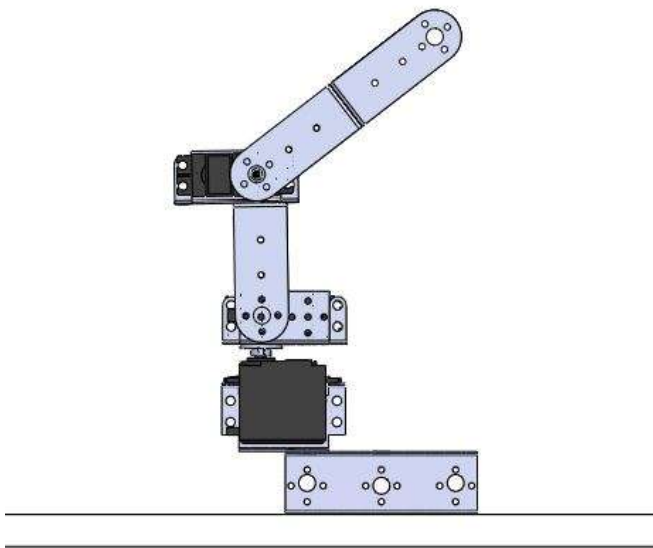


Ανάπτυξη μοντέλου ρομποτικού βραχίονα 3 DOF και συστήματος ελέγχου αυτού για την κατασκευή εκπαιδευτικού σειριακού μηχανισμού παραμετρικής γεωμετρίας



Εργασία που υποβλήθηκε στο
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Ρομποτική,
του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος,
για τη μερική εκπλήρωση υποχρεώσεων
για το Δίπλωμα Ειδίκευσης στη Ρομποτική

Εκπονητής: **Απόστολος Κυρισκόζογλου**

Επιβλέπων Καθηγητής: **Δημήτριος Σαγρής**

Σέρρες, 29-12-2023

Ανάπτυξη μοντέλου ρομποτικού βραχίονα 3 DOF και συστήματος ελέγχου αυτού για την κατασκευή εκπαιδευτικού σειριακού μηχανισμού παραμετρικής γεωμετρίας

Εργασία που υποβλήθηκε στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Ρομποτική, του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, για τη μερική εκπλήρωση υποχρεώσεων για το Δίπλωμα Ειδίκευσης στη Ρομποτική

Εκπονητής: Απόστολος Κυρισκόζογλου

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτριος Σαγρής

Σέρρες, 29-12-2023

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών:

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος φοιτητής, έχοντας επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής, δηλώνει υπεύθυνα ότι είναι συγγραφέας αυτής της Μεταπτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχοντας δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησε. Δηλώνει επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχει ενσωματώσει στην εργασία του προερχόμενο από βιβλία, άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο επακριβώς ή παραφρασμένο, το έχει πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχει αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής:

Απόστολος Κυρισκόζογλου

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία, η οποία είναι μια ερευνητική εργασία που εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Ρομποτική, υπό την επίβλεψη και επιστημονική καθοδήγηση του Καθηγητή *Δημήτριου Σαγρή*, τον οποίο και ευχαριστώ θερμά, για την γόνιμη και εποικοδομητική κριτική, την πολύτιμη αρωγή και υποστήριξη που μου παρείχε, και συνέβαλλε ουσιαστικά στην αρτιότερη ολοκλήρωσή της.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου για τη μετάδοση πολύτιμων γνώσεων που μου προσέφεραν, για την απλόχερη στήριξη που μου παρείχαν όταν χρειάστηκε. Η συμβολή τους, υπήρξε ανεκτίμητη και καταλυτική στην επιτυχή ολοκλήρωσή της παρούσας εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους μου για την απλόχερη βοήθεια που μου προσέφεραν, ιδίως τον *Γεωργιάδη Ζαφείρη* αλλά και τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχαν, ώστε να καταστεί αρτιότερη η δομή του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα και να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου, για την υποστήριξη, συμπαράσταση, υπομονή και ενθάρρυνσή της, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και κατά την συγγραφή της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας, δίχως την στήριξη της οποίας, δεν θα ήταν εφικτή η ολοκλήρωσή της.

Σέρρες, Δεκέμβριος 2023

ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΚΥΡΙΣΚΟΖΟΓΛΟΥ

Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αναπτύχθηκε αρχικά ένα εργαλείο παραμετρικής σχεδίασης γεωμετρίας των μελών του ρομποτικού βραχίονα, ορισμένης μορφής με μεταβλητές όμως διαστάσεις, με σκοπό την εύκολη κατασκευή αυτών με χρήση τεχνολογιών ταχείας προτυποποίησης, είτε 3Dprinting, είτε lasercutting. Η μορφή των μερών αυτών εξυπηρετεί την εύκολη συναρμολόγηση τους σε διάταξη, την ενσωμάτωση σε αυτή σερβοκινητήρων μοντελισμού και τον έλεγχό τους μέσω ενός controller με χρήση της πλατφόρμας Arduino. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε αποτελείται την παραμετρική γεωμετρία των δομικών στοιχείων, τους απαραίτητους κινητήρες με τις κατάλληλες εδράσεις αυτών, το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει την κινηματική του μηχανισμού, τον ελεγκτή με βάση το Arduino και έτοιμο κώδικα σε βασική μορφή, καθώς και εκτενή εγχειρίδια κατανόησης του τρόπου λειτουργίας, καθώς και την ανάπτυξη και χρήση του προτεινόμενου συστήματος

English Summary

Thesis Title:Development of a 3 DOF robotic arm model and its control system for the construction of a parametric geometry training serial mechanism.

Abstract

For the purpose of this project, a tool was initially developed for the parametric design of the geometry of the members of a robotic arm, of certain form and variable dimensions, in order to easily manufacture them using rapid prototyping technologies, either 3D printing or laser cutting. The form of these parts serves to easily assemble them into a layout, to integrate modelling servo motors into it and to control them through a controller using the Arduino platform. The model developed consists of the parametric geometry of its structural elements, the necessary engines in the suitable position, the mathematical model used to describe the kinetics of the mechanism, the Arduino based controller, a ready code in basic form, as well as extensive manuals for understanding the mode of operation and manuals for the development and use of the proposed system.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	11
1.1. Κίνητρο.....	11
1.2. Αντικείμενο εργασίας.....	11
1.3. Επιθυμητό αποτέλεσμα.....	11
Στάθμη γνώσεων.....	12
2.1. Ιστορική Αναδρομή Ρομπότ.....	12
2.2. Χαρακτηριστικά Ρομποτικών βραχιόνων.....	19
2.2.1. Βαθμοί Ελευθερίας.....	19
2.2.2. Ωφέλιμο φορτίο, επαναληψιμότητα, ακρίβεια.....	20
2.2.3. Ρομποτικός χώρος εργασίας.....	21
2.3. Δομή των Ρομποτικών βραχιόνων.....	23
2.3.2. Οι Ενεργοποιητές.....	26
2.3.3 Σύστημα Ελέγχου.....	30
2.4 Κατηγορίες Ρομπότ.....	30
2.5. Κινηματική ανάλυση κατά Denavit – Hartenberg.....	38
Σειριακός Βραχίονας υπό Κλίμακα.....	40
3.1. Ο βραχίονας.....	40
3.2. Οι κινητήρες.....	41
3.4. Ο προγραμματισμός του ελεγκτή.....	45
Κινηματική Ανάλυση.....	48
4.1. ΣΣ και παράμετροι κατά Denavit-Hartenberg.....	48
4.2. Όρια αρθρώσεων.....	49
4.3. Ορθή Κινηματική Ανάλυση.....	50
4.4. Αντίστροφη Κινηματική Ανάλυση.....	51
Ανάπτυξη Εφαρμογής.....	- 55 -
5.1. Κατασκευή μερών βραχίονα.....	- 55 -
5.2. Συναρμολόγηση μερών σε διάταξη.....	- 56 -
5.3. Ενσωμάτωση κινητήρων.....	- 58 -
5.4. Διασύνδεση ελεγκτή με κινητήρες.....	- 59 -
5.5. Ενσωμάτωση κώδικα στον ελεγκτή.....	- 61 -
5.6. Εκτέλεση δοκιμών - Αξιολόγηση αποτελέσματος.....	- 64 -
Οδηγίες Ανάπτυξης Εφαρμογής.....	83
Συμπεράσματα – Προτάσεις Βελτίωσης.....	87
Βιβλιογραφία.....	89
9. Παράρτημα.....	92
9.1 Κώδικες.....	92

9.1.1.Κώδικας Υπολογισμού P_x, P_y, P_z	92
9.1.2.Κώδικας Οδήγησης Σερβοκινητήρων	93
9.1.3.Κώδικας GUI.....	94
9.1.4.Κώδικας MASTER.M [30]	98
9.2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ.....	102
9.3. Εξαρτήματα και Υλικά Ρομποτικού Βραχίονα	105

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Εξίσωση 1:Ροπή Δυσμενέστερης Θέσης.....	42
Εξίσωση 2:Ευθύ Κινηματικό Πρόβλημα εξισώσεις P_x, P_y, P_z	51
Εξίσωση 3:Αντίστροφο Κινηματικό Πρόβλημα Εξίσωση Θ_1	52
Εξίσωση 4: Αντίστροφο Κινηματικό Πρόβλημα Εξίσωση Θ_2	53
Εξίσωση 5: Αντίστροφο Κινηματικό Πρόβλημα Εξίσωση Θ_3	53

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1:Δεδομένα Υπολογισμού Ροπής Δυσμενέστερης Θέσης.....	42
Πίνακας 2:Μενού και Μπάρα εντολών ARDUINOIDE.....	46
Πίνακας 3:Παράμετροι κατά Denavit-Hartenberg.....	49
Πίνακας 4:Λειτουργικά Στοιχεία Ρομποτικού Βραχίονα.....	- 57 -
Πίνακας 5: Φάσεις 1-5 Συναρμολόγησης του ρομποτικού βραχίονα.....	83
Πίνακας 6 : Φάσεις 6-10 Συναρμολόγησης του ρομποτικού βραχίονα.....	84
Πίνακας 7:Εξαρτήματα Και Υλικά Ρομποτικού Βραχίονα	105
Πίνακας 8: Εξαρτήματα Και Υλικά Ρομποτικού Βραχίονα	105

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1:Βιομηχανικός Ρομποτικός Βραχίονας PUMA 560 της Unimation Inc[6].....	15
Εικόνα 2: AGV σε Βιομηχανικό Περιβάλλον [7]	16
Εικόνα 3: Αυτόνομο Ρομπότ με τροχούς [8]	16
Εικόνα 4: Βαδίζοντα Ρομπότ [8]	17
Εικόνα 5: ROVs (Remotely Operated Vehicles) ROVs [9].....	18
Εικόνα 6:AUVs (Autonomous Underwater Vehicles) [10]	18
Εικόνα 7 : Εναέρια ρομπότ [11]	19
Εικόνα 8 :Οι 6 Βαθμοί Ελευθερίας [12].....	20
Εικόνα 9: Επαναληψιμότητα και ακρίβεια [17]	21
Εικόνα 10:Χώρος εργασίας ενός επίπεδου (planar) βραχίονα 2 DOF [13].....	22
Εικόνα 11: Βασική δομή ρομποτικού βραχίονα [8]	23
Εικόνα 12.Αναπαράσταση βραχίονα 6 περιστροφικών αρθρώσεων [9].....	24
Εικόνα 13:Απλές αρθρώσεις. [10]	25
Εικόνα 14:Σύνθετες Αρθρώσεις [11].....	26
Εικόνα 15: DC κινητήρας [12].....	27

Εικόνα 16: Εσωτερική μορφή Κινητήρα Servo [13].....	27
Εικόνα 17:Οδήγηση σερβοκινητήρα [14]	28
Εικόνα 18: Βηματικός Κινητήρας [16]	29
Εικόνα 19: Δομή ενός τυπικού καρτεσιανού βραχίονα [18]	33
Εικόνα 20: Βραχίονας Gantry [17]	33
Εικόνα 21: Κυλινδρικός βραχίονας [19]	35
Εικόνα 22: Σφαιρικός Βραχίονας [20]	35
Εικόνα 23 :Ανθρωπομορφικός Ρομποτικός Βραχίονας [21].....	37
Εικόνα 24:Scara Robot [22].....	38
Εικόνα 25: Τα πλαίσια συντεταγμένων D-H [24].....	38
Εικόνα 26: Βασικά δομικά στοιχεία Σκελετού ρομποτικού Βραχίονα.....	40
Εικόνα 27:Υπολογισμός Ροπών αρθρώσεων.....	42
Εικόνα 28: ArduinoUnoR3 [27].....	45
Εικόνα 29: Μενού και Μπάρα εντολών ARDUINO IDE [28].....	46
Εικόνα 30: Αρίθμηση Αρθρώσεων.....	48
Εικόνα 31: Ανάθεση συστημάτων συντεταγμένων κατά D-H στον ρομποτικό βραχίονα	49
Εικόνα 32:Μητρώα Μετασχηματισμού.....	50
Εικόνα 33: Δύο Ζεύγη Γωνιών, Ίδιο Τελικό Σημείο	54
Εικόνα 34: Βάση Ρομπότ.....	- 55 -
Εικόνα 35:Βάση Μοτέρ.....	- 55 -
Εικόνα 36:Σύνδεσμος(Σκέλος)	- 55 -
Εικόνα 37:Δομικά Στοιχεία Ρομποτικού Βραχίονα	- 56 -
Εικόνα 38: Διάταξη Λειτουργίας Ρομποτικού Βραχίονα.....	- 58 -
Εικόνα 39:Καλιμπράρισμα Κινητήρων.....	- 59 -
Εικόνα 40: Ακροδέκτες – Καλώδια Ελέγχου Servo	- 60 -
Εικόνα 41:Οδήγηση Servo [30]	- 60 -
Εικόνα 42: Σύνδεση κινητήρων με τον ελεγκτή.....	- 61 -
Εικόνα 43:Σειριακή Επικοινωνία Matlab-Arduino [34]	- 62 -
Εικόνα 44:Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=0, \theta_3=0$	- 65 -
Εικόνα 45: Υπολογισμός P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=0, \theta_3=0$	- 66 -
Εικόνα 46: Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=90, \theta_3=0$	- 66 -
Εικόνα 47:Υπολογισμος P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=90, \theta_3=0$	- 67 -
Εικόνα 48: Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=50, \theta_3=80$	- 67 -
Εικόνα 49: Υπολογισμός P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=50, \theta_3=80$	- 68 -
Εικόνα 50: Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=45, \theta_3=-45$	- 68 -
Εικόνα 51: Υπολογισμός P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=45, \theta_3=-45$	- 69 -
Εικόνα 52:Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=60, \theta_3=-76$	- 69 -
Εικόνα 53: Υπολογισμός P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=60, \theta_3=-76$	- 70 -
Εικόνα 54: Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=70, \theta_3=-100$	- 70 -

Εικόνα 55: Υπολογισμός P_x, P_y, P_z Για $\Theta_1=90, \Theta_2=70, \Theta_3=-100$	- 71 -
Εικόνα 56: Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\Theta_1=90, \Theta_2=80, \Theta_3=-150$	- 71 -
Εικόνα 57: Υπολογισμός P_x, P_y, P_z Για $\Theta_1=90, \Theta_2=80, \Theta_3=-150$	- 72 -
Εικόνα 58: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\Theta_1=90, \Theta_2=90, \Theta_3=90$	- 74 -
Εικόνα 59: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\Theta_1=90, \Theta_2=45, \Theta_3=45$	- 75 -
Εικόνα 60: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\Theta_1=90, \Theta_2=60, \Theta_3=16$	- 76 -
Εικόνα 61: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\Theta_1=5, \Theta_2=5, \Theta_3=175$	- 77 -
Εικόνα 62: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\Theta_1=5, \Theta_2=175, \Theta_3=130$	- 78 -
Εικόνα 63: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\Theta_1=175, \Theta_2=5, \Theta_3=90$	- 79 -
Εικόνα 64: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\Theta_1=45, \Theta_2=5, \Theta_3=60$	- 80 -
Εικόνα 65: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\Theta_1=30, \Theta_2=85, \Theta_3=5$	- 81 -
Εικόνα 66: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\Theta_1=135, \Theta_2=16, \Theta_3=90$	- 82 -
Εικόνα 68: Φάσεις 1-4 Συναρμολόγησης του ρομποτικού βραχίονα.....	85
Εικόνα 69: 5-6 Φάσεις 5-6 Συναρμολόγησης του ρομποτικού βραχίονα.....	85
Εικόνα 70: Φάσεις 7-10 Συναρμολόγησης του ρομποτικού βραχίονα.....	86
Εικόνα 71: Servo-κινητήρας υψηλής ροπής MG996R [25]	102
Εικόνα 72: Σταθεροποιημένο τροφοδοτικό 12V/10A/120W-ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ [31]	103
Εικόνα 73: Μετατροπέας DC-DC [32].....	104

1.Εισαγωγή

Εισαγωγή

1.1. Κίνητρο

Σαν εκπαιδευτικός της β' βάθμιας Τεχνολογικής Εκπαίδευσης ελπίζω να δώσω την ευκαιρία σε όσους το δυνατόν περισσότερους μαθητές να έρθουν σε επαφή με τις βασικές εννοιές της ρομποτικής και της παραμετρικής σχεδίασης.

1.2. Αντικείμενο εργασίας

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θα αναπτυχτεί αρχικά ένα εργαλείο παραμετρικής σχεδίασης γεωμετρίας των μελών του ρομποτικού βραχίονα, ορισμένης μορφής με μεταβλητές όμως διαστάσεις, με σκοπό την εύκολη κατασκευή αυτών με χρήση τεχνολογιών ταχείας προτυποποίησης, είτε 3D printing, είτε lasercutting. Η μορφή των μερών αυτών θα εξυπηρετεί την εύκολη συναρμολόγηση τους σέ διάταξη, την ενσωμάτωση σέ αυτή σερβοκινητήρων μοντελισμού και τον έλεγχό τους μέσω ενός controller με χρήση της πλατφόρμας Arduino. Το μοντέλο που θα αναπτυχθεί αποτελείται από την παραμετρική γεωμετρία, τους απαραίτητους κινητήρες με τις κατάλληλες εδράσεις αυτών, το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει την κινηματική του μηχανισμού, τον ελεγκτή με βάση το Arduino και έτοιμο κώδικα σε βασική μορφή, καθώς και εκτενή εγχειρίδια κατανόησης του τρόπου λειτουργίας, καθώς και την ανάπτυξη και χρήση του προτεινόμενου συστήματος.

1.3. Επιθυμητό αποτέλεσμα

Η εργασία συνολικά αποσκοπεί στη δημιουργία ενός απλού και περιορισμένων δυνατοτήτων σειριακού ρομποτικού βραχίονα χειριζόμενου κυρίως σε προκαθορισμένες κινήσεις, σύστημα όμως που περιλαμβάνει όλα τα μέρη ενός ρομπότ κλίμακας 1:1. Το πλήρες προτεινόμενο μοντέλο (γεωμετρία, κατασκευή, κινητήρες, σύστημα ελέγχου, κώδικα ελέγχου) μπορεί να αποτελέσει τη βάση ενασχόλησης των μαθητών Μέσης Εκπαίδευσής με το αντικείμενο της Ρομποτικής, το οποίο αρχικά θα προσφέρει μια πλήρη εικόνα ως λειτουργικό - υπό κλίμακα - μοντέλο, αλλά θα δίνει και τη δυνατότητα εξέλιξης αυτού από τους εκκολαπτόμενους μηχανικούς, είτε στο πλαίσιο κάποιου τεχνικού μαθήματος, είτε ατομικά από τον μαθητή.

Στάθμη γνώσεων

2.1. Ιστορική Αναδρομή Ρομπότ

Τα ρομπότ αποτελούν αυτόματες συσκευές που αναλαμβάνουν διάφορες εργασίες, απαλλάσσοντας τους ανθρώπους από την ανάγκη για παρέμβαση. Ένα ρομπότ μπορεί να δράσει κάτω από τον απευθείας έλεγχο ενός ανθρώπου ή αυτόνομα κάτω από τον έλεγχο ενός προγραμματισμένου υπολογιστή.

Τα ρομπότ αναλαμβάνουν τόσο επικίνδυνες όσο και δύσκολες εργασίες, που οι άνθρωποι δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν άμεσα. Σε άλλες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται για να εκτελέσουν εργασίες με μεγαλύτερη αποδοτικότητα και οικονομία σε σύγκριση με τον ανθρώπινο παράγοντα. Έτσι, αποτελούν κλειδί για την αυτοματοποιημένη παραγωγή αγαθών, ιδίως στην επιχειρηματική διαδικασία.[1]

Σύμφωνα με το Ίδρυμα Ρομποτικής της Αμερικής (1979), ένα ρομπότ είναι ένα πολυλειτουργικό και προγραμματιζόμενο μηχάνημα, που προορίζεται για τη μεταφορά υλικών, εργαλείων και αντικειμένων με βάση τις προγραμματιζόμενες κινήσεις του.

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO, ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι ένα πολυαξονικό μηχάνημα που μπορεί να χειρίζεται αντικείμενα, εργαλεία και ειδικές συσκευές. Λειτουργεί με σερβοκίνηση και είναι προγραμματιζόμενο, επιτρέποντας την προσαρμογή σε διάφορες εργασίες.[2]

Στην επιστημονική κοινότητα, τα ρομπότ θεωρούνται μηχανές που μπορούν να αλλάξουν το περιβάλλον τους μέσω ενεργειών που υπακούν σε εγγενείς κανόνες και βασίζονται σε πληροφορίες από τους αισθητήρες τους.[3]

Ο όρος "ρομπότ" προέρχεται από τη λογοτεχνία και το θέατρο, όπου χρησιμοποιήθηκε από τον Τσέχο συγγραφέα K. Capek για να περιγράψει την αλλαγή που έφερε η αυτοματοποίηση στη βιομηχανική εποχή και τις εργασιακές σχέσεις. Προέρχεται από το ρωσικό όρο "Robota", που σημαίνει εργασία επιβεβλημένη από την κυβέρνηση. Αυτό σημαίνει ότι ένα ρομποτικό ανθρωποειδές μηχάνημα είναι αυτοματοποιημένο και εκτελεί εργασίες με παρόμοιο τρόπο με τον άνθρωπο.[2]

Ορισμός Ρομποτικής

Η Ρομποτική αντιπροσωπεύει τον προηγμένο κλάδο της αυτοματοποίησης. Εστιάζει στην εκτεταμένη ανάλυση, τον σχεδιασμό και την λειτουργία των ρομπότ, με στόχο τη συνεχή τους βελτίωση.

Σύμφωνα με τον McKerrow [San93], η Ρομποτική αναλύει το διεπιστημονικό πεδίο που περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τον έλεγχο και τον προγραμματισμό των ρομπότ, τη χρήση τους για την αντιμετώπιση προβλημάτων, καθώς και την ανάλυση των μηχανισμών ελέγχου και αίσθησης που εφαρμόζονται σε ανθρώπους, ζώα και μηχανές, καθώς και την εφαρμογή αυτών των μηχανισμών και αλγορίθμων στα ρομπότ.

Σύμφωνα με τον Brady [Bra89], η Ρομποτική είναι η έξυπνη ένωση της αντίληψης με την ενέργεια-δράση. Αυτή η προσέγγιση υπογραμμίζει τη σύγχρονη προσέγγιση της Ρομποτικής, η οποία είναι ευρέως διαδεδομένη στην έρευνα και εφαρμογή, με υψηλές προσδοκίες για το μέλλον.[2]

Η Ρομποτική εντάσσεται στον ευρύτερο κλάδο της Μηχανοτρονικής, η οποία συνδυάζει τις επιστήμες της Μηχανολογίας, της Ηλεκτρονικής - Ηλεκτρολογίας και της Πληροφορικής. Η Μηχανοτρονική επικεντρώνεται στην ενσωμάτωση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, τα οποία συχνά υπόκεινται σε προγραμματισμό, σε μηχανολογικά συστήματα.

Ο όρος "Μηχανοτρονική" δημιουργήθηκε από τον TetsuroMori, ανώτερο μηχανικό της ιαπωνικής εταιρείας Yaskawa, το 1969. Η Μηχανοτρονική μπορεί να αποκαλείται επίσης "Επιστήμη των Ηλεκτρομηχανολογικών Συστημάτων" ή, σπανιότερα, "Επιστήμη του Ελέγχου και του Αυτοματισμού της Μηχανικής". Από το 1982, η εταιρεία επιτρέπει την ελεύθερη χρήση του όρου.

Ένα μηχανοτρονικό σύστημα αποτελείται από τους μηχανισμούς Κίνησης, Ελέγχου και Αισθητήρες. Σε αντίθεση, ένα μηχανολογικό σύστημα αποτελείται μόνο από μηχανισμούς και ενεργοποιητές, με την ενδεχόμενη ενσωμάτωση του ελέγχου. Η Μηχανοτρονική προσφέρει τα απαραίτητα στοιχεία για τον έλεγχο του συστήματος σε κλειστό βρόχο και περιλαμβάνει τους απαραίτητους αισθητήρες. Επιπλέον, περιλαμβάνει την ψηφιακή επεξεργασία των σημάτων και την εκτέλεση των ενεργειών στο τελικό σημείο μέσω ενός ενεργοποιητή, προκειμένου να παράγονται κινήσεις και ενέργειες στο σύστημα.

Οι κυριότερες εφαρμογές της Μηχανοτρονικής περιλαμβάνουν τη ρομποτική, τα συστήματα μεταφορών, τα συστήματα παραγωγής, τις μηχανές CNC και τις βιομηχανικές αυτομηχανές.[4]

2.2 Είδη Ρομπότ

Γνωρίζουμε ότι υπάρχουν διάφορα κριτήρια διάκρισης των ρομπότ καθώς και αντίστοιχες κατηγοριοποιήσεις αυτών εκ των οποίων μία είναι η διάκρισή τους σε τρεις, επί του παρόντος, "γενιές".[5]

- 1η γενιά: σε αυτή κατατάσσονται ρομπότ με περιορισμένη ευελιξία τα οποία διευθύνονται από τον άνθρωπο, οι απλοί "χειριστές" για παράδειγμα είναι σχετικά απλά εργαλεία που επιτρέπουν π.χ. τη μετακίνηση επικίνδυνων αντικειμένων, όπως ραδιενεργών υλικών.

- 2η γενιά: σε αυτή κατατάσσονται ρομπότ εφοδιασμένα με σταθερό πρόγραμμα δράσης και άλλα που λαμβάνουν εντολές μέσα από κάποιο σύστημα αριθμητικού ελέγχου.

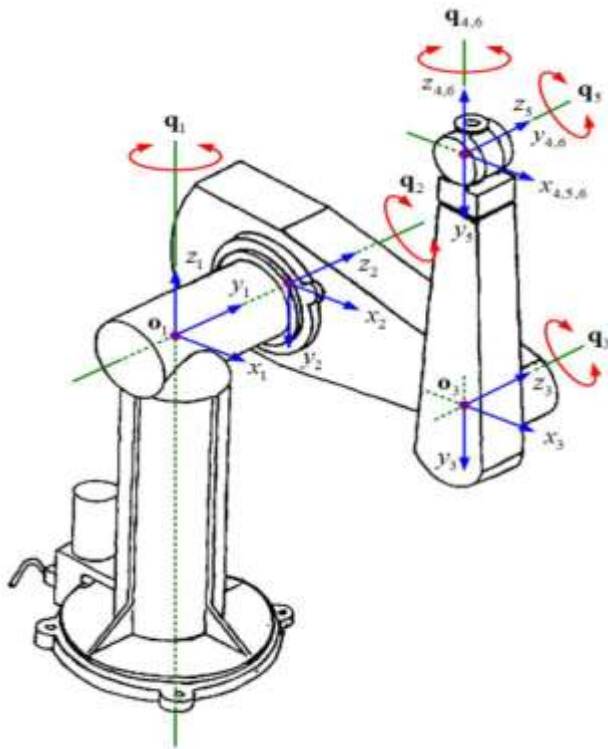
- 3η γενιά: εδώ κατατάσσονται τα ρομπότ που είναι εφοδιασμένα:
 - με αισθητήριες "πληροφορίες" από το περιβάλλον,
 - με διάταξη επεξεργασίας των πληροφοριών και
 - με κινητήριο σύστημα εκτέλεσης εργασιών.

Στην πολυετή εξέλιξη της ρομποτικής επιστήμης, δημιουργήθηκαν διάφορα είδη ρομποτικών μμηχανισμών, με σημαντικές διαφορές στη μορφή, τα οποία αποτελούνται από αντίστοιχα επιμέρους υποσυστήματα. Τα τελευταία είναι αυτά που αναφέρθηκαν πιο πάνω (μηχανολογικό υποσύστημα, υποσύστημα αίσθησης και τέλος το σύστημα ελέγχου).

Στη συνέχεια γίνεται μία αναφορά στα σπουδαιότερα είδη ρομπότ.

2.2.1. Ρομπότ Σταθερής Βάσης:

Είναι τα ρομπότ που αποτελούνται από διαδοχικά στερεά σώματα ή αλλιώς σύνδεσμοι και συνδέονται μέσω αρθρώσεων. Σχηματίζονται μία κινηματική αλυσίδα της οποίας το ένα άκρο (βάση) είναι σταθερά συνδεδεμένο με κάποιο σημείο του περιβάλλοντος χώρου. Το ρομπότ αυτό αποτελεί την παραδοσιακή μορφή ενός βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα, και περιλαμβάνει το βραχίονα, τον καρπό και το εργαλείο (Εικόνα1).



Εικόνα 1:Βιομηχανικός Ρομποτικός Βραχίονας PUMA 560 της Unimation Inc[6]

2.2.2. Κινούμενα Ρομπότ:

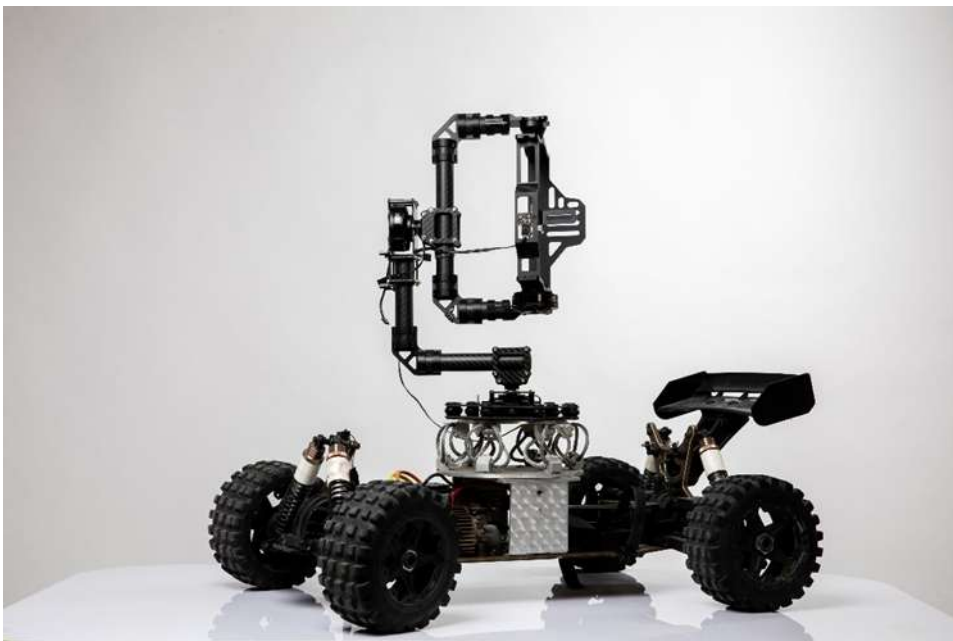
Με τον όρο «κινούμενα ρομπότ» χαρακτηρίζονται εκείνα που έχουν τη δυνατότητα να μετακινούν όλα τα μέρη του μηχανισμού τους. Αυτή η δυνατότητα προσφέρεται από ειδικά συστήματα προώθησης, που μπορεί να είναι α) απλά (όπως τροχοί) ή β) πολύπλοκα (όπως jet, προπέλες, μηχανικά πόδια). Και αυτά τα ρομπότ διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό της αυτονομίας τους. Έτσι λοιπόν έχουμε τα εξής:

i)AGVs (AutomaticGuidedVehicles).Αυτά έχουν περιορισμένη αυτονομία στην κίνηση, και αυτό επειδή η τροχιά τους γίνεται μέσω καλωδίων στο έδαφος ή πομπών στον περιβάλλοντα χώρο (Εικόνα.2)



Εικόνα 2: AGV σε Βιομηχανικό Περιβάλλον [6]

ii) Αυτόνομα Έντροχα Ρομπότ: Και αυτά τα ρομπότ χρησιμοποιούν τροχούς αλλά λειτουργούν με μεγάλο βαθμό αυτονομίας σε σχέση με τα προηγούμενα . Τα συγκεκριμένα μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς να υπάρχει συνεχή εξωτερική επίβλεψη έτσι ώστε με μόνο ορισμένες υψηλού επιπέδου εντολές να είναι σε θέση να εκτελούν εργασίες αυτόνομα (Εικόνα3)



Εικόνα 3: Αυτόνομο Ρομπότ με τροχούς [8]

iii) Βαδίζοντα Ρομπότ:

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα αυτά τα ρομπότ δε χρησιμοποιούν συμβατικούς τροχούς για την κίνησή τους αλλά μηχανικά πόδια. Τα μηχανικά πόδια τους δίνουν τη δυνατότητα να αποφεύγουν εμπόδια και την ικανότητα να αναρριχούνται σε ανώμαλα εδάφη καθώς και σε μη επίπεδες επιφάνειες. Τα πιο συνηθισμένα ρομπότ σε αυτή την κατηγορία είναι αυτά με τα δύο πόδια ενώ υπάρχουν και εφαρμογές με περισσότερα πόδια, όπως αυτά που μοιάζουν και κινούνται όπως οι αράχνες



(Εικόνα4)

Εικόνα 4: Βαδίζοντα Ρομπότ [8]

iv) ROVs: τα ROVs (Remotely Operated Vehicles) Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα μη επανδρωμένα υποβρύχια ρομπότ. Αυτά είναι συνδεδεμένα με το μητρικό πλοίο μέσω καλωδίου γεγονός που τους δίνει μικρό βαθμό αυτονομίας και καλύπτει τις ανάγκες του σε ενέργεια και 4 επικοινωνίες.(Εικόνα 5)



Εικόνα5:ROVs (Remotely Operated Vehicles) ROVs [9]

v). AUVs: τα AUVs (Autonomous Underwater Vehicles).Αυτά τα ρομπότ είναι αυτόνομα πλήρως και έτσι δεν έχουν την ανάγκη καλωδίου. Η τροφοδοσία τους (ενέργεια) γίνεται με ειδικές μπαταρίες που όμως θέτει και περιορισμούς στη λειτουργία τους. Τα AUVs έχουν Εικόνα τορπιλών και έχουν τη δυνατότητα να κινούνται με αρκετά μεγάλες ταχύτητες .(Εικόνα.6)



Εικόνα6:AUVs (Autonomous Underwater Vehicles) [10]

vi). Εναέρια ρομπότ: Μη επανδρωμένα ιπτάμενα ρομπότ, όπως ελικόπτερα και αεροπλάνα.(Εικόνα.7) Αυτά έχουν συνεχώς αυξανόμενες



εφαρμογές.Η μειωμένη σταθερότητα και ασφάλεια στη συμπεριφοράς τους τα

καθιστά προς το παρόν κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν για στρατιωτικούς κυρίως σκοπούς.

Εικόνα 7: Εναέρια ρομπότ [11]

Όλες οι παραπάνω κατηγορίες των ρομπότ αποτελούνται, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, από τα βασικά υποσυστήματα τα οποία θα περιγράψουμε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια παρακάτω με μεγαλύτερη έμφαση στην πρώτη κατηγορία. Αυτό θα γίνει γιατί σήμερα οι βιομηχανικοίρομποτικοί βραχίονες συγκριτικά με όλα τα άλλα είδη, έχουν φτάσει σε ένα επίπεδο πιο ώριμης τεχνολογίας. Αυτό δεν αποκλείει το γεγονός τα επόμενα χρόνια να υπάρξουν σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις και στις υπόλοιπες κατηγορίες των ρομπότ.

2.2. Χαρακτηριστικά Ρομποτικώνβραχιόνων

2.2.1. Βαθμοί Ελευθερίας

Ο όρος 'Βαθμοί Ελευθερίας', συνήθως συντομευμένος ως df ή DOF, αναφέρεται στον αριθμό των ανεξάρτητων παραμέτρων ή μεταβλητών που χαρακτηρίζουν ένα σύστημα. Ο όρος 'ελευθερία' σε αυτό το πλαίσιο αναφέρεται στα όρια εντός των οποίων είναι δυνατή η φυσική κίνηση ή άλλες φυσικές διεργασίες, ανάλογα με τον επιστημονικό τομέα που αφορά.

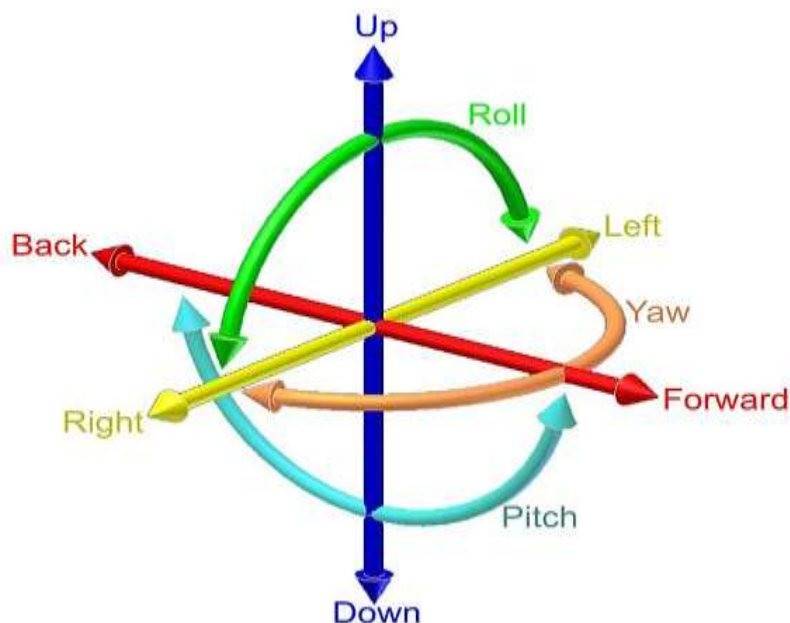
Από μηχανικής άποψης, ο αριθμός των ανεξάρτητων κινήσεων ενός σώματος περιγράφεται από τους βαθμούς ελευθερίας. Όταν ένας μηχανισμός αποτελείται από πολλά σώματα, οι βαθμοί ελευθερίας αναφέρονται στον αριθμό των πιθανών ανεξάρτητων σχετικών κινήσεων μεταξύ τμημάτων.

Για παράδειγμα, μια αρθρώσεις με μπίλιες παρέχουν τρεις βαθμούς ελευθερίας, καθώς μπορούν να περιστρέφονται ελεύθερα, όπως ο ανθρώπινος καρπός ή το ισχίο.

Για ένα στερεό σώμα που κινείται ελεύθερα στον χώρο, υπάρχουν έξι βαθμοί ελευθερίας, τρεις για την θέση και τρεις για τον προσανατολισμό. Αυτοί αναλύονται σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, που θεωρείται ως το σύστημα αναφοράς για τις θέσεις και τους προσανατολισμούς του σώματος.(Εικόνα.8)

Σημειώνεται ότι οι 'Βαθμοί Κινητικότητας' και 'Βαθμοί Ελευθερίας' αποτελούν διακριτές έννοιες. Οι πρώτοι αντικατοπτρίζουν τον αριθμό των αρθρώσεων ενός μηχανισμού κατά την κατασκευή του, ενώ οι δεύτεροι σχετίζονται με τις ανεξάρτητες μεταβλητές που περιγράφουν τη θέση των υλικών σημείων.

Για παράδειγμα, αν μια εργασία απαιτεί την τοποθέτηση ενός υλικού στον τρισδιάστατο χώρο, απαιτούνται 3 βαθμοί ελευθερίας. Συνεπώς, αν ο μηχανισμός έχει 3 βαθμούς κινητικότητας ή περισσότερους, μπορεί να ανταπεξέλθει. Ωστόσο, αν απαιτείται επίσης η καθοδήγηση του υλικού σε σχέση με ένα σύστημα αναφοράς, τότε οι απαιτούμενοι βαθμοί ελευθερίας αυξάνονται σε έξι, απαιτώντας έναν μηχανισμό με 6 βαθμούς κινητικότητας για την εκτέλεση της εργασίας αυτής.



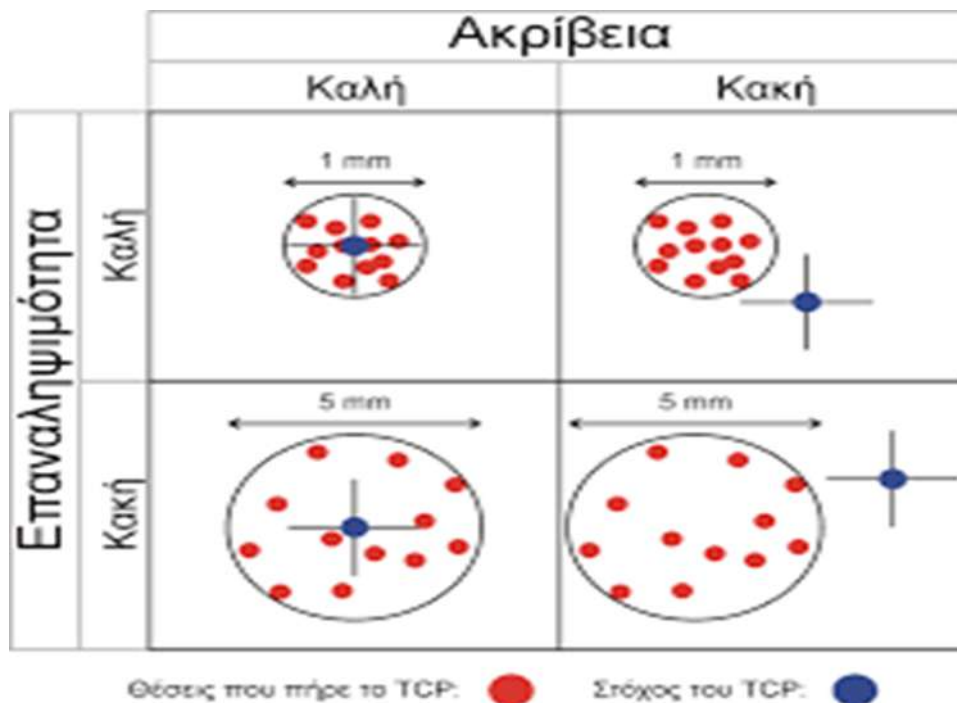
Εικόνα 8:Οι 6 Βαθμοί Ελευθερίας [12]

2.2.2. Ωφέλιμο φορτίο, επαναληψιμότητα, ακρίβεια

Όταν πρόκειται για έναν βιομηχανικό βραχίονα, υπάρχουν τρία βασικά χαρακτηριστικά που ξεχωρίζουν:

- **Ωφέλιμο Φορτίο:** Αντιπροσωπεύει το μέγιστο βάρος που μπορεί να αντέξει το άκρο του βραχίονα. Αυτό το φορτίο μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με την ταχύτητα κίνησης του βραχίονα.
- **Επαναληψιμότητα:** Αφορά τη δυνατότητα του βραχίονα να επιστρέφει σε ένα συγκεκριμένο σημείο μετά από πολλαπλές εκτελέσεις. Κατά τις επαναλήψεις αυτές, είναι αναμενόμενη μια μικρή απόκλιση στην θέση του βραχίονα, γι' αυτό και η επαναληψιμότητα περιγράφεται ως ένα εύρος.(Εικόνα.9)

Ακρίβεια: Προσδιορίζει την ικανότητα του ρομπότ να πλησιάζει με ακρίβεια το προγραμματισμένο σημείο. Η ακρίβεια εξαρτάται από τα συστήματα ελέγχου, την μηχανική σύνδεση των μερών και την ακρίβεια των σερβοκινητήρων.(Εικόνα.9)



Εικόνα 9: Επαναληψιμότητα και ακρίβεια [17]

2.2.3. Ρομποτικός χώρος εργασίας

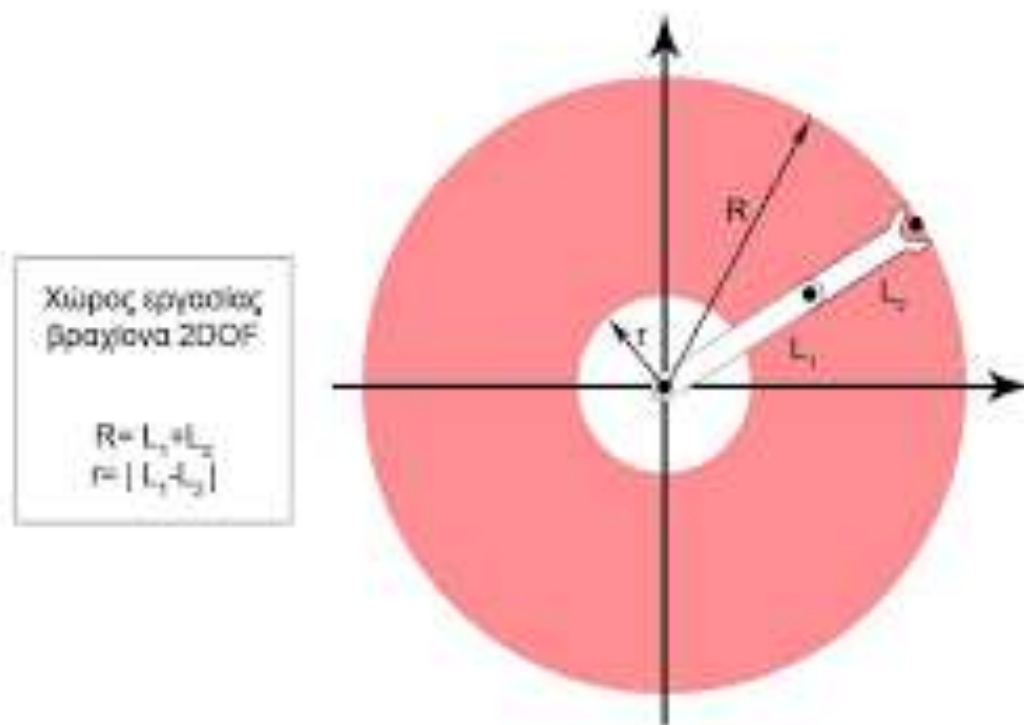
Ο χώρος εργασίας ενός ρομπότ αποτελεί τον μέγιστο χώρο που το τελικό σημείο δράσης μπορεί να φτάσει, λειτουργώντας εντός ενός τρισσορθογώνιου συστήματος αξόνων. Η συγκεκριμένη γεωμετρική επέκταση εξαρτάται από την δομή του ρομποτικού βραχίονα, συμπεριλαμβανομένου του αριθμού και του τύπου των αρθρώσεων, καθώς και των μήκους των συνδέσμων του. Επιπλέον, ο εργασιακός χώρος ενός ρομπότ μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες: τον προσβάσιμο εργασιακό χώρο και τον επιδέξιο εργασιακό χώρο.

Ο προσβάσιμος χώρος εργασίας αντιστοιχεί στο γεωμετρικό πεδίο των σημείων όπου το τελικό σημείο δράσης του ρομποτικού μηχανισμού μπορεί να φτάσει, έστω και με μια ελάχιστη αλλαγή της κινηματικής αλυσίδας

. Από την άλλη, ο επιδέξιος εργασιακός χώρος, που αποτελεί υποσύνολο του προσβάσιμου, αναφέρεται στο γεωμετρικό πεδίο των σημείων που είναι προσβάσιμα με όλες τις δυνατές αλλαγές προσανατολισμού της κινηματικής αλυσίδας. Σημειώνεται ότι ο επιδέξιος χώρος εργασίας υπάρχει μόνο για χειριστές με τρεις

βαθμούς κινητικότητάς περισσότερους, οι οποίοι μπορούν να προσεγγίσουν τα σημεία με διαφορετικούς προσανατολισμούς.

Ο χώρος εργασίας ενός επίπεδου (planar) βραχίονα 2DOF (Εικόνα.10), με 2 περιστροφικές αρθρώσεις και με μήκη συνδέσμων L_1 L_2 , όπου ισχύει $L_1 > L_2$. Αυτός ο βραχίονας δεν έχει επιδέξιο χώρο εργασίας.

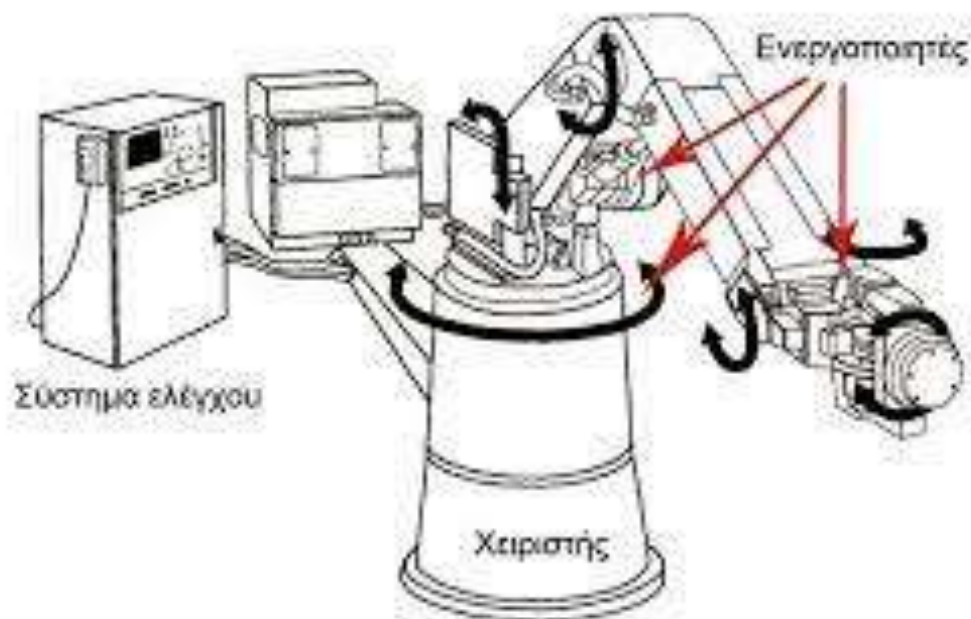


Εικόνα 10: Χώρος εργασίας ενός επίπεδου (planar) βραχίονα 2 DOF [13]

2.3. Δομή των Ρομποτικών βραχιόνων

Ο ρομποτικός βραχίονας αποτελεί ένα ρομπότ που έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί με σκοπό να μιμείται το ανθρώπινο χέρι. Συχνά αναφέρεται ως βιομηχανικό ρομπότ στη βιβλιογραφία. Ο ρομποτικός βραχίονας περιλαμβάνει τρία βασικά δομικά στοιχεία(Εικόνα 11):

- Το κινούμενο μηχανικό τμήμα το οποίο αποκαλείται χειριστής.
- Τα στοιχεία δράσης ή ενεργοποιητές (actuators) που ενεργοποιούν το χειριστή
- Το σύστημα ελέγχου (αποθηκεύει και εκτελεί προγράμματα εργασίας ελέγχοντας τις κινήσεις του)

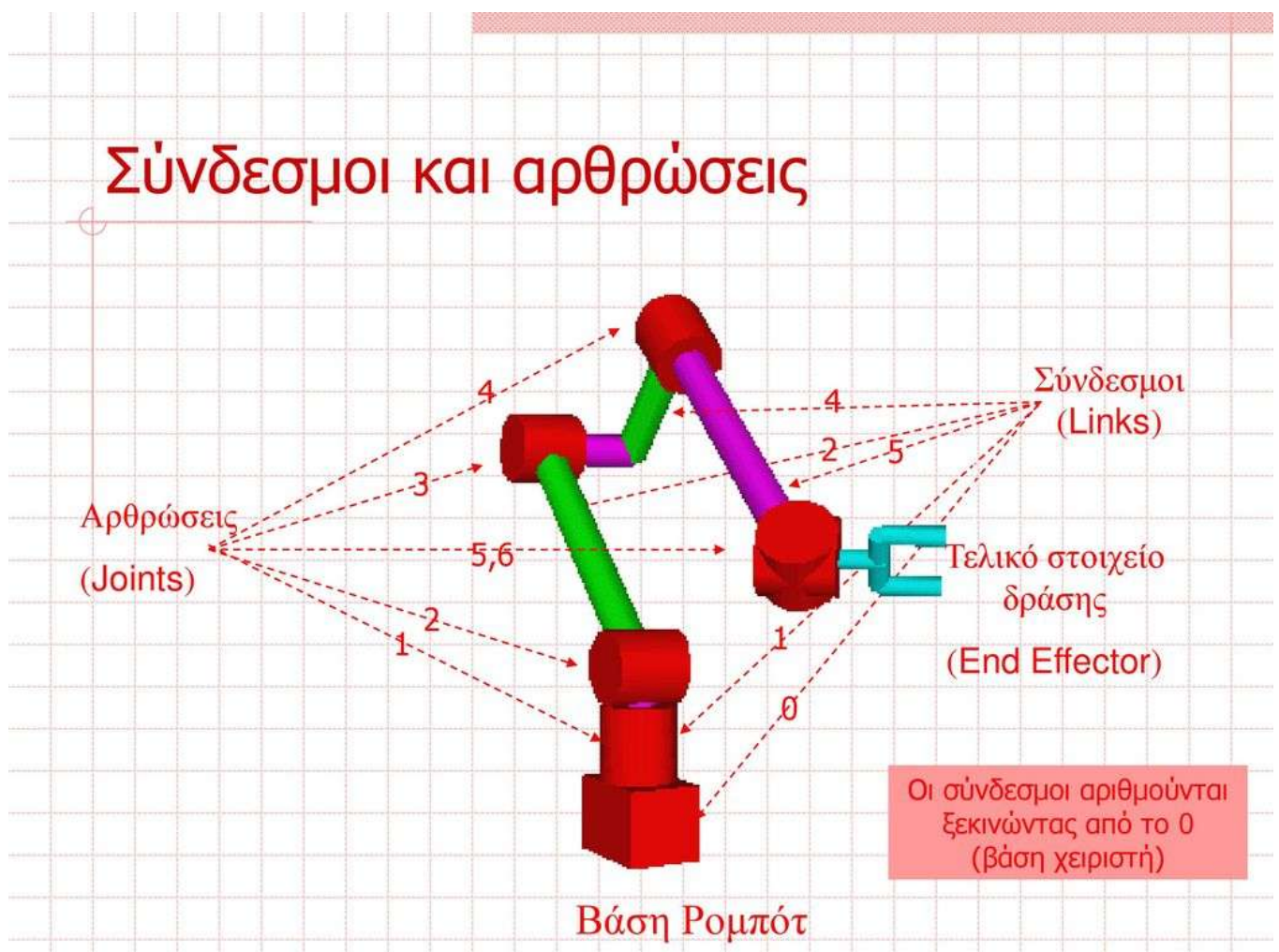


Εικόνα 11: Βασική δομή ρομποτικού βραχίονα [7]

2.3.1. Χειριστής

Ο Χειριστής αναπαριστά την ενότητα του ρομποτικού βραχίονα που αντιστοιχεί στο ανθρώπινο χέρι. Συγκεκριμένα, αποτελείται από τις εξής βασικές συνιστώσες (Εικόνα 12)

- Σύνδεσμοι (links): Είναι ο φέρων οργανισμός του ρομποτικού βραχίονα που αποτελείτε από μία διάταξη στερέων σωμάτων..
- Δάκτυλα (tools): Τα δάκτυλα αναπαριστούν το τελικό μέρος του χεριού και είναι εκείνα εργαλεία που έρχονται σε άμεση επαφή με το αντικείμενο το οποίο ο ρομποτικός βραχίονας επεξεργάζεται.
- Αρθρώσεις (joints): Είναι το σημείο επαφής και σύνδεσης δύο ή περισσότερων συνδέσμων που επιτρέπει και καθορίζει την κίνηση τους. Κάθε κατηγορία παρέχει διαφορετικές δυνατότητες κίνησης, επιτρέποντας την προσαρμογή του βραχίονα στις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας.



Εικόνα 12.Αναπαράσταση βραχίονα 6 περιστροφικών αρθρώσεων [8]

Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες αρθρώσεων με διαφορετικές δυνατότητες κίνησης:

A) Περιστροφικές αρθρώσεις (Revolute Joint): Αυτές οι αρθρώσεις ανοίγουν τον δρόμο για σχετικές περιστροφικές κινήσεις μεταξύ δύο συνδέσμων. Δημιουργούν ένα επίπεδο ελευθερίας, επιτρέποντας στο σώμα να περιστρέφεται και παράλληλα εμποδίζει οποιαδήποτε άλλη διαφορετική κίνηση. Η κύρια μεταβλητή που περιγράφει αυτές τις αρθρώσεις είναι η γωνία θ .(Εικόνα 13)

B) Πρισματικές (ή γραμμικές) αρθρώσεις (Prismatic Joint): Αυτές οι αρθρώσεις ανοίγουν τον δρόμο για σχετική ευθύγραμμη μετατόπιση μεταξύ δύο συνδέσμων. Παρέχουν έναν βαθμό ελευθερίας, επιτρέποντας το σώμα να μετακινείται σε μία καθορισμένη διεύθυνση. Η κύρια μεταβλητή που περιγράφει αυτές τις αρθρώσεις είναι η μετατόπιση d .(Εικόνα 13)

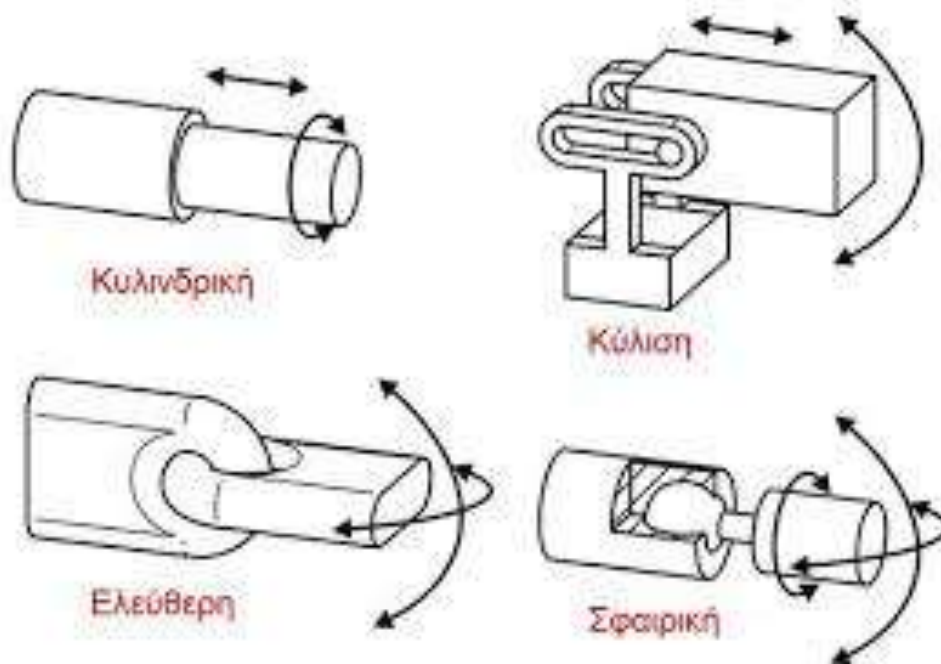


Εικόνα 13:Απλές αρθρώσεις. [9]

Γ) Σύνθετες αρθρώσεις: Αυτές οι αρθρώσεις αναπτύσσονται γεωμετρικά από την σύνθεση δύο ή περισσότερων από τις βασικές αρθρώσεις (περιστροφική και πρισματική). (Εικόνα 14)

Συγκεκριμένα:

- Κυλινδρικές αρθρώσεις: Προσφέρουν δύο βαθμούς ελευθερίας, επιτρέποντας στο σώμα να εκτελεί μια μεταφορική κίνηση κατά μήκος ενός άξονα και μια περιστροφική γύρω από αυτόν.
- Άρθρωση της κύλισης: Προσφέρει επίσης δύο βαθμούς ελευθερίας, επιτρέποντας μια μεταφορική και μια περιστροφική κίνηση. Σε αυτήν την περίπτωση, ο άξονας της περιστροφικής κίνησης είναι κάθετος στη διεύθυνση της μεταφορικής κίνησης.
- Ελεύθερη άρθρωση: Παρέχει δύο βαθμούς ελευθερίας, επιτρέποντας δύο περιστροφικές κινήσεις και εμποδίζοντας όλες τις μεταφορικές.
- Σφαιρική άρθρωση: Παρέχει τρεις βαθμούς ελευθερίας, αφήνοντας όλες τις περιστροφικές κινήσεις ελεύθερες και εμποδίζοντας όλες τις μεταφορικές.



Εικόνα 14:Σύνθετες Αρθρώσεις [10]

2.3.2.Οι Ενεργοποιητές

Οι ενεργοποιητές αποτελούν τη μηχανική κινητήρια δύναμη που ωθεί τον ρομποτικό βραχίονα στην κίνηση. Ανάλογα με τον τύπο του βραχίονα και την εργασία που πρέπει να εκτελέσει, χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι ενεργοποιητών. Αυτοί μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Κινητήρες: Οι ηλεκτρικοί κινητήρες, όπως οι DC κινητήρες(Εικόνα 15), αποτελούν συνήθη επιλογή. Παρέχουν σταθερή ροπή και ταχύτητα κίνησης, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο της θέσης και της ταχύτητας.

Οι κινητήρες DC διακρίνονται για την εντυπωσιακή τους ροπή στρέψης και την ικανότητα να αντέχουν ακόμη και τα πιο απαιτητικά φορτία. Παρουσιάζουν χαρακτηριστικά που τους ξεχωρίζουν, όπως η έλλειψη μειωτήρα για την ρύθμιση των στροφών και η απουσία συστήματος ελέγχου θέσης του άξονα, το οποίο καθιστά απαραίτητη τη χρήση ενός προηγμένου κυκλώματος ελέγχου που λειτουργεί σε κλειστό βρόχο.



Εικόνα 15:DC κινητήρας [11]

- Υδραυλικά Συστήματα: Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου απαιτείται μεγαλύτερη δύναμη, χρησιμοποιούνται υδραυλικά συστήματα για την κίνηση των τμημάτων.

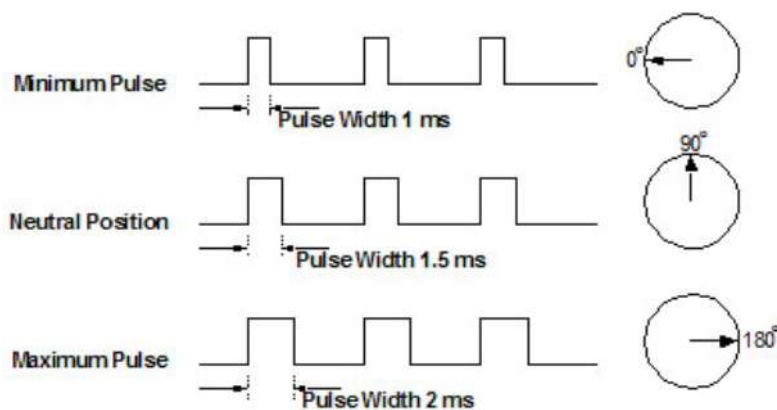
- Σερβοκινητήρες:Είναι πολύ εξειδικευμένοι κινητήρες που αποτελούνται από τρία κύρια υποσυστήματα. Καταρχάς, περιλαμβάνουν έναν ηλεκτροκινητήρα που λειτουργεί με συνεχές ρεύμα. Δεύτερον, ενσωματώνουν ένα πολύ εξελιγμένο ηλεκτρονικό κύκλωμα που έχει τον ρόλο του να ελέγχει την θέση του τελικού άξονα κίνησης. Τέλος, περιλαμβάνουν ένα κιβώτιο υποβιβασμού της σχέσης μετάδοσης του κινητήρα.(Εικόνα 16)



Εικόνα 16: Εσωτερική μορφή Κινητήρα Servo [12]

Οι κινητήρες αυτοί εξωτερικά μοιάζουν με τους απλούς κινητήρες DC, αλλά μπορούν να περιστραφούν ή να πραγματοποιούν ελεγχόμενες κινήσεις προς όλες τις κατευθύνσεις και θέσεις εντός των ορίων κίνησης τους.

Ο άξονας μπορεί να οδηγηθεί στην επιθυμητή θέση με την αποστολή κωδικοποιημένου σήματος στον Servo. Ειδικότερα μεταδίδονται διαμορφωμένοι ηλεκτρικοί παλμοί από τον ελεγκτή στο σέρβο για την ρύθμιση της γωνίας περιστροφής του άξονα του ούτως ώστε να οδηγηθεί στην επιθυμητή θέση. Η λήψη και η αποκωδικοποίηση των ηλεκτρικών παλμών πραγματοποιείται από το κύκλωμα μονάδας ελέγχου του Servo. Στη συνέχεια, μετά την αποκωδικοποίηση του ηλεκτρικού σήματος των παλμών, το κύκλωμα ελέγχου του σέρβο οδηγεί τον κινητήρα του στην κατάλληλη θέση (Εικόνα 17)



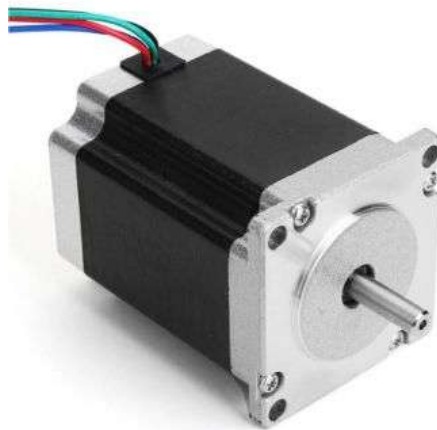
Εικόνα 17: Οδήγηση σερβοκινητήρα [13]

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 τον Servo να μεταβάλει την γωνία του άξονα.

Χρησιμοποιούνται στην ρομποτική και στην παραγωγή για να κινήσουν και να περιστρέψουν έναν ρομποτικό βραχίονα για να ανοίξουν ή να κλείσουν μια βαλβίδα για να μετακινήσουν κάποιο εργαλείο, για να τοποθετήσουν ένα αντικείμενο και για πολλές ακόμη εφαρμογές. Οι κινητήρες αυτοί έχουν ένα εξαιρετικά μικρό μέγεθος αλλά είναι αρκετά ισχυροί για το μέγεθος τους. [14]

Βηματικοί Κινητήρες

Οι βηματικοί κινητήρες(Εικόνα 18) αποτελούν ιδιαίτερους μηχανισμούς με έναν ρότορα από μαλακό σίδηρο που διαθέτει οδοντώσεις και έναν στάτη με τέσσερα ζεύγη ηλεκτρομαγνητών. Σε αντίθεση με τους κινητήρες συνεχούς τάσης, δεν χρειάζονται φρένα για να επιβραδύνουν ή να ακινητοποιήσουν. Παρέχουν αρκετά υψηλή ροπή σε χαμηλές ταχύτητες, παραμένοντας αξιόπιστοι χωρίς την ανάγκη για συχνές αλλαγές στις κινούμενες ηλεκτρικές επαφές (επίσης γνωστές ως καρβουνάκια). Μπορούν να λειτουργήσουν σε ευρύ φάσμα ταχυτήτων περιστροφής του άξονα. Ωστόσο, σημειώνεται ότι μπορεί να παράγουν θόρυβο κατά τη λειτουργία τους. Επιπλέον, όταν ο άξονας είναι φορτισμένος, ενδέχεται να υπάρξει καθυστέρηση στην περιστροφή του σε υψηλές ταχύτητες και κατά την μετακίνηση βαρέων φορτίων, ενδέχεται να μην σταματήσει αμέσως ο άξονας, προκαλώντας ταλάντωση. Τέλος, απαιτείται ένα κύκλωμα αρχικοποίησης για τον έλεγχο της θέσης του άξονα. Ο βηματικός κινητήρας χρησιμοποιεί συνδυασμό ηλεκτρικών σημάτων για την περιστροφή του. Τα ηλεκτρικά σήματα διοχετεύονται στο στάτη που αποτελείται από τέσσερα ζεύγη ηλεκτρομαγνητών. Για να κινηθεί ο ρότορας τα ηλεκτρικά σήματα εφαρμόζονται διαδοχικά σε καθένα απ' τα ζεύγη του στάτη κάθε φορά που ολοκληρώνεται μια σειρά παλμών προς όλους τους μαγνήτες του στάτη ο ρότορας



κάνει μια στροφή X μοιρών.

Εικόνα 18: Βηματικός Κινητήρας [15]

2.3.3 Σύστημα Ελέγχου

Το σύστημα ελέγχου του ρομποτικού βραχίονα είναι το μέσο με το οποίο προγραμματίζεται η επιθυμητή κίνηση που θα πραγματοποιήσει ο βραχίονας, ενώ παράλληλα επιβλέπει και την όλη κίνηση του βραχίονα όσο εκτελεί μία συγκεκριμένη εργασία. Τα δύο βασικά του μέρη είναι το υλικό τμήμα και το λογισμικό τμήμα.

Υλικό Τμήμα

Το υλικό τμήμα συγκροτείται από τον υπολογιστικό πυρήνα, όπου φιλοξενείται το λογισμικό του ελεγκτή του ρομποτικού και αποθηκεύονται οι εντολές για κάθε εργασία. Επιπλέον, περιλαμβάνει τα ηλεκτρονικά στοιχεία ελέγχου που υλοποιούν τον κλειστό βρόχο ελέγχου για τον κινητήρα της κάθε άρθρωσης. Περιλαμβάνει, επίσης, τα υλικά στοιχεία επικοινωνίας, που διευκολύνουν τη σύνδεση του ελεγκτή με τους αισθητήρες των αρθρώσεων και του άκρου του βραχίονα. Τέλος, περιλαμβάνει τους ενισχυτές ισχύος, οι οποίοι ενισχύουν το σήμα ελέγχου στο απαιτούμενο επίπεδο για τους κινητήρες των αρθρώσεων.

Λογισμικό Τμήμα

Το λογισμικό τμήμα περιλαμβάνει ένα προγραμματιστικό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας γλώσσες υψηλού επιπέδου. Επιπλέον, περιλαμβάνει το κινηματικό λογισμικό, το οποίο, βασιζόμενο στη θέση των αρθρώσεων, καθορίζει τη θέση του άκρου του βραχίονα και αντίστροφα. Περιλαμβάνει, επίσης, το λογισμικό ελέγχου, το οποίο υλοποιεί τον αλγόριθμο ελέγχου για κάθε άρθρωση. Με άλλα λόγια, με βάση την κατάσταση κάθε κινητήρα (θέση, ταχύτητα), καθορίζει το απαιτούμενο σήμα ελέγχου για την κίνησή του προς την επιθυμητή θέση. Επιπλέον, περιλαμβάνει το λογισμικό δυναμικών όρων, το οποίο χρησιμοποιεί δεδομένα για τις δυναμικές παραμέτρους του βραχίονα, προσαρμόζοντας το σήμα ελέγχου για βέλτιστη λειτουργία. Τέλος, περιλαμβάνει το βοηθητικό λογισμικό, που παρακολουθεί την λειτουργία του βραχίονα και ενημερώνει τον χρήστη για πιθανά σφάλματα.[3]

2.4 Κατηγορίες Ρομπότ

Για να επιτευχθεί η καλύτερη επιλογή ενός ρομπότ για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, θα πρέπει να γίνει επιλογή μεταξύ ρομπότ με παρόμοιες ιδιότητες και σύμφωνα πάντα με κάποια συγκεκριμένα κριτήρια.[2] Βάση της βιβλιογραφίας τα κυριότερα είναι:

1. η αρχή λειτουργίας,
2. η μέθοδος ελέγχου της κίνησης και
3. η γεωμετρική διαμόρφωση.

1)Αρχή λειτουργίας: Τα ρομπότ ταξινομούνται σε σταθερής στάσης (fixedstop) (μη σερβοελεγχόμενα ή ανοικτού βρόχου) και σε σερβοελεγχόμενα (servocontrolled).

- Ρομπότ σταθερής στάσης: Το ρομπότ καθώς μετακινείται έχει τον έλεγχο μόνο των σημείων στάσης και όχι τον έλεγχο των ενδιάμεσων σημείων της τροχιάς. Κάθε άξονας έχει κάθε φορά ένα καθοριζόμενο από τον ελεγκτή σταθερό μηχανικό όριο στο κάθε άκρο της έκτασής του και μπορεί να σταματάει μόνο σε αυτά. Αυτά τα Ρομπότ δεν είναι διαδεδομένα γιατί είναι εξειδικευμένων εφαρμογών.
- Σερβοελεγχόμενα ρομπότ: Ο τύπος αυτός του ρομπότ κινείται από σερβομηχανισμούς, που θα αναλυθούν παρακάτω. Καθώς εκτελεί μια προγραμματισμένη ακολουθία έχει τη δυνατότητα να κινείται μέσα από έναν πρακτικά άπειρο αριθμό σημείων. Αυτό το σύνολο των σημείων είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των επιτεύξεων μετατοπίσεων των αρθρώσεων. Ένα ρομπότ, για παράδειγμα, που έχει τρεις αρθρώσεις και κάθε άρθρωση μπορεί να επιτύχει 100 διαφορετικές μετατοπίσεις, τότε το άκρο του χειριστή μπορεί να επιτύχει 106 διαφορετικές τοποθετήσεις. Αυτά τα ρομπότ, σε σχέση με τα σταθερής στάσης, είναι πιο ακριβά και πιο σύνθετα στη λειτουργία, τον προγραμματισμό και τη συντήρησή τους.

2) Μέθοδος ελέγχου κίνησης: Σύμφωνα με τη μέθοδο ελέγχου κίνησης, τα ρομπότ ταξινομούνται σε ρομπότ σημείου-προς-σημείο (point-to-point) και ρομπότ συνεχούς τροχιάς (continuouspath).

- Ρομπότ σημείου-προς-σημείο: Ένα ρομπότ προγραμματίζεται να εκτελέσει κίνηση από ένα σημείο σε ένα άλλο, χωρίς να του προσδιορίζεται η τροχιά που πρέπει να ακολουθεί. Άρα, η τροχιά του, η ταχύτητα της μετακίνησής του από μία θέση σε άλλη, δεν έχει σημασία, και αποτελεί εσωτερική λειτουργία του ελεγκτή που συνήθως δεν προγραμματίζεται. Αυτό εφαρμόζεται σε όλα τα ρομπότ σταθερής στάσης αλλά και σε ορισμένα σερβοελεγχόμενα. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο εκτελούνται πολλές εργασίες χειρισμού αντικειμένων, και αρκετές χειρισμού εργαλείων.

Ρομπότ συνεχούς τροχιάς: Η μέθοδος αυτή είναι ένας τύπος ρομποτικού ελέγχου όπου το ρομπότ επαναλαμβάνει την κίνηση μέσα από υποδειγμένα σημεία σε μικρή απόσταση μεταξύ τους που όμως έχουν προγραμματισθεί σε μία σταθερή χρονική βάση κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Αυτά τα σημεία καταγράφονται από τη μονάδα ελέγχου κατά τη διάρκεια που το ρομπότ οδηγείται μέσα από μία επιθυμητή τροχιά, διαβάζοντας, τη θέση του κάθε άξονα σε σταθερή χρονική βάση(τους κωδικοποιητές των αρθρώσεων) . Στη συνέχεια , ένας αλγόριθμος επανάληψης επιχειρεί να επαναλάβει την κίνηση αυτή. Αυτός ο έλεγχος μπορεί ακόμα να επιτευχθεί και με την παρεμβολή μίας επιθυμητής καμπύλης τροχιάς μεταξύ των διδαγμένων σημείων. Η τροχιά του βραχίονα προγραμματίζεται ή με άμεσο τρόπο (καθοδήγηση μέσα από ενδιάμεσα σημεία - lead-through) ή υπολογίζει ο ελεγκτής τη διαδρομή μεταξύ διαδοχικών σημείων. Οι λειτουργίες συνεχούς τροχιάς μπορούν να εκτελεστούν μόνο από σερβοελεγχόμενα ρομπότ.

3)Γεωμετρική διαμόρφωση: Στους πιο πολλούς βιομηχανικούς ρομποτικούς βραχίονες 6DOF, οι τρεις πρώτες αρθρώσεις χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση του άκρου του βραχίονα σε ένα σημείο στο χώρο, ενώ οι τελευταίες οδηγούν τον καρπό (wrist), που είναι και υπεύθυνος να ορίσει τον προσανατολισμό του άκρου ή του τελικού στοιχείου δράσης. Βάση λοιπόν του συστήματος των συντεταγμένων των τριών πρώτων βαθμών ελευθερίας ταξινομούμε τα ρομπότ σε καρτεσιανά ή ορθογωνικά, κυλινδρικά, σφαιρικά ή πολικά, και αρθρωτά.

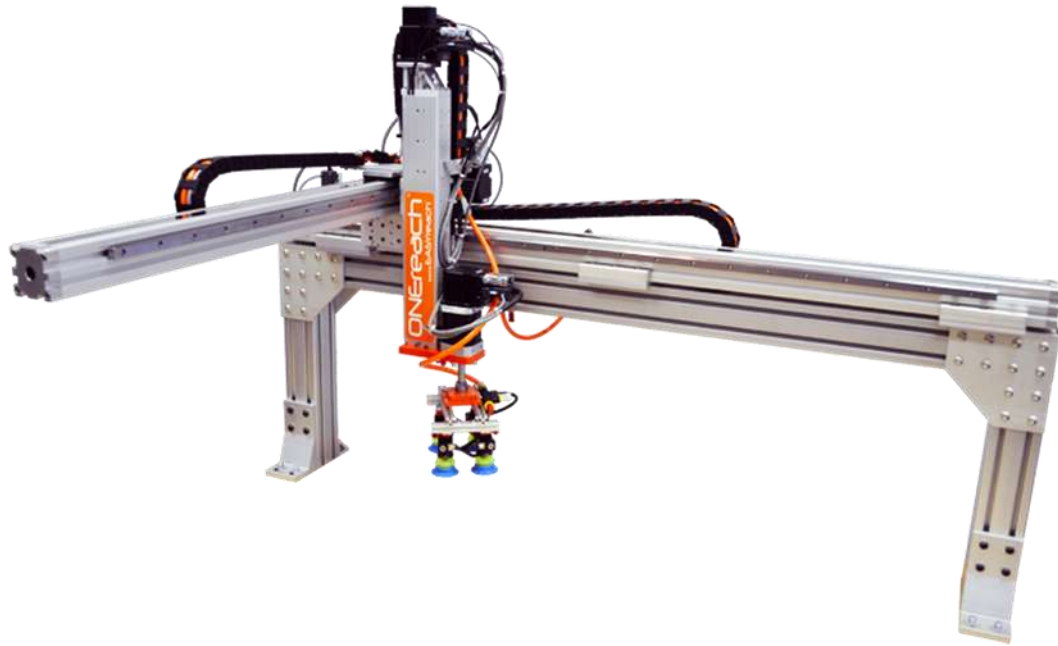
• **Καρτεσιανό ή ορθογωνικό:** Αυτό προκύπτει από τη συναρμολόγηση τριών συνδέσμων και τριών πρισματικών αρθρώσεων στο κύριο σώμα του.(Εικόνα 19)

Τα πλεονεκτήματά τους είναι:

- η μεγάλη ακρίβεια,
- η εύκολη αποφυγή εμποδίων και
- η μη επίδραση φορτίων βαρύτητας στην ακρίβεια, πράγμα που συνεπάγεται ευκολία στον έλεγχο της κίνησης των αρθρώσεων.

Τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Η δομή τους απαιτεί μεγάλο χώρο,
- Ο χώρος εργασίας τους είναι περιορισμένος,
- Δυσκολεύεται να συνεργαστεί με άλλους ρομποτικούς βραχίονες και τέλος
- Είναι πολύπλοκος ο μηχανισμός σχεδιασμού του για τις τρεις γραμμικές κινήσεις στους άξονες X-Y-Z.



Εικόνα 19: Δομή ενός τυπικού καρτεσιανού βραχίονα [18]

Σε αυτούς τους βραχίονες συγκαταλέγονται και οι βραχίονες **Gantry**(Εικόνα 20)τα οποία είναι ορθογωνικά με τρεις βαθμούς (DOF) ελευθερίας κατ' ελάχιστο ενώ η βασική τους διαφορά με τους καρτεσιανούς είναι ότι τοποθετούνται κυρίως στην οροφή ενός χώρου και άρα η προσέγγιση του αντικειμένου γίνεται από πάνω.

Το ρομπότ Gantry κινείται κατά τους άξονες X και Y διατρέχοντας μεγάλες αποστάσεις με υψηλές ταχύτητες ,και ταυτόχρονα να παρέχει και πολύ υψηλό βαθμό ακρίβειας τοποθέτησης των αντικειμένων. Λειτουργεί συνήθως σε μεγάλους χώρους εργασίας, έχει ικανότητα ανύψωσης μεγάλων φορτίων και κινητή τοποθέτηση στην οροφή, ενώ έχει τη δυνατότητα και ευελιξία να λειτουργεί σε ένα χώρο εργασίας ισοδύναμο με αυτόν πολλών ρομπότ δαπέδου.



Εικόνα 20: ΒραχίοναςGantry [16]

• **Κυλινδρικά ρομπότ:** Αυτά είναι γνωστά και ως ρομπότ κυλινδρικών συντεταγμένων ή ρομπότ στήλης.(Εικόνα 21)

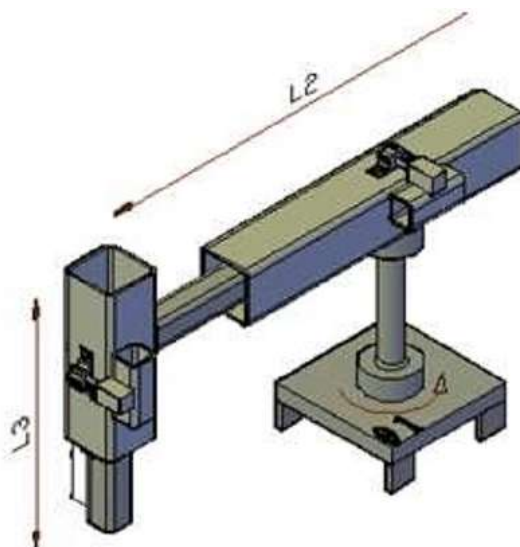
Η δομή αυτών προκύπτει από τη συναρμολόγηση μιας βάσης, τριών τουλάχιστον αρθρώσεων και δύο τουλάχιστον αξόνων. Η μία άρθρωση που συνδέει τη βάση με τον πρώτο άξονα είναι περιστρεφόμενη, ενώ οι άλλες δύο αρθρώσεις είναι πρισματικές και προσαρμοσμένες ώστε ο δεύτερος βραχίονας να κινείται πάνω κάτω και μπρος πίσω. Το ρομπότ λοιπόν κινείται βάση ενός ένα κυλινδρικού συστήματος συντεταγμένων, στο οποίο η θέση κάθε σημείου προσδιορίζεται ως συνάρτηση της γωνίας περιστροφής της βάσης, της ακτινικής διάστασης και του ύψους από το επίπεδο αναφοράς. Η μορφή του χώρου εργασίας του είναι κυλινδρική. Η έκταση και η περιστροφή είναι οι δυνατές κινήσεις των ρομπότ αυτού του είδους.

Τα βασικά τους πλεονεκτήματα είναι ότι :

- Έχουν μικρή εξάρτηση από τα φορτία βαρύτητας ώστε να μην επηρεάζεται η ακρίβεια του χειριστή και
- Έχουν απλούστερο μηχανικό σχεδιασμό σε σχέση πάντα με τα καρτεσιανά ρομπότ.

Τα μειονεκτήματά τους είναι ότι :

- Σε κοινό χώρο εργασίας με άλλους χειριστές έχουν περιορισμένη συμβατότητα συνεργασίας και
- Σε σύγκριση με τα ορθογωνικά ρομπότ έχουν μικρότερη ακρίβεια και διακριτική ικανότητα.



Εικόνα 21: Κυλινδρικός βραχίονας [17]

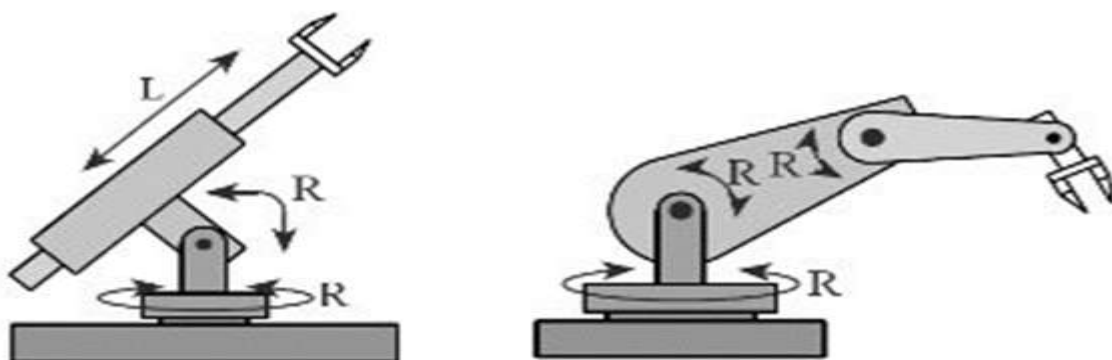
Σφαιρικά ρομπότ: Ονομάζονται αλλιώς ρομπότ σφαιρικών συντεταγμένων ή πολικά ρομπότ και εργάζονται σε σφαιρικό χώρο εργασίας.(Εικόνα 22) Η δομή τους μοιάζει αρκετά με αυτήν των κυλινδρικών ρομπότ αλλά η διαφορά τους εντοπίζεται στην προσθήκη μιας περιστροφικής άρθρωσης, ώστε ο δεύτερος άξονας να μπορεί να περιστρέφεται και έτσι ο χώρος εργασίας που εικονίζεται έχει τη μορφή ενός τμήματος σφαίρας.

Τα βασικά πλεονεκτήματα τους είναι:

- -Η δομή τους δεν έχει μεγάλη πολυπλοκότητα,
- -Το βάρος τους είναι σχετικά χαμηλό
- -Μπορεί και συνεργάζεται με άλλα ρομπότ και εργαλειομηχανές στον ίδιο χώρο εργασίας.
- Έχει καλή διακριτική ικανότητα και τέλος
- -Απαιτείται μικρή διαδρομή των αρθρώσεων για την εκτέλεση πολλών κινήσεων.

Μειονεκτήματα τους είναι ότι:

- - Έχουν περιορισμένη δυνατότητα στην αποφυγή συγκρούσεων με εμπόδια,
- -Λόγω των περιστροφικών κινήσεων, το οποίο είναι ανάλογο της ακτίνας (δηλ. της απόστασης του εργαλείου από τη βάση) ,εμφανίζουν μεγάλο σφάλμα τοποθέτησης, και
- -Χρειάζονται μεγάλες και μεταβλητές ροπές στη δεύτερη και τρίτη



άρθρωση, με αποτέλεσμα να δημιουργείτε πρόβλημα εξισορρόπησης.

Εικόνα 22: Σφαιρικός Βραχίονας [18]

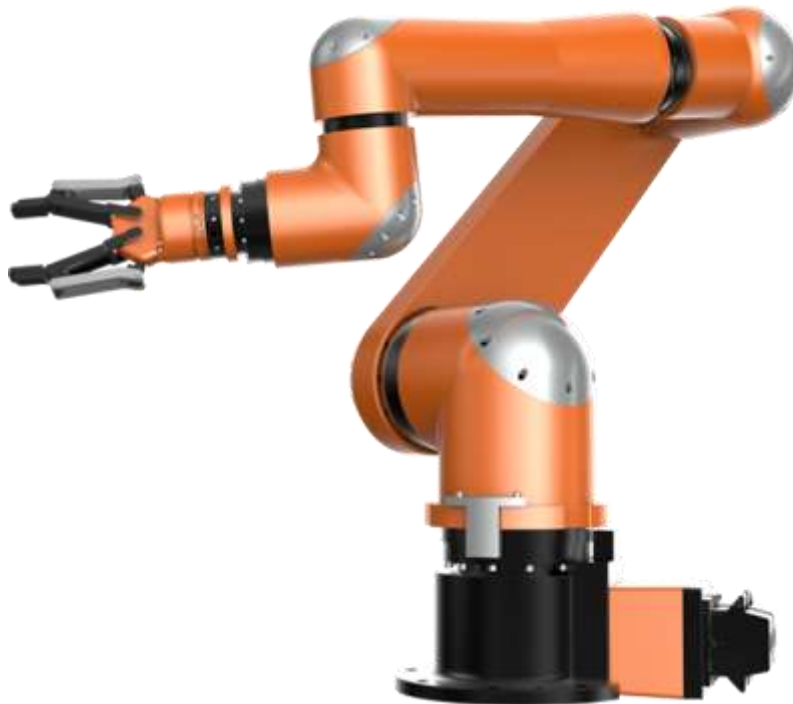
• **Αρθρωτά ρομπότ:** Είναι γνωστά και ως ανθρωπομορφικά επειδή εκτελούν κινήσεις όπως ένα ανθρώπινο χέρι (καρπός)(Εικόνα 23). Βάση της δομής του οι πρώτες τρεις αρθρώσεις να είναι περιστροφικές. Σε μία περιστρεφόμενη βάση είναι τοποθετημένος ο πρώτος σύνδεσμος ενώ στην άλλη άκρη του υπάρχει μία άρθρωση, (ώμος) που συνδέει το δεύτερο σύνδεσμο. Η επόμενη άρθρωση (αγκώνας) συνδέει τον τρίτο σύνδεσμο. Όπως βλέπουμε λοιπόν υπάρχουν τρεις κινούμενοι άξονες. Η κίνηση αυτή των αξόνων σχηματίζει έναν σφαιρικό χώρο εργασίας.

Τα πλεονεκτήματα αυτών των ρομπότ είναι:

- Ευελιξία προσέγγισης πάνω ή κάτω από ένα αντικείμενο και
- -Συμβατότητα στη συνεργασία με άλλα ρομπότ σε κοινό χώρο εργασίας.

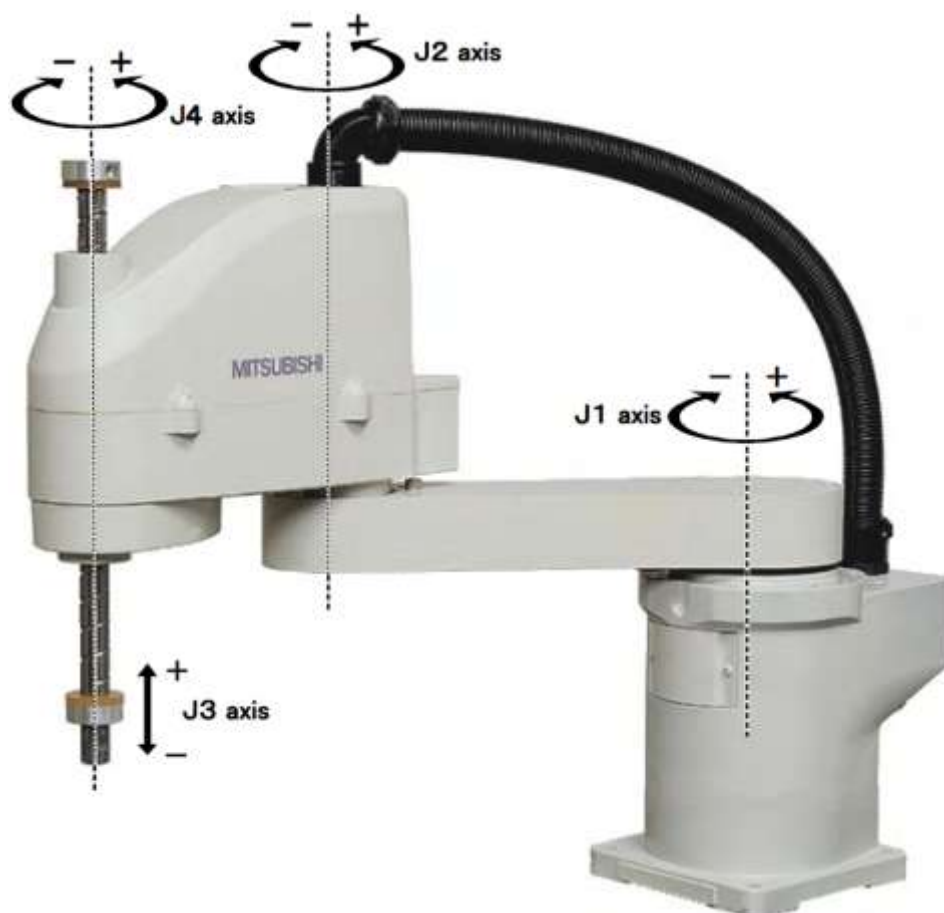
Τα μειονεκτήματά τους είναι

- - Το μεγάλο σφάλμα τοποθέτησης λόγω Χαμηλής διακριτικής ικανότητας και ακρίβειας.
- - Έχει περιορισμένη δυνατότητα στην αποφυγή εμποδίων,
- - Η δυναμική αστάθεια που προκαλούν οι μεγάλες ροπές αδρανείας και οι επιδράσεις φορτίων
- -Δημιουργείτε πρόβλημα εξισορρόπησης λόγω των μεγάλων και μεταβλητών ροπών στις αρθρώσεις.



Εικόνα 23 :ΑνθρωπομορφικόςΡομποτικόςΒραχίονας[19]

Οι βραχίονες SCARA (Selective Compliance Arm for Assembly - Ρομποτικός Βραχίονας Συναρμολόγησης με Επιλεκτική Συμμόρφωση)(Εικόνα24), συγκαταλέγονται στους αρθρωτούς βραχίονες. Το ρομπότ αυτού του τύπου είναι οριζόντια περιστροφής και σχεδιάστηκε στο Πανεπιστήμιο Yamamachi της Ιαπωνίας. Η δομή του είναι κατά βάση ανθρωπομορφική (αρθρωτός βραχίονας), με τέσσερις ή πέντε βαθμούς ελευθερίας λειτουργώντας σε οριζόντιο επίπεδο. Έχει κυρίως δύο ή τρεις οριζόντιες σερβοελεγχόμενες αρθρώσεις (ώμο, αγκώνα, και ορισμένες φορές καρπό), και έναν άξονα κάθετο, σερβοελεγχόμενο ή μη. Αυτή η γεωμετρία προσδίδει μεγάλη δυσκαμψία σε κατακόρυφη φόρτιση και ελαστικότητα σε οριζόντια με βασικό μειονέκτημα ότι η ακρίβεια τοποθέτησης του καρπού



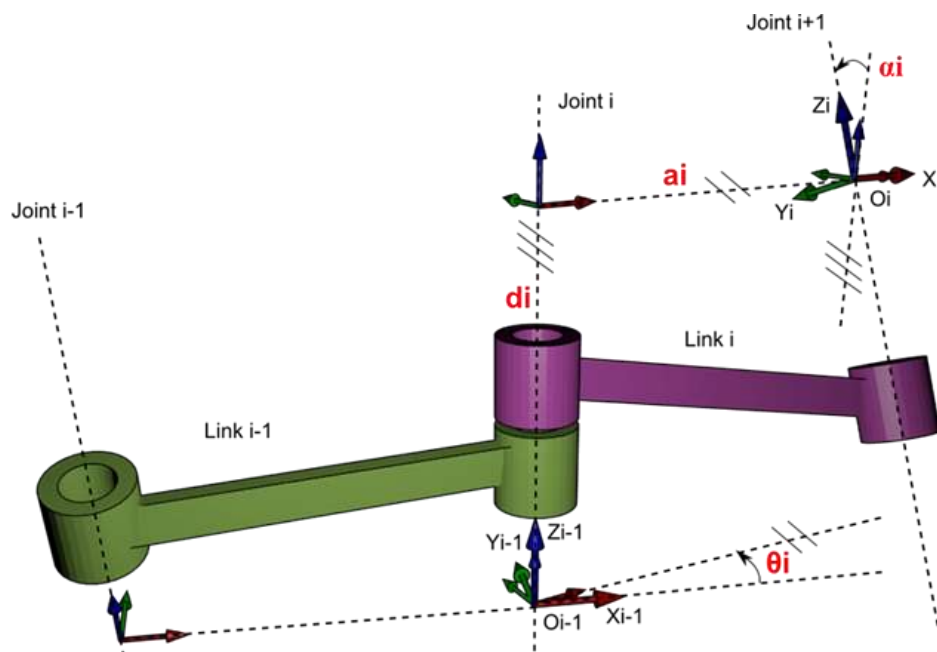
μειώνεται καθώς αυξάνετε η απόστασης του από τον άξονα της πρώτης άρθρωσης

Εικόνα24:Scara Robot [20]

2.5.Κινηματική ανάλυση κατά Denavit–Hartenberg

Είναι μια διαδικασία βάση της οποίας γίνεται η τοποθέτηση ορθοκανονικών και δεξιόστροφων Συστημάτων Συντεταγμένων στις αρθρώσεις του βραχίονα. Η μέθοδος αυτή βοηθάει στο να ορίσουμε τη σχετική θέση και τον προσανατολισμό δύο διαδοχικών συνδέσμων. [23] Βασικό στοιχείο αυτής αποτελεί σωστός ορισμός του πλαισίου συντεταγμένων κάθε άρθρωσης (Εικόνα 25), αριθμούμε τις αρθρώσεις και ακολουθούμε τους παρακάτω τρεις κανόνες:

1. Επιλογή του άξονα Z_i κατά μήκος του άξονα της άρθρωσης $i+1$
2. Επιλογή του άξονα X_i κατά μήκος της κοινής καθέτου των αξόνων Z_{i-1} και Z_i μεφορά από την άρθρωση i στην άρθρωση $i+1$.
3. Επιλογή του άξονα Y_i , ώστε να έχουμε δεξιόστροφο σύστημα συντεταγμένων για το πλαίσιο i .



Εικόνα 25: Τα πλαίσια συντεταγμένων D-H [21]

Οι τέσσερις παράμετροι της σύμβασης D-H, προσδιορίζονται ως εξής:

a_i : η απόσταση μεταξύ των Z_i και Z_{i+1} μετρούμενη κατά μήκος του X_i

α_i : η γωνία μεταξύ των Z_i και Z_{i+1} μετρούμενη ως προς τον X_i

d_i : η απόσταση μεταξύ των X_{i-1} και X_i μετρούμενη κατά μήκος του Z_i

θ_i : η γωνία μεταξύ των X_{i-1} και X_i μετρούμενη ως προς Z_i

Αφού έχουμε οροθετήσει τα πλαίσια των αρθρώσεων και τις παραμέτρους της σύμβασης D-H, ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα μπορούμε να ορίσουμε τη θέση και τον προσανατολισμό του πλαισίου i ως προς το πλαίσιο $i-1$.

Βήμα 1: Περιστροφή του πλαισίου $i-1$ γύρω από τον άξονα Z_{i-1} κατά γωνία θ_i

Βήμα 2: Μετατόπιση d_i του πλαισίου $i-1$ κατά μήκος του άξονα Z_{i-1}

Βήμα 3: Μετατόπιση a_i (μήκος της κοινής καθέτου) κατά τον άξονα X_i

Βήμα 4: Περιστροφή γύρω από τον άξονα X_i κατά γωνία α_i

- Πίνακας περιστροφής γύρω από τον άξονα OZ κατά μία γωνία θ .

$$Rot_{z_{i-1}}(\theta_i) = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & \sin \theta_i & 0 & 0 \\ -\sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Πίνακας μετατόπισης γύρω από τον άξονα OZ κατά μία απόσταση d .

$$Trans_{z_{i-1}}(d_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Πίνακας μετατόπισης γύρω από τον άξονα OX κατά μία απόσταση a .

$$Trans_{x_i}(a_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Πίνακας περιστροφής γύρω από τον άξονα OX κατά μία γωνία a .

$$Rot_{x_i}(a_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos a_i & -\sin a_i & 0 \\ 0 & \sin a_i & \cos a_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Συνεπώς από το βήμα 1 έως βήμα 4 προκύπτει η συνολική μήτρα μετασχηματισμού η οποία δίνει τη σχετική θέση και τον προσανατολισμό του πλαισίου i ως προς το πλαίσιο $i-1$.

$$A_{i-1}^i = A(z, \theta_i) * A(0, 0, d_i) * A(a_i, 0, 0) * A(x, \alpha_i) =$$

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos a_i \sin \theta_i & \sin a_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos a_i \sin \theta_i & -\sin a_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin a_i & \cos a_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Σειριακός Βραχίονας υπό Κλίμακα

3.1. Ο βραχίονας

Ένας Ρομποτικός Βραχίονας θα πρέπει να έχει χαμηλό βάρος και μεγάλη ανθεκτικότητα στις διαφορές καταπονήσεις. Για τον λόγο αυτόν επέλεξα ως υλικό κατασκευής το αλουμίνιο.

Επειδή προορίζεται για εκπαιδευτική χρήση επιλέχθηκε η σειριακή διάταξη των συνδέσμων με τα μοτέρ πάνω στις αρθρώσεις για πιο εύκολη συναρμολόγηση και αντίληψη της κινηματικής αλυσίδας

Γι' αυτό τα δομικά του στοιχεία είναι απλά στον σχεδιασμό και την κατασκευή και επίσης διευκολύνουν την επεκτασιμότητα και τις μετατροπές. Και ακολουθώντας το παράδειγμα του παιδικού LEGO με την επανάληψη ενός βασικού δομικού στοιχείου (Ορθογώνιο Πλαστικό Τουβλάκι) και την εναλλαγή του στο μέγεθος επιτυγχάνονται κατασκευές διαφορετικής μορφής και μεγέθους καθώς και τους εκπαιδευτικούς ρομποτικούς βραχίονες που επιλέξα σαν βασικό δομικό στοιχείο ελάσματα από φυλλά αλουμίνιου με τις εξής διατομές (Εικόνα 26):

1. Έλασμα συνδέσμων διατομής Π(Πί) το οποίο στην συνέχεια για συντομία θα αναφέρω σαν σύνδεσμο

2. Έλασμα βάσης μοτέρ με ανισοσκελή γωνιακή διατομή L(ελ) και βραχίονες στήριξης το οποίο στην συνέχεια για συντομία θα αναφέρω βάση μοτέρ .

3. Έλασμα Βάσης Ρομποτικού Βραχίονα διατομής Π(Πί) το οποίο στην συνέχεια για συντομία θα αναφέρω σαν βάση.



Εικόνα 26: Βασικά δομικά στοιχεία Σκελετού ρομποτικού Βραχίονα

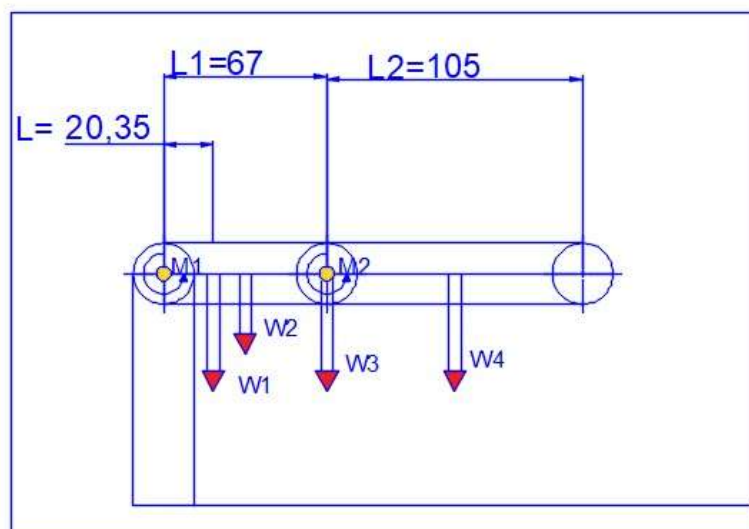
3.2. Οι κινητήρες

Η επίλυση του προβλήματος αυτού, βασίζεται στη σωστή επιλογή των κατάλληλων σερβοκινητήρων με το ελάχιστο κόστος και με κύριο χαρακτηριστικό τη ροπή τους. Σημειώνεται ότι καθώς αυξάνει η ροπή στα χαρακτηριστικά των σερβοκινητήρων, αυξάνει και το κόστος τους. Συνεπώς το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των ροπών στις αρθρώσεις με δεδομένα τα μήκη των συνδέσμων και τα βάρη. Οιδυνάμεις που επιδρούν είναι τα βάρη των συνδέσμων και των κινητήρων του βραχίονα.

Ο υπολογισμός θα γίνει για την δυσμενέστερη θέση των του ρομποτικού βραχίονα όταν όλοι οι σύνδεσμοι (μέλη) του βρίσκονται σε πλήρη έκταση συν το φορτίο του βάρους τουμοτέρτης πρώτης άρθρωσης. Δηλαδή για γωνία $\Theta_2 = 180^\circ$ μοίρες και γωνία $\Theta_3 = 90^\circ$ (Εικόνα 27).

Επειδή οι κάθετες αποστάσεις των φορτίων από τους άξονες κίνησης της άρθρωσηςβάσης(κατακόρυφοςάξονας) και της πρώτηςάρθρωσης(οριζόντιος άξονας) είναι ίσες ,ο έλεγχος θα γίνει ως προς την πρώτη άρθρωση.

Με M_1 και M_2 συμβολίζονταιοι ροπές των αρθρώσεων(με οριζόντιοάξοναπεριστροφής)1 και 2,με L την απόσταση του κέντρου βάρους του κινητήρα της πρώτης άρθρωσης(με οριζόντιοάξοναπεριστροφής) και L_1, L_2 τα μήκη $2o$ και $3o$ συνδέσμου. Τα W_1, W_3 συμβολίζουν τα βάρη των κινητήρων με τη βάση τους το μεταλλικό δίσκο και τους κοχλίες στερέωσης της πρώτης καιδεύτερης



άρθρωσης και τέλος W2,W4 τα βάρη του δευτέρου και τρίτου συνδέσμου.(Πίνακας 1)

Εικόνα 27:Υπολογισμός Ροπών αρθρώσεων.

A/A	ΒΑΡΟΣ(Newton)	ΜΗΚΟΣ(cm)
1	W1=0.804	L=2.035
2	W2=0.206	L1=6.7
3	W3=0.804	L2=10.5
4	W4=0.44	

Πίνακας 1:Δεδομένα Υπολογισμού Ροπής ΔυσμενέστερηςΘέσης

Τα βάρηπροκύπτουν από την σχέσηυπολογισμού του βάρους ενός σώματος όταν γνωρίζουμε την μάζα του:W=m*g σε Beton (N)

μη μάζα του σώματος σε κιλά (Kg)

g η επιτάχυνση της βαρύτητας σε (m/sec^2)

και από την εξίσωση της ροπής ως προς άξονα και θετικήφορά την φορά κίνησης των δεικτών του ρολογιού ,υπολογίζουμε για την πρώτη και δεύτερη άρθρωση:

$$M_1 = (W_1 * L) + \left(W_2 * \frac{L_1}{2}\right) + (W_3 * L_1) + \left(W_4 * \left(L_1 + \frac{L_2}{2}\right)\right) \text{ (Εξίσωση 1)}$$

Εξίσωση 1:Ροπη Δυσμενέστερης Θέσης

$$M_2 = W_4 * \frac{L_2}{2}.$$

Μετά τους υπολογισμούςM1=12.984 Ncm και M2=2.31Ncm

Για την κίνηση των αρθρώσεων χρησιμοποιήθηκαν servo-κινητήρες υψηλής ροπής τύπου MG996R(Εικόνα 71) που περιλαμβάνόταν στο πακέτο του ρομποτικού βραχίονα με ροπή 108Ncm που υπερκαλύπτουν την απαιτούμενηροπήμε μέγαλαπεριθώρια για κάποιαμελλοντική επέκταση.

3.3.0 ελεγκτής (controller)

Για τον έλεγχο των σερβοκινητήρων επιλέγει η πλακέτα Arduino Uno 3 η οποία βασίζεται στον μικροελεγκτή Atmega328P της εταιρίας Atmel.

Ο μικροελεγκτής(ή microcontroller αγγλ.) είναι ένας τύπος επεξεργαστή. Ουσιαστικά πρόκειται για μια παραλλαγή μικροεπεξεργαστή που διαθέτει πολλά ενσωματωμένα υποσυστήματα με αποτέλεσμα να μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα. [26]

Ο επεξεργαστής χρησιμοποιείται σε όλα τα ενσωματωμένα συστήματα (αλλιώς embedded systems) χαμηλού ελέγχου και μεσαίου κόστους. Μερικά παραδείγματα αποτελούν τα συστήματα εκείνα που χρησιμοποιούνται σε αυτοματισμούς, ηλεκτρονικά καταναλωτικά προϊόντα (από ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές μέχρι παιχνίδια), ηλεκτρικές συσκευές καθώς και κάθε λογής αυτοκινούμενα τροχοφόρα οχήματα. Πιο συγκεκριμένα τα πλεονεκτήματα των μικροελεγκτών είναι:

1. Αυτονομία, μέσω της ενσωμάτωσης σύνθετων περιφερειακών υποσυστημάτων (πχ μνήμες και θύρες επικοινωνίας). Αυτός είναι ο λόγος που πολλοί μικροελεγκτές μπορούν να λειτουργήσουν δίχως να χρειάζονται κάποιο άλλο ολοκληρωμένο κύκλωμα.
2. Μέσω των απλούστερων διασυνδέσεων, η ενσωμάτωση περιφερειακών διευκολύνει την υλοποίηση εφαρμογών. Έτσι επιτυγχάνεται χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος, μεγιστοποίηση της φορητότητας και ελαχιστοποίηση του κόστους της συσκευής όπου ενσωματώνεται ο μικροελεγκτής.
3. Το χαμηλό κόστος.
4. Η μεγαλύτερη αξιοπιστία, χάρη στις λιγότερες διασυνδέσεις
5. Μείωση των εκπομπών ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών καθώς και μείωση της ευαισθησίας σε αντίστοιχες παρεμβολές από άλλες συσκευές. Η δυνατότητα αυτή οφείλεται στο μικρότερο αριθμό και μήκος των εξωτερικών διασυνδέσεων και στις μειωμένες ταχύτητες λειτουργίας.
6. Η ύπαρξη περισσότερων διαθέσιμων ακροδεκτών για ψηφιακές εισόδους-εξόδους (για δεδομένο μέγεθος ολοκληρωμένου κυκλώματος), που αποδίδεται στη μη δέσμευσή τους για τη σύνδεση εξωτερικών περιφερειακών.
7. Η μείωση του μεγέθους του συνολικού υπολογιστικού συστήματος.
8. Η βασική αρχιτεκτονική τους δεν διαφέρει από αυτή των κοινών μικροεπεξεργαστών, παρόλο που στους μικροελεγκτές απαντάται συχνά η αρχιτεκτονική μνήμης τύπου Harvard, ενώ στους κοινούς μικροεπεξεργαστές συνηθίζεται η ενιαία διάταξη μνήμης τύπου Φον Νόιμαν

Αναφορά στην πλακέτα Arduino

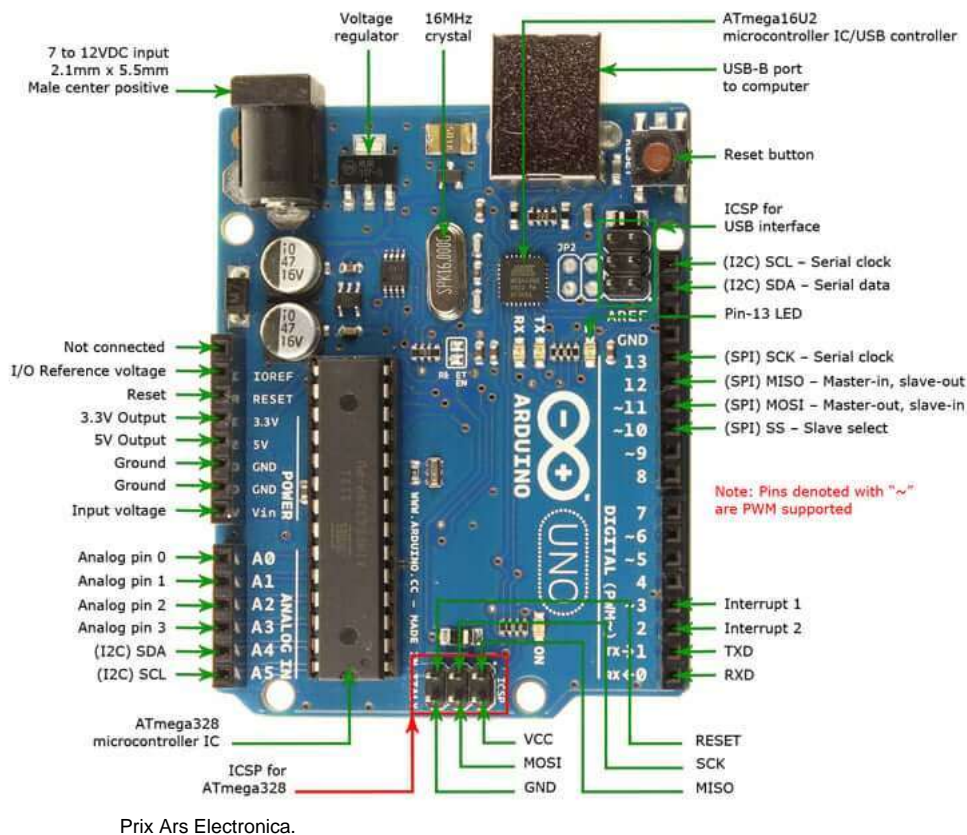
Η Arduino είναι μια Ιταλική εταιρεία η οποία κατασκευάζει πλακέτες ενσωματωμένων συστημάτων ανοικτού κώδικα και ανοικτής ς αρχιτεκτονικής, με πιο δημοφιλή την Arduino Uno R3(Εικόνα 28). Η Arduino Uno 3 βασίζεται στον μικροελεγκτή Atmega328P της εταιρίας Atmel.

Ο Atmega328P, της οικογένειας μικροελεγκτών megaAVR, είναι ένας μικροελεγκτή 8-bit αρχιτεκτονικής AVR RISC που έχει απόδοση 20 MIPS στα 20MHz. Επίσης διαθέτει SRAM 2 KB για μεταβλητές , Flash EEPROM 32KB για προγράμματα και επιπλέον EEPROM 1 KB για μόνιμη αποθήκευση μεταβλητών, 23 ψηφιακές γραμμές I/O γενικού σκοπού και 32 καταχωρητές γενικού σκοπού. Ο Atmega328p επιπλέον διαθέτει: 3ευέλικτους χρονιστές , τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά interrupt , σειριακά interfaces (USART,I2C,SPI), κ 10 bit μετατροπέα A/D 6 καναλιών με τάση 5V, που προορίζεται για την ανάγνωση αναλογικών σημάτων.

Η πλακέτα παρέχει 14 ψηφιακά I/O pins (με αριθμούς 0-13) από τα οποία 6 (συνήθως τα 3,5,6,9,10,11) με δυνατότητα εξόδου σήματος PWM(Pulse Width Modulation), τα οποία σημειώνονται στην πλακέτα με περισπωμένη (π.χ ~5). Η πλακέτα παρέχει ακόμη 6 αναλογικές εισόδους με ονόματα A0-A5 με 10-bit (1024 επίπεδα) η οποίες μετατρέπουν αναλογικά σήματα σε ψηφιακά καθώς και USB θύρα για σύνδεση με host PC ως εικονική σειριακή θύρα (virtual COM port).

Το Arduino περιέχει μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους (“μικροελεκτής μονής πλακέτας”). Για τον προγραμματισμό αυτής της πλακέτας δύναται να χρησιμοποιηθεί η γλώσσα Wiring, μια γλώσσα προγραμματισμού C++ με σύνολο από βιβλιοθήκες, υλοποιημένες στην C++ . Το Arduino μπορεί και να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων καθώς και να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων Processing, Max/MSP, PureData και SuperCollider. Οι περισσότερες εκδόσεις του Arduino μπορούν να αγοραστούν προ-

συναρμολογημένες. Ακόμη διατίθενται ελεύθερα το διάγραμμα και πληροφορίες για το υλικό για όσους θέλουν να το συναρμολογήσουν μόνοι τους. Το 2006 το Arduino έλαβε τιμητική μνεία στην κατηγορία DigitalCommunities του PrixArsElectronica.



Εικόνα 28:ArduinoUnoR3 [22]

3.4. Ο προγραμματισμός του ελεγκτή

Ο προγραμματισμός του ελεγκτή γίνεται από το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης της εφαρμογής Arduino (IDE), παρέχεται δωρεάν από την επίσημη ιστοσελίδα της ομώνυμης εταιρείας. [26]

Η Arduino (IDE) είναι δομημένη στην γλώσσα προγραμματισμού Java και είναι συμβατή με διάφορα λειτουργικά συστήματα (όπως Windows, Linux, macOS). Η εφαρμογή περιέχει μια περιοχή μηνυμάτων, μια κονσόλα κειμένου και μια γραμμή εργαλείων για βασικές λειτουργίες. (Εικόνα29) Επίσης διαθέτει πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα με δυνατότητες κοπής, επικόλλησης, επισήμανσης, αναζήτησης και αντικατάστασης κειμένου, αυτόματη εσοχή κ αντιστοίχιση αγκυλών. Επίσης, δίνει την δυνατότητα μεταγλώττισης (compile) και μεταφόρτωσης (upload) προγραμμάτων σε πλακέτα Arduino. (Πίνακας 2)



Εικόνα 29:Μενού και Μπάρα εντολών ARDUINOIDE [23]

1.	Μενού: Επιλογές λειτουργιών λογισμικού
2.	Επαλήθευση: Έλεγχος και έγκριση κώδικα. Εντοπισμός συντακτικών σφαλμάτων (έλλειψη ερωτηματικών ή παρενθέσεων κοκ).
3.	Μεταφόρτωση: Ο κώδικας στέλνεται στην συνδεδεμένη πλακέτα.
4.	Νέο: άνοιγμα καρτέλας κώδικα
5.	Άνοιγμα: μεταφόρτωση υπάρχοντα κώδικα.
6.	Αποθήκευση: αποθήκευση ενεργού κώδικα.
7.	Σειριακό παράθυρο: Άνοιγμα παραθύρου και εμφάνιση τυχόν μεταδιδόμενων από την πλακέτα, σειριακών πληροφοριών. Χρήσιμο για εντοπισμό σφαλμάτων.
8.	Περιοχή κώδικα: Η περιοχή όπου συντίθεται ο κώδικας
9.	Μήνυμα: IDE Αναφορά , επιτυχίας ή αποτυχίας

Πίνακας2:Μενού

και

Μπάρα

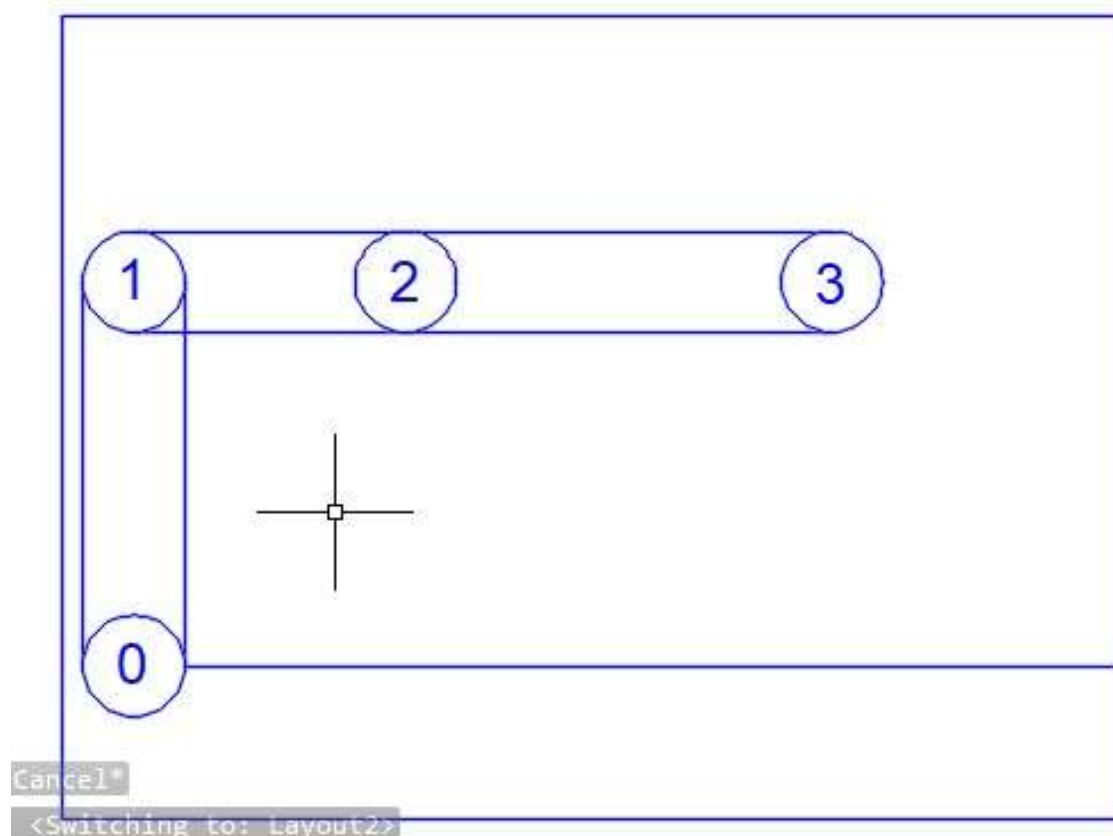
εντολώνARDUINOIDE

4.Κινηματική Ανάλυση

Κινηματική Ανάλυση

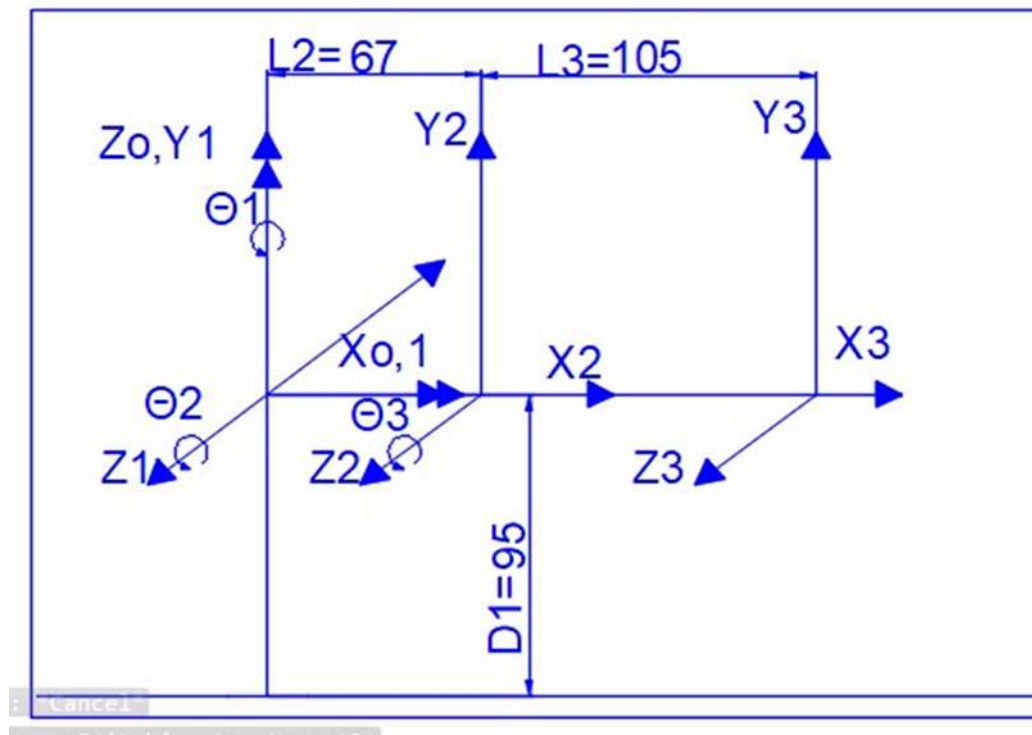
4.1. ΣΣ και παράμετροι κατά Denavit-Hartenberg

Για την ορθή χρήση του αλγορίθμου Denavit-Hartenberg εφαρμόζουμε τις οδηγίες της παραγράφου 2.5(σελ. 45). Αρχικά γίνεται η αρίθμηση των αρθρώσεων(Εικόνα 30) και έπειτα γίνεται η ανάθεση των Συστημάτων Συντεταγμένων (Σ.Σ) στους συνδέσμους και κάνουμε το σχεδιάγραμμα με τα συστήματα συντεταγμένων για τον βραχίονα μας(Εικόνα 31) και με την βοήθεια του συντάσσετε ο πίνακας με τις παραμέτρους D-H (Denavit-Hartenberg) για κάθε άρθρωση ξεχωριστά.(Πίνακας 3).Από τη στιγμή που ο βραχίονας αποτελείται μόνο από περιστροφικές αρθρώσεις, όλες οι μεταβλητές είναι σταθερές, πλην των γωνιών θ των αρθρώσεων.



Εικόνα 30: Αρίθμηση Αρθρώσεων

4.Κινηματική Ανάλυση



Εικόνα 31: Ανάθεση συστημάτων συντεταγμένων κατά D-H στον ρομποτικό βραχίονα

	R(z)	T(z)	T(x)	R(x)
A/A	$\Theta(^{\circ})$	d(mm)	L(mm)	$\alpha(^{\circ})$
1	θ_1	95	0	90
2	θ_2	0	67	0
3	θ_3	0	105	0

Πίνακας3:Παράμετροι κατά Denavit-Hartenberg

4.2. Όρια αρθρώσεων

Σύμφωνα με τον εγχειρίδιο του κατασκευαστή οι κινητήρες αυτοί που χρησιμοποιούμε έχουν ευρώ στροφές από μείον 90 έως συν 90.Για να επιτύχουμε την ομαλή λειτουργία των κινητήρων και να αποφύγουμε σύγκρουση μεταξύ των μελών η του τελευταίου μέλους με την βάση έδρασης της διάταξηςεπιλέγουμεεύροςστροφής από 2 έως 178 Μοίρες .

4.Κινηματική Ανάλυση

4.3. Ορθή Κινηματική Ανάλυση

Για να βρεθεί η θέση και ο προσανατολισμός του βραχίονα αρκεί η επίλυση του ευθέωςκινηματικού προβλήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με διαδοχικούς πολλαπλασιασμούς των μητρώωνμετασχηματισμού, όπως φαίνεται στον παρακάτω τύπο.

$$A_0^3 = A_0^1 * A_1^2 * A_2^3$$

Για την κινηματική επίλυση χρησιμοποιήθηκαν κάποιες συντομογραφίες για να απλοποιηθούν οι τιμές στα μητρώα. Αυτέςείναι:

$$c_i = \cos \theta_i, c_{ij} = \cos(\theta_i + \theta_j), s_i = \sin \theta_i, s_{ij} = \sin(\theta_i + \theta_j).$$

Οι διαδοχικοίπολλαπλασιασμοί(Εικόνα 32) θα γίνουν με την βοήθεια του MATLAB το αποτέλεσμα των οποίων θα μας δίνει τις συντεταγμένες P_x, P_y, P_z (Εξίσωση 2)έχονταςγνωστές τις γωνίεςπεριστροφής των αρθρώσεων.Για την πιο εύκοληεισαγωγή των μεταβλητών και τηνεμφάνιση των αποτελεσμάτων της επίλυσης του ευθέως κινηματικού προβλήματος δημιουργήθηκε ένα γραφικόπεριβάλλον(graphicaluserinterface-GUI),μέσω του εργαλείου του MATLAB για την δημιουργία GUI.[24]

A01 =

```
[ c1, 0, s1, 0]
[ s1, 0, -c1, 0]
[ 0, 1, 0, 0]
[ 0, 0, 0, 1]
```

A12 =

```
[ c2, -s2, 0, (193*c2)/20]
[ s2, c2, 0, (193*s2)/20]
[ 0, 0, 1, 0]
[ 0, 0, 0, 1]
```

A23 =

```
[ c3, -s3, 0, (58*c3)/5]
[ s3, c3, 0, (58*s3)/5]
[ 0, 0, 1, 0]
[ 0, 0, 0, 1]
```

A02 =

```
[ c1*c2, -c1*s2, s1, (193*c1*c2)/20]
[ c2*s1, -s1*s2, -c1, (193*c2*s1)/20]
[ s2, c2, 0, (193*s2)/20]
[ 0, 0, 0, 1]
```

A03 =

```
[ c1*c2*c3 - c1*s2*s3, - c1*c2*s3 - c1*c3*s2, s1, (193*c1*c2)/20 + (58*c1*c2*c3)/5 - (58*c1*s2*s3)/5]
[ c2*c3*s1 - s1*s2*s3, - c2*s1*s3 - c3*s1*s2, -c1, (193*c2*s1)/20 + (58*c2*c3*s1)/5 - (58*s1*s2*s3)/5]
[ c2*s3 + c3*s2, c2*c3 - s2*s3, 0, (193*s2)/20 + (58*c2*s3)/5 + (58*c3*s2)/5]
[ 0, 0, 0, 1]
```

Εικόνα 32:Μητρώα Μετασχηματισμού

4.Κινηματική Ανάλυση

Τα στοιχεία $A(1,4), A(2,4), A(3,4)$ του μητρώου μετασχηματισμού A_3^0 αντιστοιχούν στις συντεταγμένες P_x, P_y, P_z (Εξίσωση 2):

$$P_x =$$

$$(193 * c_1 * c_2) / 20 + (58 * c_1 * c_2 * c_3) / 5 - (58 * c_1 * s_2 * s_3) / 5$$

$$P_y =$$

$$(193 * c_2 * s_1) / 20 + (58 * c_2 * c_3 * s_1) / 5 - (58 * s_1 * s_2 * s_3) / 5$$

$$P_z =$$

$$(193 * s_2) / 20 + (58 * c_2 * s_3) / 5 + (58 * c_3 * s_2) / 5$$

>>

Εξίσωση 2: ΕυθύΚινηματικό Πρόβλημα εξισώσεις P_x, P_y, P_z

4.4. Αντίστροφη Κινηματική Ανάλυση

Λύνοντας το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα μπορούν να εντοπιστούν οι τιμές των γωνιών για την επιθυμητή θέση του άκρου. Η επίλυση αυτού του προβλήματος είναι αρκετά πιο περίπλοκη από την επίλυση του ευθέως. Σαν γνωστές τιμές έχουμε τις μεταβλητές X, Y, Z της θέσης.

Στη συνέχεια, με γνωστό το μητρώο A_{03} , και ορίζοντας μία θέση για το άκρο του βραχίονα, υπολογίζονται οι γωνίες των αρθρώσεων.

$$P_x = c_1 * (l_2 * c_2 + l_3 * c_2 * c_3 - l_3 * s_2 * s_3) \quad (1)$$

$$P_y = s_1 * (l_2 * c_2 + l_3 * c_2 * c_3 - l_3 * s_2 * s_3) \quad (2)$$

$$P_z = l_2 * c_2 + l_3 * c_2 * c_3 + l_3 * c_3 * s_2 + d_1 \quad (3)$$

Διαιρώντας τη σχέση (2) με την (1) προκύπτει:

$$\frac{P_y}{P_x} = \frac{s_1 * (l_2 * c_2 + l_3 * c_2 * c_3 - l_3 * s_2 * s_3)}{c_1 * (l_2 * c_2 + l_3 * c_2 * c_3 - l_3 * s_2 * s_3)} = \frac{s_1}{c_1}$$

Η θ_1 υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\theta_1 = \frac{P_y}{P_x} \quad (\text{Εξίσωση 3})$$

4.Κινηματική Ανάλυση

Εξίσωση 3:Αντίστροφο ΚινηματικόΠρόβλημαΕξίσωση Θ1

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ θ_2

Πλέον, με γνωστή τη γωνία θ_1 , γίνεται εφικτή η εύρεση της γωνίας θ_2 . Αρχικά πολλαπλασιάζονται οι εξισώσεις (1) με $\cos\theta_1$ και η (2) με $\sin\theta_1$, από τις οποίες προκύπτουν οι (4) και (5) αντίστοιχα.

$$c_1 * P_x = c_1^2 * (l_2 * c_2 + l_3 * c_2 * c_3 - l_3 * s_2 * s_3) \quad (4)$$

$$s_1 * P_y = s_1^2 * (l_2 * c_2 + l_3 * c_2 * c_3 - l_3 * s_2 * s_3) \quad (5)$$

Στη συνέχεια, γίνεται πρόσθεση κατά μέλη των δύο εξισώσεων (4) και (5), καταλήγοντας στην (6).

$$c_1 * P_x + s_1 * P_y = c_1^2 * (l_2 * c_2 + l_3 * c_2 * c_3 - l_3 * s_2 * s_3) + s_1^2 * (l_2 * c_2 + l_3 * c_2 * c_3 - l_3 * s_2 * s_3) \Leftrightarrow c_1 * P_x + s_1 * P_y = (c_1^2 + s_1^2) * (l_2 * c_2 + l_3 * c_2 * c_3 - l_3 * s_2 * s_3) = l_2 * c_2 + l_3 * c_2 * c_3 - l_3 * s_2 * s_3 \quad (6).$$

Στις σχέσεις (3) και (6) στο πρώτοσκέλοςκρατάω τα γνωστά και τους αγνώστουςμόνο με τις τριγωνομετρικέςσυναρτήσεις της θ_2 και στο δεύτεροσκέλος τους υπολοίπουςαγνώστους.

$$(3) \Leftrightarrow P_z - l_2 * c_2 - d_1 = l_3 * c_2 * s_3 + l_3 * c_3 * s_2$$

$$(6) \Leftrightarrow c_1 * P_x + s_1 * P_y - l_2 * c_2 = l_3 * c_2 * c_3 - l_3 * s_2 * s_3$$

Αντικαθιστώ τα γνωστά $c_1 * P_x + s_1 * P_y = u$ και $P_z - d_1 = m$ και η (3) και (6) γίνονται

$$(3) \Leftrightarrow m - l_2 * c_2 = l_3 * c_2 * s_3 + l_3 * c_3 * s_2 = l_3 * (c_2 * s_3 + c_3 * s_2) = l_3 * s_{23}$$

$$(6) \Leftrightarrow u - l_2 * c_2 = l_3 * c_2 * c_3 - l_3 * s_2 * s_3 = l_3 * (c_2 * c_3 - s_2 * s_3) = l_3 * c_{23}$$

Οι σχέσεις που προκύπτουν είναι οι (7),(8) :

$$(3) \Leftrightarrow m - l_2 * c_2 = l_3 * s_{23} \quad (7)$$

$$(6) \Leftrightarrow u - l_2 * c_2 = l_3 * c_{23} \quad (8)$$

Υψώνοντας τις σχέσεις (8) και (7) στο τετράγωνο και αθροίζοντας κατά μέλη προκύπτει η σχέση (9):

$$(u - l_2 * c_2)^2 + (m - l_2 * s_2)^2 = l_3^2 * c_{23}^2 + l_3^2 * s_{23}^2 \Leftrightarrow (u - l_2 * c_2)^2 + (m - l_2 * s_2)^2 = l_3^2 * (c_{23}^2 + s_{23}^2) \Leftrightarrow u^2 + l_2^2 * c_2^2 - 2 * u * l_2 * c_2 + m^2 + l_2^2 * s_2^2 - 2 * m * l_2 * s_2 = l_3^2 \Leftrightarrow u^2 + l_2^2 * (c_2^2 + s_2^2) - 2 * u * l_2 * c_2 + m^2 + l_2^2 - 2 * m * l_2 * s_2 = l_3^2 \Leftrightarrow -2 * u * l_2 * c_2 - 2 * m * l_2 * s_2 = l_3^2 - u^2 - l_2^2 - m^2 \quad (9)$$

Η οποία σχέση είναι της μορφής:

$$A * \sin\theta_2 - B * \cos\theta_2 = C \quad (10)$$

Όπου το κάθε μέλος είναι το εξής:

4.Κινηματική Ανάλυση

$$A = -2 * u * l_2 B = 2 * m * l_2 C = l_3^2 - u^2 - l_2^2 - m^2$$

Θέτω τα A και B σε μορφή πολικών συντεταγμένων:

$$A = r * \cos k \Leftrightarrow \cos k = \frac{A}{r} \quad (11)$$

$$B = r * \sin k \Leftrightarrow \sin k = \frac{B}{r} \quad (12)$$

Από την γνωστή σχέση υπολογισμού της πολικής ακτίνας :

$$r^2 = A^2 + B^2 \Leftrightarrow r = \sqrt{A^2 + B^2} \text{ με το } r > 0 \text{ γιατί τα } A, B \text{ είναι υψωμένα στο τετράγωνο}$$

Και με γνωστά τα A, B, r η γωνιά κυπολογίζεται από την σχέση:

$$k = \text{atan2}\left(\frac{A}{r}, \frac{B}{r}\right) \quad (13)$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση (10) τις ισότητες των A, B από τις (11), (12) προκύπτει η (14):

$$r * c_k * c_2 - r * s_k * s_2 = C \Leftrightarrow r * (c_k * c_2 - s_k * s_2) = C \Leftrightarrow r * c_{k2} = C \Leftrightarrow c_{k2} = \frac{C}{r} \quad (14)$$

Επιλύοντας την εξίσωση (14) υπολογίζω την γωνία θ_2 , η οποία έχει δύο δυνατές λύσεις:

$$(14) \Leftrightarrow \theta_2 = \pm \left(\cos^{-1}\left(\frac{C}{r}\right) - k \right) \text{ (Εξίσωση 4)}$$

Εξίσωση 4: Αντίστροφο Κινηματικό Πρόβλημα Εξίσωση θ_2

Η θετική τιμή αντιστοιχεί στο να είναι ο «αγκώνας» του βραχίονα επάνω, ενώ η αρνητική στο να είναι κάτω.

Και για τις δυο τιμές το άκρο του βραχίονα καταλήγει στο ίδιο τελικό σημείο. (Εικόνα 33)

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ θ_3

Στις (3) $m = l_2 * s_2 = l_3 * c_2 * s_3 + l_3 * c_3 * s_2$ και (6) $u = l_2 * c_2 = l_3 * c_2 * c_3 - l_3 * s_2 * s_3$
αντικαθιστώ: $m_1 = m - l_2 * s_2, u_1 = u - l_2 * c_2, m_2 = l_3 * c_2, m_3 = l_3 * s_2$ και προκύπτουν οι:

$$m_1 = m_2 * s_3 - m_3 * c_3 \quad (15)$$

$$u_1 = m_2 * c_3 - m_3 * s_3 \quad (16)$$

Καταλήγω σε ένα σύστημα δυο εξισώσεων με δυο αγνώστους τα c_3, s_3 .

Στην (15) λύνω ως s_3 και αντικαθιστώ το ίσο της στην (16) και κανονταζ τις αριθμητικές πράξεις υπολογίζω αρχικά το c_3 :

$$c_3 = \frac{m_1 * m_2 + m_2 * u_1}{m_3^2 + m_2^2} \quad (17)$$

Στην συνέχεια αντικαθιστώντας την τιμή του c_3 στην (16) υπολογίζω και το s_3 :

$$s_3 = \frac{m_2 * c_3 - u_1}{m_3} \quad (18)$$

Και με γνωστά

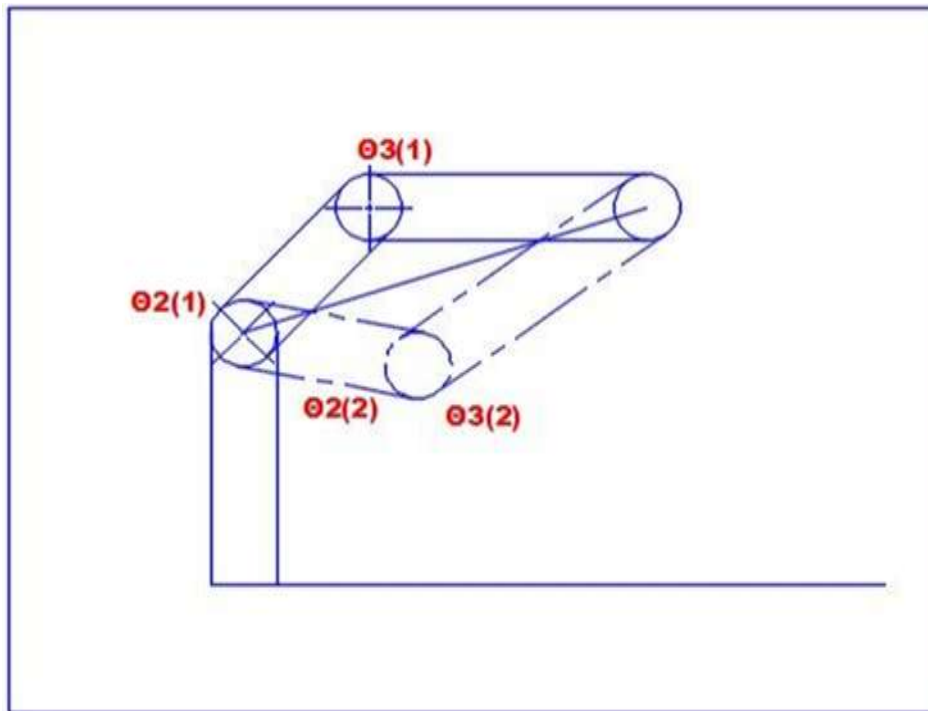
τα c_3, s_3 υπολογίζω την θ_3 :

$$\theta_3 = \text{atan2}(c_3, s_3) \text{ (Εξίσωση 5)}$$

Εξίσωση 5: Αντίστροφο Κινηματικό Πρόβλημα Εξίσωση θ_3

4.Κινηματική Ανάλυση

Παρατηρείται πως υπάρχουν δύο λύσεις για τη γωνία θ_2 και κατ' επέκταση για τη γωνία θ_3 . Το πρώτο ζεύγος λύσεων αντιστοιχεί στο να είναι ο «αγκώνας» του βραχίονα επάνω, ενώ το δεύτερο ζεύγος στο να είναι κάτω. Είτε επιλεγθεί η πρώτη λύση είτε η δεύτερη, ο βραχίονας



καταλήγει στο ίδιο τελικό σημείο. (Εικόνα 33)

Εικόνα 33: Δύο Ζεύγη Γωνιών, Ίδιο Τελικό Σημείο

Εδώ ολοκληρώνεται ο υπολογισμός τις γωνιών θ_1, θ_2 και θ_3 , οι οποίες καθορίζουν τη θέση του βραχίονα όταν γνωρίζουμε τις μεταβλητές X, Y, Z της θέσης.

5.2. Συναρμολόγηση μερών σε διάταξη

Ο εκπαιδευτικός ρομποτικός βραχίονας ανήκει στην κατηγορία αρθρωτών ρομπότ γνωστών και ως ανθρωπομορφικά ρομπότ. Στην δομή ενός αρθρωτού ρομπότ οι τρεις πρώτες αρθρώσεις είναι περιστροφικές. Επειδή ο ρομποτικός βραχίονας που υλοποιούμε είναι για εκπαιδευτική χρήση θα περιοριστούμε στις τρεις πρώτες αρθρώσεις.

Η διάταξη λειτουργίας του ρομποτικού βραχίονα (Εικόνα 38): ρομποτικός βραχίονας, σύστημα τροφοδοσίας των σερβομοτέρ, σύστημα ελέγχου (πλακέτα του Arduino) και το breadboard σταθεροποιούνται με βίδες και αυτοκόλλητα σε μια βάση από λευκής μελαμίνης διαστάσεων 750mm πλάτος, 590mm βάθος και 20mm πάχος. (Πίνακας 4)

Η έδραση του ρομποτικού βραχίονα πάνω στην βάση θα γίνει με την ένωση δυο ελασμάτων βάσης.

Ο πρώτος σύνδεσμος εδράζεται σε μια περιστροφική βάση με κατακόρυφο άξονα κίνησης. Στις άλλες δύο περιστρεφόμενες αρθρώσεις που ακολουθούν οι άξονες κινήσεως τους είναι οριζόντιοι.

Οι σύνδεσμοι των αρθρώσεων του βραχίονα θα σχηματιστούν από την κατάλληλη διάταξη και ένωση που απαιτείται έλασμάτων συνδέσμων.

Για την έδραση των μοτέρ και την σύνδεση τους με τα άλλα στοιχεία του βραχίονα θα χρησιμοποιηθούν τα ελάσματα βάσης του μοτέρ.

Τέλος για την μετάδοση κίνησης από τα μοτέρ στις αρθρώσεις θα χρησιμοποιηθούν μεταλλικοί ιναιόκυκλικοί δίσκοι - οδοντωτοί τροχοί με εσωτερική οδόντωση σε συναρμογή με το πολύσφηνο της ατράκτου του μοτέρ. (Στην συνέχεια θα τον αναφέρω σαν δίσκο κίνησης)

Επίσης οι δίσκοι κίνησης έχουν σε σταυροειδή διάταξη οπές με εσωτερικό σπείρωμα M3 για την στήριξη των συνδέσμων. (Εικόνα 37)



Εικόνα 37: Δομικά Στοιχεία Ρομποτικού Βραχίονα

1. Τροφοδοτικό
2. Σταθεροποιητής
3. Bread Bord
4. Καλώδια σύνδεσης Pin (αρσενικό -αρσενικό, αρσενικό-θηλυκό)
5. Πλακέτα Arduino Uno
6. Καλώδιο σύνδεσης USB Arduino H/Y



7. Ρομποτικός βραχίονας με ενσωματωμένους τους σερβοκινητήρες

Πίνακας 3: Λειτουργικά Στοιχεία Ρομποτικού Βραχίονα

Εικόνα 38: Διάταξη Λειτουργίας Ρομποτικού Βραχίονα

Περιγραφή Συναρμολόγησης Διάταξης

Μετράμε τις βασικές διαστάσεις των εξαρτημάτων (Πλάτος, Βάθος), για τον υπολογισμό του μέγιστου πλάτους του ρομποτικού βραχίονα (18.5cm), θέτουμε και τους δυο συνδέσμους (σκέλη) του σε οριζόντια θέση.

Σχεδιάζουμε δοκιμαστικές διατάξεις των εξαρτημάτων, με τον ρομποτικό βραχίονα περίπου, στο κέντρο και το τροφοδοτικό που συνδέεται με την παροχή ρεύματος στην γωνία.

Αφού επιλέξουμε διάταξη σχεδιάζουμε τις τελικές θέσεις τους (περίγραμμα της βάσης τους) πάνω στο φύλλο μελαμίνης, τους και με ένα δράπανο χειρός ανοίγουμε 6 τρύπες (Φ 7MM) στην μελαμίνη για την στερέωση της βάσης του ρομποτικού βραχίονα.

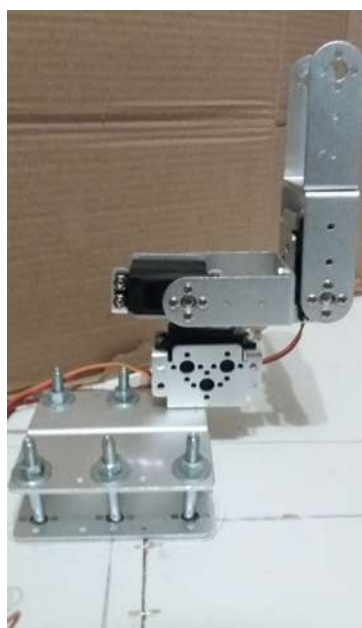
Στερεώνουμε τα εξαρτήματα με ξυλόβιδες εκτός από το breadbord που το στερεώνουμε με αυτοκόλλητη ταινία διπλής όψης.

Ειδικά για τον ρομποτικό βραχίονα πρώτα στερεώνουμε την βάση του, με περαστούς κοχλίες M6X65 που διαπερνούν το φύλλο μελαμίνης και την βάση και σε άλλο βήμα στερεώνουμε τους υπόλοιπους συνδέσμους (μέλη) πάνω στην βάση του. Έχει προηγηθεί η τοποθέτηση των σερβομοτέρ στις βάσεις τους. Στην παράγραφο 6.1 (Εκπαιδευτικές Οδηγίες ανάπτυξης εφαρμογής) γίνεται αναλυτική περιγραφή της συναρμολόγησης του ρομποτικού βραχίονα.

Ακολουθεί η σύνδεση των μοτέρ με τον ελεγκτή και την παροχή ρεύματος όπως έχει περιγραφεί αναλυτικά (στην παράγραφο 5.5). και ο ρομποτικός βραχίονας είναι έτοιμος για λειτουργία.

5.3. Ενσωμάτωση κινητήρων.

Για να αντιστοιχίσουμε τις 0 μοίρες στην σημείο εκκίνησης του άξονα περιστροφής του κινητήρα ακολουθείται μια διαδικασία που ονομάζεται calibration. Ο πιο εύκολος τρόπος επειδή ο ρομποτικός βραχίονας είναι εκπαιδευτικού χαρακτήρα και το ζητούμενο δεν είναι η απόλυτη ακρίβεια, είναι να οδηγήσουμε στην θέση 0 μοιρών το 1^ο και 2^ο και 180 μοιρών το 3^ο μοτέρ (γιατί σε θέση 0 μοιρών ακουμπάει στην βάση) και στην συνέχεια να ευθυγραμμίσουμε τους



συνδέσμους και τους δίσκους κίνησης με την βοήθεια των αξόνων συμμετρίας τους στην ιδιότητά τους σύμφωνα με την φορά περιστροφής που έχουμε επιλέξει.

Εικόνα 39: Καλιμπράρισμα Κινητήρων

5.4. Διασύνδεση ελεγκτή με κινητήρες

Οι σέρβο-μηχανισμοί με έλεγχο θέσης (γωνίας) ή απλά Servo που χρησιμοποιούνται είναι ένα διαδεδομένο είδος ενεργοποιητή (actuator) που περιέχει έναν κινητήρα και έναν αισθητήρα θέσης (γωνίας στροφής) που μαζί αποτελούν ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου. Το Servo έχει την δυνατότητα να στρέφει την κεφαλή του (Head) συνήθως 180 μοίρες (από -90 μοίρες έως +90 μοίρες) ενώ με χρήση ντίζας η κίνηση μπορεί να μετατραπεί εύκολα σε γραμμική. Η τυπική τάση τροφοδοσίας του είναι 5V, ενώ ο Servo ελέγχεται μέσω τριών ακροδεκτών – καλωδίων (Εικόνα 40).

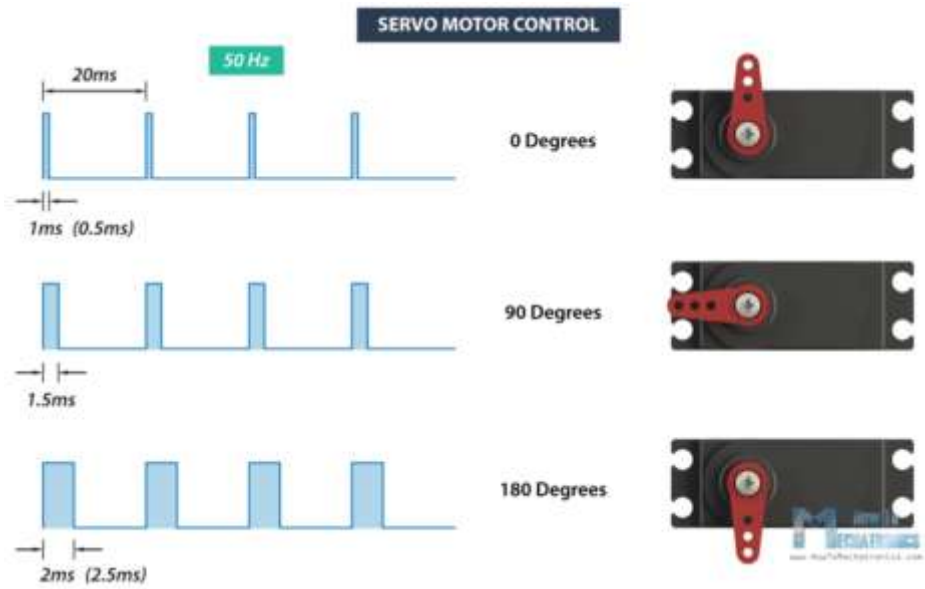
1. Καλώδιο Τροφοδοσίας 5V (κόκκινο). Συνδέεται στην τάση τροφοδοσίας 5V.
2. Καλώδιο γείωσης GND (μαύρο ή καφέ). Συνδέεται στον αρνητικό πόλο της τροφοδοσίας.
3. Καλώδιο σήματος PIN (άσπρο ή κίτρινο).

Σε αυτό παρέχεται από τον Arduino σήμα PWM όπου η διάρκεια του παλμού καθορίζει και την γωνία στροφής της κεφαλής του Servo. Η διάρκεια του παλμού μπορεί να κυμαίνεται από 1 ms έως 2ms ενώ όταν δοθεί παλμός διάρκειας 1.5 ms έρχεται στην ουδέτερη θέση

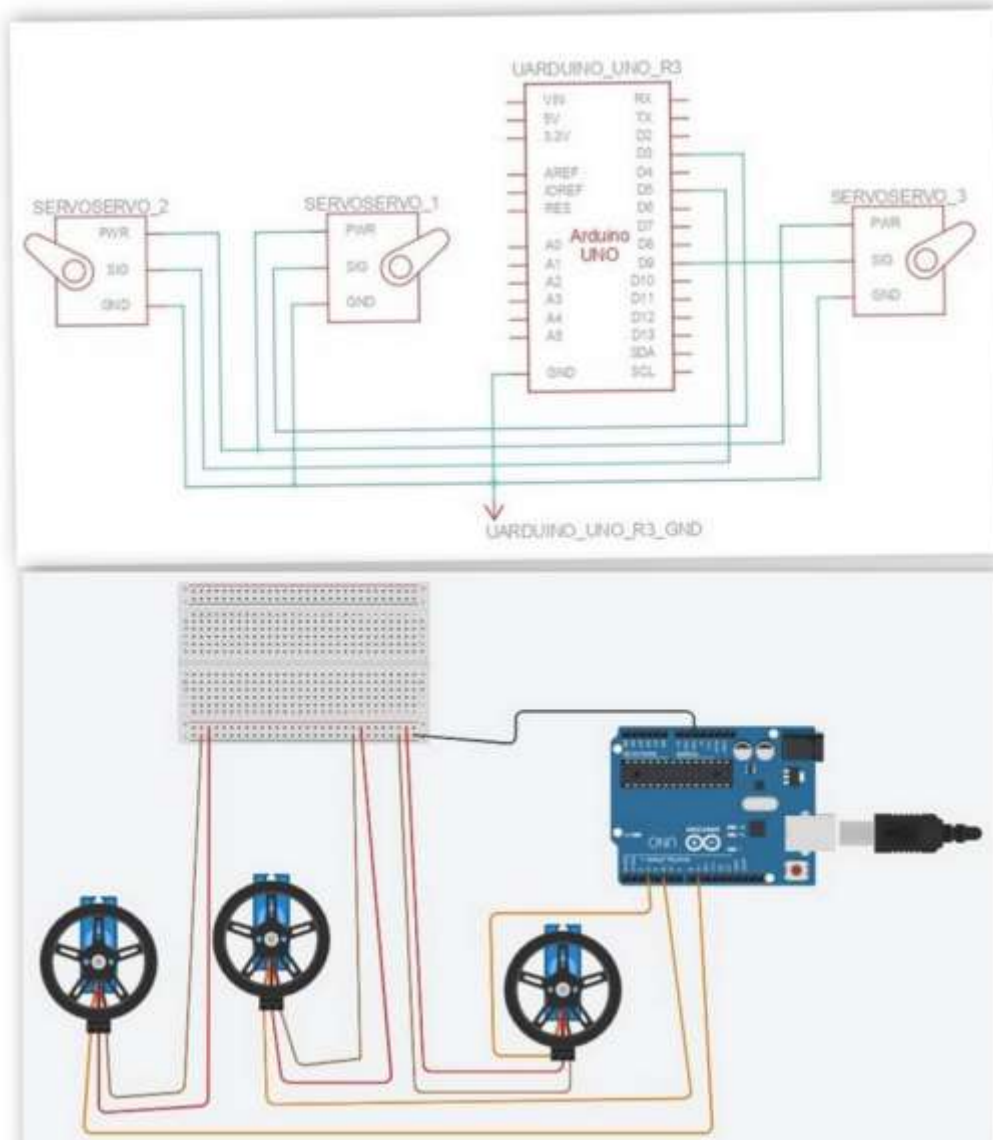


(neutral position) (Εικόνα 41). Η συχνότητα του παλμού τυπικά είναι 50Hz (περίοδος 20ms). [30]

Ο μεταγωγιστής του Arduino υποστηρίζει την εξειδικευμένη βιβλιοθήκη για την οδήγηση σέρβο (VarSpeedServo.h).



Εικόνα 40: Ακροδέκτες – Καλώδια Ελέγχου Servo



Εικόνα 41: Οδήγηση Servo [25]

Εικόνα 42: Σύνδεση κινητήρων με τον ελεγκτή

Για την τροφοδοσία των servo χρησιμοποιήθηκε εξωτερικό τροφοδοτικό (Εικόνα 72) και μετατροπέας DC-DC (Εικόνα 73) για την σταθεροποίηση της τάσης, διότι σε διάφορες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν με μπαταρίες υπήρχε συνεχή αστάθεια στην τάση.

Η Διασύνδεση του ελεγκτή με τους κινητήρες έγινε σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα της παραπάνω εικόνας (Εικόνα 42). Δηλαδή τα καλώδια μεταφοράς σήματος των μοτέρ (κιτρινα, SIG) θα συνδεθούν στα PWM (Pulse Width Modulation) pin (D3, D6, D9) του Arduino σύμφωνα με την σειρά που φαίνεται ενώ το κόκκινο (τροφοδοσία, PWR) και το καφέ (γείωση, GND) μέσω του breadboard συνδέονται με την εξωτερική πηγή ρεύματος.

5.5. Ενσωμάτωση κώδικα στον ελεγκτή

Η οδήγηση 3 servo-κινητήρων γίνεται από την πλατφόρμα Arduino με την συγγραφή και την εκτέλεση του ειδικού προγράμματος. Με τις κατάλληλες εντολές επιτυγχάνετε ο έλεγχος της θέσης του βραχίονα και των κινήσεων των αρθρώσεων αλλά και η εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων από τους αισθητήρες.

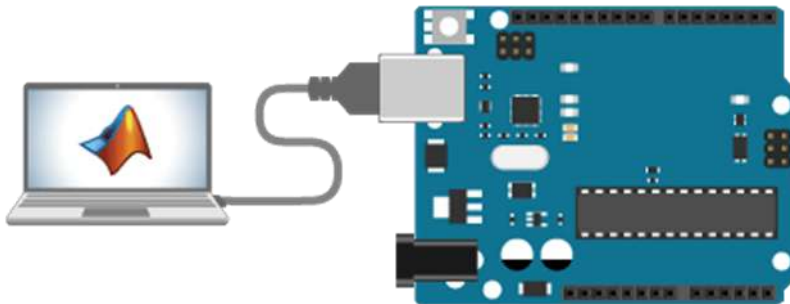
Αρχικά στο πρόγραμμα γίνεται εισαγωγή των αναγκαίων βιβλιοθηκών για την ομαλή εκτέλεση του. Ακολουθεί δήλωση των μεταβλητών και των pin που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια. Μετά γίνεται δήλωση των εισόδων (INPUTS) και (OUTPUTS) εξόδων της πλατφόρμας. Το πρόγραμμα ολοκληρώνεται με την συγγραφή του κυρίου μέρους του λειτουργικού κώδικα.

Σ' αυτό το πρόγραμμα χρησιμοποιούμε την βιβλιοθήκη (VarSpeedServo.h), η οποία μας παρέχει την δυνατότητα ελέγχου της ταχύτητας των κινητήρων. Για την ομαλή λειτουργία των κινητήρων απαιτείται σήμα PWM.

Με την χρήση της εντολής `servo.write(vi,speed)` της βιβλιοθήκης δίνετε η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει τις μοίρες στρέψης του κινητήρα και μέσω της πλατφόρμας μετατρέπετε το σήμα σε PWM και επιτυγχάνετε η στροφή στην επιθυμητή θέση.

Η μεταβλητή `speed` μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 255. Για την τιμή 0 και την τιμή 255 ο κινητήρας παίρνει εντολή κίνησης με την μέγιστη ταχύτητα, με την τιμή 1 δίνετε η εντολή για την χαμηλότερη ταχύτητα και με την μεταβολή της προς τα πάνω έως την τιμή 255 μεταβάλετε και η ταχύτητα προς τα πάνω. Το πλήθος των τιμών για την μέγιστη ταχύτητα στροφής μπορεί να είναι μεγαλύτερο σε άλλο μοντέλο κινητήρα. Είναι απαραίτητο να ακολουθούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή για κάθε ξεχωριστό μοντέλο σερβοκινητήρα. [26]

5.5.1 ΣΕΙΡΙΑΚΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ MATLAB-ARDUINO



Εικόνα 43:Σειριακή Επικοινωνία Matlab-Arduino[27]

Η οδήγηση του ρομποτικού βραχίονα μπορεί να γίνει απευθείας από το προγραμματιστικό περιβάλλον του Arduino (Από το περιβάλλον IDE του Arduino) με την εκτέλεση του κώδικα που έχουμε γράψει. Η Ανάγκη όμως της δημιουργίας γραφικήςπροσομοίωσης για την επαλήθευση της πραγματικής κίνησης του ρομποτικού βραχίονα ταυτόχρονα με την οδήγηση του, δημιούργησετην ανάγκη χρήσης της γλώσσας προγραμματισμού matlab.

Συνεπώς η επικοινωνία του Arduino με την κεντρική μονάδα του υπολογιστή επιτεύχθηκε μέσω του Matlab. Αυτό επιτεύχθηκε με το κατέβασμα από το site της mathworkστα έτοιμα pde που είναι αναγκαία για την οδήγηση των εισόδων και των εξόδων του Arduino διά μέσου του Matlab.

Από το περιβάλλον του matlab με ανάλογο πρόγραμμα σε μορφή αρχείου .m γίνετε κάθε φορά η εισαγωγή των επιθυμητών τιμών των γωνιών του ρομποτικού βραχίονα και μέσω του ειδικού πρωτοκόλλου επικοινωνίας μεταβιβάζονται στην πλατφόρμα Arduino και με την εκτέλεση του προγράμματος οδήγησης των κινητήρων επιτυγχάνεται η στροφή τους στην επιθυμητή θέση.

Πριν τρέξουμε το m.fileφορτώνουμε τον κώδικα οδήγησης των σερβοκινητήρων στο περιβάλλον IDE του Arduino

Στην συνέχεια με την εκτέλεση του m.fileκαθορίζουμε την σύνδεση του Matlab – arduino, μέσω της σειριακής θύρας της πλατφόρμας που στην συγκεκριμένη εφαρμογή είναι η ‘COM5’, ρυθμίζουμε το BAUD στις 115200 και με τη εντολή fopen ενεργοποιούμε την σειριακή επικοινωνία(Εικόνα 43).

Κάθε φορά που θα τρέχει το m.file στο Matlab θα εκτελείτε και το πρόγραμμα στον Arduino. Στο ίδιο m.fileυπάρχει ο κώδικας για την προσομοίωση της κίνησης του ρομποτικού βραχίονα.

Ακολουθούν τα στάδια επικοινωνίας του Matlab με το Arduino[28]:

1) Μεταφορτώνουμε αρχείο ArduinoIO.Zip από το site της mathworks.

2) Αποσυμπιέζουμε (extract files) το αρχείο.

3) Μεταφορτώνουμε το λογισμικό πρόγραμμα Arduino IDE από το site της Arduino.cc

4) Τρέχουμε το λογισμικό πρόγραμμα Arduino IDE.

5) Αναζητούμε τον φακέλο rdp που να περιέχει τα εξής παρακάτω αρχεία:

Adioe: Διαχειρίζεται και ελέγχει τους καταχωρητές και γενικά την ανάπτυξη .

Adioes: Διαχειρίζεται και ελέγχει τους σερβοκινητήρες και γενικά την ανάπτυξη .

Adio: Γενικού σκοπού ανάπτυξη.

Επιλέγουμε το (Adioes) που αφορά τον έλεγχο των σερβοκινητήρων επειδή αυτό είναι αναγκαίο για την πραγματοποίηση της διπλωματικής εργασίας.

6) Κάνουμε επιλογή της σειριακής θύρας που έχουμε σύνδεση πλατφόρμα Arduino.

7) Μεταφορτώνουμε και εκτελούμε το πρόγραμμα (Adioes) στην πλατφόρμα Arduino.

8) Κλείνουμε το λογισμικό Arduino IDE.

9) Τρέχουμε το λογισμικό Matlab .

10) Αντιγράφουμε τα αρχεία Arduino.m και install_Arduino.m στον φάκελο προεπιλογής του Matlab. Συνήθως είναι **C: \ Users \ pc \ Documents \ MATLAB**.

11) Επιλέγουμε με δεξί κλικ από το Matlab το αρχείο install_Arduino.m και μετά με κλικ επιλέγουμε run. Εμφανίζεται το παρακάτω μήνυμα :

```
>>install_arduino
```

```
Arduino folders added to the path
```

```
Saved updated Matlab path
```

12)

Κατόπιν με δεξί κλικ ανοίγουμε το αρχείο Arduino.m και επιλέγουμε run. Εμφανίζεται το παρακάτω μήνυμα :

```
>> Arduino
```

```
Note: a DEMO connection will be created
```

```
Use a the com port, e.g. 'COM5' as input argument to connect to the real board
```

```
Demo mode connection .....
```

```
General Script detected !
```

```
Arduino successfully connected !
```

```
ans
```

```
arduino object connected to DEMO port
```

```
General Shield Server running on the arduino board
```

```
Digital Pin 02 is currently UNASSIGNED
```

```
Digital Pin 03 is currently UNASSIGNED
```

```
Digital Pin 04 is currently UNASSIGNED
```

```
Digital Pin 05 is currently UNASSIGNED
```

Digital Pin 06 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 07 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 08 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 09 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 10 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 11 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 12 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 13 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 14 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 15 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 16 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 17 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 18 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 19 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 20 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 21 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 22 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 23 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 24 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 25 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 26 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 27 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 28 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 29 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 30 is currently UNASSIGNED

Digital Pin 31 is currently UNASSIGNED

13) Η επικοινωνία έχει επιτευχθεί

5.6. Εκτέλεση δοκιμών - Αξιολόγηση αποτελέσματος

Για την επαλήθευση των συντεταγμένων θέσης P_x, P_y, P_z που υπολογίζουμε με την εφαρμογή του αλγορίθμου Denavit-Hartenberg στην γλώσσα προγραμματισμού Matlab, θα χρησιμοποιήσουμε το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD.

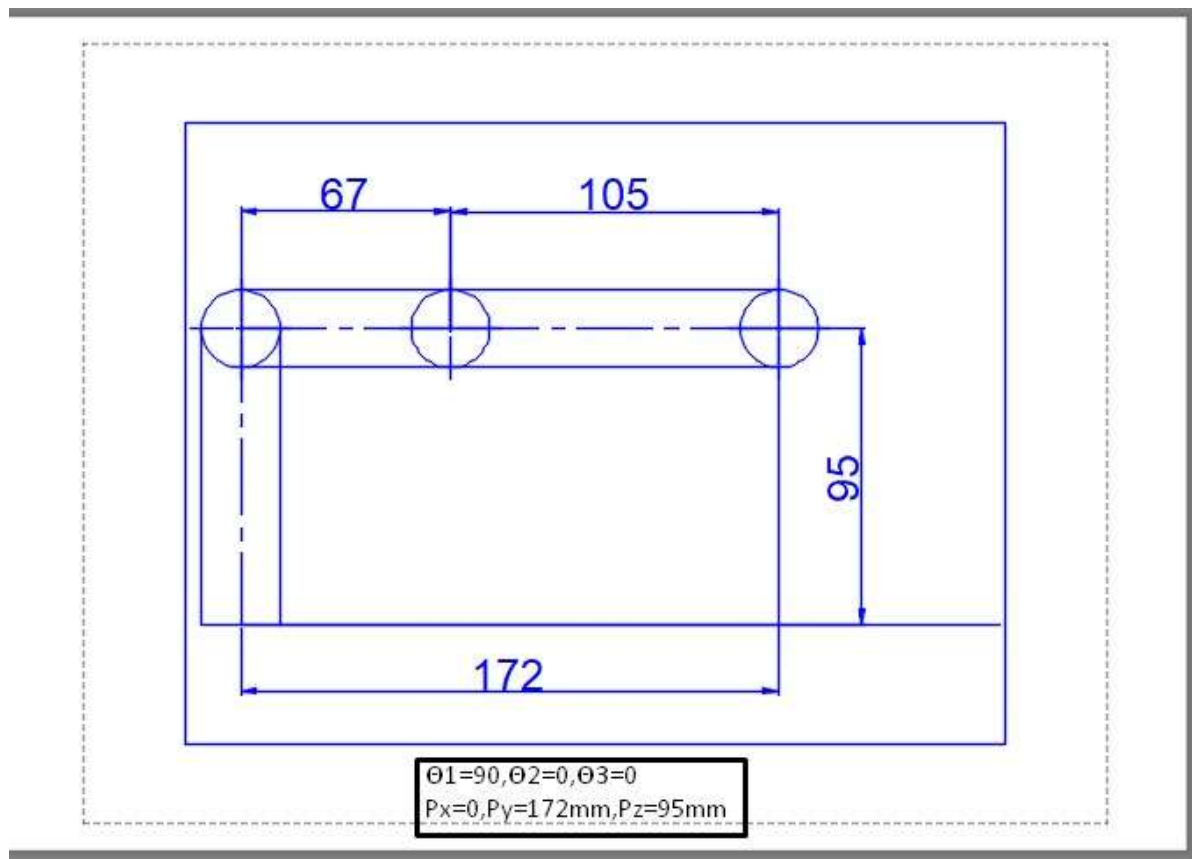
Σχεδιάζουμε την πλάγια όψη του ρομποτικού βραχίονα με την γωνία του πρώτου μέλους $\Theta_1=90$ μοίρες σταθερή και Θ_a δίνουμε στις άλλες δύο γωνίες Θ_2, Θ_3 των άλλων δύο μελών διάφορες τιμές. Για γωνία $\Theta_1=90$ μοίρες $P_x=0$ και η P_y είναι ίση με την οριζόντια απόσταση του κέντρου

της βάσης με το κέντρο του άκρου του βραχίονα , η P_z με την κατακόρυφη απόσταση των δύο άκρων.

Οι τιμές των μετρήσεων των P_x, P_y, P_z θα πρέπει να είναι ίσες με τις τιμές των συντεταγμένων της θέσης του άκρου του βραχίονα που υπολογίζουμε με την εφαρμογή του Matlab.

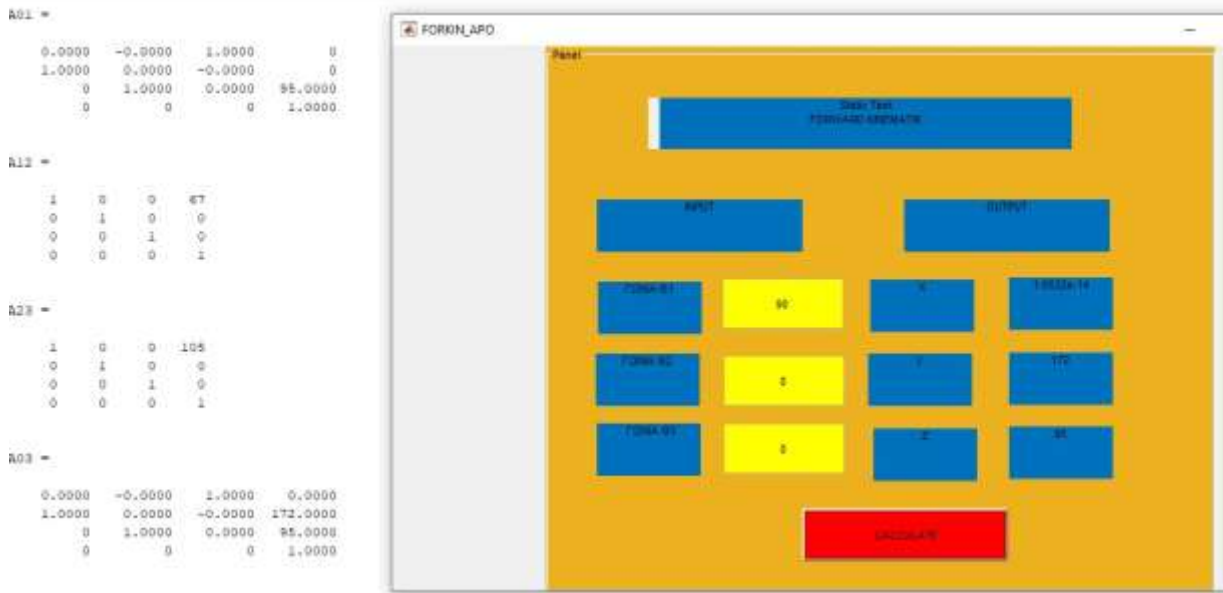
Δοκιμές Σύγκρισης Υπολογισμού και μετρήσεων Τοποθετήσεων του Βραχίονα.

Ακολουθούνι δοκιμές Σύγκρισης Υπολογισμού και μετρήσεων Τοποθετήσεων του Βραχίονα, κρατώντας την γωνία $\Theta_1=90$ μοίρες και δίνοντας διάφορες τιμές στις Θ_2, Θ_3 .

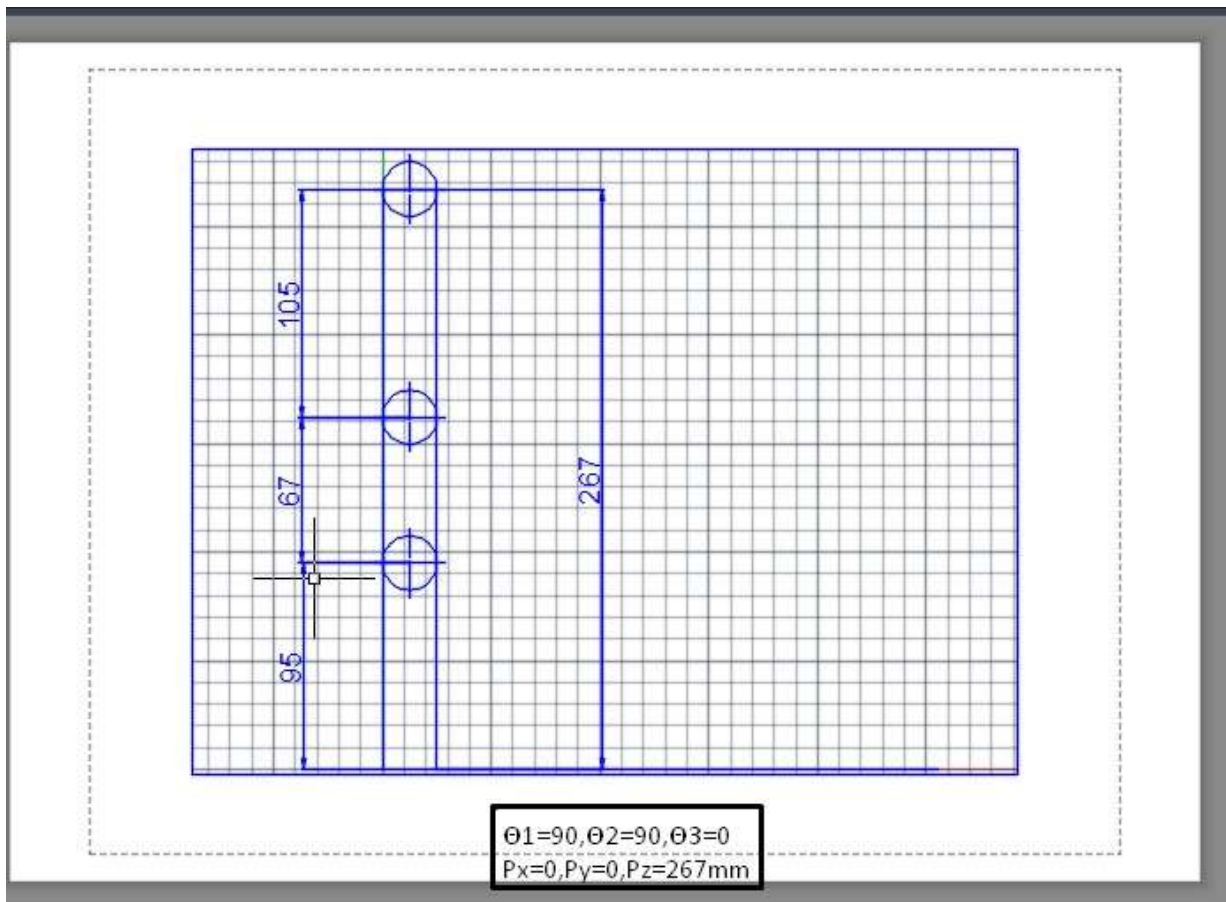


Εικόνα 44: Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\Theta_1=90, \Theta_2=0, \Theta_3=0$

5. Ανάπτυξη Εφαρμογής



Εικόνα 45: Υπολογισμός P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=0, \theta_3=0$



Εικόνα 46: Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=90, \theta_3=0$

5. Ανάπτυξη Εφαρμογής

A01 =

0.0000	-0.0000	1.0000	0
1.0000	0.0000	-0.0000	0
0	1.0000	0.0000	95.0000
0	0	0	1.0000

A12 =

0.0000	-1.0000	0	0.0000
1.0000	0.0000	0	67.0000
0	0	1.0000	0
0	0	0	1.0000

A23 =

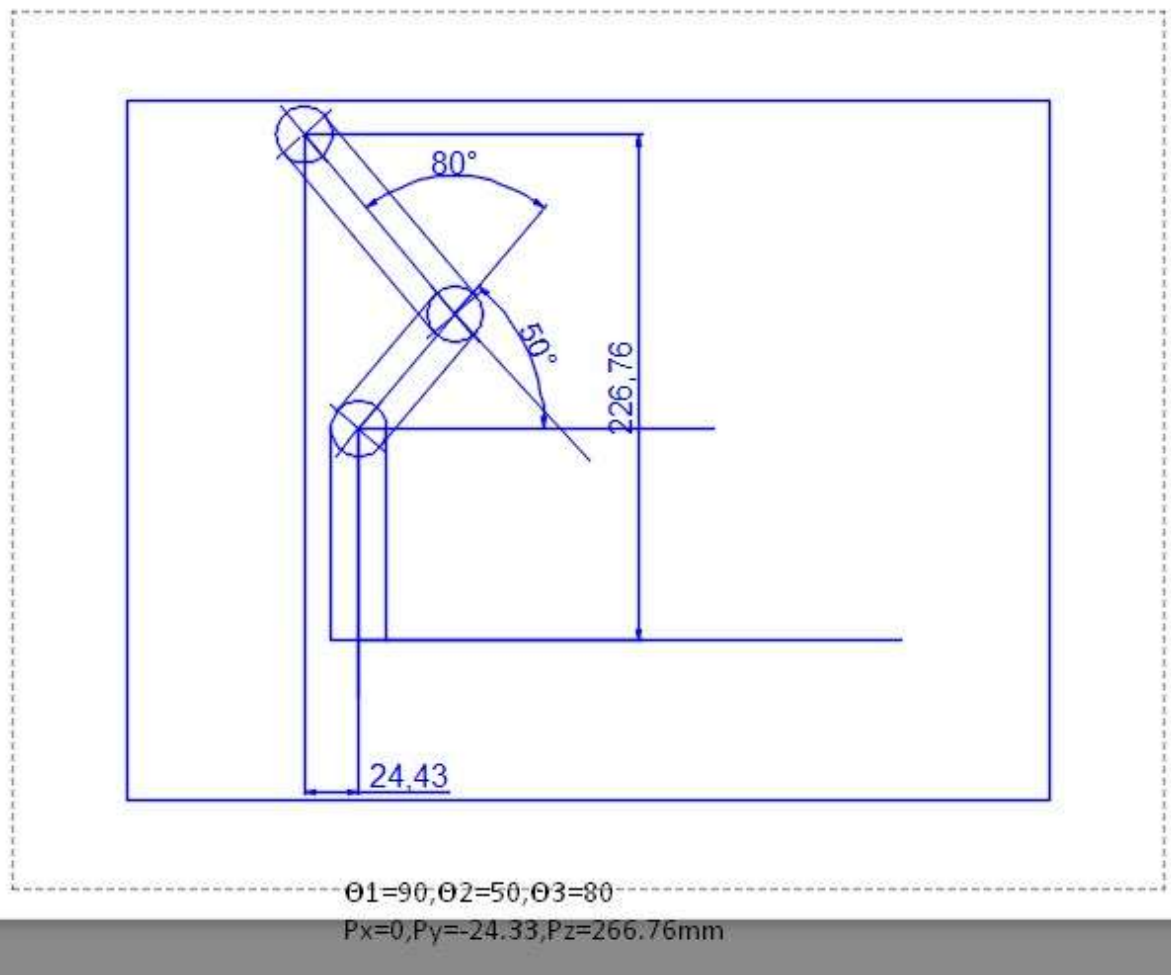
1	0	0	105
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1

A03 =

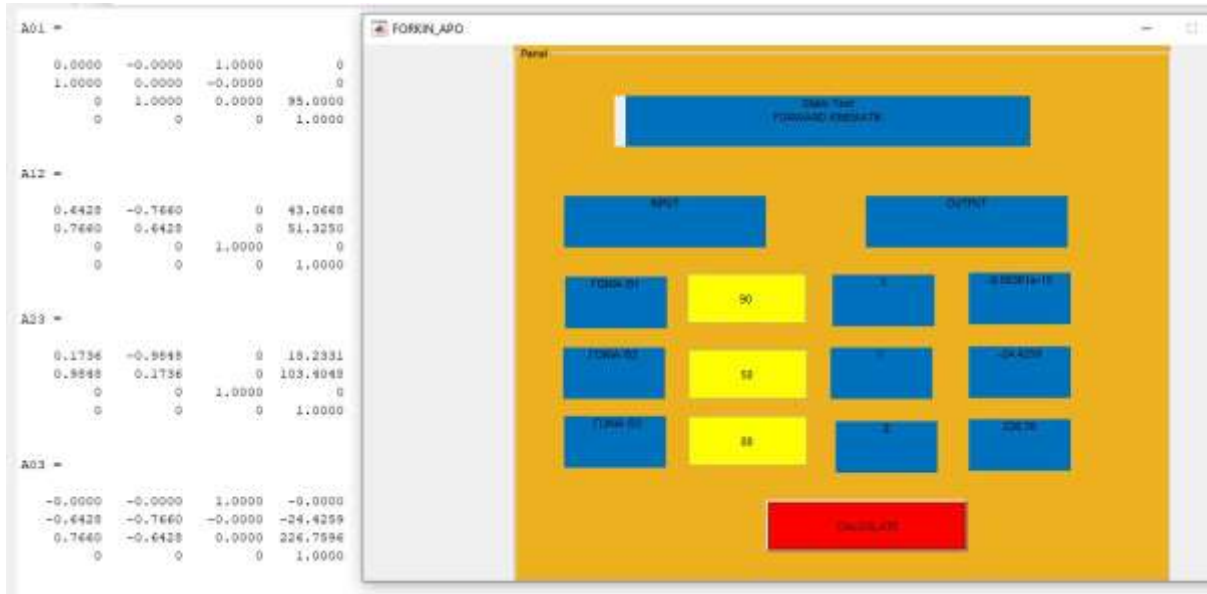
-0.0000	-0.0000	1.0000	-0.0000
0.0000	-1.0000	-0.0000	0.0000
1.0000	0.0000	0.0000	267.0000
0	0	0	1.0000

Px =

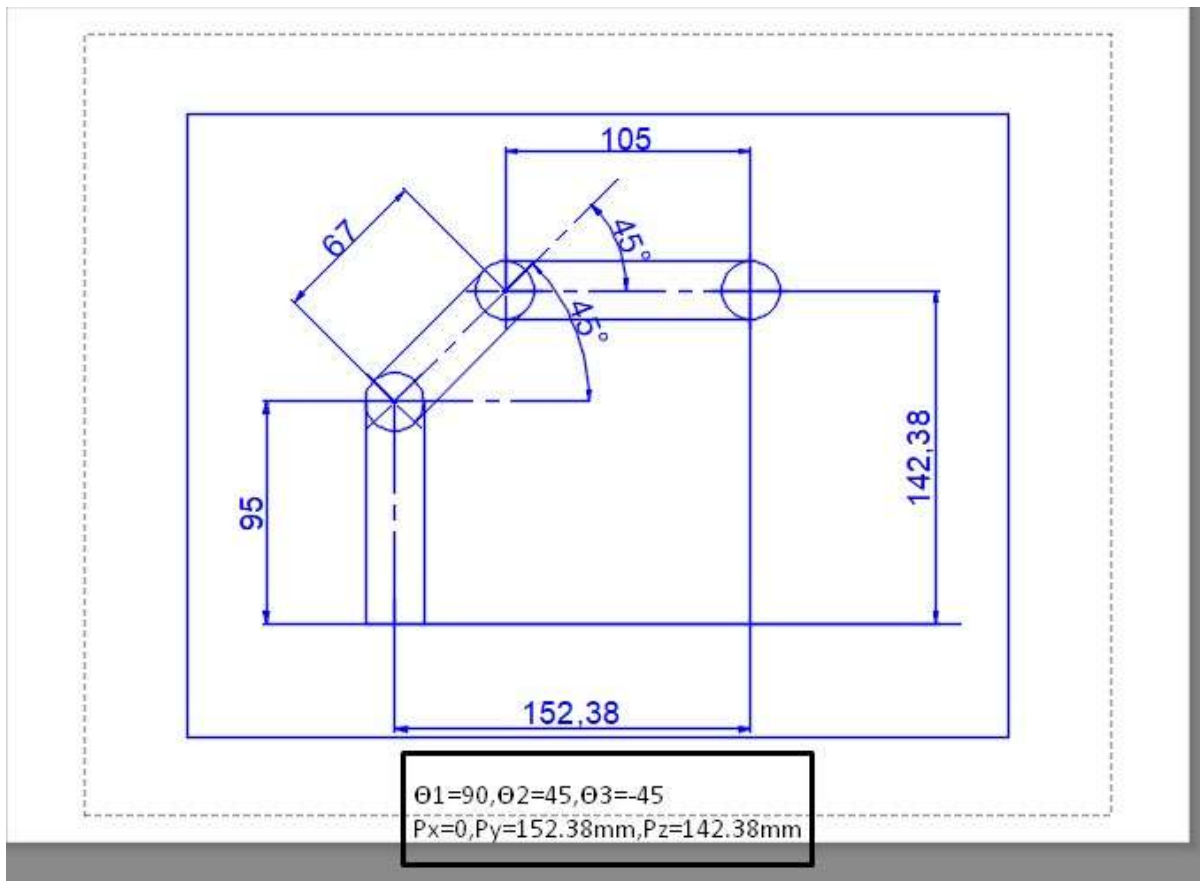
Εικόνα 47: Υπολογισμος P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=90, \theta_3=0$



Εικόνα 48: Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=50, \theta_3=80$

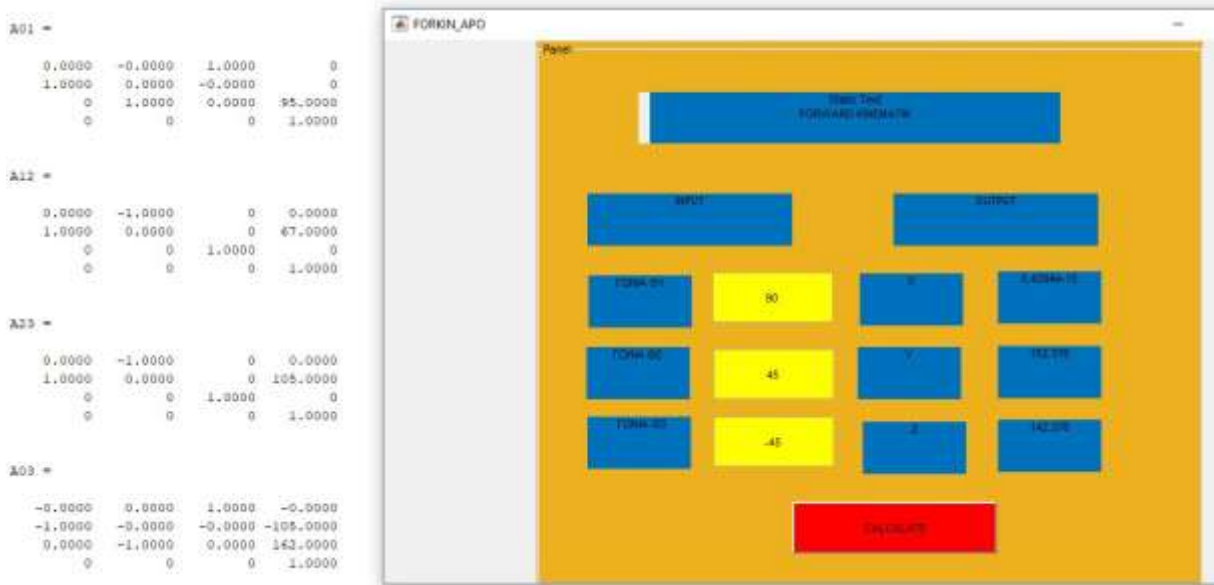


Εικόνα 49:Υπολογισμός P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=50, \theta_3=80$

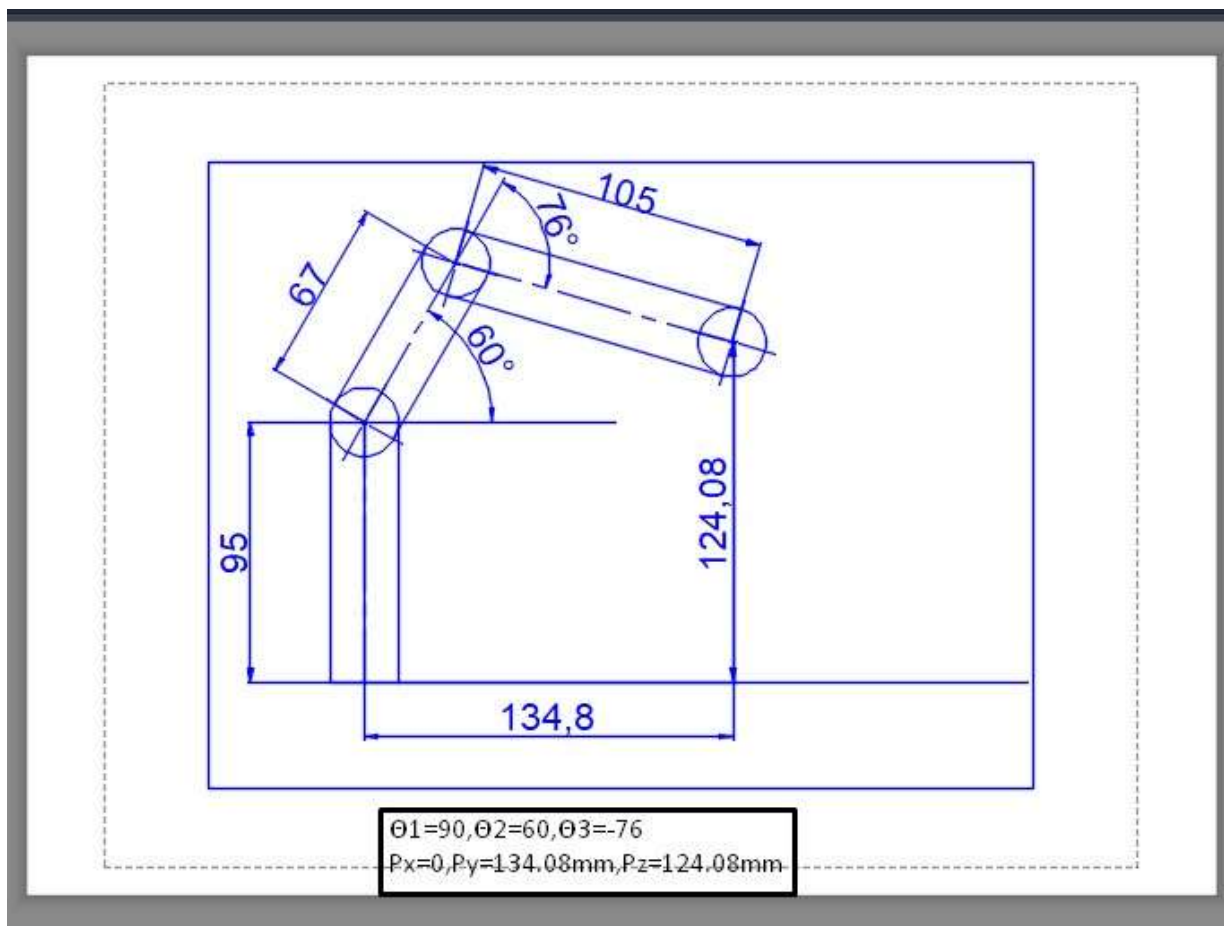


Εικόνα 50:Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=45, \theta_3=-45$

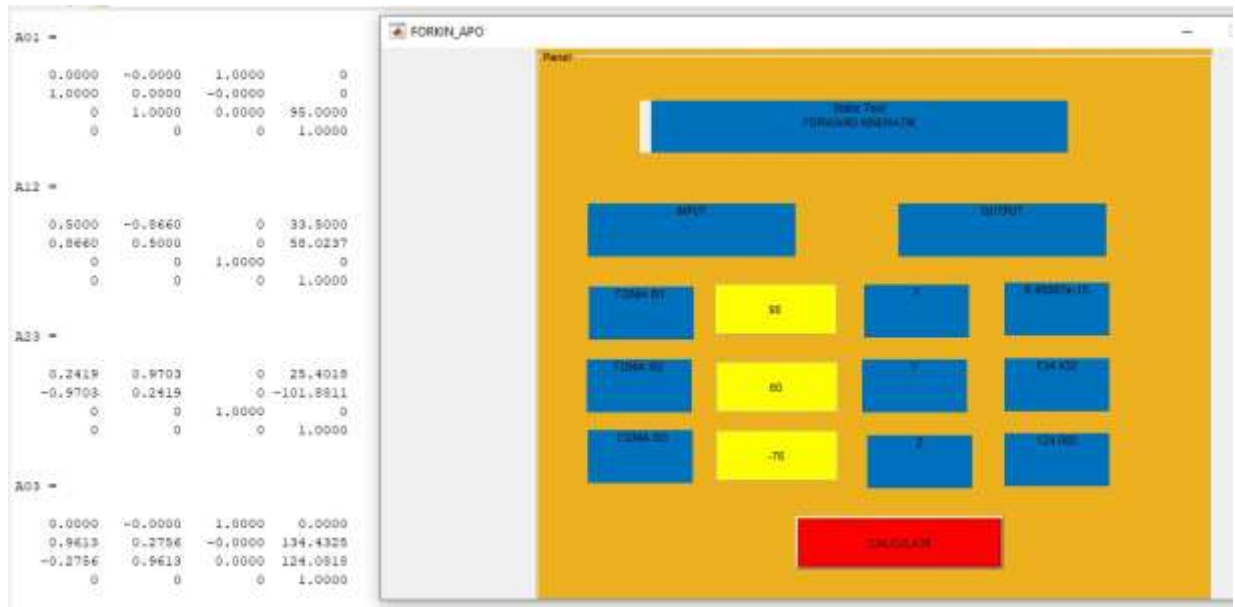
5. Ανάπτυξη Εφαρμογής



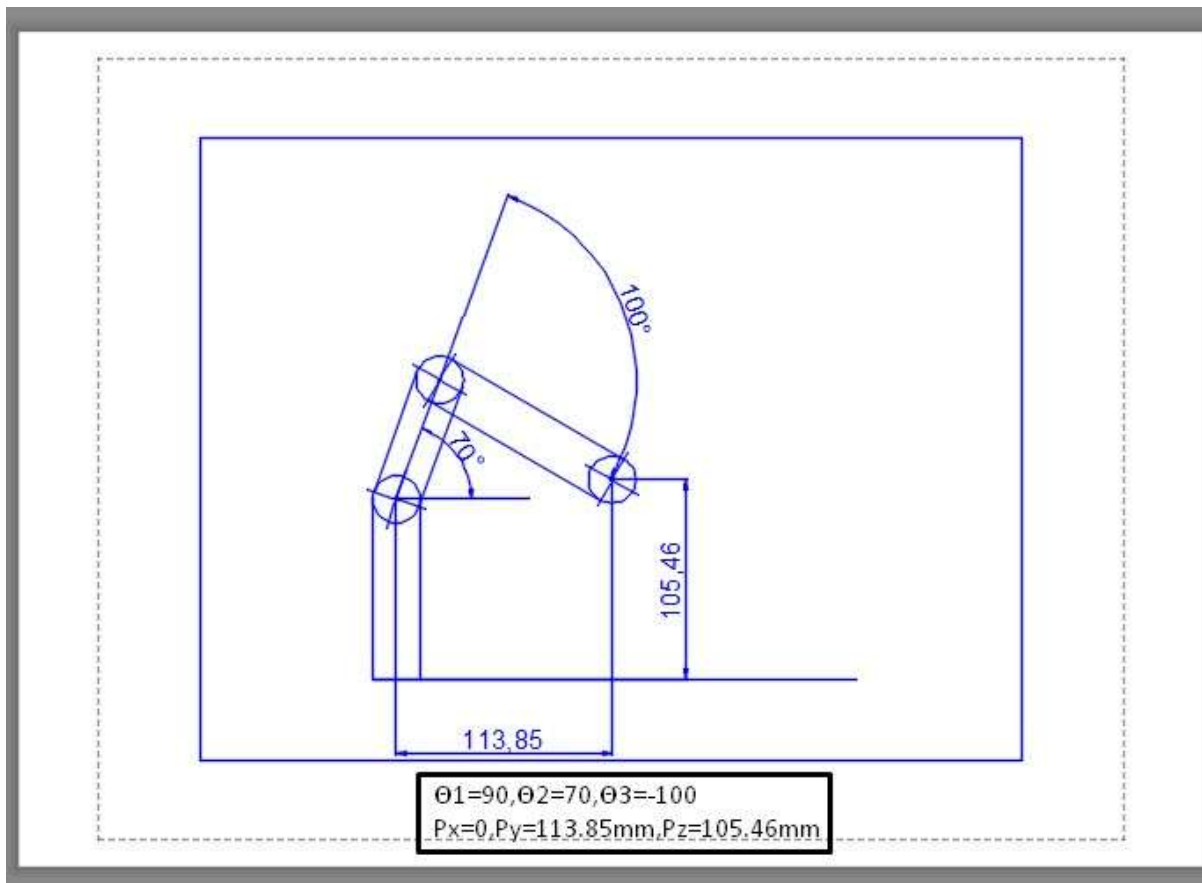
Εικόνα 51: Υπολογισμός P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=45, \theta_3=-45$



Εικόνα 52: Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=60, \theta_3=-76$

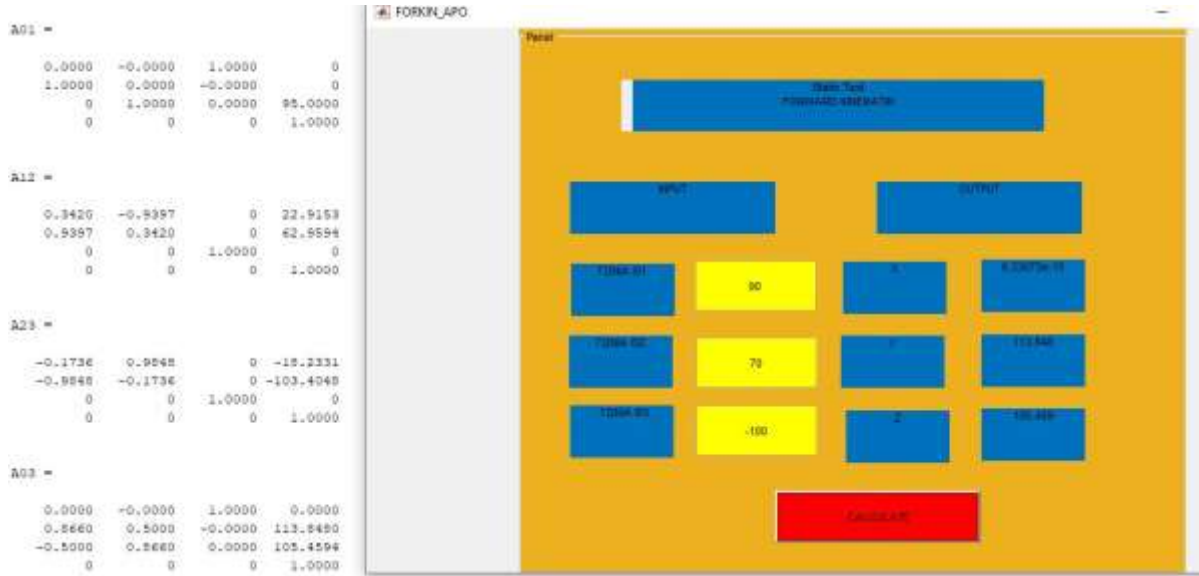


Εικόνα 53: Υπολογισμός P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=60, \theta_3=-76$

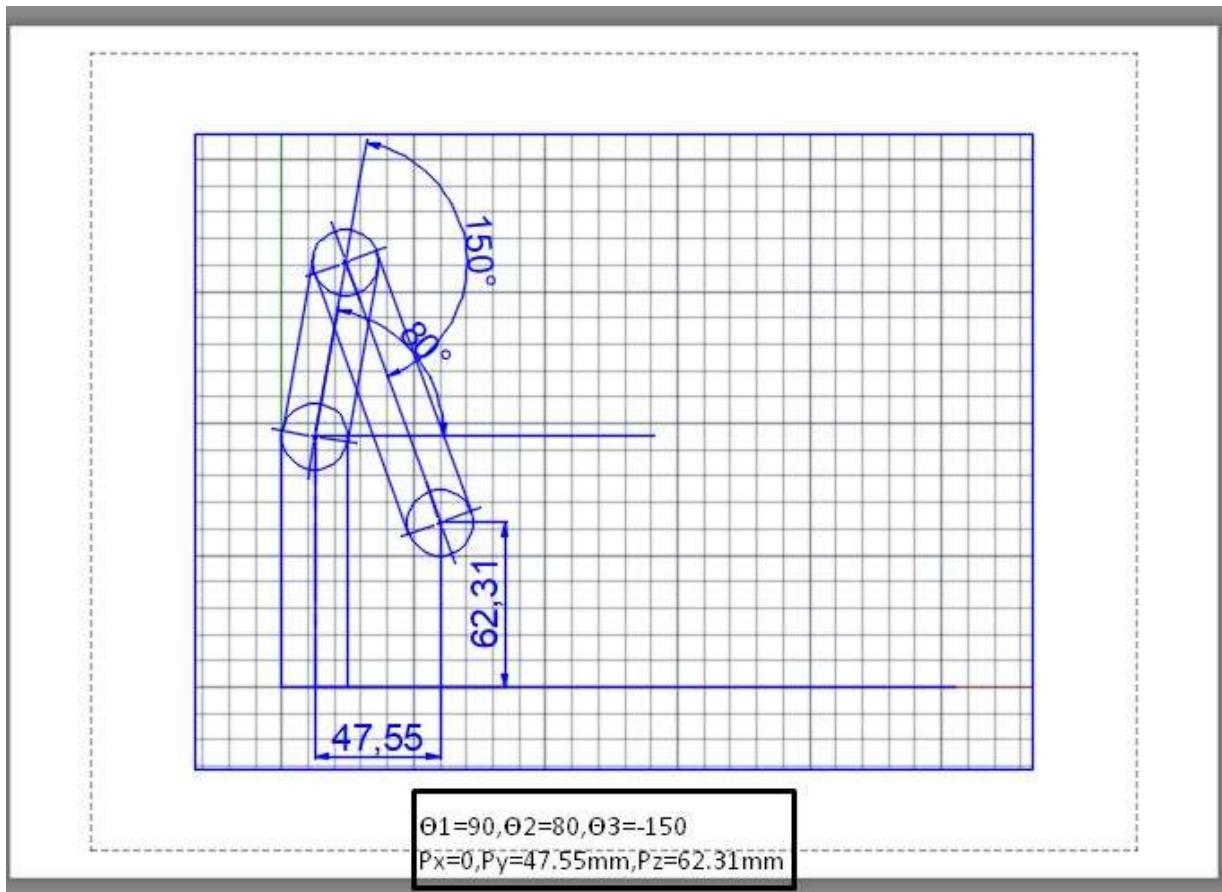


Εικόνα 54: Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=70, \theta_3=-100$

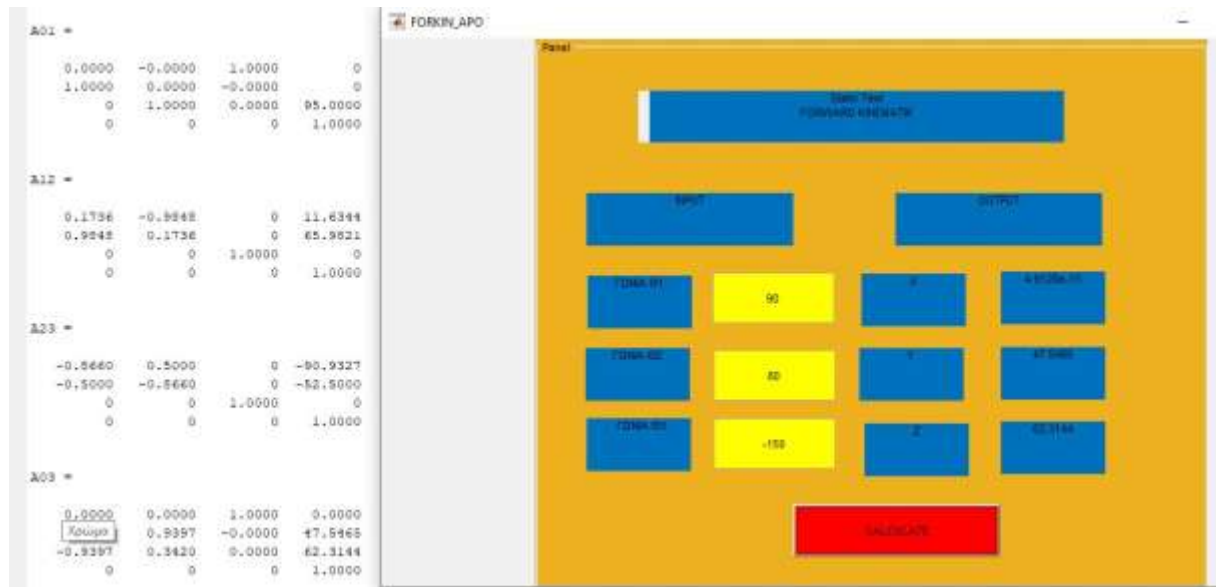
5. Ανάπτυξη Εφαρμογής



Εικόνα 55: Υπολογισμός P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=70, \theta_3=-100$



Εικόνα 56: Μέτρηση P_x, P_y, P_z Για $\theta_1=90, \theta_2=80, \theta_3=-150$



Εικόνα 57:ΥπολογισμόςRx,Ry,PzΓια $\Theta_1=90,\Theta_2=80,\Theta_3=-150$

Η επαλήθευση των υπολογισμών για τις παραπάνω τοποθετήσεις του βραχίονα ήταν επιτυχής.

Για $\Theta_1=0$ μοίρες $P_y=0$ και P_x είναι ίση με την οριζόντια απόσταση του κέντρου της βάσης με το κέντρο του άκρου του βραχίονα ενώ το P_z δεν επηρεάζεται από την γωνία Θ_1 . Για τιμές της γωνίας $\Theta_1 \neq 90,0$ μοίρες τα P_x, P_y υπολογίζονται με την βοήθεια των τριγωνομετρικών αριθμών της γωνίας Θ_1 : $P_{x\theta_1} = P_{x0} \cdot c_1, P_{y\theta_1} = P_{y0} \cdot s_1$ όπου c_1, s_1 το συν, ημ της γωνίας Θ_1 και

$$P_{x0} \text{ το } P_x \text{ για } \Theta_1=0^\circ, P_{y0} \text{ το } P_y \text{ για } \Theta_1=90^\circ$$

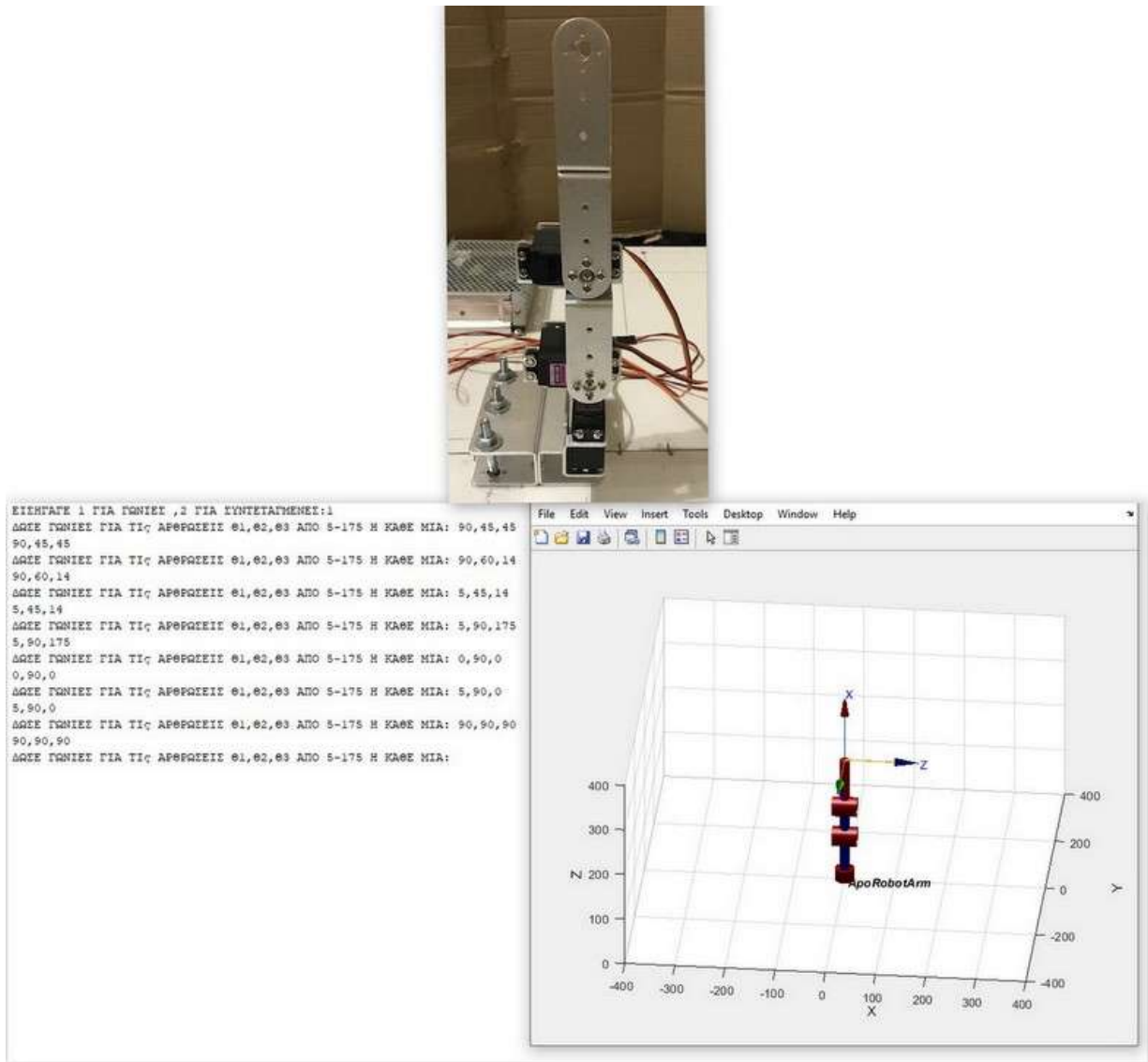
Δοκιμές Σύγκρισης Τοποθετήσεων του Βραχίονα και Τοποθετησεων Προσομοίωσης.

Η προσομοίωση είναι ένα βασικό εργαλείο στους τομείς της ηλεκτρονικής και της μηχανικής. Δίνει την δυνατότητα της μοντελοποίησης και την ανάλυσης της συμπεριφοράς των συστημάτων πριν από τη φυσική τους εφαρμογή. Για την υλοποίηση αυτών των προσομοιώσεων, υπάρχουν ειδικά λογισμικά που απλοποιούν την διαδικασία και εξάγουν αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας και αξιοπιστίας.[29]

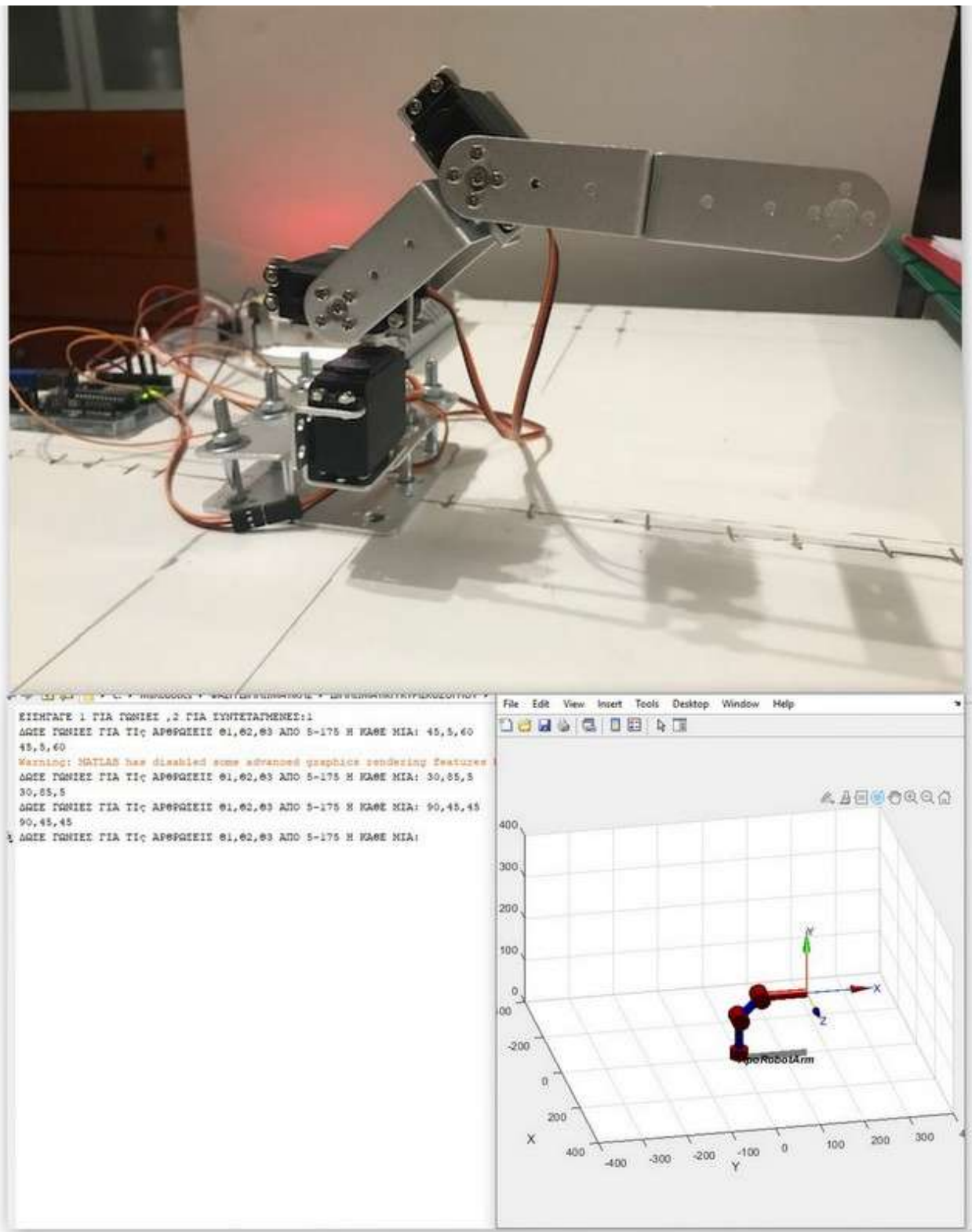
Για την οδήγηση του ρομποτικού βραχίονα χρησιμοποιούμε την πλακέτα Arduino. Οι τιμές των γωνιών των αρθρώσεων εισάγονται στον μικροϋπολογιστή από το περιβάλλον του Matlab και ταυτόχρονα οι ίδιες τιμές εισάγονται για την οδήγηση της γραφικής προσομοίωσης του ρομποτικού βραχίονα.

Οι τοποθετήσεις του ρομποτικού βραχίονα θα πρέπει να συμπίπτουν με τις τοποθετήσεις της γραφικής προσομοίωσης.

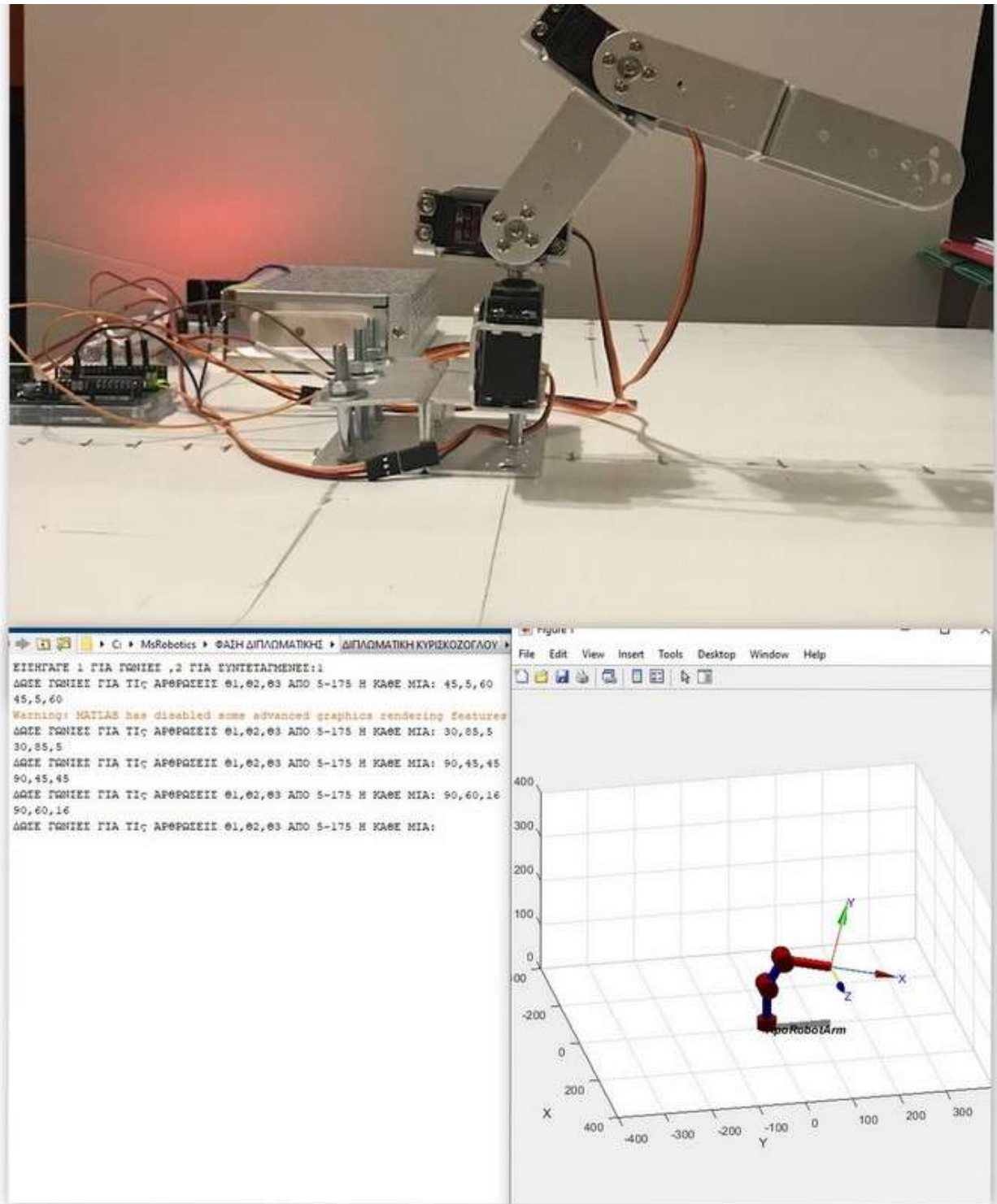
Ακολουθούν κάποια παραδείγματα ταυτόχρονης οδήγησης του ρομποτικού βραχίονα και της προσομοίωσης του εισάγοντας διάφορες τιμές των γωνιών από το περιβάλλον του Matlab .



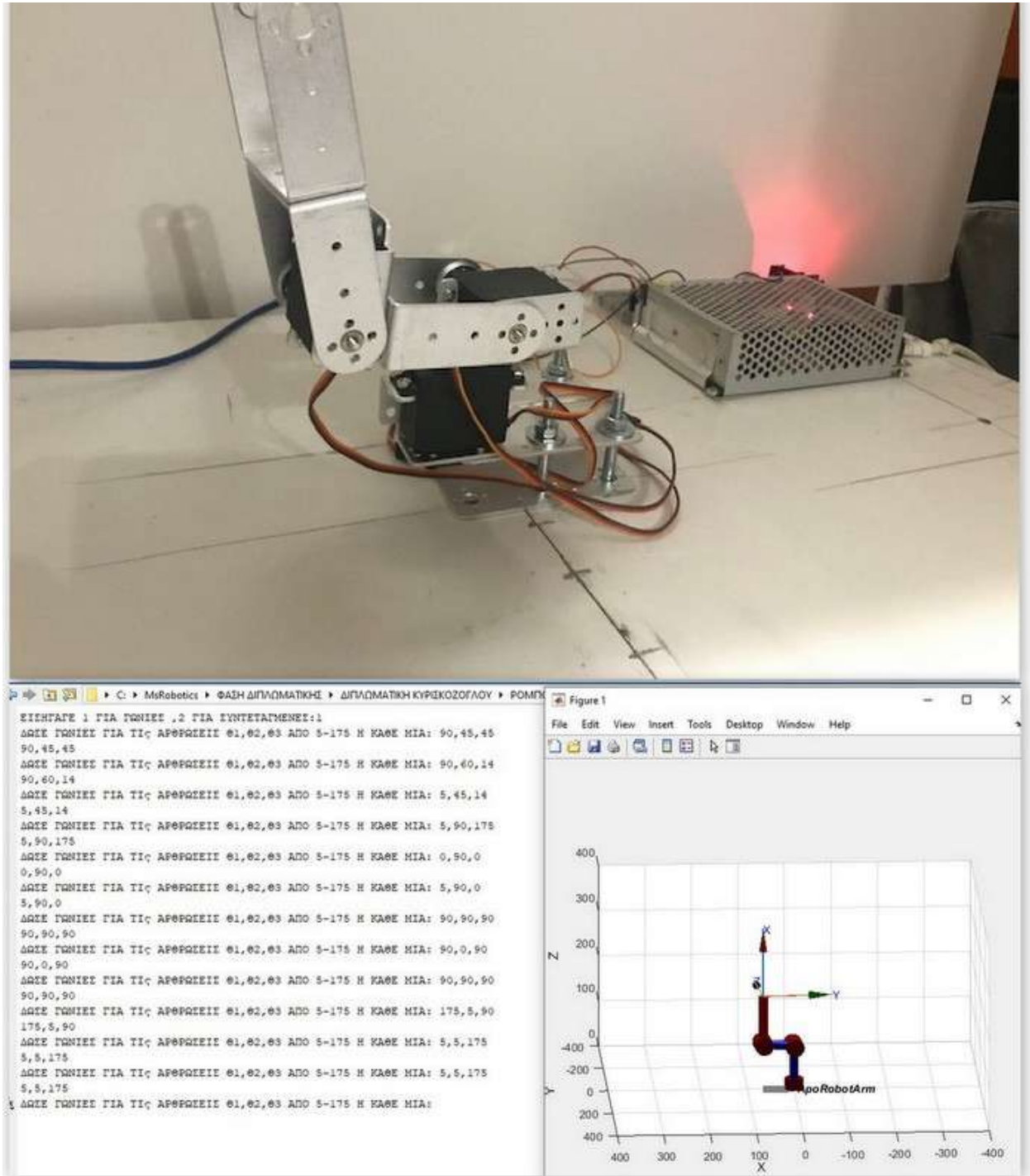
Εικόνα 58: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\Theta_1=90, \Theta_2=90, \Theta_3=90$



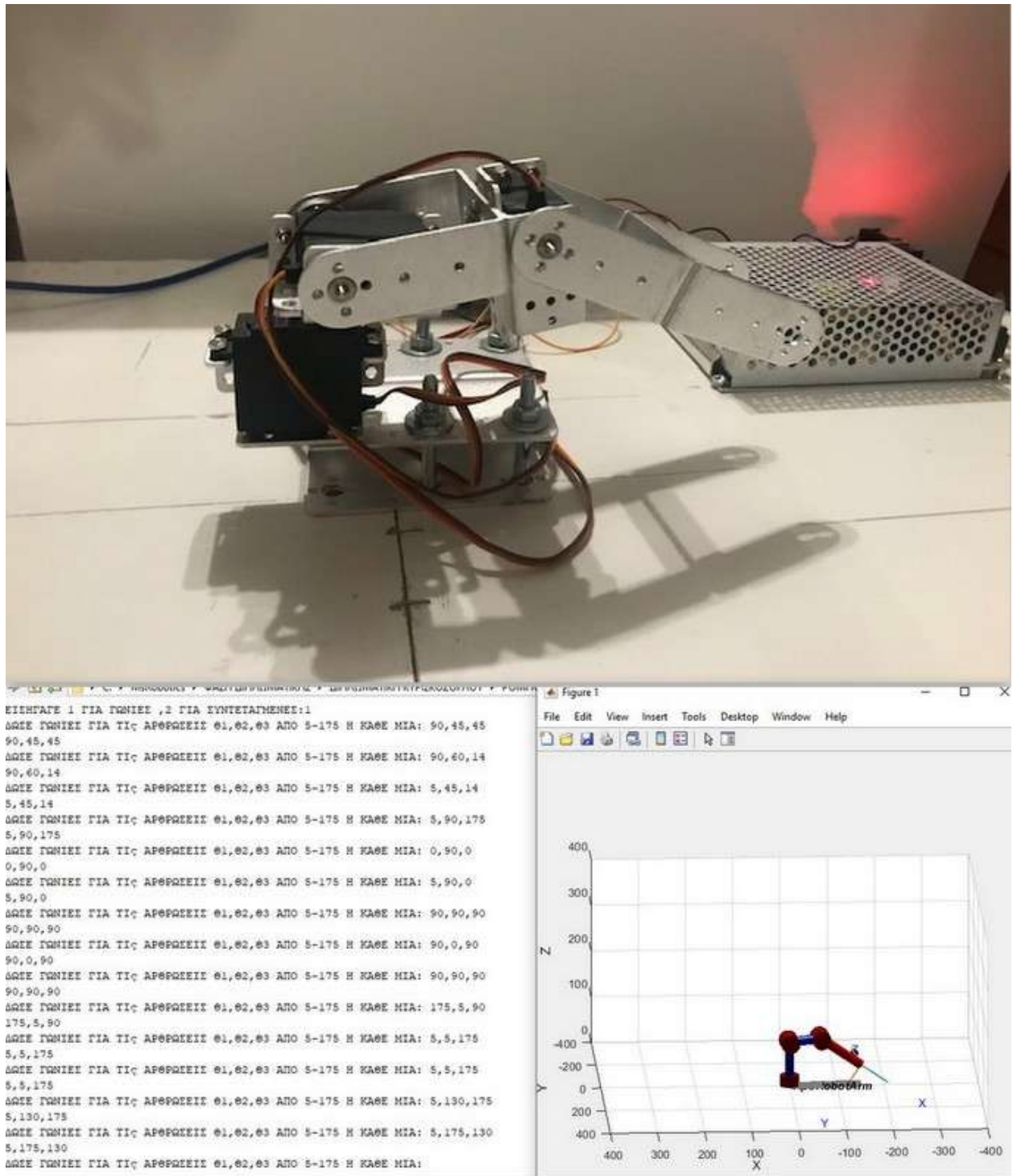
Εικόνα 59: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\theta_1=90, \theta_2=45, \theta_3=45$



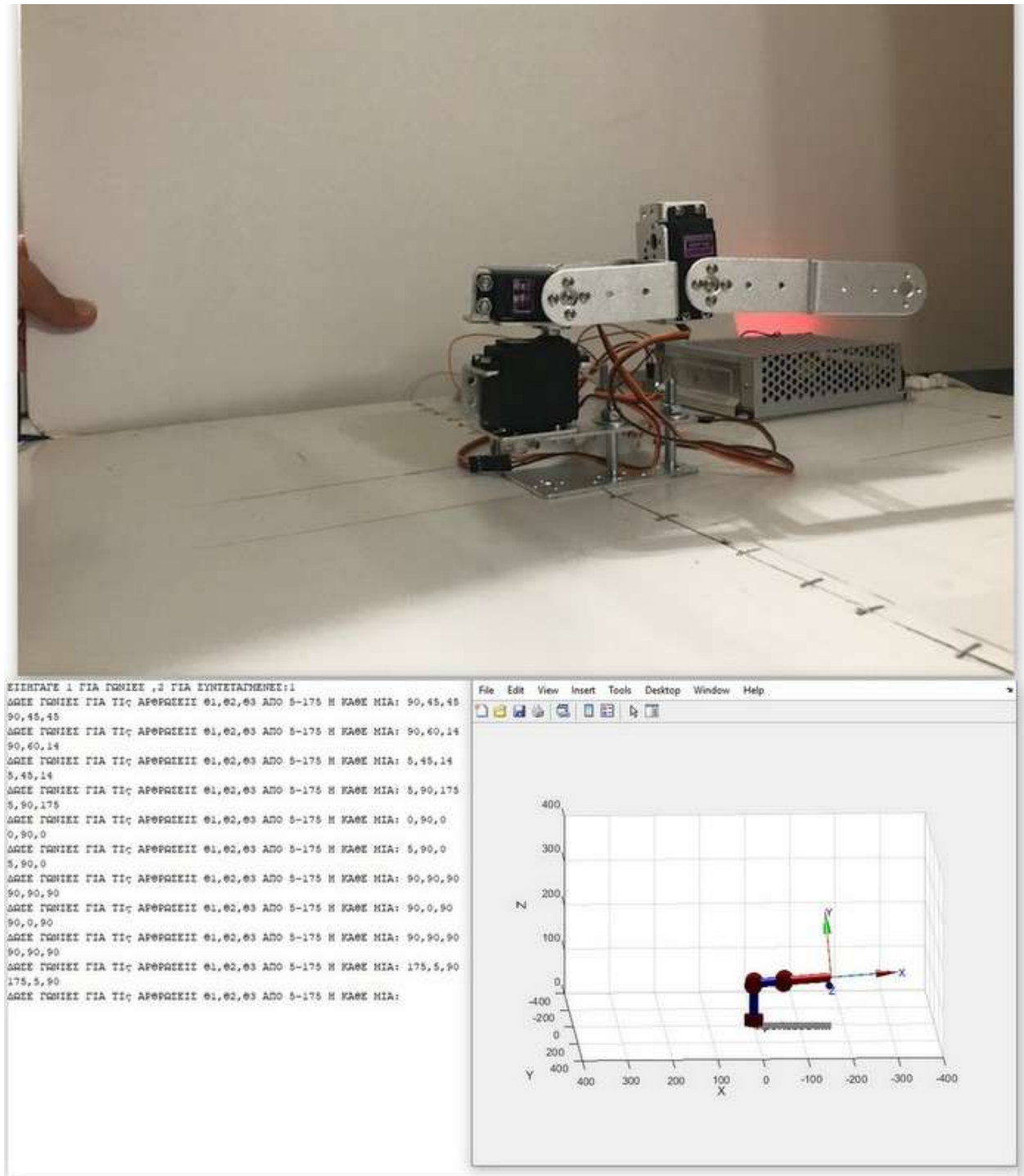
Εικόνα60: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\theta_1=90, \theta_2=60, \theta_3=16$



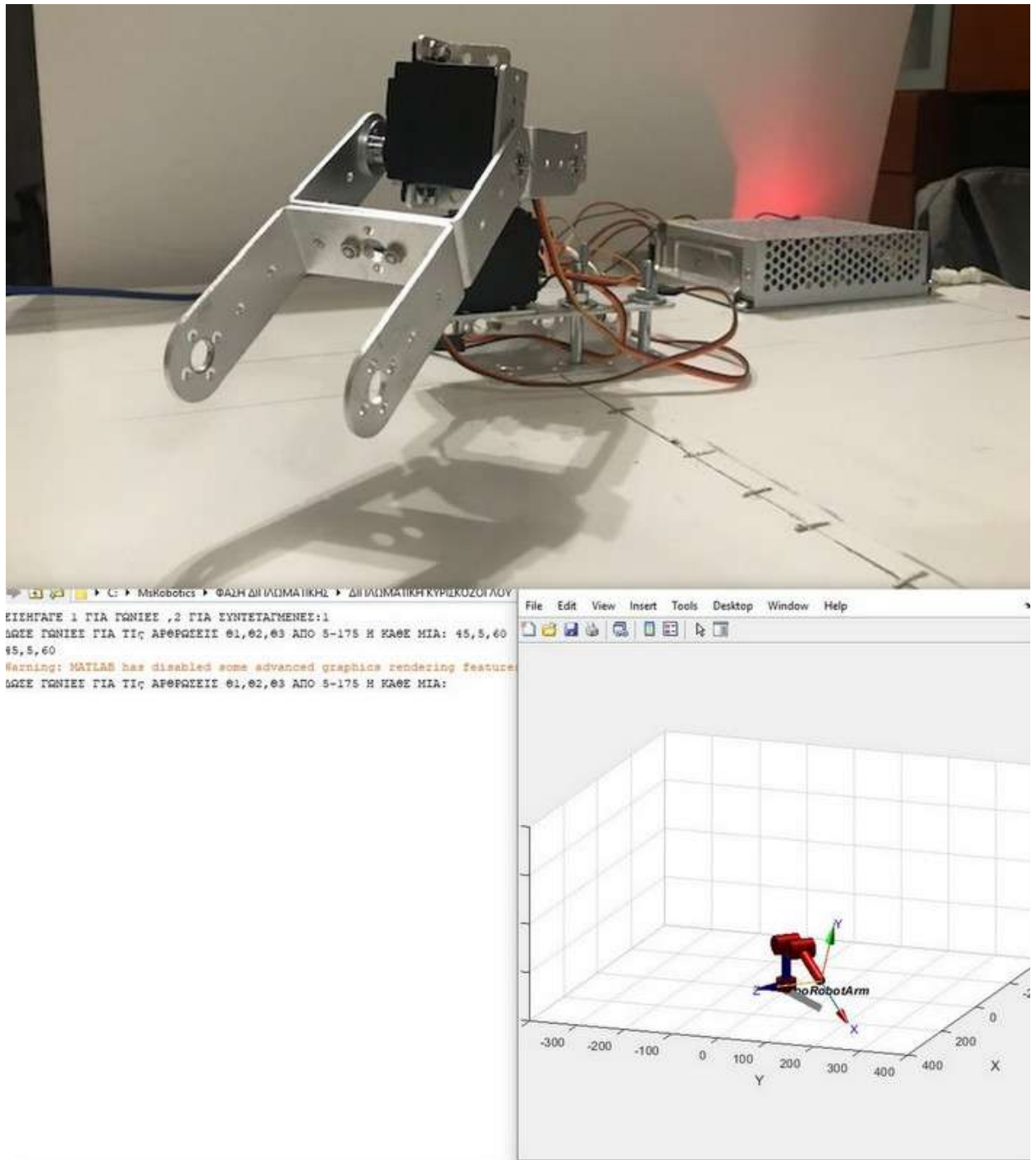
Εικόνα 61: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\theta_1=5, \theta_2=5, \theta_3=175$



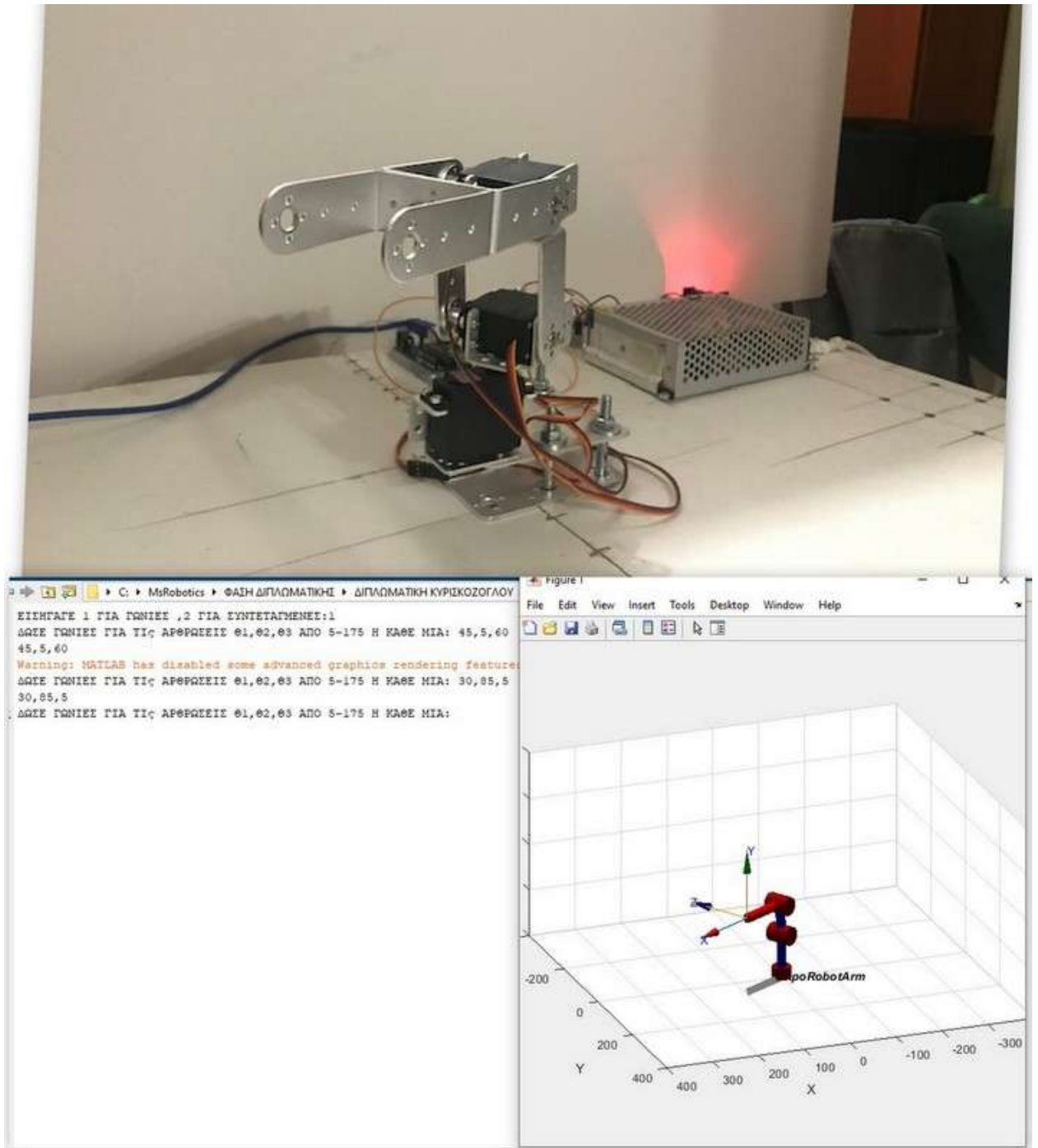
Εικόνα 62: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\theta_1=5, \theta_2=175, \theta_3=130$



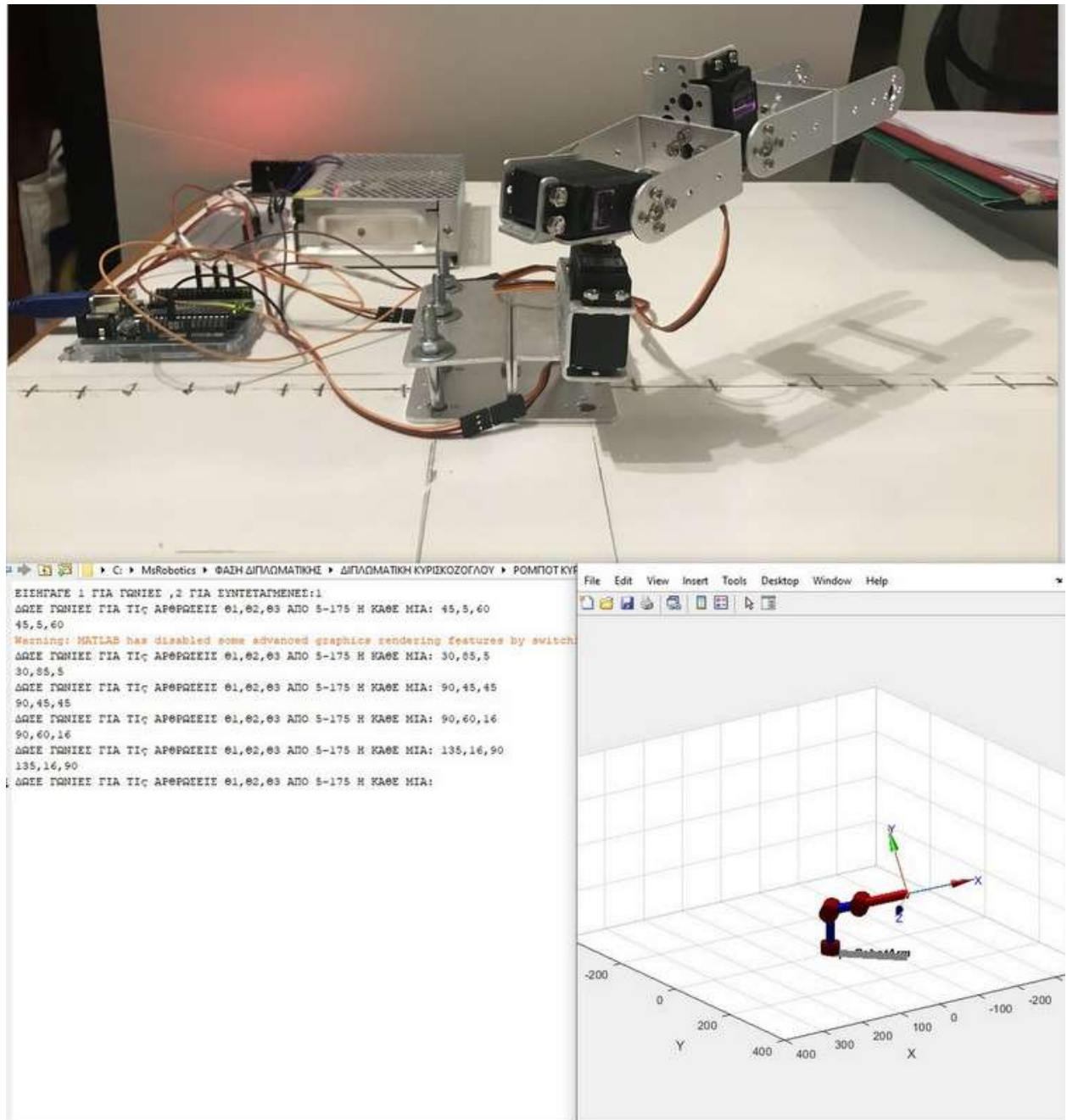
Εικόνα 63: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\theta_1=175, \theta_2=5, \theta_3=90$



Εικόνα 64: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\theta_1=45, \theta_2=5, \theta_3=60$



Εικόνα65: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\Theta_1=30, \Theta_2=85, \Theta_3=5$



Εικόνα 66: Τοποθέτηση Και Προσομοίωση Τοποθέτησης Ρομποτικού Βραχίονα Για $\Theta_1=135, \Theta_2=16, \Theta_3=90$

Παρατηρούμε ότι σε όλες τις δοκιμές, οι τοποθετήσεις του ρομποτικού βραχίονα συμπίπτουν με τις τοποθετήσεις της προσομοίωσης.

Οδηγίες Ανάπτυξης Εφαρμογής

6.1 Εκπαιδευτικές οδηγίες συναρμολόγησης Ρομποτικού βραχίονα 3DOF

Αναλυτικές οδηγίες για την πραγματοποίηση σχολικής εργαστηριακής άσκησης:

Φάση	Λειτουργία	Υλικά-Εργαλεία
1	Στερέωση της βάσης του ρομποτικού βραχίονα και των εξαρτημάτων(τροφοδοτικό, σταθεροποιητής,breadboard,Arduino).(Εικόνα 68,Εικόνα 38)	10 Ξυλόβιδες 3x12, 5 Περαστοί κοχλίες M6X65 περικόχλια, ταινία αυτοκόλλητη διπλής όψεως, Σταυροκατσάβιδο, γερμανικό κλειδί 10mm.
2	Τοποθέτηση μεταλλικού ενιαίου κυκλικού δίσκου-οδοντωτού τροχού με εσωτερική οδόντωση σε συναρμολογήμε την οδόντωση της ατράκτου του μοτέρ, και στερέωση του με κοχλία κεφαλής στο κέντρο του και στα τρία σερβομοτέρ.(Εικόνα 68)	Κοχλίες κεφαλής 3(M3X5MM) Σταυροκατσάβιδο
3	Τοποθέτηση Περαστών κοχλιών στην βάση του μοτέρ, στη δεξιά πλευρά της έδρας της σε σταυροειδή διάταξη σε θέση αναμονής και στη συνέχεια έδραση και στερέωση στις αντίστοιχες αναμονές της βάσης του ρομποτικού βραχίονα στην δεξιά μπροστινή της γωνία.(Εικόνα 68)	Περαστοί κοχλίες 8 (M3X7MM), 4 περικόχλια. Σταυροκατσάβιδο , γερμανικό κλειδί 5.5mm.
4	Έδραση και στερέωση πρώτου σερβομοτέρ με την άτρακτο σε κατακόρυφη θέση, στα πλευρικά μπράτσα της βάσης του με περαστούς κοχλίες. (Εικόνα 68)	Περαστοί κοχλίες 4 (M3X7MM), 4 περικόχλια. Σταυροκατσάβιδο , γερμανικό κλειδί 5.5mm.
5	Τοποθέτηση κοχλιών κεφαλής στη βάση του μοτέρ στην αριστερή πάνω γωνία της πλάτης του σε σταυροειδή διάταξη και στη συνέχεια έδραση και βίδωμα στις αντίστοιχες οπές με εσωτερικό σπείρωμα του δίσκου κίνησης του μοτέρ βάσης. (Εικόνα 69)	Κοχλίες κεφαλής 4(M3X7MM). Σταυροκατσάβιδο

Πίνακας 4: Φάσεις 1-5 Συναρμολόγησης του ρομποτικού βραχίονα.

6. Οδηγίες Ανάπτυξης Εφαρμογής

6	<p>Τοποθέτηση στηνβάση του μοτέρ, στην αριστερή πλευρά της έδρας στην κεντρική οπή περαστού κοχλία M3X9σε θέση αναμονής και στη συνέχεια έδραση και στερέωση το σέρβο μοτέρ με περαστούσκοχλίες,στα πλευρικά μπράτσα της βάσης του .</p> <p>Και για τα δύο μοτέρ.(Εικόνα 69)</p>	<p>Περαστοί κοχλίες ,2(M3X9MM), 8(M3X7MM), 8 περικόχλια.</p> <p>Σταυροκατσάβιδο ,γερμανικό κλειδί 5.5mm.</p>
7	<p>Έδραση και στερέωση των άκρων του 2^{ου} συνδέσμου, το αριστερό στον κυκλικό δίσκο και το δεξί στην αναμονή της έδρας της βάσης του μοτέρ, αφού πρώτα έχει τοποθετηθείκυλινδρικός αποστάτης. (Εικόνα70)</p>	<p>Κοχλίες κεφαλής 4(M3X5MM)</p> <p>Σταυροκατσάβιδο</p>
8	<p>Τοποθέτηση περαστών κοχλιών(M3X7MM) στη βάση του μοτέρ στην αριστερή πάνω γωνία, της πλάτης του σε σταυροειδή διάταξη και στη συνέχεια έδρασε και σύσφιξη στην αντεστραμμένη έδρα του 2^{ου} συνδέσμουστις αντίστοιχες αναμονές του γύρω από το κέντρο του.(Εικόνα70)</p>	<p>4 Περαστοίκοχλίες (M3X7MM),4 Περικόχλια.</p> <p>Σταυροκατσάβιδο</p>
9	<p>Ένωση 2 συνδέσμων έδρα με έδρα και στερέωση τους με περαστούς κοχλίες και τα περικόχλια τους μέσω των οπών(σε σταυροειδήδιάταξη) στο κέντρο των εδρών τους για τη δημιουργία του 3^{ου} συνδέσμου.(Εικόνα70)</p>	<p>4 Περαστοί κοχλίες (M3X7MM),4 Περικόχλια.</p> <p>Σταυροκατσάβιδο</p>
10	<p>Έδραση και στερέωση των άκρων του 3ου συνδέσμου, το αριστερό στον κυκλικό δίσκο και το δεξί στην αναμονή της έδρας της βάσης του μοτέρ, αφού πρώτα έχει τοποθετηθεί κυλινδρικός αποστάτης.(Εικόνα70)</p>	<p>Κοχλίες κεφαλής 4(M3X5MM)</p> <p>Σταυροκατσάβιδο</p>

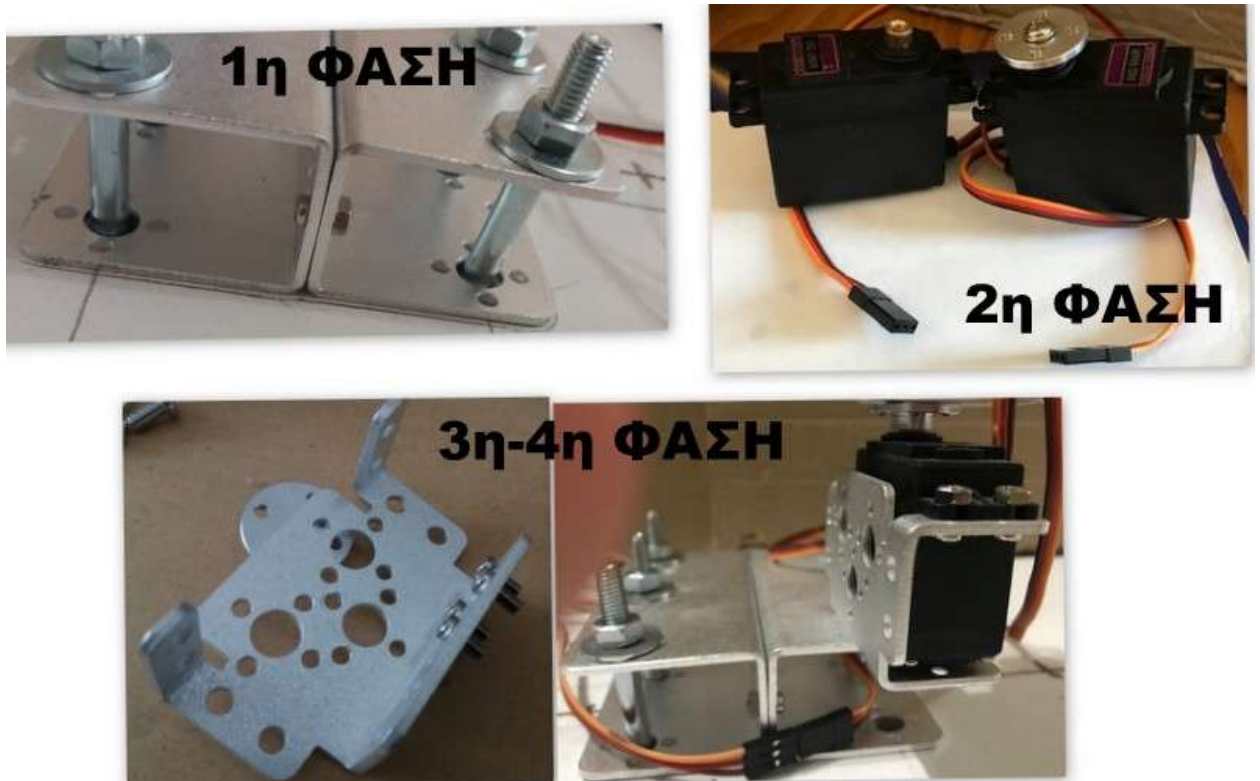
Πίνακας 5: Φάσεις 6-10 Συναρμολόγησης του ρομποτικού βραχίονα

Ακολουθεί η σύνδεση του ελεγκτή με τους κινητήρες. Δηλαδή τα καλώδιαμεταφοράςσήματος των μοτέρ (κιτρινα,SIG) θα συνδεθούν στα PWM(PulseWidthModulation) pin(D3,D6,D9) του Arduino ενώ το κόκκινο(τροφοδοσια,PWR) και το καφέ(γείωση,GND) μέσω του breadboardsυνδέονται με την εξωτερικήπηγήρεύματος.(Εικόνα 42),(Εικόνα 38).

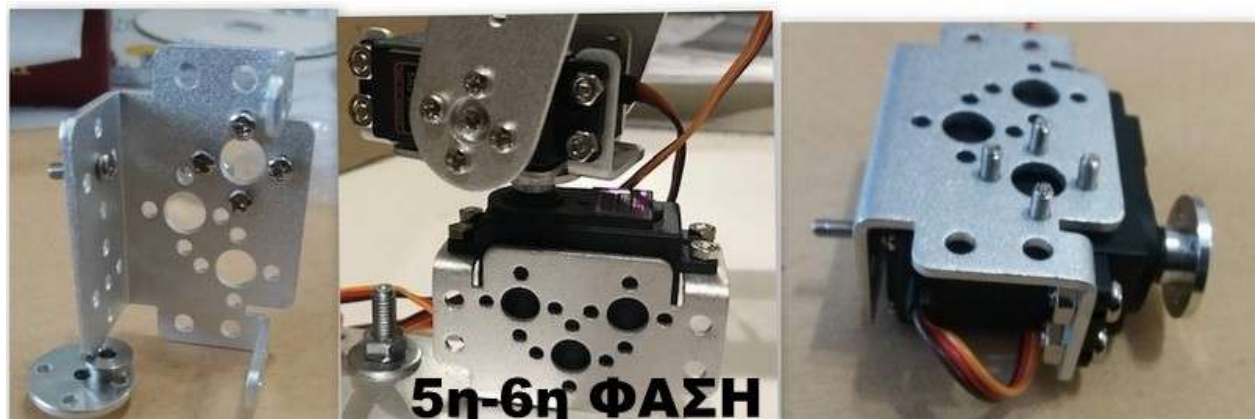
6. Οδηγίες Ανάπτυξης Εφαρμογής

Το επόμενο βήμα είναι να γίνει σύνδεση του ελεγκτή (Arduino) μέσω της θύρας του με καλώδιο USB με μια είσοδο USB του Η/Υ.

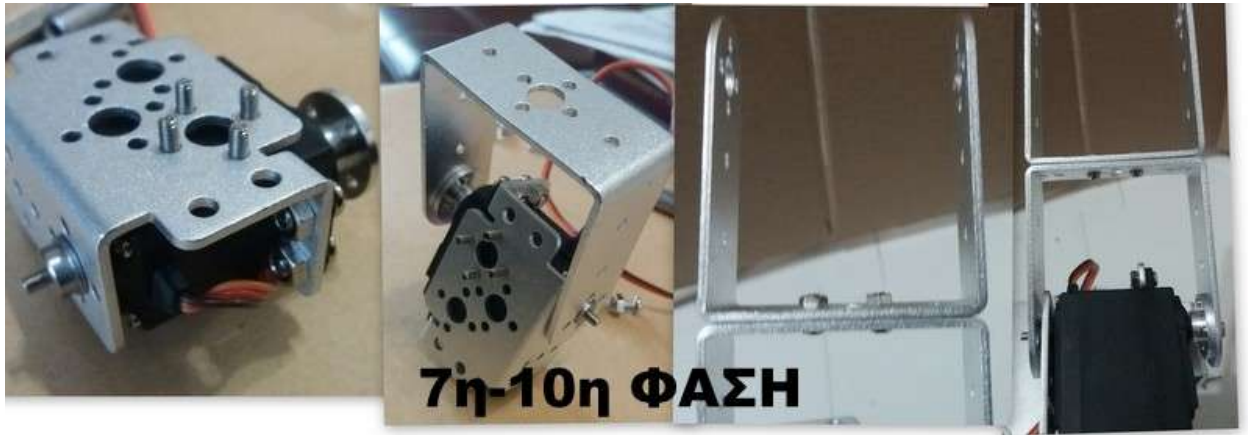
Αφού γίνουν οι παραπάνω ενέργειες ο ρομποτικός βραχίονας είναι έτοιμος για λειτουργία με την εκτέλεση του προγράμματος οδήγησης από τον Η/Υ.



Εικόνα 67: Φάσεις 1-4 Συναρμολόγησης του ρομποτικού βραχίονα



Εικόνα 68: 5-6 Φάσεις 5-6 Συναρμολόγησης του ρομποτικού βραχίονα



Εικόνα 69: Φάσεις 7-10 Συναρμολόγησης του ρομποτικού βραχίονα

Συμπεράσματα – Προτάσεις Βελτίωσης

Στην παρούσα εργασία σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μία λύση περιορισμένων δυνατοτήτων χαμηλού κόστους σε μικρήκλίμακα, που όμως παρέχει την δυνατότητα στους εκπαιδευόμενους να αντιληφθούν τις βασικές αρχές λειτουργίας και την κίνηση στον χώρο τουρομποτικού βραχίονα.

Είναι εκπαιδευτικού σκοπού και χρησιμοποιείται για την διάκριση και κατανόηση των χαρακτηριστικών, της δομής, των κατηγοριών, των σταδίων σχεδιασμού και υλοποίησης ενός ρομποτικού βραχίονα και τέλος την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Μέσω της διαδικασίας σχεδιασμού και υλοποίησης αναδεικνύεται η συνεργασία των κλάδων της μηχανολογίας ηλεκτρολογίας ηλεκτρονικής και πληροφορικής ζώπως αναφέρει και ο ορισμός της μηχανοτρονικής

Χρήση ενός σχεδιαστικού προγράμματος όπως το Autocad ή το Solidwork, κρίνεται απαραίτητη για την σχεδίαση τους υπολογισμούς και την κατασκευή των συνδέσμων του ρομποτικού βραχίονα όπως και για την επαλήθευση των συντεταγμένων τοποθέτησης του ρομποτικού βραχίονα.

Για την επίλυση του ευθέως και αντίστροφου κινηματικού προβλήματος χρειάζεται η ορθή εφαρμογή μιας μεθόδου κινηματικής ανάλυσης όπως η Denavit-Hartenberg.

Αναδεικνύεται η χρησιμότητα της πλακέτας Arduino Uno R3 τυπικού εκπροσώπου των ενσωματωμένων συστημάτων, στην οδήγηση των σερβοκινητήρων και κατ'επέκταση του ρομποτικού βραχίονα όπως και της γλώσσας wiring για τον προγραμματισμό της.

Γίνεται αντιληπτή η ανάγκη χρήσης ενός προγράμματος όπως το Matlab για τους πολύπλοκους πολλαπλασιασμούς με πολλές πιθανότητες γλάθους μεταξύ πινάκων των μητρώων μετασχηματισμού και για άλλους πολύπλοκους μαθηματικούς υπολογισμούς, την σειριακή επικοινωνία με τον Arduino, την δημιουργία GUI για την πιο εύκολη εισαγωγή δεδομένων και την δημιουργία γραφικής προσομοίωσης του ρομποτικού βραχίονα για τον έλεγχο της σωστής τοποθέτησης του.

Φάνηκε η ανάγκη τροφοδοσίας μεγάλης και σταθερής ισχύος (στην παρούσα εργασία ηλεκτρικού ρεύματος) και ενός συστήματος ελέγχου αφού και σε μια ελαφριά και χωρίς εξωτερικά φορτία κατασκευή παρατηρήθηκε αστάθεια σε κάποιες τοποθετήσεις του ρομποτικού βραχίονα και οδήγησε στην χρήση εξωτερικού σταθεροποιημένου τροφοδοτικού και μετατροπέα DC-DC.

Τέλος η εμπλοκή των εκπαιδευόμενων με τον σχεδιασμό και την υλοποίηση του ρομποτικού βραχίονα τους δίνει τη δυνατότητα να αντιληφθούν την ποικιλία των εξαρτημάτων και υλικών που υπάρχουν στο εμπόριο για την ανάπτυξη παρόμοιων εφαρμογών.

Η εργασία αυτή έχει δυνατότητες μετατροπών και βελτίωσης. Μια μετατροπή θα ήταν να αυξηθούν οι βαθμοί Ελευθερίας και να αλλάξει η γεωμετρική διαμόρφωση αφού τα δομικά στοιχεία του επιτρέπουν την αλλαγή στη διάταξη τους, την προσθήκη και άλλων συνδέσμων και με χρήση ντίζας η κίνηση μπορεί να μετατραπεί εύκολα σε γραμμική.

Επίσης θα μπορούσε να προστεθεί αρπάγη στο άκρο ή κάποιο εργαλείο όπως μαρκαδόρος για να γράφει. Άλλη μελλοντική βελτίωση θα ήταν να γίνεται η οδήγηση του ρομποτικού βραχίονα με απομακρυσμένο ασύρματο χειρισμό.

Τα εξαρτήματα, τα υλικά και το κόστος τους, που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της λειτουργία και την οδήγηση (εκτός του Η/Υ) του ρομποτικού βραχίονα, παρουσιάζονται αναλυτικά. (Πίνακες 8,9)

Επειδή αγοράστηκαν σε προσφορά (6 Μοτέρ Mg996r, 6 Βάσεις Μοτέρ, 2 Βάσεις Βραχίονα, 4 Συνδέσμους, 6 Δίσκους Κίνησης, 1 Αρπάγη, 80 Κοχλίες - Περικόχλια M4, M3) τα εξαρτήματα του ρομποτικού βραχίονα στην τιμή των 80€, απλώς αναφέρω τα δομικά στοιχεία και τους ενεργοποιητές του ρομποτικού βραχίονα. Τελικό συνολικό κόστος 154.5^E

Βιβλιογραφία

- [1] «<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84>,» [Ηλεκτρονικό].
- [2] Δ.Μ.ΕΜΙΡΗΣ-Δ.Ε.ΚΟΥΛΟΥΡΙΩΤΗΣ, σε *Ρομποτική, ΤεΚΔΟΤΙΚΗ*, 2004, pp. 1-68.
- [3] Δουλγέρη, Ζωή , σε *Ρομποτική: Κινηματική, δυναμική και έλεγχος αρθρωτών βραχιόνων*, ΚΡΙΤΙΚΗ, (2007, pp. 1-20.
- [4] «<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE>,» <https://el.wikipedia.org/Μηχανοτρονική>. [Ηλεκτρονικό].
- [5] «<http://users.sch.gr/jenyk/index.php/artificialintelligence/ai-historicalreview/11-robotics/17-whatisroboticswhatisrobot>,» [Ηλεκτρονικό].
- [6] «www.jrautomation.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.jrautomation.com/capabilities/agv-amr-applications>.
- [7] «ilektroytomatismoι.blogspot.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ilektroytomatismoι.blogspot.com/2018/07/blog-post_4.html.
- [8] Γαστεράτος Αντώνιος, Επίκουρος Καθηγητής,Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, «slideplayer.gr,» 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://slideplayer.gr/slide/12202358/>. [Πρόσβαση 28 11 2023].
- [9] Δ. Σαγρής, «Ρομποτικοί Βραχίονες -Βασικές Έννοιες,» σε *ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ - ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ*, ΣΕΡΡΕΣ, ΤΕΙ ΣΕΡΡΩΝ, 2015.
- [10] ΙΑΖΕΒΕΛ ΚΡΕΣΤΕΝΙΤΗΣ-ΤΕΙ ΛΑΜΙΑΣ, «docplayer.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://docplayer.gr/3803050-Symfona-me-to-institoyto-rompotikis-tis-amerikis.html>. [Πρόσβαση 28 11 2023].
- [11] «gr.gearboxmotor.net,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://gr.gearboxmotor.net/mini-dc-motor/micro-dc-coreless-motor/dc-12v-11500rpm-coreless-motor-dc-motor-for.html>.
- [12] «howtomechatronics.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-servo-motors-work-how-to-control-servos-using-arduino/>.
- [13] «www.jameco.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.jameco.com/Jameco/workshop/Howitworks/how-servo-motors-work.html>.
- [14] Ανδρόνικα Μιχαηλίδης-ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ, «slideplayer.gr,» 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available:

- <https://slideplayer.gr/slide/16425886/>. [Πρόσβαση 30 11 2023].
- [15] «grobotronics.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://grobotronics.com/stepper-motor-57bygh627-19kg.cm.html>.
- [16] «www.pngwing.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.pngwing.com/en/free-png-ygiur>.
- [17] «www.researchgate.net,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/figure/A-cylindrical-robotic-arm_fig4_237576692.
- [18] «allonrobots.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://allonrobots.com/spherical-robots/>.
- [19] «www.pngwing.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.pngwing.com/en/free-png-tedrk>.
- [20] «commons.wikimedia.org,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SCARA_robot_2R.png.
- [21] «forum.universal-robots.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://forum.universal-robots.com/t/denavit-hartenberg-parameters-for-ur5-classical-or-the-modified/21698/2>.
- [22] «www.jameco.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.jameco.com/Jameco/workshop/CircuitNotes/CN-arduino-uno-fig1-enlarge.jpg>.
- [23] «learn.stemtera.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://learn.stemtera.com/en/begin/ide>.
- [24] «<https://www.youtube.com>,» 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=pzwC1TKUtaE&list=PLIQNHR_c-WLOPZVfLbzt86q-8IPSMNrWP&index=7&ab_channel=intrepidGeeks.
- [25] «howtomechatronics.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-servo-motors-work-how-to-control-servos-using-arduino/>.
- [26] Π. Κιούσης, 09 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://okeanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/handle/123456789/3759>. [Πρόσβαση 03 12 2023].
- [27] «<https://ch.mathworks.com/>,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ch.mathworks.com/help/supportpkg/arduinoio/ug/configure-setup-for-arduino-hardware.html?s_tid=mwa_osa_a.
- [28] T. Youngblood, «<https://www.allaboutcircuits.com/>,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/projects/arduino-interface-with-matlab/>.
- [29] «polaridad.es,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://polaridad.es/el/programas-de-simulacion/>.
- [30] Z. Λουκάς, «Ιδρυματικό Αποθετήριο Βιβλιοθήκης Σερρών - Δι.ΠΑ.Ε.,» 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://apothesis.teicm.gr/xmlui/discover?field=author&filtertype_0=subject&filtertype_1=subject&filter_0=ARDUINO+%28%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%93%CE%A1%CE%91%CE%9C%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%96%CE%9F%CE%9C%CE%95%CE%9D%CE%9F%CE%A3+%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%93%CE%9A.

- [Πρόσβαση 29 12 2023].
- [31] D. Vasileios, «Ιδρυματικό Αποθετήριο Πολυτεχνείο Κρήτης,» 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://doi.org/10.26233/heallink.tuc.66424>. [Πρόσβαση 11 27 2023].
- [32] «ΒΙΚΙΠΑΙΔΙΑ,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84>. [Πρόσβαση 26 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023].
- [33] «www.researchgate.net,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/figure/PUMA-560-arm-robotic-manipulator_fig2_342486626.
- [34] «www.pngwing.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.pngwing.com/en/search?q=ROVs+%28Remotely+Operated+Vehicles%29>.
- [35] «www.naval-technology.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.naval-technology.com/projects/thunderfish/?cf-view>.
- [36] «www.freepik.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.freepik.com/search?format=search&query=Autonomous%20WHEEL%20Robots>.
- [37] «in.pinterest.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://in.pinterest.com/pin/801781539893918784/>.
- [38] «https://www.youtube.com/watch?v=pzWC1TKUtaE&list=PLIQNHR_c-WLOPZVfLbzt86q-8IPSMNrWP&index=6&ab_channel=intrepidGeeks,» [Ηλεκτρονικό].
- [39] «www.pngwing.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.pngwing.com/en/free-png-yijjq>.
- [40] Σ. Δημήτριος, «Κινηματική Ανάλυση με χρήση ΣΣ στο Χώρο-Κινηματική Ανάλυση με χρήση ΣΣ κατά Denavit-Hartenberg,» σε *Εισαγωγή στη Ρομποτική και τα Αυτόματα Συστήματα*, Σερρες, 2019.
- [41] «datasheetspdf.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/942981/ETC/MG996R/1>.
- [42] Καζαρλής Σπύρος-ΔΙΠΑΕ, «Ενσωματωμένα συστήματα,» Σερρες.
- [43] «<https://jm.pl/>,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://jm.pl/en/s120-12-power-supply-12v-dc-10a-120w-198-98-42mm-ip20/9208084/produkt>.
- [44] «<https://www.hellasdigital.gr/>,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.hellasdigital.gr/electronics/boost-and-buck-converters/xl4016e1-dc-dc-4-40v-to-1.25-36v-step-down-module/>.

9. Παράρτημα

9.1 Κώδικες

9.1.1. Κώδικας Υπολογισμού P_x, P_y, P_z

```

% sa1=sin(Rx1);sa2=sin(Rx2);sa3=sin(Rx3);
% c1=cos(Rz1);c2=cos(Rz2);c3=cos(Rz3);s1=sin(Rz1);
% s2=sin(Rz2);s3=sin(Rz3)
clear all
close all
clc
c1=sym('c1','real');c2=sym('c2','real');c3=sym('c3','real');s1=sym('s1','real');
s2=sym('s2','real');s3=sym('s3','real');
L1=sym('L1','real');L2=sym('L2','real');L3=sym('L3','real');d1=sym('d1','real');
d2=sym('d2','real');d3=sym('d3','real');
ca1=sym('ca1','real');ca2=sym('ca2','real');ca3=sym('ca3','real');
sa1=sym('sa1','real');sa2=sym('sa2','real');sa3=sym('sa3','real');
L1=1;L2=9.65;L3=11.6;
d1=9.07;d2=0;d3=0;
ca1=0;ca2=1;ca3=1;sa1=1;sa2=0;sa3=0;
M1=[c1 -ca1*s1 sa1*s1 L1*c1;s1 ca1*c1 -sa1*c1 L1*s1;0 sa1 ca1 d1;0 0 0 1];
M2=[c2 -ca2*s2 sa2*s2 L2*c2;s2 ca2*c2 -sa2*c2 L2*s2;0 sa2 ca2 d2;0 0 0 1];
M3=[c3 -ca3*s3 sa3*s3 L3*c3;s3 ca3*c3 -sa3*c3 L3*s3;0 sa3 ca3 d3;0 0 0 1];
Mt=M1*M2*M3;
% cT1=cos(T1);cT2=cos(T2);cT3=cos(T3);sT1=sin(T1);
% sT2=sin(T2);sT3=sin(T3);
% L1=L1;L2=L2;L3=L3;
% d1=d1;d2=d2;d3=d3;

% Mt=M1*M2*M3
% L1=1;L2=9.65;L3=11.6;
% d1=9.07;d2=0;d3=0;
% L1=0;L2=0;L3=0;
% d1=9.07;d2=9.65;d3=11.6;

% Mt=M1*M2*M3
% Py=Mt(2,4)
%
%
%
% Px=Mt(1,4)
% Pz=Mt(3,4)

% Rz1=input('ΓΩΝΙΑΘ1:');
%
% Rz2=input('ΓΩΝΙΑΘ2:');
% Rz3=input('ΓΩΝΙΑΘ3:');
% Rz1=Rz1*pi/180
% Rz2=Rz2*pi/180
% Rz3=Rz3*pi/180
%
%
% c1=cos(Rz1);c2=cos(Rz2);c3=cos(Rz3);s1=sin(Rz1);
% s2=sin(Rz2);s3=sin(Rz3);
% Rx1=-90*pi/180;Rx2=0;Rx3=0;
% ca1=cos(Rx1);ca2=cos(Rx2);ca3=cos(Rx3);sa1=sin(Rx1);
% sa2=sin(Rx2);sa3=sin(Rx3);
%
%
% M1=[c1 -ca1*s1 sa1*s1 L1*c1;s1 ca1*c1 -sa1*c1 L1*s1;0 sa1 ca1 d1;0 0 0 1]

```

```
% M2=[c2 -ca2)*s2 sa2)*s2 L2*c2;s2 ca2)*c2 -sa2)*c2 L2*s2;0 sa2) ca2) d2;0 0 0 1]
% M3=[c3 -ca3)*s3 sa3)*s3 L3*c3;s3 ca3)*c3 -sa3)*c3 L3*s3;0 sa3) ca3) d3;0 0 0 1]
% Mt=M1*M2*M3
% ca1=0;ca2=1;ca3=1;sa1=1;sa2=0;sa3=0;
Px=Mt(1,4)
Py=Mt(2,4)
Pz=Mt(3,4)
```

9.1.2. Κώδικας Οδήγησης Σερβοκινητήρων

```
#include <VarSpeedServo.h> //Εντολή εισαγωγής της Βιβλιοθήκης VarSpeedServo
#include <stdlib.h> // Εντολή εισαγωγής της βιβλιοθήκης stdlib.h
#include <string.h> //Εντολή εισαγωγής της βιβλιοθήκης συμβολοσειρών string.h
#include <math.h> //Εντολή εισαγωγής της βιβλιοθήκης math.h
VarSpeedServo servo1; // Δήλωση του πρώτου σερβοκινητήρα
VarSpeedServo servo2; // Δήλωση του δεύτερου σερβοκινητήρα
VarSpeedServo servo3; // Δήλωση του τρίτου σερβοκινητήρα
const int servo1Pin = 3; //Δήλωση σταθεράς-1
const int servo2Pin = 6; //Δήλωση σταθεράς-2
const int servo3Pin = 9; //Δήλωση σταθεράς-3
int recValue; // Δήλωση της ακεραίας μεταβλητής της οποίας οι τιμές θα εισάγονται από το Matlab
String incoming_byte;
int v1,v2,v3 = 0; // Τιμές των γωνιών που δίνει ο χρήστης
boolean enable = LOW; // Εφόσον είναι HIGH τότε 'έχει γίνει σωστά η εισαγωγή των τιμών στην σειριακή.
void setup()
{
  Serial.begin(115200); // Γίνετε ορισμός της ταχύτητας δεδομένων σε bits ανά δευτερόλεπτο (baud) της μετάδοσης
  σειριακών δεδομένων.
  servo1.attach(servo1Pin); //Γίνετε Δήλωση του pin που θα εξάγετε η εντολή για το servo 1
  servo2.attach(servo2Pin); //Γίνετε Δήλωση του pin που θα εξάγετε η εντολή για το servo 2
  servo3.attach(servo3Pin); //Γίνετε Δήλωση του pin που θα εξάγετε η εντολή για το servo 3
  pinMode(13,OUTPUT);
}

void loop()
{
  if(Serial.available() > 0)
  {
    incoming_byte = Serial.readString(); // Γίνετε ανάγνωση της συμβολοσειράς από την σειριακή θύρα
    Serial.println(incoming_byte);
    int buffer_length = incoming_byte.length(); //Υπολογίζετο μήκος της
```

9. Παράρτημα

```
char incoming_byte_string[buffer_length]; // Γίνετε ορισμό ενός πίνακα χαρακτήρων με μήκος ίσο με της
συμβολοσειράς
incoming_byte.toCharArray(incoming_byte_string,buffer_length+1); // Γίνετε ,μετατροπή της συμβολοσειράς σε
χαρακτήρες για την sscanf
if (sscanf(incoming_byte_string,"%d,%d,%d",&v1,&v2,&v3) == 3) enable = HIGH;
else enable = LOW;
// Γίνετε ανάγνωση και σύγκριση των χαρακτήρων με την προκαθορισμένη μορφή(default )
//Όταν ισχύει καταχωρεί τις τιμές από την σειριακή στα v1 ,v2, v3.
}
if (enable == HIGH) //Για να κινηθεί ο βραχίονας θα πρέπει γίνει εισαγωγή των στοιχείων στην σειριακή με την
προκαθορισμένη μορφή(default )
{
servo1.write(v1,20); //speed 20 Ορίζει την ταχύτητα περιστροφής του servo1
servo2.write(v2,20); //speed 20 Ορίζει την ταχύτητα περιστροφής του servo2
servo3.write(v3,20); //speed 20 Ορίζει την ταχύτητα περιστροφής του servo3
Serial.println(v1);
Serial.println(v2);
Serial.println(v3);
enable = LOW;
}
}
```

9.1.3. Κώδικας GUI

```
% clear all
% close all
% clc
function varargout = FORKIN_APO(varargin)
% FORKIN_APO MATLAB code for FORKIN_APO.fig
%   FORKIN_APO, by itself, creates a new FORKIN_APO or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = FORKIN_APO returns the handle to a new FORKIN_APO or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   FORKIN_APO('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in FORKIN_APO.M with the given input arguments.
%
%   FORKIN_APO('Property','Value',...) creates a new FORKIN_APO or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before FORKIN_APO_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to FORKIN_APO_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help FORKIN_APO

% Last Modified by GUIDE v2.5 18-Jul-2023 23:28:26
```

```

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
'gui_OpeningFcn', @FORKIN_APO_OpeningFcn, ...
'gui_OutputFcn',  @FORKIN_APO_OutputFcn, ...
'gui_LayoutFcn',  [], ...
'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
[varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
% end

% --- Executes just before FORKIN_APO is made visible.
function FORKIN_APO_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to FORKIN_APO (see VARARGIN)

% Choose default command line output for FORKIN_APO
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes FORKIN_APO wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
% end

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = FORKIN_APO_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
% end

function Rz1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Rz1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Rz1 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Rz1 as a double
% end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Rz1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Rz1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function Rz2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Rz2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Rz2 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Rz2 as a double
% end
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Rz2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Rz2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function Rz3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Rz3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Rz3 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Rz3 as a double
% end
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Rz3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Rz3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
% function Pos_X_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Pos_X (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Pos_X as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Pos_X as a double
```


9. Παράρτημα

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
% function Pos_X_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Pos_X (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%   See ISPC and COMPUTER.
% if ispc&&isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
%   set(hObject,'BackgroundColor','white');
% end

% function Pos_Y_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Pos_Y (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Pos_Y as text
%   str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Pos_Y as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
% function Pos_Y_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Pos_Y (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%   See ISPC and COMPUTER.
% if ispc&&isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
%   set(hObject,'BackgroundColor','white');
% end

% function Pos_Z_Callback(hObject, eventdata, handles)
% % hObject    handle to Pos_Z (see GCBO)
% % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% %
% % Hints: get(hObject,'String') returns contents of Pos_Z as text
% %   str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Pos_Z as a double
% %
% %
% % --- Executes during object creation, after setting all properties.
% % function Pos_Z_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% % % hObject    handle to Pos_Z (see GCBO)
% % % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% % % handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% % %
% % % Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% % %   See ISPC and COMPUTER.
% % % if ispc&&isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
% % %   set(hObject,'BackgroundColor','white');
% % % end
% % --- Executes on button press in btn_forward.
function btn_forward_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btn_forward (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
Rz1 = str2double(get(handles.Rz1,'String'));
Rz2 = str2double(get(handles.Rz2,'String'));
```

```

Rz3 = str2double(get(handles.Rz3, 'String'));
% μετατροπή σε rad
Rz1=Rz1*pi/180;
Rz2=Rz2*pi/180;
Rz3=Rz3*pi/180;
% Rz3=Rz3-Rz2
% if Rz3>0
% Rz3=Rz3-pi/2;
% end
% γωνίεςστροφής ως προς X σε rad
Rx1=90*pi/180;Rx2=0;Rx3=0;
% μεταφορά κατά τον άξονα X cm
L1=0;L2=67;L3=105;
% μεταφορά κατά τον άξονα Z cm
d1=95;d2=0;d3=0;
% function [M1,M2,M3,Mt]=calculate_FORKIN(Px,Py,Pz)
% ΜεταφοράσυστηματοςPx,Py,Pzαπο 0 στο 1
A01=[cos(Rz1) -cos(Rx1)*sin(Rz1) sin(Rx1)*sin(Rz1) L1*cos(Rz1);sin(Rz1) cos(Rx1)*cos(Rz1) -
sin(Rx1)*cos(Rz1) L1*sin(Rz1);0 sin(Rx1) cos(Rx1) d1;0 0 0 1]
% ΜεταφοράσυστηματοςPx,Py,Pzαπο 1 στο 2
A12=[cos(Rz2) -cos(Rx2)*sin(Rz2) sin(Rx2)*sin(Rz2) L2*cos(Rz2);sin(Rz2) cos(Rx2)*cos(Rz2) -
sin(Rx2)*cos(Rz2) L2*sin(Rz2);0 sin(Rx2) cos(Rx2) d2;0 0 0 1]
% ΜεταφοράσυστηματοςPx,Py,Pzαπο 2 στο 3
A23=[cos(Rz3) -cos(Rx3)*sin(Rz3) sin(Rx3)*sin(Rz3) L3*cos(Rz3);sin(Rz3) cos(Rx3)*cos(Rz3) -
sin(Rx3)*cos(Rz3) L3*sin(Rz3);0 sin(Rx3) cos(Rx3) d3;0 0 0 1]
% Ομογενήσπινακαςμετασχηματισμουαπο την βάση στο Ακρο
A03=A01*A12*A23
% ΥπολογισμόςX,Ψ,Zσεcm
Px=A03(1,4), Py=A03(2,4), Pz=A03(3,4)

% Px=sprintf('%d',Px);
set(handles.text19, 'String',Px);

% Py=sprintf('%d',Py);
set(handles.text20, 'String',Py);

% Pz=sprintf('%d',Pz);
set(handles.text21, 'String',Pz);
% end

% --- If Enable == 'on', executes on mouse press in 5 pixel border.
% --- Otherwise, executes on mouse press in 5 pixel border or over pushbutton1.
function pushbutton1_ButtonDownFcn(~, ~, ~)
% hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see G
% end

```

9.1.4. Κώδικας MASTER.M[30]

```

%
% Κλείσιμο όλων παραθύρων, καθαρισμός μεταβλητών και καθαρισμός του command
% window

```

```

clear all
close all
clc
global GlobalBest model xsys zs number_of_points;
%%-----
%%
% Έλεγχος αν η COM θύρα είναι ανοικτή και αν είναι την κλείνουμε
if ~isempty(instrfind)
fclose(instrfind);
delete(instrfind);
end
%%-----
%%
s = serial('COM5','BAUD',115200); % Ορισμόςσειριακήςστα 9600
fopen(s); % Ενεργοποίηση σειριακής
data_cell = []; % Δημιουργία array για αποθήκευση τιμών που θα σταλούν στο Arduino
% 3 διαφορετικές μεταβλητές για 3 διαφορετικά mode λειτουργίας
angle = 0; % Mode 1 -> Λειτουργία με είσοδο γωνίας
xyz = 0; % Mode 2 -> Λειτουργία με είσοδο σημείων
move = 0; % Mode 3 -> Λειτουργία κίνησης σε προκαθορισμένα σημεία
move2 = 0; % Mode 4 -> Path Planning with PSO
% Μήκος των τμημάτων του βραχίονα
l1 = 95;
l2 = 67;
l3 = 105;
% Για να λειτουργήσει το μοντέλο προσομοίωσης πρέπει πρώτα να εκτελεστεί
% το αρχείο startup_rvc.m
% Αρχικοποίηση μεταβλητών για το μοντέλο προσομοίωσης του βραχίονα
% Στην προσομοίωση ο βραχίονας έχει 5 μέλη
L1 = Link([0 l1 0 pi/2]); % Ορισμός 1ου μέλους
L2 = Link([0 0 l2 0]); % Ορισμός 2ου μέλους
L3 = Link([0 0 l3 0]); % Ορισμός 3ου μέλους
% L1 = Link([0 0 0 0]); % Ορισμός 1ου μέλους
% L2 = Link([0 l1 0 pi/2]); % Ορισμός 2ου μέλους
% L3 = Link([0 0 l2 0]); % Ορισμός 3ου μέλους
W = [-400,400,-400,400,0,400]; % Ορισμός χώρου εργασίας βραχίονα
robot = SerialLink([L1 L2 L3]); % Ένωση όλων των μελών του βραχίονα
robot.name = 'ApoRobotArm'; % Ονομασία του βραχίονα
% Το πρόγραμμα αποτελείται από 2 while. Στην πρώτη ο χρήστης επιλέγει mode
% λειτουργίας και στην δεύτερη γίνεται η εκτέλεση της εντολής του χρήστη.
while 1 % Επιλογή mode λειτουργίας από χρήστη
ans = input('ΕΙΣΗΓΑΓΕ 1 ΓΙΑ ΓΩΝΙΕΣ ,2 ΓΙΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:', 's'); % Η επιλογή του χρήστη αποθηκεύεται
σε μια συμβολοσειρά με όνομα ans
% ans = input('ΕΙΣΗΓΑΓΕ 1 ΓΙΑ ΓΩΝΙΕΣ ,2 ΓΙΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ 1 for angles, 2 for points, 3 for a
simplemovement, 4 for pathplanning:', 's'); % Η επιλογή του χρήστη αποθηκεύεται σε μια συμβολοσειρά με όνομα
ans
ans = str2num(ans); % Μετατροπή συμβολοσειράς σε αριθμό

ifans == 1 | ans == 2 | ans == 3 | ans == 4 % Έλεγχος για το mode που έχει επιλέξει ο χρήστης
% Τις μεταβλητές angle,xyz και move τις χρησιμοποιούμε στο 2ο
% while. Σε αυτό το while ανάλογα με το mode που έχει επιλέξει ο
% χρήστης κάνουμε 1 την αντίστοιχη μεταβλητή
% Έλεγχος επιλογής mode 1
ifans == 1
angle = 1;
break% έξοδοςαπό while
% Έλεγχος επιλογής mode 2
elseifans == 2
xyz = 1;
break% έξοδος από while
% Έλεγχος επιλογής mode 3
elseifans == 3

```

```

move = 1;
break% έξοδος από while
% Έλεγχος επιλογής mode 4
elseif ans == 4
move2 = 1;
break% έξοδος από while
end
else continue; % Για οποιοδήποτε input του χρήστη διαφορετικό από αυτό που έχουμε
% ορίζει το πρόγραμμα αγνοεί την είσοδο και περιμένει νέα με συγκεκριμένη μορφή
% για να συνεχίσει στο 2ο while
end
end
%-----
%-----
%-----

while 1 % Σε αυτό το while λειτουργούν τα διαφορετικά mode
#####
#####
if angle == 1 % Αν έχει επιλέξει ο χρήστης mode 1
data = input('ΔΩΣΕ ΓΩΝΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΡΘΡΩΣΕΙΣ Θ1,Θ2,Θ3 ΑΠΟ 5-175 Η ΚΑΘΕ ΜΙΑ: ','s'); % Εισαγωγή
γωνιών θ1,θ2,θ3 από χρήστη σε μορφή συμβολοσειράς
disp(data); % εκτύπωση εισόδου χρήστη
data_cell = strsplit(data, ','); % διαχωρισμός συμβολοσειράς χρήστη στο ',' και αποθήκευση στο data_cell
if length(data_cell) == 3 % έλεγχος αν μετά το διαχωρισμό με ',' έχουμε 3 τμήματα συμβολοσειράς
% Αν έχουμε τρία τμήματα τότε μετατρέπουμε τα σύμβολα σε
% αριθμούς και περιορίζουμε τις γωνίες από 15 μέχρι 165 μοίρες
data_cell = max(2, min(178, str2double(data_cell)));
th1 = deg2rad(data_cell(1,1));
th2 = deg2rad(data_cell(1,2));
th3 = deg2rad(data_cell(1,3));
th3 = th3 - pi/2;
% th3 = th3 + pi/2
% th2 = pi - th2

% robot.plot([deg2rad(data_cell(1,1)), deg2rad(data_cell(1,2)),
deg2rad(data_cell(1,3))], 'floorlevel', 0, 'notiles', 'workspace', W)
robot.plot([th1, th2, th3], 'floorlevel', 0, 'notiles', 'workspace', W)
% data_cell = max(0, min(180, str2double(data_cell)));
%
robot.plot([0, deg2rad(data_cell(1,1)), deg2rad(data_cell(1,2)), deg2rad(data_cell(1,3)), 0], 'floorlevel', 0, 'notiles', 'works
pace', W)
hold on
data_cell = num2cell(data_cell); % Μετατρέπουμε το array data_cell σε κελιά
fprintf(s, strjoin(cellfun(@num2str, data_cell, 'un', 0), ',')); % % στέλνουμε στο arduino με μορφή Θ1,Θ2,Θ3
else % Αν δεν έχουμε τρία τμήματα συμβολοσειράς τότε ο χρήστης έχει κάνει λάθος εισαγωγή στοιχείων
if strcmp(data, 'exit') % έλεγχος αν ο χρήστης έχει πληκτρολογήσει exit
fclose(s); % Αν έχει πληκτρολογήσει exit τότε κλείνουμε την σειριακή και
break; % τερματίζουμε το πρόγραμμα
end
continue; % Οποιαδήποτε άλλο input του χρήστη απλά το αγνοούμε
end
#####
#####
elseif xyz == 1 % Αν έχει επιλέξει ο χρήστης mode 2
data = input('Givexyzpoints: ','s'); % Εισαγωγή συμβολοσειράς με τα σημεία x,y,z
disp(data); % εκτύπωση εισόδου χρήστη
data_cell = strsplit(data, ','); % διαχωρισμός συμβολοσειράς χρήστη στο ',' και αποθήκευση στο data_cell
if length(data_cell) == 3 % % έλεγχος αν μετά το διαχωρισμό με ',' έχουμε 3 τμήματα συμβολοσειράς
data_cell = str2double(data_cell); % μετατροπή χαρακτήρων σε αριθμούς
% Με το try - catch μπορούμε να εκτελέσουμε μια εντολή και αν
% αυτή βγάλει σφάλμα τότε εκτελείται το κομμάτι του κώδικα που
% βρίσκεται μέσα στο catch.
try

```

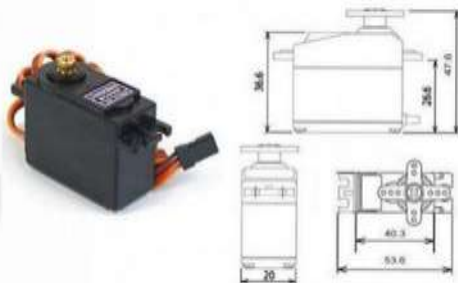
9. Παράρτημα

```
[data_cell(1),data_cell(2),data_cell(3)] = inverse_kinematic(data_cell(1),data_cell(2),data_cell(3)); %  
Επίλυση ανάστροφου κινηματικού με elbow down.  
catch  
warning('Problem with solving inverse kinematic. Imaginary solution'); % Αν το ανάστροφο κινηματικό δεν έχει  
λύση τότε βγάζει αυτό το σφάλμα χωρίς να σταματά το πρόγραμμα και  
% περιμένει από τον χρήστη να εισάγει νέα σημεία  
continue; % Μετά από ανεπιτυχή προσπάθεια επίλυσης του ανάστροφου κινηματικού το continue οδηγεί το  
πρόγραμμα στην αρχή του elseif  
end  
disp(data_cell) % Εκτύπωση αποτελεσμάτων από επίλυση ανάστροφου κινηματικού  
robot.plot([deg2rad(data_cell(1,1)),deg2rad(data_cell(1,2)),-  
deg2rad(data_cell(1,3)),'floorlevel',0,'notiles','workspace',W)  
hold on  
data_cell(2) = max(5,data_cell(2)); % Περιορισμός 2 σέρβουστις 5 μοίρες  
data_cell = num2cell(round(data_cell)); % Στρογγυλοποίηση αποτελέσματος και μετατροπή του array σε cell  
fprintf(s, strjoin(cellfun(@num2str,data_cell,'un',0),' '), '% Προετοιμασία και αποστολή δεδομένων στο arduino  
else  
if strcmp(data,'exit') % έλεγχος αν ο χρήστης έχει πληκτρολογήσει exit  
fclose(s); % Αν έχει πληκτρολογήσει exit τότε κλείνουμε την σειριακή και  
break; % τερματίζουμε το πρόγραμμα  
end  
continue; % Οποιαδήποτε άλλο input του χρήστη απλά το αγνοούμε  
end  
%#####  
%#####
```

9.2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Servo-κινητήρας υψηλής ροπής MG996R

MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo



This High-Torque MG996R Digital Servo features metal gearing resulting in extra high 10kg stalling torque in a tiny package. The MG996R is essentially an upgraded version of the famous MG995 servo, and features upgraded shock-proofing and a redesigned PCB and IC control system that make it much more accurate than its predecessor. The gearing and motor have also been upgraded to improve dead bandwidth and centering. The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec.

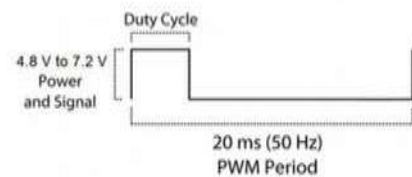
This high-torque standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG996R Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

Specifications

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf cm (4.8 V), 11 kgf cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)

- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 μs
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 °C – 55 °C

PWM=Orange (⏏)
Vcc = Red (+)
Ground=Brown (-)



Εικόνα 70: Servo-κινητήρας υψηλής ροπής MG996R[25]

Features

- ◆ Very compact metal cased power supply
- ◆ Universal input AC input,full range
- ◆ Natural air cool
- ◆ Screw terminal block
- ◆ 2 years product warranty
- ◆ Protection: short-circuit,overload,overcurrent and over heat



12V 120W Normal Single output

Specifications

Output	DC Voltage (V)	12V					
	Voltage Range	11.40-13.20V					
	Rated Current (A)	10A					
	Current Range (A)	0 - 10A					
	Rated Power (W)	120W					
	Ripple & Noise (Mvp-p)	120mVP-P					
	voltage accuracy	±1%					
	Line Regulation	±1%					
	Load Regulation	±3%					
Input	Voltage Range (V)	110 /220VAC Optional according to switch					
	Frequency Range (Hz)	47~63Hz					
	AC Current (A)	2.1/1.00A 110/220VAC					
	Efficiency (Typ)	≥83%					
Protection	Overload Protection	110 ~ 150% rated output power Protection type: hiccup,automatic restoration after abnormity remove					
	short circuit protection	Protection type: restart to open the power supply and automatic restoration after output short circuit is removed					
Environment	Working Temp	-10~+40℃					
	Working Humidity	20 ~ 90% RH, non-condensing					
	Storage Temp& Humidity	-20℃ ~ 85℃;10~95%RH					
	Vibration resistance	10~500Hz,2G per 1min,X、Y、Z axis for each 60 minutes					
Others	MTBF	≥316.2K Hrs,MIL-HDBK-217F(25℃)					
	Dimensions	198*98*42mm (L*W*H)					
	Weight	0.425kg					

Σταθεροποιημένο τροφοδοτικό 12V/10A/120W

Εικόνα71:Σταθεροποιημένοτροφοδοτικό 12V/10A/120W-ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ [31]

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Μετατροπέας DC-DC

Voltage regulating mode: PWM modulation

Input voltage: DC 4-38V

Output voltage: DC 1.25-36V

Maximum current: 8A

(please add fan and make current less than 5A for a long term use)

Maximum power: 200W

Conversion efficiency: 95%

Switching frequency: 180KHz

Working Temperature: -45~+85°

Size: 6×3.7cm/2.36×1.46inch



Εικόνα 72: Μετατροπέας DC-DC[32]

9.3. Εξαρτήματα και Υλικά Ρομποτικού Βραχίονα

ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΥΛΙΚΑ	ΤΙΜΗ
Arduino UNO REV3	29E
Breadboard(30x10)	5.9E
Σταθεροποιημένο τροφοδοτικό12V/10A/120W	13.90E
Ρυθμιστήεξτάσης	5.20E
ΚαλώδιαΣυνδεσμολογίας pin 40τμ	3.5E
μελαμίνη 0.45 m ²	12E
Κοχλίες M6x6.5 Περικόχλια 5τεμ.	1.5E
Καλώδιο 2m-1 Φις Σούκο	3.5E
ΣΥΝΟΛΟ	74.5E

Πίνακας 6:Εξαρτήματα Και Υλικά Ρομποτικού Βραχίονα

ΤΕΜΑΧΙΑ	ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΥΛΙΚΑ
3	ServoMoter Mg996r
2	Ελάσματα Βάσης Ρομπότ
3	Ελάσματα Βάσης Μοτέρ
3	Ελάσματα Συνδέσμων
3	ΔίσκοιΚίνησης
42	Κοχλίες -Περικόχλια M4,M3

Πίνακας 7: Εξαρτήματα Και Υλικά Ρομποτικού Βραχίονα

Σύντομο Βιογραφικό Σημείωμα

Προσωπικά στοιχεία:

ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΚΥΡΙΣΚΟΖΟΓΛΟΥ

Βασική εκπαίδευση:

ΓΕΝΙΚΟ ΛΥΚΕΙΟ ΝΕΑΣ ΖΙΧΝΗΣ

Σπουδές:

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΟ ΤΕΙ ΣΕΡΡΩΝ

Επαγγελματική δραστηριότητα:

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ



ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗ ΣΕΡΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ,
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ