

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1627



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

**ΣΧΕΔΙΑΣΗ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ
ΒΡΑΧΙΟΝΑ 5 ΒΑΘΜΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ ΜΕ
ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ ARDUINO**

ΑΘΑΝΑΣΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (6652)

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΛΑΧΟΠΟΥΛΟΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2018

©2018 - All rights reserved

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη, η σχεδίαση, η υλοποίηση της κατασκευής και ο προγραμματισμός, μέσω πλατφόρμας Arduino, ρομποτικού βραχίονα 5 βαθμών ελευθερίας με τελικό στοιχείο δράσης μια αρπάγη.

Αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην αναγκαιότητα και σκοπιμότητα για την κατασκευή των ρομπότ, στην εφαρμογή τους και εξέλιξή τους, καθώς και των θετικών και αρνητικών στοιχείων ενός ρομπότ.

Ακολούθως, θα γίνει αναφορά στην πλατφόρμα Arduino σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας της και τον λόγο που επιλέχθηκε για τον προγραμματισμό του ρομποτικού βραχίονα.

Για την μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή του ρομποτικού βραχίονα θα υπολογιστούν τα απαραίτητα μεγέθη για την επιλογή του υλικού και τις διαστάσεις που θα έχει ο σκελετός του, της κατάλληλης αρπάγης ως τελικό στοιχείο δράσης και των κατάλληλων σερβοκινητήρων που θα χρησιμοποιηθούν για την κίνηση του ρομποτικού βραχίονα.

Επίσης, θα γίνει μελέτη και έρευνα αγοράς για την επιλογή των υλικών χειρισμού του ρομποτικού βραχίονα.

Ακολούθως, πραγματοποιείται ο προγραμματισμός του ρομποτικού βραχίονα με την χρήση της πλατφόρμας Arduino μέσω της δικής της ψευδογλώσσας προγραμματισμού. Ταυτόχρονα, θα πραγματοποιηθεί ανάλυση των εντολών προγραμματισμού ώστε να είναι κατανοητό το πρόγραμμα που συντάχθηκε.

Τέλος, θα δοθούν τα τελικά συμπεράσματα και σχόλια.

Επίσης, σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος κ. Σταθάτο Ηλία που με έφερε σε επαφή με το Μηχανουργείο του Φυσικού του Πανεπιστημίου Πατρών. Και το Μηχανουργείο του Φυσικού του Πανεπιστημίου Πατρών που βοήθησε στην κατασκευή του ρομποτικού βραχίονα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος / Περίληψη	3
1 Εισαγωγή	8
1.1 Ο Όρος ρομπότ	8
1.2 Ρομποτική	8
1.3 Ιστορική αναδρομή	8
1.4 Τα είδη των ρομπότ	13
1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ρομπότ	18
2 Ρομποτικοί βραχίονες	19
2.1 Βαθμός ελευθερίας	19
2.2 Υλικά και δομή κατασκευής ρομποτικών βραχιόνων	20
2.2.1 Ο σκελετός	20
2.2.2 Συστήματα κίνησης	21
2.2.3 Τύποι αρθρώσεων	21
2.3 Τύποι ρομποτικού βραχίονα	23
3 Πλατφόρμα Arduino	25
3.1 Arduino Mega 2560 R3	26
3.1.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά	26
3.1.2 Τροφοδοσία	27
3.1.3 Επικοινωνία	27
3.1.4 Ο Μικροελεγκτής ATmega2560	28
3.2 Το λογισμικό του Arduino (IDE)	29
3.2.1 Εγκατάσταση λογισμικού σε Windows	30
3.3 Δομή της γλώσσας Wiring	31
4 Μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή του ρομποτικού βραχίονα	32
4.1 Επιλογή υλικού και σχεδίου βραχίονα	32
4.2 Κατασκευές από χειροκίνητα εργαλεία	37

4.2.1 Κατασκευή ρουλεμάν	37
4.2.2 Κατασκευή βάσεων σερβοκινητήρων με χειροκίνητα εργαλεία	39
4.3 Επιλογή σερβοκινητήρων	40
4.3.1 Υπολογισμός απαιτούμενης ροπής σερβοκινητήρων	40
4.4 Επιλογή τροφοδοσίας σερβοκινητήρων	44
4.5 Επιλογή αρπάγης	45
4.6 Επιλογή υλικών χειρισμού του ρομποτικού βραχίονα	46
4.7 Συναρμολόγηση βραχίονα	47
4.8 Σχεδιασμός κυκλώματος ρομποτικού βραχίονα	53
5 Προγραμματισμός κώδικα του ρομποτικού βραχίονα	54
6 Τελικά συμπεράσματα και σχόλια	63
Βιβλιογραφία	64

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ο ΟΡΟΣ ΡΟΜΠΟΤ

Ρομπότ ονομάζεται οποιαδήποτε μηχανική συσκευή που μπορεί να υποκαθιστά τον άνθρωπο σε διάφορες εργασίες. Η ετυμολογία της λέξης ρομπότ προέρχεται από την σλάβικη λέξη *robot* που σημαίνει εργασία. Ως όρος με την σημερινή του έννοια καθιερώθηκε το 1920 από τον Τσέχο συγγραφέα του θεάτρου Κάρελ Τσάπεκ. Ο οποίος με το θεατρικό έργο του σατιρίζει την εξάρτηση της κοινωνίας από τους μηχανικούς εργάτες (ρομπότ) της τεχνολογικής εξέλιξης που τελικά εξοντώνουν τους δημιουργούς τους.

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».

1.2 ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ

Ρομποτική είναι η επιστήμη η οποία ασχολείται με την μελέτη, την λειτουργία και την μελλοντική ανάπτυξη των ρομπότ. Στηρίζεται σε επιστήμες της μηχανολογίας, της ηλεκτρολογίας και των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Επίσης, η ρομποτική μελετά την αντικατάσταση των ανθρώπων, όπου αυτό είναι δυνατό, για την αποφυγή επικίνδυνου περιβάλλοντος και λαθών σε μια λεπτομερή κατασκευή.

1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Πολλές μυθολογίες, θρησκείες και κουλτούρες από όλο τον κόσμο αναφέρουν κάποιου είδους ανδρείκελου με τεχνητή νοημοσύνη ή μηχανικούς υπηρέτες. Η πρώτη παραβολή σε τέτοιου είδους ανδρείκελου γίνεται στην ελληνική μυθολογία με τον Τάλως. Υπάρχουν διαφορετικές εκδοχές σχετικά με την προσέλευσή του. Η πιο γνωστή εκδοχή αναφέρει πως ο Τάλως κατασκευάστηκε από τον θεό Ήφαιστο και χαρίστηκε στον βασιλιά Μίνωα για να φυλάει την Κρήτη. Ήταν γιγάντιος, το σώμα του αποτελούταν από χαλκό και ιχώρ (αίμα των θεών και αθάντων).



Εικόνα 1: Ο Τάλως από την ταινία "Ο Ιάσωνας και οι Αργοναύτες" του Ray Harryhausen.
(arduinobots.wordpress.com)

Άλλη μια κατασκευή του Ηφαίστου είναι επίσης οι αυτόματοι τρίποδες. Τους οποίς τους χρησιμοποιούσαν ως υπηρέτες οι θεοί. Ο μηχανισμός παραγωγής της κίνησης του τρίποδα αποτελούνταν από μια κλεψύδρα κυλινδρικής μορφής γεμάτη με κεχρί, ένα μολύβδινο βάρος τοποθετημένο εντός της κλεψύδρας, δύο σχοινιά που συνέδεαν το βάρος και τους άξονες των δύο πίσω τροχών με τη βοήθεια θηλιών και εγκάρσιων πείρων και το συρταρωτό διακόπτη έναρξης της κίνησης.



Εικόνα 2: Κατασκευή του αυτόματου τρίποδα από Φίλωνα και Ήρωνα για την υποθετική σύστασή τους. (kotsanas.com)

Το 1901 στα Αντικύθηρα, ένα νησί ανάμεσα στην Κρήτη και τα Κύθηρα, μια ομάδα δυτών ανακάλυψε κάποια αρχαία αντικείμενα. Ανάμεσα σε αυτά βρισκόταν και ο μηχανισμός των Αντικυθήρων. Είναι ο πρώτος αναλογικός υπολογιστής και το αρχαιότερο σωζόμενο μηχάνημα με γρανάζια. Σύμφωνα με την δομή των ελληνικών επιγραφών που φέρει χρονολογείται να κατασκευάστηκε μεταξύ το 150 π.Χ. και 100 π.Χ. Είναι κατασκευασμένος από μπρούντζο και βρισκόταν εγκιβωτισμένος σε ξύλινο πλαίσιο. Έχει προβληματίσει και συναρπάσει πολλούς ιστορικούς της επιστήμης και της τεχνολογίας αφότου ανακαλύφθηκε σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του. Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων είναι όργανο αστρονομικών παρατηρήσεων και παρουσιάζει ομοιότητες με πολύπλοκο ωρολογιακό μηχανισμό. Σχεδιάστηκε για να υπολογίζει και απεικονίζει τις κινήσεις των ουρανίων σωμάτων, τις εκλείψεις ηλίου και σελήνης, καθώς και φάσεις αυτής.



Εικόνα 3: Τα κομμάτια του μηχανισμού των Αντικυθήρων που διασώθηκαν. (namuseum.gr)

Το υδραυλικό ρολόι που επινοήθηκε από τον Κτησίβιο ήταν το πρώτο ρολόι που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και τη νύχτα, ή όταν η ημέρα είναι νεφελώδης. Βασίστηκε στην αρχή της κλεψύδρας και όπως περιγράφεται από τον Βιτρούβιο, είχε τρία συστατικά μέρη: μια δεξαμενή συλλέκτη, μια κλεψύδρα και μια δεξαμενή για να επιπλέει ένας πλωτήρας .



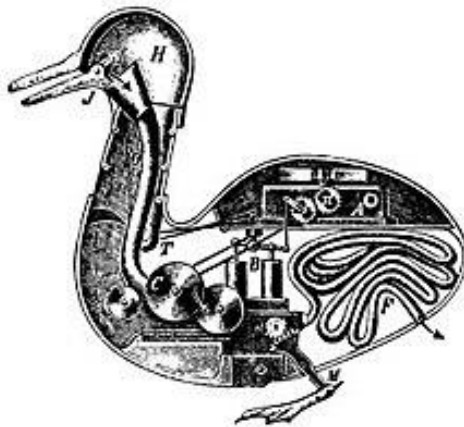
Εικόνα 4: Υδραυλικό ρολόι του Κτησίβιου, ανακατασκευή στο Τεχνολογικό Μουσείο Θεσσαλονίκης. (el.wikipedia.org)

Το 1495 ο Λεονάρντο Ντα Βίντσι σε μία γιορτή στο Μιλάνο παρουσίασε ένα ρομπότ τοποθετημένο σε μία μεσαιωνική πανοπλία. Το ρομπότ ήταν σχεδιασμένο να κάθεται και να σηκώνεται, να κουνάει τα χέρια του, και να σηκώνει το κλείστρο του κράνους του. Κατασκευές που έγιναν μετέπειτα με βάση τα χειρόγραφα του Ντα Βίντσι αποδεικνύουν ότι το ρομπότ ήταν λειτουργικό.



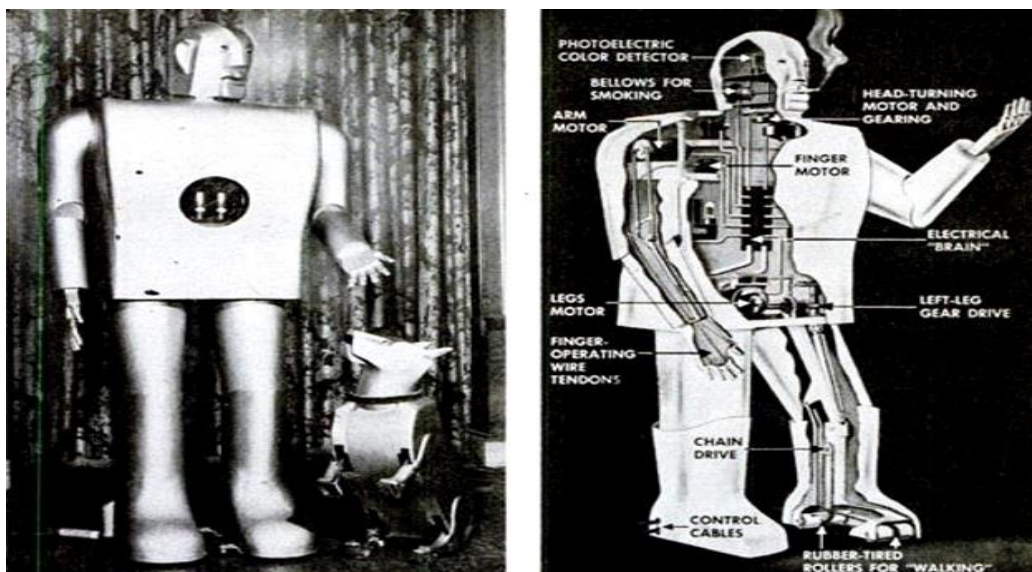
Εικόνα 5: Μοντέλο βασισμένο στο ρομπότ του Λεονάρντο σε έκθεση στο Βερολίνο. (en.wikipedia.org)

Η μεγαλύτερη δημιουργία του εφευρέτη και καλλιτέχνη Jacques de Vaucanson ήταν αναμφίβολα "Η Πάπια". Την κατασκεύασε το 1709 και είχε την δυνατότητα να κουνάει τα φτερά της, να τρώει, και να "χωνεύει" σπόρους σίτου. Το κάθε φτερό αποτελούταν από 400 κινούμενα μέρη. Στο εσωτερικό της πάπιας βρισκόταν ο μηχανισμός "πέψης", όπου στην πραγματικότητα είχε έναν χώρο αποθήκευσης των σπόρων και έναν δεύτερο χώρο που φυλάσσονταν τα "περιττώματα". Έτσι δημιουργούσε την ψευδαίσθηση ότι η μηχανική αυτή πάπια είχε πεπτικό σύστημα.



Εικόνα 6: Σχέδιο από έναν Αμερικάνο καλλιτέχνη για το πώς μπορεί να λειτουργούσε η πάπια του Vaucanson. (en.wikipedia.org)

Η Westinghouse Electric Corporation το 1937 με 1938 στις εγκαταστάσεις της στο Οχάιο κατασκεύασε τον Electro. Ήταν ένα ανθρωποειδές ρομπότ το οποίο μπορούσε να περπατήσει μέσω φωνητικών εντολών, να μιλήσει περίπου 700 λέξεις χρησιμοποιώντας ένα πικάπ, να καπνίζει τσιγάρα, και να κουνάει το κεφάλι του και τα χέρια του. Το ύψος του έφτανε τα 2,1 μέτρα και το βάρος του ήταν 120,2 κιλά. Το σώμα του αποτελούταν από ένα χαλύβδινο γρανάζι, ένα εκκεντροφόρο και έναν κινούμενο σκελετό καλυμμένο από αλουμίνιο.



Εικόνα 7: Ο μηχανισμός λειτουργίας του Electro. (muscleheaded.wordpress.com)

Το 1942 ο συγγραφέας επιστημονικής φαντασίας Ισαάκ Ασίμωφ, διατύπωσε τους τρεις νόμους της ρομποτικής στο βιβλίο του "Runaround". Στους νόμους αυτούς θα πρέπει να υπακούουν τα ρομπότ και είναι οι εξής:

- 1) Ένα ρομπότ δεν μπορεί να τραυματίσει ή μέσω της αδράνειας του να βλάψει ένα ανθρώπινο πλάσμα.
- 2) Ένα ρομπότ πρέπει να υπακούει στις εντολές που δίνονται από τους ανθρώπους, εκτός και αν αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο νόμο.
- 3) Ένα ρομπότ πρέπει να προστατεύει την ίδια του την ύπαρξη, εκτός και αν αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο ή το δεύτερο νόμο.

Σε μεταγενέστερα μυθιστορήματά του, ο Ασίμωφ έκανε κάποιες τροποποιήσεις στους τρεις νόμους για το πώς θα γίνει ακόμα καλύτερη η σχέση ανθρώπου-ρομπότ. Έτσι πρόσθεσε άλλον ένα νόμο, τον μηδενικό νόμο:

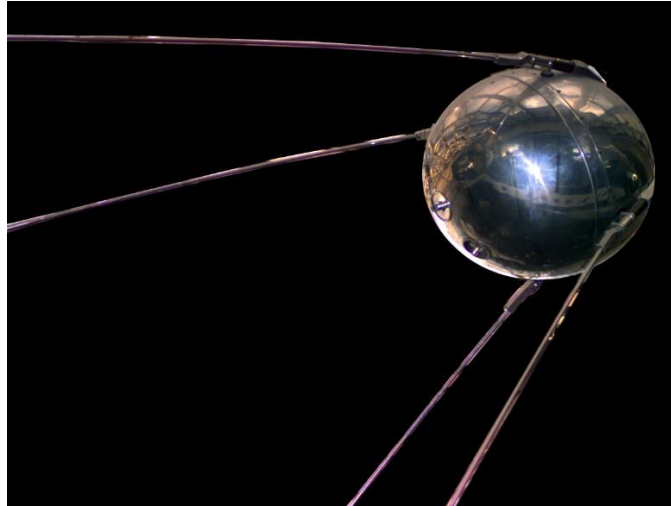
Το ρομπότ δε θα κάνει κακό στην ανθρωπότητα, ούτε με την αδράνειά του θα επιτρέψει να βλαφτεί η ανθρωπότητα.

Το πρώτο ρομπότ που χρησιμοποιήθηκε στην βιομηχανία ήταν το Unimate. Δημιουργήθηκε από τον George Devol το 1954 και χρησιμοποιήθηκε από την General Motors το 1961. Η κύρια του εργασία ήταν συγκολλήσεις σε μια γραμμή παραγωγής, η οποίες ήταν επικίνδυνες για τους ανθρώπους λόγω των αναθυμιάσεων. Το 1962 ο George Devol μαζί με τον Joseph Engelberger ίδρυσαν την πρώτη εταιρεία κατασκευής ρομπότ, την Unimation.



Εικόνα 8: Το Unimate στην τηλεοπτική εκπομπή "The Tonight Show". (robotics.org)

Η Σοβιετική Ένωση το 1957 έστειλε στο διάστημα τον πρώτο τεχνητό δορυφόρο, τον Σπούτνικ 1. Ήταν το πρώτο αποφασιστικό βήμα της ανθρωπότητας να εξερευνήσει το διάστημα. Ο δορυφόρος ουσιαστικά ήταν ένα μεταλλικό σώμα σφαιρικού σχήματος διαμέτρου 58 εκατοστών, και κατασκευασμένο από αλουμίνιο βάρους περίπου 83 κιλών. Η Σοβιετική Ένωση δεν έμεινε εκεί καθώς κατασκεύασε σύντομα τον Σπούτνικ 2, ο οποίος μετέφερε τον πρώτο ζωντανό οργανισμό στο διάστημα, έναν σκύλο με το όνομα Λάικα.



Εικόνα 9: Πιστό αντίγραφο του Σπούτνικ 1 στο National Air and Space Museum.
(en.wikipedia.org)

Ο Βίκτωρ Σίνμαν εφηύρε το 1969 τον πρώτο ηλεκτρικά τροφοδοτούμενο ρομποτικό βραχίονα γνωστός και ως "βραχίονας του Stanford". Είχε 6 βαθμούς ελευθερίας και οι κινήσεις του στον χώρο ήταν πιστές στις εντολές που δεχόταν από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Έτσι τα ρομπότ χρησιμοποιήθηκαν σε περισσότερες και δυσκολότερες εφαρμογές.



Εικόνα 10: Ο "βραχίονας του Stanford". (infolab.stanford.edu)

1.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

Οι εφαρμογές της ρομποτικής σήμερα είναι πάρα πολλές και αυτό οφείλεται στην ραγδαία εξέλιξη που έχει ο τομέας τα τελευταία χρόνια. Αποτέλεσμα αυτής της εξέλιξης είναι πολλοί επιστημονικοί και μη τομείς, να χρησιμοποιούν την ρομποτική τακτικά. Έτσι, τα ρομπότ έχουν μπει στην καθημερινότητα του ανθρώπου. Κάποιες εφαρμογές είναι δευτερεύουσας σημασίας, όπως μια αυτόνομη σκούπα για οικιακή χρήση, και κάποιες άλλες είναι

βαρύνουσας σημασίας όπως ένα χειρουργείο καρδιάς. Η ρομποτική βρίσκει εφαρμογή σήμερα:

- Στην βιομηχανία. Μια γραμμή παραγωγής σε ένα εργοστάσιο χρησιμοποιεί ως επι το πλείστον ρομπότ. Τα ρομπότ αυτά συνήθως είναι βραχίονες οι οποίοι είναι προγραμματισμένοι να επαναλαμβάνουν μια συγκεκριμένη κίνηση.
- Στην ιατρική. Συμβάλει σε δύσκολα χειρουργεία όπου η ακρίβεια είναι αναγκαία και το κάθε λάθος μπορεί αποβεί μοιραίο.
- Στις κατασκευαστικές εταιρείες. Καθώς όλο και περισσότερα μηχανήματα, όπως γερανοί, ελέγχονται μέσω τηλεχειριστηρίου. Έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμα και 3D εκτυπωτές για την κατασκευή ολόκληρου κτηρίου.
- Στον γεωργικό τομέα. Με ρομπότ αυτόματου ποτίσματος, ραντίσματος, κλαδέματος και σποράς.
- Στον κτηνοτροφικό τομέα. Τροφή και νερό στα ζώα δίνονται αυτόματα μέσω ρομπότ.
- Στην εξερεύνηση του διαστήματος. Όπως το Curiosity που πλέον βρίσκεται στον κρατήρα Γκέιλ στον Άρη, για να ερευνήσει την γεωλογία και το κλίμα του Άρη. Λαμβάνοντας αυτά τα στοιχεία μπορούμε να προσδιορίσουμε αν υπήρχε ποτέ ζωή στον Άρη και αν θα μπορούσε να φιλοξενήσει ανθρώπινη ζωή.
- Στην εξερεύνηση του βυθού της θάλασσας. Ένα από τα πιο αντίξοα περιβάλλοντα στη Γη για τον άνθρωπο είναι ο βυθός της θάλασσας. Για αυτό τον λόγο τα ρομπότ έχουν αναλάβει αυτό το δύσκολο έργο.
- Στον στρατό. Όπως αυτόνομα εναέρια ρομπότ, οχήματα κατάρριψης εναέριων απειλών (π.χ. αεροπλάνο), οχήματα κατασκοπείας κ.α.
- Στις οικείες πολιτών. Χρησιμοποιούνται ρομπότ για την καθαριότητα και την ασφάλεια της οικείας.
- Στην διασκέδαση. Με παιχνίδια ρομπότ όπως drones, τηλεχειριζόμενα οχήματα και βραχίονες. Ενώ υπάρχει και σαν άθλημα ρομπότ να μάχονται μεταξύ τους.
- Στην κινηματογραφική βιομηχανία. Όπου γίνεται χρήση τηλεχειριζόμενων γερανών και drones με ενσωματωμένη κάμερα.

1.4 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ

Κατά την πολυετή εξέλιξη της επιστήμης της ρομποτικής προέκυψαν διάφορα είδη ρομποτικών μηχανισμών, οι οποίοι διαφέρουν σημαντικά στη μορφή, αποτελούνται όμως από αντίστοιχα επιμέρους υποσυστήματα. Τα υποσυστήματα αυτά είναι το μηχανολογικό, της αίσθησης και το σύστημα ελέγχου. Τα είδη ρομπότ χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες. Τα Ρομπότ Σταθερής Βάσης και τα Κινούμενα Ρομπότ.

Τα Ρομπότ Σταθερής Βάσης αποτελούνται από διαδοχικά στερεά σώματα (σύνδεσμοι) που συνδέονται μέσω αρθρώσεων σχηματίζοντας μία κινηματική αλυσίδα. Η αλυσίδα αυτή έχει το ένα άκρο της (βάση) σταθερά συνδεδεμένο με κάποιο σημείο του περιβάλλοντος χώρου. Η μορφή αυτή ρομπότ είναι η παραδοσιακή μορφή ενός βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα, και περιλαμβάνει το βραχίονα, τον καρπό και το εργαλείο.



Εικόνα 11: Ρομπότ Σταθερής Βάσης στην γραμμή παραγωγής της εταιρείας Tesla.
(tesla.com)

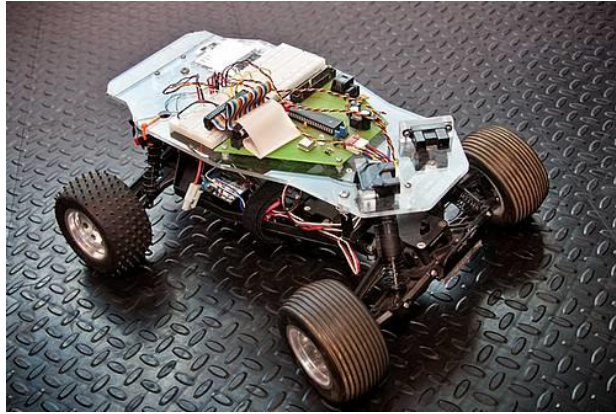
Κινούμενα ρομπότ χαρακτηρίζονται όλα εκείνα τα ρομπότ που έχουν τη δυνατότητα να μετακινήσουν όλα τα σημεία του μηχανισμού τους. Η δυνατότητα αυτή προσφέρεται από ειδικά συστήματα προώθησης, τα οποία μπορεί να είναι είτε απλά όπως τροχοί, είτε πολύπλοκα όπως jet, προπέλες, μηχανικά πόδια. Τα κινούμενα ρομπότ διακρίνονται σε επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό αυτονομίας κίνησής τους. Αυτές οι κατηγορίες είναι:

- 1) Τα AGVs (Automatic Guided Vehicles). Τα ρομπότ αυτά έχουν περιορισμένη αυτονομία κίνησης στον χώρο, καθώς η τροχιά τους είναι προκαθορισμένη είτε ακολουθώντας σημάδια ή καλώδια στο πάτωμα, είτε χρησιμοποιεί αισθητήρες όρασης, μαγνήτες ή λέιζερ.



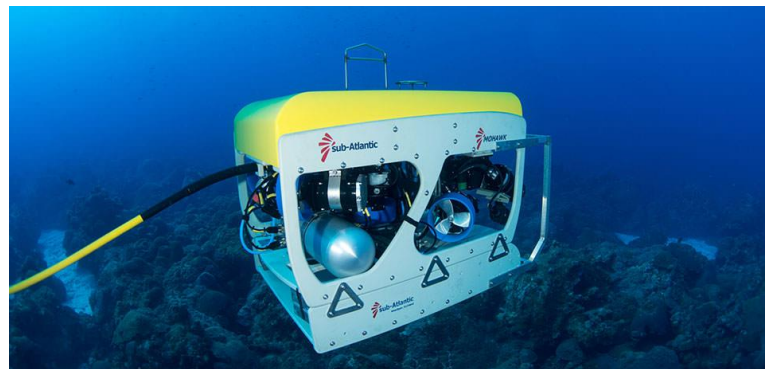
Εικόνα 12: AGV ρομπότ της εταιρείας KUKA. (robotnyheter.se)

- 2) Τα Αυτόνομα Έντροχα Ρομπότ. Κινούνται μέσω τροχών και λειτουργούν με αρκετά υψηλό βαθμό αυτονομίας. Μπορούν δηλαδή να λειτουργούν χωρίς συνεχή εξωτερική επίβλεψη και έχουν την ικανότητα να εκτελούν εργασίες αυτόνομα δεχόμενα μόνο ορισμένες υψηλού επιπέδου εντολές.



Εικόνα 13: Αυτόνομο έντροχο ρομπότ. (digipen.edu)

- 3) Τα ROVs (Remotely Operated Underwater Vehicles). Ανήκουν στην κατηγορία των μη επανδρωμένων υποβρύχιων ρομπότ. Δεν έχουν μεγάλο βαθμό αυτονομίας, μιας και είναι συνδεδεμένα με το μητρικό πλοίο μέσω καλωδίου, το οποίο τροφοδοτεί το ρομπότ με ενέργεια και ο ελέγχεται από αυτό. Τα ρομπότ αυτού του τύπου κινούνται γενικά σε χαμηλές ταχύτητες και έχουν σχήμα κουτιού.



Εικόνα 14: Ένα ROV ρομπότ. (rjeint.com)

- 4) Τα AUV (Autonomous Underwater Vehicles). Είναι ρομπότ που ταξιδεύουν υποβρύχια χωρίς την ανάγκη ελέγχου από κάποιο χειριστή. Ανήκουν και αυτά στην κατηγορία των μη επανδρωμένων υποβρύχιων ρομπότ όπως τα ROV. Είναι αυτόνομα στην κίνησή τους καθώς έχουν προγραμματιστεί να λειτουργούν μόνα τους. Αυτονομία επίσης έχουν και στην ενέργεια με την χρήση μπαταριών.



Εικόνα 15: AUV ρομπότ σε άσκηση του Αμερικάνικου Ναυτικού. (en.wikipedia.org)

- 5) Τα βαδίζοντα ρομπότ. Αυτή η κατηγορία των ρομπότ χρησιμοποιεί μηχανικά άκρα για την κίνησή τους. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης υλοποίησης είναι η μεγάλη δυνατότητα αποφυγής εμποδίων και η ικανότητα αναρρίχησης σε ανώμαλα εδάφη και μη επίπεδες επιφάνειες. Ενώ τα μειονεκτήματα αυτής της κατηγορίας είναι ότι καταναλώνουν πολύ ενέργεια και είναι αρκετά πολύπλοκα στην κατασκευή και τον προγραμματισμό. Αυτά τα ρομπότ συνήθως μιμούνται την κίνηση των ζώων. Για παράδειγμα ένα δίποδο μιμείται την κίνηση του ανθρώπου, ένα τετράποδο την κίνηση του σκύλου, ένα οκτάποδο την κίνηση μιας αράχνης κ.α. Επίσης, υπάρχουν τα υβριδικά ρομπότ που χρησιμοποιούν για την κίνησή τους πόδια αλλά και τροχούς. Αυτός ο συνδυασμός παρέχει την ταχύτητα και την αποδοτικότητα που έχουν τα έντροχα ρομπότ, ενώ τα πόδια παρέχουν την ευκινησία των βαδίζόντων ρομπότ.



Εικόνα 16: Το ανθρωποειδές ρομπότ της εταιρείας Honda. Ο ASIMO. (en.wikipedia.org)

- 6) Τα Εναέρια ρομπότ (UAV). Πρόκειται για μη επανδρωμένα ιπτάμενα ρομπότ, όπως ελικόπτερα και αεροπλάνα. Σήμερα είναι ευρέως γνωστά ως drones και οι εφαρμογές τους ολοένα και αυξάνονται. Η κίνησή τους είτε γίνεται μέσω χειριστηρίου από έναν χειριστή είτε αυτόνομα από προγραμματιζόμενους μικροελεγκτές που υπάρχουν πάνω στο σκάφος. Χρησιμοποιούνται κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς. Τα τελευταία χρόνια όμως, τα τετρακόπτερα έχουν γίνει δημοφιλή καθώς αποτελούν σχετικά φθηνές λύσεις για διασκέδαση, κινηματογράφηση, μεταφορά προϊόντων κ.α.



Εικόνα 17: Το τετρακόπτερο DJI Phantom 4 Pro. (en.wikipedia.org)

1.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ

Η τεχνολογία διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην καθημερινότητα του ανθρώπου, βοηθώντας τους να δουλέψουν πιο αποτελεσματικά. Δεδομένου ότι η αυτοματοποίηση έχει γίνει αναπόσπαστο μέρος των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων, μπορούμε να προβλέψουμε ότι τα ρομπότ σύντομα θα αντικαταστήσουν πολλές εργασίες που εκτελούνται σήμερα από ανθρώπους. Τώρα που ο εταιρικός κόσμος βρίσκεται στην αρχή της ρομποτικής εποχής, ας δούμε τι πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα προσφέρει αυτή η τεχνολογία στον επιχειρηματικό κόσμο.

- **Θετικά:**

- 1) Το πρώτο και το κύριο πλεονέκτημα της κατοχής ρομπότ στους χώρους εργασίας είναι το κόστος τους. Τα ρομπότ είναι πολύ φθηνότερα από τους ανθρώπους και το κόστος τους διαρκώς μειώνεται.
- 2) Τα ρομπότ μπορούν να ολοκληρώνουν ορισμένες εργασίες πιο γρήγορα και καλύτερα από τους ανθρώπους, καθώς έχουν σχεδιαστεί να εκτελούν αυτά τα καθήκοντα με υψηλότερο επίπεδο ακρίβειας.
- 3) Συνήθως οι άνθρωποι πρέπει να κάνουν διαλείμματα, αποσπάται η προσοχή και ο ρυθμός εργασίας επιβραδύνεται. Ενώ ένα ρομπότ μπορεί να λειτουργεί 24 ώρες το 24ωρο και συνεχίζει να τρέχει στο 100%. Συνήθως αν αντικαταστήσετε ένα άτομο σε μια διαδικασία κλειδί σε μια γραμμή παραγωγής με ένα ρομπότ, με τις ίδιες ώρες εργασίας, η παραγωγή αυξάνεται ραγδαία μόνο και μόνο επειδή ένα ρομπότ έχει περισσότερη αντοχή και δεν σταματά ποτέ. Τα ρομπότ επίσης δεν κάνουν αργίες, δεν έχουν απροσδόκητη ψυχολογία και δεν ασθενούν.
- 4) Χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποίηση διαδικασιών που κατά το παρελθόν θα μπορούσαν να έχουν πάρει πολύ περισσότερο χρόνο και πόρους, με αυτό τον τρόπο αυξάνεται ραγδαία η αποδοτικότητα μιας γραμμής παραγωγής.
- 5) Τα ρομπότ μπορούν να λειτουργούν σε οποιαδήποτε περιβαλλοντική κατάσταση, είτε αυτό το περιβάλλον είναι το διάστημα, κάτω από το νερό, σε ακραίες θερμοκρασίες, άνεμο κλπ. Τα ρομπότ μπορούν να χρησιμοποιηθούν παντού και έτσι διατηρείται η ανθρώπινη ασφάλεια.
- 6) Τα ρομπότ προγραμματίζονται από τον άνθρωπο, γι' αυτό και δεν μπορούν να αρνηθούν τίποτα, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κάθε επικίνδυνη και ανεπιθύμητη εργασία όπου ο άνθρωπος μπορεί να αρνηθεί να προσφέρει τις υπηρεσίες του. Δεν υπάρχει δηλαδή η προσωπικότητα των εργαζόμενων.
- 7) Λόγω των υψηλών επιπέδων ακρίβειας, τα ρομπότ μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή προϊόντων υψηλότερης ποιότητας τα οποία τηρούν ορισμένα πρότυπα ποιότητας, μειώνοντας παράλληλα τον απαιτούμενο χρόνο για τον ποιοτικό έλεγχο.

- **Αρνητικά:**

- 1) Μπορεί τα ρομπότ να αυξάνουν την αποδοτικότητα σε πολλές επιχειρήσεις, αυξάνουν όμως και το ποσοστό ανεργίας. Λόγω των ρομπότ, η ανθρώπινη εργασία δεν απαιτείται πλέον σε πολλά εργοστάσια και σε γραμμές παραγωγής, με αποτέλεσμα το ποσοστό απολύσεων να είναι μεγάλο τα τελευταία χρόνια.
- 2) Ενώ τα ρομπότ είναι εξαιρετικά για να εκτελούν πολλά καθήκοντα, όπως συμβαίνει με οποιοδήποτε άλλο είδος τεχνολογίας, χρειάζονται περισσότερη κατάρτιση και εμπειρογνώμοσύνη για την αρχική τους εγκατάσταση.
- 3) Τα τελευταία χρόνια ο αριθμός των ρομπότ και οι εφαρμογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυξήθηκαν σημαντικά. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί όσον αφορά τον τύπο των καθηκόντων που μπορούν να

εκτελέσουν. Σίγουρα μπορούν να χειριστούν τα καθορισμένα καθήκοντά τους, αλλά συνήθως δεν μπορούν να χειριστούν απρόβλεπτες καταστάσεις.

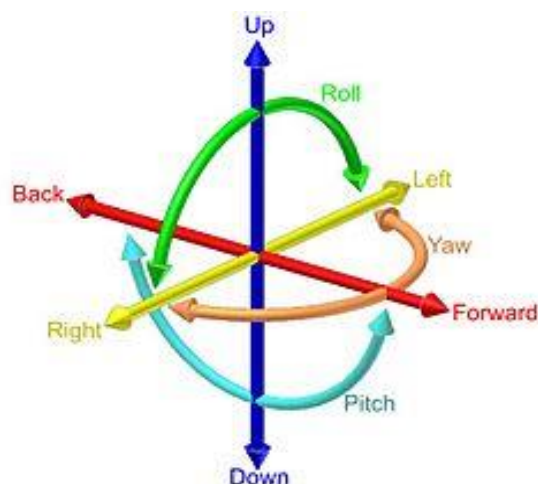
- 4) Τα ρομπότ μπορεί να έχουν τεχνητή νοημοσύνη, αλλά σίγουρα δεν είναι τόσο έξυπνα όσο οι άνθρωποι. Δεν μπορούν ποτέ να βελτιώσουν τη δουλειά τους εκτός του προκαθορισμένου προγραμματισμού επειδή απλά δεν μπορούν να σκεφτούν για τον εαυτό τους.
- 5) Μια γραμμή παραγωγής εκτός από ρομπότ στους χώρους εργασίας, απαιτούν ακόμα χειρωνακτική εργασία. Έτσι, η εκπαίδευση προσωπικού για το πώς να εργαστούν με τα ρομπότ είναι αναγκαία.
- 6) Για την ορθή λειτουργία τους απαιτείται τακτική συντήρηση, αναβαθμίσεις καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, και επαρκή χώρο εργασίας.

2.ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΙ ΒΡΑΧΙΟΝΕΣ

Ένας ρομπωτικός βραχίονας είναι ένας τύπος μηχανικού βραχίονα, συνήθως προγραμματιζόμενος, με παρόμοιες λειτουργίες με έναν ανθρώπινο βραχίονα. Ανάμεσα των άκαμπτων τμημάτων του ρομπωτικού βραχίονα υπάρχουν αρθρώσεις, που επιτρέπουν είτε την περιστροφική κίνηση είτε τη γραμμική μετατόπιση. Τα άκαμπτα τμήματα μαζί με τις αρθρώσεις δημιουργούν μία κινηματική αλυσίδα. Στην άκρη αυτής της αλυσίδας υπάρχει το τελικό σημείο δράσης. Το σημείο δράσης μπορεί να σχεδιαστεί για να εκτελέσει οποιαδήποτε επιθυμητή εργασία όπως συγκράτηση, συγκόλληση, βάψιμο κ.λπ., ανάλογα με την εφαρμογή. Ο βραχίονας μπορεί να είναι απλά εγκατεστημένος σε κάποια βάση ή μπορεί να είναι μέρος ενός πιο σύνθετου ρομπότ.

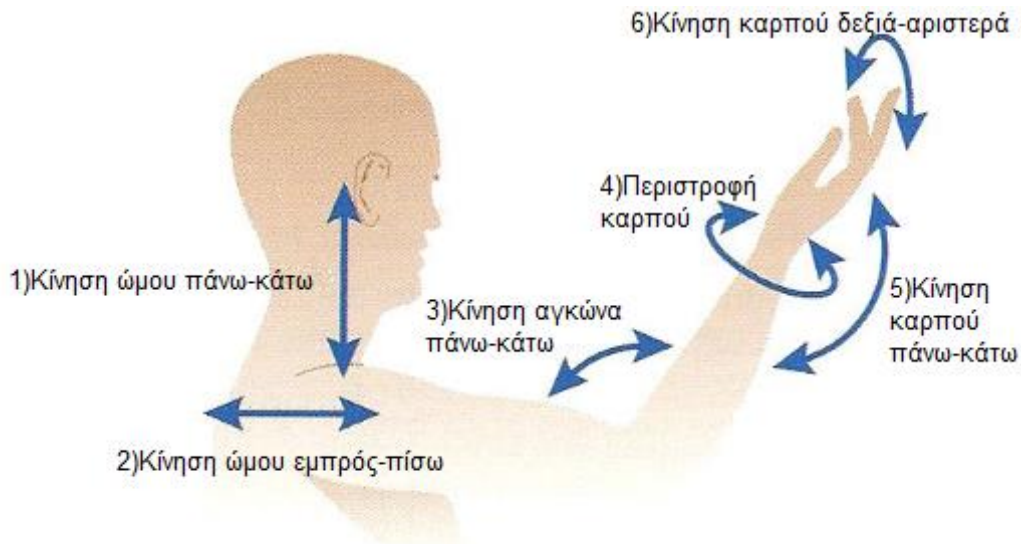
2.1 ΒΑΘΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ

Ο αριθμός ανεξάρτητων τρόπων με τους οποίους μπορεί να κινηθεί ένα δυναμικό σύστημα, χωρίς να παραβιάζεται οποιοσδήποτε περιορισμός επιβάλλεται σε αυτόν, ονομάζεται αριθμός βαθμών ελευθερίας. Με άλλα λόγια, ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας μπορεί να οριστεί ως ο ελάχιστος αριθμός ανεξάρτητων συντεταγμένων που μπορούν να καθορίσουν πλήρως τη θέση του συστήματος. Ένα άκαμπτο αντικείμενο μπορεί να κινηθεί στον τρισδιάστατο χώρο εμπρός-πίσω, πάνω-κάτω, δεξιά-αριστερά, και να περιστραφεί πάνω σε τρεις άξονες.



Εικόνα 18: Οι βαθμοί ελευθερίας ενός άκαμπτου σώματος. (en.wikipedia.org)

Ένα παράδειγμα ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητός ο ορισμός των βαθμών ελευθερίας είναι το ανθρώπινο χέρι. Όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 18), το ανθρώπινο χέρι έχει 6 βαθμούς ελευθερίας με τελικό σημείο δράσεις τα δάκτυλα. Αυτό σημαίνει ότι το ανθρώπινο χέρι έχει δυνατότητα κίνησης και περιστροφής στον τρισδιάστατο χώρο, αντίστοιχη των 6 βαθμών ελευθερίας του.



Εικόνα 19: Κίνηση ανθρώπινου χεριού. (sites.google.com)

Οι ρομποτικοί βραχίονες περιγράφονται από τους βαθμούς ελευθερίας τους. Αυτός ο αριθμός αναφέρεται στον αριθμό περιστροφικών αρθρώσεων ενός άξονα στον βραχίονα. Υψηλότερος αριθμός περιστροφικών αρθρώσεων ενός άξονα σημαίνει αυξημένη ευελιξία κίνησης στον χώρο.

2.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΒΡΑΧΙΟΝΩΝ

2.2.1 Ο ΣΚΕΛΕΤΟΣ

Ένας ρομποτικός βραχίονας θα πρέπει να έχει χαμηλό βάρος και να είναι ανθεκτικός στις καταπονήσεις. Βαρύνουσα σημασία σε αυτό έχει το υλικό κατασκευής του βραχίονα.

- Το πιο φθηνό, αρκετά ανθεκτικό και σχετικά εύκολο στην επεξεργασία υλικό είναι κάποιο ξύλο. Χρησιμοποιείται για μικρές και μεσαίες κατασκευές ρομπότ, όχι όμως από βιομηχανίες.
- Η επιλογή των περισσότερων κατασκευαστών όμως είναι τα συνθετικά πλαστικά, καθώς είναι τα ευκολότερα υλικά για επεξεργασία. Τα περισσότερα συνθετικά πλαστικά είναι ικανά να κάμπτονται μετά τη θέρμανση τους. Ωστόσο για την κοπή και την διάτρηση τους απαιτούνται χαμηλές στροφές από τα εργαλεία και κάποιο σύστημα ψύξης, ώστε να μην τήκεται το υλικό. Μερικά από αυτά τα συνθετικά πλαστικά είναι το PVC, το πλεξιγκλάς, το ακρυλικό, το πολυανθρακικό, το πλαστικό ακεταλικής ρητίνης και το πλαστικό από ρητίνη ουρεθάνης.

- Άλλη μια κατηγορία υλικών κατασκευής σκελετού ενός ρομποτικού βραχίονα, είναι τα μέταλλα ή κράματα μετάλλων. Είναι βαρύτερα, επεξεργάζονται δύσκολα και κοστίζουν περισσότερο από τα συνθετικά πλαστικά και τα ξύλα. Αν όμως χρειαζόμαστε ένα ρομπότ το οποίο θα είναι ανθεκτικό στις καταπονήσεις και σε αντίξοα περιβάλλοντα, τότε αναμφίβολα το υλικό κατασκευής θα ανήκει σε αυτή την κατηγορία. Τα συνηθέστερα αυτών είναι το αλουμίνιο, ο χαλκός, ο χάλυβας, ο μπρούντζος και ο ορείχαλκος.

2.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ

Το σύστημα κίνησης του ρομποτικού βραχίονα καθορίζει την ευελιξία και την ακρίβεια ενός ρομποτικού βραχίονα. Το σύστημα κίνησης μπορεί να είναι:

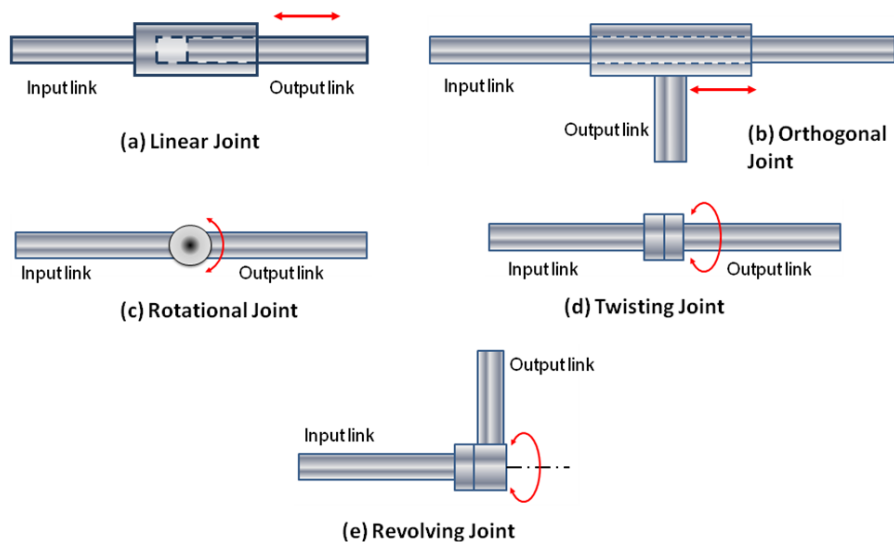
- Πνευματικό. Πολλοί από τους απλούς βραχίονες κινούνται με πεπιεσμένο αέρα. Αυτό τους καθιστά φτηνούς αλλά έχουν το μειονέκτημα ότι είναι δύσκολοι στον χειρισμό. Τα πνευματικά συστήματα εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε πολλά σύγχρονα ρομπότ για να κινούν τα τελικά σημεία δράσης.
- Υδραυλικό. Χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό στους πρώτους βραχίονες, καθώς ο έλεγχός του ήταν ευκολότερος από το πνευματικό σύστημα και παρείχε περισσότερη ισχύ από τους ηλεκτρικούς κινητήρες που υπήρχαν τότε. Το μεγαλύτερο πρόβλημα με το υδραυλικό σύστημα είναι ότι οι κινήσεις του είναι αργές.
- Ηλεκτρικό. Πλέον οι περισσότεροι ρομποτικοί βραχίονες κινούνται με ηλεκτροκινητήρες. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι ηλεκτροκινητήρων:
 - 1) Οι DC σερβοκινητήρες. Έχουν καλή απόδοση ισχύος με υψηλό βαθμό ελέγχου τόσο της ταχύτητας όσο και της θέσης.
 - 2) Οι AC σερβοκινητήρες. Δίνουν μεγαλύτερη ισχύ εξόδου από τους DC σερβοκινητήρες και είναι σχεδόν αθόρυβοι. Δεν έχουν ψήκτρες και δεν χρειάζονται σχεδόν καθόλου συντήρηση.
 - 3) Οι βηματικοί κινητήρες. Αποτελεί μια οικονομική επιλογή αλλά υστερούν σε ισχύ και ακρίβεια κινήσεων.

2.2.3 ΤΥΠΟΙ ΑΡΘΡΩΣΕΩΝ

Σημαντικό ρόλο στους βαθμούς ελευθερίας ενός ρομποτικού βραχίονα έχουν οι τύποι αρθρώσεων που χρησιμοποιεί. Υπάρχουν 5 βασικοί τύποι αρθρώσεων:

- 1) Linear joint (Γραμμική άρθρωση): Παρέχει γραμμική ολίσθηση ανάμεσα σε δύο συνδέσμους. Επιτρέπει την κίνηση σε έναν άξονα στον τρισδιάστατο χώρο, έχει δηλαδή ένα βαθμό ελευθερίας. Συνήθως σε αυτόν τον τύπο άρθρωσης, το σύστημα κίνησης είναι υδραυλικό ή πνευματικό.
- 2) Orthogonal joint (Ορθογώνια άρθρωση): Και σε αυτό τον τύπο άρθρωσης έχουμε ολίσθηση ανάμεσα σε δυο συνδέσμους. Η ειδοποιός διαφορά είναι ότι οι σύνδεσμοι σχηματίζουν μεταξύ τους μια γωνία 90 μοιρών.
- 3) Rotational joint (Περιστροφική άρθρωση): Οι σύνδεσμοι σε αυτή την περίπτωση κινούνται περιστροφικά σε έναν άξονα, δημιουργώντας μια μεταβλητή γωνία μεταξύ τους αντίστοιχη της περιστροφής.
- 4) Twisting joint (Άρθρωση στρέψης): Οι σύνδεσμοι είναι στην ίδια ευθεία οι οποίοι στρέφονται μεταξύ τους. Κατά την διάρκεια της κίνησης, οι σύνδεσμοι είναι κάθετοι στον άξονα περιστροφής.

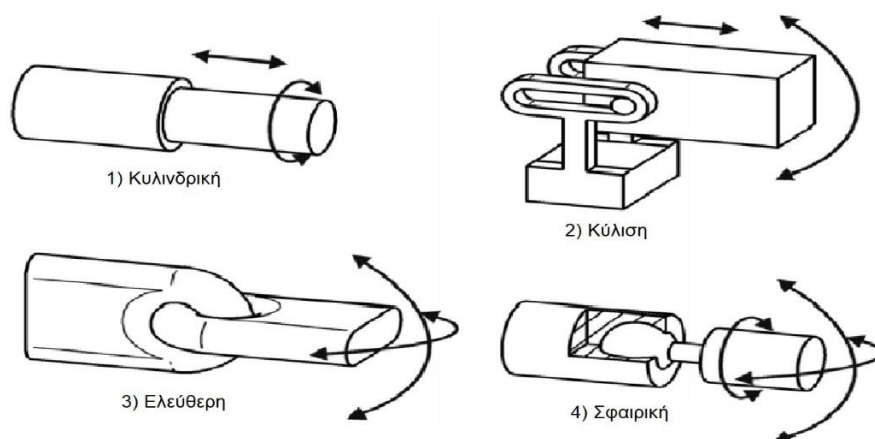
- 5) Revolving joint (Περιστρεφόμενη άρθρωση): Σε αυτό τον τύπο άρθρωσης οι σύνδεσμοι σχηματίζουν μεταξύ τους 90 μοίρες. Έτσι, έχουμε ένα παράλληλο και ένα κάθετο σύνδεσμο, στον άξονα περιστροφής.



Εικόνα 20: Οι πέντε βασικοί τύποι αρθρώσεων. (nptel.ac.in)

Το μειονέκτημα αυτών των τύπων αρθρώσεων, είναι ότι προσφέρει ένα βαθμό ελευθερίας η κάθε άρθρωση αντίστοιχα. Για αυτό τον λόγο κατασκευάστηκαν σύνθετες αρθρώσεις οι οποίες μπορούν να δώσουν έως τρεις βαθμούς ελευθερίας. Οι σύνθετες αρθρώσεις είναι:

- 1) Κυλινδρική άρθρωση: Είναι ένας συνδυασμός γραμμικής άρθρωσης και άρθρωσης στρέψης. Η κυλινδρική άρθρωση δύο βαθμούς ελευθερίας.
- 2) Άρθρωση κύλισης: Και αυτός ο τύπος σύνθετης άρθρωσης είναι συνδυασμός δύο βασικών αρθρώσεων, της γραμμικής και της περιστροφικής άρθρωσης. Παρέχει δύο βαθμούς ελευθερίας.
- 3) Ελεύθερη άρθρωση: Επιτρέπει την περιστροφή των συνδέσμων σε δύο άξονες και προσφέρει δύο βαθμούς ελευθερίας.
- 4) Σφαιρική άρθρωση: Δίνει τρεις βαθμούς ελευθερίας, καθώς επιτρέπει όλες τις περιστροφικές κινήσεις.

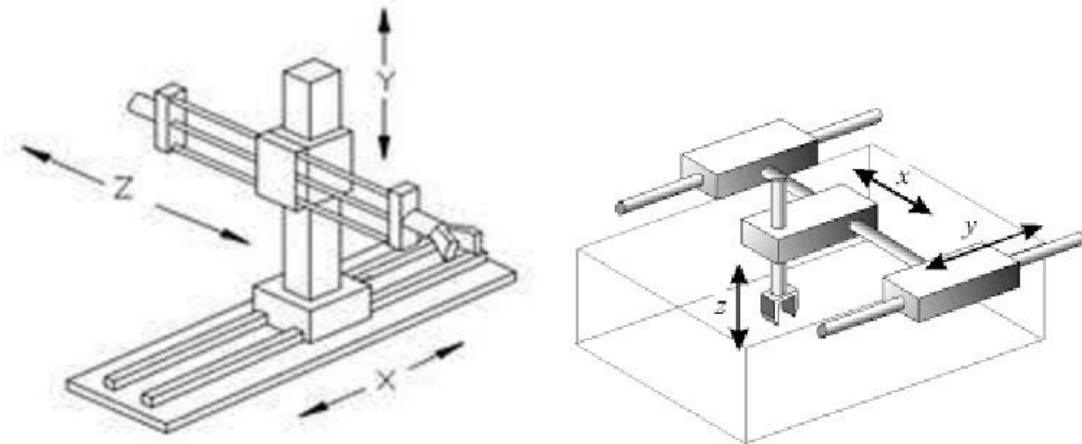


Εικόνα 21: Τύποι σύνθετων αρθρώσεων. (eln.teilam.gr)

2.3 ΤΥΠΟΙ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

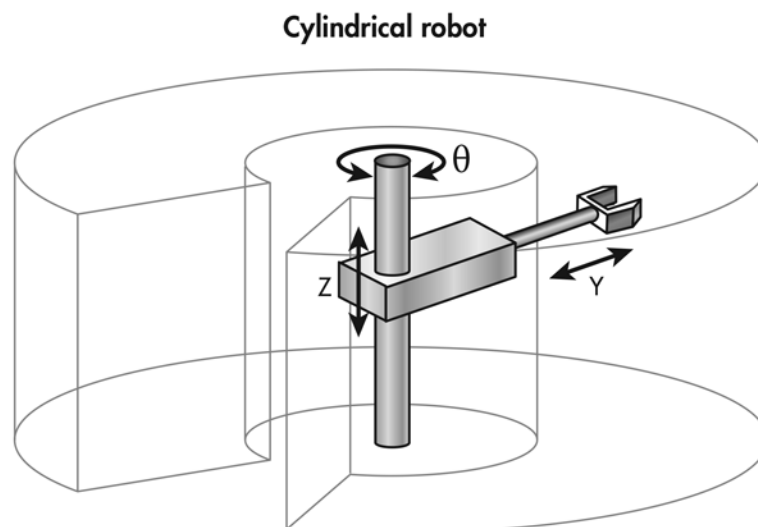
Οι ρομποτικοί βραχίονες ομαδοποιούνται σε κατηγορίες ανάλογα με το συνδυασμό των αρθρώσεων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τους και τον χώρο εργασίας που καταλαμβάνουν. Υπάρχουν πέντε τύποι βραχιόνων ρομπότ που χρησιμοποιούνται σήμερα:

- 1) Καρτεσιανός βραχίονας/Βραχίονας Gantry: Συγκροτούνται από τρεις γραμμικούς άξονες ελέγχου οι οποίοι βρίσκονται σε ορθή γωνία μεταξύ τους. Ως χώρο εργασίας έχουν ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο και η χρήση τους είναι περιορισμένη λόγω της μικρής ευλυγισίας κινήσεων που παρέχει. Οι δημοφιλέστερες εφαρμογές είναι τα CNC μηχανήματα, οι 3D εκτυπωτές, οι γερανογέφυρες και τα plotter μηχανήματα.



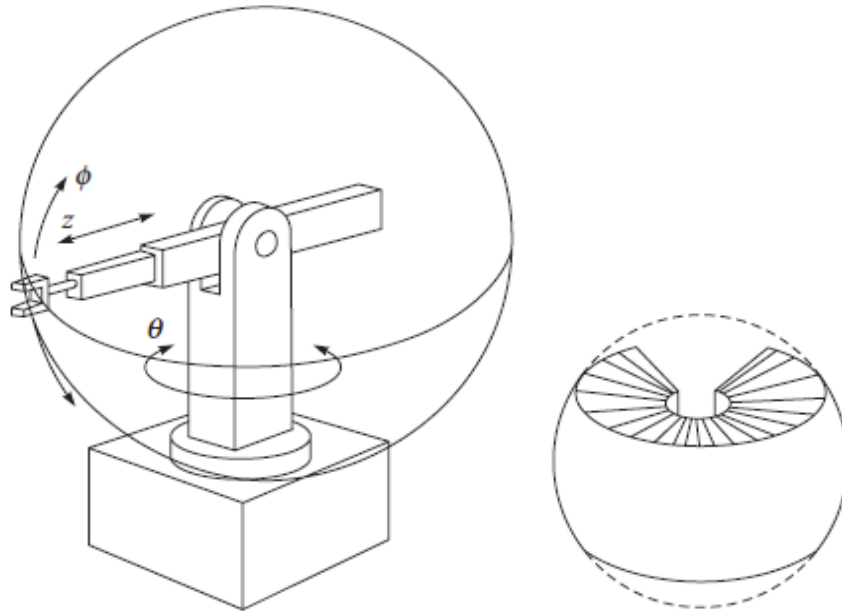
Εικόνα 22: Καρτεσιανοί βραχίονες. (prime.jsc.nasa.gov και gr.pinterest.com)

- 2) Κυλινδρικός βραχίονας: Και αυτός ο τύπος ρομποτικού βραχίονα αποτελείται από τρεις βαθμούς ελευθερίας. Δύο γραμμικές κινήσεις που σχηματίζουν 90 μοίρες μεταξύ τους, και μια περιστροφική κίνηση στην βάση του βραχίονα. Ο χώρος εργασίας είναι κυλινδρικός και μεγάλο του μειονέκτημα είναι ότι βρίσκεται μέσα στον χώρο εργασίας. Χρησιμοποιείται σε εργασίες συναρμολόγησης, συγκόλλησης και μεταφορά αντικειμένων.



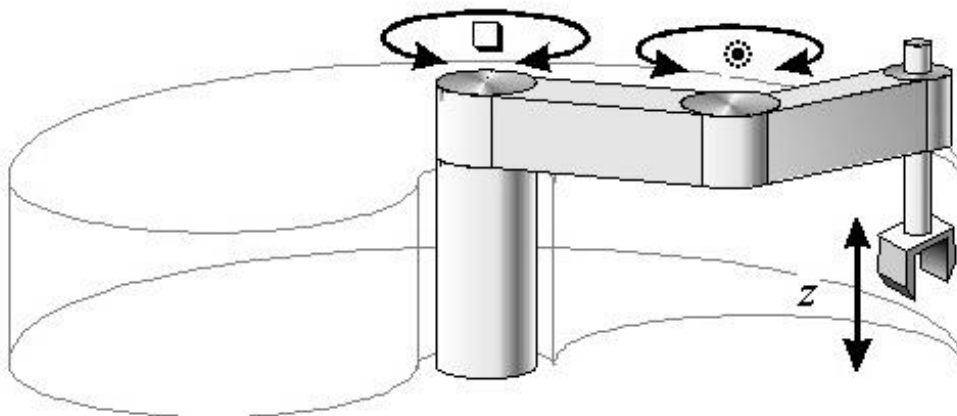
Εικόνα 23: Κυλινδρικός βραχίονας. (machinedesign.com)

- 3) Σφαιρικός βραχίονας: Γνωστός και ως ρομποτικός βραχίονας πολικών συντεταγμένων. Αποτελείται από δυο περιστροφικές κινήσεις και μία γραμμική κίνηση. Ο χώρος εργασίας του σφαιρικού βραχίονα είναι μία μερική σφαίρα που έχει ακτίνες διαφόρου μήκους. Και σε αυτή την περίπτωση έχουμε την βάση του βραχίονα να εισέρχεται στον χώρο εργασίας. Οι κύριες εφαρμογές χρήσης τους είναι μεταφορές αντικειμένων, συγκολλήσεις και συναρμολογήσεις.



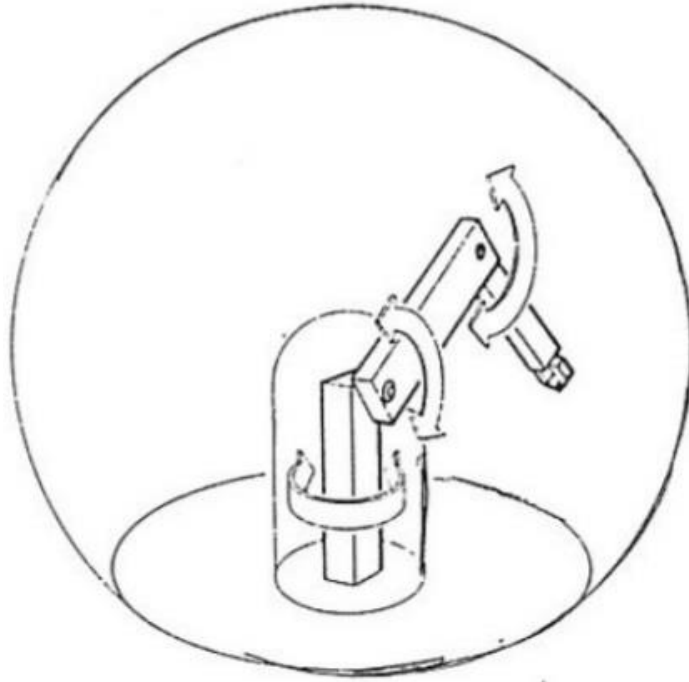
Εικόνα 24: Σφαιρικός βραχίονας. (spivn.blogspot.com)

- 4) Βραχίονας SCARA: Πρόκειται για άλλη μια κατηγορία βραχίονα με τρεις βαθμούς ελευθερίας, με δύο περιστροφικές κινήσεις και μία γραμμική. Η ειδοποιός διαφορά όμως με τον προηγούμενο τύπο βραχίονα, είναι ότι οι περιστροφικές αρθρώσεις του είναι τοποθετημένοι παράλληλα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουμε μεγαλύτερη ακρίβεια κινήσεων.



Εικόνα 25: Βραχίονας SCARA. (www.intorobotics.com)

- 5) Ανθρωπόμορφος βραχίονας: Είναι ο δημοφιλέστερος τύπος βραχίονα, καθώς χρησιμοποιείται σε περισσότερες εφαρμογές και παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια κινήσεων από τους άλλους τύπους. Ο βραχίονας συνδέεται στη βάση με μια άρθρωση περιστροφής. Οι σύνδεσμοι του βραχίονα συνδέονται και αυτοί με περιστροφικές αρθρώσεις. Οι περιστροφικές αρθρώσεις μπορούν να αντικατασταθούν από ελεύθερες ή σφαιρικές αρθρώσεις, παρέχοντας μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας στην κάθε άρθρωση. Ο χώρος εργασίας του έχει την μορφή ενός τμήματος σφαίρας. Οι βιομηχανικοί ανθρωπόμορφοι βραχίονες έχουν συνήθως τέσσερις με έξι βαθμούς ελευθερίας.



Εικόνα 25: Ανθρωπόμορφος βραχίονας. (www.slideshare.net)

3. ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ARDUINO

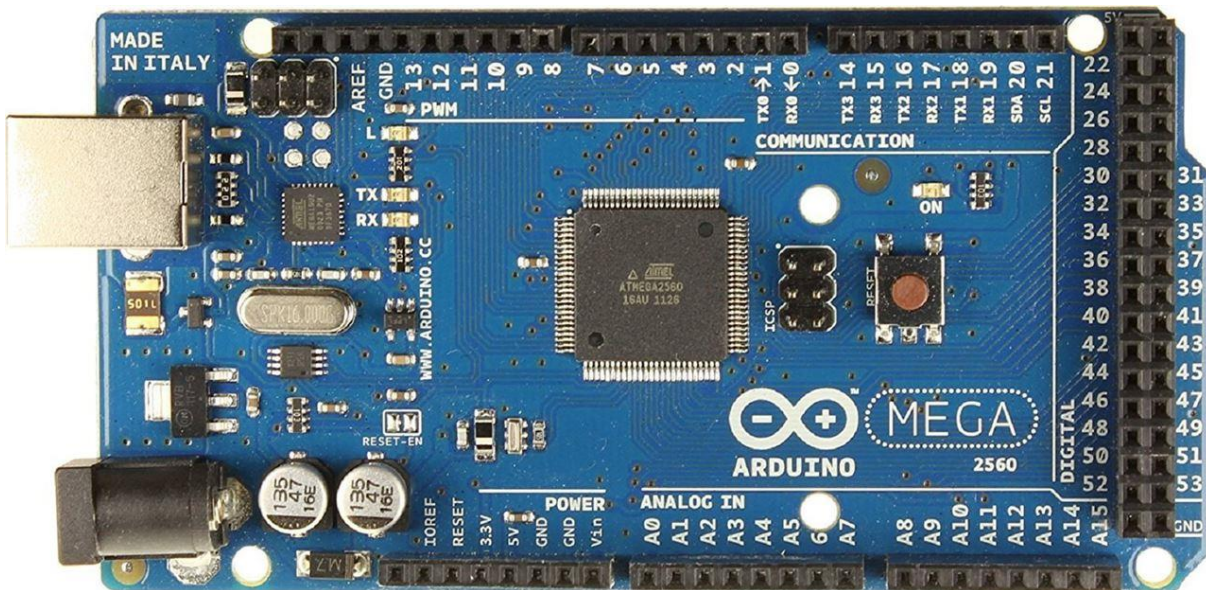
Πρόκειται για μία πλατφόρμα ανάπτυξης ανοικτού κώδικα. Δηλαδή, μια μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία προγραμματίζεται με τη γλώσσα Wiring. Η γλώσσα Wiring ουσιαστικά είναι μια απλοποιημένη μορφή της γλώσσας προγραμματισμού C++ και ένα σύνολο βιβλιοθηκών, επίσης βασισμένων στην C++. Η χρήση της συγκεκριμένης γλώσσας προσφέρει ευκολία και ταχύτητα στην ανάπτυξη εφαρμογών. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της πλατφόρμας Arduino σε σχέση με άλλες πλατφόρμες είναι:

- 1) Το χαμηλό κόστος: Οι πλακέτες Arduino είναι σχετικά φθηνές, σε σύγκριση με άλλες πλατφόρμες μικροελεγκτών. Μπορούμε επίσης να συναρμολογήσουμε μια πλακέτα Arduino, αφού το διάγραμμα και πληροφορίες για το υλικό είναι ελεύθερα διαθέσιμα, μειώνοντας ακόμα περισσότερο το κόστος.

- 2) Το απλό και σαφές περιβάλλον προγραμματισμού: Το λογισμικό Arduino (IDE) είναι εύκολο στη χρήση για αρχάριους, αρκετά ευέλικτο όμως για να επωφεληθούν και οι γνώστες του αντικειμένου.
- 3) Η υψηλή συμβατότητα: Το λογισμικό Arduino (IDE) λειτουργεί σε λειτουργικά συστήματα Windows, Macintosh OSX και Linux. Ενώ, τα περισσότερα λογισμικά συστημάτων μικροελεγκτών λειτουργούν σε ένα μόνο λειτουργικό σύστημα.
- 4) Ο ανοικτός κώδικας: Ο καθένας μπορεί να βρει ένα κώδικα στο διαδίκτυο και να τον προσαρμόσει ανάλογα με την εφαρμογή, να δημιουργήσει δικές του βιβλιοθήκες ακόμα και να επεξεργαστεί το περιβάλλον ανάπτυξης.

3.1 ARDUINO MEGA 2560 R3

Η πλακέτα Arduino Mega 2560 R3 πήρε το όνομά της από τον βασικό μικροελεγκτή που χρησιμοποιεί, τον ATmega2560 της εταιρείας Atmel. Είναι η πλακέτα που θα χρησιμοποιήσουμε για τον έλεγχο του ρομποτικού βραχίονα. Οι βασικοί λόγοι προτίμησης αυτής της πλακέτας από άλλες παρόμοιες (π.χ. Arduino Uno), είναι ότι παρέχει περισσότερες εισόδους/ εξόδους, μεγαλύτερη χωρητικότητα μνήμης, και PWM εξόδους με μεγαλύτερο εύρος τιμών.



Εικόνα 26: Η πλακέτα Arduino Mega 2560 R3. (hobbyandyou.com)

3.1.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Έχει 54 ψηφιακές εισόδους / εξόδους (από τις οποίες 14 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι PWM), 16 αναλογικές εισόδους, 4 UART (σειριακές θύρες hardware πομπού/δέκτη), ένα ηλεκτρονικό ταλαντωτή 16 MHz, μια θύρα USB, μια υποδοχή τροφοδοσίας, μια θύρα ICSP και ένα κουμπί επαναφοράς(reset). Επίσης, περιέχει όλα τα απαραίτητα για την ορθή λειτουργία του μικροελεγκτή.

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Εικόνα 27: Τεχνικά χαρακτηριστικά Arduino Mega 2560 R3 (safaribooksonline.com)

3.1.2 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ

Το Arduino Mega 2560 R3 μπορεί να τροφοδοτηθεί μέσω της θύρας USB ή με εξωτερικό τροφοδοτικό. Η επιλογή τρόπου τροφοδοσίας αναγνωρίζεται αυτόματα. Η τροφοδοσία από εξωτερική πηγή μπορεί να προέρχεται είτε από τροφοδοτικό πρίζας AC σε DC, είτε από μπαταρίες μέσω βύσματος 2.1mm. Η πλακέτα μπορεί να λειτουργεί με εξωτερική τροφοδοσία από 6 έως 20 Volt. Το προτεινόμενο εύρος τιμών είναι 7 έως 12 βολτ. Το κύκλωμα τροφοδοσίας είναι μια σειρά από ανορθωτικές διατάξεις, που μετατρέπουν και σταθεροποιούν την τάση εξωτερικής τροφοδοσίας, στην τάση λειτουργίας της πλακέτας η οποία έχει τιμή 5V.

Επίσης υπάρχουν οι εξής ακροδέκτες τάσης:

- 1) Vin: Χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του Arduino Mega 2560 R3 μέσω τροφοδοτικού ή μπαταριών.
- 2) 5V: Η ρυθμισμένη έξοδος τάσης που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των εξωτερικών υλικών κάθε εφαρμογής.
- 3) 3.3V: Άλλη μια ρυθμισμένη τάση εξόδου που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των εξωτερικών υλικών κάθε εφαρμογής.
- 4) GND: Ακροδέκτης γείωσης.
- 5) IOREF: Είναι μια τάση αναφοράς την οποία χρησιμοποιούν τα shields, ώστε να γνωρίζουν ποια επίπεδα τάσης να αναμένουν στους ακροδέκτες I/O από το Arduino, 5V ή 3.3V.

3.1.3 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

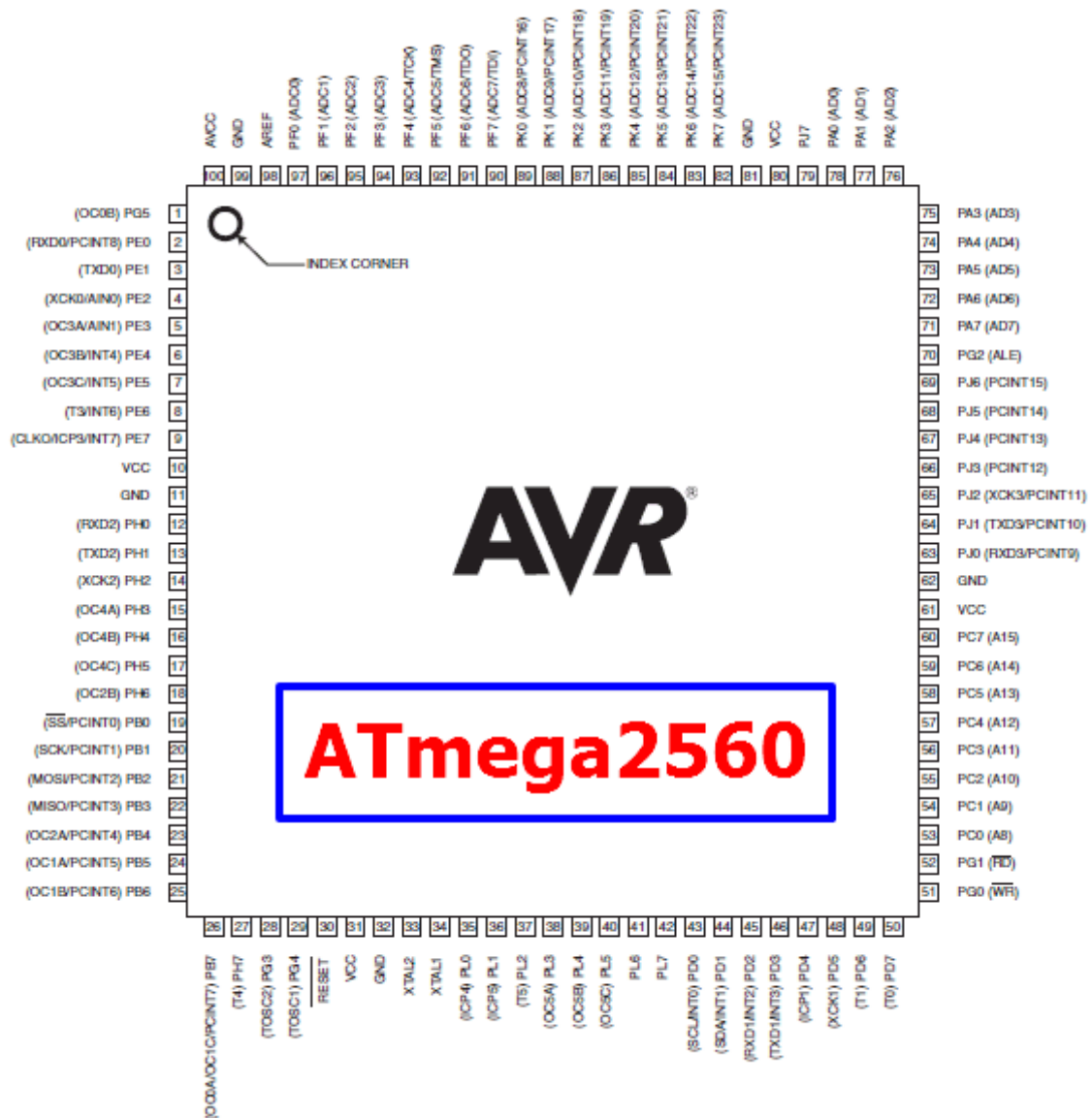
Το Arduino Mega2560 διαθέτει μια σειρά από τρόπους επικοινωνίας με έναν υπολογιστή, ένα άλλο Arduino ή άλλους μικροελεγκτές. Το ATmega2560 παρέχει τέσσερις UART θύρες για σειριακή επικοινωνία TTL. Ένας μικροελεγκτής ATmega8U2 συνδέει μια από τις UART θύρες μέσω USB στον υπολογιστή, και παρέχει μια εικονική COM θύρα στο λογισμικό του

υπολογιστή. Το λογισμικό του Arduino περιλαμβάνει μια σειριακή οθόνη που επιτρέπει την αποστολή απλών δεδομένων κειμένου προς και από την πλακέτα. Τα LED RX και TX της πλακέτας, αναβοσβήνουν όταν τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω του μικροελεγκτή ATmega8U2 στον υπολογιστή. Μια βιβλιοθήκη λογισμικού επιτρέπει την σειριακή επικοινωνία σε οποιαδήποτε από τους ψηφιακούς ακροδέκτες του Mega2560. Ο μικροελεγκτής ATmega2560 υποστηρίζει επίσης την επικοινωνία I2C (TWI) και SPI. Το λογισμικό Arduino περιλαμβάνει μια βιβλιοθήκη Wire για να απλοποιήσει τη χρήση του διαύλου I2C. Για την SPI επικοινωνία, υπάρχει η βιβλιοθήκη SPI.

3.1.4 Ο ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ ATMEGA2560

Είναι ένας χαμηλής ισχύος μικροελεγκτής CMOS 8-bit, ανήκει στην κατηγορία AVR της εταιρείας Atmel, αρχιτεκτονικής RISC. Εκτελώντας ισχυρές εντολές, σε ένα μόνο κύκλο ρολογιού, η συσκευή επιτυγχάνει απόδοση περίπου 1 MIPS ανά MHz, εξισορροπώντας την κατανάλωση ενέργειας και την ταχύτητα επεξεργασίας.

Figure 1-1. TQFP-pinout ATmega640/1280/2560

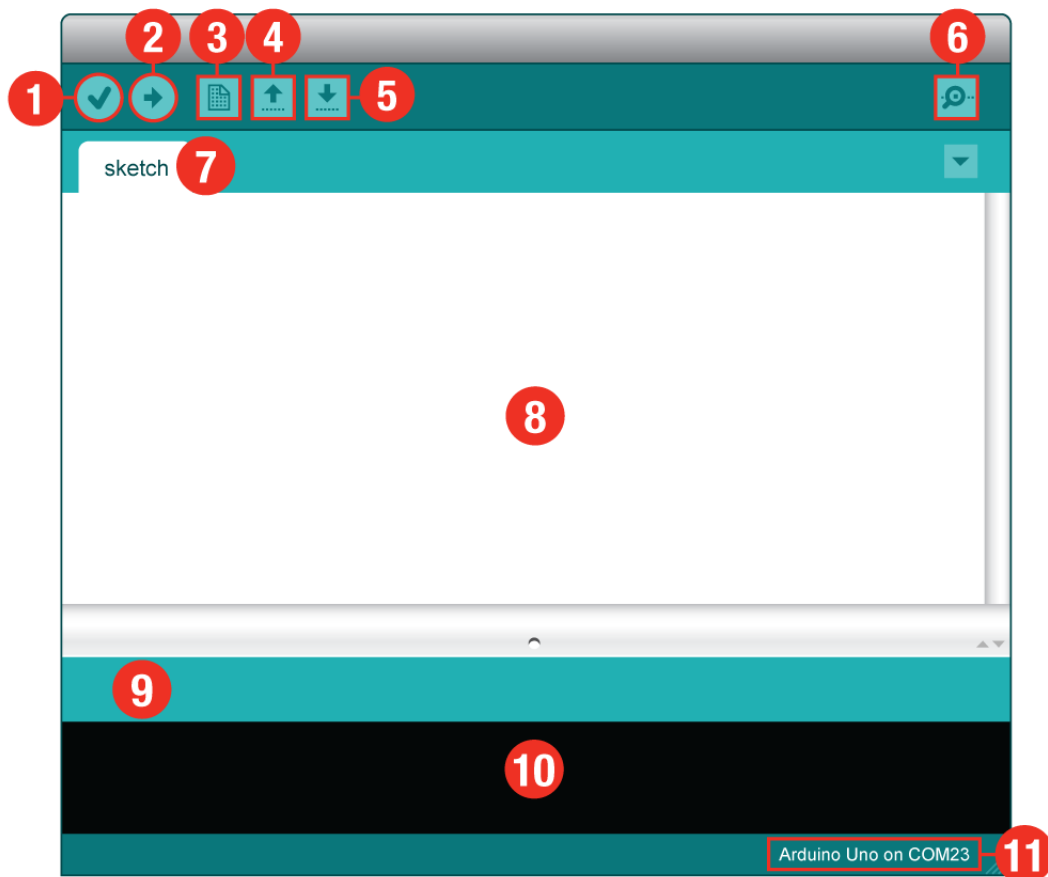


Εικόνα 28: Οι ακροδέκτες του ATmega2560. (datasheetcafe.com)

Ο μικροελεγκτής ATmega2560 παρέχει 256KB ISP μνήμη flash, 8KB SRAM, 4KB EEPROM, 86 γενικής χρήσης I / O γραμμές, 32 καταχωρητές εργασίας γενικού σκοπού, μετρητής πραγματικού χρόνου, έξι ευέλικτους χρονομετρητές / μετρητές, PWM, τέσσερις USART και έναν 16-channel μετατροπέα 10-bit A/D. Τέλος επιτυγχάνει απόδοση 16 MIPS στα 16 MHz και λειτουργεί μεταξύ 4,5-5,5 βολτ.

3.2 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΟΥ ARDUINO (IDE)

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης του Arduino (IDE), παρέχεται δωρεάν από την επίσημη ιστοσελίδα του Arduino. Είναι μια εφαρμογή για πολλά λειτουργικά συστήματα (όπως Windows, Linux, macOS) και είναι δομημένο με την γλώσσα προγραμματισμού Java. Ενώ, ο προγραμματισμός του χρήστη γίνεται μέσω της γλώσσας Wiring. Περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα με δυνατότητες όπως κοπή και επικόλληση κειμένου, αναζήτηση και αντικατάσταση κειμένου, αυτόματη εσοχή, αντιστοίχιση αγκυλών και επισήμανση κειμένου. Επίσης, με ευκολία μπορεί να μεταγλωττίσει (compile) και να μεταφορτώσει (upload) προγράμματα, σε μια πλακέτα Arduino. Περιέχει μια περιοχή μηνυμάτων, μια κονσόλα κειμένου και μια γραμμή εργαλείων για βασικές λειτουργίες.



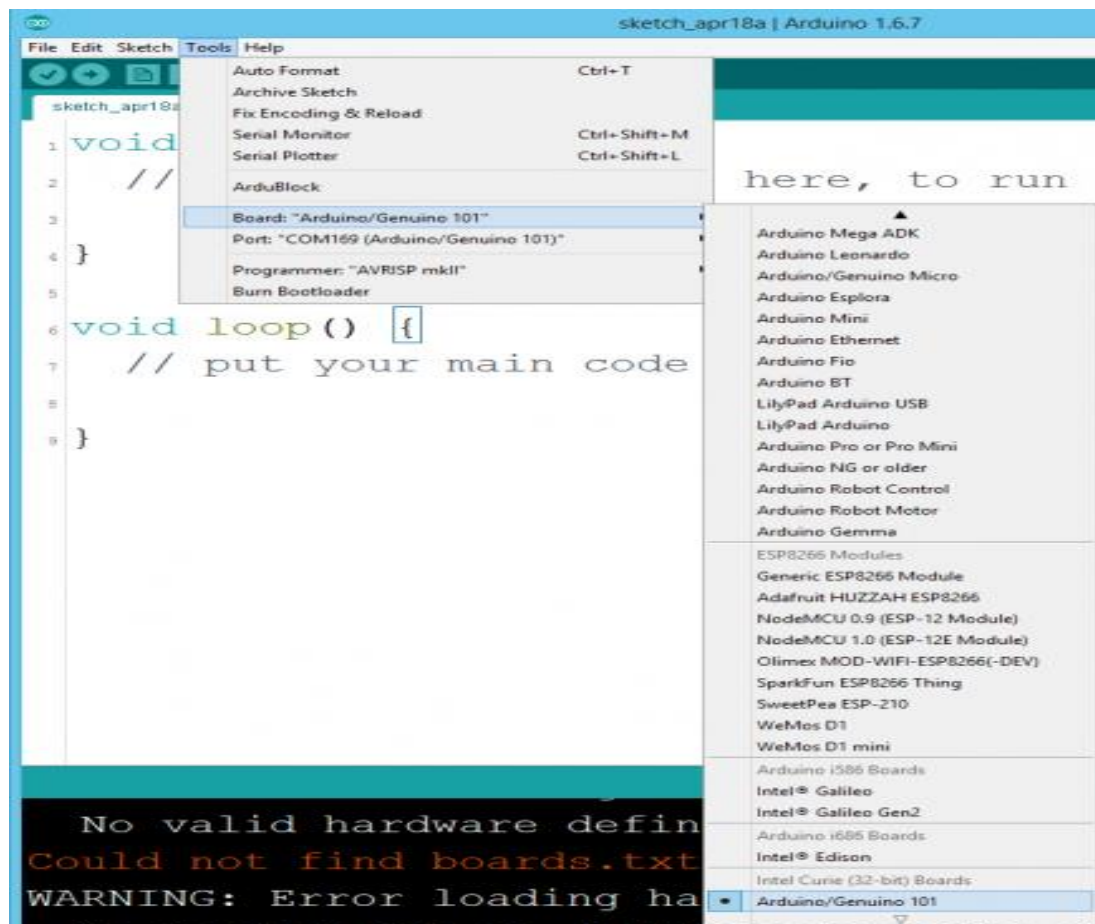
Εικόνα 29: Το γραφικό περιβάλλον Arduino IDE. (learn.sparkfun.com)

- 1) Επαλήθευση: Εξετάζει και εγκρίνει τον κώδικα. Εντοπίζει σφάλματα στη σύνταξη (όπως έλλειψη ερωτηματικών ή παρενθέσεων).

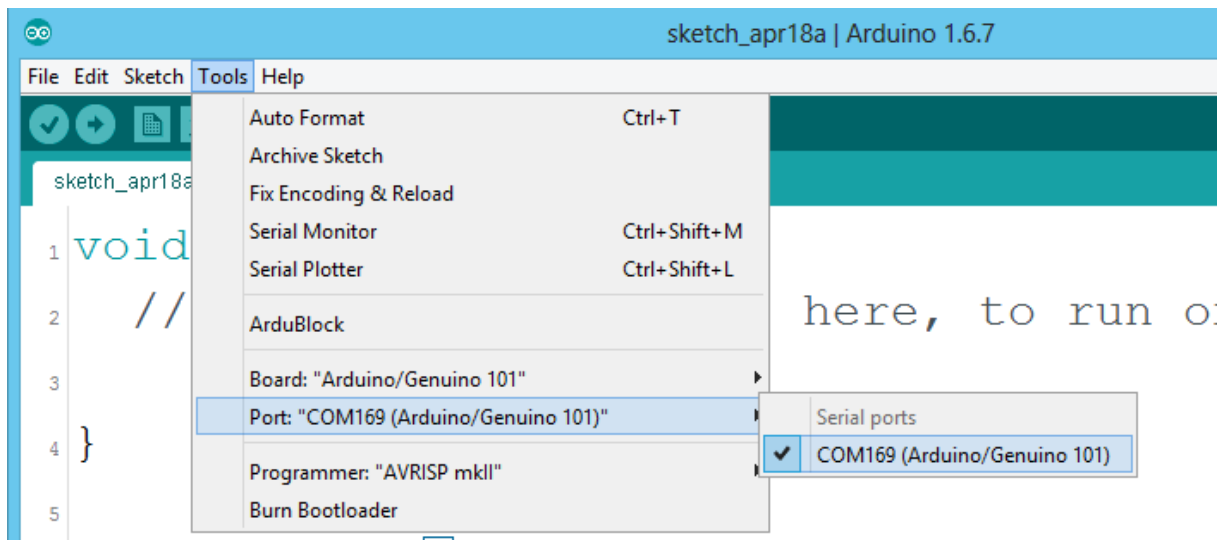
- 2) Μεταφόρτωση: Στέλνει τον κώδικα στην πλακέτα που είναι συνδεδεμένη.
- 3) Νέο: Ανοίγει μια νέα καρτέλα κώδικα.
- 4) Άνοιγμα: Μεταφορτώνει έναν υπάρχον κώδικα.
- 5) Αποθήκευση: Αποθηκεύει τον κώδικα που είναι ενεργός.
- 6) Σειριακό παράθυρο: Άνοιγμα παραθύρου που εμφανίζει τυχόν σειριακές πληροφορίες που μεταδίδει η πλακέτα. Χρήσιμο για τον εντοπισμό σφαλμάτων.
- 7) Όνομα κώδικα: Δείχνει το όνομα του κώδικα που είναι ενεργός.
- 8) Περιοχή κώδικα: Η περιοχή όπου γίνεται η σύνθεση του κώδικα.
- 9) Περιοχή μηνυμάτων: Ο τόπος όπου το IDE ενημερώνει για τυχόν σφάλματα στον κώδικα.
- 10) Κονσόλα κειμένου: Η κονσόλα κειμένου εμφανίζει πλήρη μηνύματα σφάλματος.
- 11) Πλακέτα και σειριακή θύρα: Παρουσιάζει την πλακέτα που είναι συνδεδεμένη και την σειριακή θύρα που γίνεται η σύνδεση.

3.2.1 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΕ WINDOWS

Για την λήψη του δωρεάν λογισμικού Arduino, θα χρειαστούμε έναν υπολογιστή με πρόσβαση στο διαδίκτυο. Ανοίγοντας έναν browser, επισκεπτόμαστε την σελίδα www.arduino.cc και κατεβάζουμε την έκδοση για το κατάλληλο λειτουργικό σύστημα, στην περίπτωση μας για τα Windows. Στην συνέχεια συνδέουμε την πλακέτα Arduino και εγκαθιστούμε το λογισμικό και τους drivers. Αφού εγκατασταθεί, ανοίγουμε το Arduino IDE για να επιλέξουμε την πλακέτα Arduino που είναι συνδεδεμένη στον υπολογιστή, καθώς και την θύρα USB που χρησιμοποιήσαμε για την σύνδεση.



Εικόνα 30: Επιλογή πλακέτας. (learn.sparkfun.com)



Εικόνα 31: Επιλογή σειριακής θύρας. (learn.sparkfun.com)

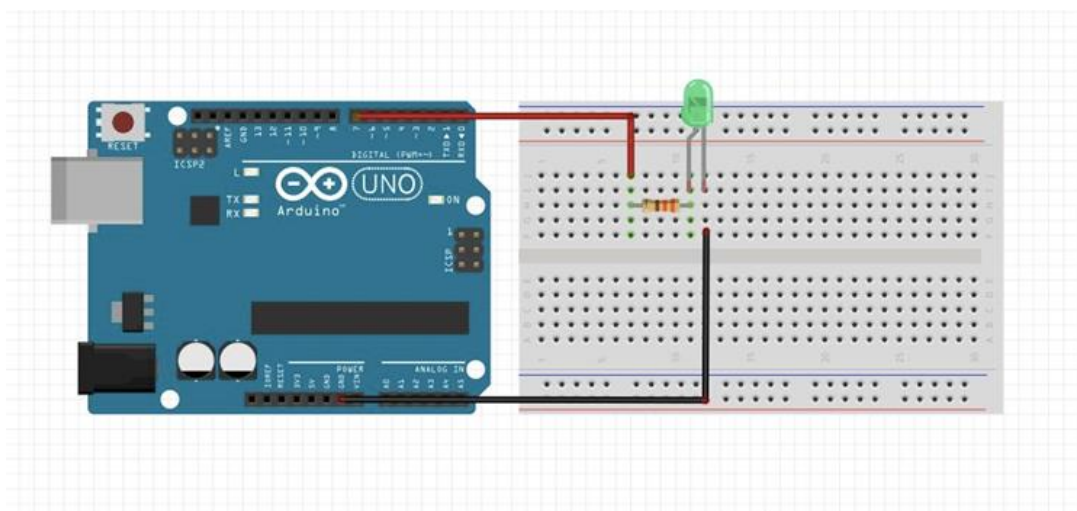
3.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΓΛΩΣΣΑΣ WIRING

Η βασική δομή της γλώσσας προγραμματισμού Wiring είναι αρκετά απλή και αποτελείται από τουλάχιστον δύο μέρη-λειτουργίες (functions):

- 1) Void setup() { }; Σε αυτό το function γίνεται η προετοιμασία του προγράμματος. Ο κώδικας συντάσσεται ανάμεσα στις αγκύλες. Συνήθως, γίνεται ο ορισμός των ακροδεκτών ως εισόδου ή εξόδου και η εκκίνηση σειριακής επικοινωνίας. Εκτελείται μόνο μία φορά, μετά από κάθε ενεργοποίηση ή επαναφορά (reset).
- 2) Void loop() { }; Ο κώδικας που θα συνταχθεί ανάμεσα από τις αγκύλες, επαναλαμβάνεται συνεχώς. Διαβάζει εισόδους, ενεργοποιεί εξόδους και χρονικά, επιτρέποντας στο πρόγραμμα να αλλάζει και να ανταποκριθεί στα νέα δεδομένα.

Πριν από αυτές τις δύο λειτουργίες όμως, πρέπει να οριστούν οι μεταβλητές, οι σταθερές και οι βιβλιοθήκες του προγράμματος.

Για την περαιτέρω κατανόηση της δομής της γλώσσας Wiring, θα μας βοηθήσει το παρακάτω παράδειγμα.



Εικόνα 34: Κύκλωμα παλμού ενός led. (www.instructables.com)

```

int ledPin=13; // Ορισμός μεταβλητής ledPin=13.Είναι ο ακροδέκτης σύνδεσης του led.

// Το παρακάτω function εκτελείται μόνο μια φορά.
void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // Αρχικοποίηση του ψηφιακού ακροδέκτη ledPin ως έξοδο.
}

// Το παρακάτω function εκτελείται επαναλαμβανόμενα.
void loop() {
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // Αναψε το led.Δηλαδή, τροφοδότησε τον ακροδέκτη 13 με HIGH=5V.
  delay(1000);                // Περίμενε 1 λεπτο (ο χρόνος δηλώνεται σε millisecond).
  digitalWrite(ledPin, LOW);  // Σβήσε το led.Δηλαδή, τροφοδότησε τον ακροδέκτη 13 με LOW=0V.
  delay(1000);                // Περίμενε 1 λεπτο (ο χρόνος δηλώνεται σε millisecond).
}

```

Εικόνα 33: Πρόγραμμα παλμού ενός led.

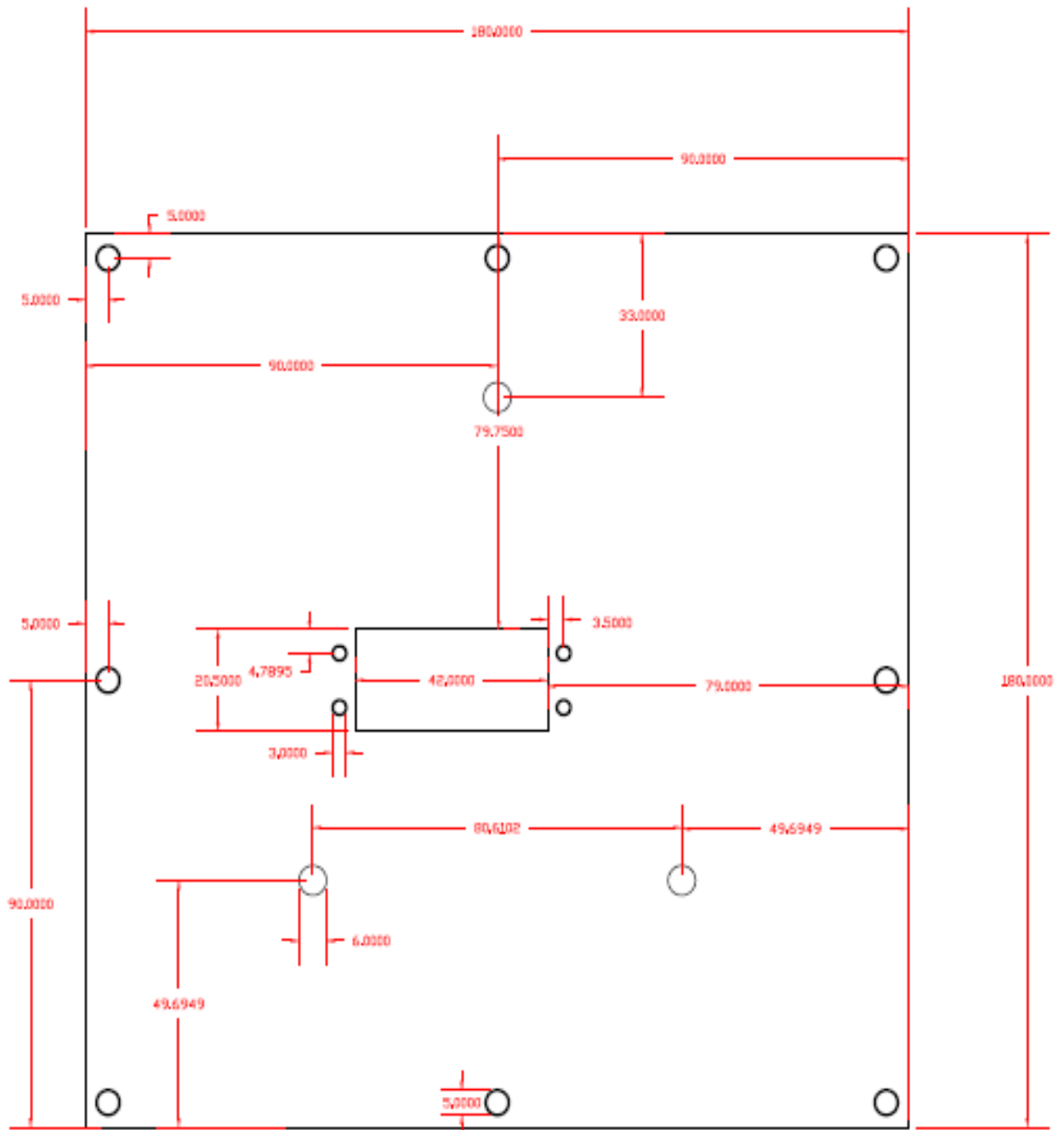
4. ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

4.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

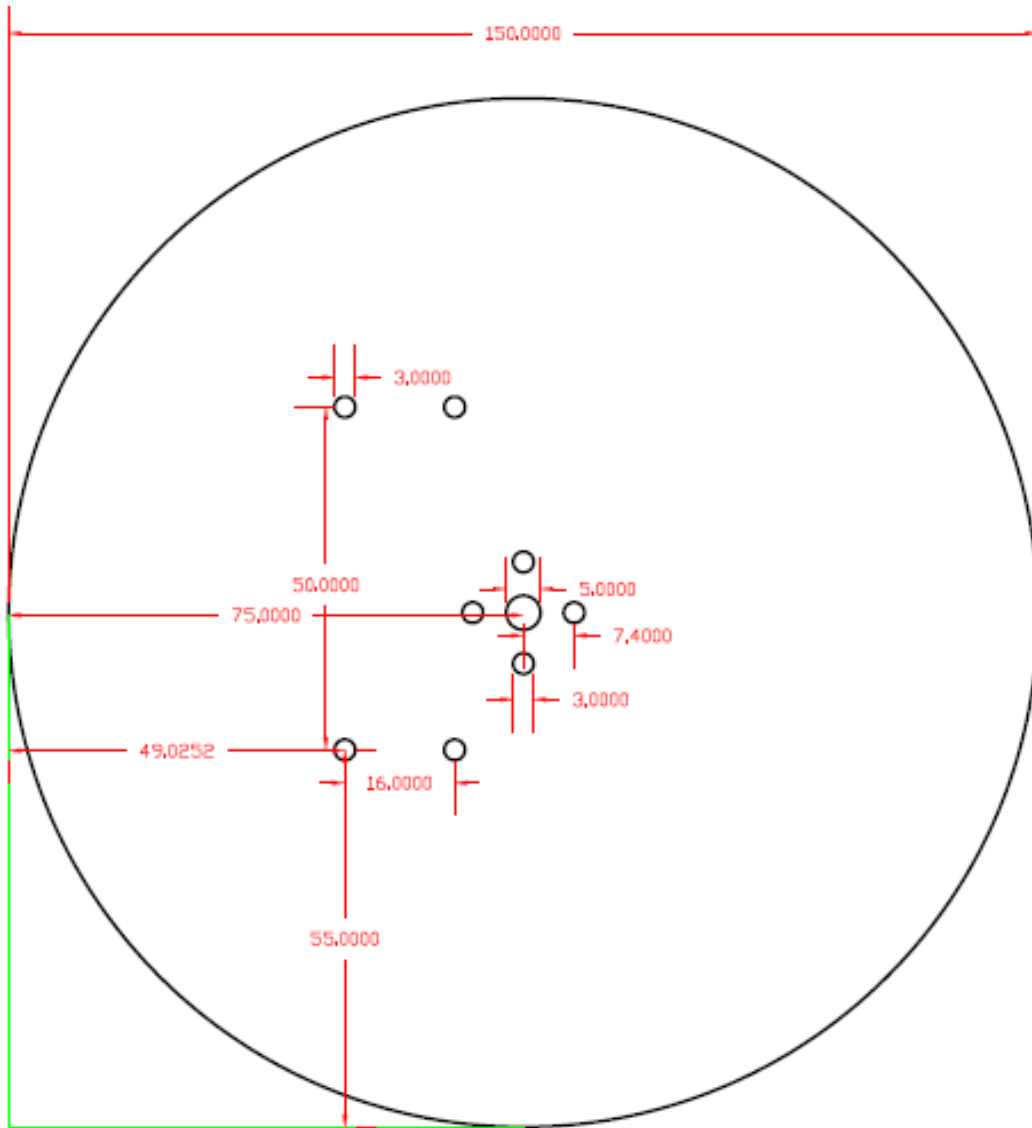
Ο ρομποτικός βραχίονας που κατασκευάστηκε είναι ανθρωπόμορφος και έχει 5 βαθμούς ελευθερίας με τελικό σημείο δράσης μια αρπάγη. Για την επιλογή του υλικού του σκελετού του βραχίονα, λήφθηκε υπόψιν το βάρος και η ανθεκτικότητα στις μηχανικές και περιβαλλοντικές καταπονήσεις. Ενώ για τα σχέδια του βραχίονα, βασικός παράγοντας ήταν ο χώρος εργασίας.

Έτσι, το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι ένα κράμα αλουμινίου 1100, σε μορφή φύλλου πάχους 2mm. Υλικό αρκετά ελαφρύ και επεξεργάσιμο για μέταλλο, με αρκετά μεγάλη ανθεκτικότητα. Τα σχέδια δημιουργήθηκαν μέσω του προγράμματος Autodesk AutoCAD 2018 και είχε ως παράδειγμα τα σχέδια από την σελίδα <http://www.instructables.com/id/DIY-Robotic-Arm/>.

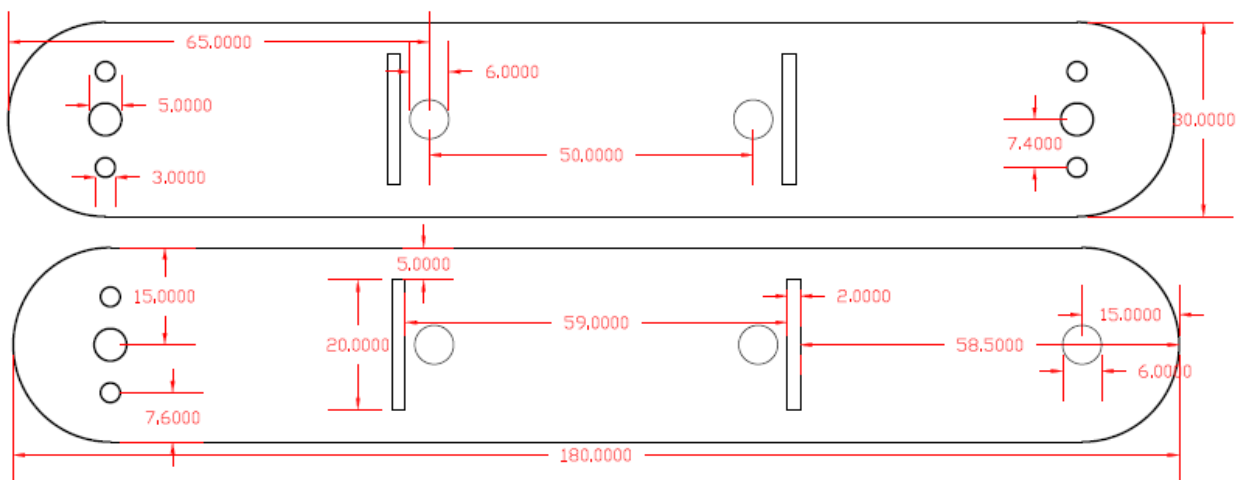
Τα περισσότερα κομμάτια του σχεδίου κατασκευάστηκαν μέσω μηχανήματος CNC Router του Μηχανουργείου Φυσικής Πανεπιστημίου Πατρών. Παρακάτω βλέπουμε τα σχέδια που δημιουργήθηκαν ώστε να εισαχθούν στο μηχάνημα CNC Router. Οι διαστάσεις τους είναι μετρημένες σε χιλιοστά.



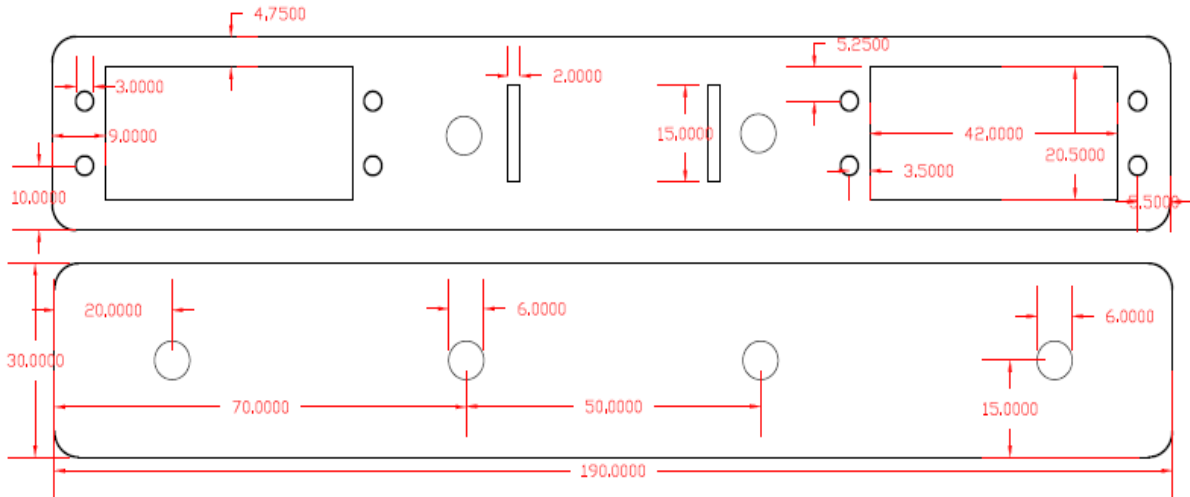
Εικόνα 34: Σχέδιο σταθερής βάσης βραχίονα.



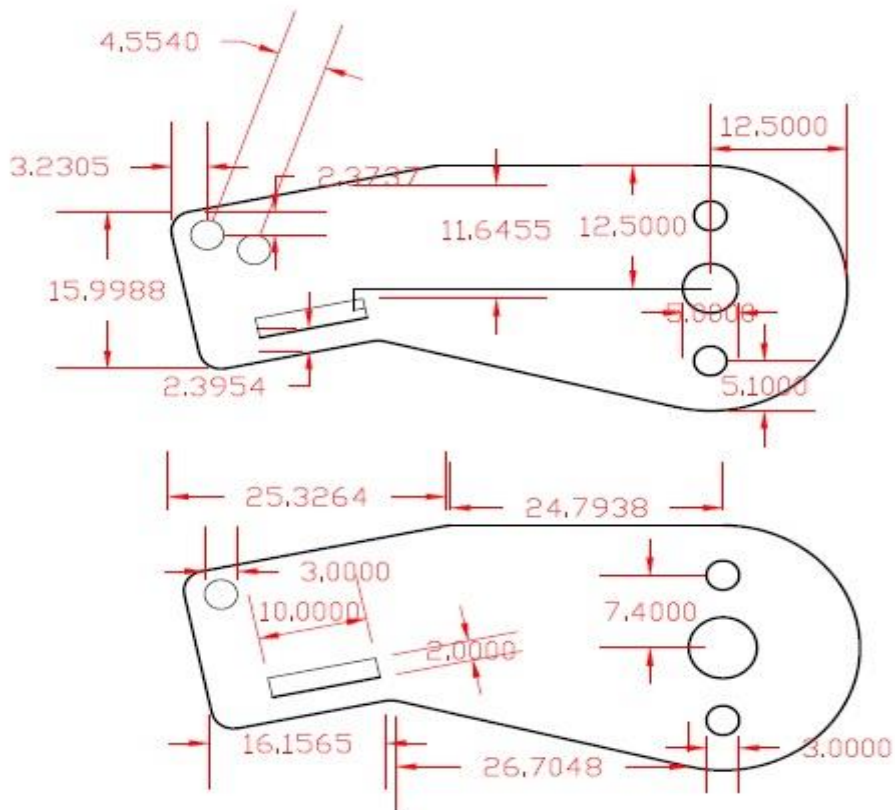
Εικόνα 35: Σχέδιο για την πρώτη άρθρωση του ώμου (κίνηση αριστερά-δεξιά).



Εικόνα 36: Σχέδιο για τη δεύτερη άρθρωση ώμου (κίνηση πάνω-κάτω).

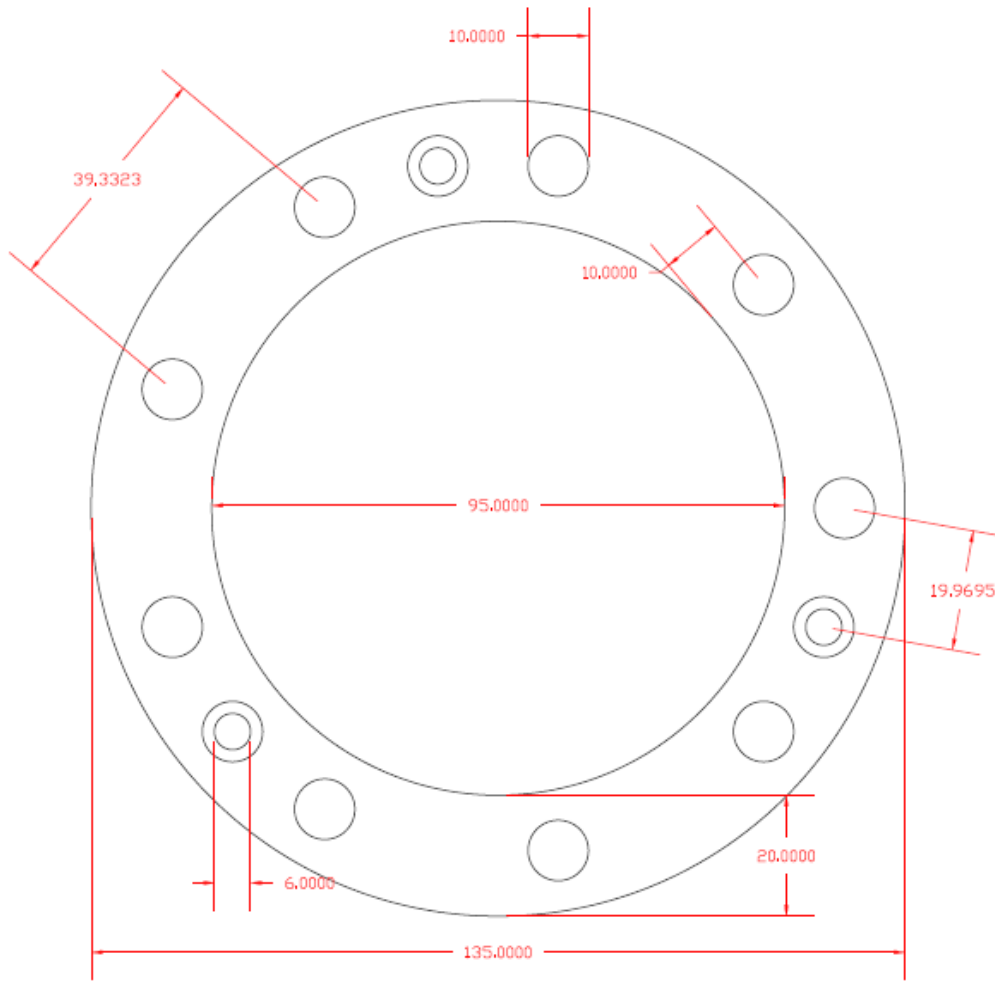


Εικόνα 37: Σχέδιο για την άρθρωση του αγκώνα (κίνηση πάνω-κάτω).

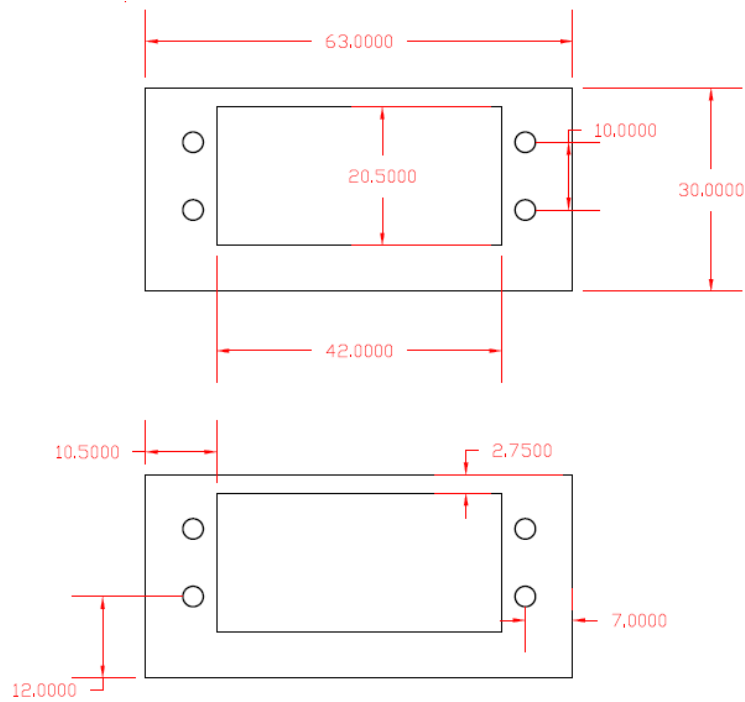


Εικόνα 38: Σχέδιο για την πρώτη άρθρωση του καρπού (κίνηση πάνω-κάτω).

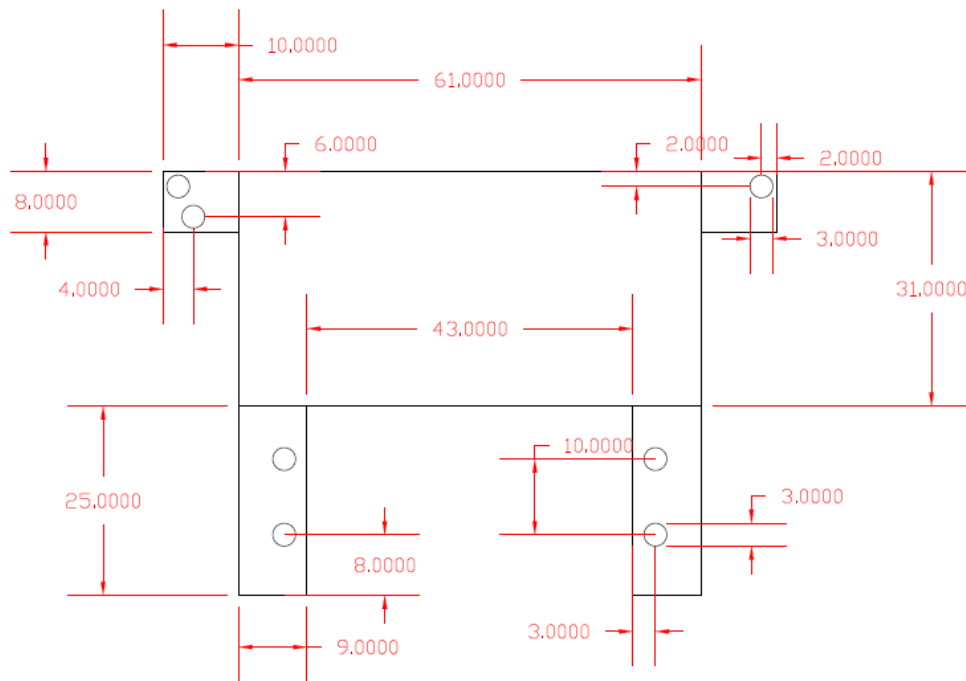
Τα υπόλοιπα κομμάτια κατασκευάστηκαν σε χειροκίνητα μηχανήματα. Με τόρνο και σταθερό τρυπάνι, κατασκευάστηκε το ρουλεμάν της περιστρεφόμενης βάσης (κίνηση ώμου αριστερά - δεξιά). Με τροχό και τρυπάνι, κατασκευάστηκαν οι βάσεις των δυο σερβοκινητήρων για την δεύτερη άρθρωση του ώμου (κίνηση πάνω-κάτω) και η βάση του σερβοκινητήρα για την δεύτερη άρθρωση του καρπού (κίνηση περιστροφής). Τέλος, για την περαιτέρω στιβαρότητα της άρθρωσης του αγκώνα και της δεύτερης άρθρωσης του ώμου (κίνηση πάνω-κάτω), κόπηκαν ράβδοι με σπείρωμα πάχους 6mm.



Εικόνα 39: Σχέδιο ρουλεμάν.



Εικόνα 40: Σχέδιο βάσεων δυο σερβοκινητήρων για την δεύτερη άρθρωση του ώμου (κίνηση πάνω-κάτω).



Εικόνα 41: Σχέδιο βάσης σερβοκινητήρα για την δεύτερη άρθρωση του καρπού (κίνηση περιστροφής).

4.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

4.2.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΡΟΥΛΕΜΑΝ

Για την κατασκευή του ρουλεμάν το υλικό που επιλέχθηκε είναι το τεφλόν πάχους 18mm. Οι σφαίρες που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από ρουλεμάν 6206 τύπου RS και έχουν διάμετρο 9mm.



Εικόνα 42: Διαμόρφωση πάχους τεφλόν στα 18mm με την χρήση τόρνου.



Εικόνα 43: Δημιουργία υποδοχών για τις σφαίρες με την χρήση σταθερού τρυπανιού.



Εικόνα 44: Το ρουλεμάν ολοκληρωμένο.

4.2.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΕΩΝ ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΜΕ ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

Οι βάσεις των δύο σερβοκινητήρων που είναι υπεύθυνοι για την πάνω-κάτω κίνηση του ώμου, κατασκευάστηκαν από τετράγωνο σωλήνα αλουμινίου 3x3mm και πάχους 2mm. Η βάση του σερβοκινητήρα που είναι υπεύθυνος για την κίνηση περιστροφής του καρπού, δημιουργήθηκε από αλουμίνιο πάχους 2mm.



Εικόνα 45: Οι βάσεις των δύο σερβοκινητήρων που είναι υπεύθυνοι για την πάνω-κάτω κίνηση του ώμου.



Εικόνα 46: Η βάση του σερβοκινητήρα που είναι υπεύθυνος για την κίνηση περιστροφής του καρπού.

4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

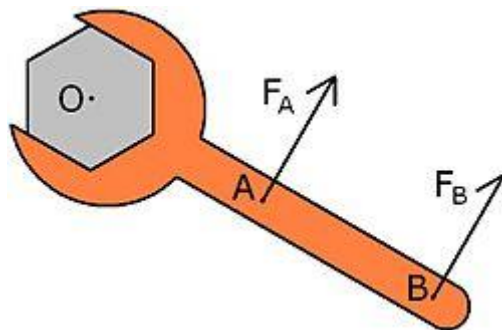
Οι σερβοκινητήρες είναι η καταλληλότερη επιλογή για την εφαρμογή μας. Καθώς, περιστρέφονται με μεγάλη ακρίβεια στη απαιτούμενη γωνία. Ο σερβοκινητήρας υπολογίζει την διαφορά μεταξύ μιας γωνίας αναφοράς και της απαιτούμενης γωνίας μέσω ενός κωδικοποιητή. Επίσης, ένας σημαντικός παράγοντας είναι ότι προσφέρουν μεγάλη ροπή.

Ροπή ονομάζεται το διανυσματικό φυσικό μέγεθος που έχει μέτρο ίσο προς το γινόμενο της δύναμης επί την κάθετη απόσταση της δύναμης από το σημείο. Η ροπή στο σύστημα S.I. εκφράζεται σε Newton επί μέτρα και συμβολίζεται με το γράμμα **T**.

Η ροπή ορίζεται από τη διανυσματική σχέση:

$$T = F \times L$$

Όπου **F** η ασκούμενη δύναμη, και **L** η απόσταση από το εξεταζόμενο σημείο και του σημείου εφαρμογής της δύναμης.



Εικόνα 47: Παράδειγμα εφαρμογής της ροπής. Το κλειδί περιστρέφεται ευκολότερα ασκώντας δύναμη στο σημείο B, σε σχέση με το σημείο A. (el.wikipedia.org)

Οι δυνάμεις που ασκούνται στον βραχίονα είναι το βάρος του κάθε άξονα, το βάρος των σερβοκινητήρων και το βάρος του αντικειμένου που θα σηκώσει η αρπάγη. Ο τύπος της ροπής διαμορφώνεται λοιπόν:

$$T = (m \times g) \times L$$

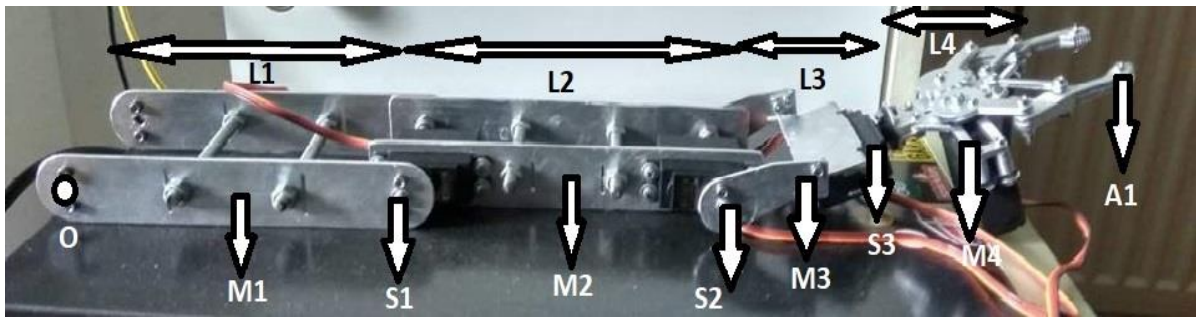
Όπου **m** η μάζα του αντικειμένου μετρημένη σε **kg**, και **g** η επιτάχυνση της βαρύτητας της γης μετρημένη σε ms^2 .

Η ροπή στους σερβοκινητήρες του εμπορίου όμως, έχει μονάδα μέτρησης **kg*cm**. Έτσι, ο τύπος της ροπής που θα χρησιμοποιηθεί είναι:

$$T = m \times L$$

4.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΡΟΠΗΣ ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Για προσδιορίσουμε την απαιτούμενη ισχύ, επιλέγουμε την κρίσιμη κατάσταση που το βάρος του βραχίονα μας δίνει την μεγαλύτερη ισχύ. Η κρίσιμη κατάσταση είναι η οριζόντια θέση που δίνει τη μεγαλύτερη οριζόντια απόσταση.



Εικόνα 47: Ο ρομποτικός βραχίονας σε οριζόντια θέση και οι μάζες των αξόνων, των σερβοκινητήρων και του αντικειμένου που θα σηκώσει η αρπάγη.

M1, M2, M3: Οι μάζες των αξόνων.

S1, S2, S3: Οι μάζες των σερβοκινητήρων.

M4: Η μάζα της αρπάγης και του σερβοκινητήρα.

A1: Η μάζα του αντικειμένου που θα σηκώσει η αρπάγη.

L1, L2, L3: Τα μήκη των αξόνων.

L4: Το μήκος της αρπάγης.

Οι σερβοκινητήρες του εμπορίου έχουν συνήθως μάζα 0,055 kg και το αντικείμενα που θα σηκώνει η αρπάγη έχουν μέση μάζα 0,1 kg.

$$T1 = M1 \times (L1 \div 2) = 0,00869 \text{ kg} \times \text{m}$$

$$T2 = S1 \times L1 = 0,00869 \text{ kg} \times \text{m}$$

$$T3 = M2 \times [L1 + (L2 \div 2)] = 0,02178 \text{ kg} \times \text{m}$$

$$T4 = S2 \times (L1 + L2) = 0,01793 \text{ kg} \times \text{m}$$

$$T5 = M3 \times [L1 + L2 + (L3 \div 2)] = 0,0178 \text{ kg} \times \text{m}$$

$$T6 = S3 \times (L1 + L2 + L3) = 0,02024 \text{ kg} \times \text{m}$$

$$T7 = M4 \times (L1 + L2 + L3 + L4/2) = 0,05707 \text{ kg} \times \text{m}$$

$$T8 = A1 \times (L1 + L2 + L3 + L4) = 0,0518 \text{ kg} \times \text{m}$$

Με την πρόσθεση των παραπάνω υπολογίζεται η απαιτούμενη ροπή στην κρίσιμη κατάσταση:

$$T_{\text{κρ}} = T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6 + T7 + T8 = 0,204 \text{ kg} \times \text{m}$$

$$T_{\text{κρ}} = 0,204 \times 100 = 20,4 \text{ kg} \times \text{cm}$$

Από το Tkr προκύπτει ότι ο σερβοκινητήρας στην θέση Ο, θα δεχτεί ροπή μεγαλύτερη των 20,4 kg×cm. Σερβοκινητήρες με τόσο μεγάλη ροπή είναι δυσεύρετοι και ακριβοί. Για τον λόγο αυτό, στην θέση Ο θα χρησιμοποιηθούν δύο σερβοκινητήρες χαμηλότερης ροπής, οι οποίοι θα μας δώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Οι σερβοκινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι τέσσερις MG996R και τρεις MG995. Παρακάτω βλέπουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.



Εικόνα 48: Ο σερβοκινητήρας MG996R και οι διαστάσεις του. (www.amazon.in)

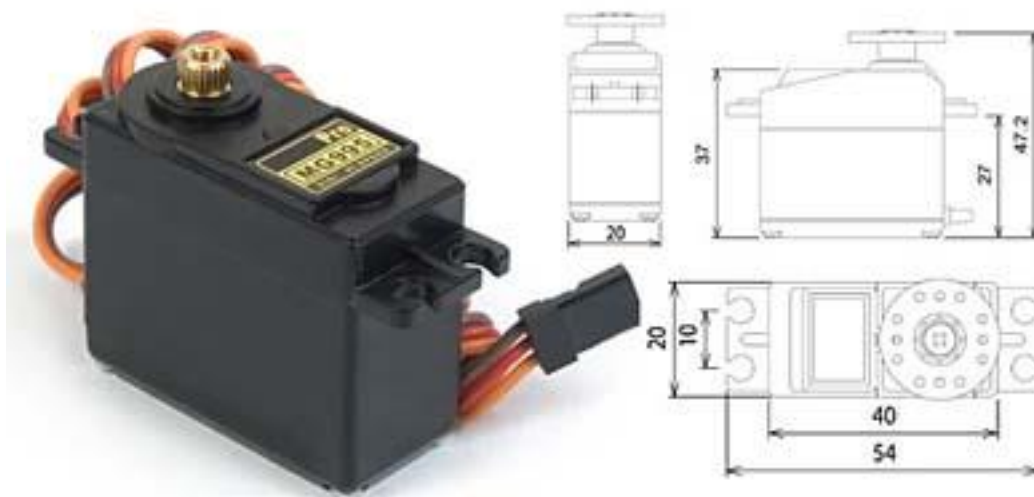
Features:

- Gear Type: All Metal Gears
- Operating Speed: 0.17sec / 60 degrees (4.8V no load)
- Operating Speed: 0.13sec / 60 degrees (6.0V no load)
- Stall torque: 11 kg/cm(5V)
- Operation Voltage : 4.8 - 7.2 V
- Power Supply: Through External Adapter
- Stable and Shock Proof. - Metal Gear - Double Ball Bearing - Connector Wire
- Length 300mm
- Compliant with most standard receiver connector: Futaba, Hitec, Sanwa, GWS etc...
- Great for truck, Boat, Racing Car, Helicopter and Airplane

Specifications:

- Connector wire length: 300 mm
- Dimension: 54 x 38 x 20 mm
- Net weight: 61 g
- Package weight: 71 g
- Color: Black

Εικόνα 49: Τεχνικά χαρακτηριστικά του σερβοκινητήρα MG996R. (www.cableworks.gr)



Εικόνα 50: Ο σερβοκινητήρας MG995 και οι διαστάσεις του. (ww3.onvacations.co)

- **Color: Black**
- **Dimensions: 40.8 x 20 x 38mm**
- **Weight: 55g**
- **Operating Speed: (4.8V no load) 0.20sec 60 degrees**
- **Operating Speed: (6.0V no load) 0.19sec 60 degrees**
- **Stall Torque: (4.8V) (13kgcm) (180ozin.)**
- **Stall Torque: (6.0V) (15kgcm) (208ozin.)**
- **Voltage: 4.8-7.2V**
- **Operating Current:(no load) 120mA**
- **Operating Current:(locked-rotor) 1450mA**
- **Dead Pulse Width: ≤5usec**
- **Whole Line Length: 300mm**
- **Interface: JR/FP**
- **Three Lines: GND (Brown), VCC 4.8-7.2V (Red), impulse input (Orange)**

Εικόνα 51: Τεχνικά χαρακτηριστικά του σερβοκινητήρα MG995. (www.cableworks.gr)

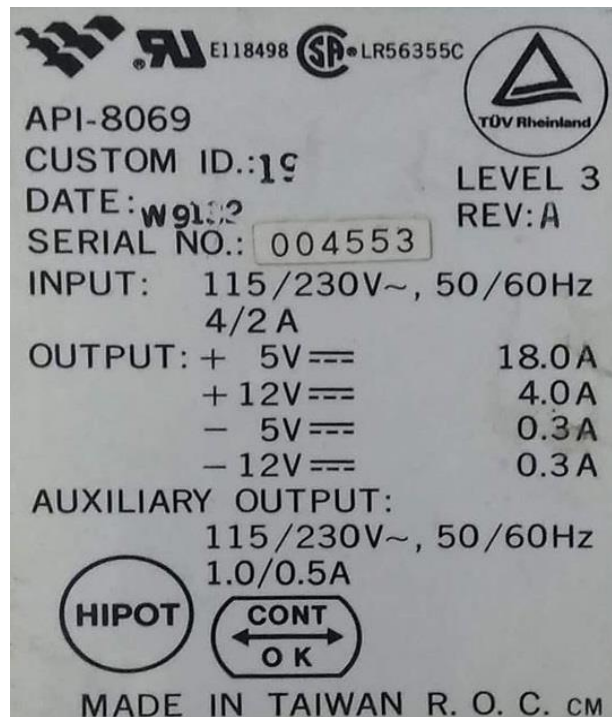
Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των σερβοκινητήρων προκύπτει ότι ο MG995 παρέχει μεγαλύτερη ροπή από τον MG996R. Στην θέση Ο όμως θα προτιμήσουμε δύο MG996R, διότι έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια περιστροφής και ο συγχρονισμός τους είναι ευκολότερος. Για την πρώτη άρθρωση του ώμου (κίνηση αριστερά-δεξιά), την άρθρωση του αγκώνα (κίνηση πάνω-κάτω) και την πρώτη άρθρωση του καρπού (κίνηση πάνω-κάτω) χρησιμοποιήθηκαν σερβοκινητήρες MG995. Τέλος, στις υπόλοιπες θέσεις χρησιμοποιήθηκαν σερβοκινητήρες MG996R. Να επισημανθεί ότι όλοι οι σερβοκινητήρες θα λειτουργήσουν με τάση 5V.

4.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των σερβοκινητήρων (βλέπε Εικόνα 49 και 51), προκύπτει ότι για να αποδώσουν την μέγιστη ισχύ στα 5V, πρέπει να τροφοδοτείται με 1450mA ο καθένας ξεχωριστά. Άρα, η ηλεκτρική πηγή που θα χρειαστούμε πρέπει να μας παρέχει στα 5V τουλάχιστον 10,15A. Η πλακέτα Arduino δεν έχει αυτή την δυνατότητα, καθώς το μέγιστο ρεύμα που αποδίδει είναι 800mA. Για την λύση αυτού του προβλήματος θα χρησιμοποιήσουμε ένα παλαιό τροφοδοτικό ηλεκτρονικού υπολογιστή, το οποίο στα 5V τάση παρέχει 18A ρεύμα.



Εικόνα 52: Το τροφοδοτικό που χρησιμοποιήσαμε.



Εικόνα 53: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τροφοδοτικού.

Τα τροφοδοτικά ηλεκτρονικού υπολογιστή πρέπει πάντοτε να έχουν φορτίο για να συνεχίζουν να λειτουργούν. Είναι σχεδιασμένα να ανιχνεύουν φορτίο, και αν δεν υπάρχει φορτίο απενεργοποιούνται αυτομάτως. Το σταθερό φορτίο στην εφαρμογή μας θα είναι ένας ανεμιστήρας 5V από μια παλαιά κάρτα γραφικών.



Εικόνα 54: Ο ανεμιστήρας που χρησιμοποιήσαμε.

Στην Εικόνα 53 παρατηρούμε ότι το τροφοδοτικό δεν παρέχει μόνο +5V που χρειαζόμαστε για την εφαρμογή μας, αλλά έχει και άλλες τιμές. Συνήθως, τέτοιου είδους τροφοδοτικά έχουν τα +5V στα κόκκινα καλώδια και το Ground στο μαύρο καλώδιο.

4.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΡΠΑΓΗΣ

Η αρπάγη που επιλέχθηκε, είναι μηχανική και σχεδιασμένη για τους σερβοκινητήρες που θα χρησιμοποιήσουμε. Επίσης, είναι ελαφριά καθώς είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο.



Εικόνα 55: Η μηχανική αρπάγη αλουμινίου. (www.cableworks.gr)

- Claws Material: Aluminum
- Paw weight: about 68g (excluding servos, without disc)
- Paw maximum opening angle: 55mm (maximum opening angle spacing 55mm)
- Paw overall length: 108mm (overall length of the longest claws when closed)
- Paw Overall width: 98mm (maximum overall width of the paw when open)

Εικόνα 56: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αρπάγης. (www.cableworks.gr)

4.6 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Για τον χειρισμό του ρομποτικού βραχίονα χρησιμοποιήσαμε joystick δύο αξόνων. Κάθε joystick δηλαδή, έχει ένα ποτενσιόμετρο για τον άξονα x και ένα για τον άξονα y. Μια κίνηση του βραχίονα, αντιστοιχεί σε ένα άξονα ενός joystick. Συνολικά έχουμε 6 κινήσεις, άρα θα χρειαστούμε 3 joystick.



Εικόνα 57: Το joystick δύο αξόνων. (www.cableworks.gr)

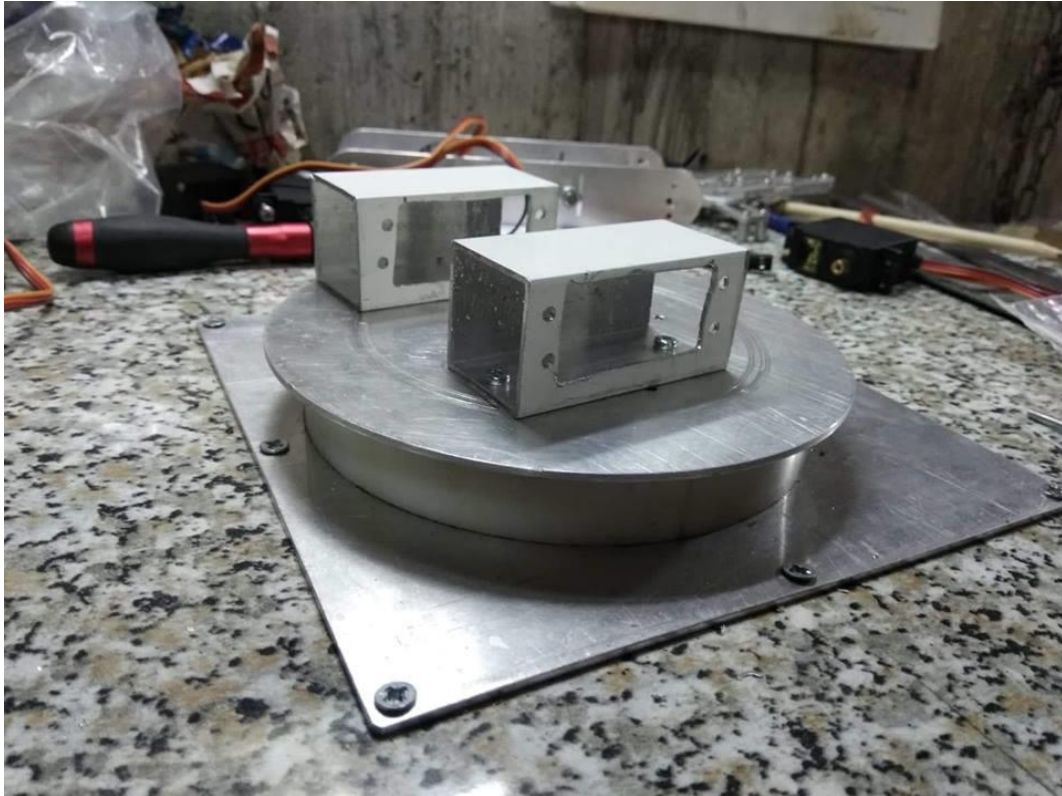
4.7 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΒΡΑΧΙΟΝΑ



Εικόνα 58: Εγκατάσταση ρουλεμάν και σερβοκινητήρα στην σταθερή βάση.



Εικόνα 59: Εγκατάσταση περιστρεφόμενης βάσης για την κίνηση του ώμου αριστερά-δεξιά.



Εικόνα 60: Εγκατάσταση βάσεων σερβοκινητήρων για την κίνηση του ώμου πάνω-κάτω.



Εικόνα 61: Εγκατάσταση σερβοκινητήρων για την κίνηση του ώμου πάνω-κάτω.



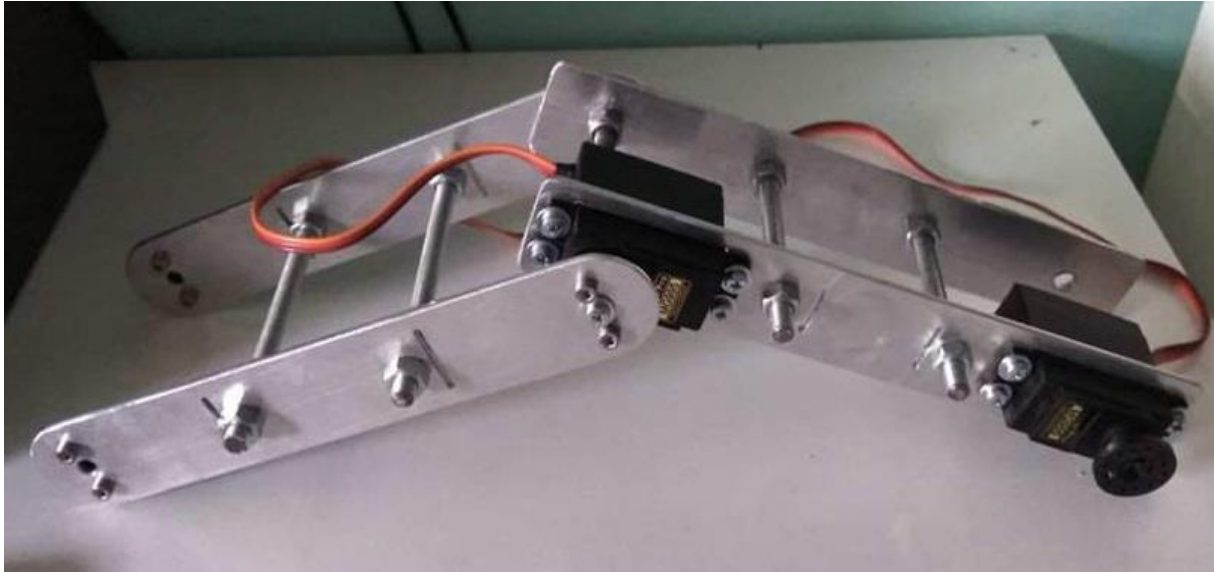
Εικόνα 62: Συναρμολόγηση συνδέσμου ώμου για την κίνηση πάνω-κάτω.



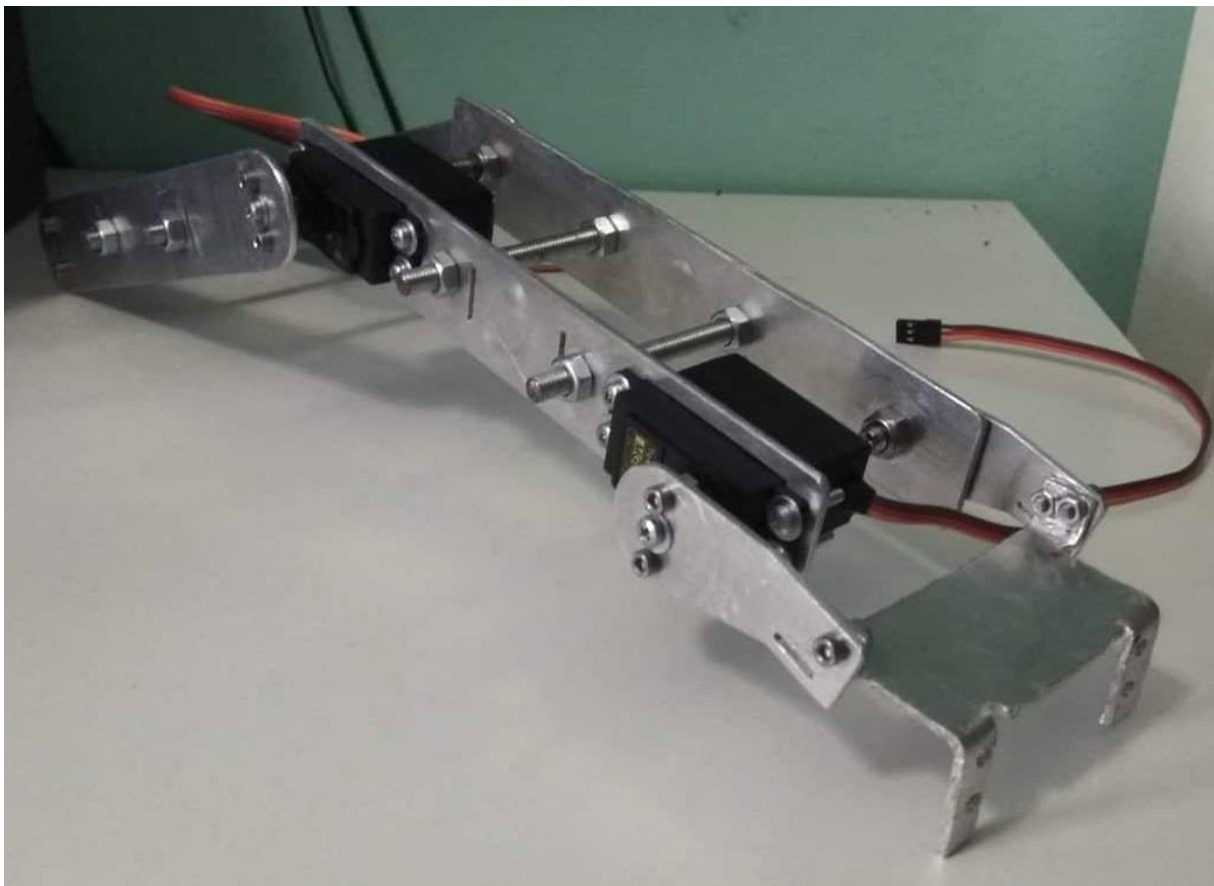
Εικόνα 63: Συναρμολόγηση συνδέσμου αγκώνα.



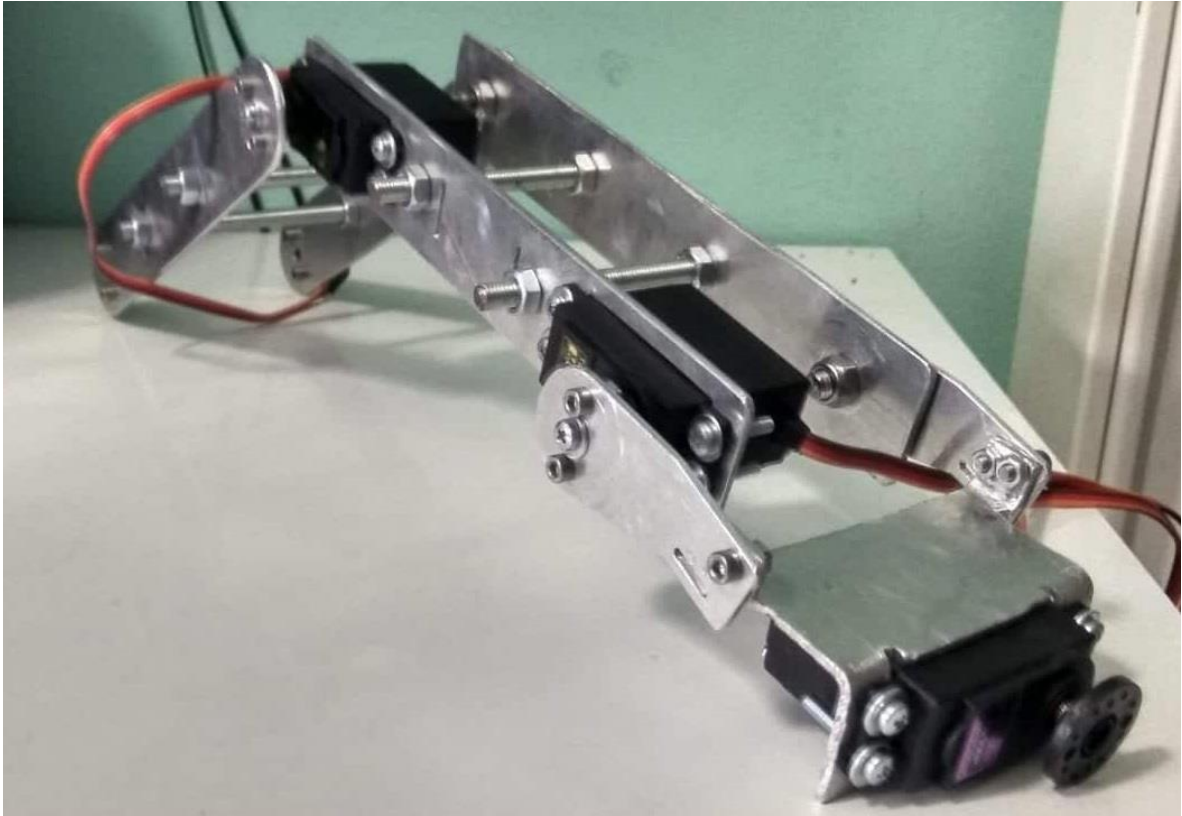
Εικόνα 64: Εγκατάσταση σερβοκινητήρων στον σύνδεσμο του αγκώνα.



Εικόνα 65: Ένωση συνδέσμου ώμου και συνδέσμου αγκώνα μέσω σερβοκινητήρα.



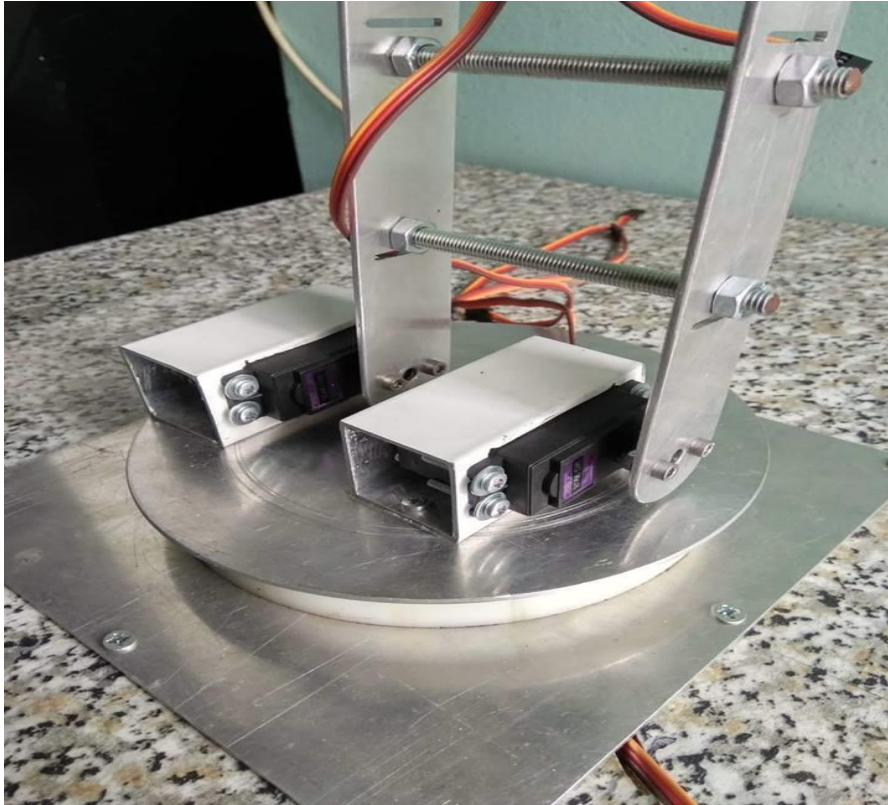
Εικόνα 66: Ένωση συνδέσμου αγκώνα και συνδέσμου καρπού μέσω σερβοκινητήρα.



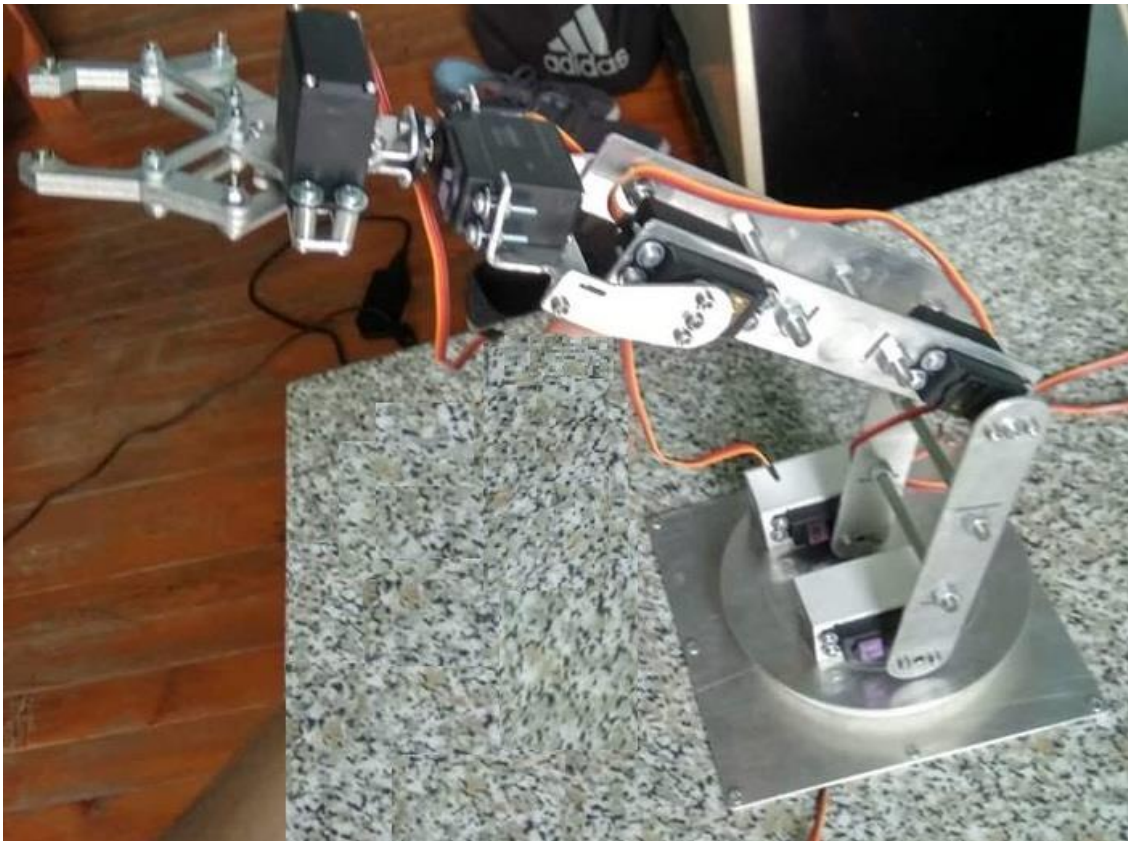
Εικόνα 67: Εγκατάσταση σερβοκινητήρα περιστροφής καρπού.



Εικόνα 68: Ένωση αρπάγης και σερβοκινητήρα αρπάγης με τον σερβοκινητήρα περιστροφής καρπού.



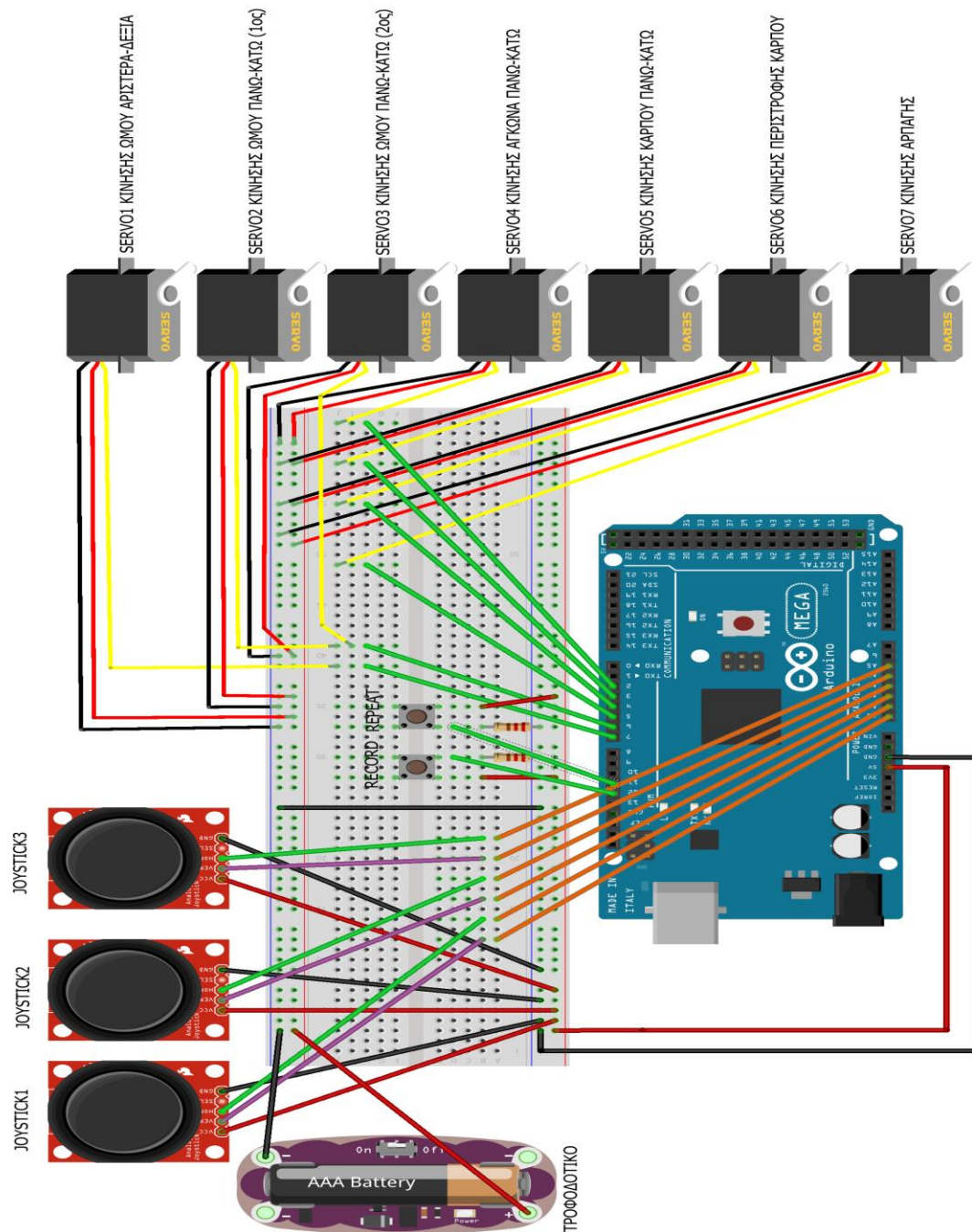
Εικόνα 69: Ένωση σερβοκινητήρων ώμου με σύνδεσμο ώμου για την κίνηση πάνω-κάτω.



Εικόνα 70: Τελική μορφή ρομποτικού βραχίονα.

4.8 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Ο σχεδιασμός κυκλώματος του ρομποτικού βραχίονα έγινε μέσω του δωρεάν προγράμματος Fritzing. Το πρόγραμμα Fritzing παρέχει μια μεγάλη γκάμα έτοιμων πλακετών και εξαρτημάτων. Επίσης, είναι πολύ εύκολο στην δημιουργία ψηφιακών κυκλωμάτων.



fritzing

Εικόνα 71: Σχεδιασμός κυκλώματος του ρομποτικού βραχίονα μέσω του προγράμματος Fritzing.

Όλοι οι σεβροκινητήρες έχουν τρία καλώδια: καφέ ή μαύρο για την γείωση, κόκκινο για την τάση και κίτρινο ή πορτοκαλί για το PWM σήμα. Το καλώδιο της γείωσης και της τάσης συνδέονται με τα αντίστοιχα καλώδια του τροφοδοτικού. Το καλώδιο για το PWM σήμα συνδέεται με ένα ψηφιακό ακροδέκτη του Arduino, ο οποίος έχει την δυνατότητα να παρέχει PWM σήμα.

Τα joystick έχουν πέντε ακροδέκτες: έναν για την γείωση, έναν για την τάση (5V), δύο για τα ποτενσιόμετρα των αξόνων x και y και ένα για ένα pushbutton. Στην εφαρμογή μας ο ακροδέκτης του pushbutton δεν χρειάζεται. Ο ακροδέκτης της γείωσης συνδέεται με τον ακροδέκτη της γείωσης του Arduino. Ο ακροδέκτης της τάσης συνδέεται με τον ακροδέκτη των 5V του Arduino. Ο ακροδέκτης για το ποτενσιόμετρο του άξονα x συνδέεται με ένα ακροδέκτη αναλογικής εξόδου του Arduino. Αντίστοιχα συνδέεται και ο ακροδέκτης για το ποτενσιόμετρο του άξονα y.

Να σημειωθεί ότι για την ορθή λειτουργία του κυκλώματος, πρέπει όλες οι γειώσεις να είναι κοινές.

5. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΩΔΙΚΑ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Παρακάτω βλέπουμε τον κώδικα που συντάχθηκε για την λειτουργία του βραχίονα και την επεξήγηση του:

```
// Προσθήκη βιβλιοθήκης για τον έλεγχο των σεβροκινητήρων.  
#include <Servo.h>  
  
// Δημιουργία αντικειμένων σεβροκινητήρων και οι ονομασίες τους.  
Servo servo1;  
Servo servo2_3;  
Servo servo4;  
Servo servo5;  
Servo servo6;  
Servo servo7;  
  
// Δήλωση αναλογικών ακροδεκτών, στους οποίους θα συνδεθούν τα ποτενσιόμετρα των joystick.  
int x1_key = A0;
```

```

int y1_key = A1;
int x2_key = A2;
int y2_key = A3;
int x3_key = A4;
int y3_key = A5;

//Δημιουργία μεταβλητών.
int x1_pos;
int y1_pos;
int x2_pos;
int y2_pos;
int x3_pos;
int y3_pos;

// Δήλωση ψηφιακών ακροδεκτών που έχουν την δυνατότητα να παράγουν PWM σήμα, στους
οποίους θα συνδεθούν οι σερβοκινητήρες.
int servo1_pin = 2;
int servo2_3_pin = 3;
int servo4_pin = 4;
int servo5_pin = 5;
int servo6_pin = 6;
int servo7_pin = 7;

// Δήλωση αρχικής θέσης των σερβοκινητήρων στις 90 μοίρες.
int position1 = 90;
int position2_3 = 90;
int position4 = 90;
int position5 = 90;
int position6 = 90;
int position7 = 90;

// Δήλωση ψηφιακών ακροδεκτών για τα pushbuttons αποθήκευσης και επανάληψης.
const int button1 = 12;

```

```

const int button2 = 11;

// Ορισμός μεταβλητών για τις τιμές των pushbuttons.
int button1Pressed = 0;
boolean button2Pressed = false;

// Δήλωση πινάκων (arrays) με 5 μεταβλητές τιμές, για τις αποθηκευμένες θέσεις των
σερβοκινητήρων.
int servo1PosSave[]={1,1,1,1,1};
int servo2_3PosSave[]={1,1,1,1,1};
int servo4PosSave[]={1,1,1,1,1};
int servo5PosSave[]={1,1,1,1,1};
int servo6PosSave[]={1,1,1,1,1};
int servo7PosSave[]={1,1,1,1,1};

// Function το οποίο εκτελείται μόνο μια φορά.
void setup ( ) {

// Εκκίνηση σειριακής επικοινωνίας με ταχύτητα 9600 baud.
Serial.begin (9600) ;

//Συνδέσεις των αντικειμένων των σερβοκινητήρων με τους ακροδέκτες PWM.
servo1.attach (servo1_pin ) ;
servo2_3.attach (servo2_3_pin ) ;
servo4.attach (servo4_pin ) ;
servo5.attach (servo5_pin ) ;
servo6.attach (servo6_pin ) ;
servo7.attach (servo7_pin ) ;

// Εγγραφή των αρχικών θέσεων στους σερβοκινητήρες.
servo1.write (position1);
servo2_3.write (position2_3);
servo4.write (position4);

```



```

servo5.write (position5);
servo6.write (position6);
servo7.write (position7);

// Δήλωση των pushbuttons ως εισόδους.
pinMode(button1, INPUT);
pinMode(button2, INPUT);

// Δήλωση των ποτενσιόμετρών των joystick ως εισόδους.
pinMode (x1_key, INPUT) ;
pinMode (y1_key, INPUT) ;
pinMode (x2_key, INPUT) ;
pinMode (y2_key, INPUT) ;
pinMode (x3_key, INPUT) ;
pinMode (y3_key, INPUT) ;

}

// Function το οποίο εκτελείται επαναλαμβανόμενα.
void loop ( ) {

// Ανάγνωση τιμών των ποτενσιόμετρων.
x1_pos = analogRead (x1_key) ;
y1_pos = analogRead (y1_key) ;
x2_pos = analogRead (x2_key) ;
y2_pos = analogRead (y2_key) ;
x3_pos = analogRead (x3_key) ;
y3_pos = analogRead (y3_key) ;

// Εγγραφή των κινήσεων του ποτενσιόμετρου x1 στον σερβοκινητήρα 1 (κίνηση ώμου
αριστερά-δεξιά).
if (x1_pos < 300){

```

```

if (position1 < 10) { } else{ position1 = position1 - 5; servo1.write ( position1 ) ; delay (100) ; }
if (x1_pos > 700){
if (position1 > 170)
{
}
else{
position1 = position1 + 5;
servo1.write ( position1 ) ;
delay (100) ;
}
}

```

// Εγγραφή των κινήσεων του ποτενσιόμετρου y1 στους σερβοκινητήρες 2 και 3(κίνηση ώμου πάνω-κάτω).

```

if (y1_pos < 300){
if (position2_3 < 10) { } else{ position2_3 = position2_3 - 5; servo2_3.write ( position2_3 ) ;
delay (100) ; } } if (y1_pos > 700){
if (position2_3 > 170)
{
}
else{
position2_3 = position2_3 + 5;
servo2_3.write ( position2_3 ) ;
delay (100) ;
}
}

```

// Εγγραφή των κινήσεων του ποτενσιόμετρου x2 στον σερβοκινητήρα 6 (κίνηση περιστροφής καρπού).

```

if (x2_pos < 300){
if (position6 < 10) { } else{ position6 = position6 - 5; servo6.write ( position4 ) ; delay (100) ; } }
if (x2_pos > 700){
if (position6 > 170)
{
}
}

```

```

}
else{
position6 = position6 + 5;
servo6.write ( position6 ) ;
delay (100) ;
}
}

// Εγγραφή των κινήσεων του ποτενσιόμετρου y2 στον σερβοκινητήρα 4 (κίνηση αγκώνα
πάνω-κάτω).
if (y2_pos < 300){
if (position4 < 10) { } else{ position4 = position4 - 5; servo4.write ( position4 ) ; delay (100) ; } }
if (y2_pos > 700){
if (position4 > 170)
{
}
else{
position4 = position4 + 5;
servo4.write ( position4 ) ;
delay (100) ;
}
}

// Εγγραφή των κινήσεων του ποτενσιόμετρου x3 στον σερβοκινητήρα 7 (κίνηση αρπάγης).
if (x3_pos < 300){
if (position7 < 10) { } else{ position7 = position7 - 5; servo7.write ( position7 ) ; delay (100) ; } }
if (x3_pos > 700){
if (position7 > 170)
{
}
else{
position7 = position7 + 5;
servo7.write ( position7 ) ;

```

```

delay (100) ;
}
}

// Εγγραφή των κινήσεων του ποτενσιόμετρου y3 στον σερβοκινητήρα 7 (κίνηση καρπού
πάνω-κάτω).
if (y3_pos < 300){
if (position5 < 10) { } else{ position5 = position5 - 5; servo5.write ( position5 ) ; delay (100) ; } }
if (y3_pos > 700){
if (position5 > 170)
{
}
else{
position5 = position5 + 5;
servo5.write ( position5 ) ;
delay (100) ;
}
}

// Αν το button1 πατηθεί, αποθήκευσε τις θέσεις των σερβοκινητήρων στους πίνακες. Κάθε
πάτημα αποθηκεύει και απο μία θέση του βραχίονα.
if(digitalRead(button1) == HIGH){
button1Pressed++;
switch(button1Pressed){
case 1:
servo1PosSave[0] = position1;
servo2_3PosSave[0] = position2_3;
servo4PosSave[0] = position4;
servo5PosSave[0] = position5;
servo6PosSave[0] = position6;
servo7PosSave[0] = position7;
Serial.println("Position #1 Saved");
delay(1000);
}
}
}

```

```
break;
case 2:
  servo1PosSave[1] = position1;
  servo2_3PosSave[1] = position2_3;
  servo4PosSave[1] = position4;
  servo5PosSave[1] = position5;
  servo6PosSave[1] = position6;
  servo7PosSave[1] = position7;
  Serial.println("Position #2 Saved");
  delay(1000);
break;
case 3:
  servo1PosSave[2] = position1;
  servo2_3PosSave[2] = position2_3;
  servo4PosSave[2] = position4;
  servo5PosSave[2] = position5;
  servo6PosSave[2] = position6;
  servo7PosSave[2] = position7;
  Serial.println("Position #3 Saved");
  delay(1000);
break;
case 4:
  servo1PosSave[3] = position1;
  servo2_3PosSave[3] = position2_3;
  servo4PosSave[3] = position4;
  servo5PosSave[3] = position5;
  servo6PosSave[3] = position6;
  servo7PosSave[3] = position7;
  Serial.println("Position #4 Saved");
  delay(1000);
break;
case 5:
```

```

servo1PosSave[4] = position1;
servo2_3PosSave[4] = position2_3;
servo4PosSave[4] = position4;
servo5PosSave[4] = position5;
servo6PosSave[4] = position6;
servo7PosSave[4] = position7;
Serial.println("Position #5 Saved");
delay(1000);
break;
}
}

//Αν το button 2 πατηθεί, οι σερβοκινητήρες κινούνται στις 5 αποθηκευμένες θέσεις.
if(digitalRead(button2) == HIGH){
    button2Pressed = true;
    Serial.println("Repeat");
}
if(button2Pressed){
    for(int i=0; i<5; i++){
        servo1.write(servo1PosSave[i]);
        servo2_3.write(servo2_3PosSave[i]);
        servo4.write(servo4PosSave[i]);
        servo5.write(servo5PosSave[i]);
        servo6.write(servo6PosSave[i]);
        servo7.write(servo7PosSave[i]);
        delay(2000);
    }
}
delay(15);
}
}

```

Για να κατανοήσουμε καλύτερα πώς μετατρέπεται η κίνηση του joystick σε κίνηση του σερβοκινητήρα, ας αναλύσουμε τον κώδικα που κάνει αυτή τη μετατροπή. Τα joystick δίνουν τιμές από 0 έως 1023, ενώ οι σερβοκινητήρες δέχονται τιμές από 0 έως 180 (όσες και οι μοίρες). Για θέματα ασφαλείας όμως, οι τιμές των σερβοκινητήρων μετατράπηκαν και τα νέα όρια είναι από 10 έως 170.

```
if (x1_pos < 300){
if (position1 < 10) { } else{ position1 = position1 - 5; servo1.write ( position1 ) ; delay (100) ; } }
if (x1_pos > 700){
if (position1 > 170)
{
}
else{
position1 = position1 + 5;
servo1.write ( position1 ) ;
delay (100) ;
}
}
```

Αν το ποτενσιόμετρο του άξονα x1 έχει τιμή κάτω από 300 και αν οι μοίρες του σερβοκινητήρα είναι κάτω από 10 μην κάνεις τίποτα. Αλλιώς αφάιρεσε 5 μοίρες και γράψε τις στον σερβοκινητήρα. Αν το ποτενσιόμετρο του άξονα x1 έχει τιμή πάνω από 700 και οι μοίρες του σερβοκινητήρα είναι πάνω από 170 μην κάνεις τίποτα. Αλλιώς πρόσθεσε 5 μοίρες και γράψε τις στον σερβοκινητήρα. Οι εντολές delay χρησιμοποιήθηκαν ώστε να έχουμε μια μικρή καθυστέρηση (100ms) στην κάθε αλλαγή τιμών ποτενσιόμετρου και σερβοκινητήρα. Χωρίς τις εντολές delay το σύστημά μας θα ήταν ασταθές.

6. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Κατά τη διάρκεια της εργασίας και της πειραματικής διαδικασίας επετεύχθη η λειτουργία ενός ρομποτικού βραχίονα μέσω joystick. Υπήρξαν αρκετά προβλήματα κατά τη διάρκεια της κατασκευής τόσο στο κατασκευαστικό όσο και στο προγραμματιστικό κομμάτι της εργασίας, τα οποία αντιμετωπίστηκαν με διάφορα πειράματα και έρευνα. Κατά συνέπεια, αυτή η πτυχιακή προσφέρει τεχνικές και προγραμματιστικές γνώσεις.

Υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης και επέκτασης της παρούσας εργασίας όσον αφορά στον έλεγχο, την ακρίβεια και πληθώρα μεγεθών τα οποία δε λήφθηκαν υπόψη στην παρούσα εργασία λόγω της πολυπλοκότητας της ρομποτικής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διαδίκτυο:

- [1] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84%CF%84%CE%BF%CF%85%CE%9B%CE%B5%CE%BF%CE%BD%CE%AC%CF%81%CE%BD%CF%84%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%B1%CE%92%CE%AF%CE%BD%CF%84%CF%83%CE%B9> (Ανάκτηση την 17/02/18).
- [2] <http://users.sch.gr/jenyk/index.php/robotics> (Ανάκτηση την 17/02/18).
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Robotics> (Ανάκτηση την 17/02/18).
- [4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Robot#History> (Ανάκτηση την 17/02/18).
- [5] https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%AC%CE%BB%CF%89%CF%82_%CE%BC%CF%85%CE%B8%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1 (Ανάκτηση την 17/02/18).
- [6] <https://www.robotshop.com/media/files/PDF/timeline.pdf> (Ανάκτηση την 17/02/18).
- [7] https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82_%CF%84%CF%89%CE%BD_%CE%91%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%85%CE%B8%CE%AE%CF%81%CF%89%CE%BD (Ανάκτηση την 17/02/18).
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_robots (Ανάκτηση την 20/02/18).
- [9] <http://kotsanas.com/exh.php?exhibit=0501001> (Ανάκτηση την 20/02/18).
- [10] <http://users.sch.gr/mfanarioti/MHXANES/mixanologia/ydraulikoroloi.html> (Ανάκτηση την 20/02/18).
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Water_clock (Ανάκτηση την 20/02/18).
- [12] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84%CF%84%CE%BF%CF%85%CE%9B%CE%B5%CE%BF%CE%BD%CE%AC%CF%81%CE%BD%CF%84%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%B1%CE%92%CE%AF%CE%BD%CF%84%CF%83%CE%B9> (Ανάκτηση την 20/02/18).
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/Digesting_Duck (Ανάκτηση την 23/02/18).
- [14] <https://en.wikipedia.org/wiki/Elektro> (Ανάκτηση την 23/02/18).

- [15]https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CE%B5%CE%B9%CF%82_%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%BF%CE%B9_%CF%84%CE%B7%CF%82_%CF%81%CE%BF%CE%BC%CF%80%CE%BF%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82 (Ανάκτηση την 23/02/18).
- [16]<https://en.wikipedia.org/wiki/Unimate> (Ανάκτηση την 23/02/18).
- [17]https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%80%CE%BF%CF%8D%CF%84%CE%BD%CE%B9%CE%BA_1 (Ανάκτηση την 28/02/18).
- [18]<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%AF%CE%BA%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%A3%CE%AF%CE%BD%CE%BC%CE%B1%CE%BD> (Ανάκτηση την 28/02/18).
- [19]https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC_%CF%81%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84 (Ανάκτηση την 28/02/18).
- [20]<https://arduinobots.wordpress.com/%CF%81%CE%BF%CE%BC%CF%80%CE%BF%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE/%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B7-%CF%81%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84/>
- [21]https://en.wikipedia.org/wiki/Legged_robot (Ανάκτηση την 28/02/18).
- [22]<https://recruitloop.com/blog/the-pros-and-cons-of-having-robots-in-the-workplace/> (Ανάκτηση την 28/02/18).
- [23]<https://www.granta-automation.co.uk/news/advantages-and-disadvantages-of-industrial-robots/> (Ανάκτηση την 15/03/18).
- [24]http://blogs.sch.gr/8lyk-pat/files/2014/06/ANTHR_MHXANES9.pdf (Ανάκτηση την 15/03/18).
- [25]https://en.wikipedia.org/wiki/Robotic_arm (Ανάκτηση την 28/02/18).
- [26][https://en.wikipedia.org/wiki/Degrees_of_freedom_\(statistics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Degrees_of_freedom_(statistics)) (Ανάκτηση την 15/03/18).
- [27]https://en.wikipedia.org/wiki/Six_degrees_of_freedom (Ανάκτηση την 15/03/18).
- [28]<https://sites.google.com/site/misschokrsroboticclassroom/home/topic-overview-unit-outline> (Ανάκτηση την 15/03/18).
- [29]<http://www.allonrobots.com/spherical-robots.html> (Ανάκτηση την 15/03/18).
- [30]<https://www.robots.com/faq/what-are-the-main-types-of-robots> (Ανάκτηση την 15/03/18).
- [31]<http://www.robotoid.com/howto/materials-for-robot-building-an-introduction.html> (Ανάκτηση την 22/03/18).

- [32]https://en.wikibooks.org/wiki/Robotics/Design_Basics/Building_Materials (Ανάκτηση την 22/03/18).
- [33]<http://www.bara.org.uk/robots/robot-power-sources.html> (Ανάκτηση την 22/03/18).
- [34]https://warwick.ac.uk/fac/sci/physics/research/condensedmatt/imr_cdt/students/david_goodwin/teaching/mechatronics/l10_robotarms_cis009_2.pdf (Ανάκτηση την 22/03/18).
- [35]<http://www.roboticsbible.com/robot-links-and-joints.html> (Ανάκτηση την 22/03/18).
- [36]http://www.eln.teilam.gr/sites/default/files/lesson08_1.pdf (Ανάκτηση την 22/03/18).
- [37]<http://www.robot-welding.com/robots.htm> (Ανάκτηση την 19/04/18).
- [38]https://en.wikipedia.org/wiki/Cartesian_coordinate_robot (Ανάκτηση την 22/03/18).
- [39]<https://el.wikipedia.org/wiki/Arduino> (Ανάκτηση την 19/04/18).
- [40]<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (Ανάκτηση την 19/04/18).
- [41]<https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/65602/F2-BP-2016-Lexmann-Robert-priloha-4-ArduinoMega2560.pdf?sequence=4&isAllowed=y> (Ανάκτηση την 19/04/18).
- [42]<https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoMega2560> (Ανάκτηση την 20/04/18).
- [43]<https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino#Software> (Ανάκτηση την 20/04/18).
- [44]http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf (Ανάκτηση την 20/04/18).
- [45]<https://learn.sparkfun.com/tutorials/sik-experiment-guide-for-the-arduino-101-genuino-101-board/download-and-setup-the-arduino-software> (Ανάκτηση την 03/05/18).
- [46]https://playground.arduino.cc/uploads/Main/arduino_notebook_v1-1.pdf (Ανάκτηση την 03/05/18).
- [47][http://www.instructables.com/id/Use-that-old-PC-Power-Supply-as-a-high-current-%2B3./](http://www.instructables.com/id/Use-that-old-PC-Power-Supply-as-a-high-current-%2B3/) (Ανάκτηση την 19/04/18).
- [48]<http://www.instructables.com/id/DIY-Robotic-Arm/> (Ανάκτηση την 09/06/18).

