουμε.....	80
<b>2.3.</b>	<b>Βασικός προγραμματισμός Πλακετών.....</b>	<b>83</b>
2.3.1.	Βασικός προγραμματισμός στο Raspberry pi.....	83
2.3.2.	Βασικός προγραμματισμός στο Arduino.....	91
<b>2.4.</b>	<b>Καλωδιώσεις Συσκευών.....</b>	<b>92</b>
2.4.1.	Καλωδίωση στα Hat του Raspberry pi.....	92
2.4.2.	Καλωδίωση Arduino.....	94
2.4.3.	Καλωδίωση μεταξύ συσκευών.....	95
<b>2.5.</b>	<b>Ισορροπία.....</b>	<b>96</b>
2.5.1.	Η Στάση που επιλέχθηκε.....	98
2.5.2.	Πίνακας servo motor στα Hats και εύρη τιμών.....	99
2.5.3.	Πως έγινε προγραμματιστικά.....	101
2.5.4.	Ισορροπία με χρήση αισθητήρα MPU6050.....	103
2.5.5.	Αναγνώριση και αποτροπή πτώσης.....	105
<b>2.6.</b>	<b>Κίνηση / Περιπάτημα Ανθρωποειδούς.....</b>	<b>107</b>
2.6.1.	Κινήσεις / Περιπάτημα άλλων Ανθρωποειδούς.....	107



2.6.2.	<i>Η Μέθοδος που επιλέξαμε και ο Αλγόριθμος της.....</i>	<i>112</i>
3.	<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>116</b>
4.	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>117</b>



## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Cartesian robot .....	23
Εικόνα 2 Cylindrical robot.....	23
Εικόνα 3 Spherical robot.....	23
Εικόνα 4 SCARA robot.....	24
Εικόνα 5 Articulated robots.....	24
Εικόνα 6 Parallel robot.....	25
Εικόνα 7 Single wheel robot.....	25
Εικόνα 8 Two-wheel robot.....	26
Εικόνα 9 Bipedal robot.....	26
Εικόνα 10 Tripedal robot .....	27
Εικόνα 11 Quadrupedal robot.....	27
Εικόνα 12 Hexapod robot.....	27
Εικόνα 13 Swimming robot .....	28
Εικόνα 14 Flying robot.....	28
Εικόνα 15 Mobile spherical robot.....	28
Εικόνα 16 Swarm robot.....	29
Εικόνα 17 Servo Motor 19kg/cm .....	33
Εικόνα 18 Servo Motor 15kg/cm with bracket.....	33
Εικόνα 19 Micro Servo Motor 1.8 kg/cm.....	33
Εικόνα 20 Servo Parts .....	35
Εικόνα 21 Εσωτερικό Servo.....	35
Εικόνα 22 Ultrasonic Sensor.....	37
Εικόνα 23 Gyroscope - Accelerometer Sensor .....	38
Εικόνα 24 Temperature - Humidity Sensor .....	38
Εικόνα 25 Gas Sensor .....	38
Εικόνα 26 Microphone .....	39
Εικόνα 27 Raspberry Pi Camera module .....	39
Εικόνα 28 Raspberry Pi LCD Display.....	40
Εικόνα 29 Usb Powered Speakers.....	40
Εικόνα 30 Φωτεινές λυχνίες (LED) .....	41
Εικόνα 31 Lipo Battery.....	41
Εικόνα 32 3D Printer Wanhao Duplicator 6.....	43
Εικόνα 33 3D Printer Anet A8.....	44
Εικόνα 34 Roll / Pitch / Yaw example .....	49
Εικόνα 35 Ανθρωποειδές ρομπότ.....	50
Εικόνα 36 Ανθρωποειδές ρομπότ με επεξηγήσεις.....	51
Εικόνα 37 Γόνατο2 κινητήρες.....	52
Εικόνα 38 Δεξί πόδι ρομπότ.....	53
Εικόνα 39 Ενισχυμένα κομμάτια με ντίζες .....	55
Εικόνα 40 Left arm.....	56
Εικόνα 41 Left hand.....	56
Εικόνα 42 Πλευρά ενισχυμένα με ντίζα.....	57
Εικόνα 43 Λεκάνη ενισχυμένη με ντίζες .....	57
Εικόνα 44 Μήκος Κορμού.....	58
Εικόνα 45 Raspberry pi 3 .....	59
Εικόνα 46 Raspberry pi servo Hat .....	59



Εικόνα 47	<i>Homogeneous Matrix</i> .....	64
Εικόνα 48	<i>Homogeneous Matrix 0-1</i> .....	65
Εικόνα 49	<i>Homogeneous Matrix 1-2</i> .....	65
Εικόνα 50	<i>Homogeneous Matrix 2-3</i> .....	65
Εικόνα 51	<i>Homogeneous Matrix 3-4</i> .....	65
Εικόνα 52	<i>Maple Homogeneous Matrices calculations</i> .....	66
Εικόνα 53	<i>Maple final Homogeneous Matrice</i> .....	66
Εικόνα 54	<i>Forward &amp; Inverse Kinematics in Python</i> .....	67
Εικόνα 55	<a href="https://uk.pi-supply.com/products/raspberry-pi-3-model-b">https://uk.pi-supply.com/products/raspberry-pi-3-model-b</a> .....	73
Εικόνα 56	<i>Arduino Uno</i> .....	75
Εικόνα 57	<a href="https://www.felser.ch/profibus-manual/prinzip_des_master-slave.html">https://www.felser.ch/profibus-manual/prinzip_des_master-slave.html</a> .....	78
Εικόνα 58	<a href="https://www.elektronik-kompendium.de/sites/raspberry-pi/1907101.htm">https://www.elektronik-kompendium.de/sites/raspberry-pi/1907101.htm</a> .....	81
Εικόνα 59	<a href="https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview">https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview</a> .....	81
Εικόνα 60	<a href="https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview">https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview</a> .....	85
Εικόνα 61	<a href="https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview">https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview</a> .....	85
Εικόνα 62	<a href="https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview">https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview</a> .....	86
Εικόνα 63	<a href="https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview">https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview</a> .....	86
Εικόνα 64	<a href="https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview">https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview</a> .....	87
Εικόνα 65	<a href="https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview">https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview</a> .....	87
Εικόνα 66	<a href="https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview">https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview</a> .....	88
Εικόνα 67	<a href="https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview">https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview</a> .....	88
Εικόνα 68	<a href="https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview">https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview</a> .....	89
Εικόνα 69	<a href="https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview">https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview</a> .....	89
Εικόνα 70	<i>Αριστερό πόδι στο Hat 1</i> .....	92
Εικόνα 71	<i>Δεξί πόδι στο Hat 2</i> .....	93
Εικόνα 72	<a href="https://www.circuito.io/">https://www.circuito.io/</a> .....	94
Εικόνα 73	<a href="https://www.circuito.io/">https://www.circuito.io/</a> .....	95
Εικόνα 74	<i>ankle strategy</i> .....	96
Εικόνα 75	<i>hip strategy</i> .....	97
Εικόνα 76	<i>Κάθετα στον κορμό</i> .....	97
Εικόνα 77	<i>Ρομπότ πόδια</i> .....	98
Εικόνα 78	<i>Αριστερό πόδι</i> .....	99
Εικόνα 79	<i>Δεξί πόδι</i> .....	100
Εικόνα 80	<a href="http://www.electrionoobs.com/eng_robotica_tut6_1.php">http://www.electrionoobs.com/eng_robotica_tut6_1.php</a> .....	104
Εικόνα 81	<a href="http://www.electrionoobs.com/eng_robotica_tut6_1.php">http://www.electrionoobs.com/eng_robotica_tut6_1.php</a> .....	104
Εικόνα 82	<a href="http://www.electrionoobs.com/eng_robotica_tut6_1.php">http://www.electrionoobs.com/eng_robotica_tut6_1.php</a> .....	105
Εικόνα 83	<i>Αναγνώριση κλίσης</i> .....	106





<i>Εικόνα 84 Hirose, Masato, and Kenichi Ogawa. "Honda humanoid robots development." Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 365.1850 (2006): 11-19.....</i>	<i>108</i>
<i>Εικόνα 85 Hirose, Masato, and Kenichi Ogawa. "Honda humanoid robots development." Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 365.1850 (2006): 11-19.....</i>	<i>108</i>
<i>Εικόνα 86 <a href="https://www.bostondynamics.com/atlas">https://www.bostondynamics.com/atlas</a> .....</i>	<i>109</i>
<i>Εικόνα 87 <a href="https://robots.ieee.org/robots/coman/">https://robots.ieee.org/robots/coman/</a> .....</i>	<i>110</i>
<i>Εικόνα 88 <a href="https://robots.ieee.org/robots/coman/">https://robots.ieee.org/robots/coman/</a> .....</i>	<i>110</i>
<i>Εικόνα 89 Βηματισμός.....</i>	<i>111</i>
<i>Εικόνα 90 Ρομπότ.....</i>	<i>112</i>
<i>Εικόνα 91 Ρομπότ.....</i>	<i>113</i>
<i>Εικόνα 92 Βηματισμός.....</i>	<i>114</i>



## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1	Χαρακτηριστικά Servo Κινητήρων.....	34
Πίνακας 2	Διάγραμμα Μεγέθους Servo.....	34
Πίνακας 3	3D Designing Programs .....	42
Πίνακας 4	3D Printer Filaments .....	44
Πίνακας 5	Κομμάτια Εκτύπωσης .....	45
Πίνακας 6	Κίνηση ανά Άρθρωση του Ρομπότ.....	48
Πίνακας 7	Πίνακας περιορισμών.....	60
Πίνακας 8	Πίνακας παραμέτρων Denavit – Hartenberg .....	63
Πίνακας 9	Κοστολόγιο ρομπότ.....	68
Πίνακας 10	<a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi">https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi</a> .....	72
Πίνακας 11	Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	76
Πίνακας 12	Θέσεις.....	93
Πίνακας 13	Καλωδιώσεις.....	94



## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1	Ανθρωποειδές Ρομπότ .....	30
Σχήμα 2	Παράδειγμα παλμών .....	36
Σχήμα 3	Αλληλεπίδραση Ρομπότ - Περιβάλλον .....	37
Σχήμα 4	Ultrasonic sensor operation .....	37
Σχήμα 5	Αρθρώσεις - Σύνδεσμοι .....	46
Σχήμα 6	Περιστροφική άρθρωση .....	46
Σχήμα 7	Πρισματική άρθρωση .....	47
Σχήμα 8	Κυλινδρική άρθρωση .....	47
Σχήμα 9	Άρθρωση της κύλισης .....	47
Σχήμα 10	Ελεύθερη άρθρωση .....	48
Σχήμα 11	Σφαιρική άρθρωση .....	48
Σχήμα 12	Roll / Pitch / Yaw xyz axis .....	49
Σχήμα 13	Αρθρώσεις ρομπότ .....	52
Σχήμα 14	Αρθρώσεις ποδιών .....	54
Σχήμα 15	Αρθρώσεις χεριού .....	57
Σχήμα 16	Περιορισμοί ώμου 3 .....	60
Σχήμα 17	Περιορισμοί ώμων 2 .....	61
Σχήμα 18	Περιορισμοί Δεξιού ώμου 1 .....	61
Σχήμα 19	Περιορισμοί Αγκώνων .....	62
Σχήμα 20	Πλαίσια συντεταγμένων .....	63



## Ακρωνύμια

DoF	Degrees of Freedom	Βαθμοί Ελευθερίας
<b>PWM</b>	Pulse width modulation	Παλμός διαμορφώσιμου πλάτους
<b>3D</b>	Three Dimensional	Τρεις διαστάσεις
Δ / Α	Δεξί / Αριστερό	
<b>DH</b>	Denavit – Hartenberg	
<b>PID</b>	proportional–integral–derivative	



## Μέρος 1<sup>ο</sup>

### 1.1. Εισαγωγή

#### 1.1.1. Εισαγωγή στη ρομποτική

Η ρομποτική αποτελεί ένα σύγχρονο τεχνολογικό κλάδο της αυτοματοποίησης, που έχει ως αντικείμενο τη μελέτη, το σχεδιασμό και τη λειτουργία των ρομπότ, καθώς και την έρευνα για την περαιτέρω ανάπτυξη τους <sup>[1]</sup>.

#### 1.1.2. Εισαγωγή στα ρομπότ

Σύμφωνα με τον ορισμό του Ινστιτούτου Ρομπότ των ΗΠΑ, "ρομπότ είναι μια επαναπρογραμματιζόμενη πολυλειτουργική χειριστική διάταξη, σχεδιασμένη για τη μετακίνηση υλικών, εξαρτημάτων, εργαλείων και εξειδικευμένων διατάξεων, μέσω μεταβλητών, προγραμματισμένων κινήσεων για την εκτέλεση μιας σειράς εργασιών". Ένα ρομπότ συγκροτείται από δύο συστήματα, το μηχανικό (στο οποίο περιλαμβάνεται το σύστημα κίνησης) και το ηλεκτρονικό (στο οποίο υπάγεται και η επαναπρογραμματιζόμενη μνήμη του). Υπάρχουν διάφορα κριτήρια διάκρισης και αντίστοιχες κατηγοριοποιήσεις των ρομπότ <sup>[1]</sup>. Μία από αυτές είναι η διάκρισή τους σε τρεις, επί του παρόντος, "γενιές" :

- Στην πρώτη γενιά κατατάσσονται ρομπότ με περιορισμένη ευελιξία, που διευθύνονται από τον άνθρωπο, όπως, για παράδειγμα, οι απλοί "χειριστές", σχετικά απλά εργαλεία που επιτρέπουν, για παράδειγμα, τη μετακίνηση επικίνδυνων αντικειμένων (π.χ. ραδιενεργών υλικών).
- Στη δεύτερη γενιά κατατάσσονται τα ρομπότ που είναι εφοδιασμένα με σταθερό πρόγραμμα δράσης και ρομπότ που λαμβάνουν εντολές από κάποιο σύστημα αριθμητικού ελέγχου.
- Στην τρίτη γενιά κατατάσσονται ρομπότ που είναι εφοδιασμένα:
  - με αισθητήριες "πληροφορίες" από το περιβάλλον,
  - με διάταξη επεξεργασίας των πληροφοριών και
  - με κινητήριο σύστημα εκτέλεσης εργασιών.



Επιπρόσθετα, επειδή σήμερα, τα ρομπότ κάνουν πολλά διαφορετικά καθήκοντα σε πολλούς τομείς, ένας άλλος τρόπος διαχωρισμού του ρομπότ σε τύπους είναι με βάση την “εφαρμογή” <sup>[2]</sup> :

- Ρομπότ ψυχαγωγίας : Αυτά είναι ρομπότ που χρησιμοποιούνται για διασκέδαση. Από τα ρομπότ παιχνίδια μέχρι προσομοιωτές κινήσεων.
- Ιατρικά ρομπότ : Ρομπότ που χρησιμοποιούνται στην ιατρική. Τα πιο διαδεδομένα είναι τα χειρουργικά ρομπότ.
- Βιομηχανικά ρομπότ : Βιομηχανικά ρομπότ είναι ρομπότ που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες. Συνήθως αυτοί είναι αρθρωτοί βραχίονες ειδικά σχεδιασμένοι για εφαρμογές όπως η συγκόλληση, ο χειρισμός υλικών, η βαφή και άλλα.
- Στρατιωτικά ρομπότ : Ρομπότ που χρησιμοποιούνται στο στρατό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τα μη επανδρωμένα οχήματα.
- Ρομπότ οικιακής χρήσης : Ρομπότ που χρησιμοποιούνται στο σπίτι. Αυτός ο τύπος ρομπότ περιλαμβάνει πολλές αρκετά διαφορετικές συσκευές, όπως ρομποτικές ηλεκτρικές σκούπες, ρομποτικά καθαριστικά πισίνας, σκούπες, καθαριστικά υδρορροών και άλλα ρομπότ που μπορούν να κάνουν διαφορετικές δουλειές.

Ακόμα, ένας άλλος τρόπος διαχωρισμού του ρομπότ σε τύπους είναι με βάση την κινηματική του ρομπότ <sup>[2]</sup> :

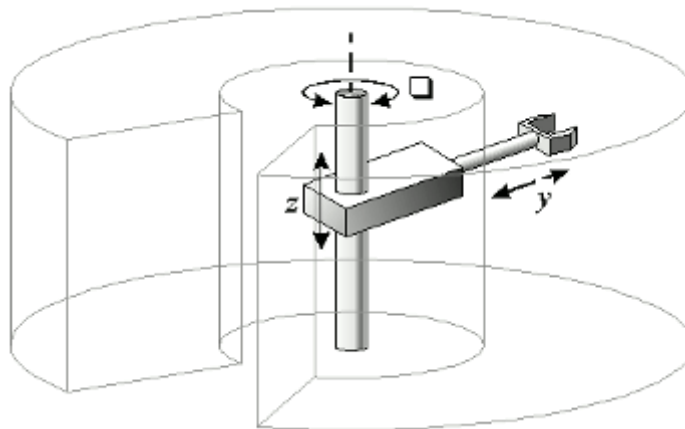
1. Σταθερά ρομπότ (περιλαμβανομένων των ρομποτικών βραχιόνων με παγκόσμιο άξονα κίνησης)
  - 1.1. Καρτεσιανά ρομπότ (βλ. Εικόνα 1)
  - 1.2. Κυλινδρικά ρομπότ (βλ. Εικόνα 2)
  - 1.3. Σφαιρικά ρομπότ (βλ. Εικόνα 3)
  - 1.4. Ρομπότ SCARA (βλ. Εικόνα 4)
  - 1.5. Αρθρωτά ρομπότ (ρομποτικοί βραχίονες) (βλ. Εικόνα 5)
  - 1.6. Παράλληλα ρομπότ (βλ. Εικόνα 6)
2. Τροχοφόρα ρομπότ
  - 2.1. Ρομπότ ενός τροχού (μπάλας) (βλ. Εικόνα 7)
  - 2.2. Ρομπότ δύο τροχών (βλ. Εικόνα 8)
  - 2.3. Τρία και περισσότερων τροχών ρομπότ
3. Ρομπότ με πόδια
  - 3.1. Δίποδα ρομπότ (ανθρωποειδές ρομπότ) (βλ. Εικόνα 9)
  - 3.2. Τρίποδα ρομπότ (βλ. Εικόνα 10)
  - 3.3. Τετράποδα ρομπότ (βλ. Εικόνα 11)
  - 3.4. Εξάποδα ρομπότ (βλ. Εικόνα 12)
  - 3.5. Άλλος αριθμός ποδιών ρομπότ
4. Ρομπότ κολύμβησης (βλ. Εικόνα 13)



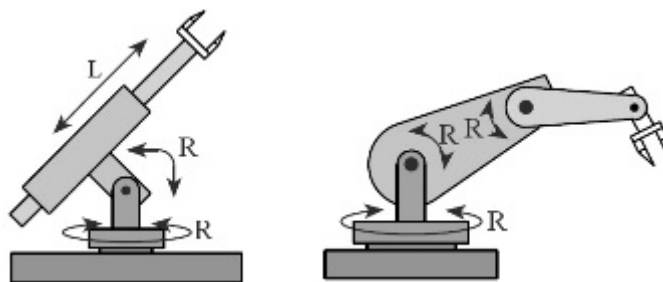
5. Ιπτάμενα ρομπότ (βλ. Εικόνα 14)
6. Σφαιρικά ρομπότ (βλ. Εικόνα 15)
7. Ρομπότ σμήνη (βλ. Εικόνα 16)
8. Άλλα ρομπότ



Εικόνα 1 Cartesian robot



Εικόνα 2 Cylindrical robot



Εικόνα 3 Spherical robot



*Εικόνα 4 SCARA robot*



*Εικόνα 5 Articulated robots*






Εικόνα 6 Parallel robot

**Robot Types - Wheeled Robots - Single Wheel (Ball) Robot**

**Ballbot**

**Murata Girl**



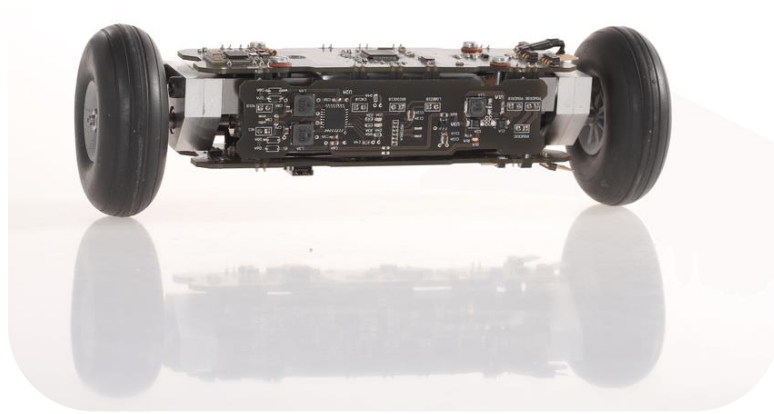
One wheeled robots are extremely difficult to keep balanced due to the single point of contact with the ground.



Dynamically stable single wheel robots have a potential to become very agile and compact.

**Robotpark.com**  
Robotic Technology Center

Εικόνα 7 Single wheel robot



*Εικόνα 8 Two-wheel robot*



*Εικόνα 9 Bipedal robot*



Εικόνα 10 Tripedal robot



Εικόνα 11 Quadrupedal robot



Εικόνα 12 Hexapod robot



*Εικόνα 13 Swimming robot*



*Εικόνα 14 Flying robot*



*Εικόνα 15 Mobile spherical robot*

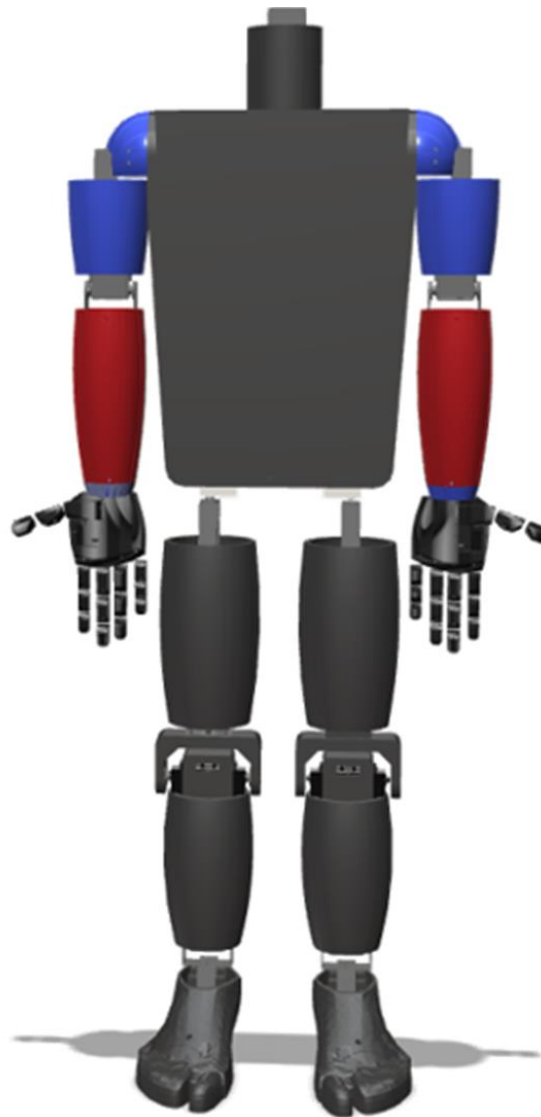


Εικόνα 16 Swarm robot

### 1.1.3. Εισαγωγή στο Ανθρωποειδές Ρομπότ

Το ρομπότ έχει κατασκευαστεί στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής για το εργαστήριο Τεχνητής Νοημοσύνης του Τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων και αποσκοπεί τόσο στην πρακτική εκμάθηση ρομποτικής σε επίπεδο τριτοβάθμιας εκπαίδευσης όσο και στην έρευνα.

Κατηγοριοποιώντας το ρομπότ με βάση την κινηματική του, ανήκει στα δίποδα (ανθρωποειδή) ρομπότ ενώ αν κατηγοριοποιούταν με βάση την «εφαρμογή» του θα μπορούσε να ανήκει σε πλήθος κατηγοριών καθώς ακόμα είναι σε προκαταρκτικό και προσαρμοστικό στάδιο.



*Σχήμα 1 Ανθρωποειδές Ρομπότ*



## 1.2. Υλισμικό

### 1.2.1. Μονάδες Επεξεργασίας

Η μονάδα επεξεργασίας ενός ρομπότ, αποτελεί τον ηλεκτρονικό του εγκέφαλο και μπορεί να είναι μικρής ή μεγάλης υπολογιστικής ισχύος. Είναι αυτή που λαμβάνει όλες τις αποφάσεις με βάση τα δεδομένα που παίρνει από τους αισθητήρες. Στέλνει τα αποτελέσματα στους κινητήρες και στις άλλες μονάδες εξόδου. Η δημιουργία πλατφορμών (πλακετών) ανάπτυξης αυτοματισμών και ρομπότ, έκανε τη ρομποτική περισσότερο προσιτή στον αρχάριο χρήστη <sup>[3]</sup>.

#### Raspberry Pi 3 Model B+

Το Raspberry Pi 3 Model B+ είναι ένας υπολογιστής σε μέγεθος πιστωτικής κάρτας. Διαθέτει Quad Core Processor 1.4GHz 64-Bit, 1GB RAM, 4 θύρες USB 2.0 για σύνδεση με πληκτρολόγιο, ποντίκι και άλλα περιφερειακά, θύρα Ethernet, WiFi, Bluetooth 4.2, έξοδο HDMI, έξοδο ήχου mini jack και microUSB υποδοχή για να την τροφοδοσία του.

Το Raspberry Pi 3 αποτελεί ιδανική λύση για χρήση στην εκπαίδευση και την εκμάθηση προγραμματισμού. Το Pi 3 μπορεί εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί σε πολλές ακόμα εφαρμογές.

#### Raspberry Pi Servo Hat

Το Raspberry Pi είναι ένας υπέροχος μικρός υπολογιστής, αλλά ένα πράγμα που δεν κάνει πολύ καλά είναι να ελέγχει DC Servo Motors - αυτοί οι κινητήρες χρειάζονται πολύ συγκεκριμένους και επαναλαμβανόμενους χρονισμένους παλμούς για να καθορίσουν τη θέση. Αντί να ζητείται από τον πυρήνα Pi Linux να στείλει αυτά τα σήματα, το HAT προσθέτει την ικανότητα ελέγχου 16 Servos με τέλειο χρονισμό.

Το PWM / Servo HAT 16 καναλιών 12-bit PWM / Servo HAT της Adafruit θα μεταφέρει έως και 16 servo κινητήρες μέσω I2C με μόνο 2 pins. Ο ενσωματωμένος ελεγκτής PWM θα μεταφέρει ταυτόχρονα και τα 16 κανάλια χωρίς επιπλέον έξοδα επεξεργασίας στο Raspberry Pi.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν 3 Raspberry Pi Hats για τον έλεγχο 33 servo κινητήρων.



## Arduino Uno Rev3

Το Arduino Uno Rev3 βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328 της Atmel. Είναι μια ολοκληρωμένη πλακέτα που περιέχει τα απαραίτητα για να μπορεί να προγραμματιστεί και να λειτουργήσει συνδέοντάς την με ένα απλό καλώδιο USB στον υπολογιστή. Αναλυτικά η πλακέτα διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους ή εξόδους (6 από αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν PWM εξόδους), 6 αναλογικές εισόδους, 1 θύρα USB (τύπου B) για τον προγραμματισμό και την τροφοδοσία της πλακέτας, 1 είσοδο τροφοδοσίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά για τροφοδοσία από τροφοδοτικό πρίζας ή από απλή μπαταρία, 1 υποδοχή ICSP και τέλος κουμπί για το reset της πλακέτας.

### 1.2.2 Κίνηση

Για να επιτευχθεί η κίνηση των αρθρώσεων του ρομπότ χρησιμοποιήσαμε κινητήρες servo. Κάθε άρθρωση μπορεί να αποτελείται από τουλάχιστον ένα κινητήρα. Οι κινητήρες servo είναι μικρές συσκευές που έχουν έναν εξωτερικό άξονα. Αυτός ο άξονας μπορεί να μετακινηθεί σε διάφορες θέσεις αν αποσταλεί στον servo ένα κωδικοποιημένο σήμα. Όσο υπάρχει αυτό το σήμα στην γραμμή εισόδου του servo τόσο αυτός θα διατηρεί τον άξονα του σε μια συγκεκριμένη θέση. Όταν αλλάζει το σήμα προκαλεί στον servo να μεταβάλει την γωνία του άξονα. Σε πρακτικές εφαρμογές οι servo χρησιμοποιούνται σε τηλεχειριζόμενα αεροπλάνα, αυτοκίνητα και στην ρομποτική. Οι κινητήρες αυτοί έχουν ένα εξαιρετικά μικρό μέγεθος αλλά είναι αρκετά ισχυροί για το μέγεθος τους<sup>[4]</sup>. Κάθε servo κινητήρας προσθέτει ένα βαθμό ελευθερίας (DoF) στο ρομπότ, ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας μπορεί να οριστεί ως ο ελάχιστος αριθμός ανεξάρτητων συντεταγμένων που μπορούν να καθορίσουν πλήρως τη θέση του συστήματος<sup>[5]</sup>.

Στο ρομπότ χρησιμοποιούμε 33 κινητήρες servo εκ των οποίων οι 8 είναι micro (βλ. Εικόνα 19), οι 14 είναι με βοηθητικά μεταλλικά στηρίγματα (βλ. Εικόνα 18) και οι 11 είναι πιο δυνατοί με ροπή 19 kg/cm (βλ. Εικόνα 17) τους οποίους τους χρησιμοποιήσαμε για την κίνηση των δακτύλων.





Εικόνα 17 Servo Motor 19kg/cm



Εικόνα 18 Servo Motor 15kg/cm with bracket



Εικόνα 19 Micro Servo Motor 1.8 kg/cm



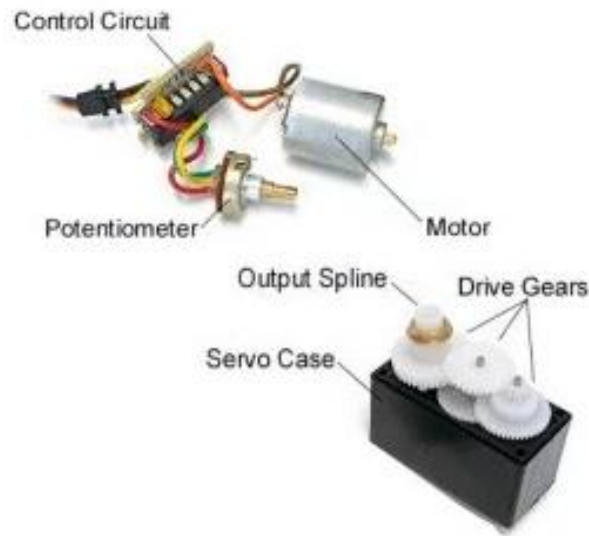
Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά Servo Κινητήρων

	ΕΙΚΟΝΑ 17	ΕΙΚΟΝΑ 18	ΕΙΚΟΝΑ 19
<b>Μέγεθος Servo</b>	Robot Servo	Standard	Micro
<b>Περιστροφή</b>	180°	180°	120°
<b>Ροπή (kg/cm)</b>	15	19	1.8
<b>Ταχύτητα (sec/60°)</b>	0.16	0.22	0.10
<b>Τύπος Γρανάζιων</b>	Μεταλλικά	Μεταλλικά	Μεταλλικά
<b>Aluminum Bracket</b>	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 2 Διάγραμμα Μεγέθους Servo

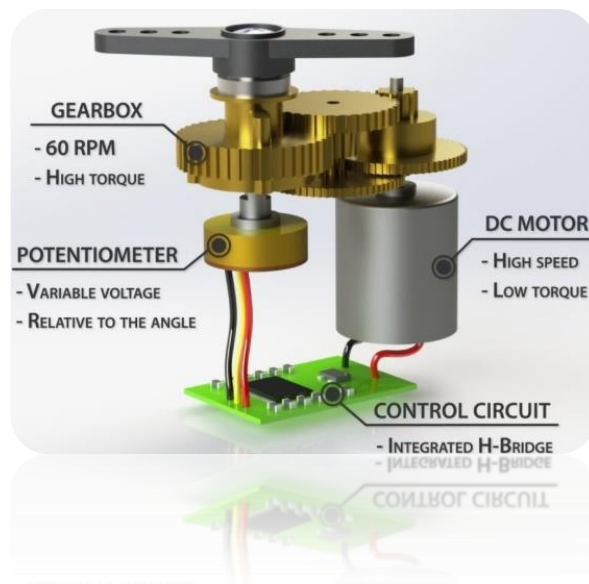
SIZE	DIMENSIONS
<b>Nano (mm)</b>	≈ 20 x 8.6 x 17
<b>Micro (mm)</b>	≈ (23.2 – 29.45) x (12.5 – 11.57) x (22 – 22.75)
<b>Mini (mm)</b>	≈ 30 x 12 x 31.7
<b>Standard (mm)</b>	≈ 40.8 x 20.1 x 38
<b>Robot Servo (mm)</b>	≈ 40 x 20 x 40.5
<b>¼ Scale (mm)</b>	≈ 59 x 29 x 50
<b>Giant (mm)</b>	≈ 66 x 30 x 57.6

Στο εσωτερικό του κινητήρα υπάρχουν: ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC), ένα ποτενσιόμετρο, γρανάζια και ένα πολύ μικρό κύκλωμα ελέγχου. Καθώς περιστρέφεται ο κινητήρας, αλλάζει η αντίσταση του ποτενσιόμετρου, έτσι ώστε το κύκλωμα ελέγχου να μπορεί να ρυθμίζει με ακρίβεια πόση κίνηση υπάρχει και σε ποια κατεύθυνση <sup>[6]</sup>.



Εικόνα 20 Servo Parts

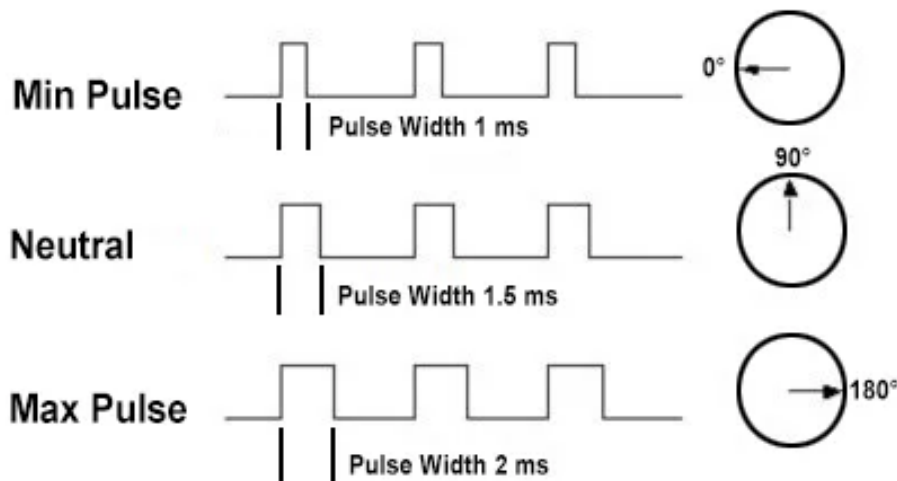
Όταν ο άξονας του κινητήρα βρίσκεται στην επιθυμητή θέση, η τροφοδοσία του κινητήρα σταματά. Εάν όχι, ο κινητήρας στρέφεται προς την κατάλληλη κατεύθυνση. Η επιθυμητή θέση αποστέλλεται μέσω ηλεκτρικών παλμών μέσω του καλωδίου σήματος. Η ταχύτητα του κινητήρα είναι ανάλογη της διαφοράς μεταξύ της πραγματικής θέσης και της επιθυμητής θέσης. Έτσι, αν ο κινητήρας βρίσκεται κοντά στην επιθυμητή θέση, θα γυρίσει αργά, αλλιώς θα γυρίσει γρήγορα <sup>[6]</sup>.



Εικόνα 21 Εσωτερικό Servo



Οι κινητήρες ελέγχονται με την αποστολή ηλεκτρικού παλμού μεταβλητού πλάτους (PWM) μέσω του καλωδίου ελέγχου. Υπάρχει ένας ελάχιστος παλμός, ένας μέγιστος παλμός και ένας ρυθμός επανάληψης. Ένας κινητήρας servo μπορεί συνήθως να γυρίζει μόνο  $90^\circ$  προς οποιαδήποτε κατεύθυνση για συνολική κίνηση  $180^\circ$ . Η ουδέτερη θέση του κινητήρα ορίζεται ως η θέση όπου το servo έχει την ίδια περιστροφή πιθανής περιστροφής τόσο προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού όσο και προς την αντίθετη φορά των δεικτών του ρολογιού. Το PWM που αποστέλλεται στον κινητήρα καθορίζει τη θέση του άξονα και με βάση τη διάρκεια του παλμού που αποστέλλεται μέσω του καλωδίου ελέγχου. Ο κινητήρας αναμένει να δει έναν παλμό κάθε 20 χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms) και το μήκος του παλμού θα καθορίσει πόσο μακριά γυρίζει ο κινητήρας. Για παράδειγμα, ένας παλμός των 1,5ms θα κάνει τον κινητήρα να γυρίσει στη θέση  $90^\circ$ . Λιγότερο από 1,5ms το μετακινεί προς τα αριστερά προς τη θέση  $0^\circ$ , και περισσότερο από 1,5ms θα περιστρέψει το servo κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού προς τη θέση  $180^\circ$  [6].

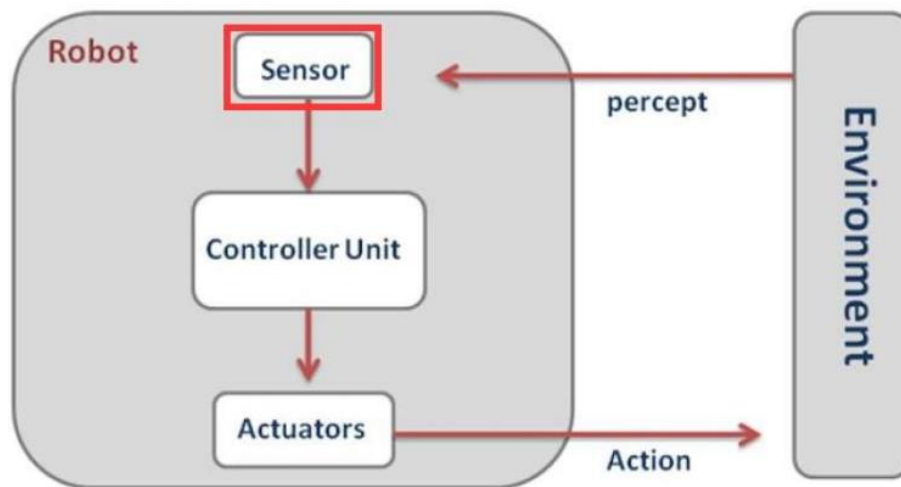


Σχήμα 2 Παράδειγμα παλμών

Όταν οι κινητήρες έχουν εντολή να κινηθούν, θα μετακινηθούν στη θέση και θα κρατήσουν τη θέση. Αν μια εξωτερική δύναμη σπρώξει τον servo ενώ κρατάει μια θέση, ο servo θα αντισταθεί στη μετακίνηση από αυτή τη θέση. Η μέγιστη δύναμη που μπορεί να ασκήσει ο servo καλείται “torque rating”. Ο servo δεν θα κρατήσει τη θέση του για πάντα. ο παλμός θέσης πρέπει να επαναληφθεί για να δοθεί εντολή στον servo να παραμείνει στη θέση του [6].

### 1.2.3 Αισθητήρες

Οι αισθητήρες είναι εξαρτήματα που επιτρέπουν στο ρομπότ να επικοινωνεί και να αλληλεπιδρά με τον εξωτερικό κόσμο, ανιχνεύουν μία φυσική ποσότητα (θερμοκρασία, απόσταση, πίεση κλπ..) και παράγουν από αυτή μία μετρήσιμη έξοδο (ηλεκτρικό σήμα).



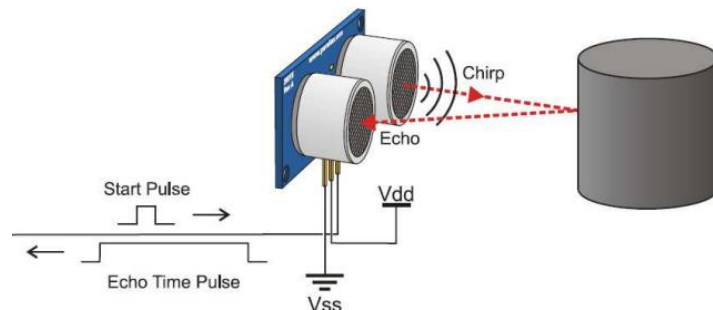
Σχήμα 3 Αλληλεπίδραση Ρομπότ - Περιβάλλον

Οι αισθητήρες που προσθέσαμε στο ρομπότ είναι οι εξής:

- Υπερήχων: είναι ένας αισθητήρας χώρου / απόστασης που είναι ικανός να ανιχνεύει την παρουσία κοντινών αντικειμένων χωρίς φυσική επαφή. Ο πομπός στέλνει έναν υπέρηχο και βάσει του χρόνου που έκανε το σήμα να φθάσει στο δέκτη υπολογίζεται η απόσταση απ' το αντικείμενο.



Εικόνα 22 Ultrasonic Sensor

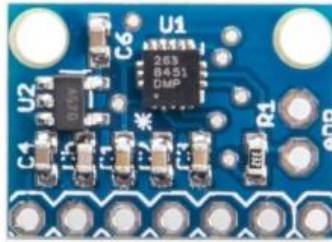


Σχήμα 4 Ultrasonic sensor operation

- Γυροσκόπιο – Επιταχυνσιόμετρο: Το γυροσκόπιο είναι μια συσκευή η οποία μπορεί να διατηρεί σταθερό τον προσανατολισμό της μέσω της

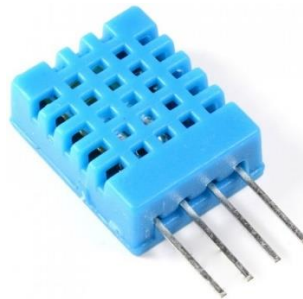


περιστροφής των μερών της και της αρχής της διατήρησης της στροφορμής, ενώ το επιταχυνσιόμετρο μας επιτρέπει να μετρήσουμε την επιτάχυνση ενός σώματος και να έχουμε την γραφική απεικόνισή της σε σχέση με τον χρόνο ή με τις τιμές που μας δίνουν άλλοι αισθητήρες που χρησιμοποιούμε.



Εικόνα 23 Gyroscope - Accelerometer Sensor

- Θερμοκρασίας – Υγρασίας: παρέχουν λεπτομερή και αξιόπιστα δεδομένα σχετικά με βασικές περιβαλλοντικές παραμέτρους. Χρησιμοποιείται για την μέτρηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του χώρου με ψηφιακή έξοδο. Το εύρος υγρασίας που μετράει είναι 20-80% και το εύρος της θερμοκρασίας είναι 0-50 °C.



Εικόνα 24 Temperature - Humidity Sensor

- Αερίων: ανιχνεύει την παρουσία και τη συγκέντρωση διαφόρων επικίνδυνων αερίων και ατμών, όπως τοξικά ή εκρηκτικά αέρια, πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC), υγρασία και οσμές.



Εικόνα 25 Gas Sensor

- Ήχου (Μικρόφωνο): μπορεί να ανιχνεύσει την ένταση ήχου του περιβάλλοντος. Το κύριο συστατικό στοιχείο της μονάδας είναι ένα απλό



μικρόφωνο, το οποίο βασίζεται στον ενισχυτή LM386 και ένα μικρόφωνο electret.



Εικόνα 26 Microphone

- Απεικόνιση (Κάμερα): ανιχνεύει και μεταφέρει τις πληροφορίες που αποτελούν μια εικόνα. Χρησιμοποιήσαμε μία Raspberry Pi Camera με 8-megapixel Sony IMX219 αισθητήρα και 160° γωνία θέασης.



Εικόνα 27 Raspberry Pi Camera module

Οι αισθητήρες αυτοί επιτρέπουν στο ρομπότ να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, ο αισθητήρας υπερήχων επιτρέπει στο ρομπότ να καταλαβαίνει πότε πλησιάζει σε εμπόδιο με ακρίβεια εκατοστού, το γυροσκόπιο-επιταχυνσιόμετρο δίνει την δυνατότητα στο ρομπότ να προσανατολιστεί και να γνωρίζει την ταχύτητά του, ο αισθητήρας θερμοκρασίας-υγρασίας επιτρέπει στο ρομπότ να γνωρίζει τόσο την θερμοκρασία/ υγρασία του περιβάλλοντος όσο και την θερμοκρασία στο εσωτερικό του ρομπότ που βρίσκονται τα ηλεκτρονικά του μέρη. Ακόμα, με τον αισθητήρα αερίων το ρομπότ μπορεί να καταλαβαίνει την ποιότητα του αέρα, με το μικρόφωνο να καταλαβαίνει την φωνή και κατ' επέκταση να λαμβάνει εντολές ενώ με την κάμερα θα μπορεί να εντοπίζει αντικείμενα και να αναγνωρίζει ανθρώπους.

Στα πλαίσια της Διπλωματικής εργασίας κληθήκαμε να συνδέσουμε τους παραπάνω αισθητήρες και να δέχεται το ρομπότ απλά τιμές χωρίς να τις επεξεργάζεται, π.χ. αναγνώριση προσώπου. Εξάιρεση είναι το γυροσκόπιο-επιταχυνσιόμετρο το οποίο το χρησιμοποιήσαμε για την ισορροπία και κατ' επέκταση την κίνηση.



### 1.2.4 Μονάδες Εξόδου

Με τον όρο **μονάδα εξόδου** του ρομπότ εννοούμε τις διάφορες συσκευές, τα τμήματα του υλικού εξοπλισμού του ρομπότ, των οποίων ο σκοπός είναι να εξάγουν πληροφορία (δεδομένα) στον έξω κόσμο.

Οι μονάδες εξόδου που χρησιμοποιήσαμε στο ρομπότ είναι οι εξής:

- **Οθόνη:** χρησιμοποιούμε μια μικρή οθόνη LCD έτσι ώστε να μπορεί να γίνει διαδραστική η επικοινωνία μεταξύ ανθρώπου και ρομπότ.



Εικόνα 28 Raspberry Pi LCD Display

- **Ηχεία:** χρησιμοποιούμε 2 ηχεία έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη η αλληλεπίδραση ανθρώπου – ρομπότ.



Εικόνα 29 Usb Powered Speakers

- **Φωτεινές λυχνίες (LED):** προσθέσαμε λαμπάκια led ως ενδείξεις, π.χ. όταν συνδέεται στην πηγή ενέργειας.





Εικόνα 30 Φοτεινές λυχνίες (LED)

### 1.2.5 Πηγή ενέργειας

Για την τροφοδοσία του ρομπότ χρησιμοποιούμε 2 μπαταρίες λιθίου (LiPo) με χωρητικότητα 5000mAh και τάση 7.4V .



Εικόνα 31 Lipo Battery



## 1.3. Σχεδίαση & 3D Εκτύπωση

### 1.3.1. Σχεδίαση Τρισδιάστατων μοντέλων

Η τρισδιάστατη (3D) μοντελοποίηση είναι η διαδικασία ανάπτυξης μιας μαθηματικής αναπαράστασης οποιασδήποτε επιφάνειας ενός αντικειμένου (είτε άψυχου είτε ζωντανό) σε τρεις διαστάσεις μέσω εξειδικευμένου λογισμικού. Το προϊόν ονομάζεται μοντέλο τριών διαστάσεων (3D). Το μοντέλο μπορεί επίσης να δημιουργηθεί φυσικά χρησιμοποιώντας συσκευές εκτύπωσης 3D <sup>[8]</sup>.

Το λογισμικό 3D μοντελοποίησης είναι μια κατηγορία τρισδιάστατου λογισμικού γραφικών ηλεκτρονικών υπολογιστών που χρησιμοποιείται για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων. Τα μεμονωμένα προγράμματα αυτής της κατηγορίας ονομάζονται εφαρμογές μοντελοποίησης ή μοντελιστές. Τα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα αντιπροσωπεύουν ένα φυσικό σώμα που χρησιμοποιεί μια συλλογή από σημεία σε τρισδιάστατο χώρο, που συνδέονται με διάφορες γεωμετρικές οντότητες όπως τρίγωνα, γραμμές, καμπύλες επιφάνειες κλπ. Δεδομένου ότι είναι μια συλλογή δεδομένων (σημεία και άλλες πληροφορίες) μπορεί να δημιουργηθεί με το χέρι, αλγοριθμικά (διαδικαστική μοντελοποίηση), ή σαρωμένη. Οι επιφάνειές τους μπορούν να οριστούν περαιτέρω με χαρτογράφηση υφής <sup>[8]</sup>.

Για την σχεδίαση του ρομπότ χρησιμοποιήθηκε κυρίως το Autodesk 123D Design. Παρακάτω βρίσκεται ο αναλυτικός πίνακας με τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την τρισδιάστατη σχεδίαση και γλυπτική ανά μέρος του ρομπότ:

*Πίνακας 3 3D Designing Programs*

PROGRAMM	3D DESIGNING
AUTODESK 123D DESIGN	Robot
AUTODESK FUSION 360	Legs
AUTODESK INVENTOR	Robot
DESIGNSPARK MECHANICAL	Hands



### 1.3.2. Τρισδιάστατη Εκτύπωση

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing) είναι μια μέθοδος προσθετικής κατασκευής στην οποία κατασκευάζονται αντικείμενα μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού. Στη τρισδιάστατη εκτύπωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικού, κυρίως κεραμικά και πολυμερή. Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες και εξοπλισμό προσθετικής κατασκευής, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι συνήθως ταχύτεροι, φθηνότεροι και ευκολότεροι στη χρήση. Για τον λόγο αυτό πολλοί πιστεύουν ότι στα επόμενα χρόνια η παγκόσμια παραγωγή αγαθών θα στραφεί προς αυτή την κατεύθυνση, αντικαθιστώντας σταδιακά τις παραδοσιακές τεχνικές. Δεν είναι λίγοι αυτοί που πιστεύουν ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση θα αποτελέσει μία «νέα βιομηχανική επανάσταση», καθώς θα φέρει αποκέντρωση των παραγωγικών διαδικασιών, ανοίγοντας τον δρόμο για παραγωγή τοπική και μικρής κλίμακας, προσαρμοσμένη στις τρέχουσες ανάγκες<sup>[9]</sup>.



Εικόνα 32 3D Printer Wanhao Duplicator 6

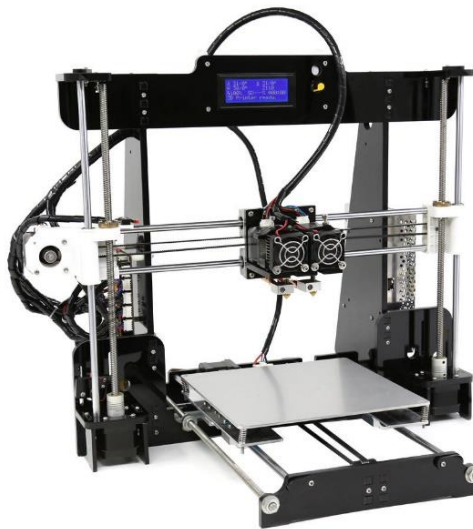
Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή φυσικών μοντέλων και πρωτοτύπων από σχεδιαστές, μηχανικούς και ομάδες ανάπτυξης νέων προϊόντων, έχουν τη δυνατότητα να εκτυπώνουν μέρη και εξαρτήματα από διάφορα υλικά, με διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες και συχνά σε μια ενιαία διαδικασία κατασκευής<sup>[10]</sup>.

Η βασική ιδέα πίσω από την τρισδιάστατη εκτύπωση -μια καθομιλουμένη φράση για μία μέθοδο που ονομάζεται «προσθετική κατασκευή»- συναντάται στους σχηματισμούς πετρωμάτων σε μεγάλα βάθη κάτω από τη γη (οι σταγόνες του νερού εναποθέτουν λεπτές στρώσεις μετάλλων σχηματίζοντας σταλακτίτες και σταλαγμίτες), ενώ ένα πιο σύγχρονο παράδειγμα είναι ένα κοινός επιτραπέζιος εκτυπωτής. Όπως ακριβώς ένας εκτυπωτής ψεκασμού μελάνης προσθέτει μεμονωμένες κουκίδες του



μελανιού για να σχηματίσουν μια εικόνα, ένας 3D εκτυπωτής προσθέτει υλικό μόνο όπου χρειάζεται, ακολουθώντας εντολές από ένα ψηφιακό αρχείο <sup>[11]</sup>.

Η προετοιμασία του εκτυπωτή περιλαμβάνει καταρχάς το γέμισμά του με τις πρώτες ύλες (όπως πλαστικά, σκόνης μετάλλων). Πρέπει μάλιστα να διαλέξει κανείς το υλικό με το οποίο θα επιτύχει καλύτερα τις συγκεκριμένες ιδιότητες που απαιτούνται για το αντικείμενο που θέλει να παραγάγει. Η ποικιλία των υλικών που χρησιμοποιούνται στους 3D εκτυπωτές είναι πολύ μεγάλη, περικλείει πλαστικά, κεραμικά, ρητίνη, μέταλλα, άμμο, υφάσματα, βιοϋλικά, γυαλί <sup>[6]</sup> ακόμα και τροφή.



Εικόνα 33 3D Printer Anet A8

### 1.3.3. Υλικά Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

Για την 3D εκτύπωση χρησιμοποιήσαμε PLA. Το θερμοπλαστικό υλικό αυτό είναι μη τοξικό, βιοδιασπώμενο και έτσι δεν επιβαρύνει το περιβάλλον. Προσφέρει αντοχή και εκτυπώνεται σε θερμοκρασίες 180-220c. Λεπτομερώς τα υλικά που χρησιμοποιήσαμε:

Πίνακας 4 3D Printer Filaments

ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (KG)	ΧΡΩΜΑ
PLA NEEMA3D™ ATHENA	~4,5	BLACK
PLA NEEMA3D™ ATHENA	~0,5	WINE RED
PLA NEEMA3D™ ATHENA	0.3	PEARL GENTIAN BLUE



### 1.3.4. Εργαλεία και ρυθμίσεις Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

Από την στιγμή που ολοκληρωθεί η σχεδίαση των κομματιών του ρομπότ την δουλειά να μετατραπεί το σχέδιο σε εντολές μηχανής αναλαμβάνουν προγράμματα (slicing engine software) τα οποία προσαρμόζονται με τις προτιμήσεις μας. Τα προγράμματα που χρησιμοποιήσαμε είναι τα Simplify3D και Ultimaker Cura. Οι ρυθμίσεις ανά κομμάτι βρίσκονται παρακάτω:

Πίνακας 5 Κομμάτια Εκτύπωσης

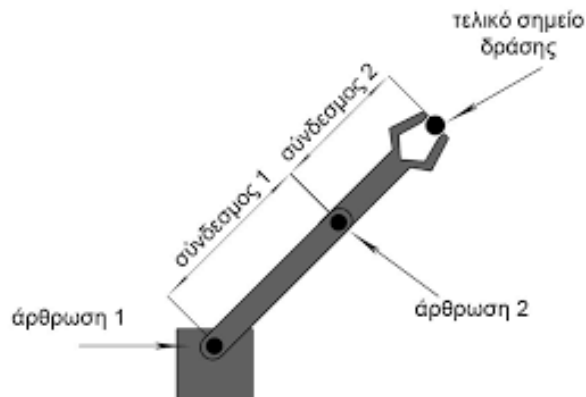
ΑΡ.	ΚΟΜΜΑΤΙΑ	*	ΧΡΩΜΑ	ΒΑΡΟΣ(KG)**
1	Πατούσα 1	Δ / Α	Μαύρο	~0,3
2	Πατούσα 2	Δ / Α	Μαύρο	~0,1
3	Περώνη	Δ / Α	Μαύρο	~0,15
4	Κνήμη	Δ / Α	Μαύρο	~0,1
5	Επιγονατίδα	Δ / Α	Μαύρο	~0,2
6	Μηριαίος 1	Δ / Α	Μαύρο	~0,2
7	Μηριαίος 2	Δ / Α	Μαύρο	~0,15
8	Μηριαίος 3	Δ / Α	Μαύρο	~0,15
9	Λεκάνη	Δ / Α	Μαύρο	~0,7
10	Πλευρό	Δ / Α	Μαύρο	~0,5
11	Στήριγμα πλευρών		Μαύρο	~0,2
12	Ωμος 1	Δ / Α	Μαύρο	~0,1
13	Ωμος 2	Δ / Α	Μαύρο	~0,1
14	Ωμος 3	Δ / Α	Μαύρο	~0,05
15	Βραχιόνιο 1	Δ / Α	Μαύρο	~0,1
16	Βραχιόνιο 2	Δ / Α	Μαύρο	~0,1
17	Μπράτσο	Δ / Α	Μπλε	~0,1
18	Πήχης 1	Δ / Α	Κόκκινο	~0,3
19	Πήχης 2	Δ / Α	Μαύρο	~0,1
20	Πήχης 3	Δ / Α	Μαύρο	~0,05
21	Πήχης 4	Δ / Α	Κόκκινο	~0,2
22	Καρπός	Δ / Α	Μπλε	~0,1
23	Παλάμη 1	Δ / Α	Μαύρο	~0,15
24	Παλάμη 2	Δ / Α	Μαύρο	~0,15
25	Βάση αντίχειρα	Δ / Α	Μαύρο	~0,05
26	Δάχτυλα x14	Δ / Α	Μαύρο	~0,1

\* Δ / Α = Δεξί / Αριστερό. \*\* Όπου Δ / Α τότε το βάρος είναι το άθροισμα και των 2

## 1.4. Μηχανικά Μέρη

### 1.4.1. Αρθρώσεις

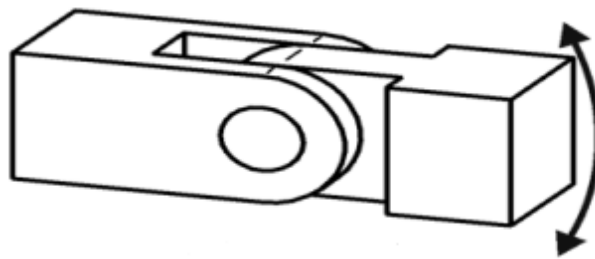
Οι αρθρώσεις είναι μηχανισμοί που επιτρέπουν τη σχετική κίνηση μεταξύ των συνδέσμων, οι οποίοι είναι στερεά σώματα που αποτελούν το σκελετό του ρομπότ.



Σχήμα 5 Αρθρώσεις - Σύνδεσμοι

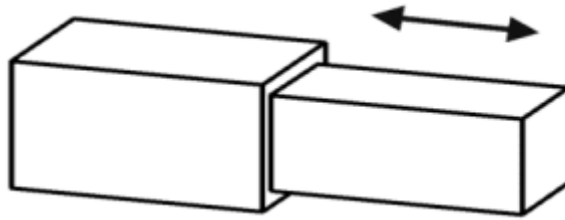
Τα είδη των αρθρώσεων είναι τα εξής <sup>[12]</sup>:

- Περιστροφική άρθρωση: είναι άρθρωση που επιτρέπει σχετική στροφή μεταξύ δύο γειτονικών συνδέσμων. Δίνει ένα βαθμό ελευθερίας αφήνοντας το σώμα να περιστραφεί σε ένα επίπεδο και αποκόπτει κάθε άλλη δυνατότητα κίνησης.



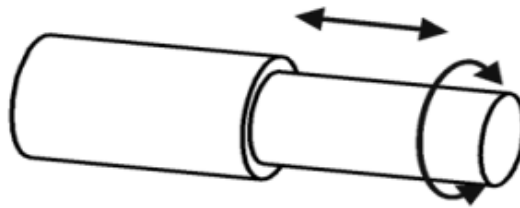
Σχήμα 6 Περιστροφική άρθρωση

- Πρισματική (ή τηλεσκοπική) άρθρωση: είναι άρθρωση που επιτρέπει σχετική μετατόπιση (σε ευθεία γραμμή) μεταξύ δύο γειτονικών συνδέσμων. Δίνει και αυτή ένα βαθμό ελευθερίας αφήνοντας το σώμα να μετατοπίζεται στη διεύθυνση ενός από τους άξονες, και αποκόπτει κάθε άλλη δυνατότητα κίνησης.



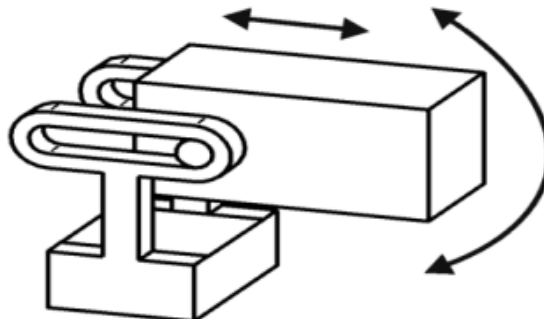
Σχήμα 7 Πρισματική άρθρωση

- Σύνθετες αρθρώσεις: είναι αυτές που αναλύονται γεωμετρικά σε υπέρθεση δύο ή περισσότερων από τις βασικές αρθρώσεις (στροφική & πρισματική). Οι σύνθετες αρθρώσεις:
  - Κυλινδρική άρθρωση: δίνει δύο βαθμούς ελευθερίας αφήνοντας μία μεταφορική κίνηση στη διεύθυνση ενός άξονα και μία περιστροφική γύρω από τον άξονα αυτό.



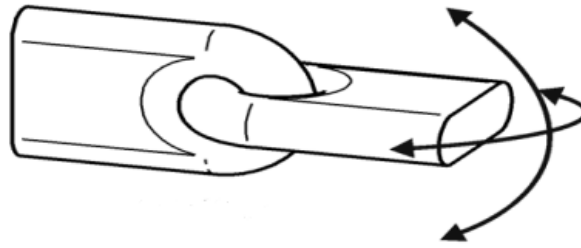
Σχήμα 8 Κυλινδρική άρθρωση

- Άρθρωση της κύλισης: δίνει και αυτή δύο βαθμούς ελευθερίας, δηλαδή μία μεταφορική και μία περιστροφική κίνηση, αλλά σε αυτή την περίπτωση ο άξονας της περιστροφικής κίνησης είναι κάθετος στη διεύθυνση του άξονα που πραγματοποιείται η μεταφορική κίνηση.



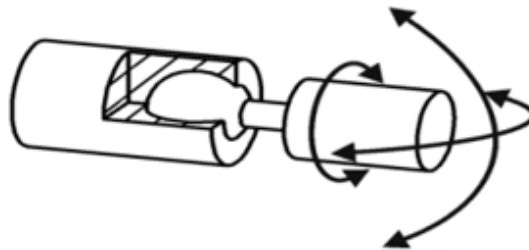
Σχήμα 9 Άρθρωση της κύλισης

- Ελεύθερη άρθρωση: δίνει δύο βαθμούς ελευθερίας αφήνοντας δύο περιστροφικές κινήσεις και εμποδίζοντας όλες τις υπόλοιπες



Σχήμα 10 Ελεύθερη άρθρωση

- Σφαιρική άρθρωση: δίνει τρεις βαθμούς ελευθερίας αφήνοντας και τις τρεις περιστροφικές κινήσεις ελεύθερες και εμποδίζοντας όλες τις μεταφορικές.



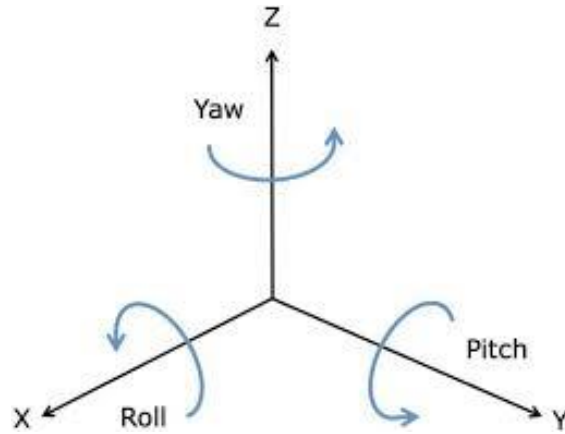
Σχήμα 11 Σφαιρική άρθρωση

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την κίνηση, το είδος και τους βαθμούς ελευθερίας (DoF) της κάθε άρθρωσης του ανθρωποειδούς ρομπότ.

Πίνακας 6 Κίνηση ανά Άρθρωση του Ρομπότ

ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ	ΑΡΘΡΩΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΑΡΘΡΩΣΗΣ	DOF
ΚΕΦΑΛΙ	Roll / Pitch / Yaw	Σφαιρική	3
Δ/Α ΩΜΟΣ	Roll / Pitch / Yaw	Σφαιρική	3
Δ/Α ΑΓΚΩΝΑΣ	Pitch	Περιστροφική	1
Δ/Α ΙΣΧΙΟ	Roll / Pitch / Yaw	Σφαιρική	3
Δ/Α ΓΟΝΑΤΟ	Pitch	Περιστροφική	1
Δ/Α ΑΣΤΡΑΓΑΛΟΣ	Pitch / Roll	Ελεύθερη	2





Σχήμα 12 Roll / Pitch / Yaw xyz axis

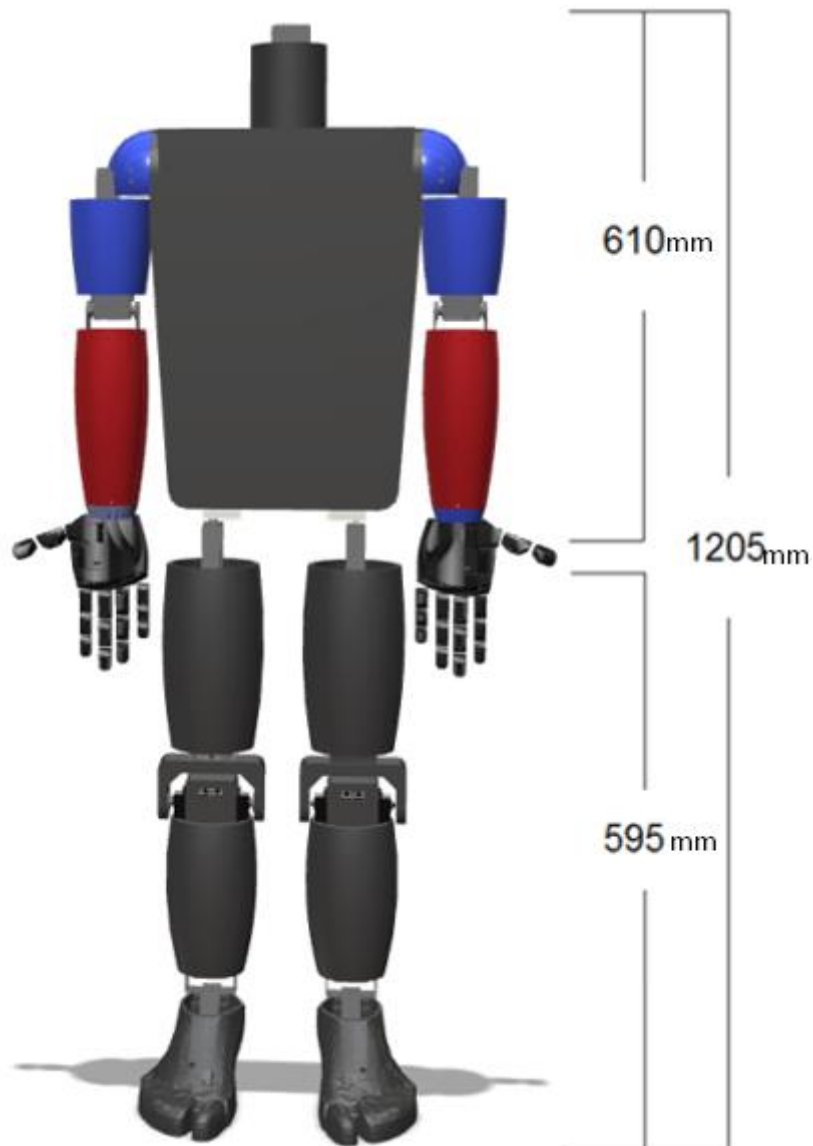


Εικόνα 34 Roll / Pitch / Yaw example



### 1.4.2. Ρομπότ

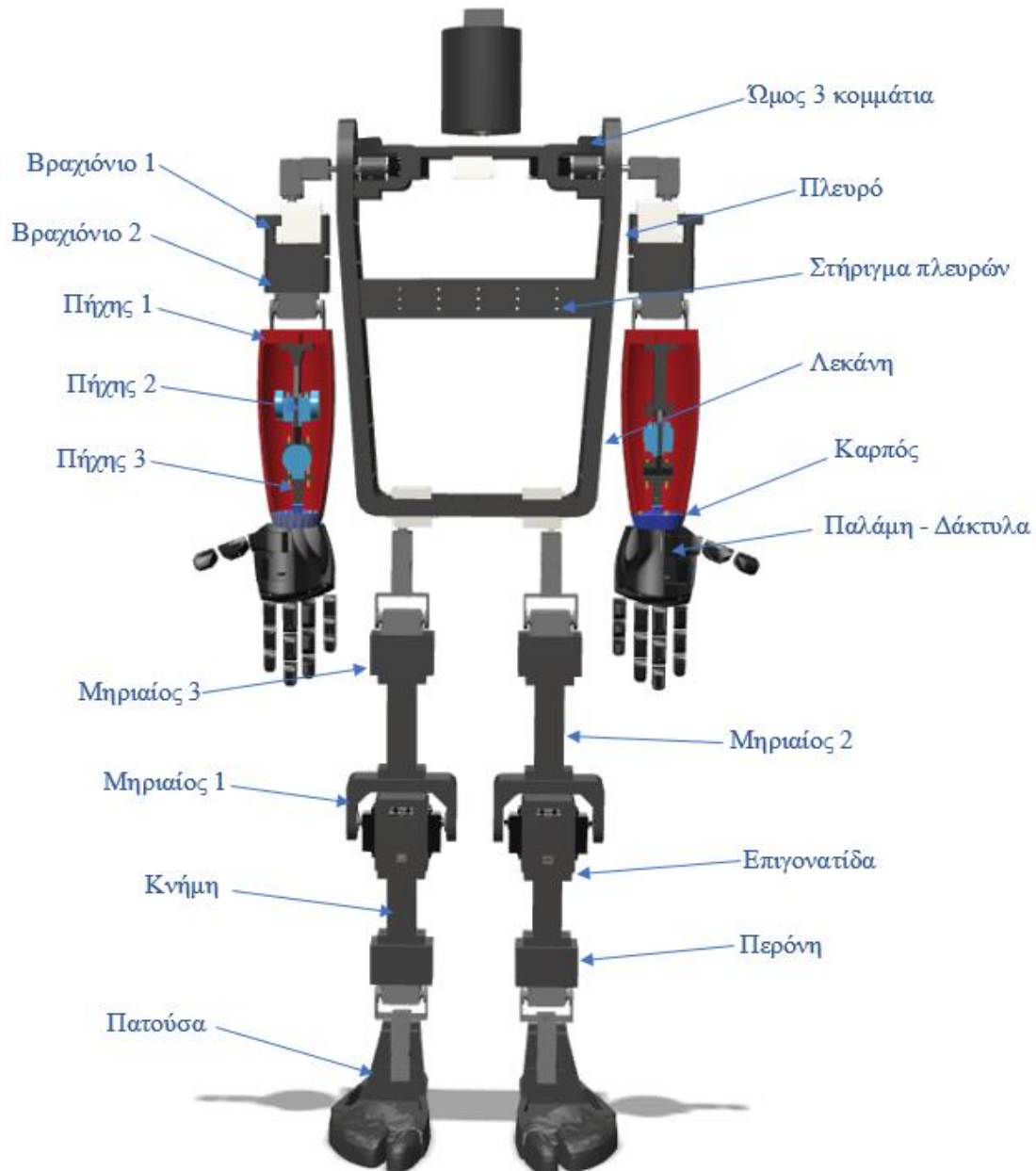
Το ανθρωποειδές ρομπότ έχει 31 βαθμούς ελευθερίας (DoF) και ακολουθεί τις αναλογίες του Βιτρούβιου. Το συνολικό ύψος του είναι περίπου 120 εκατοστά (cm) και ισοδυναμεί περίπου με δύο φορές το μήκος των ποδιών του ή τέσσερις φορές το μήκος αγκώνας-δάκτυλα ή 6 φορές το μήκος αγκώνας-ώμος.



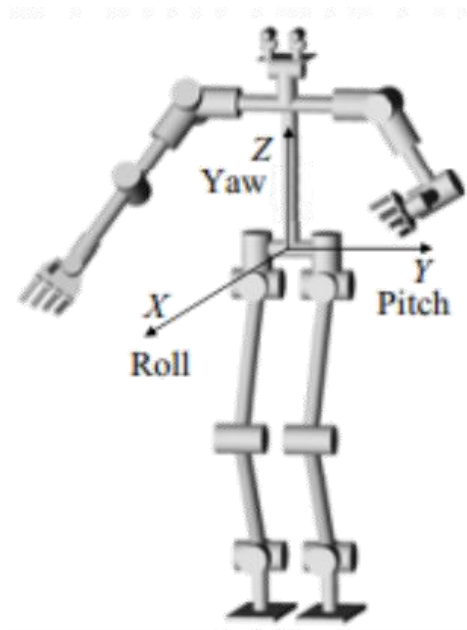
Εικόνα 35 Ανθρωποειδές ρομπότ



Είναι ένα 3D εκτυπωμένο ρομπότ που αποτελείται από 80 3D μοντέλα τα οποία συνδέονται με βίδες και παξιμάδια. Έχει 33 servo motors εκ των οποίων οι 14 έχουν 28 μεταλλικά στηρίγματα.



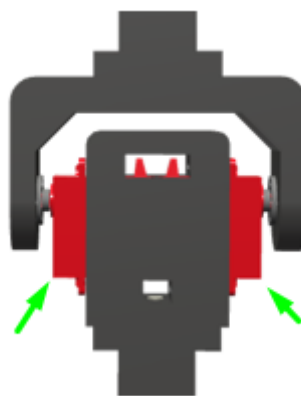
Εικόνα 36 Ανθρωποειδές ρομπότ με επεξηγήσεις



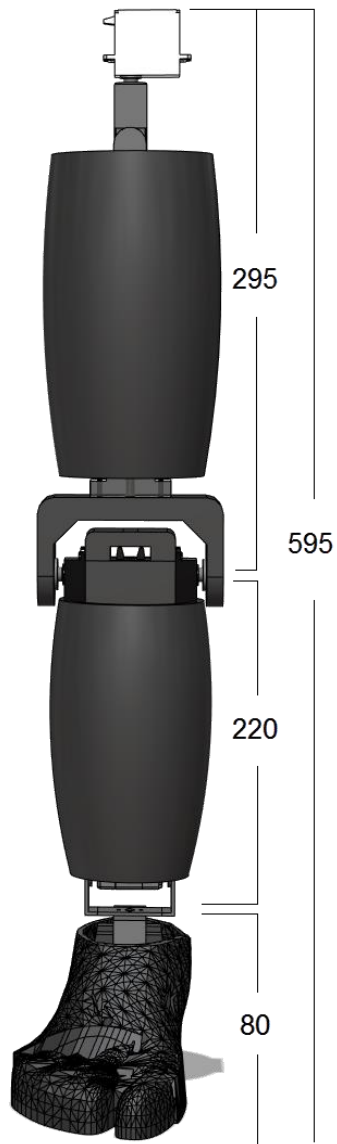
Σχήμα 13 Αρθρώσεις ρομπότ

### 1.4.3. Πόδια

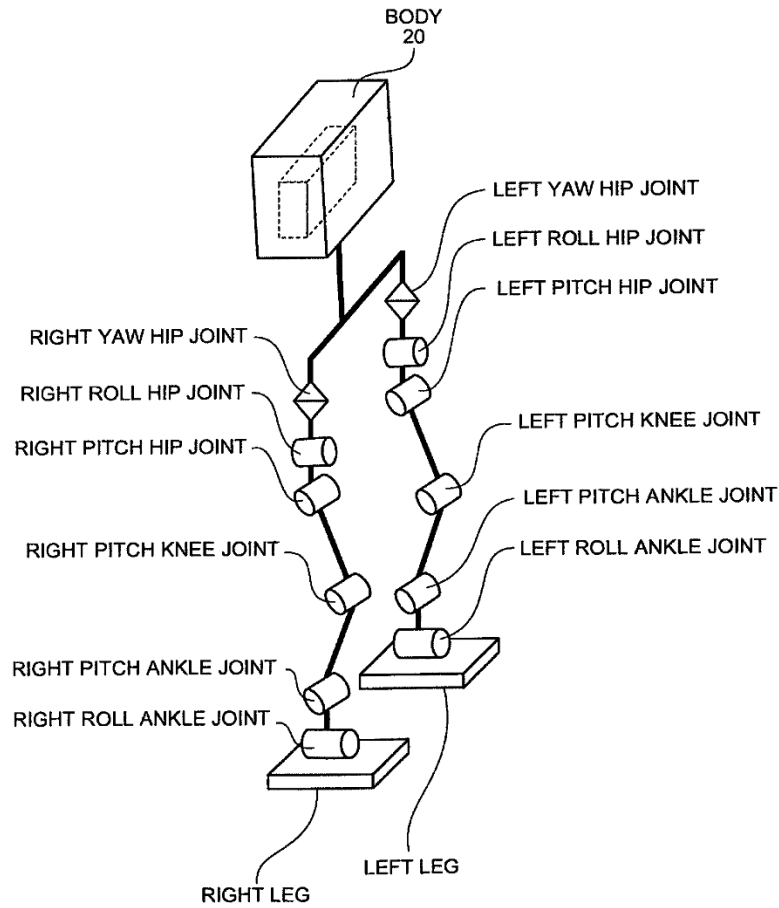
Τα πόδια έχουν ύψος σχεδόν 60 εκατοστά (cm) και για την κίνηση χρειάζονται 7 servo κινητήρες στο καθένα, 2 στον αστράγαλο, 2 στο γόνατο και 3 στο ισχίο. Ο αστράγαλος έχει 2 βαθμούς ελευθερίας, το ισχίο έχει 3 βαθμούς ελευθερίας ενώ το γόνατο έχει 1 βαθμό ελευθερίας επειδή οι servo κινητήρες είναι τοποθετημένοι έτσι ώστε το κάθε γόνατο να έχει αυξημένη ροπή (βλ. Εικόνα 37) .



Εικόνα 37 Γόνατο 2 κινητήρες

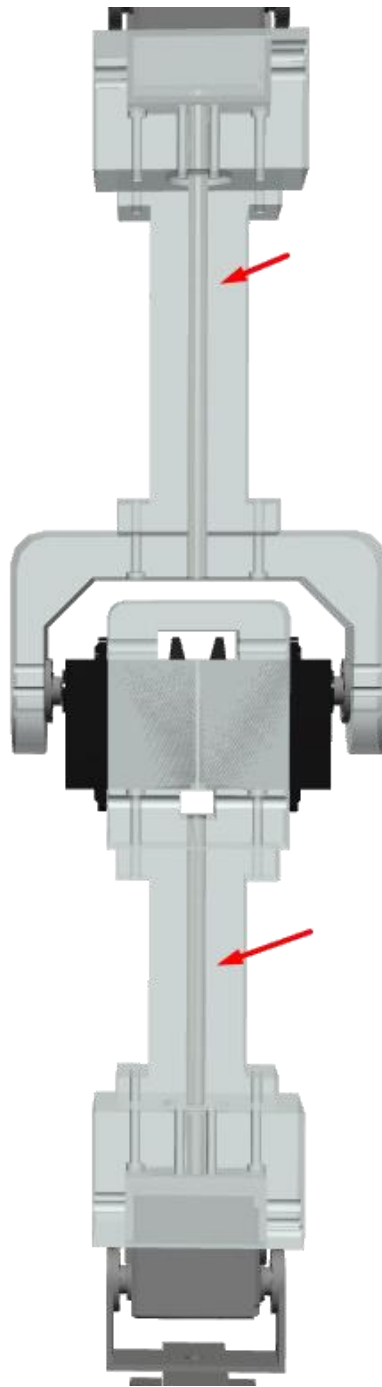


Εικόνα 38 Δεξί πόδι ρομπότ



Σχήμα 14 Αρθρώσεις ποδιών

Επιπλέον, για πρόσθετη υποστήριξη των ποδιών έχουν προστεθεί ντίζες ενισχύοντας τα 3D εκτυπωμένα κομμάτια (βλ. Εικόνα 39) .

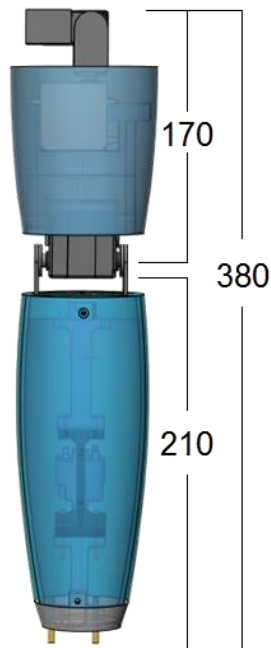


Εικόνα 39 Ενισχυμένα κομμάτια με ντίζες

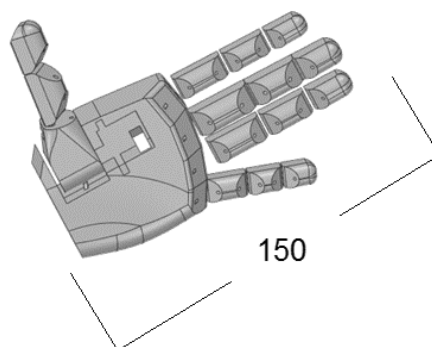


#### 1.4.4. Χέρια

Τα χέρια έχουν μήκος σχεδόν 55 εκατοστά (cm) και για την κίνηση χρειάζονται 8 servo κινητήρες στο καθένα, 3 στον ώμο, 1 στον αγκώνα και 4 στα δάκτυλα. Ο ώμος έχει 3 βαθμούς ελευθερίας, ο αγκώνας έχει 1 βαθμό ελευθερίας ενώ τα δάκτυλα έχουν 4 βαθμούς ελευθερίας.

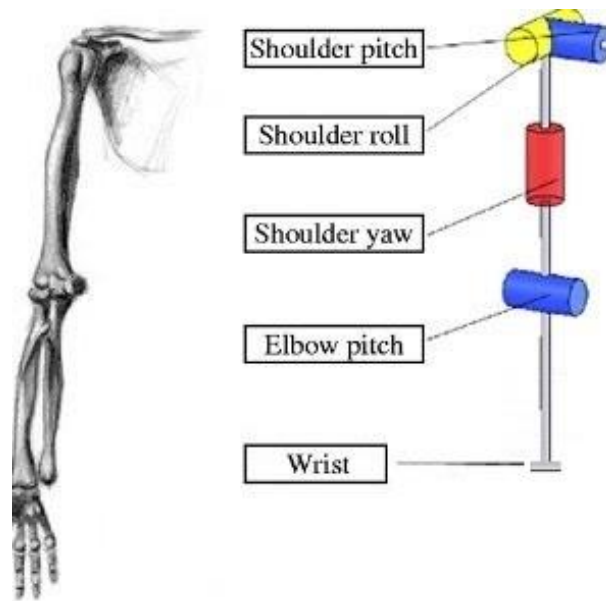


Εικόνα 40 Left arm



Εικόνα 41 Left hand

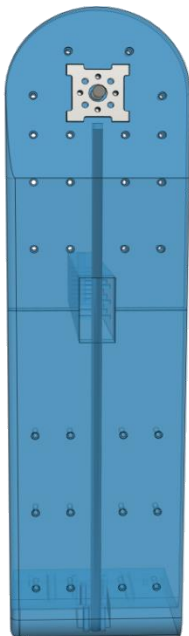




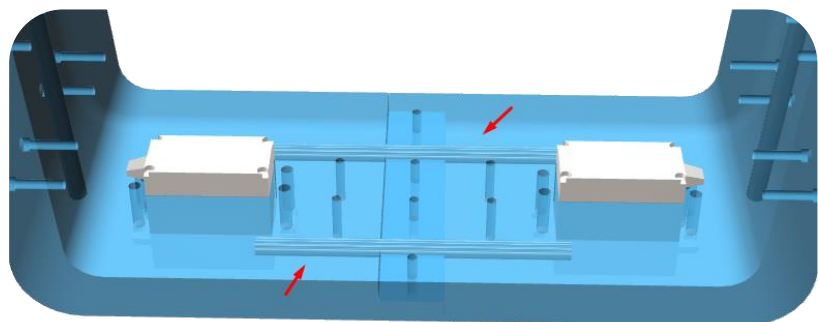
Σχήμα 15 Αρθρώσεις χεριού

#### 1.4.5. Κορμός (Σώμα)

Ο κορμός του ρομπότ έχει μήκος σχεδόν 40 εκατοστά (cm) και αποτελείται από πέντε βασικά κομμάτια τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με βίδες-παξιμάδια και ντίζες, οι οποίες προσφέρουν ενισχυμένη στήριξη. Οι ντίζες ενισχύουν τόσο τα πλευρά του ρομπότ (βλ. Εικόνα 42) όσο και το κάτω μέρος της λεκάνης (βλ. Εικόνα 43).



Εικόνα 42 Πλευρά ενισχυμένα με ντίζα



Εικόνα 43 Λεκάνη ενισχυμένη με ντίζες



*Εικόνα 44 Μήκος Κορμού*

## 1.5. Προγραμματισμός Χεριών

Ο προγραμματισμός των χεριών έγινε αποκλειστικά με python στο raspberry pi. Τον έλεγχο των χεριών αναλαμβάνει το Raspberry pi servo Hat το οποίο δέχεται εντολές μέσω του I2C bus.



Εικόνα 45 Raspberry pi 3

5.3V PWR	1		2	5V PWR
I2C1 SDA	3		4	5V PWR
I2C1 SCL	5		6	GND
GPIO 4	7		8	Reserved
GND	9		10	Reserved
SPI1 CS0	11		12	GPIO 18
GPIO 27	13		14	GND
GPIO 22	15		16	GPIO 23
5.3V PWR	17		18	GPIO 24
SPI0 MOSI	19		20	GND
SPI0 MISO	21		22	GPIO 25
SPI0 SCLK	23		24	SPI0 CS0
GND	25		26	SPI0 CS1
Reserved	27		28	Reserved
GPIO 5	29		30	GND
GPIO 6	31		32	GPIO 12
GPIO 13	33		34	GND
SPI1 MISO	35		36	GPIO 16
GPIO 26	37		38	SPI1 MOSI
GND	39		40	SPI1 SCLK



Εικόνα 46 Raspberry pi servo Hat

Η **κινηματική** είναι ένας κλάδος της κλασσικής μηχανικής που περιγράφει την κίνηση των σημείων, των σωμάτων (αντικειμένων) και των συστημάτων των σωμάτων (ομάδες αντικειμένων) χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η δύναμη που τους αναγκάζει να μετακινούνται<sup>[13]</sup> και χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

- Την **ευθεία** κινηματική ανάλυση η οποία βρίσκει τη θέση και τον προσανατολισμό του άκρου του ρομπότ δεδομένου των γωνιών των αρθρώσεων του.
- Την **αντίστροφη** κινηματική ανάλυση η οποία βρίσκει τις γωνίες των αρθρώσεων του ρομπότ δεδομένου της θέσης του άκρου του.

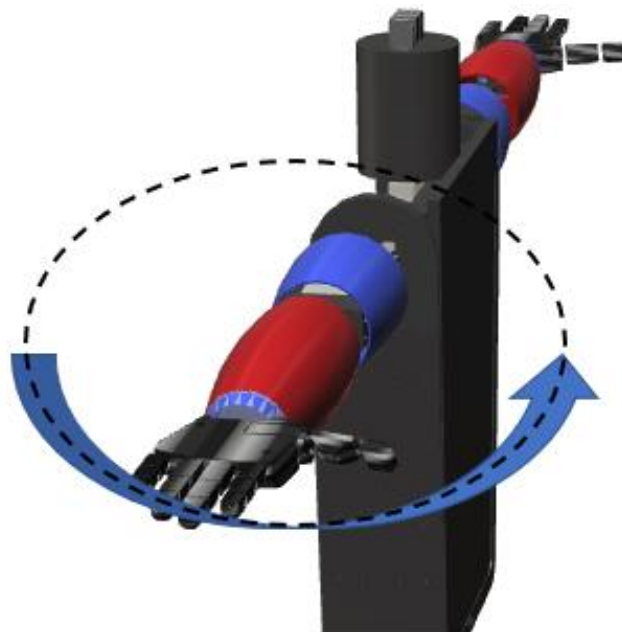
Τόσο η ευθεία (forward) όσο και η αντίστροφη (inverse) κινηματική ανάλυση (kinematic analysis) υλοποιήθηκαν με τις παραμέτρους Denavit – Hartenberg (DH parameters). Στη μηχανική, οι παράμετροι Denavit - Hartenberg είναι οι τέσσερις παράμετροι που σχετίζονται με μια συγκεκριμένη σύνδεση των πλαισίων αναφοράς στις συνδέσεις μιας χωρικής κινηματικής αλυσίδας ή ενός χειριστή ρομπότ.

### 1.5.1. Περιορισμοί (Constrains)

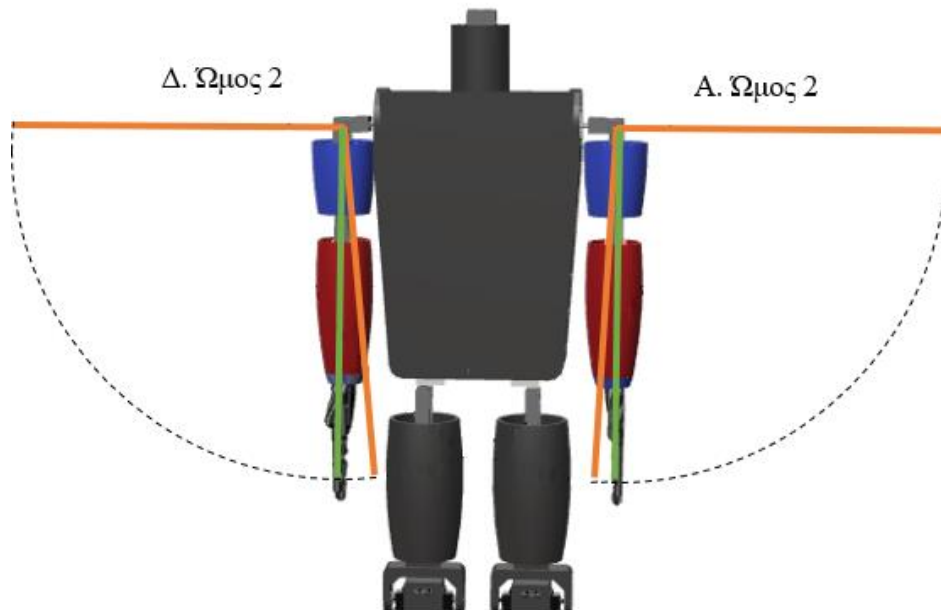
Για την σωστή λειτουργία των χεριών είναι επιτακτική ανάγκη ο ορισμός περιορισμών της κίνησης των servo κινητήρων. Με αυτό τον τρόπο οι κινητήρες δεν θα μπορούν να λάβουν εντολή για κίνηση εκτός των περιορισμών και αυτόματα θα κινούνται μέχρι το όριο. Συνεπώς, δεν θα υπάρχει κίνδυνος να χτυπήσουν τα χέρια το υπόλοιπο ρομπότ. Παρακάτω, βρίσκεται ο πίνακας με τους βασικούς περιορισμούς των αρθρώσεων.

Πίνακας 7 Πίνακας περιορισμών

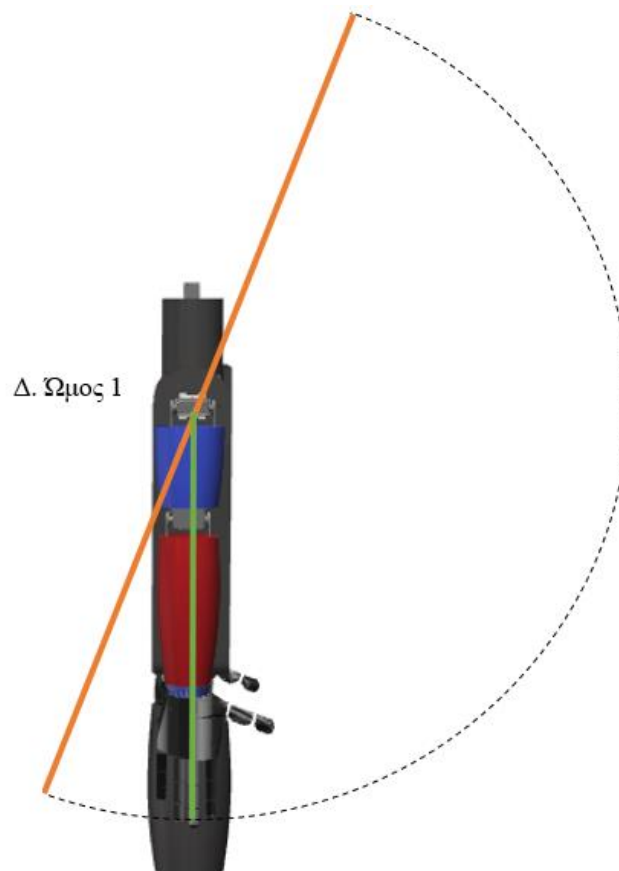
ΑΡΘΡΩΣΗ	ΚΙΝΗΣΗ ΜΟΙΡΕΣ	ΣΕ ΑΡΧΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΣΧΗΜΑ
ΔΕΞΙΟΣ ΑΓΚΩΝΑΣ	60° – 180°	60°	Σχήμα 19
ΔΕΞΙΟΣ ΩΜΟΣ 1	0° – 160°	30°	Σχήμα 18
ΔΕΞΙΟΣ ΩΜΟΣ 2	10° – 100°	10°	Σχήμα 17
ΔΕΞΙΟΣ ΩΜΟΣ 3	0° – 180°	0°	Σχήμα 16
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΑΓΚΩΝΑΣ	60° – 180°	60°	Σχήμα 19
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΩΜΟΣ 1	160° – 0°	150°	Σχήμα 18
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΩΜΟΣ 2	10° – 100°	10°	Σχήμα 17
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΩΜΟΣ 3	180° – 0°	180°	



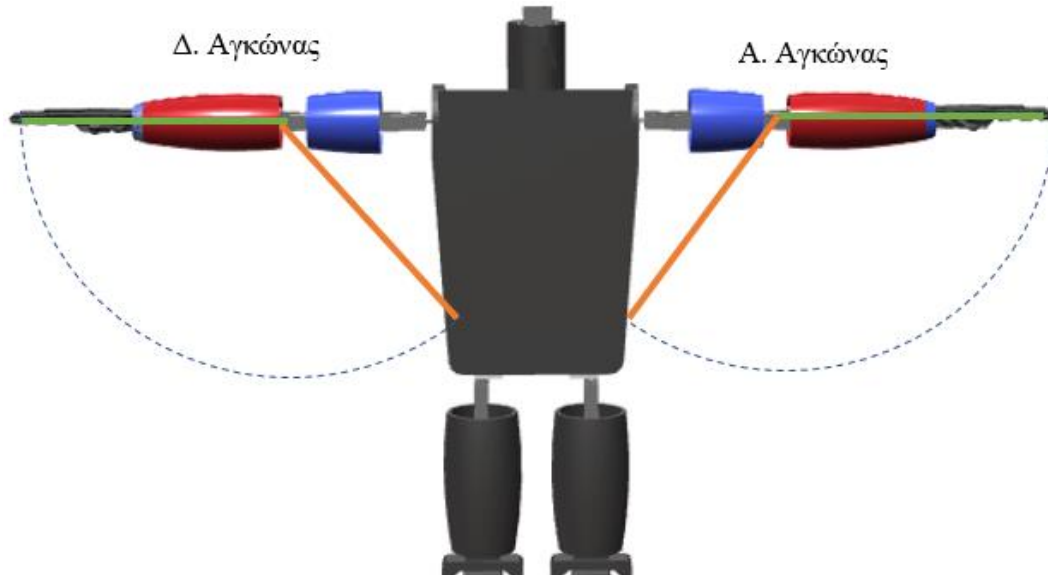
Σχήμα 16 Περιορισμοί ώμων 3



Σχήμα 17 Περιορισμοί ώμων 2



Σχήμα 18 Περιορισμοί Δεξιού ώμου 1



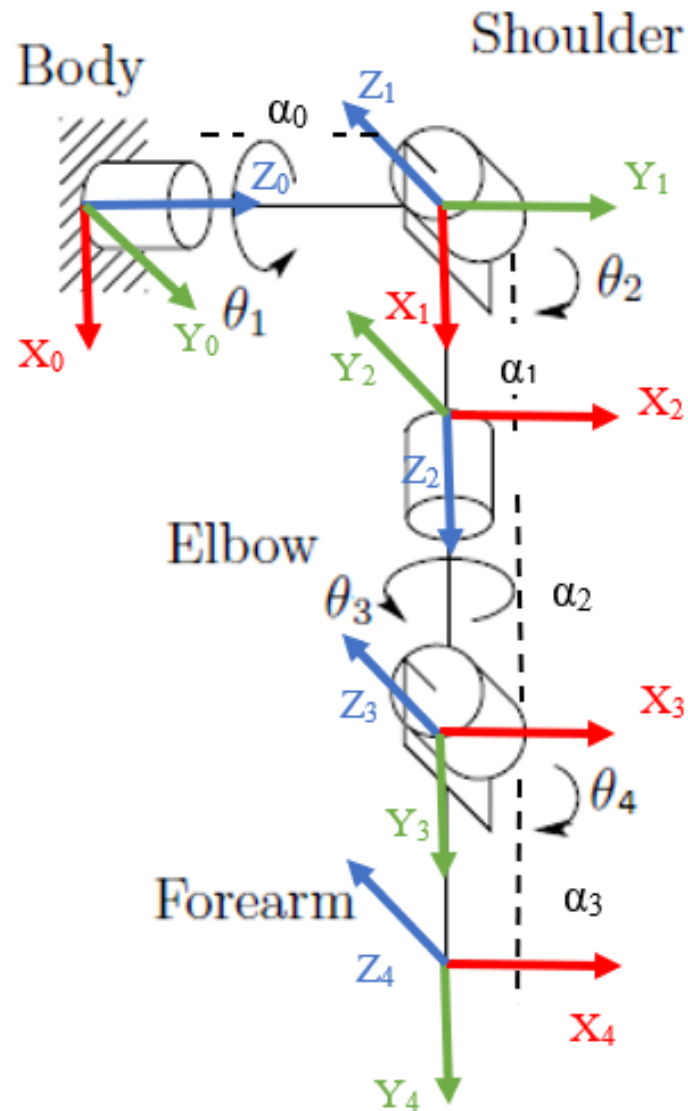
Σχήμα 19 Περιορισμοί Αγκώνων

### 1.5.2. DH πλαίσια συντεταγμένων

Αρχικά, για να υλοποιηθούν οι εξισώσεις της ευθείας και της αντίστροφης κινηματικής θα πρέπει να οριστούν τα πλαίσια συντεταγμένων με την μέθοδο Denavit – Hartenberg για όλες τις (περιστροφικές) αρθρώσεις. Για τον υπολογισμό των πλαισίων συντεταγμένων υπάρχουν 4 κανόνες οι οποίοι βοηθούν στον ορισμό τους:

- Ο άξονας  $Z$  να δείχνει πάντα προς την κατεύθυνση της άρθρωσης και κάθετα της φοράς της κατεύθυνσης.
- Ο άξονας  $X_n$  να είναι κάθετος των αξόνων  $Z_n$  και  $Z_{n-1}$ .
- Ο άξονας  $Y$  να ακολουθεί τον κανόνα του δεξιού χεριού.
- Ο άξονας  $X_n$  να τέμνει τον  $Z_{n-1}$  άξονα.

Παρακάτω βρίσκεται το χέρι του ρομπότ στο οποίο έχει υπολογιστεί η μετατόπιση των πλαισίων συντεταγμένων:



Σχήμα 20 Πλαίσια συντεταγμένων

Στη συνέχεια, αφού έχουν υπολογιστεί τα πλαίσια συντεταγμένων πρέπει να συμπληρωθεί ο πίνακας παραμέτρων Denavit – Hartenberg:

Πίνακας 8 Πίνακας παραμέτρων Denavit – Hartenberg

$i$	$\theta_i$	$\alpha_i$	$r_i$	$d_i$
1	$\theta_1$	$90^\circ$	0	$\alpha_0$
2	$\theta_2$	$90^\circ$	$\alpha_1$	0
3	$\theta_3$	$-90^\circ$	$\alpha_2$	0
4	$\theta_4$	$0^\circ$	$\alpha_3$	0



Όπου « $\theta_n$ » είναι το ποσό περιστροφής γύρω από τον άξονα  $Z_{n-1}$  μεταξύ των  $X_n$  και  $X_{n-1}$ .

Όπου « $\alpha_n$ » ορίζεται το ποσό περιστροφής μεταξύ του  $Z_n$  και του  $Z_{n-1}$  γύρω από τον άξονα  $X_n$ .

Όπου « $r_n$ » είναι η μετατόπιση των κέντρων των πλαισίων  $n$  και  $n-1$  στην  $X_{n-1}$  κατεύθυνση του πλαισίου.

Όπου « $d_n$ » είναι η μετατόπιση των κέντρων των πλαισίων  $n$  και  $n-1$  στην  $Z_{n-1}$  κατεύθυνση του πλαισίου.

### 1.5.3. Ευθεία & Αντίστροφη Κινηματική (Forward & Inverse Kinematics)

Η ευθεία κινηματική αναφέρεται στη χρήση των κινηματικών εξισώσεων ενός ρομπότ για τον υπολογισμό της θέσης του τελικού τελεστή από συγκεκριμένες τιμές για τις παραμέτρους αρμού.

Η αντίστροφη κινηματική αναφέρεται στη χρήση των κινηματικών εξισώσεων ενός ρομπότ για τον υπολογισμό των γωνιών των αρθρώσεων δεδομένου της θέσης του τελικού τελεστή.

Αφού υπολογιστεί ο Πίνακας παραμέτρων Denavit – Hartenberg θα πρέπει να υπολογιστεί ο ομοιογενής πίνακας (Homogeneous Matrix) για κάθε γραμμή του πίνακα παραμέτρων. Για το παραπάνω παράδειγμα θα δημιουργηθούν τέσσερις πίνακες όπου το γινόμενο τους  $H^0_4$  θα δίνει τις συντεταγμένες που ψάχνουμε δεδομένου των γωνιών.

$$H_n^{n-1} = \begin{bmatrix} C(\theta_n) & -S(\theta_n)C(\alpha_n) & S(\theta_n)S(\alpha_n) & r_n C(\theta_n) \\ S(\theta_n) & C(\theta_n)C(\alpha_n) & -C(\theta_n)S(\alpha_n) & r_n S(\theta_n) \\ 0 & S(\alpha_n) & C(\alpha_n) & d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Εικόνα 47 Homogeneous Matrix

Γίνεται αντικατάσταση των τιμών του DH πίνακα παραμέτρων στον DH ομοιογενή πίνακα:





$$H_1^0 = \begin{bmatrix} C(\theta_1) & 0 & S(\theta_1) & 0 \\ S(\theta_1) & 0 & -C(\theta_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \alpha_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Εικόνα 48 Homogeneous Matrix 0-1

$$H_2^1 = \begin{bmatrix} C(\theta_2) & 0 & S(\theta_2) & \alpha_1 C(\theta_2) \\ S(\theta_2) & 0 & -C(\theta_2) & \alpha_1 S(\theta_2) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Εικόνα 49 Homogeneous Matrix 1-2

$$H_3^2 = \begin{bmatrix} C(\theta_3) & 0 & S(\theta_3) & \alpha_2 C(\theta_3) \\ S(\theta_3) & 0 & -C(\theta_3) & \alpha_2 S(\theta_3) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Εικόνα 50 Homogeneous Matrix 2-3

$$H_4^3 = \begin{bmatrix} C(\theta_4) & -S(\theta_4) & 0 & \alpha_3 C(\theta_4) \\ S(\theta_4) & C(\theta_4) & 0 & \alpha_3 S(\theta_4) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Εικόνα 51 Homogeneous Matrix 3-4



Υλοποίηση υπολογισμών στο πρόγραμμα *Maple*:

$$H0\_1 := \langle (\cos(\theta_1), \sin(\theta_1), 0, 0) \mid \langle 0, 0, 1, 0 \rangle \mid \langle \sin(\theta_1), -\cos(\theta_1), 0, 0 \rangle \mid \langle 0, 0, a0, 1 \rangle \rangle;$$

$$H0\_1 := \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & \sin(\theta_1) & 0 \\ \sin(\theta_1) & 0 & -\cos(\theta_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & a0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H1\_2 := \langle (\cos(\theta_2), \sin(\theta_2), 0, 0) \mid \langle 0, 0, 1, 0 \rangle \mid \langle \sin(\theta_2), -\cos(\theta_2), 0, 0 \rangle \mid \langle a1 \cdot \cos(\theta_2), a1 \cdot \sin(\theta_2), 0, 1 \rangle \rangle;$$

$$H1\_2 := \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & 0 & \sin(\theta_2) & a1 \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & 0 & -\cos(\theta_2) & a1 \sin(\theta_2) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H2\_3 := \langle (\cos(\theta_3), \sin(\theta_3), 0, 0) \mid \langle 0, 0, 1, 0 \rangle \mid \langle \sin(\theta_3), -\cos(\theta_3), 0, 0 \rangle \mid \langle a2 \cdot \cos(\theta_3), a2 \cdot \sin(\theta_3), 0, 1 \rangle \rangle;$$

$$H2\_3 := \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & 0 & \sin(\theta_3) & a2 \cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & 0 & -\cos(\theta_3) & a2 \sin(\theta_3) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H3\_4 := \langle (\cos(\theta_4), \sin(\theta_4), 0, 0) \mid \langle -\sin(\theta_4), \cos(\theta_4), 0, 0 \rangle \mid \langle 0, 0, 1, 0 \rangle \mid \langle a3 \cdot \cos(\theta_4), a3 \cdot \sin(\theta_4), 0, 1 \rangle \rangle;$$

$$H3\_4 := \begin{bmatrix} \cos(\theta_4) & -\sin(\theta_4) & 0 & a3 \cos(\theta_4) \\ \sin(\theta_4) & \cos(\theta_4) & 0 & a3 \sin(\theta_4) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Εικόνα 52 Maple Homogeneous Matrices calculations

$$H0\_4 := [[ (\cos(\theta_1) \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) + \sin(\theta_1) \sin(\theta_3)) \cos(\theta_4) + \cos(\theta_1) \sin(\theta_2) \sin(\theta_4), -(\cos(\theta_1) \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) + \sin(\theta_1) \sin(\theta_3)) \sin(\theta_4) + \cos(\theta_1) \sin(\theta_2) \cos(\theta_4), \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) \sin(\theta_3) - \sin(\theta_1) \cos(\theta_3), (\cos(\theta_1) \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) + \sin(\theta_1) \sin(\theta_3)) a3 \cos(\theta_4) + \cos(\theta_1) \sin(\theta_2) a3 \sin(\theta_4) + \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) a2 \cos(\theta_3) + \sin(\theta_1) a2 \sin(\theta_3) + \cos(\theta_1) a1 \cos(\theta_2)], [ (\sin(\theta_1) \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) - \cos(\theta_1) \sin(\theta_3)) \cos(\theta_4) + \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) \sin(\theta_4), -(\sin(\theta_1) \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) - \cos(\theta_1) \sin(\theta_3)) \sin(\theta_4) + \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) \cos(\theta_4), \sin(\theta_1) \cos(\theta_2) \sin(\theta_3) + \cos(\theta_1) \cos(\theta_3), (\sin(\theta_1) \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) - \cos(\theta_1) \sin(\theta_3)) a3 \cos(\theta_4) + \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) a3 \sin(\theta_4) + \sin(\theta_1) \cos(\theta_2) a2 \cos(\theta_3) - \cos(\theta_1) a2 \sin(\theta_3) + \sin(\theta_1) a1 \cos(\theta_2)], [ \sin(\theta_2) \cos(\theta_3) \cos(\theta_4) - \cos(\theta_2) \sin(\theta_4), -\sin(\theta_2) \cos(\theta_3) \sin(\theta_4) - \cos(\theta_2) \cos(\theta_4), \sin(\theta_2) \sin(\theta_3), \sin(\theta_2) \cos(\theta_3) a3 \cos(\theta_4) - \cos(\theta_2) a3 \sin(\theta_4) + \sin(\theta_2) a2 \cos(\theta_3) + a1 \sin(\theta_2) + a0], [ 0, 0, 0, 1]]$$

Εικόνα 53 Maple final Homogeneous Matrix



Υλοποίηση υπολογισμών σε python:

```
1 import numpy as np
2 from numpy import *
3
4 a0 = 8 # length of link a0 in cm
5 a1 = 2.4 # length of link a1 in cm
6 a2 = 11.5 # length of link a2 in cm
7 a3 = 38 # length of link a3 in cm
8
9 theta_1 = 00 # theta 1 angle in degrees
10 theta_2 = 00 # theta 2 angle in degrees
11 theta_3 = 00 # theta 3 angle in degrees
12 theta_4 = 00 # theta 4 angle in degrees
13
14 theta_1 = (theta_1/180)*pi # theta 1 in radians
15 theta_2 = (theta_2/180)*pi # theta 2 in radians
16 theta_3 = (theta_3/180)*pi # theta 1 in radians
17 theta_4 = (theta_4/180)*pi # theta 1 in radians
18
19 H0_1 = [[cos(theta_1), 0, sin(theta_1), 0],
20         [sin(theta_1), 0, -cos(theta_1), 0],
21         [0, 1, 0, a0],
22         [0, 0, 0, 1]]
23
24 H1_2 = [[cos(theta_2), 0, sin(theta_2), a1*cos(theta_2)],
25         [sin(theta_2), 0, -cos(theta_2), a1*sin(theta_2)],
26         [0, 1, 0, 0],
27         [0, 0, 0, 1]]
28
29 H2_3 = [[cos(theta_3), 0, sin(theta_3), a2*cos(theta_3)],
30         [sin(theta_3), 0, -cos(theta_3), a2*sin(theta_3)],
31         [0, 1, 0, 0],
32         [0, 0, 0, 1]]
33
34 H3_4 = [[cos(theta_4), -sin(theta_4), 0, a3*cos(theta_4)],
35         [sin(theta_4), cos(theta_4), 0, a3*sin(theta_4)],
36         [0, 0, 1, 0],
37         [0, 0, 0, 1]]
38
39
40 # Homogeneous transformation matrix
41 # product of H0_1, H1_2, H2_3, H3_4
42 H0_4 = np.multiply(np.multiply(np.multiply(H0_1, H1_2), H2_3), H3_4)
43
44 print(matrix(H0_4))
```

Εικόνα 54 Forward & Inverse Kinematics in Python



## 1.6. Κόστος

Πίνακας 9 Κοστολόγιο ρομπότ

<i>Είδος</i>	<i>Ποσότητα</i>	<i>Εκτιμώμενο κόστος</i>
Motors	33	600€
Υλικό εκτύπωσης	4kg	80€
Μικροελεγκτές	5	120€
Αισθητήρες	15	95€
Οθόνη/Ηχεία	2	60€
Καλώδια και σύνδεση	-	10€
Λοιπά έξοδα	-	20€
<b>Σύνολο (προσεγγιστικά)</b>		<b>985€</b>





## Μέρος 2<sup>ο</sup>

### 2.1. Εισαγωγή στην Κίνηση

Για την έρευνα , έπρεπε να μελετηθούν τα διάφορα είδη ρομπότ και ανθρωποειδή που έχουν κατασκευαστεί. Καθώς επίσης και τα βασικά χαρακτηριστικά τους και τον τρόπο κίνησης τους.

Αναλήθηκαν πολλά διαφορετικά ρομπότ από κάθε κατηγορία και μελετήθηκαν. Τα σημαντικά από αυτά που πρέπει να αναφερθούν είναι τα πιο γνωστά κιόλας όπως ο Asimo , Atlas και ο COMAN. Ο λόγος που δώθηκε περισσότερο σημασία σε αυτά είναι επειδή το Ρομπότ που κατασκευάσαμε αντιστοιχεί περισσότερο με τα παραπάνω ανθρωποειδή.

Ο Asimo έχει :

ύψος : 120 εκ

πάχος : 44 εκ

πλάτος : 45 εκ

βάρος : 43 kg

ο Atlas έχει :

Ύψος : 150 εκ.

πάχος : 56 εκ

πλάτος : 76 εκ

βάρος : 75 kg

ο COMAN έχει :

Ύψος : 95 εκ.

Πάχος : 20,5 εκ.



Πλάτος : 41 εκ.

Βάρος : 33 κιλά

Παρατηρείτε ότι υπάρχουν ομοιότητες στα χαρακτηριστικά εις ότι αφορά το μέγεθος μεταξύ τους τα ρομπότ καθώς επίσης τα συγκεκριμένα μεγέθη ταιριάζουν και με το ανθρωποειδή που κατασκευάσαμε. Για αυτό το λόγο θεωρήθηκε καλό ο βηματισμός του ρομπότ να γίνει αντίστοιχα με το βηματισμό των παραπάνω.

Ο βηματισμός αυτών των ρομπότ γίνεται με τον ίδιο τρόπο, διαφέρει οπτικά από κατασκευή σε κατασκευή χωρίς όμως βέβαια αλγοριθμικά να έχουν μεγάλες διαφορές.

Τα παραπάνω διαθέτουν όλα ένα συγκεκριμένο τρόπο βηματισμού και τον συνδυάζουν με αποτροπή πτώσης σε κάθε άξονα η οποία γίνεται δυναμικά. Σε ένα παραπάνω επίπεδο υπάρχει και αναγνώριση μελλοντικής θέσης από τα παραπάνω συστήματα ώστε να μπορούν έγκαιρα να διορθώσουν την θέση τους η να καταλάβουν ότι δεν μπορούν με κάποιο τρόπο να σταθούν και έτσι να ετοιμαστούν για πτώση.

Στην παρούσα εργασία έχει ολοκληρωθεί η ισορροπία στον έναν άξονα, έχουν βρεθεί οι θέσεις ισορροπίας που μας είναι απαραίτητες αλλά δεν έχει ολοκληρωθεί ο βηματισμός και η ισορροπία στον δεύτερο άξονα.



## 2.2. Το πληροφοριακό σύστημα του Ρομπότ

Το πληροφοριακό σύστημα σε ένα Ρομπότ είναι απαραίτητο για την λειτουργία του καθώς επίσης και για την υπόστασή του.

Αναφέρονται οι υπολογιστικές συσκευές που παρέχει το ρομπότ ως πληροφοριακό σύστημα γιατί υπάρχουν τα εξής χαρακτηριστικά που περιγράφουν ένα τέτοιο σύστημα. Δηλαδή έχει :

- Υλικό
- Λογισμικό
- Μεθόδους και διαδικασίες ανθρώπινου δυναμικού

Το υπολογιστικό υλικό το οποίο περιλαμβάνει το ρομπότ είναι :

- Ένα Raspberry pi
- Arduino uno

### 2.2.1. Raspberry pi 3 model B+

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα έχουμε πολλά διαφορετικά είδη Raspberry pi. Για την εργασία επιλέχθηκε το Raspberry pi 3 model B+ για τους λόγους που θα αναλυθούν παρακάτω.

Family	Model	Form Factor	Ethernet	Wireless	GPIO	Released	Discontinued
Raspberry Pi 1	B	Standard (85.60 × 56.5 mm)	Yes	No	26-pin	2012	Yes
	A		No			2013	Yes
	B+		Yes		2014		
	A+	Compact (65 × 56.5 mm)	No		2014		
Raspberry Pi 2	B	Standard	Yes	No		2015	
Raspberry Pi Zero	Zero	Zero (65 × 30 mm)	No	No	40-pin	2015	
	W/WH		Yes	2017			
Raspberry Pi 3	B	Standard	Yes	Yes		2016	
	A+	Compact	No		2018		
	B+	Standard	Yes		2018		

Πίνακας 10 [https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)





## Τι είναι το Raspberry pi

Το Raspberry pi model B+ όπως και η υπόλοιπη σειρά, είναι ουσιαστικά ένας ολόκληρος υπολογιστής σε πολύ μικρό μέγεθος. Δηλαδή είναι ένας υπολογιστή μικρού μεγέθους που κατασκευάστηκε για την εκπαίδευση μαθητών σε όλες τις βαθμίδες αλλά και για την ανάπτυξη πολύπλοκων συστημάτων αυτοματισμού ακόμα και Ρομπότ.



Εικόνα 55 <https://uk.pi-supply.com/products/raspberry-pi-3-model-b>

Η πρώτη γενιά ξεκίνησε να πωλείται στην αγορά τον Φεβρουάριο του 2012. Τον Μάρτιο του 2018 οι πωλήσεις έφτασαν επίσημα τα 19 εκατομμύρια κομμάτια.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής που επιλέχθηκε έχουν ως εξής :

- Quad Core 1.4GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
- 1GB RAM
- BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board
- 100 Base Ethernet
- 40-pin extended GPIO
- 4 USB 2 ports
- 4 Pole stereo output and composite video port
- Full size HDMI
- CSI camera port for connecting a Raspberry Pi camera



- DSI display port for connecting a Raspberry Pi touchscreen display
- Micro SD port for loading your operating system and storing data
- Upgraded switched Micro USB power source up to 2.5A

Σημαντικά αποτελούν τα περισσότερα από τα παραπάνω χαρακτηριστικά αλλά κυρίως ο επεξεργαστής, η Ram, τα 100 Base Ethernet, τα 4 USB 2 ports.

Η συσκευή «τρέχει» το επίσημα υποστηριζόμενο λειτουργικό σύστημα Rasbian το οποίο εγκαθιστάτε μέσω οποιουδήποτε υπολογιστή σε μια κάρτα μνήμης microSD και έπειτα τοποθετείται στην αντίστοιχη θέση.

Ο προγραμματισμός στην συσκευή μπορεί να γίνει σε οποιαδήποτε γλώσσα. Όμως το λειτουργικό σύστημα έχει προ εγκατεστημένη την γλώσσα προγραμματισμού python και οι περισσότερες εφαρμογές έχουν υλοποιηθεί σε αυτήν. Επίσης υπάρχουν προ εγκατεστημένες πολλές εφαρμογές για προγραμματιστές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα project.

### Γιατί επιλέχθηκε Raspberry pi

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να οριστεί και να εξηγηθούν οι λόγους για τους οποίους επιλέχθηκε η συγκεκριμένη συσκευή

Ένας από τους βασικούς λόγους που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη συσκευή είναι η επεξεργαστική του ικανότητα να εκτελεί παράλληλα αρκετές διεργασίες. Στο ρομπότ που αναπτύχθηκε, ήταν απαραίτητο να τρέχουμε πολλές διεργασίες παράλληλα όπως για παράδειγμα την εκτέλεση κάποιου mp3 αρχείου για την ομιλία και την κίνηση των servo motors για το περπάτημα. Έτσι ο τετραπύρηνος επεξεργαστής που μας προσφέρει το Raspberry pi model B μας ήταν ικανοποιητικός.

Ομοίως ήταν πολύ σημαντικό για να έχουμε εκτός από πολypύρηνη επεξεργασία και μια σχετικά καλή ταχύτητα στον επεξεργαστή μας, όπου τα 1,2 ghz είναι καλά για τις διαδικασίες που θα εκτελούνται. Βέβαια πρέπει να σημειωθεί πως τα τεχνικά χαρακτηριστικά που δίνονται στους επεξεργαστές δεν είναι αρκετά για την κατανόηση της αποδοτικότητας του επεξεργαστή. Γιατί υπάρχουν και άλλοι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση όπως τα υλικά κατασκευής και η αρχιτεκτονική. Ο τρόπος για να κατανοηθεί την αποδοτικότητα του επεξεργαστή είναι να δεις αναλυτικά τεστ που κάνουν σε αυτούς.

Από τα πιο σημαντικά προβλήματα που υπήρχαν στο Ρομπότ το οποίο κατασκευάστηκε ήταν το μέγεθος και το βάρος του. Μια μεγάλη υπολογιστική μηχανή επάνω στο Ρομπότ θα αύξανε το βάρος της καθώς επίσης και το μέγεθος και έτσι ήταν πολύ πιθανό να επηρεάσει αρνητικά την λειτουργικότητα του Ρομπότ. Το



Raspberry pi model B έχει μικρό μέγεθος και βάρος με διαστάσεις 85\*56 χιλιοστά και βάρος 70 γραμμάρια.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα που μας παρέχει αυτή η συσκευή είναι η ευκολία στον προγραμματισμό της, αφού παρέχονται εγκατεστημένες εφαρμογές και γλώσσες προγραμματισμού για την αξιοποίηση της. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι η συγκεκριμένη συσκευή έχει πολύ καλή υποστήριξη λογισμικού από τους προγραμματιστές της κοινότητας αλλά και της εταιρίας. Έτσι είναι πολύ πιο εύκολο να αποφευχθούν βασικά προβλήματα που θα υπήρχαν με άλλες πλακέτες αλλά και να αντιμετωπιστούν δύσκολα προβλήματα.

### 2.2.2. Arduino uno

Το Arduino uno είναι ένα προϊόν από μια μεγάλη σειρά μικροελεγκτών. Ξεκίνησε το 2005 με σκοπό να φτιαχτεί ένα κύκλωμα μικρό σε μέγεθος, το οποίο θα βοηθούσε στην εκπαίδευση μαθητών. Οι ιδρυτές Massimo Banzi και David Cueartielles ονόμασαν την κατασκευή του Αρντουίνο της Ιβρέας και ξεκίνησαν την παραγωγή. Μέχρι το 2014 υπήρχαν 9 διαφορετικές εκδόσεις Arduino με διαφορές στην κατασκευή, το μέγεθος, την επεκτασιμότητα και τις επιδόσεις μερικές από τις πιο διαδεδομένες εκδόσεις είναι Arduino mini, Arduino Mega, Arduino Micro και Arduino uno.

Ο προγραμματισμός σε Arduino είναι πολύ διαδεδομένος στον κόσμο της πληροφορικής σήμερα αλλά και όχι μόνο. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα αποτελεί πολύ σημαντικό σημείο έρευνας για το πως γίνεται η εισαγωγή των παιδιών στον χώρο της πληροφορικής και των αυτοματισμών. Έτσι καταλήγουμε να έχουμε παιδιά να ασχολούνται με τον προγραμματισμό σε arduino εκτός από νέους και πληροφορικούς.



Εικόνα 56 Arduino Uno



## Τι είναι το Arduino

Το Arduino είναι ένας μικροελεγκτής. Δηλαδή είναι μια πλακέτα με εισόδους και εξόδους η οποία μπορεί να προγραμματιστεί από τον χρήστη για την ανάπτυξη κάποιου αυτοματισμού. Η διαφορά με το Raspberry pi είναι ότι έχει μικροεπεξεργαστή και όχι επεξεργαστή. Και κατά συνέπεια δεν υφίσταται ένα πλήρες υπολογιστικό σύστημα σαν αυτό του Raspberry pi.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της πλακέτας έχουν ως εξής:

Πίνακας 11 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Microcontroller	<a href="#">ATmega328P</a>
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

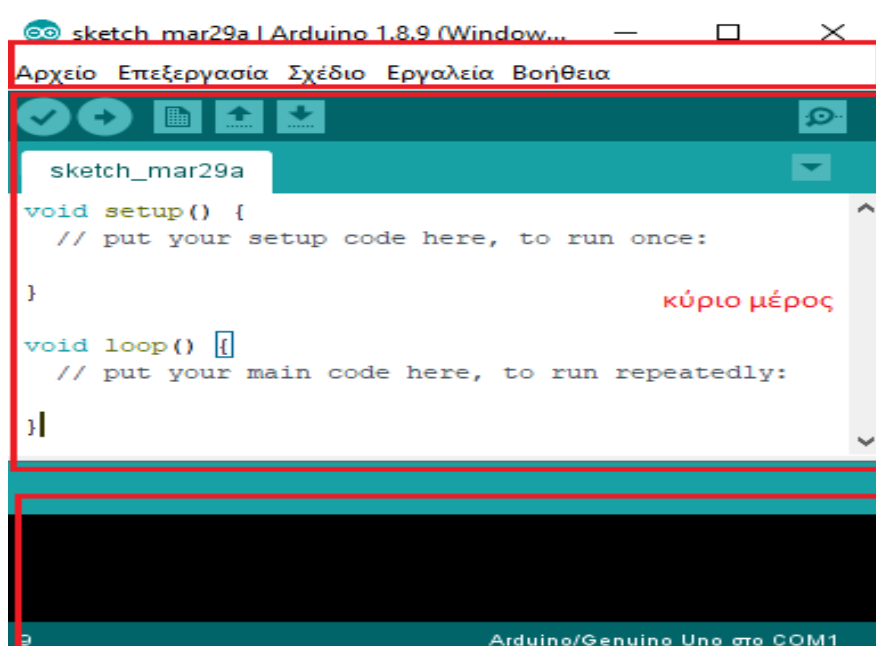
Αυτά που πρέπει να δωθούν σημασία για την κατασκευή του Ρομπότ μας είναι τα operating Voltage , input Voltage, Digital I/O Pins , PWM Digital I/O Pins, Analog Input Pins , το Clock speed το οποίο μας δίνει την συχνότητα επεξεργασίας και φυσικά οι διαστάσεις.

Η γλώσσα προγραμματισμού του μικροελεγκτή είναι η Wiring, ουσιαστικά αναφέρεται για την γλώσσα προγραμματισμού c++ στην οποία έχουν φτιαχτεί ένα σύνολο από βιβλιοθήκες για τον προγραμματισμό του. Με αυτή την γλώσσα προγραμματισμού είναι δυνατό να δημιουργηθεί λογισμικό για τον έλεγχο των



συσκευών και των περαιτέρω εξαρτημάτων του εκάστοτε συστήματος. Το περιβάλλον του Arduino μπορεί να επεκταθεί μέσω της χρήσης βιβλιοθηκών, όπως και οι περισσότερες πλατφόρμες προγραμματισμού. Οι βιβλιοθήκες παρέχουν επιπλέον λειτουργικότητα για τον χρήστη όπως για παράδειγμα η εργασία με υλικό ή χειρισμό δεδομένων. Ένας αριθμός βιβλιοθηκών εγκαθίσταται με το IDE, αλλά επιτρέπεται επίσης η λήψη ή να δημιουργήσεις τις δικές σου βιβλιοθήκες.

Το περιβάλλον προγραμματισμού Arduino είναι ένα περιβάλλον πολύ φιλικό προς τον χρήστη και ταυτόχρονο πολύ εύχρηστο. Είναι χωρισμένο σε τρία βασικά μέρη. Το κύριο μέρος είναι αυτό που μπορεί ο χρήστης να γράψει τον κώδικα, όπου οι βασικές μέθοδοι της δομής του κώδικα είναι γραμμένες με το που ανοίγει το εργαλείο. Το κάτω μέρος είναι αυτό στο οποίο μας εμφανίζονται τα αντίστοιχα μηνύματα σχετικά με την κατάσταση του κώδικα που γράφουμε. Και το πάνω μέρος είναι για την διαχείριση του IDE και των προγραμμάτων που γράφουμε.



## Γιατί επιλέχθηκε Arduino uno

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να οριστούν και να εξηγηθούν οι λόγους για τους οποίους επιλέχθηκε η συγκεκριμένη συσκευή

Για την κατασκευή του Ρομπότ η χρήση μόνο του Raspberry pi δεν ήταν αρκετή. Ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα στην χρήση μόνο μιας πλακέτας είναι η έλλειψη από Pins για την επικοινωνία με τις εξωτερικές συσκευές. Έτσι δημιουργείτε η ανάγκη να προστεθεί στο σύστημα μας άλλη μια υπολογιστική συσκευή.



Δεν θέλαμε να ακολουθηθεί το παράδειγμα του El Greco II το οποίο είχε 2 υπολογιστές ένα Raspberry pi 3 και ένα Banana Pi γιατί παρατηρήθηκε ότι είναι πιο σύνθετη η σωστή επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και χρειάζεται η ανάπτυξη δικτύου μεταξύ των υπολογιστών. Έτσι έγινε η επιλογή του Arduino όπου δεν χρειάζεται να αναπτυχθεί δίκτυο για την σύνδεση του με τον υπολογιστή του Ρομπότ.

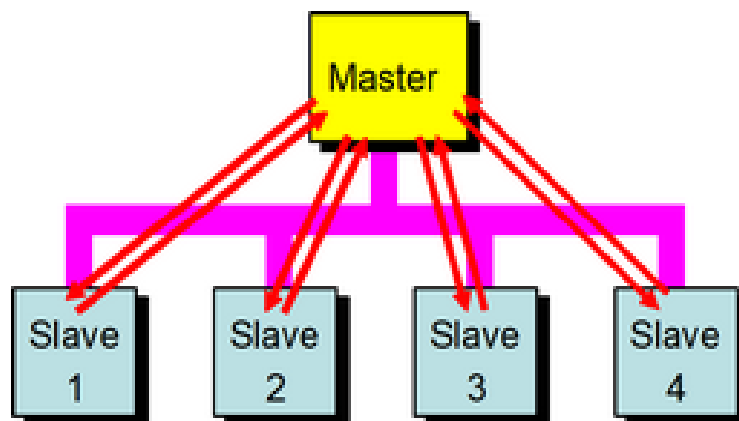
Επίσης το μέγεθος και το βάρος του Arduino uno είναι αρκετά μικρό με διαστάσεις 68\*53 χιλιοστά και βάρος 25 γραμμάρια είναι σαφώς καλύτερο από την επιλογή δεύτερης υπολογιστικής μηχανής όπως το Banana Pi η το Raspberry Pi.

Ένας ακόμα λόγος που βόλευε να προσθεθεί Arduino είναι για τον διαχωρισμό μεταξύ των πιο στατικών διαδικασιών και των πιο δυναμικών. Δηλαδή η συλλογή των δεδομένων από το περιβάλλον είναι κάτι στατικό και το Arduino είναι πιο καλά κατασκευασμένο για αυτές τις διαδικασίες. Σε αντίθεση το Raspberry Pi είναι καλύτερο για δυναμικές διαδικασίες και παράλληλες επεξεργασίες.

Καταλήξαμε λοιπόν , ότι πρέπει να έχουμε ένα σύστημα όπου το Arduino θα συλλέγει δεδομένα από το περιβάλλον και το Raspberry Pi θα λαμβάνει και θα τα επεξεργάζεται όπως πρέπει.

### 2.2.3. Master-Slave model

Στην επικοινωνία μεταξύ του Raspberry Pi και του Arduino uno, το Raspberry ορίζεται ως Master και το Arduino ως Slave. Αυτή η επιλογή έγινε γιατί η πρώτη συσκευή είναι πολύ πιο δυνατή σε υπολογιστική ισχύ και είναι αυτή που μπορεί να υποστηρίξει πιο σύνθετες ,πιο δυναμικές διαδικασίες αλλά και παράλληλη επεξεργασία.



Εικόνα 57 [https://www.felser.ch/profibus-manual/prinzip\\_des\\_master-slave.html](https://www.felser.ch/profibus-manual/prinzip_des_master-slave.html)



## Τι είναι το Master-Slave model

Master – Slave model είναι ένα μοντέλο επικοινωνίας μεταξύ συσκευών όπου η μια συσκευή έχει μονόδρομο έλεγχο στις άλλες συσκευές. Έτσι υπάρχει ένας βασικός υπολογιστής που ελέγχει όλες τις άλλες συσκευές σαν «αρχηγός».

### Γιατί επιλέχθηκε

Είναι σημαντικό να αναφερθούν οι λόγοι που επιλέχθηκε αυτή η υλοποίηση μεταξύ των συσκευών.

- Αρχικά είναι ένα μοντέλο που χρησιμοποιείτε με επιτυχία σε πολλά συστήματα και Ρομπότ στις μέρες μας.
- Υπάρχει ευκολία στην σύνδεση μεταξύ των πλακετών
- Υπάρχει διάκριση στους ρόλους
- Μπορούν να προσθεθούν και άλλες συσκευές με μεγαλύτερη ευκολία
- Όπως είναι το υπάρχον σύστημα που επιλέχθηκε, η τροφοδοσία των slaves (Slave) γίνεται χωρίς την χρήση κάποιας εξωτερικής πηγής αλλά από τον Master
- Γίνεται πιο εύκολα ο καταμερισμός του υπολογιστικού φόρτου όπου είναι και ο βασικός σκοπός αυτού του μοντέλου.

### Δίκτυο του Ρομπότ και Παραμετροποιήσεις που γίνανε

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναλυθεί τεχνικά το δίκτυο του ρομπότ, δηλαδή την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών αλλά και το πως έγινε.

Αρχικά θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν χρειάζεται κάποια σύνδεση στο διαδίκτυο για την επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστών έτσι το Ρομπότ είναι ανεξάρτητο από το διαδίκτυο και πολύ πιο γρήγορο στην επικοινωνία.

Για να γίνει επιτυχώς η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών πρέπει να ακολουθήσουμε τα εξής βήματα

1. Εγκατάσταση τις βιβλιοθήκης pyhton serial με την εντολή

```
sudo apt-get install python-serial
```

2. Στο Raspberry pi φτιάχνουμε αρχείο για την επικοινωνία των συσκευών και το προγραμματίζουμε αντίστοιχα. Το όνομα του αρχείου αναφέρετε στο κεφάλαιο 4



3. Για την ανάγνωση των δεδομένων από το usb στο raspberry pi χρησιμοποιούμε την βιβλιοθήκη serial και γράφουμε τα εξής :

```
import serial

import re

#ορίζουμε από που θα πάρουμε τα δεδομένα
ser = serial.Serial(port="/dev/ttyACM0", baudrate=9600, bytesize=serial.EIGHTBITS)

try:

#ελέγχουμε εάν είναι ανοιχτή η πόρτα δηλαδή εάν παρέχονται δεδομένα
    ser.isOpen()

    print("Serial port is open")

except:

    print("error")

    exit()

#εάν είναι ανοιχτή η σύνδεση παίρνουμε τα δεδομένα
if(ser.isOpen()):

    try:
...

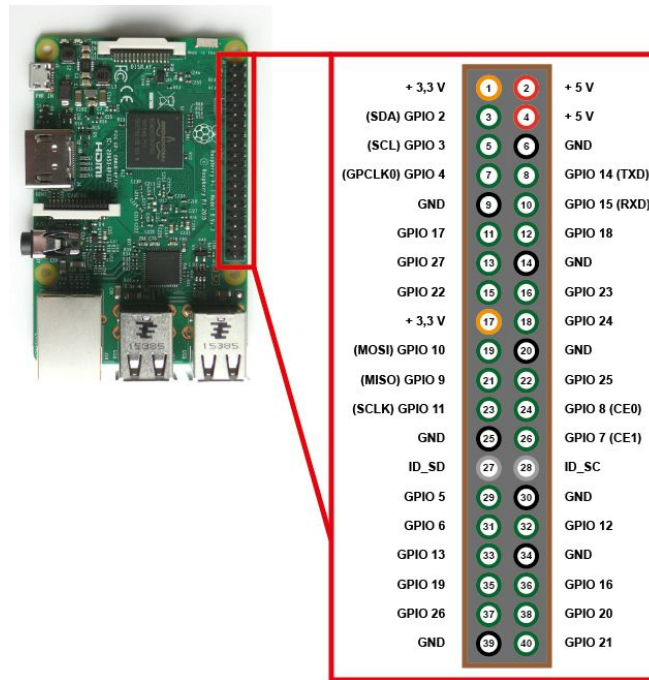
```

4. Μπορούμε πλέον με το Arduino να πάρουμε δεδομένα για να τα εκτυπώσουμε στο baudrate 9600 και αυτά να εκτυπωθούν τρέχοντας το πρόγραμμα που μόλις παραμετροποιήσαμε.

#### 2.2.4. Raspberry pi Hat τι είναι και γιατί το θέλουμε

Ένας από τους κύριους λόγους που είναι πολύ χρήσιμο το Raspberry pi 3 model b+ είναι τα 40 GPIO που διαθέτει.

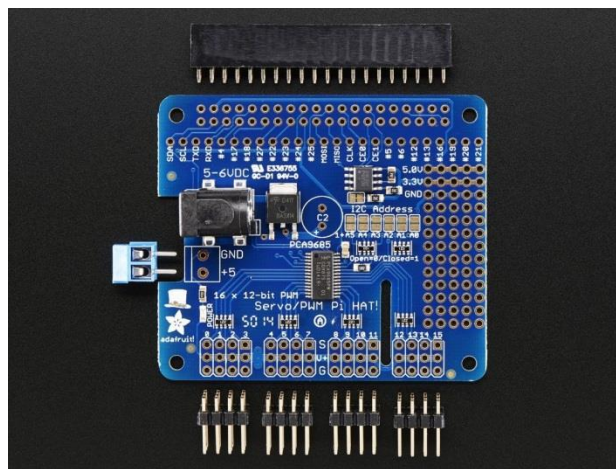




Εικόνα 58 <https://www.elektronik-kompodium.de/sites/raspberry-pi/1907101.htm>

Αυτά τα pins είναι πολύ χρήσιμα για την επέκταση της λειτουργίας του συστήματος με διάφορες τεχνολογίες όπως leds, lcd panel, adc , dac , κουμπια , αισθητήρες. Παρατηρείτε πως όσες περισσότερες συσκευές προσθεθούν τόσο οι ελεύθερες θέσεις στα GPIO θα μειώνονται.

Έτσι δημιουργείτε η ανάγκη να επεκταθούν αυτές οι θέσεις για την καλύτερη εξυπηρέτηση των αναγκών μας . Για αυτό το σκοπό υπάρχει μια πλακέτα που λέγεται PWM servo Hat



Εικόνα 59 <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview>



Όπως είναι κατανοητό και από το σχήμα, η συσκευή αυτή συνδέεται με το Raspberry pi με τα GPIO και μας δίνει 16\*3 νέες θέσεις για τους servo motors χωρίς να δεσμεύει όμως τις θέσεις για την I/O. Ουσιαστικά η συσκευή αυτή είναι για την σύνδεση των servo motors με το σύστημα χωρίς να περιορίζουμε τις θέσεις που έχει για άλλες συσκευές. Παρατηρείτε ότι μας δίνει 16 pins για Gnd , 16 pins για V+ (δηλαδή 5-6 volt ανάλογα με το τι θα δοθεί από εμάς για τροφοδοσία ) και 16 S pins για το σήμα που πρέπει να σταλθεί στους μότερες. Κάτι ακόμα σημαντικό που πρέπει να σημειωθεί είναι το i2c Address πάνω σε αυτά τα αγωγή ελάσματα τοποθετείτε Kalay για να οριστεί ο κωδικός τις πλακέτας και να είναι γνωστό όταν δημιουργείτε ο κώδικας. Δηλαδή ο προγραμματιστής να ξέρει με ποια πλακέτα πρέπει να επικοινωνήσει κάθε φορά οι συναρτήσεις που θα ορίσει.

Σε αυτό το σημείο είναι ανάγκη να αναφερθούν επιγραμματικά οι λόγοι που επιλέχθηκαν αυτές οι συσκευές.

- Υπάρχει ευκολία στην σύνδεση πολλών μοτόρων επειδή τα pins είναι καλά οργανωμένα
- Δεν χρησιμοποιούνται παραπάνω pins που μπορεί να είναι πολύ χρήσιμα
- Δίνεται ξεχωριστή τροφοδοσία στα Hats και έτσι υφίσταται ένα πιο ασφαλές σύστημα
- Προγραμματιστικά είναι καλύτερα οργανωμένοι οι μότερες



## 2.3. Βασικός προγραμματισμός Πλακετών

Ο βασικός προγραμματισμός των πλακετών είναι σε δυο κατηγορίες.

Η πρώτη είναι ο προγραμματισμός του Raspberry Pi 3 και έχει να κάνει με την εγκατάσταση των απαραίτητων βιβλιοθηκών, καθώς επίσης και με την βασικές παραμετροποιήσεις που έγιναν.

Η δεύτερη κατηγορία έχει να κάνει με τον προγραμματισμό του Arduino υπο, στην οποία εξηγήθηκε πως έγινε ο προγραμματισμός του μικροεπεξεργαστή, ο οποίος περιλαμβάνει τους αισθητήρες του συστήματος.

### 2.3.1. Βασικός προγραμματισμός στο Raspberry pi

Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να δειχθεί τι παραμετροποιήσεις έγιναν στην πλακέτα.

Μια βασική αλλαγή που έγινε στον βασικό υπολογιστή είναι ότι έπρεπε να συνδέεται σε κάποια συγκεκριμένα δίκτυα ώστε να μην καταναλώνονται πόροι για την συνεχή αναζήτηση νέου δικτύου. Καθώς επίσης είναι σημαντικό στην περίπτωση που βρεθεί σε χώρο με ανοιχτό WIFI να μην συνδεθεί σε αυτό, αλλά να συνδεθεί στο δίκτυο που του έχει οριστεί από την αρχή, ώστε για να μην χαθεί ο έλεγχος του συστήματος έστω και για μικρό χρονικό διάστημα

Έπρεπε λοιπόν να γίνει η παρακάτω παραμετροποίηση στο Raspberry pi 3

1. Βήμα 1 : Αναβάθμιση του λειτουργικού του Raspberry pi 3. Πάντα πρέπει να κάνουμε πρώτα τα update σου συστήματος. Αυτό έγινε με την εντολή.

```
sudo apt-get update
```

2. Βήμα 2 : Ρυθμίζουμε την συσκευή να συνδέεται στο δίκτυο WIFI με το που ανοίγει ανοίγοντας το αρχείο interfaces με την εντολή

```
sudo nano /etc/network/interfaces
```

και γράφοντας μέσα

```
auto wlan0
```



```
iface wlan0 inet dhcp
```

```
wpa-conf /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf
```

3. Βήμα 3 : Ορίζουμε το δίκτυο που το μηχάνημα θα συνδέεται μέσα από το αρχείο `wpa_supplicant.conf` γράφοντας την εντολή `sudo nano /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf`

και μέσα στο αρχείο γράψαμε το δίκτυο που θέλουμε να συνδέεται

```
ctrl_interface=DIR=/var/run/wpa_supplicant GROUP=netdev
```

```
update_config=1
```

```
country=GR
```

```
network={
```

```
ssid="Το όνομα του δικτύου"
```

```
psk="Κωδικός δικτύου"
```

```
key_mgmt=WPA-PSK
```

```
}
```

### Εγκατάσταση βιβλιοθηκών για τον έλεγχο των servo motors

Για τον έλεγχο των servo motors είναι απαραίτητο να γίνει εγκατάσταση κάποιων βιβλιοθηκών. Χρησιμοποιήθηκαν Hats επομένως είναι ανάγκη να αναλυθεί η αντίστοιχη διαδικασία.

1. Αρχικά πρέπει να εγκαταστήσουμε το Configuring I2C αυτό είναι ένα πρότυπο ώστε να επικοινωνεί το raspberry pi με το hat.

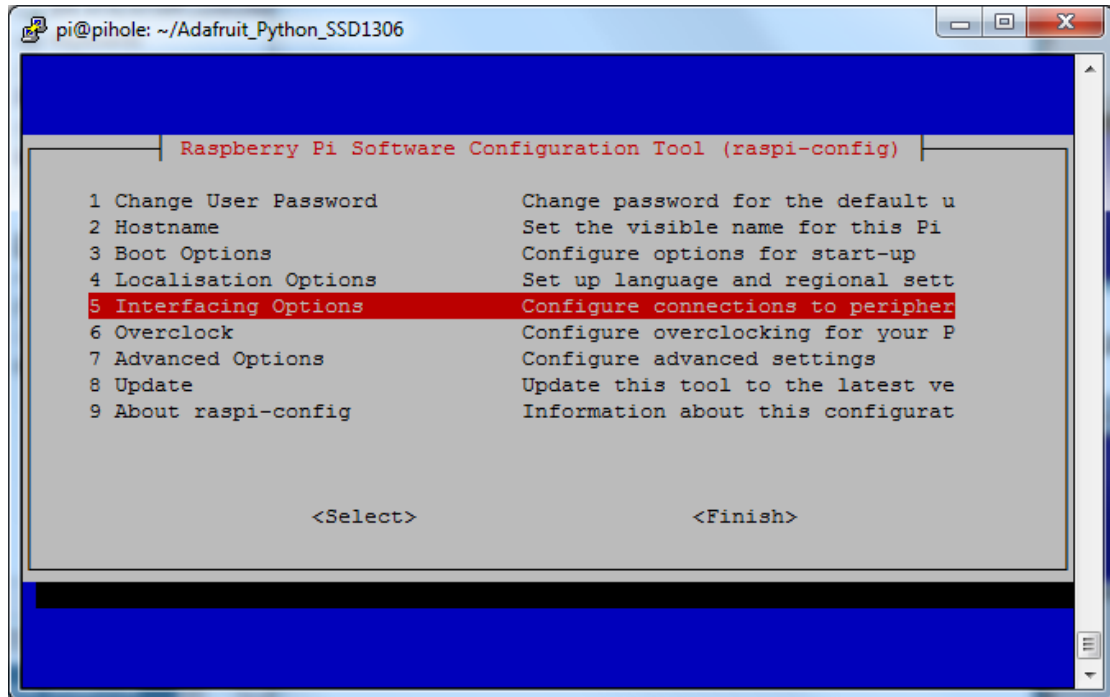
Για την εγκατάσταση του πρέπει να τρέξουν οι παρακάτω εντολές

```
sudo apt-get install -y python-smbus
```

```
sudo apt-get install -y i2c-tools
```

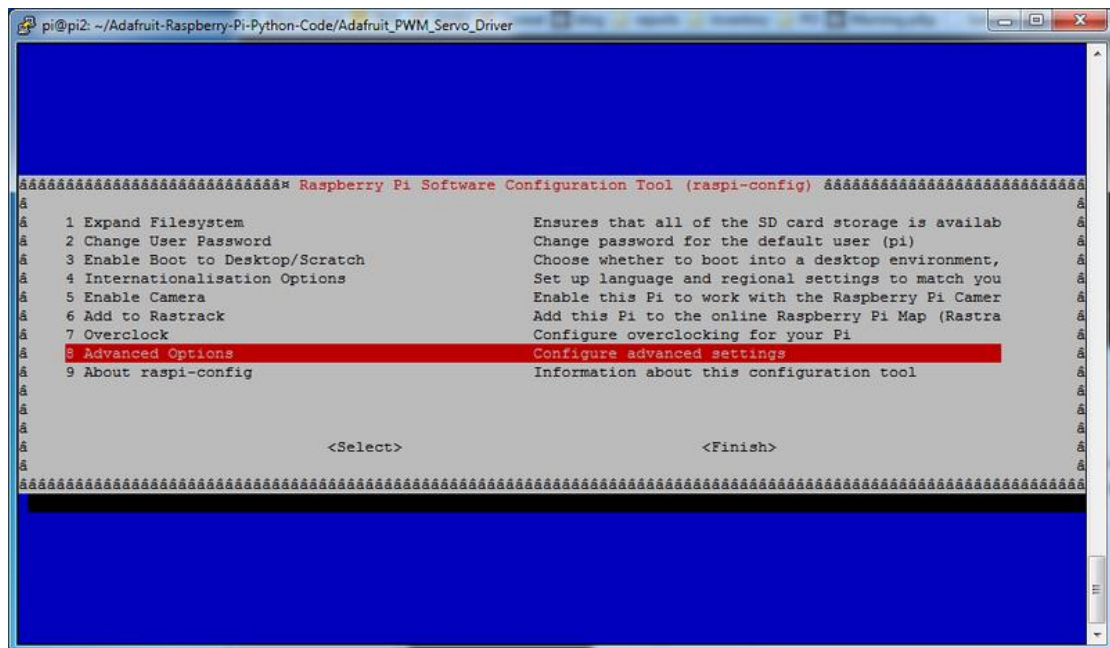


έπειτα ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα όπως βλέπουμε στις εικόνες :



Εικόνα 60 <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview>

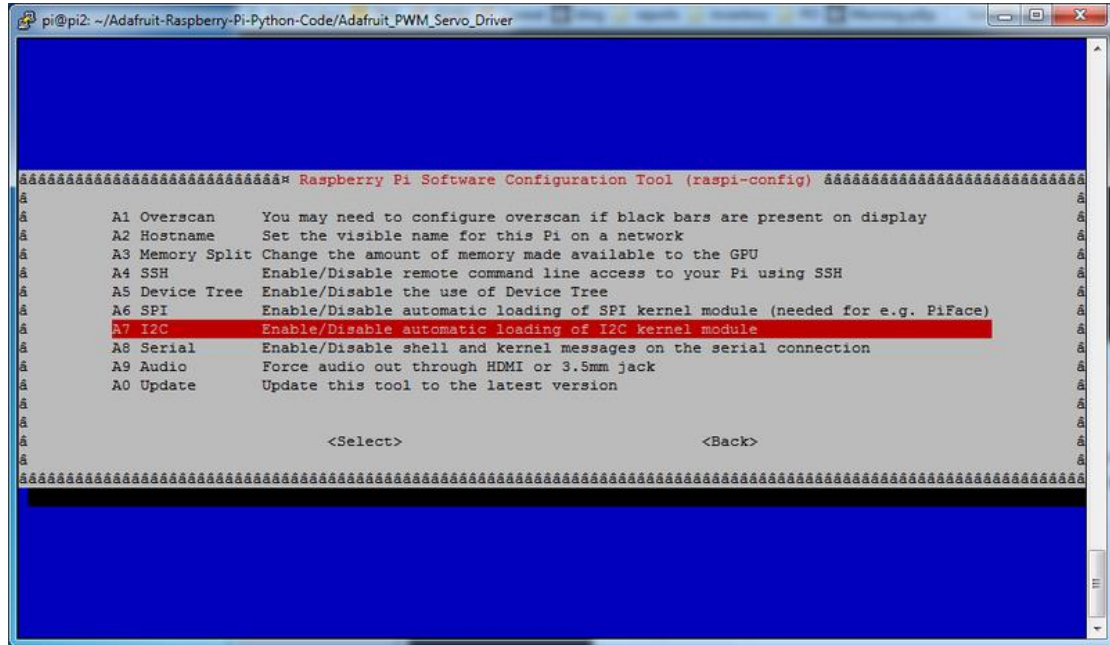
2.



Εικόνα 61 <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview>

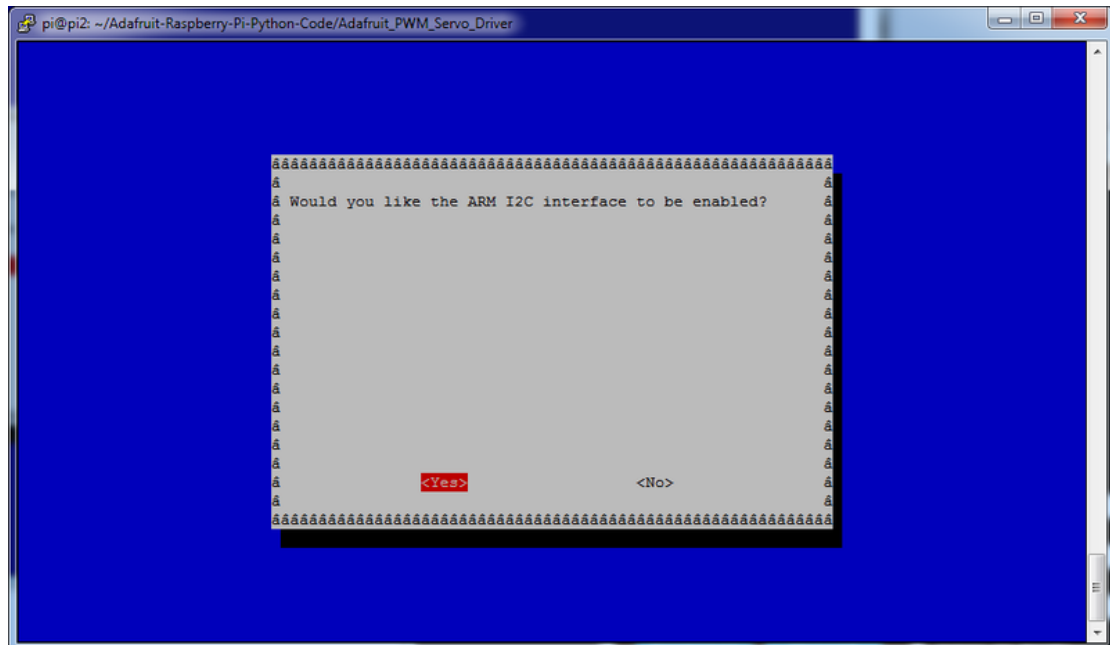


3.



Εικόνα 62 <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview>

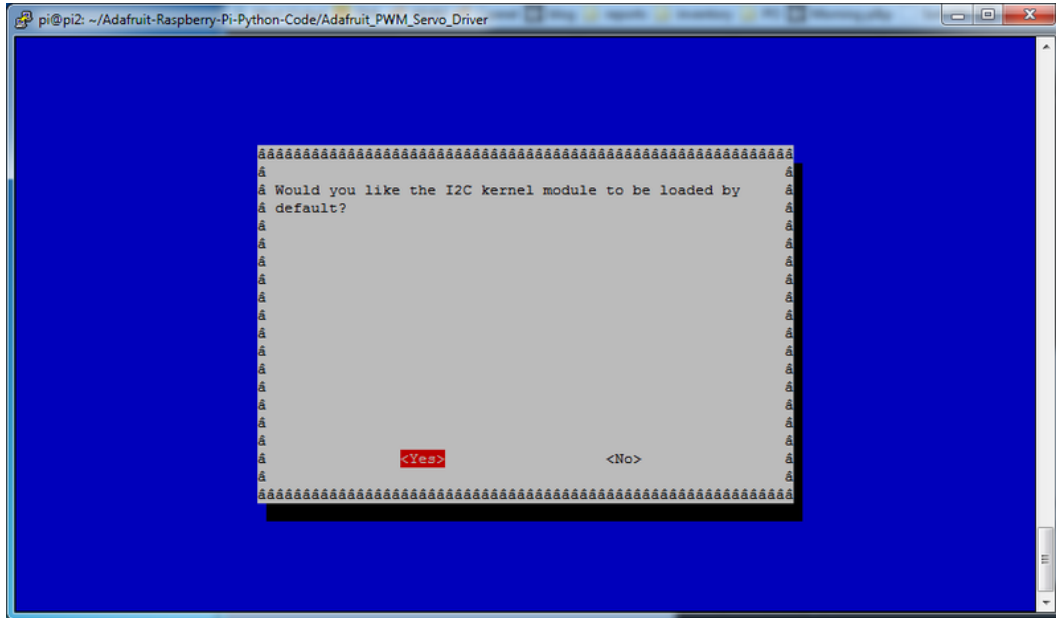
4.



Εικόνα 63 <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview>



5.



Εικόνα 64 <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview>

6.

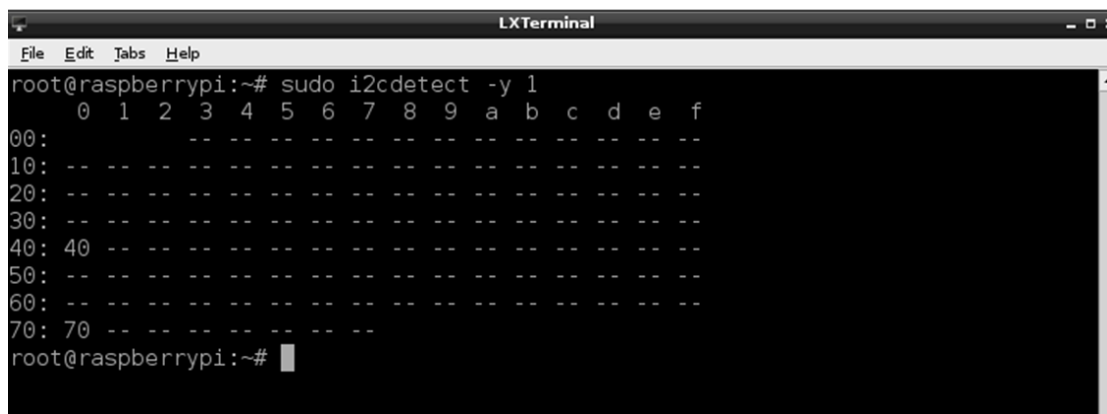
και κάνουμε reboot την συσκευή γράφοντας

```
sudo reboot
```

Για να δούμε αν λειτουργεί η εφαρμογή και αναγνωρίζει την πλακέτα μας τρέχουμε το εξής στο raspberry pi

```
sudo i2cdetect -y 1
```

και περιμένουμε να μας εμφανίσει κάτι αντίστοιχο με την παρακάτω εικόνα

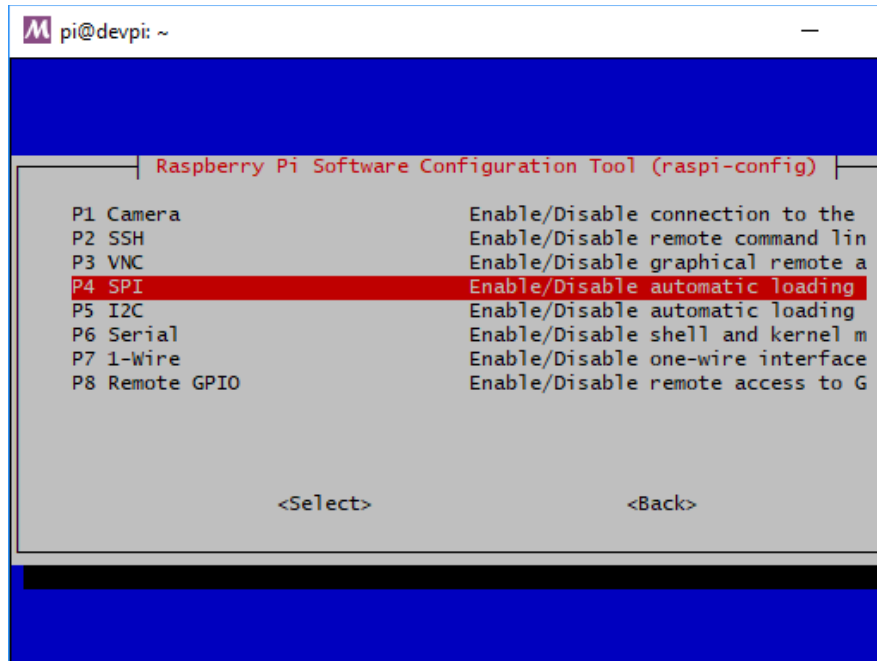


Εικόνα 65 <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview>



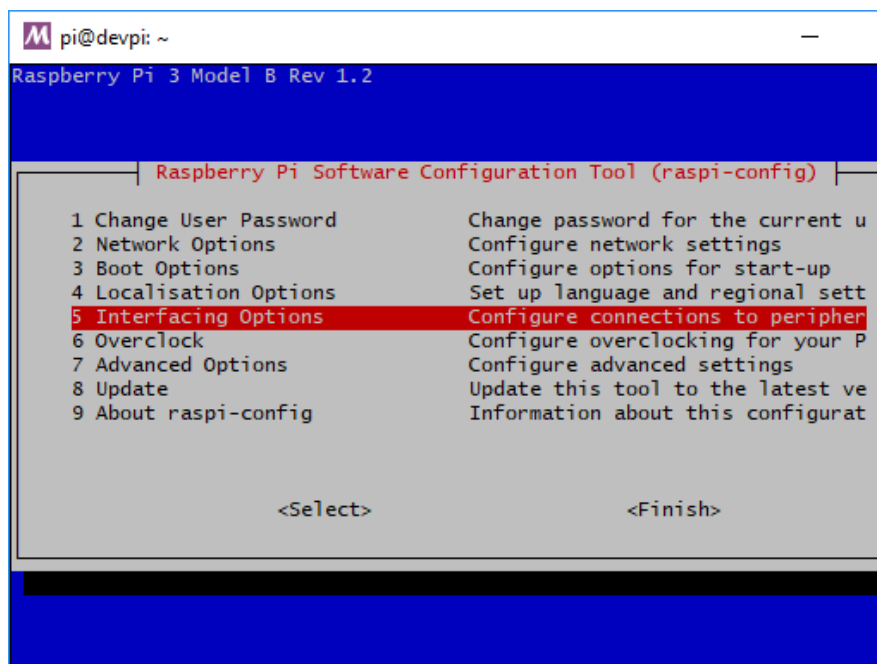
## 7. Κάνουμε εγκατάσταση του Kernel Support

Γράφουμε την εντολή `sudo raspi-config` και ακολουθούμε τα βήματα όπως στις εικόνες



Εικόνα 66 <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview>

## 8.

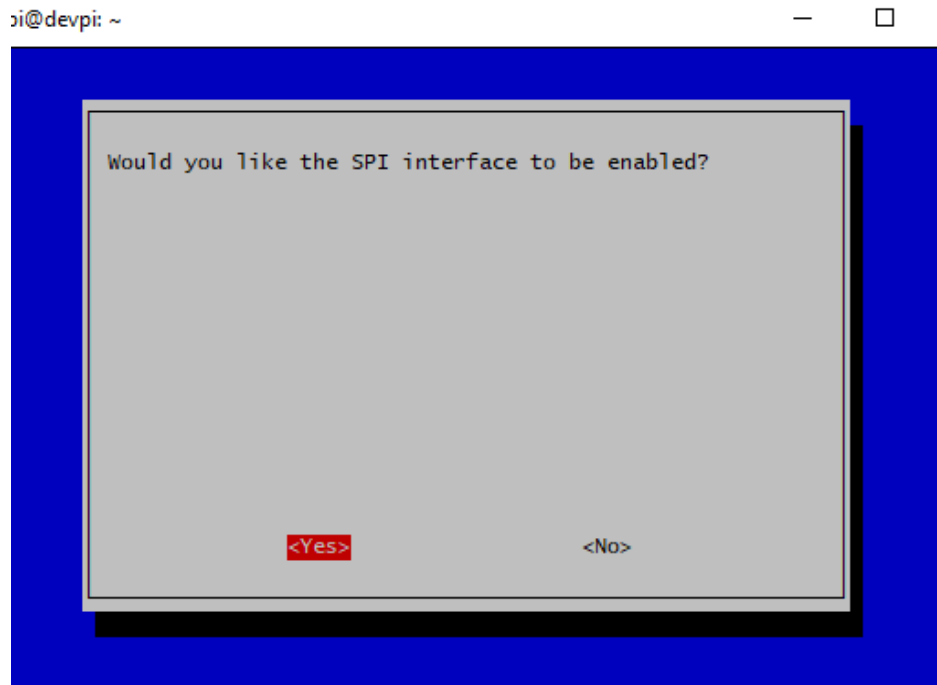


Εικόνα 67 <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview>



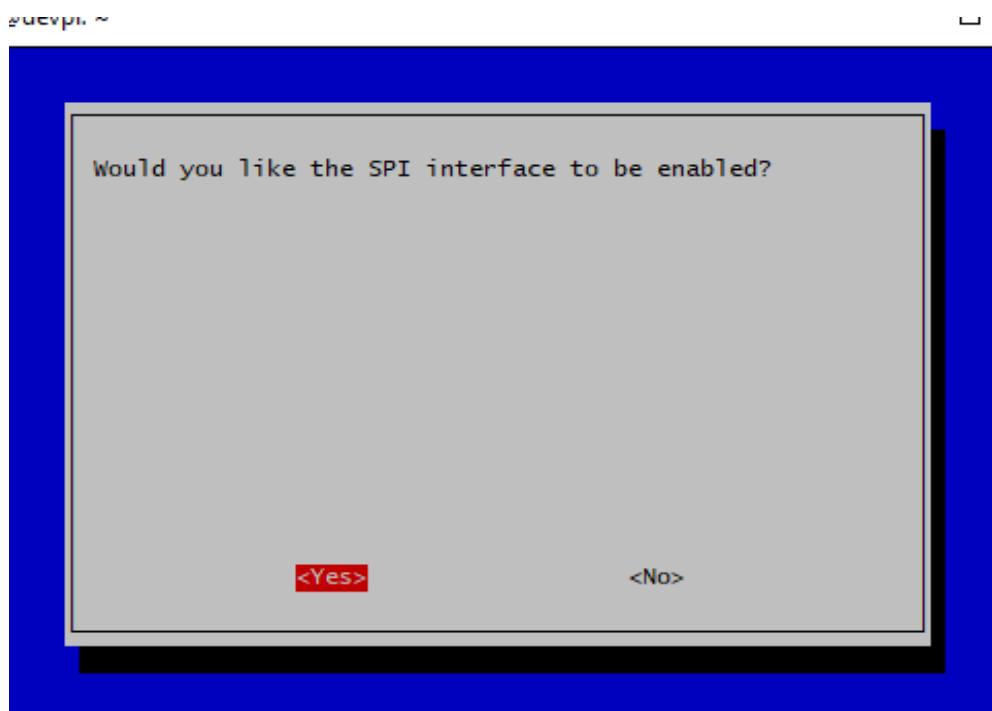


9.



Εικόνα 68 <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview>

10.



Εικόνα 69 <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview>



11. Μπορούμε να ελέγξουμε την λειτουργία του με την εντολή

```
ls -l /dev/spidev*
```

12. Τέλος πρέπει να εγκατασταθεί η βιβλιοθήκη Adafruit\_Python\_PCA9685.

Αυτή μας προσφέρει τις απαραίτητες μεθόδους για την κίνηση των servo.

Για να εγκαταστήσουμε την βιβλιοθήκη τρέχουμε τις παρακάτω εντολές

```
sudo apt-get install git build-essential python-dev
```

```
cd ~
```

```
git clone https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_PCA9685.git
```

```
cd Adafruit_Python_PCA9685
```

```
sudo python setup.py install
```

### Δημιουργία Συναρτήσεων για τον έλεγχο των servo motors

Στο σημείο όπου υπάρχει το πρόγραμμα για την επικοινωνία μεταξύ των πλακετών και έχει εγκατασταθεί η αντίστοιχη βιβλιοθήκη.

Είναι ανάγκη να φτιαχτεί μια δομή κώδικα για την εξυπηρέτηση του προγραμματιστή όταν θα είναι σε θέση να προγραμματίσει τον βηματισμό του Ρομπότ αλλά και οποιασδήποτε λειτουργίες χρειάζονται για την κίνηση του.

Ακολουθήθηκαν τα πρότυπα του El Greco II στην δημιουργία των βασικών προγραμμάτων και συναρτήσεων γιατί υπήρχε μια πολύ καλή και εύχρηστη δομή.

Τα δύο πιο σημαντικά προγράμματα που παραμετροποιήθηκαν ήταν τα

ServoManager.py

Το οποίο περιλαμβάνει τις συναρτήσεις για την κίνηση των servo motors

και το Rpi\_HatManager.py

Το οποίο ορίζει τα βασικά χαρακτηριστικά των hats και των servo όπως



- Τον κωδικό του hats
- Την συχνότητα λειτουργίας του
- Και τις αντίστοιχες μεθόδους

### 2.3.2. Βασικός προγραμματισμός στο Arduino

Το Arduino δεν χρειάζεται ιδιαίτερες παραμετροποιήσεις και είναι σε θέση άμεσα να χρησιμοποιηθεί από τον χρήστη.

Στην δική μας περίπτωση είναι απαραίτητο για την σύνδεση αισθητήρων ανάλογα την χρήση που θα γίνεται. Αρχικά όμως ήταν ανάγκη σαν πρώτο αισθητήρα να συνδεθεί ένα γυροσκόπιο και αξελερόμετρο.

#### Δημιουργία κώδικα

Ο κώδικας του Arduino απλά παίρνει τις τιμές από τον αισθητήρα με την συχνότητα που επιλέχθηκε και τις «εκτυπώνει».

Σε επόμενη φάση ο βασικός υπολογιστής του συστήματος παίρνει τις τιμές που εκτυπώνονται για την περαιτέρω επεξεργασία τους.

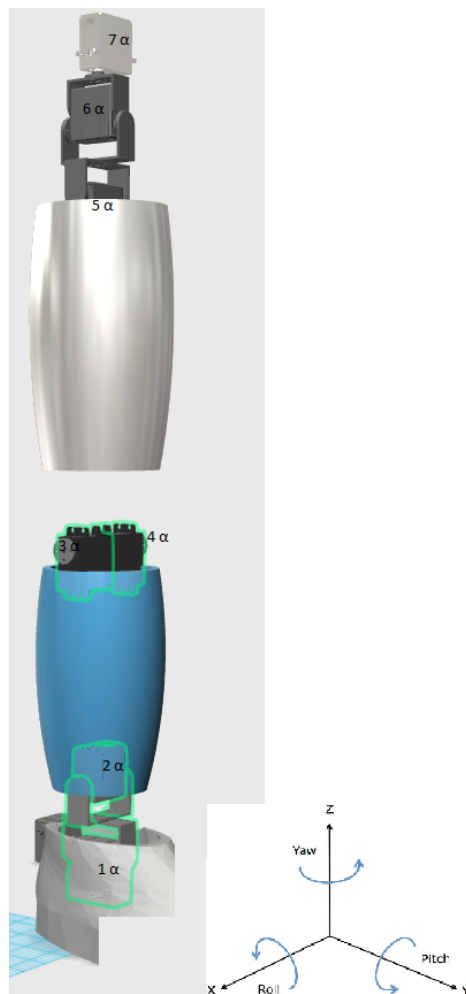


## 2.4. Καλωδιώσεις Συσκευών

Είναι σημαντικό να υπάρχει μια αναφορά σχετικά με την καλωδίωση όλων των συσκευών του συστήματος. Αυτή η αναφορά δεν βοηθάει μόνο τους μελλοντικούς χρήστες του Ρομπότ αλλά και τους ίδιους τους δημιουργούς.

### 2.4.1. Καλωδίωση στα Hat του Raspberry pi

Για την καλωδίωση στα Hat έχουμε :



Εικόνα 70 Αριστερό πόδι στο Hat 1



Πίνακας 12 Θέσεις

Hat 1 θέση 0	1 α
Hat 1 θέση 1	2 α
Hat 1 θέση 2	3 α
Hat 1 θέση 3	4 α
Hat 1 θέση 4	5 α
Hat 1 θέση 5	6 α
Hat 1 θέση 6	7 α



Εικόνα 71 Δεξί πόδι στο Hat 2



Αντίστοιχα με την αριστερό πόδι έχουμε και την καλωδίωση στο δεξί πόδι

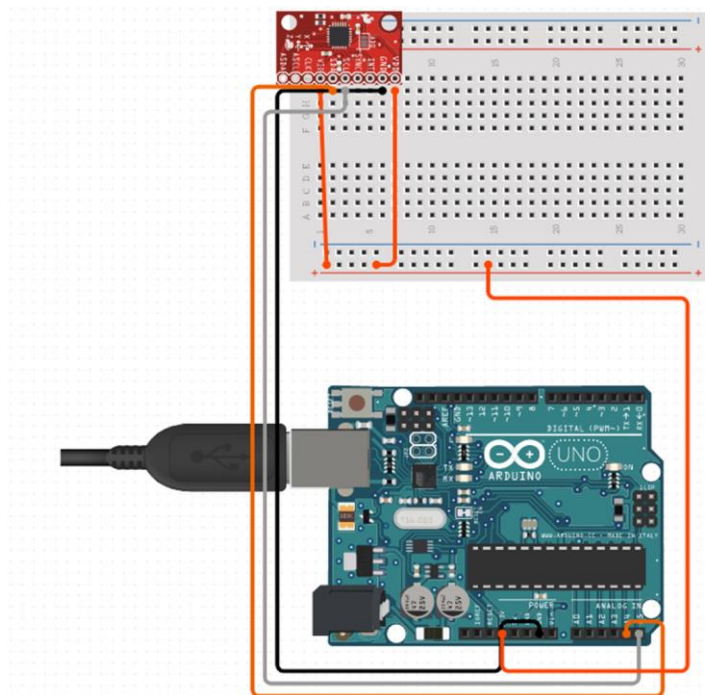
Πίνακας 13 Καλωδιώσεις

Hat 2 θέση 0	1 δ
Hat 2 θέση 1	2 δ
Hat 2 θέση 2	3 δ
Hat 2 θέση 3	4 δ
Hat 2 θέση 4	5 δ
Hat 2 θέση 5	6 δ
Hat 2 θέση 6	7 δ

Η αναλυτική αναφορά με τον πίνακα των servo και την θέση που έχουν στα Hat καθώς επίσης και τα εύρη τιμών θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα.

### 2.4.2. Καλωδίωση Arduino

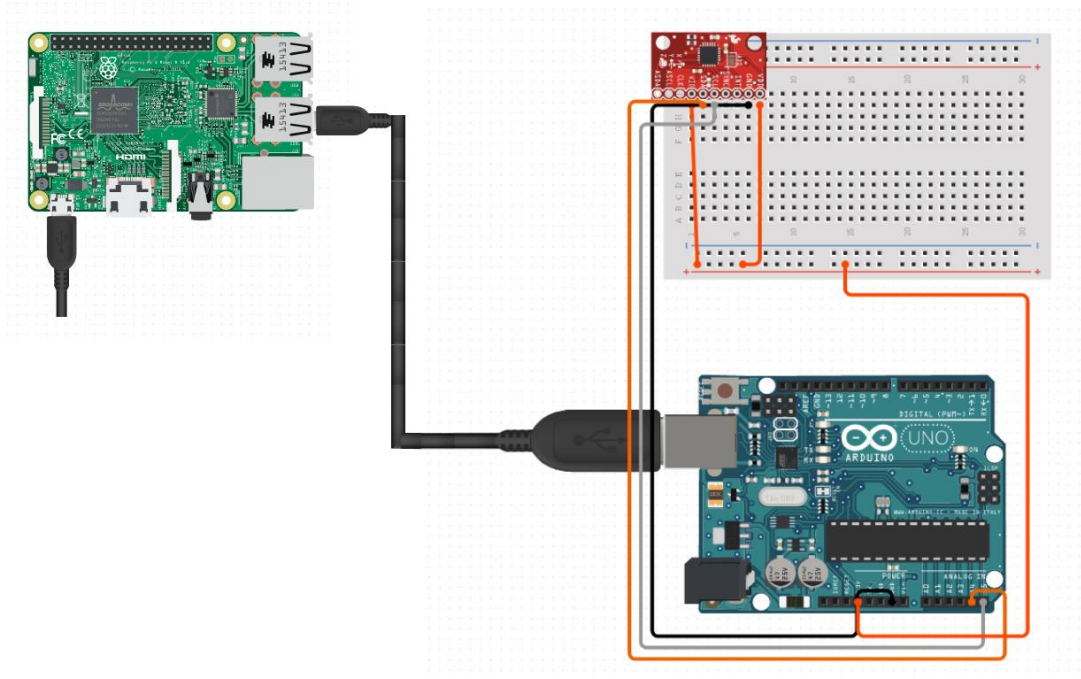
Σε αυτή την ενότητα υπάρχει η καλωδίωση μεταξύ του Arduino και του γυροσκόπιου-αξελερόμετρου MPU-6050



Εικόνα 72 <https://www.circuito.io/>



### 2.4.3. Καλωδίωση μεταξύ συσκευών



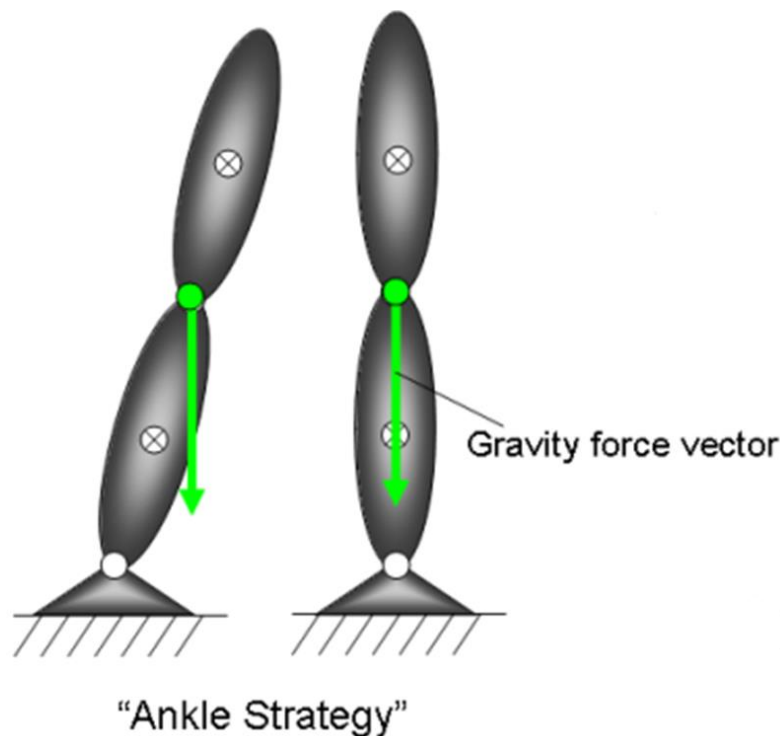
Εικόνα 73 <https://www.circuito.io/>

## 2.5. Ισορροπία

Για την ισορροπία όσο και για τον βηματισμό του ανθρωποειδούς είναι χρήσιμο να το αντιστοιχηθεί με την ανθρώπινη ισορροπία και κίνηση αφού επιλέχθηκε το Ρομπότ μας να έχει ανθρώπινες αναλογίες.

Ένας άνθρωπος όπως και ένα ρομπότ είναι δυνατόν να ισορροπήσουν σε πολλές και διαφορετικές στάσεις. Για παράδειγμα μπορεί ένας άνθρωπος να σταθεί όρθιος ακόμα και με σταυρωμένα τα πόδια του η και σε πολύ ανοιχτή διάσταση μεταξύ τους. Βέβαια το ανθρώπινο σώμα για να σταθεί όρθιο σε μια τέτοια θέση πρέπει συνέχεια να χρησιμοποιεί πολλούς μηχανισμούς όπως για παράδειγμα να κουνάει τα χέρια του ώστε να μένει σταθερός σε ένα σημείο. Αντίστοιχα μπορεί να κάνει κάτι τέτοιο και ένα ρομπότ εάν του παρέχονται οι κατάλληλες πληροφορίες για την κατάσταση του.

Για την ισορροπία υπάρχουν κάποιες βασικές πόζες (στρατηγικές) όπως θα δούμε παρακάτω

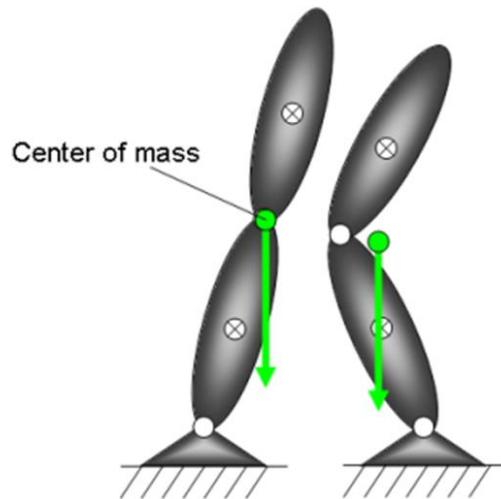


Εικόνα 74 ankle strategy

Αυτή η τεχνική δίνει το βάρος σε όλους τους συνδέσμους εκτός από τον αστράγαλο και ισορροπεί σαν ένα ανεστραμμένο εκκρεμές. Βλέπουμε πολύ συχνά ανθρώπους σε αυτή την στάση κυρίως για να μην πιέζεται παραπάνω το ένα από τα δύο πόδια και έτσι να είναι πιο ξεκούραστο το άλλο. Στο Ρομπότ θα είχε νόημα μια



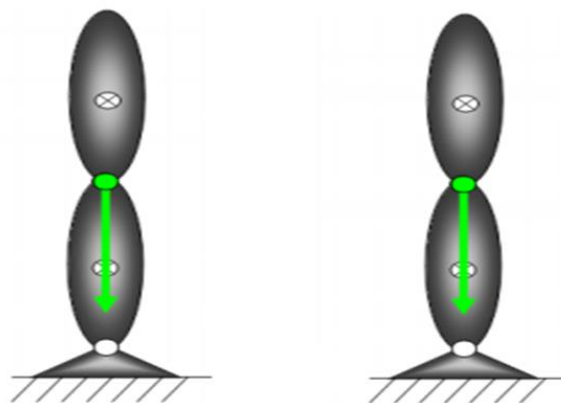
τέτοια στάση αν κάποιο πόδι είχε πιο δυνατούς μηχανισμούς από το άλλο και βέβαια δεν θα έπρεπε να μας ενδιαφέρει ο βηματισμός.



Εικόνα 75 hip strategy

Στην στρατηγική ισχίου υπάρχει μεγάλη κάμψη στους γοφούς, σε αυτή την στάση αλλάζει το κέντρο μάζας του σώματος και αντίστοιχα με την προηγούμενη στάση το βάρος πέφτει περισσότερο σε ένα από τα δυο πόδια του ανθρώπου η Ρομπότ. Το Ρομπότ που κατασκευάστηκε μπορεί να σταθεί όρθιο και με τις δυο παραπάνω στάσεις.

Μια σημαντική και βασική στάση είναι με τα πόδια το ένα παράλληλα με το άλλο. Αυτή η στάση είναι που μας ενδιαφέρει περισσότερο γιατί από αυτό το σημείο ισορροπίας μπορεί να ξεκινήσουμε πιο εύκολα το βηματισμό. Επίσης είναι ανάγκη να αναπτυχθεί ένας αλγόριθμος όπου από τις άλλες στάσεις να μπορεί το Ρομπότ να έρχεται δυναμικά στην στάση όπου τα πόδια θα είναι παράλληλα μεταξύ του και κάθετα από τον κορμό.



Εικόνα 76 Κάθετα στον κορμό

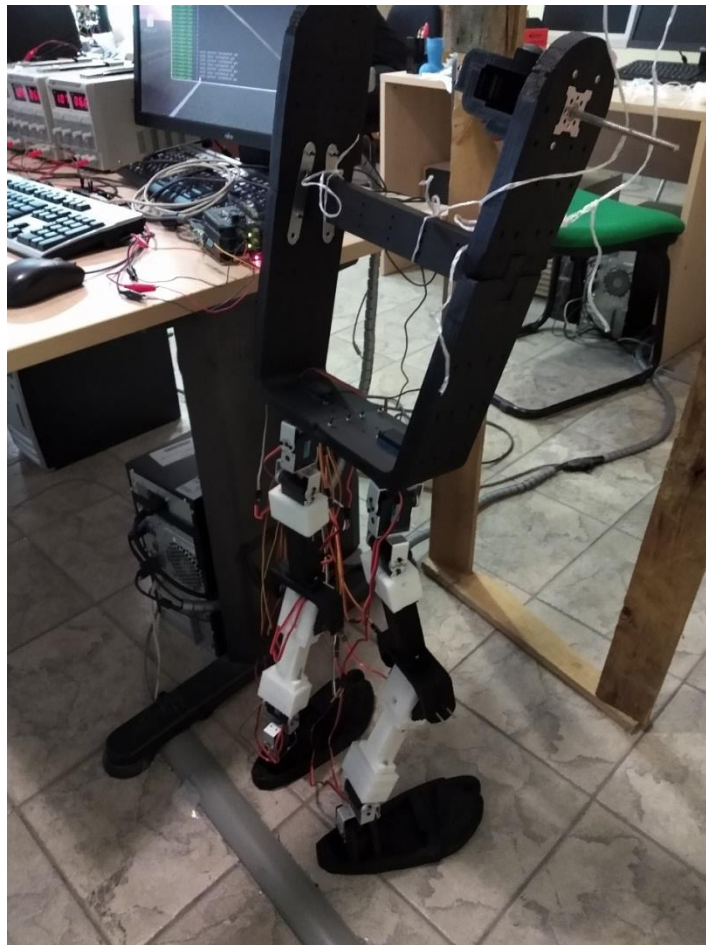


Επίσης πολύ σημαντική είναι στάση του σώματος από το «πλάι». Αναλύθηκε και μελετήθηκε η στάση του Ρομπότ όπως παρατηρείται από μπροστά αλλά θα πρέπει να αναλυθεί και από τις άλλες διαστάσεις. Έτσι είναι ανάγκη το ρομπότ να μπορεί να έχει μια θέση ισορροπίας την καλύτερη δυνατή ώστε να μπορεί να επεκταθεί και σε κινήσεις όπως ο βηματισμός.

### 2.5.1. Η Στάση που επιλέχθηκε

Η στάση που επιλέχθηκε είναι μια στάση στην οποία έπρεπε το ρομπότ να έχει μια θέση αντίστοιχη όσο το δυνατόν περισσότερο με τον άνθρωπο, αλλά ταυτόχρονα θα έπρεπε να είχε χαμηλό κέντρο βάρους ώστε να υπάρχει καλύτερη ισορροπία.

Η φωτογραφία παρακάτω δεν αποτελεί την τελική κατασκευή αλλά είναι κατά ένα ποσοστό σχεδόν ολοκληρωμένη η έκδοση του Ρομπότ.



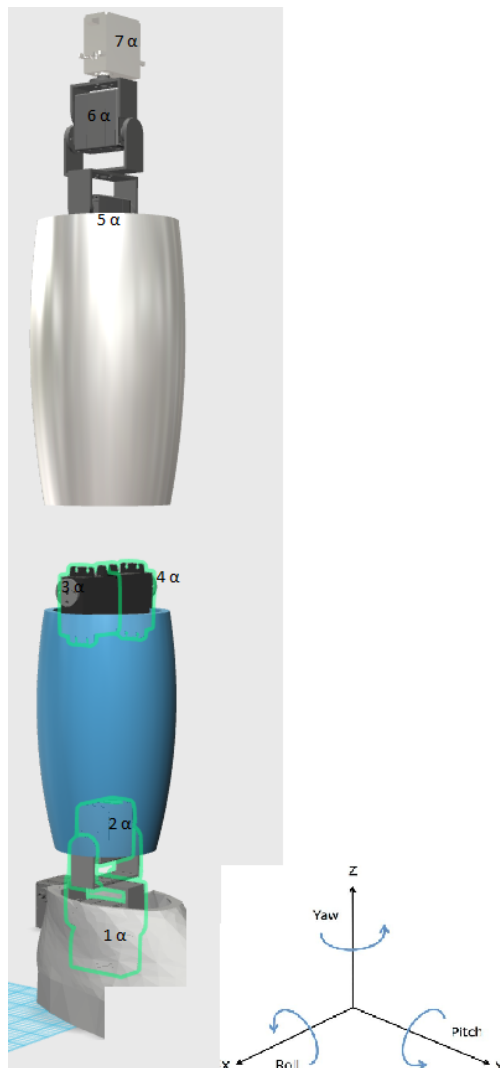
Εικόνα 77 Ρομπότ πόδια



Σε αυτό το σημείο δεν έχουν τοποθετηθεί ακόμα τα χέρια του ρομπότ, καθώς επίσης δεν έχει γίνει το δέσιμο το καλωδίων και δεν έχουν μπει τα εξωτερικά περιβλήματα. Σημασία έχει όμως ότι το Ρομπότ είναι σε θέση να στέκεται όρθιο εάν είναι ο κάθε μότορας στην κατάλληλη θέση.

### 2.5.2. Πίνακας servo motor στα Hats και εύρη τιμών

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι επειδή μπορεί να συμβούν οποιοσδήποτε αλλαγές του συστήματος τα παρακάτω στοιχεία δεν είναι όλα ακριβώς το ίδιο με το τελικό παραδοτέο αλλά οι μοίρες στις αρθρώσεις πρόκειται να είναι ελαφρώς διαφορετικές από την στιγμή που πρέπει να γίνει ξανά η ρύθμιση τους.



Εικόνα 78 Αριστερό πόδι



Hat 1 θέση 0	1 α	90 μοίρες	+ -pitch
Hat 1 θέση 1	2 α	35 μοίρες	+ +Roll
Hat 1 θέση 2	3 α	85 μοίρες	+ -Roll
Hat 1 θέση 3	4 α	115 μοίρες	+ +Roll
Hat 1 θέση 4	5 α	110 μοίρες	+ +Roll
Hat 1 θέση 5	6 α	10 μοίρες	+ -Pitch
Hat 1 θέση 6	7 α	60 μοίρες	+ -Yaw



Εικόνα 79 Δεξί πόδι



Hat 2 θέση 0	1 δ	15 μοίρες	+ -pitch
Hat 2 θέση 1	2 δ	130 μοίρες	+ -Roll
Hat 2 θέση 2	3 δ	110 μοίρες	+ -Roll
Hat 2 θέση 3	4 δ	150 μοίρες	+ +Roll
Hat 2 θέση 4	5 δ	140 μοίρες	+ -Roll
Hat 2 θέση 5	6 δ	130 μοίρες	+ -Pitch
Hat 2 θέση 6	7 δ	80 μοίρες	+ -Yaw

Παρατηρούμε ότι οι μότερες στα γόνατα έχουν αντίστροφα Roll μεταξύ τους. Δηλαδή όταν αυξηθούν οι μοίρες και στους δυο μότερες τότε θα κάνουν αντίθετη κίνηση. Και πολύ πιθανό είναι πως αν είναι βιδωμένοι καλά επάνω στο υλικό να έχουμε αύξηση στα Αμπέρ του συστήματος επειδή δεν θα μπορεί κανένας από τους δυο μότερες να κάνει την κίνηση που πρέπει.

Έτσι για να γίνει η κίνηση που πρέπει, όσες μοίρες αφαιρούνται από τον έναν μότερα τόσες θα προστίθενται στον άλλον.

### 2.5.3. Πως έγινε προγραμματιστικά

Για τον προγραμματισμό του Ρομπότ στους servo μότερες, μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους

- Με threads, ουσιαστικά διαμοιράσουμε τόσο νήματα όσοι και οι μότερες και για κάθε νήμα υπάρχει και ένας μότερας. Έτσι γίνεται να έχουν παράλληλη κίνηση στους μότερες και όχι οι μότερες να κινούνται ένας ένας με την σειρά.
- Με ψευδό παράλληλη επεξεργασία με χρήση for loop. Ουσιαστικά προσομοιώνεται ακριβώς ότι γίνεται και με τα threads. Δηλαδή κινείτε μια προς μια μοίρα τον κάθε μότερα με την σειρά και έχουμε μια ψευδό- παράλληλη κίνηση. Αυτή η μέθοδος μπορεί να βοηθήσει περισσότερο από τα threads γιατί είναι πιο εύκολο να ρυθμιστούν περισσότεροι παράμετροι.
- Απλή σειριακή επεξεργασία εντολών. Δηλαδή γράφουμε το που θέλουμε να πάει ένας μότερας και οι μότερες πάνε ένας προς έναν με την σειρά τους στην θέση που δηλώθηκε.



Για να βρεθεί απλά την θέση ισορροπίας του Ρομπότ δεν χρειαζόταν απαραίτητα κάποια παράλληλη κίνηση. Πολύ απλά βάζαμε την θέση που θέλαμε να είναι ο κάθε μότορας και με προσοχή τρέχαμε το πρόγραμμα και ρυθμίζαμε έναν προς έναν όλους τους μότορες. Επίσης το πρόγραμμα παρακάτω ενδεχομένως να είναι διαφορετικό από το τελικό πρόγραμμα αφού θα γίνουν αλλαγές σε κάποιους μότορες και θα χρειαστεί εκ νέου ρύθμιση των θέσεων.

```
import time

from ServoManager import move_pwm_from_to_in

from ServoManager import move_pwm_from_to

def standUp():

#deksi podi

    move_pwm_from_to_in(0,2,15,15)

    time.sleep(1)

    move_pwm_from_to(1,2,130,130)

    time.sleep(.05)

    move_pwm_from_to(2,2,110,110)

    time.sleep(.05)

    move_pwm_from_to_in(3,2,150,150)

    time.sleep(1)

    move_pwm_from_to(4,2,140,140)

    time.sleep(.05)

    move_pwm_from_to(5,2,130,130)

    time.sleep(.05)

    move_pwm_from_to_in(6,2,80,80)

    time.sleep(1)

#Aristero Podi
```



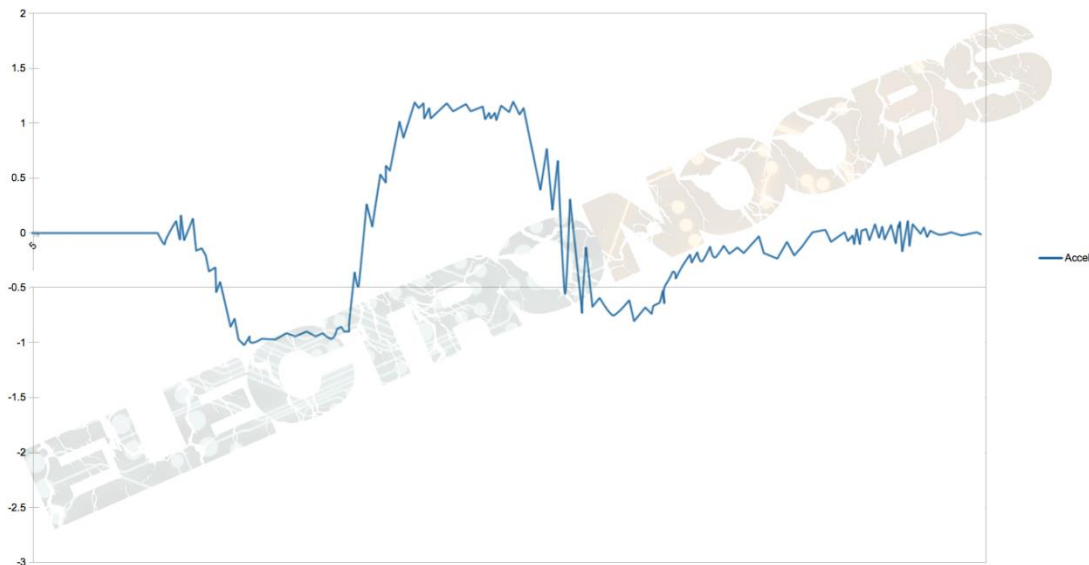
```
move_pwm_from_to(0,1,90,90)
time.sleep(.05)
    move_pwm_from_to_in(1,1,35,35)
time.sleep(1)
move_pwm_from_to(2,1,85,85)
time.sleep(.05)
move_pwm_from_to(3,1,115,115)
time.sleep(.05)
    move_pwm_from_to_in(4,1,110,110)
time.sleep(1)
move_pwm_from_to(5,1,10,10)
time.sleep(.05)
move_pwm_from_to(6,1,60,60)
time.sleep(.05)
standUp()
```

#### 2.5.4. Ισορροπία με χρήση αισθητήρα MPU6050

Για την ισορροπία με την χρήση αισθητήρα MPU6050 είναι αναγκαίο να δημιουργηθεί ένα αρχείο για την παράλληλη αναγνώριση της θέσης του ρομπότ, καθώς επίσης και την διόρθωσή της εάν αυτό χρειαστεί.

Αρχικά θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα που παράγονται από τον αισθητήρα είναι πολύ ασταθή λόγο του θορύβου κυρίως και των υλικών. Για αυτό το λόγο είμαστε αναγκασμένοι τα δεδομένα που λαμβάνουμε να τα περάσουμε από κάποια φίλτρα ώστε να είναι κατάλληλα για χρήση.

Παράδειγμα των τιμών που παίρνουμε από τον αισθητήρα χωρίς την χρήση κάποιου φίλτρου.



Εικόνα 80 [http://www.electrionoobs.com/eng\\_robotica\\_tut6\\_1.php](http://www.electrionoobs.com/eng_robotica_tut6_1.php)

Είναι κατανοητό από το γράφημα ότι τα δεδομένα δεν είναι έτοιμα για χρήση.

Για να είναι ικανά για χρήση τα δεδομένα μας θα πρέπει να τα περάσουμε από ένα φίλτρο γνωστό ως « συμπληρωματικό φίλτρο », για την δική μας περίπτωση είναι ιδανικό γιατί συνδυάζει χαμηλό κόστος επεξεργασίας και υψηλή ακρίβεια.

Το συμπληρωματικό φίλτρο είναι η ένωση δυο φίλτρων υψηλής διέλευσης για το γυροσκόπιο και χαμηλής διέλευσης για το επιταχυνσιόμετρο. Ουσιαστικά συνδυάζει τα δεδομένα και από το επιταχυνσιόμετρο και από το γυροσκόπιο με τους εξής τύπους :

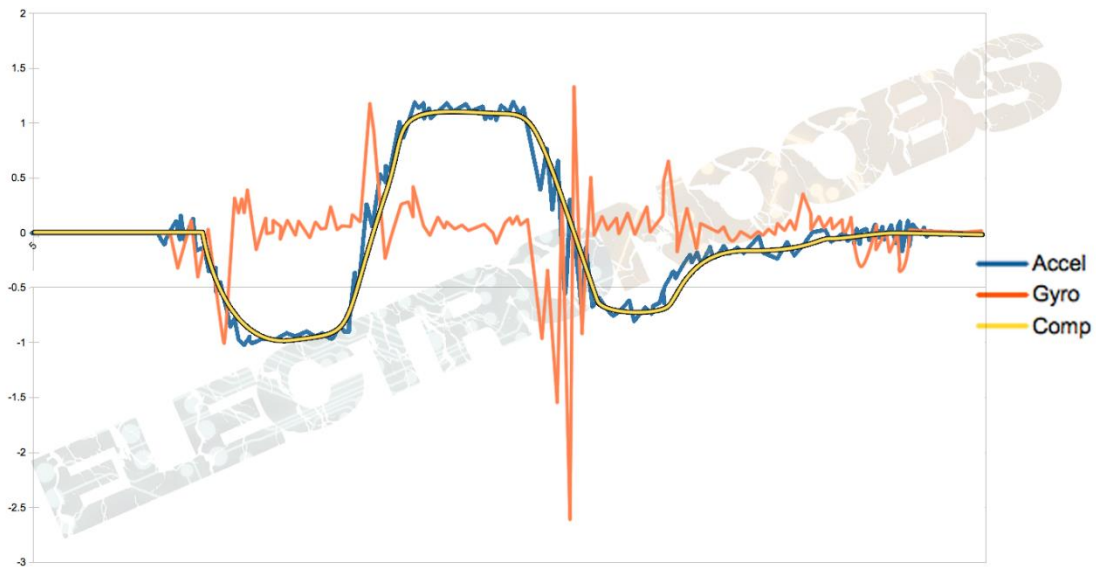
$$\text{TotalAngleX} = 0.98 \cdot (\text{TotalAngleX} + \text{GyroDataY} \cdot \text{elapsedTime}) + 0.02 \cdot \text{atan} \left( \frac{\text{Y}}{\sqrt{\text{X}^2 + \text{Z}^2}} \right)$$

$$\text{TotalAngleY} = 0.98 \cdot (\text{TotalAngleY} + \text{GyroDataX} \cdot \text{elapsedTime}) + 0.02 \cdot \text{atan} \left( \frac{\text{X}}{\sqrt{\text{Y}^2 + \text{Z}^2}} \right)$$

Εικόνα 81 [http://www.electrionoobs.com/eng\\_robotica\\_tut6\\_1.php](http://www.electrionoobs.com/eng_robotica_tut6_1.php)

Έτσι με τον συνδυασμό όλων αυτών των δεδομένων παίρνουμε την απαραίτητη πληροφορία. Στο παρακάτω γράφημα βλέπουμε πως είναι τα αποτελέσματα μας στο σύστημα αξόνων.





Εικόνα 82 [http://www.electroobs.com/eng\\_robotica\\_tut6\\_1.php](http://www.electroobs.com/eng_robotica_tut6_1.php)

Προγραμματιστικά όλη αυτή η διαδικασία των υπολογισμών γίνεται στο Arduino και τα δεδομένα στέλνονται και διαβάζονται από το raspberry pi. Το όνομα του αρχείου που έχει εγκατασταθεί στο Arduino είναι PID\_balance\_arduino

### 2.5.5. Αναγνώριση και αποτροπή πτώσης

Για την αναγνώριση και αποτροπή της πτώσης του ρομπότ είναι ανάγκη αρχικά να τοποθετηθεί σωστά ο αισθητήρας και να αναγνωριστούν οι άξονες με τους οποίους θα γίνεται η αναγνώριση.

Δηλαδή πρέπει να δούμε ποιος άξονας είναι ο x και ποιος ο y. Στην δική περίπτωση μας ενδιαφέρει αρχικά το Roll του ανθρωποειδούς μας που αντιστοιχεί στον άξονα y.

Η ανάγνωση των δεδομένων γίνεται όπως αναφέρθηκε σε παραπάνω κεφάλαιο και έτσι μπορούμε να καταλάβουμε προς ποια κατεύθυνση φέρει το ρομπότ μας .

Όπως παρατηρείται από την παρακάτω εικόνα γίνεται η επιθυμητή αναγνώριση της κλίσης και επομένως σε ποια μεριά γέρνει το ρομπότ.



```
to swma gernei p1sw

Gx= -11.32
Gy= -0.73
-0.73

to swma gernei mprosta

Gx= -11.23
Gy= 7.89
7.89
to swma gernei mprosta
```

Εικόνα 83 Αναγνώριση κλίσης

Σε αυτό το σημείο έπρεπε να ελεγχθεί ποιες είναι οι κατάλληλες μοίρες με τις οποίες το Ρομπότ μας θα έχανε την ισορροπία του, ποιους μότερες έπρεπε να αλλάξουν μοίρες για να κάνουν επαναφορά θέσης, πόσες μοίρες έπρεπε να τους κινήσουμε και σε πόσο χρόνο θα γίνεται η αλλαγή αυτή.

Αρχικά παρατηρήθηκε ότι εάν το ρομπότ γύρει περισσότερο από 6,5 μοίρες προς τα μπροστά ή προς τα πίσω, τότε είναι πολύ πιθανό να συμβεί η πτώση του.

Οι μότερες που θα έπρεπε να κινηθούν για να επαναφέρει την θέση του στον άξονα του y είναι όλοι αυτοί που σχετίζονται με αυτόν τον άξονα. Δηλαδή οι 2, 3-4 και 5 όμως τους μότερες 3-4 και 5 θα του χρειαζόμασταν παρακάτω στον βηματισμό. Έτσι καταλήξαμε σε μια πιο απλή λύση όπου θα χρησιμοποιούμε μόνο τους μότερες 2 από κάθε πόδι.

Για το πόσες μοίρες θα έπρεπε να κινήσουμε τους μότερες κάθε φορά που η θέση μας είναι εκτός επιθυμητού σημείου θα λέγαμε ότι είναι αντίστοιχα με αυτό της απόκλισης. Όμως παρατηρήσαμε ότι μια ή δυο μοίρες αλλαγή στους κάτω μότερες επιφέρουν μεγαλύτερες αλλαγές στην κλίση που έχει η λεκάνη. Ιδανικά θα θέλαμε να μπορούμε να κάνουμε μετατόπιση σε δεκαδικό αριθμό λιγότερο από μια μοίρα (π.χ. 0,356 μοίρες) αλλά αυτό δεν είναι δυνατό να γίνει με την παρούσα τεχνολογία που διαθέτουμε. Έτσι επιλέξαμε την μια μοίρα για μετατόπιση.

Η αλλαγή των μοιρών στους κάτω μότερες δεν θα πρέπει να γίνεται πολύ γρήγορα γιατί το σύστημα μας θα κάνει περισσότερες αλλαγές από αυτές που επιθυμούμε. Για απλή ισορροπία χωρίς κάποιο ιδιαίτερο στρεσάρισμα του συστήματος κατάλληλος χρόνος είναι μια μοίρα ανά ένα δευτερόλεπτο.



## 2.6. Κίνηση / Περπάτημα Ανθρωποειδούς

Για την κίνηση του Ρομπότ με βηματισμό είναι ανάγκη να επιλεγεί μια μέθοδος με όσο το δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να γίνει έρευνα σχετικά με τον τρόπο βηματισμού άλλων Ανθρωποειδών. Ύστερα είναι σημαντικό να εφαρμόσουμε την έρευνα αυτή για τον βηματισμό του δικού μας Ρομπότ. Βέβαια για να γίνει η εφαρμογή αυτή χρειάζονται πολλές δοκιμές. Όπως θα δούμε παρακάτω ο βηματισμός με βάση την έρευνα που κάναμε χωρίζεται σε συγκεκριμένα στάδια αυτά τα στάδια πρέπει το καθένα από αυτά να δοκιμαστεί και να βρεθεί η κατάλληλη εφαρμογή για τον δικό μας Ρομπότ.

### 2.6.1. Κινήσεις / Περπάτημα άλλων Ανθρωποειδούς

Με βάση την έρευνα που έγινε, παρατηρήσαμε ότι υπάρχουν αρκετά είδη ανθρωποειδών που μπορούν να περπατήσουν. Τα κοινά μεταξύ αυτών που παρατηρήσαμε έχουν ως εξής :

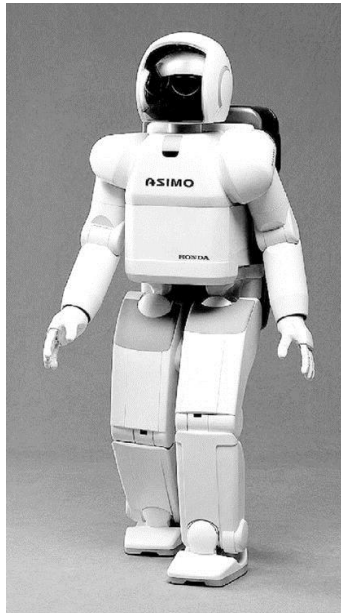
- Ο Βηματισμός γίνεται με βάση τον ανθρώπινο βηματισμό, όσο αυτός μπορεί να προσομοιωθεί από ένα Ρομπότ με βάση τα τεχνικά του χαρακτηριστικά.
- Παρατηρήσαμε ότι τα ρομπότ ακολουθούν κυρίως τις αναλογίες του Βιτρούβιου. Έτσι είναι πιο εύκολο για τους επιστήμονες του χώρου να αντιγράψουν την κίνηση του ανθρώπου επάνω στο Ρομπότ.
- Πολλά ανθρωποειδή δεν χρησιμοποιούν τον επάνω σκελετό και τα χέρια τους για τον βηματισμό τους. Τα χέρια μπορούν να βοηθήσουν αρκετά στο βηματισμό αλλά είναι αρκετά δύσκολο να βρεις τον σωστό τρόπο που θα γίνει αυτό.
- Επίσης μια παρατήρηση που κάναμε είναι η πατούσες των ανθρωποειδών που μπορούν να περπατήσουν είναι πως δεν έχουν καμιά σχέση με αυτή του ανθρώπου, ούτε αναλογικά ούτε σχηματικά. Αυτό συμβαίνει γιατί ο βηματισμός είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία και το μα βάλεις μια πατούσα όπως του ανθρώπου θα έκανε ακόμα πιο δύσκολο στο να επιτύχει ο βηματισμός.

Παραδείγματα άλλων ανθρωποειδών :

Ένα από τα πιο γνωστά παραδείγματα ανθρωποειδούς που μπορούν να περπατήσουν είναι ο Asimo, όπως βλέπουμε και από την εικόνα παρακάτω το συγκεκριμένο μοντέλο ακολουθεί τις ανθρώπινες αναλογίες και ισχύουν οι παρατηρήσεις που έγιναν παραπάνω.



Σε αντίθεση με τον δικό μας Ρομπότ όπου έχουν το ίδιο ύψος ο asimo έχει πολύ μεγαλύτερο βάθος από το Ρομπότ που κατασκευάσαμε και σίγουρα διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά.

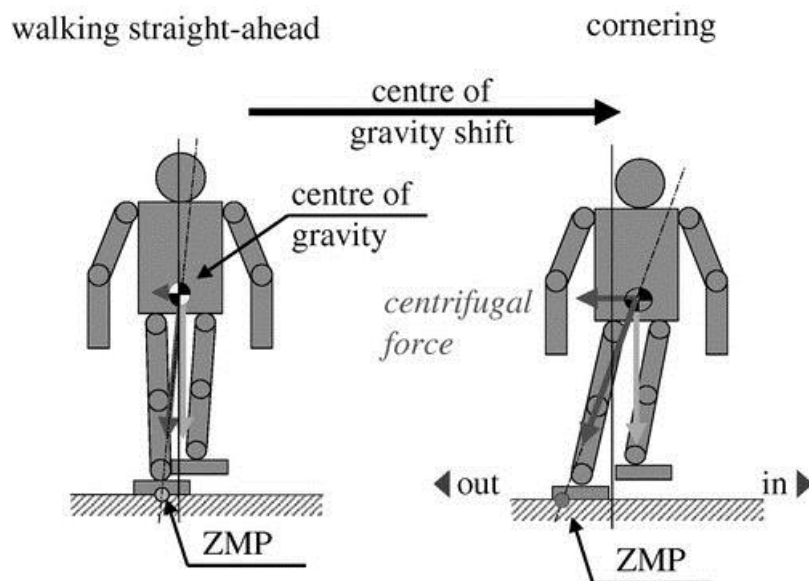


height	1200mm
depth	440 mm
width	450mm
weight	43 kg
walking speed	0–1.6 km h <sup>-1</sup>
walking cycle	cycle adjustable, stride adjustable
grasping force	0.5 kg/hand (5-finger hand)

actuator	servomotor + harmonic speed reducer + drive unit
control unit	walking/operating control unit wireless transmission unit
sensors	foot: 6-axis force sensor torso: gyroscope, acceleration and sensor
power system	38V/10AH (Ni-MH)
operating system	workstation and portable controller

Εικόνα 84 Hirose, Masato, and Kenichi Ogawa. "Honda humanoid robots development." *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 365.1850 (2006): 11-19.

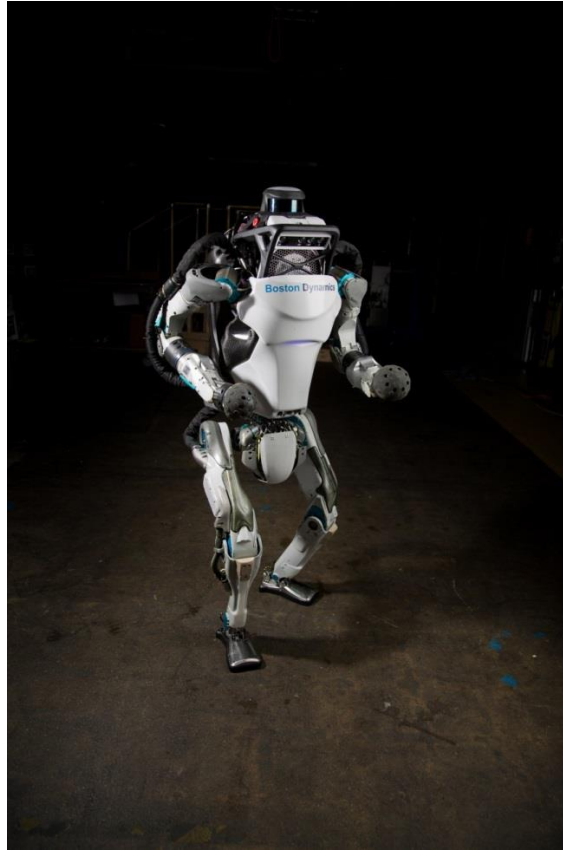
Από την παρακάτω εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε τον βηματισμό του ρομπότ καθώς επίσης και το που βρίσκεται το κέντρο βάρους του. Βλέπουμε ότι ακολουθεί τον ανθρώπινο τρόπο βηματισμού.



Εικόνα 85 Hirose, Masato, and Kenichi Ogawa. "Honda humanoid robots development." *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 365.1850 (2006): 11-19.



Ένα παράδειγμα που δεν θα έπρεπε να λείπει είναι αυτό του Atlas.



Εικόνα 86 <https://www.bostondynamics.com/atlas>

Έχουμε ένα ακόμα ρομπότ που ακολουθεί τα κοινά που αναφέραμε παραπάνω και τα βασικά τεχνικά του χαρακτηριστικά έχουν ως εξής

Ύψος : 1,5 μέτρα

Κιλά : 75

Χρήση μπαταρίας

Υδραυλικοί κινητήρες

28 joints

Το συγκεκριμένο ρομπότ είναι γνωστό για τον δυναμικό τρόπο βηματισμού και κινήσεων που έχει.

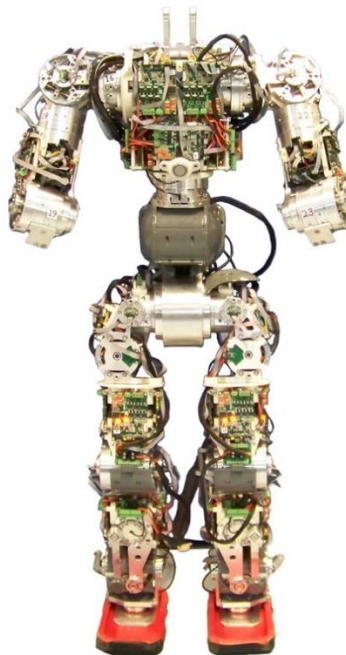


Το ρομπότ που ακολουθήσαμε περισσότερο τα χαρακτηριστικά του, καθώς επίσης και τους αλγόριθμους ισορροπίας και βηματισμό του είναι το COMAN



Εικόνα 87 <https://robots.ieee.org/robots/coman/>

Σε αυτή την φωτογραφία μπορούμε να παρατηρήσουμε το εσωτερικό του.



Εικόνα 88 <https://robots.ieee.org/robots/coman/>





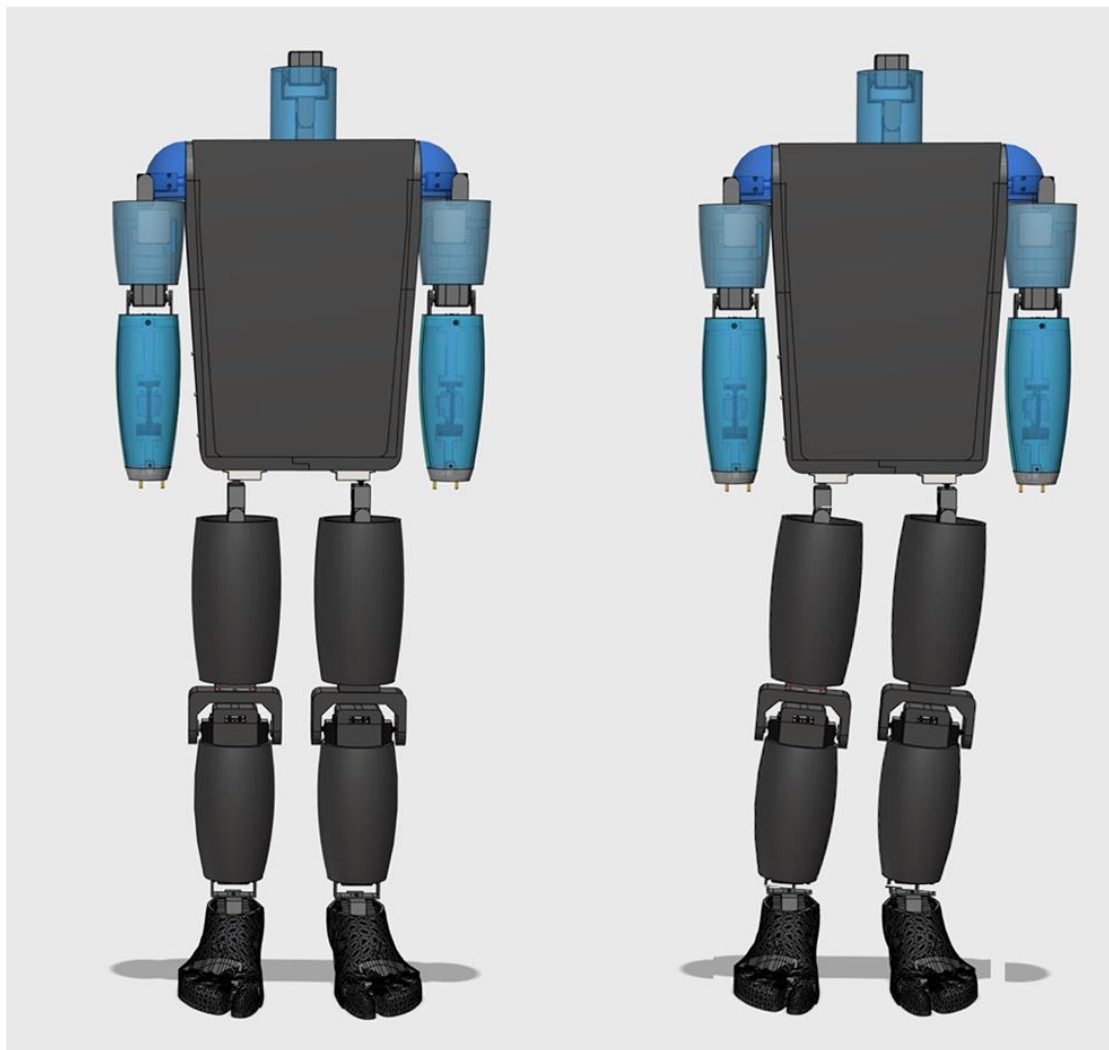
Μπορούμε να δούμε από την παραπάνω εικόνα ότι ο βηματισμός πρέπει να γίνεται με συγκεκριμένη ταλάντωση και ότι το βήμα θα πρέπει να γίνεται στα άκρα τις ισορροπίας του όπου είναι και το σημείο όπου το κέντρο βάρους του συστήματος πέφτει επάνω στο ένα πόδι.

### 2.6.2. Η Μέθοδος που επιλέξαμε και ο Αλγόριθμος της

Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο όπου γράφεται αυτό το κείμενο δεν έχει ολοκληρωθεί ο βηματισμός του ανθρωποειδούς μας.

Η μέθοδος που επιλέξαμε είναι αυτή η οποία θα δούμε παρακάτω και είναι ο κλασικός τρόπος βηματισμού όσο το δυνατόν πιο κοντά σε αυτόν του ανθρώπου.

Θα δούμε αρχικά σχηματικά με εικόνες πως γίνεται σε απλά βήματα



Εικόνα 90 Ρομπότ





Σε πρώτη φάση θα πρέπει το Ρομπότ μας να κάνουμε pitch κάποιες μοίρες μοίρες τους μότερες στους αστράγαλους και την λεκάνη, ώστε να πάει το βάρος στο δεξί μέρος του ρομπότ και το πόδι να είναι σε θέση να σηκωθεί.



Εικόνα 91 Ρομπότ

Μπορούμε να δούμε και στις φωτογραφίες πως θα πρέπει να είναι η θέση του ρομπότ.

Κάτι σημαντικό που πρέπει να προσέξουμε στις φωτογραφίες είναι το λευκό σχοινί με ένα βαρίδιο που έχουμε τοποθετήσει για να μας δείχνει το κέντρο βάρους του συστήματος μας.

Στην πρώτη εικόνα όπου το ρομπότ μας στέκεται στα δυο πόδια το κέντρο βάρους του θα πρέπει να είναι εσωτερικά σε αυτά . Εάν το κέντρο βάρους βγει έξω αυτό την μαύρη περιοχή που έχουμε σημειώσει τότε το ρομπότ θα πέσει .

Στην δεύτερη εικόνα βλέπουμε ότι η μαύρη περιοχή έχει περιοριστεί στο ένα πόδι και το κέντρο βάρους βρίσκεται πάνω σε αυτό. Αυτό γίνεται γιατί θέλουμε το κέντρο βάρους του συστήματος μας να είναι ακριβώς πάνω στο ένα πόδι ώστε να μπορεί να σηκωθεί το άλλο πόδι στον αέρα και το ρομπότ μας να μην στηρίζεται σε αυτό.



Εικόνα 92 Βηματισμός

Σε επόμενη φάση κάνουμε roll το μότορα στην λεκάνη ώστε να έρθει το πόδι στον αέρα και να μπορέσει να κάνει ένα βήμα μπροστά.

Μετά από αυτό το σημείο επαναφέρουμε τους μότερες που έκαναν pitch και κάνουμε roll το γόνατο ώστε να ακουμπήσει το πόδι κάτω. Έτσι έχουμε ολοκληρώσει το πρώτο βήμα.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να δώσουμε μια τεχνική αναφορά με περισσότερη λεπτομέρεια

- Αρχικά θα πρέπει να σημειωθεί ότι εάν βάλουμε πολλές μεθόδους για την κίνηση των κινητήρων μας σε ένα script, τότε το σύστημα μας δεν έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα.
- Έτσι σε πρώτη φάση πρέπει να έχουμε ξεχωριστά αρχεία/ προγράμματα για κάθε κίνηση ή εναλλαγή της κίνησης που θα κάνει το Ρομποτ μας.



- Εμείς φτιάξαμε τα εξής αρχεία για να χωρίσουμε τον βηματισμό έως την πρώτη φάση. Το αρχείο **legdown.py** που είναι μια στάση του Ρομπότ με σχετικά λυγισμένα γόνατα έτσι ώστε να έχει καμηλό κέντρο βάρους και καλύτερη ισορροπία, για την συγκεκριμένη στάση έγινε αρκετή προσπάθεια να βρεθεί αλλά δεν σημαίνει ότι είναι η καλύτερη που μπορεί να υπάρξει. Είναι όμως σαφώς καλύτερη από στάσεις με πολύ λυγισμένα γόνατα η με τεντωμένα.
- Το αρχείο **oneleg4.py** ( να σημειωθεί ότι τα ονόματα των αρχείων δεν είναι τόσο αντιπροσωπευτικά αλλά δεν έχει τόσο μεγάλη σημασία στην φάση των δοκιμών ) ουσιαστικά φέρνει το ρομπότ από την θέση ισορροπίας σε σημείο ώστε να γέρνει το σώμα δεξιά ( εάν το κοιτάμε από μπροστά ).
- Το αρχείο **oneleg5.py** φέρνει το ρομπότ από την θέση που γέρνει δεξιά σε σημείο ώστε να γέρνει αριστερά.
- Το αρχείο **oneleg6.py** φέρνει το ρομπότ από την θέση που γέρνει αριστερά ξανά σε σημείο ώστε να γέρνει δεξιά.
- Έτσι έχουμε μια πλήρη ταλάντωση του ρομπότ μας από αριστερά προς τα δεξιά. Για να γίνεται αυτό όμως όσες φορές θέλουμε θα πρέπει να συγκεκριμένα αρχεία / μεθόδους αρχείων να τις εκτελούμε μια προς μια σε ένα πρόγραμμα. Επίσης η στάση ισορροπίας θα πρέπει να τρέχει και αυτή παράλληλα. Για αυτό το λόγο έχουμε το αρχείο **move.py** ώστε να ενώνει όλα αυτά τα αρχεία σε ένα.



### 3. Συμπεράσματα

Αρχικά, το ανθρωποειδές ρομπότ που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας είναι σε θέση να κινεί τα άκρα του και να ακολουθεί εντολές. Πιο συγκεκριμένα, έχει την δυνατότητα να προσδιορίσει την θέση του στο περιβάλλον έτσι ώστε να διατηρεί μια δυναμική ισορροπία σε πρώιμο στάδιο και εκτελεί κινήσεις με την βοήθεια του συστήματος παραμέτρων και συντεταγμένων Denavit–Hartenberg.

Το ρομπότ δύναται να χρησιμοποιηθεί για ποικίλες εφαρμογές αφού δόθηκε έμφαση στην επεκτασιμότητα του. Ενδεικτικά προσβλέπει τόσο για ερευνητικούς σκοπούς στο εργαστήριο τεχνητής νοημοσύνης εφαρμόζοντας καινοτόμες τεχνολογίες για την επίτευξη νεωτεριστικών εφαρμογών, όσο στην συμβολή του στην πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια αλλά και τριτοβάθμια εκπαίδευση με εναλλακτικές μεθόδους μάθησης.

Συνοψίζοντας, για την βελτίωση του ανθρωποειδούς είναι ανάγκη η δημιουργία δυναμικού αλγορίθμου βηματισμού που θα συγχρονίζει τόσο τα πόδια του ρομπότ όσο και τα χέρια με δεδομένα από αισθητήρες κίνησης. Ακόμα, θα μπορούσε να εφαρμοστούν μέθοδοι υπολογιστικής όρασης με εκμάθηση για την αποφυγή εμποδίων και αναγνώριση προσώπων, αντικειμένων αλλά και κειμένου. Επίσης, θα μπορούσε να αναπτυχθεί μια διαδραστική μέθοδος αλληλεπίδρασης μέσω της ομιλίας.



## 4. Βιβλιογραφία

1. <http://users.sch.gr/jenyk/index.php/artificialintelligence/ai-historicalreview/11-robotics/17-whatisroboticswhatisrobot> .
2. <http://www.allonrobots.com/types-of-robots.html> .
3. <https://4dimkal-robot.weebly.com/alphapi972-taiiota-alphapiomicrontauepsilononlambdaepsilonon943taualphaiota-941nualpharhoomicronmupi972tau.html> .
4. <https://roboth.weebly.com/blog/september-14th-2015> .
5. Eisenhower, J. G. (2008). "Degrees of Freedom" .
6. <https://www.jameco.com/jameco/workshop/howitworks/how-servo-motors-work.html> .
7. [http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki\\_G\\_2018\\_final/\\_0.html](http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki_G_2018_final/_0.html) .
8. <https://ed808.com/tag/4284/3D%20Modeling> .
9. <https://www.at Kearney.com/documents/10192/5992684/3D+Printing+A+Manufacturing+Revolution.pdf/bf8f5c00-69c4-4909-858a-423e3b94bba3> .
10. <https://www.createitreal.com/3d-printers-on-demand-3d-printer/48/> .
11. <https://www.justmakeit.gr/wiki/> .
12. [http://www.eln.teilam.gr/sites/default/files/lesson08\\_1.pdf](http://www.eln.teilam.gr/sites/default/files/lesson08_1.pdf) .
13. Russell C. Hibbeler (2009). "Kinematics and kinetics of a particle".
14. <https://www.adafruit.com/>
15. <http://www.robogrok.com/>
16. El Greco II: affordable social humanoid for educational use
17. Arslan Ahmad, Muhammad Ibraheem, Mohsin Ahsen... Design and Implementation of Robotic Arm that Copies the Human Arm May 2017
18. <http://inmoov.fr>
19. [https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)
20. [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AC\\_%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AC_%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1)
21. <https://el.wikipedia.org/wiki/Arduino>
22. <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
23. <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-servo-hat-for-raspberry-pi/overview>
24. [https://www.felser.ch/profibus-manual/prinzip\\_des\\_master-slave.html](https://www.felser.ch/profibus-manual/prinzip_des_master-slave.html)
25. <https://www.elektronik-kompodium.de/sites/raspberry-pi/1907101.htm>



26. Stephens, Benjamin. "Integral control of humanoid balance." 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2007.
27. Lee, Sung-Hee, and Ambarish Goswami. "Ground reaction force control at each foot: A momentum-based humanoid balance controller for non-level and non-stationary ground." 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2010.
28. Stephens, Benjamin, and Christopher Atkeson. "Modeling and control of periodic humanoid balance using the linear biped model." 2009 9th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots. IEEE, 2009.
29. Hirose, Masato, and Kenichi Ogawa. "Honda humanoid robots development." *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 365.1850 (2006): 11-19.
30. Kryczka, Przemyslaw, et al. "Online regeneration of bipedal walking gait pattern optimizing footstep placement and timing." *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. IEEE, 2015.
31. <https://www.bostondynamics.com/atlas>
32. [www.electrooobs.com/eng\\_robotica\\_tut6\\_1.php](http://www.electrooobs.com/eng_robotica_tut6_1.php)
33. <https://robots.ieee.org/robots/coman/>

## Βιβλιογραφία Εικόνων

1. <http://www.allonrobots.com/cartesian-robots.html>
2. <http://www.allonrobots.com/cylindrical-robot.html>
3. <http://www.allonrobots.com/cylindrical-robot.html>
4. <https://epson.com>
5. <https://www.roboticautomationsystems.com/6-axis-robots.html>
6. <https://robot.cfp.co.ir/en/robots/parallell>
7. <http://www.robotpark.com/academy/all-types-of-robots/wheeled-robots/single-wheel-ball-robots>
8. (Odry, Ákos & Fodor, János & Odry, Peter. (2016). Stabilization of a Two-Wheeled Mobile Pendulum System using LQG and Fuzzy Control Techniques. *International Journal On Advances in Intelligent Systems*. 9. 223-232
9. <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/toyota-gets-back-into-humanoid-robots-with-new-thr3>
10. <https://robot.cfp.co.ir/en/robots/three-legged>
11. <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-hardware/this-robotics-startup-wants-to-be-the-boston-dynamics-of-china>
12. [http://www.hightechscience.org/lynxmotion\\_hexapod.htm](http://www.hightechscience.org/lynxmotion_hexapod.htm)



13. <https://asl.ethz.ch/research/swimming-robots.html>
14. <https://delair.aero/professional-drones-2/professional-mapping-drone-delair-ux11>
15. <http://www.allonrobots.com/mobile-spherical-robots.html>
16. <https://futurism.com/bio-swarm-robots>
17. <https://www.jameco.com/jameco/workshop/howitworks/how-servo-motors-work.html>
18. <https://www.jameco.com/jameco/workshop/howitworks/how-servo-motors-work.html>
19. <https://www.jameco.com/jameco/workshop/howitworks/how-servo-motors-work.html>
20. <https://www.jameco.com/jameco/workshop/howitworks/how-servo-motors-work.html>
21. <https://www.jameco.com/jameco/workshop/howitworks/how-servo-motors-work.html>
22. [http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki\\_G\\_2018\\_final/\\_0.html](http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki_G_2018_final/_0.html)
23. [http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki\\_G\\_2018\\_final/\\_0.html](http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki_G_2018_final/_0.html)
24. [http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki\\_G\\_2018\\_final/\\_0.html](http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki_G_2018_final/_0.html)
25. [http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki\\_G\\_2018\\_final/\\_0.html](http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki_G_2018_final/_0.html)
26. [http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki\\_G\\_2018\\_final/\\_0.html](http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki_G_2018_final/_0.html)
27. <https://www.raspberrypi.org/>
28. <https://www.raspberrypi.org/>
32. <http://www.wanhao3dprinter.com>
33. <http://anet.com/>
34. [http://www.eln.teilam.gr/sites/default/files/lesson08\\_1.pdf](http://www.eln.teilam.gr/sites/default/files/lesson08_1.pdf)
45. <https://diyprojects.io/activate-i2c-bus-raspberry-pi-3-zero/#.XVM7GegzZPZ>
46. <https://diyprojects.io/activate-i2c-bus-raspberry-pi-3-zero/#.XVM7GegzZPZ>
  
74. Stephens, Benjamin. "Integral control of humanoid balance." 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2007.
75. Stephens, Benjamin. "Integral control of humanoid balance." 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2007.
76. Stephens, Benjamin. "Integral control of humanoid balance." 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2007.



89. Kryczka, Przemyslaw, et al. "Online regeneration of bipedal walking gait pattern optimizing footstep placement and timing." 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2015.