



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ  
ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΔΥΟ  
ΒΑΘΜΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ**

Καθήρ Ιωάννης ΑΜ:4164

Επιβλέπων καθηγητής: Δοϊτσίδης Ελευθέριος

Χανιά, 2015



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια και την επίβλεψη του κυρίου Δοϊτσίδα Ελευθέριου τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για την συνεργασία μας και την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που προσέφερε. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογενειά μου για την στηριξή τους και την βοήθεια τους καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός ρομποτικού βραχίονα 2 βαθμών ελευθερίας, ελεγχόμενο από τον μικροελεγκτή Arduino.

Ο ρομποτικός βραχίονας έχει τη δυνατότητα να ελέγχεται από το λογισμικό MATLAB, επιτρέποντας στο χρήστη να αλληλεπιδράσει με αυτόν.

Το τελικό αποτέλεσμα αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα hardware–software, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εκπαιδευτικό βοήθημα για τη διδασκαλία μαθημάτων που σχετίζονται με την ρομποτική και τους αυτοματισμούς.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1    ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	3
ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ .....	3
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	3
2.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΒΡΑΧΙΩΝΩΝ .....	4
2.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΙΔΟΣ ΑΡΘΡΩΣΕΩΝ.....	5
2.4 ΤΥΠΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ .....	5
2.4.1 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ .....	5
2.4.2 ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	6
2.4.3 ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ .....	6
2.8 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	9
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ.....	9
3.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ.....	9
3.2 ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤ .....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	20
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ .....	20
4.1 ΕΥΘΥ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ .....	20
4.2 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ.....	23
4.2.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΜΕΣΩ Η/Υ.....	26
4.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	26
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	29
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	31

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Είναι ευρέως διαδεδομένο ότι τα ρομπότ εκάναν την πρώτη τους εμφάνιση την δεκαετία του 70 με τις πρώτες ταινίες επιστημονικής φαντασίας. Στην πραγματικότητα όμως τα ρομπότ με μια έστω και διαφορετική μορφή κάνουν την εμφάνιση τους στην αρχαιότητα και την ελληνική μυθολογία με τον Τάλω μια μηχανή με γιγάντια μορφή ανθρώπου κατασκευασμένη από μπρούτζο, που προστάτευε την Κρήτη από τους εχθρούς και είχε την ικανότητα να κάνει το γύρο του νησίου τρεις φορές σε μια μέρα. Μεταγενέστερα το 1200μ.Χ έχουμε τον άραβα Αλ Τζαζάρι να δημιουργεί τη πρώτη ανθρωπόμορφη μηχανή με μια και μοναδική ικανότητα, να χτύπαι ρυθμικά ένα τύμπανο. Στην εποχή της Αναγέννησης γίνεται προσπάθεια κατασκευής μιας παρόμοιας μηχανής απο τον μηχανικό-καλλιτέχνη Leonardo DaVinci όπου η συγκεκριμένη μηχανή είχε και αυτή μορφή ανθρώπου και μπορούσε να κουνά τα χέρια και το κεφάλι.

Ο όρος Robot αναφέρεται πρώτη φορά το 1921 από τον τσέχο συγγραφέα Karel Chapek στο θεατρικό του έργο “Rossom’s Universal Robots”. Η λέξη ρομπότ προέρχεται απο την σλάβικη λέξη “Robota” που σημαίνει έργατης ή καταναγκαστική εργασία.

Στην σημερινή εποχή τα ρομπότ χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών, όπως είναι η βιομηχανία καθώς και σε εργασίες όπου ο άνθρωπος αδυνατεί να ανταπεξέλθει λόγω μεγάλου κινδύνου για την υγεία του, σε περιβάλλοντα όπου απαιτούνται πολύ λεπτές και συγκεκριμένες κινήσεις όπως ένα χειρουργείο. Επίσης τα ρομπότ έχουνε μεγάλη χρήση και στην εξερεύνηση του διαστήματος τα τελευταία χρόνια καθώς μπορούν να εξερευνήσουν άγνωστα περιβάλλοντα χωρίς επιπτώσεις στην “υγεία” τους όπως θα είχε ο άνθρωπος.

Όλα τα παραπάνω στάθηκαν το εναυσμα της ενασχόλησης με την παρούσα εργασία όπου είχαμε ως στόχο το σχεδιασμό, την ανάπτυξη, την υλοποίηση και τον έλεγχο ενός απλού ρομποτικού βραχίονα που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην εκπαιδευτική διαδικασία θεμάτων που σχετίζονται με τη ρομποτική και τους αυτοματισμούς.

Η τελική κατασκευή που αναπτύχθηκε ήταν ένας ρομποτικός βραχίονας 2 βαθμών ελευθερίας ελεγχόμενος από ένα μικροελεγκτή Arduino και με ικανότητα αλληλεπίδρασης με ένα Η/Υ μέσω θύρας USB. Τα βασικά τμήματα της παρούσας εργασίας επικεντρώθηκαν:

- Στον σχεδιασμό και την κατασκευή του βραχίονα
- Στην ανάπτυξη και υλοποίηση του λογισμικού ελέγχου των κινηρών μέσω του arduino καθώς και της επικοινωνίας του με Η/Υ
- Την ανάπτυξη κατάλληλου λογισμικού που θα επιλύει το ευθύ και το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα στο MATLAB, καθώς και ο έλεγχος του βραχίονα μέσω αυτού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

# ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ρομποτικά συστήματα τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία αυτοκινήτων, στην πολεμική βιόμηχανια, στην ιατρική και σε αρκετούς άλλους κλάδους της παραγωγικής διαδικασίας. Δεδομένου της ποικιλομορφίας των εφαρμογών έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα ρομποτικών συστημάτων διαφόρων τύπων που ποικίλουν από ρομποτικούς βραχίονες σε αυτόνομα ρομποτικά οχήματα. Με βάση το είδος της εφαρμογής και τον τύπο του ρομποτικού συστήματος που έχει επιλεγεί, υπάρχουν κάποια διαφορετικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν την ρομποτική συσκευή. Τέτοια μπορεί να είναι: α) Τα υλικά κατασκευής. β) Το είδος των αρθρώσεων, γ) Τον τύπο των κινητήρων, δ) Το είδος των αισθητήρων κ.α. Στα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζονται κάποιοι ενδεικτικοί ρομποτικοί βραχίονες .



*Σχήμα 2.1 Ρομποτικός βραχίονας βιομηχανικού τύπου*





*Σχήμα 2.2 Ρομπότ στην ιατρική*



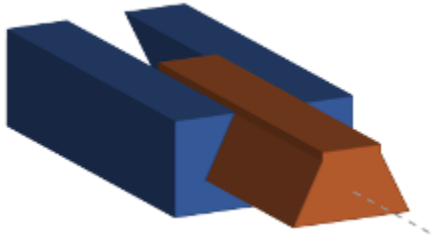
*Σχήμα 2.3 Εκπαιδευτικός βραχίονας με προσθήκη αισθητήρων όρασης και αφής*

## **2.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΒΡΑΧΙΩΝΩΝ**

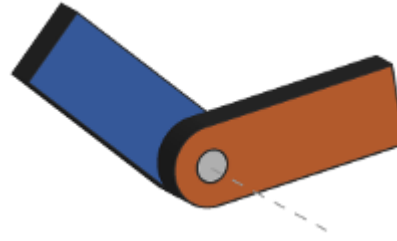
Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός βραχίονα διαφέρουν ανάλογα με την εταιρία κατασκευής και τις εφαρμογές για τις οποίες έχουν σχεδιαστεί. Συνήθως γίνεται η επιλογή λαμβάνοντας υπόψη την αντοχή, την ευκαμψία καθώς και κάποιες ειδικές προδιαγραφές ανάλογα με τη χρήση. Ένα τυπικό υλικό χρησιμοποιείται σε μια πληθώρα εφαρμογών είναι το αλουμίνιο βιομηχανικού τύπου. Εκτός του αλουμινίου χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά όπως το πλαστικό, το plexiglass, σ' απλές εφαρμογές ενίοτε και το ξύλο σε ερασιτεχνικές κατασκευές.

## 2.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΙΔΟΣ ΑΡΘΡΩΣΕΩΝ

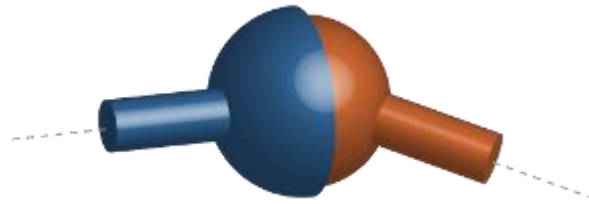
Κάθε ρομπότικος βραχίονας αποτελείται από διαδοχικά στερεά σώματα που τους ονομάζουμε συνδέσμους και συνδέονται μέσω των αρθρώσεων σχηματίζοντας μια κινηματική αλυσίδα. Τα είδη των αρθρώσεων είναι τρία και διακρίνονται σε πρίσματικές όπου έχουμε έναν βαθμό ελευθερίας, τις περιστροφικές όπου μας δίνουν ένα βαθμό ελευθερίας και τις σφαιρικές με τρεις βαθμούς ελευθερίας. Το άθροισμα των αρθρώσεων μας δίνει τους βαθμούς ελευθερίας που έχει ένα ρομπότ.



Σχήμα 2.4 Πρίσματική άρθρωση



Σχήμα 2.5 Περιστροφική άρθρωση



Σχήμα 2.6 Σφαιρική άρθρωση

## 2.4 ΤΥΠΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας υπάρχουν πλέον διαθέσιμες ποικίλες επιλογές σχετικά με τους κινητήρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στους ρομποτικούς βραχίονες. Τα είδη των κίνητρων που κυριαρχούν στην ρομποτική βιομηχανία είναι τρία: Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC κινητήρες), οι βηματικοί κινητήρες (stepper motors) και οι κινητήρες Σέρβο. Ο καθένας προσφέρει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όπου με βάση αυτά και την εργασία που πρόκειται να κάνει το ρομπότ ο σχεδιαστής επιλέγει το κατάλληλο τύπο.

### 2.4.1 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Οι DC κινητήρες έχουν μεγάλη ροπή στρέψης και μπορούν να διαχειριστούν βαρέα φορτία, δεν έχουν μειωτήρα για μείωση των στροφών και δεν υπάρχει έλεγχος θέσης του

άξονα που σημαίνει ότι χρειάζεται κύκλωμα ελέγχου κλειστού βρόχου για τον έλεγχο θέσης του άξονα.



Σχήμα 2.7 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος

### 2.4.2 ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι σερβοκινητήρες είναι κινητήρες που αποτελούνται από έναν ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος ένα κύκλωμα που ελέγχει τη θέση του άξονα και ένα σύστημα γραναζιών υποβιβασμού σχέσης μετάδοσης του κινητήρα. Οι κινητήρες αυτοί έχουν μικρό μέγεθος και πρακτικό σχήμα παράγουν μεγάλη ροπή και δεν απαιτείται κύκλωμα ελέγχου κλειστού βρόχου για τον έλεγχο θέσης. Δεν μπορούν όμως να πραγματοποιήσουν πλήρη περιστροφή.



Σχήμα 2.8 Κινητήρας τύπου Σέρβο

### 2.4.3 ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι βηματικοί αποτελούνται από έναν ρότορα μαλακού σιδήρου με οδοντώσεις και έναν στάτη με τέσσερα ζεύγη ηλεκτρομαγνητών. Οι βηματικοί σε σχέση με τους κινητήρες συνεχούς τάσης δεν χρειάζονται φρένα για να υπάρξει επιβράδυνση ή ακινητοποίηση, σε χαμηλή ταχύτητα παράγουν μεγάλη ροπή, έχουν αξιόπιστη λειτουργία καθώς δεν απαιτείται αλλαγή στις κινούμενες ηλεκτρικές επαφές (καρβουνάκια), μπορούν να έχουν μεγάλο εύρος ταχυτητας περιστροφής του άξονα. Έχουν όμως θορυβώδη λειτουργία, αδυναμία περιστροφής του άξονα σε υψηλές ταχύτητες όταν αυτός έχει φορτίο και κατά

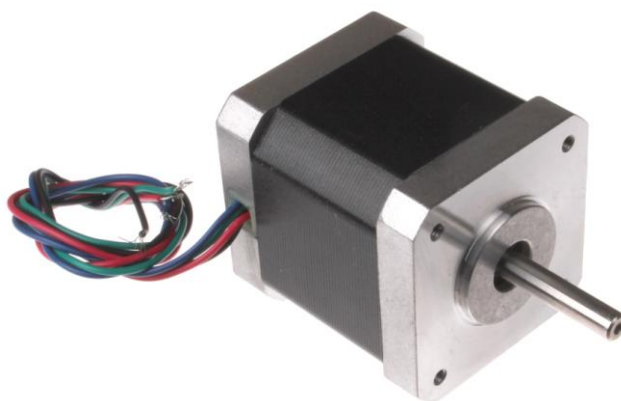
την μετακίνηση φορτίων μεγάλου βάρους μπορεί να μη σταματήσει άμεσα ο άξονας και να υπάρξει ταλάντωση. Επίσης χρειάζονται κύκλωμα αρχικοποίησης προκειμένου να υπάρχει έλεγχος θέσης του άξονα.

Ο βηματικός κινητήρας χρησιμοποιεί συνδιασμό ηλεκτρικών σημάτων για την περιστροφή του τα ηλεκτρικά σήματα διοχετεύονται στο στάτη που αποτελείται από τέσσερα ζεύγη ηλεκτρομαγνητών A-A' B-B' C-C' D-D'. 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, στην περίπτωση του κινητήρα που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία είναι στις  $1.8^\circ$  αυτή η κίνηση ονομάζεται βήμα του κινητήρα.

Στην αγορά υπάρχουν τρία είδη βηματικού:

- Βηματικός μόνιμου μαγνήτη (Permanent magnet)
- Βηματικός μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης (Variable reluctance)
- Βηματικός υβριδικού τύπου (Hybrid)

Ο βηματικός κινητήρας ελέγχεται με σήματα της λογικής 0-1 που δίνει μια ψηφιακή διάταξη τα οποία ενισχύονται μέσα απο κύκλωμα ισχύος που είναι συνδεδεμένο με τον κινητήρα. Ο βηματικός κινητήρας μπορεί να κάνει περιστροφή πάνω απο  $360^\circ$  υπολογίζοντας των αριθμών των βημάτων που θα κάνει αυτο επιτυγχάνεται διαιρώντας τις μοίρες που κάνει σ' ένα βήμα ο κινητήρας με τις μοίρες που θέλουμε να τον περιστρέψουμε, για  $360^\circ$  έχουμε  $360 \div 1.8 = 200$  ομοίως εαν θέλουμε για  $720^\circ$  έχουμε  $720 \div 1.8 = 400$ . Παρόλο που υπάρχει έλεγχος γωνίας και θέσης του άξονα δεν είναι όπως του σερβοκινητήρα οπότε ο συγκεκριμένος κινητήρας χρειάζεται κύκλωμα ανάδρασης προκειμένου να υπάρχει πλήρης έλεγχος θέσης του άξονα στις γωνίες που θέλουμε.



Σχήμα 2.9 Βηματικός (stepper) κινητήρας

## 2.8 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ

Οι ρομποτικοί βραχίονες αναλόγως την εφαρμογή χρησιμοποιούν και τους ανάλογους αισθητήρες. Μερικά γνωστά είδη αισθητήριων που υπάρχουν είναι αισθητήρες πίεσης και δύναμης, χημικοί αισθητήρες, αποφυγής εμποδίων, αισθητήρες χρώματος, ακομη και κάμερες χρησιμοποιούνται προκειμένου να επιτευχθεί τεχνητή όραση δηλαδή παρακολούθηση αντικειμένων και διαχωρισμό αυτών.



Σχήμα 2.10 Αισθητήρες υπερήχων



Σχήμα 2.11 Αισθητήρας υπερύθρων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

### 3.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε ανάλυση και σχεδιασμός ενός ρομποτικού βραχίονα δύο βαθμών ελευθερίας κατάλληλο για εργαστηριακή χρήση στην εκπαιδευτική διαδικασία. Ο συνολικός σχεδιασμός έλαβε υπόψη την επιλογή των υλικών με βάση το κόστος και την μηχανική αντοχή που παρέχει το υλικό καθώς και το βάρος που αντέχουν οι κινητήρες.

Διερευνήθηκε η επιλογή μιας κατασκευής από πλαστικό ή εναλλακτικά από αλουμίνιο. Τελικά έγινε επιλογή από προφίλ αλουμινίου για την κατασκευή. Στη συνέχεια έγινε διερεύνηση για την επιλογή των κατάλληλων κινητήρων. Επιλέχθηκαν βηματικοί κινητήρες προκειμένου να διασφαλιστεί η απαιτούμενη ροπή για την κίνηση του ρομποτικού βραχίονα.

Ο τελικός σχεδιασμός περιλαμβάνει δύο αρθρώσεις περιστροφικού τύπου, όπου ο βραχίονας που προέκυψε είχε δύο περιστροφικές αρθρώσεις και ένα εργαλείο E στο άκρο του βραχίονα. Είναι σε θέση να εκτελέσει δυο περιστροφικές κινήσεις:

- 1) Περιστροφή του πρώτου συνδέσμου μήκους  $L_1$  με κινητήρα  $M_1$  κατά την γωνία  $\theta_1$ .
- 2) Περιστροφή του δεύτερου συνδέσμου μήκους  $L_2$  με κινητήρα  $M_2$  κατά την γωνία  $\theta_2$ .

Η κατασκευή υπέστη διαδοχικές βελτιώσεις και αλλαγές όσον αφορά το μήκος των συνδέσμων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και του τελικού άκρου εργασίας. Σαν ακρο εργασίας χρησιμοποιήσαμε αρχικά έναν μηχανικό ζεύκτη (coupler) με εσωτερική διάμετρο 5mm που χρησιμοποιείται για σύμπλεξη των αξόνων των κινητήρων με άλλους άξονες ίδιας διαμέτρου.

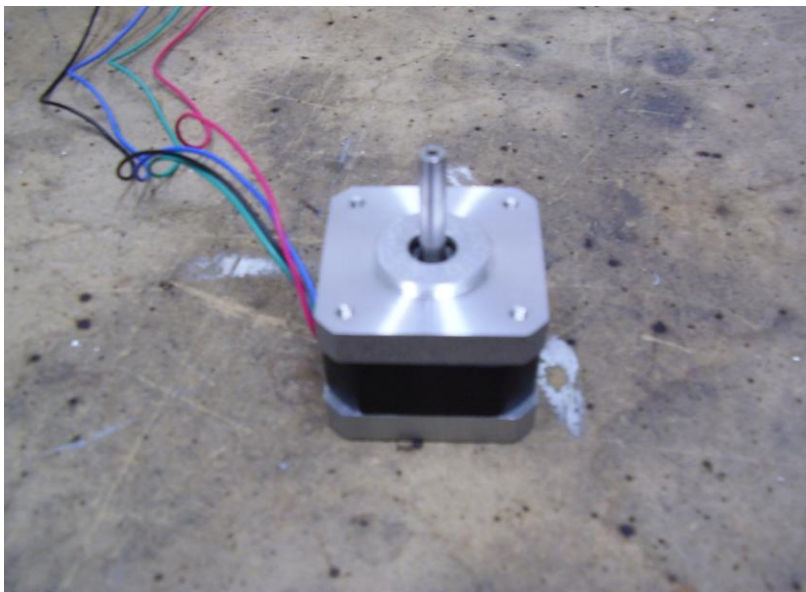
Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται αναλυτικά τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάπτυξη του ρομποτικού βραχίονα.



Πίνακας 1: Δομικά στοιχεία του ρομποτικού βραχίονα

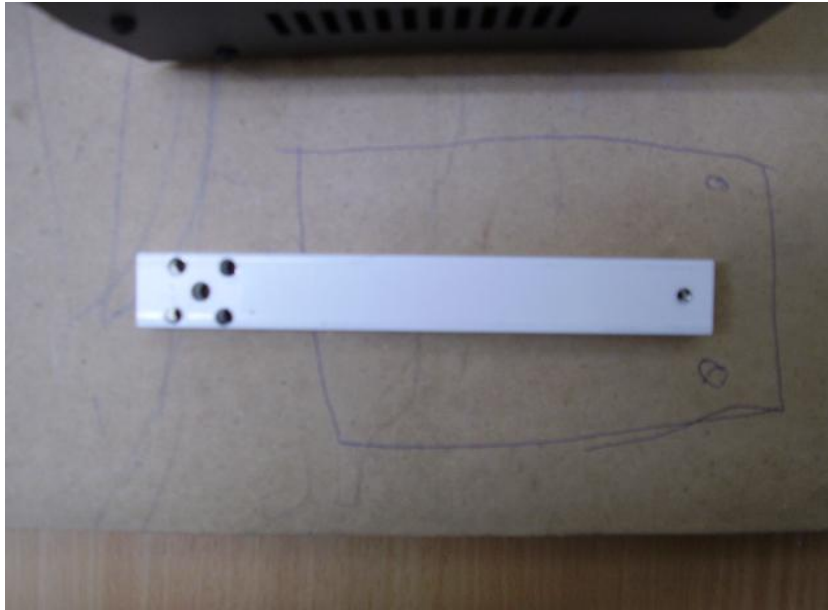
Βηματικός κινητήρας	NEMA17 bipolar 12V 0.4A Ροπή στρέψης: 3.2kg/cm Ροπή συγκράτησης: 0.28kg/cm Αδράνεια ροτορα : 35g/cm <sup>2</sup>
Προφίλ αλουμινίου 1	10x20(mm) 15cm
Προφίλ αλουμινίου 2	15x30(mm) 18cm & 23cm
Servo	0-180° 4.8-6V ροπή στρέψης 2.5kg/cm
Clamping hub (φλάτζα με σφιγκτήρα άξονα)	Εσωτερική διάμετρος 5mm μέγεθος 19.5mm
Coupler αλουμινίου εύκαμπτο	Εξωτερική διάμετρος:25x18mm Εσωτερική:5mm
Βάση βηματικού	Εσωτερική διάμετρος: 31mm
Ράουλα σειρόμενων κουφωμάτων	Σειρά 700 διπλό με τεφλόν
Timing pulley(τροχαλία)	36 δοντιών εσωτερική διάμετρος: 8mm

Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζεται ο βηματικός κινητήρας που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία.



Σχήμα 3.1 Βηματικός Κινητήρας

Το αρχικό προφίλ αλουμινίου που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του δεύτερου συνδέσμου παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 Προφίλ αλουμινίου 10x20mm με μήκος κοπής 15.5cm

Προκειμένου να επιτευχθεί η στήριξη του κινητήρα επιλέχθηκε να μην χρησιμοποιηθεί η υπάρχουσα βάση του βηματικού (Σχήμα 3.3 (α)), αλλά να χρησιμοποιηθεί μια ιδιοκατασκευή που κατασκευάστηκε αποκλειστικά για τη συγκεκριμένη χρήση.



(α)



(β)

Σχήμα 3.3 (α) Αρχικό πλαίσιο στήριξης βηματικού κινητήρα, (β) τροποποιημένο πλαίσιο στήριξης

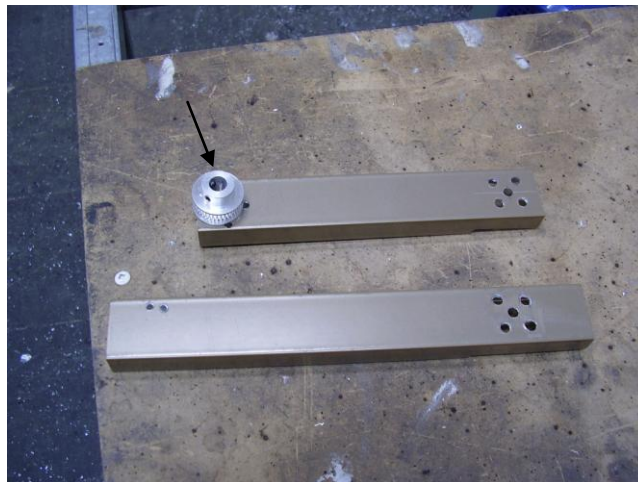
Επειδή δεν υπάρχει η δυνατότητα να γίνει άμεση ζεύξη του βραχίονα με τον άξονα του κινητήρα, οπότε και κρίθηκε αναγκαία η προσθήκη φλάτζας που βιδώθηκε πάνω στον άξονα με εσωτερική διάμετρο 5mm.





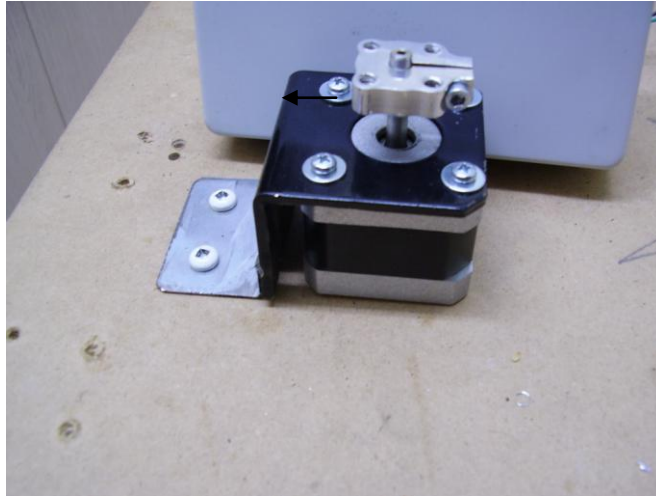
Σχήμα 3.4 Φλάτζα για ζεύξη του βραχίονα με τον άξονα

Στη συνέχεια παρατίθεται το προφίλ αλουμινίου που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του πρώτου συνδέσμου και του δεύτερου τελικού συνδέσμου. Τα συγκεκριμένα προφίλ κόπηκαν με επαγγελματικό πριόνι σε διαστάσεις 23cm-18cm και με την χρήση τροχού κοπήκε το πάνω μέρος προκειμένου να βιδωθούν με την φλάτζα που είναι στον άξονα του κινητήρα, επίσης στον δεύτερο βραχίονα έγινε η αντικατάσταση του ζεύκτη (coupler) με μια τροχαλία ως τελικό εργαλείο. Τα προφίλ παρουσιάζονται στο σχήμα 3.5



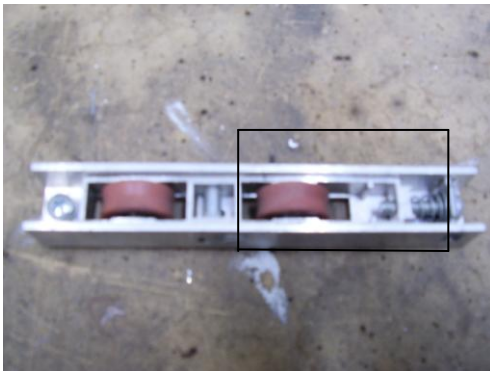
Σχήμα 3.4.1 Προφίλ αλουμινίου 15x30mm με μήκος κοπής 23-18cm

Για να φτιάξουμε την βάση του ρομπότ βιδώσαμε την ιδιοκατασκευή με τον κινητήρα πάνω σε mdf (νοβοπαν) παχους 20mm με διαστάσεις 74x75 cm και προσθέσαμε την φλάτζα για να στηριχθεί ο πρώτος σύνδεσμος.

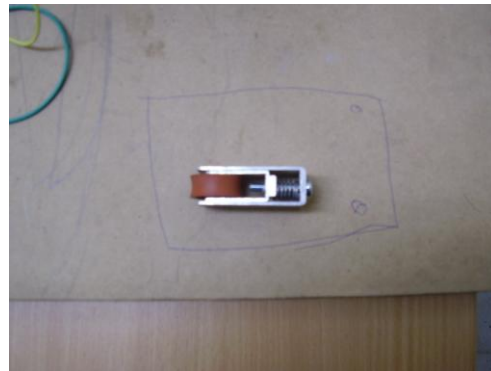


Σχήμα 3.5 Βάση του ρομπότ

Κατά την διάρκεια των δοκιμών παρατηρήθηκε ότι ο πρώτος κινητήρας παρουσίαζε δυσκολία να στρέψει το ρομποτ στην επιθυμητή γωνία λόγω του συνολικού βάρους που ασκούταν στον άξονά του. Για τον λόγο αυτό τοποθετήθηκε ράουλο κύλισης με ρεγουλατόρο προκειμένου να ελέγχουμε το βάρος που ασκείται στον άξονα, να αποφύγουμε το βέλος κάμψης και ως στήριγμα του βραχίονα. Το ράουλο κύλισης αγοράστηκε και τροποποιήθηκε κατάλληλα. Η τροποποίηση έγινε με την κοπή του αρχικού εξαρτήματος με τροχό κοπής και λιμαρίσματος των αιχμών που δημιουργήθηκαν από την κοπή.



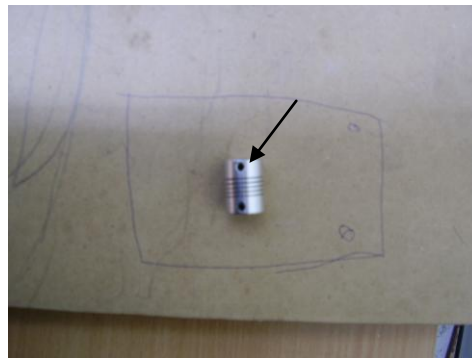
Σχήμα 3.6α Αρχικό ράουλο



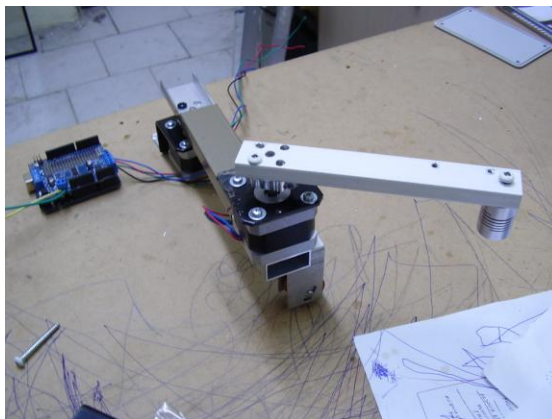
β) Τροποποιημένο ράουλο

Στην πρώτη εκδοχή του ρομπότ χρησιμοποιούμε ως δεύτερο σύνδεσμο (No2) το προφίλ αλουμινίου 10x20 με μήκος κοπής 15.5cm και χρήση ως τελικού εργαλείου τον ζεύκτη (coupler). Η συναρμολόγηση έγινε με την τοποθέτηση του πρώτου συνδέσμου (No1) στον άξονα του πρώτου κινητήρα (No1) βιδώνοντας τον πάνω στην φλάτζα που τοποθετήσαμε χρησιμοποιώντας λαμαρινόβιδες πάχους 3.25mm. Στη συνέχεια

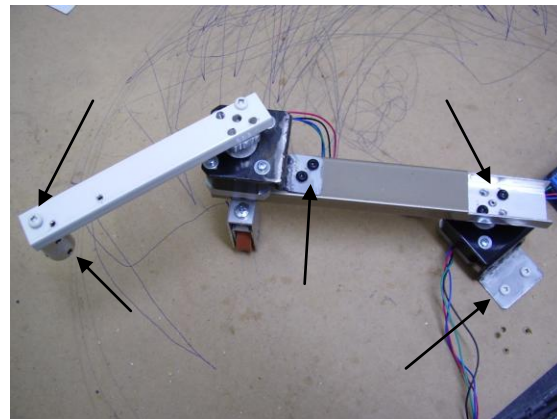
τοποθετήθηκε ο σύνδεσμος (No1) και προστέθηκε το ράουλο κύλισης στην άκρη αυτού, καθώς και η βάση με τον δεύτερο κινητήρα (No2) μέσω τρύπων που είχαμε ανοιξει με τρυπάνι 3mm και τα βιδώσαμε χρησιμοποιώντας λαμαρινόβιδες 3.25 mm. Στη συνέχεια έγινε η τοποθέτηση του δεύτερου συνδέσμου πάνω στον κινητήρα (No2) με το ίδιο τρόπο. Η προσθήκη του ζεύκτη (coupler) έγινε τρυπώντας το άκρο του συνδέσμου (No2) τοποθετώντας τον κάτω απ το προφίλ και κάθετα προς αυτό, χρησιμοποιώντας το ίδιο τρυπάνι με το ίδιο πάχος βίδας μήκους 1.5 cm. Για να μην φύγει από την θέση του ο ζεύκτης χρησιμοποιήσαμε τις βίδες που έχει στο πλαι για την σύμπλεξη για να το σφίξουμε πάνω στην βίδα. Παρακάτω παρατίθενται δύο όψεις με την πρώτη εκδοχή του ρομπότ.



Σχήμα 3.7 Μηχανικός ζεύκτης (coupler)



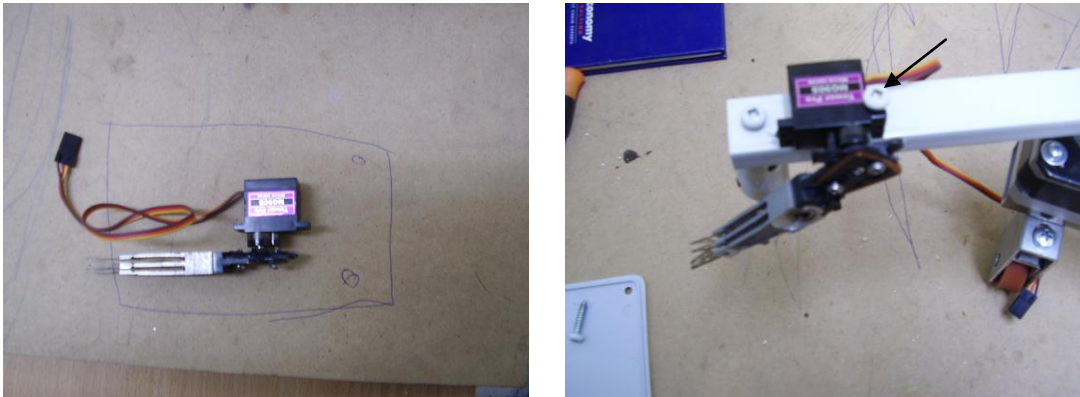
Σχήμα 3.8α Πρωτή όψη του ρομπότ



β) Δεύτερη όψη του ρομπότ

Η αρχική κατασκευή δεν έμεινε ως είχε καθώς υπήρχε περιθώριο για περαιτέρω βελτιώσεις. Η πρώτη ήταν η προσθήκη ενός σεβοκινητήρα όπου θα μπορούσε να κινεί το τελικό στοιχείο δράσης χωρίς πρόβλημα διότι παρατηρήσαμε πως η τοποθέτηση του μολυβιού στο coupler εμπόδιζε την κίνηση του ρομπότ. Για λόγους ευκολίας που σχετίζεται με τον προγραμματισμό και την μοντελοποίηση θεωρούμε και δεν λαμβανουμε υπόψη το κινητήρα ως επιπλέον βαθμό ελευθερίας. Ο κινητήρας τοποθετήθηκε στο σύνδεσμο (No2) τρυπώντας το προφίλ αλουμινίου με τρυπάνι 3mm

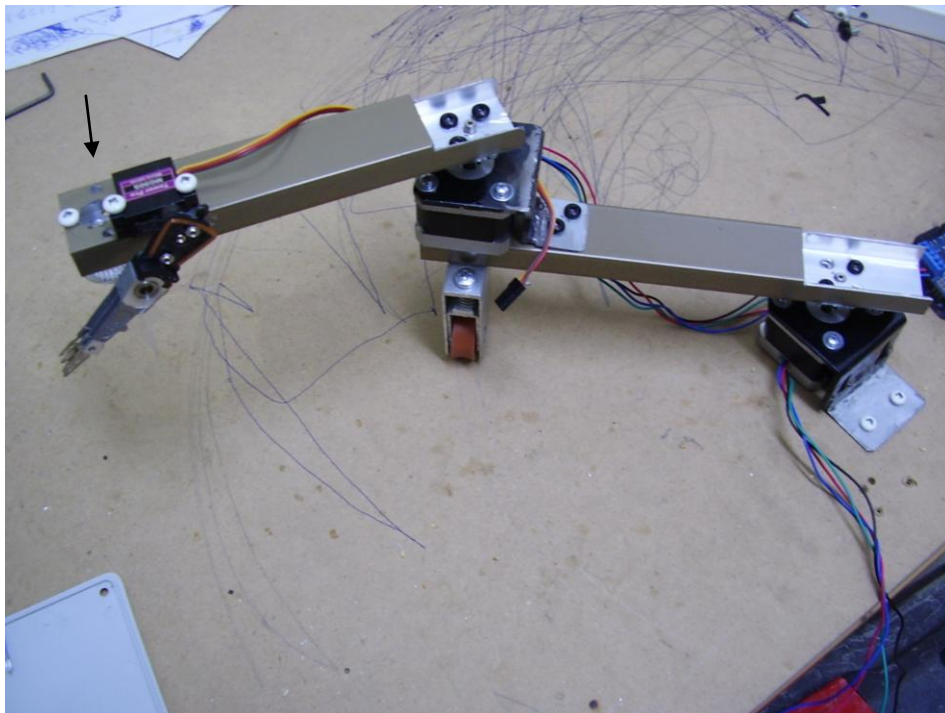
και βιδωνοντάς τον με λαμαρινόβιδες 3.25 mm πάχος και μήκος 1.5cm. Η προσθήκη του servo φενέται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 3.9α Σερβοκινητήρας

β) Ο σερβοκινητήρας στο βραχίονα

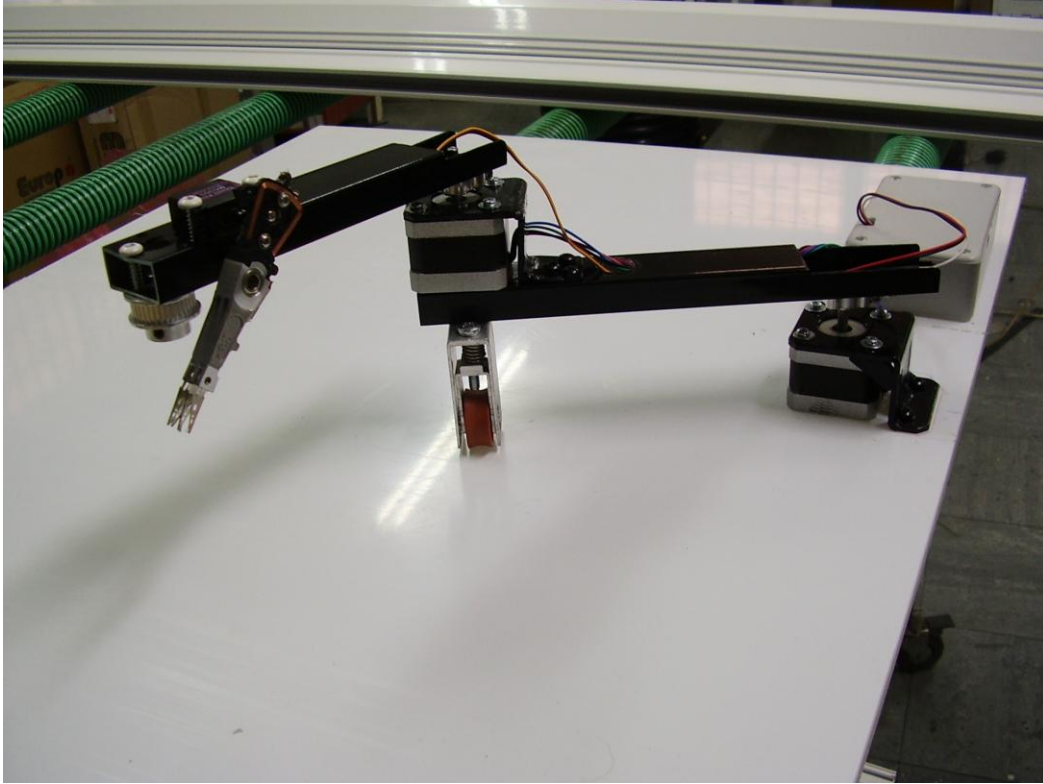
Η δεύτερη είναι η αλλαγή του προφίλ αλουμινίου (10x20mm) του δεύτερου συνδέσμου (No2) και εγκατάσταση ίδιου προφίλ αλουμινίου με αυτό που χρησιμοποιήσαμε για την κατασκευή του πρώτου συνδέσμου (No1) (18x30mm) κοβώντας το με επαγγελματικό πριόνι στα 18cm και κοβώντας το πάνω μέρος με τροχό κοπής, για τις τρύπες στο σύνδεσμο χρησιμοποιήσαμε τρύπανι 3mm και λαμαρινόβιδες 3.25mm, καθώς και η αντικατάσταση του μηχανικού ζεύκτη ως τελικό εργαλείο με τροχαλία όπου η τοποθετησή της έγινε τρυπώντας με λαμαρινόβίδα τον σύνδεσμο και την τροχαλία. Το σχέδιο της δεύτερης εκδοχής του ρομπότ παρουσιάζεται στο σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7 Δεύτερη εκδοχή του ρομπότ



Στο τελικό στάδιο της κατασκευής του βραχίονα περάστηκε ηλεκτροστατική βαφή μαύρου χρώματος όπως και στις βάσεις των κινητήρων. Το ρομπότ τοποθετήθηκε σε βάση από πλέξιγκλας και ο μικροελεγκτής τοποθετήθηκε σε κουτί δίπλα από το ρομπότ. Η φωτογραφία με την τελική εκδοχή του ρομπότ παρατίθενται παρακάτω.



*Σχήμα 3.8 Τελική εκδοχή του ρομπότ*

### 3.2 ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤ

Για τον έλεγχο των βηματικών μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή χρησιμοποιήσαμε την πλατφόρμα Arduino που αποτελείται από έναν μικροελεγκτή ATmega328 της εταιρείας Atmel. Το Arduino είναι μια πλατφόρμα ανοικτού κώδικα που βασίζεται σε λογισμικό και υλικό όπου είναι εύκολο και προσίτο στον χρήστη. Η γλώσσα προγραμματισμού του Arduino είναι μια παραλλαγή της γλώσσας C και η επικοινωνία με τον υπολογιστή γίνεται μέσω usb θύρας. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα έχει πολλές εκδόσεις με επιπρόσθετες ή διαφορετικές δυνατότητες, στην εργασία αυτή χρησιμοποιήσαμε την έκδοση Arduino R3. Η τάση λειτουργίας του  $\mu/E$  είναι στα 5V και τροφοδοτείται από την usb θύρα του υπολογιστή ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα να δέχεται εξωτερική τροφοδοσία 7-12V αφού υπάρχει το κατάλληλο βύσμα πάνω στην πλακέτα. Η έκδοση που χρησιμοποιήσαμε αποτελείται από 14 ψηφιακές εισόδους/εξόδους από τις οποίες οι 6 είναι αναλογικές και παρέχουν την δυνατότητα για

\_pwm διαμόρφωση. Οι στάθμες εξόδου του ελεγκτή είναι της τάξεως των 5V με μέγιστο ρεύμα 40-50mA για κάθε pin.



*Σχήμα 3.2.1 Arduino*

Επειδή όμως δεν μπορούμε να συνδέσουμε άμεσα τον  $\mu/E$  με τους βηματικούς γιατί μπορεί να δώσει μόνο μέχρι 50mA μέγιστο ρεύμα ανα pin ήταν αναγκαία η χρήση ενός εξωτερικού κυκλώματος ισχύος όπου θα ανέβάζε το ρεύμα των παλμων του  $\mu/E$  έτσι ώστε να υπάρχει περιστροφή των βηματικών χωρίς να καταστρέψουμε την πλακέτα.

Αυτό το πετύχαμε με την αγορά εξωτερικής πλακέτας που ανήκει στην κατηγορία των πλακέτων που προσαρμόζονται στον arduino (shields) και εκτελούν μια συγκεκριμένη λειτουργία, το συγκεκριμένο shield χρησιμοποιείται μόνο για τον έλεγχο κινητήρων χαμηλής ισχύος (dc,servo,stepper), έχει την ονομασία motorshield v2 και διανέμεται απο την εταιρεία adafruit. Η πλακέτα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 3.2.2 Το shield προσαρμοσμένο στον Arduino

Η επικοινωνία του shield και του arduino μέσω του υπολογιστή επιτυγχάνεται από έτοιμες βιβλιοθήκες που δίνει η εταιρεία κατασκευής του shield και περιλαμβάνουν έτοιμες εντολές για την φορά, την ταχύτητα και το είδος του κινητήρα που θέλουμε να κινήσουμε.

Στη πτυχιακή εργασία η επικοινωνία του arduino με τον υπολογιστή έγινε μέσω Matlab. Για να γίνει αυτό κατεβάσαμε από το site της mathworks έτοιμα pde αρχεία που επιτρέπουν τον χειρισμό των εισόδων και των εξόδων του arduino μέσα από το Matlab καθώς και την εγκαθίδρυση συνδεσμού επικοινωνίας του arduino με το Matlab. Ένα παράδειγμα δίνεται παρακάτω.

```
a=arduino('COM3');
a stepperSpeed(1,10);
a stepperSpeed(2,50);
a stepperStep(1,'backward','single',20);
a stepperStep(2,'forward','single',20);
```

Στο παράδειγμα αυτό εγκαθιστούμε πρώτα το link επικοινωνίας γράφοντας σε ποια θύρα είναι συνδεδεμένος ο ελεγκτής. Στις δυο πρώτες γραμμές αρχικοποιούμε την ταχύτητα περιστροφής που θέλουμε να έχει ο κάθε κινητήρας δίνοντας τον αριθμό του βηματικού και την ταχύτητα περιστροφής η οποία είναι από 0-255, αρχικοποιούμε δύο μόνο κινητήρες γιατί το shield είναι σχεδιασμένο για τον έλεγχο μόνο δύο βηματικών με βήμα 1.8°. Στις δυο τελευταίες γραμμές δίνουμε εντολές για τον βηματικό που θα

περιστρέψουμε, την φορά περιστροφής, την λειτουργία του κινητήρα και τα βήματα που θα κάνει τα οποία είναι απο 0-200 για κινητήρα με ανάλυση 1.8°/βήμα.

Οσόν αφορά την λειτουργία του βηματικού το shield μας δίνει τεσσερις επιλογές single, double, interleave, microstep.

Single: Λειτουργία μονού πηνίου του κινητήρα.

Double: Λειτουργία διπλού πηνίου του κινητήρα για μεγαλύτερη ροπή

Interleave: Ο κινητήρας εναλλάσσεται μεταξύ των λειτουργιών μονού και διπλού πηνίου για να έχει την διπλάσια ανάλυση μειωνοντας όμως την ταχυτητά του κατά 50%.

Microstep: Είναι μια μέθοδος όπου τα πηνία του κινητήρα δημιουργούν μια ομαλή κίνηση μεταξύ των βημάτων ανεβάζοντας την ροπή και ανεβάζοντας την ανάλυση του κινητήρα απο 1.8/βήμα σε 0.9/βήμα.

Η μεταφόρτωση των pde αρχείων γίνεται στον arduino απο το δικο του περιβάλλον ανάπτυξης και ο χρήστης δεν χρειάζεται να κάνει τιποτα άλλο για την επικοινωνία με τον υπολογιστή αφού μόλις γράψει την παραπάνω εντολή με την θύρα που βρισκεται συνδεδεμενος ο ελεγκτής, το Matlab τον αναγνωρίζει αυτόματα μεσω του firmware. Επίσης το pde αρχείο εκτός απο την επικοινωνία φορτώνει και όλες τις εντόλες που χρησιμοποιεί ο arduino. Υπάρχουν πολλά pde αρχεία που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ανάλογα την εφαρμογή, στην συγκεκριμενη περιπτωση χρησιμοποιήσαμε το motor\_v2.pde .



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

#### 4.1 ΕΥΘΥ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Το ευθύ κινηματικό πρόβλημα συνιστάται στον υπολογισμό της θέσης και του προσανατολισμού του άκρου εργασίας για δοθείσες τιμές των παραμέτρων των αρθρώσεων των γωνιών  $\theta_1$  και  $\theta_2$  στην περίπτωση του βραχίονα της πτυχιακής οπου κινείται στο επίπεδο και είναι 2 βαθμών ελευθερίας. Σε αυτό το σημείο αξίζει να πούμε πως επειδή ο βραχίονας κινείται στο επίπεδο x-y η συντεταγμένη στον άξονα  $z_0$  του άκρου εργασίας είναι 0 για οποιεσδήποτε τιμές των γωνιών  $\theta_1, \theta_2$ . Επίσης ο προσανατολισμός του άκρου εργασίας είναι ουσιαστικά  $\text{rotz}(\theta_1 + \theta_2)$  εφόσον ο βραχίονας κινείται στο επίπεδο και η συνολική στροφή του ως προς τον άξονα  $z_0$  είναι  $\theta_1 + \theta_2$  η κίνηση του βραχίονα λαμβάνει υπόψη και τα μήκη των συνδέσμων που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό του σημείου προσέγγισης. Στον επόμενο πίνακα δίνουμε τις διαστάσεις των συνδέσμων του βραχίονα.

Πίνακας 4.1 Μήκοι συνδέσμων

Σύνδεσμοι	Μήκος σε εκατοστά (cm)
L1	23cm
L2	18cm

Παρακάτω είναι οι πίνακες περιστροφής και ομογενούς μετασχηματισμού του ρομποτ:

Πίνακας περιστροφής  $\text{rotz}$  για γωνία  $\theta_1$

$$T1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Πινάκας με το μήκος του πρώτου συνδέσμου L1

$$T2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Πολλαπλασιάζοντας τους δύο πίνακες πέρνουμε το γινόμενο του πρώτου πίνακα ομογενούς μετασχηματισμού T01 για τον πρώτο σύνδεσμο του βραχίονα.

$$T01 = T1 * T2$$

T01 =

$$\begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 & L1 * \cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) & 0 & L1 * \sin(\theta_1) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Παρακάτω έχουμε τον πολλαπλασιασμό των πινάκων για γωνία στροφής  $\text{rotz}\theta_2$

Πινάκας περιστροφής  $\text{rotz}$  για γωνία  $\theta_2$

$$T3 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Πινάκας με το μήκος του δεύτερου συνδέσμου L2

$$T4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ομοίως από το γινόμενο των δυο πινάκων προκύπτει το αποτέλεσμα του ομογενούς πίνακα μετασχηματισμού για τον δεύτερο σύνδεσμο.

$$T_{12}=T_3*T_4$$

$$T_{12} =$$

$$[\cos(\theta_2), -\sin(\theta_2), 0, L_2*\cos(\theta_2)$$

$$\sin(\theta_2), \cos(\theta_2), 0, L_2*\sin(\theta_2)$$

$$0, 0, 1, 0$$

$$0, 0, 0, 1]$$

Πολλαπλασιάζοντας τα γινόμενα των δυο πίνακων που προέκυψαν για τον πρώτο και τον δεύτερο σύνδεσμο  $T_{01}$  και  $T_{12}$  παίρνουμε τον συνολικό πίνακα ομογενούς μετασχηματισμού του ρομπότ σε απλοποιημένη μορφή.

$$T_{02} =$$

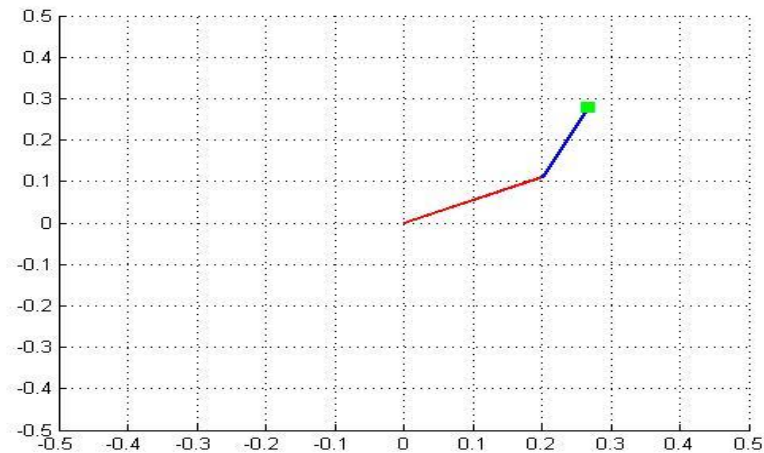
$$[\cos(\theta_1 + \theta_2), -\sin(\theta_1 + \theta_2), 0, L_2*\cos(\theta_1 + \theta_2) + L_1*\cos(\theta_1)$$

$$\sin(\theta_1 + \theta_2), \cos(\theta_1 + \theta_2), 0, L_2*\sin(\theta_1 + \theta_2) + L_1*\sin(\theta_1)$$

$$0, 0, 1, 0$$

$$0, 0, 0, 1]$$

Έτσι εάν δώσουμε τις τιμές των γωνιών  $\theta_1$  και  $\theta_2$  σε rads θα εκτελεστούν οι παραπάνω πράξεις και ο βραχίονας θα κινηθεί με βάση τις γωνίες  $\theta_1$  και  $\theta_2$ . Εστω ότι δίνουμε  $\theta_1=0.5$ ,  $\theta_2=0.7$  ο βραχίονας θα πρέπει να κινηθεί στις  $28.6^\circ$  και  $40^\circ$ .



Σχήμα 4.2.1 Κίνηση του ρομπότ κατά γωνίες  $\theta_1-\theta_2$

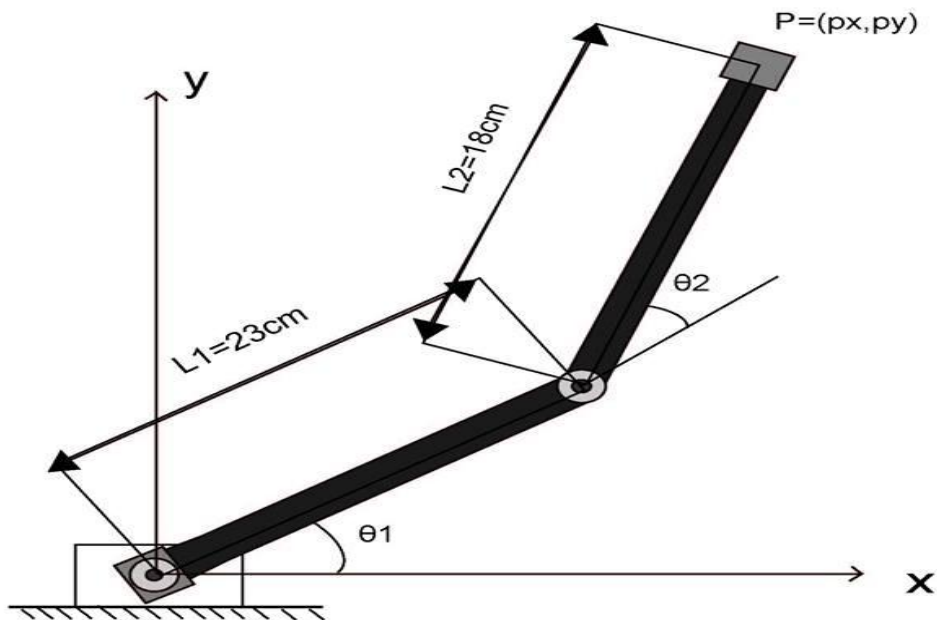
Πράγματι ο βραχίονας κίνησης με βάση τις γωνίες που του δώσαμε όπως φέεται και στο γράφημα.

## 4.2 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Προκειμένου να μπορέσει ένα ρομπότ να τοποθετήσει το άκρο εργασίας του σε κάποια επιθυμητή θέση στο επίπεδο  $px-ry$  χρειάζεται να επιλυθεί το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα δηλαδή να προσδιοριστούν οι γωνίες  $\theta_1-\theta_2$  των αρθρώσεων οι οποίες θα φέρουν το άκρο εργασίας στην θέση αυτή λαμβάνοντας και έδω υπόψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των συνδέσμων του ρομπότ. Η επίλυση του προβλήματος έγινε χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις  $px-ry$  που χρησιμοποιούνται για το ευθύ κινηματικό πρόβλημα.

$$P_x = L_1 * \cos(\theta_1) + L_2 * \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$P_y = L_1 * \sin(\theta_1) + L_2 * \sin(\theta_1 + \theta_2)$$



Εικόνα 4.2.1 Άνω όψη του βραχίονα και υπολογισμός γωνιών  $\theta_1-\theta_2$

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει:

$$Px^2 + Py^2 = L1^2 + L2^2 + 2L1 * L2 * \cos(\theta2)$$

$$\cos(\theta2) = \frac{Px^2 + Py^2 - L1^2 - L2^2}{2 * L1 * L2}$$

Για να βρούμε το ημίτονο της  $\theta2$ :

$$\sin(\theta2) = \pm\sqrt{1 - \cos^2(\theta2)}$$

Άρα η γωνία  $\theta2$  μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$\theta2 = ATAN2(\pm \sin(\theta2), \cos(\theta2))$$

Η συνάρτηση ATAN2 εκφράζει την αντίστροφη εφαπτομένη με δύο ορίσματα, το πρώτο εκ των οποίων αντιστοιχεί στην τιμή του ημιτόνου της γωνίας ενώ το δεύτερο στην τιμή του συνημιτόνου. Κατ' αυτό τον τρόπο είναι δυνατός ο μονοσήμαντος υπολογισμός της ζητούμενης γωνίας καθότι είναι γνωστό και το τεταρτημόριο στο οποίο αυτή βρίσκεται. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα υπάρχουν στην γενική περίπτωση δυο λύσεις για το  $\theta2$  με ίσο μέτρο και αντίθετο πρόσημο στο ρομπότ της διπλωματικής επιλέγουμε την γωνία της πρώτης λύσης.

Για να υπολογίσουμε την γωνία  $\theta1$  γράφουμε τις εξισώσεις για το ευθύ κινηματικό πρόβλημα ως εξής:

$$Px = (L1 + L2 * \cos(\theta2)) * \cos(\theta1) + (-L2 * \sin(\theta2)) * \sin(\theta1)$$

$$Py = (L2 * \sin(\theta2)) * \cos(\theta1) + (L1 + L2 * \cos(\theta2)) * \sin(\theta1)$$

Λύνοντας τις παραπάνω εξισώσεις ως προς  $\sin(\theta1)$  και  $\cos(\theta1)$  προκύπτει:

$$\sin(\theta1) = Px * (-L2 * \sin(\theta2)) + Py * (L1 + L2 * \cos(\theta2))$$

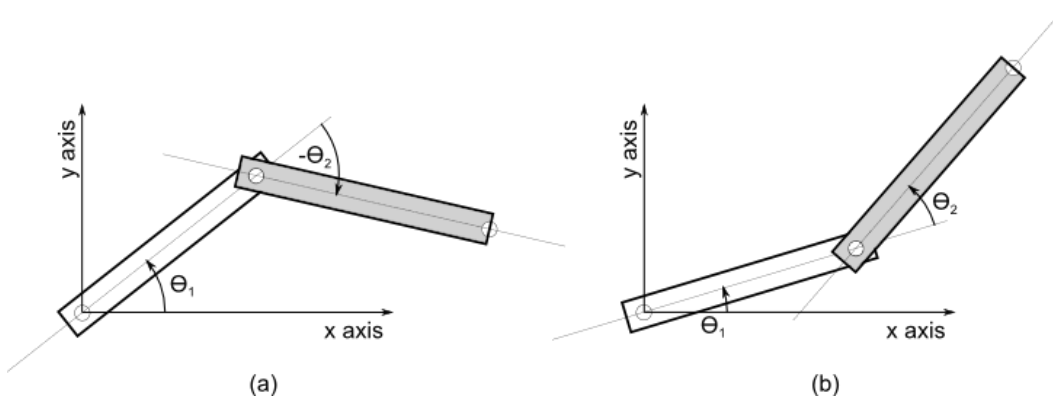
$$\cos(\theta1) = Px * (L1 + L2 * \cos(\theta2)) + Py * (L2 * \sin(\theta2))$$

Οπότε για τον υπολογισμό της γωνίας  $\theta1$  έχουμε:

$$\theta1 = ATAN2(-L2 * \sin(\theta2) * Px + [L1 + L2 * \cos(\theta2)] * Py, L2 * \sin(\theta2) * Py + [L1 + L2 * \cos(\theta2)] * Px)$$

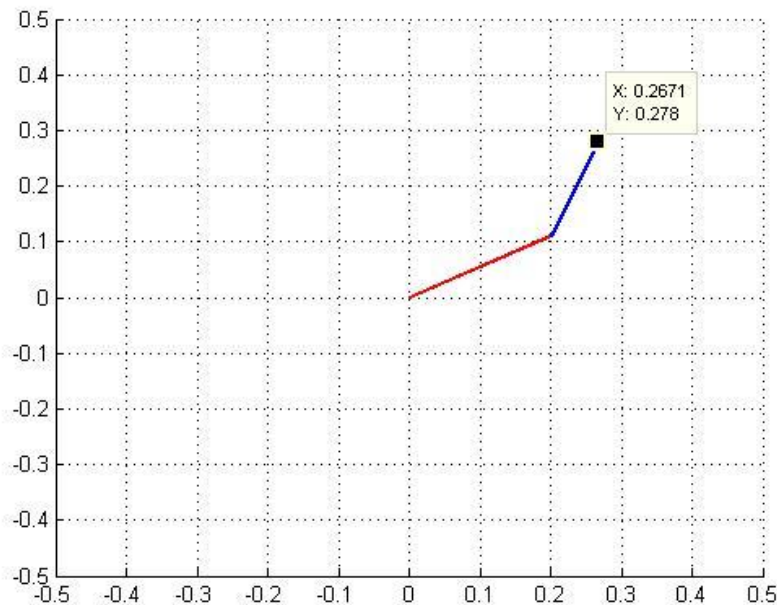
Άρα για κάθε τιμή του  $\theta2$  υπάρχει μια μόνο τιμή για το  $\theta1$ . Συνεπώς στη γενική περίπτωση υπάρχουν δύο αντίστροφες κινηματικές λύσεις για τον επίπεδο βραχίονα δύο συνδέσμων. Οι λύσεις αυτές ονομάζονται λύση ΑΓΚΩΝΑ ΠΑΝΩ (ELBOW UP) και ΑΓΚΩΝΑ ΚΑΤΩ (ELBOW DOWN) για τις οποίες ισχύει ότι  $-180 < \theta2 < 0$  και  $0 < \theta2 < 180$ . Πρέπει να τονισθεί ότι στις παραπάνω εξισώσεις πρέπει να ικανοποιείται η σχέση  $|\cos(\theta2)| \leq 1$  εάν αυτό δεν συμβαίνει τότε δεν υπάρχει πραγματική λύση για το  $\theta2$

και επομένως δεν υπάρχει λύση του αντιστρόφου κινηματικού προβλήματος. Εάν όμως  $|\cos(\theta_2)|=1$  δηλαδή οι συντεταγμένες  $p_x-p_y$  να είναι πάνω στα όρια του χώρου εργασίας τότε υπάρχει μόνο μια λύση  $\theta_2=0$  όταν οι συντεταγμένες βρίσκονται πάνω στο εξωτερικό όριο του χώρου εργασίας και ο βραχίονας είναι σε πλήρη έκταση και  $\theta_2=180$  όταν βρίσκονται στο εσωτερικό όριο εργασίας και ο βραχίονας είναι πλήρως συνεπτυγμένος. Οι λύσεις ELBOW UP & DOWN του βραχίονα αναπαρίστανται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 4.2.2 Οι δύο λύσεις του βραχίονα

Έτσι δίνοντας τις συντεταγμένες  $x=0.2671$ ,  $y=0.278$  σύμφωνα με τις τριγωνομετρικές εξισώσεις που αναπτύχθηκαν παραπάνω θα έχουμε ως αποτέλεσμα τις γωνίες στροφής των συνδέσμων σε radians.



Εικόνα 4.2.3 Κίνηση του βραχίονα με βάση τις τιμές X-Y

Πράγματι όπως φέεται και στο γράφημα ο βραχίονας κινείται με βάση τις συντεταγμένες  $x-y$  που του δώσαμε δίνοντας σαν αποτέλεσμα τις τιμές των γωνιών

$\theta_1=0.49$  και  $\theta_2=0.7$  εαν μετατρέψουμε τα radians σε μοίρες έχουμε  $\theta_1=28^\circ$  και  $\theta_2=40^\circ$  επίσης παρατηρούμε πως ο βραχίονας ακολουθεί την λύση ΑΓΚΩΝΑΣ ΚΑΤΩ.

#### 4.2.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΜΕΣΩ Η/Υ

Στο συγκεκριμένο εδάφιο θα αναλύσουμε τον έλεγχο του ρομποτικού βραχίονα μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ο υπολογιστής επικοινωνεί με τον βραχίονα μέσω του Arduino και του Matlab όπως αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ο έλεγχος του βράχιονα γίνεται μέσω του Matlab με χρήση των m-files που αναπτύξαμε και αναλύουν το ευθύ και αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα επίσης αναπτύξαμε και άλλο ένα m-file για τον έλεγχο των κινητήρων. Τα m-files για την κίνηση του βραχίονα καλούνται απ' το command window πληκτρολογώντας τ' όνομα στο οποίο τα έχουμε αποθηκεύσει και τους δίνουμε τις συντεταγμένες που επιθυμούμε να κίνηθει ο βραχίονας. Εάν θέλουμε να δώσουμε γωνίες στροφής  $\theta_1$ - $\theta_2$  καλούμε το m-file με το ευθύ κινηματικό πρόβλημα. Εαν θέλουμε να του δώσουμε συντεταγμένες που θα κινηθεί στον χώρο εργασίας Px-Py καλούμε το m-file με το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα.

Και τα δύο m-file καλούν με την σειρά τους ένα τρίτο m-file που δίνει εντολές στον ελεγκτή και ελέγχει την περιστροφή των κινητήρων. Σ' αυτό το σημείο αξίζει ν' αναφέρουμε οτι επειδή οι κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι βηματικοί και όχι servo δεν έχουν έλεγχο θέσης της γωνίας στην οποία βρίσκεται ο άξονας. Για να έχουμε έλεγχο της θέσης αφαιρούμε την νέα γωνία απο την προηγούμενη και η διαφορά τους μας δίνει πόσες μοίρες χρειάζεται να περιστραφεί ο άξονας για να φτάσει στην ζητούμενη γωνία. Εαν η προηγούμενη γωνία είναι μεγαλύτερη απο την νέα γωνία η διαφορά τους έχει αρνητικό πρόσημο και ο κινητήρας γνωρίζει μεσω του προγράμματος οτι πρέπει να στρέψει τον άξονα στην αντίθετη φορά στις μοίρες που προκύπτουν από την αφαίρεση.

#### 4.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την διάρκεια της εργασίας είδαμε πως είναι σε μικρή κλίμακα η σχεδίαση και η ανάπτυξη ενός ρομποτικού βραχίονα. Παρατηρήσαμε επίσης την ποικιλία των υλικών που υπάρχουν στο εμπόριο για την ανάπτυξη παρόμοιων εφαρμογών. Για την ανάπτυξη ενός ρομποτικού βραχίονα υπάρχουν πολλοί και διαφορετικοί τρόποι κατασκευής και κριτήρια, στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία η κατασκευή του βραχίονα έγινε με κριτήριο το χαμηλό κόστος και την απόδοση. Η ανάπτυξη του λογισμικού έγινε απο open source λογισμικό που διανέμεται δωρεάν στο ιντερνετ απο το site του Arduino : [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc). Το πρόγραμμα ελέγχου έχει αναπτυχθεί σε περιβάλλον Matlab που το χρησιμοποιούμε στην σχολή καθόλη την διάρκεια των σπουδών. Οι βηματικοί που χρησιμοποιήθηκαν είναι βιομηχανικού τύπου χαμηλής ισχύος. Τα προβλήματα που

προέκυψαν είχαν σχέση με το μηχανικό μέρος τα οποία ξεπέραστικαν με προσθήκη ή τροποποίηση των προβληματικών σημείων όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.





## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Industrial robot photo url:

<http://imgkid.com/industrial-robot-arm.shtml>

2. Medical robot photo url:

[http://www.surgical-tribune.com/articles/business/americas/8779\\_international\\_medical\\_robots\\_market\\_worth\\_3764\\_million\\_by\\_2018.html](http://www.surgical-tribune.com/articles/business/americas/8779_international_medical_robots_market_worth_3764_million_by_2018.html)

3. Educational robot arm url:

<http://larryo.org/work/robotics/roboticsHardware.html>

4. IR sensor url:

<http://www.bizoner.com/sharp-gp2y0a02yk-ir-ranger-sensor-p-375.html>

5. Ultra Sonic sensor url:

<http://www.bobandeileen.com/?p=570>

6. DC motor url :

<http://www.batteryspace.com/dcmotorheavyduty90vdcmotor36w2000rpm.aspx>

7. Sevo motor url:

<http://apcmag.com/arduino-project-4-enhancing-your-mini-robot.htm/>

8. Stepper motor url:

[http://simple.wikipedia.org/wiki/Stepper\\_motor](http://simple.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor)

9. Joints of freedom url:

<http://www.mathworks.com/help/physmod/sm/ug/joints.html>

10. Pdf for inverse kinematics:

[http://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.hessmer.org%2Fuploads%2FRobotArm%2FInverse%252520Kinematics%252520for%252520Robot%252520Arm.pdf&ei=GRUIVZu-Guu57gb7rIG4Dg&usg=AFQjCNFdm9up41HIc\\_aOOQm09SVHWsAf2A&bvm=bv.88198703,d.ZGU](http://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.hessmer.org%2Fuploads%2FRobotArm%2FInverse%252520Kinematics%252520for%252520Robot%252520Arm.pdf&ei=GRUIVZu-Guu57gb7rIG4Dg&usg=AFQjCNFdm9up41HIc_aOOQm09SVHWsAf2A&bvm=bv.88198703,d.ZGU)

11. Σημειώσεις εργαστηρίου ρομποτικής: Γεώργιος Ν. Φουσκιτάκης Ρομποτική και Εφαρμογές.

12. Ρομποτική 3 έκδοση Δ. Μ. Εμίρης και Δ. Ε. Κουλουριώτης

13. Using MATLAB with Arduino:

<http://www.mathworks.com/hardware-support/arduino-matlab.html>

14. Πτυχιακή Θωμάς Σακάρος Κατασκευή και έλεγχος ΚΑΡΒ 4 βαθμών ελευθερίας.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κώδικες που αναπτύχθηκαν στο MATLAB μέσω m-file και παρατίθενται παρακάτω.

### Ονομασία m-file, δήλωση εισόδων και μήκος των συνδέσμων:

```
Inverse_kinematics( X,Y )
    px=X;  py=Y;
    L1=(23*10^-2);
    L2=(18*10^-2);
```

### Υπολογισμός συνημιτονου, ημιτόνου και εύρεση της γωνίας θ2

```
costh2=(px^2+py^2-L1^2-L2^2)/(2*L1*L2);
sinh2=sqrt(1-costh2^2);
gonia2=atan2(sinh2, costh2);
```

### Υπολογισμός συντέταγμένων k1, k2 και r

```
k1=L1+L2*costh2;
k2=L2*sinh2;
r=sqrt((k1^2)+(k2^2));
```

### Υπολογισμός της γωνίας θ1 και αποστολή των τιμών θ1 & θ2 στο m-file του ευθέους κινηματικού προβλήματος

```
gonia1=atan2(py, px)-atan2(k2, k1);
forwardkin(gonia1,gonia2)
```

**M-file ευθέους κινηματικού προβλήματος****Όνομασία m-file ,δήλωση εισόδων ,μήκος συνδέσμων**

```

forwardkin(in1, in2)

l1=0.23; l2=0.18;

figure,grid,axis([-0.5 0.5 -0.5 0.5]),hold on

theta=in1;                theta2=in2;

```

**Πίνακες περιστροφής και ομογενούς μετασχηματισμού πρώτου συνδέσμου**

```

T1=[cos(theta) -sin(theta) 0 0
    sin(theta)  cos(theta) 0 0
         0          0 1 0
         0          0 0 1];

T2=[1 0 0 l1 ; 0 1 0 0; 0 0 1 0; 0 0 0 1];

T01=T1*T2;

```

**Πίνακες περιστροφής και ομογενούς μετασχηματισμού δεύτερου συνδέσμου και συνολικός πίνακας μετασχηματισμού**

```

T3=[cos(theta2) -sin(theta2) 0 0
    sin(theta2)  cos(theta2) 0 0
         0          0 1 0
         0          0 0 1];

T4=[1 0 0 l2; 0 1 0 0; 0 0 1 0; 0 0 0 1];

T12=T3*T4;

T02=T01*T12;

```

**Αναπαράσταση του ρομπότ και του σημείου στο οποίο βρίσκεται.**

```
plot([0 T01(1,4)], [0 T01(2,4)], 'r-', 'linewidth', 2)
plot([T01(1,4) T02(1,4)], [T01(2,4) T02(2,4)], 'b-', 'linewidth', 2)
plot(T02(1,4), T02(2,4), 'sg', 'markerfacecolor', 'g')
```

**Μετατροπή των radians σε μοίρες και αποστολή στο m-file ελέγχου των κινητήρων.**

```
th1=(theta*180)/pi , th2=(theta2*180)/pi
Elegxos(th1,th2)
```

**M-file ελέγχου κινητήρων****Δήλωση εισόδων, μεταβλητών εγκατάσταση link με τον Arduino και καθορισμός ταχύτητας κινητήρων**

```
Elegxos(inp,inp2)

global th1old th2old ;

th1=inp;
th2=inp2;

a=arduino('COM3');
a stepperSpeed(1,10);
a stepperSpeed(2,50);
```

**Αφαίρεση τιμών**

```
stepvalue1=th1-th1old
th1old=th1;

stepvalue2=th2-th2old
th2old=th2;
```

**Γενική συνθήκη ελέγχου των κινητήρων**

```
if(th1 || th2<= 180)

    elseif(th1>180 || th2>180 ||th2==180)

disp ('Oi times twn goniwn einai poly megales dokimase mikroteres')

    stepvalue2=0;

    end

end
```

**Συνθήκη ελέγχου κινητήρα του 1ου συνδέσμου**

```

if (stepvalue1>0)

a.stepperStep(1,'forward','microstep',int32(stepvalue1/1.8));

end

if (stepvalue1<0)

positiveval=abs(stepvalue1);
a.stepperStep(1,'backward','microstep',int32(positiveval/1.8));

end
    
```

**Συνθήκη ελέγχου κινητήρα του 2ου συνδέσμου**

```

if (stepvalue2>0)

a.stepperStep(2,'forward','microstep',int32(stepvalue2/1.8));

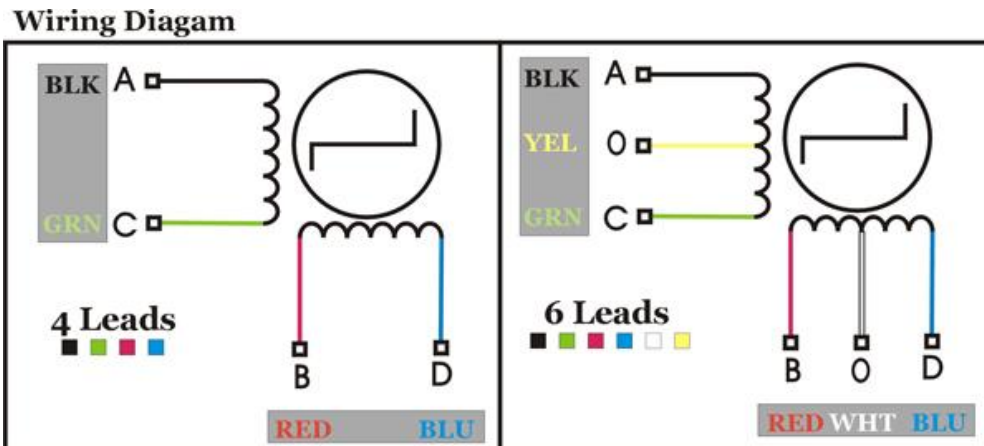
end

if (stepvalue2<0)

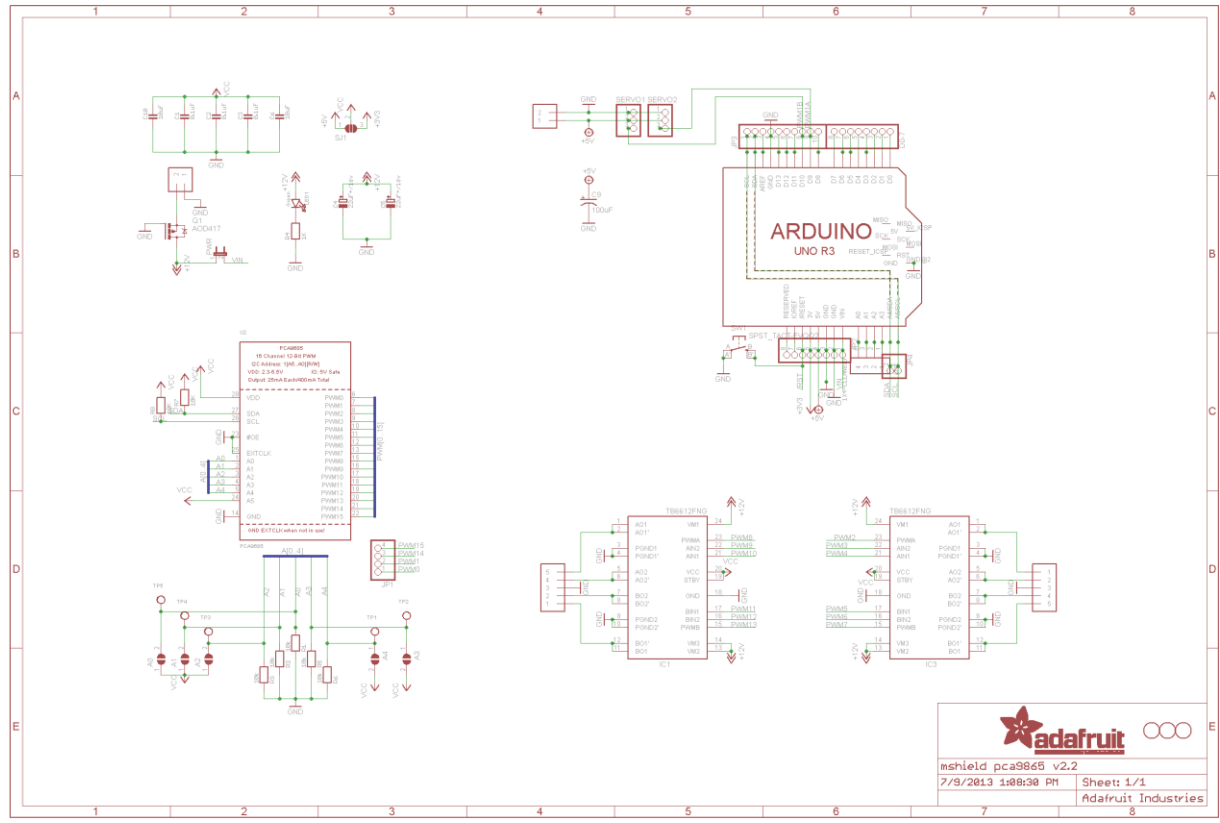
positiveval2=abs(stepvalue2);
a.stepperStep(2,'backward','microstep',int32(positiveval2/1.8));

end
    
```

**Διάγραμμα καλωδίωσης Stepper**



**Σχηματικό διάγραμμα shield του Arduino**





ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

ΕΞΑΡΤΗΜΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ
ArduinoUno R3	1	11.50€
Motor Shield V2	1	28€
Stepper motor NEMA17	2	18€
Plexiglass	1	50€
Clamping Hub 5mm	2	8.5€
Aluminium Flex shaft coupler 5mm	1	3.6€
Sevo motor	1	9.90€
Stepper motor mount	2	6.40€
		Σύνολο:168.8€