

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

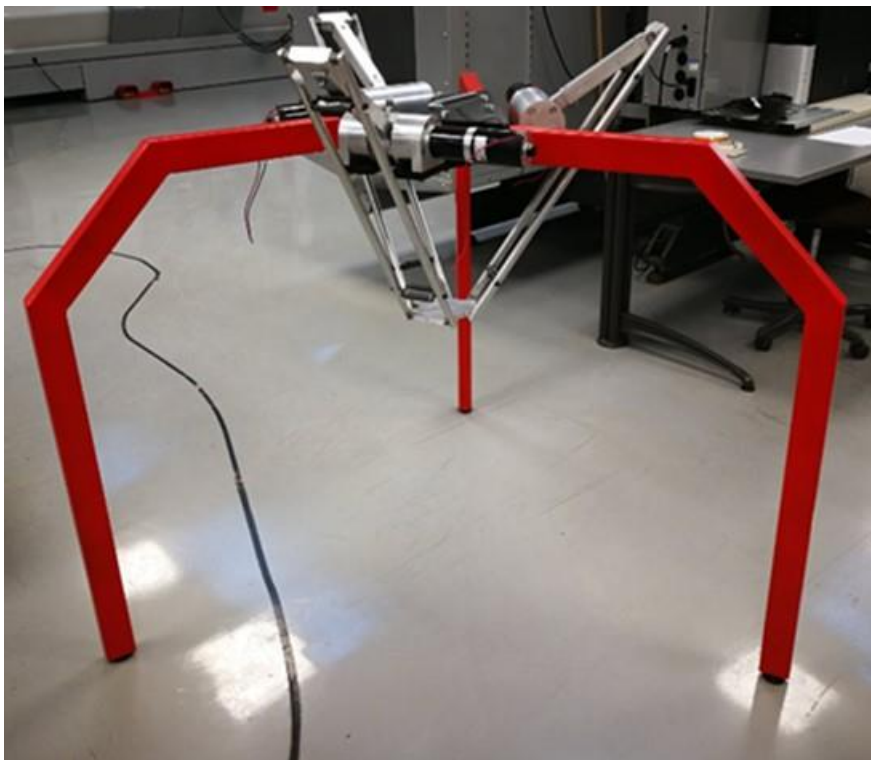


HELLENIC
MEDITERRANEAN
UNIVERSITY OF CRETE

DEPARTMENT OF
MECHANICAL ENGINEERS

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΥ ΡΟΜΠΟΤ ΤΥΠΟΥ ΔΕΛΤΑ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΓΑΛΕΡΟΣ ΜΙΧΑΗΛ ΤΜ6088

ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΜ5978

ΣΠΑΘΑΡΑΚΗΣ ΒΑΓΓΕΛΗΣ - ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΜ5974

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΚΑΒΒΟΥΣΑΝΟΣ

Περιεχόμενα

Σκοπός της εργασίας	1-iv
Περίληψη.....	1-v
Abstract	1-vi
1 Εισαγωγή	1-1
1.1 Γενική ρομποτική.....	1-1
1.2 Ρομποτικοί χειριστές	1-2
1.2.1 Βασικές κατηγορίες	1-2
1.2.2 Ταξινόμηση ρομποτικών συστημάτων με βάση την Αρχή Λειτουργίας	1-3
1.2.3 Ταξινόμηση ρομποτικών συστημάτων με βάση Μέθοδος Ελέγχου Κίνησης	1-3
1.2.4 Γεωμετρικός Σχηματισμός	1-4
1.3 Παρόν και Μέλλον της ρομποτικής.....	1-16
2 Η εφεύρεση του Delta ρομπότ.....	2-21
2.1 Το μέλλον της ρομποτικής	2-23
3 Ο ρομποτικός χειριστής τριών βαθμών ελευθερίας τύπου Δέλτα	3-25
3.1 Παρουσίαση-η σύνθεση του Delta ρομπότ	3-25
3.1.1 Αρχές λειτουργίας	3-28
3.1.2 Εφαρμογές του ρομποτικού χειριστή τύπου Δέλτα.....	3-31
3.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του ρομποτικού χειριστή τύπου δέλτα.	3-34
3.2 Εμπορικά βιομηχανικά μοντέλα	3-34
4 Κινηματική ανάλυση	4-38
4.1 Ορισμός του προβλήματος	4-38
4.2 Ευθύ κινηματικό πρόβλημα	4-39
4.3 Αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα	4-39
5 Σχεδιασμός και Κατασκευή του Delta Robot	5-60
5.1 Μηχανολογικός Σχεδιασμός	5-64
5.1.1 Κατασκευαστικά σχέδια	5-67
5.1.2 Άνω σταθερή βάση.....	5-67
5.1.3 Βάση στήριξης του μοτέρ.....	5-70
5.1.4 Βάση στήριξης του κουζινέτου.....	5-70
5.1.5 Κύλινδρος κουζινέτου	5-71
5.1.6 Άτρακτος περιστροφικής άρθρωσης.....	5-72
5.1.7 Συναρμογή κουζινέτου	5-73
5.1.8 Βάση βραχίονα	5-73

5.1.9	Κορμός βραχίονα.....	5-74
5.1.10	Άκρο βραχίονα.....	5-75
5.1.11	Σφαίρα άρθρωσης.....	5-76
5.1.12	Συνδετικοί βραχίονες.....	5-76
5.1.13	Κάτω κινούμενη βάση.....	5-77
5.2	Η Κατασκευή.....	5-78
5.2.1	Άνω σταθερή βάση.....	5-78
5.2.2	Βάση στήριξης του μοτέρ.....	5-78
5.2.3	Βάση στήριξης του κουζινέτου.....	5-79
5.2.4	Κουζινέτο.....	5-79
5.2.5	Άτρακτος περιστροφικής άρθρωσης.....	5-80
5.2.6	Βάση βραχίονα.....	5-81
5.2.7	Κορμός βραχίονα.....	5-82
5.2.8	Άκρο βραχίονα.....	5-83
5.2.9	Σφαίρα άρθρωσης.....	5-83
5.2.10	Συνδετικοί βραχίονες.....	5-85
5.2.11	Κάτω κινούμενη βάση.....	5-86
5.2.12	Ελατήρια και βάσεις ελατηρίων συνδετικών βραχιόνων.....	5-87
5.2.13	Βάση στήριξης ρομπότ.....	5-88
6	Συναρμογή.....	6-89
7	Παράρτημα Α'.....	7-99
8	Βιβλιογραφία.....	8-105

Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη, ο σχεδιασμός και τελικά η υλοποίηση ενός παραλλήλου ρομπότ τριών βαθμών ελευθερίας, τύπου δέλτα.

Οι απαιτούμενες προδιαγραφές που ζητήθηκε να καλύπτει το ρομπότ είναι να μπορεί να σηκώνει αντικείμενα με βάρος το 1 κιλό και να έχει από την επιφάνεια εργασίας απόσταση του ενός μέτρου .

Στη συνέχεια, γίνεται εκτενής προσομοίωση του ρομπότ στο Matlab, ώστε να βρούμε τι διαστάσεις πρέπει να έχει η κατασκευή για να καλύπτει το επιθυμητό χώρο εργασίας.

Το σημαντικότερο μέρος της εργασίας είναι το κατασκευαστικό, όπου επεξηγείται βήμα βήμα και μέσω της χρήσης πολλών φωτογραφιών ο τρόπος με τον οποίο έγινε η σύνθεση του ρομπότ στο μηχανολογικό τμήμα. Η υλοποίηση της κατασκευής έγινε με την βοήθεια των CNC εργαλειομηχανών που υπήρχαν στο εργαστήριο του ιδρύματος .

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή γίνεται η μελέτη ενός παράλληλου ρομπότ τύπου δέλτα, που στόχο έχει την τρισδιάστατη μοντελοποίηση και έπειτα την κατασκευή του ρομπότ. Ζητούμενο της κατασκευής ορίστηκε η ωφέλιμη διαδρομή καθ ύψος να είναι περίπου ένα μέτρο και ωφέλιμο φορτίο ένα κιλό. Στη συνέχεια διαστασιολογήθηκε όλη η κατασκευή στο matlab βασιζόμενοι σε είδη υπάρχων μοντέλα της αγοράς και τέθηκαν όλοι οι παράμετροι κινήσεων στις αρθρώσεις και στα μοτέρ για να διαπιστωθεί το περιβάλλον εργασίας. Αφού έγινε η διαστασιολόγηση πραγματοποιήθηκε το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα το οποίο εκτελέστηκε επιτυχώς. Η επιλογή των υλικών έγινε με γνώμονα την ορθή και αβλαβή λειτουργία του, έτσι ώστε να του επιτρέπουν να πάρει μέρος σε μια αυτόματη γραμμή παραγωγής μίας βιοτεχνίας. Ο σχεδιασμός αρχικά έγινε σε δυσδιάστατο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD. Έπειτα για την κατασκευή των επιμέρους εξαρτημάτων δημιουργήθηκε η ανάγκη σχεδιασμού και σε τρισδιάστατο σχεδιαστικό πρόγραμμα από το οποίο έγινε η εξαγωγή του G κώδικα για τις CNC εργαλειομηχανές που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο του τμήματος. Έπειτα αφού κατασκευάστηκαν όλα τα εξαρτήματα της κατασκευής προχωρήσαμε στη συναρμολόγηση της.

Λέξεις – φράσεις κλειδιά

δέλτα ρομπότ, παράλληλο ρομπότ, matlab GUI, Creo Parametric, CAM-CAD

Abstract

This thesis concentrates on the research and development of a delta parallel robot and aims at three-dimensional modeling and then the actual construction of the robot. The requirement of the construction was set to be about one meter in vertical movement and one kilogram in payload. Then, using MatLab, the whole construction was dimensioned based on already existent models from the market and all the parameters of the joints and motors were set to determine the working environment. After the dimensioning was done the reverse kinematic problem was performed which was successfully executed. The selection of the materials was done minding its proper and harmless operation to allow it to participate in an automatic production line of a small business. The design was originally made in a two-dimensional CAD program (AutoCAD). Then, in order to manufacture the component parts, there was a need to design them in a three-dimensional CAD program in which the extraction of G-CODE was done to use on the CNC machine tools of the department's laboratory. Then after all the parts of the construction were made we proceeded to assemble it.

Keywords - key phrases

Delta Robot, Parallel Robot, matlab GUI, Creo Parametric, CAM-CAD

1 Εισαγωγή

1.1 Γενική ρομποτική

Η Ρομποτική είναι εκείνος ο κλάδος της επιστήμης, που ασχολείται με τη σύλληψη, τη σχεδίαση, την κατασκευή, τη θεωρία και τις εφαρμογές των ρομπότ. Τα ρομπότ είναι μηχανές, που δεν έχουν τη μορφή ή τη συμπεριφορά του ανθρώπου, αλλά μπορούν να εκτελούν εργασίες, που κάνει ο άνθρωπος. Η χρήση τους, λοιπόν, έχει σκοπό την αντικατάσταση του ανθρώπου στην εκτέλεση εργασίας, η οποία αφορά τόσο στο φυσικό επίπεδο, όσο και στο επίπεδο λήψης απόφασης. Η εξέλιξη των ρομπότ έχει περάσει από πολλά στάδια.

Τα ρομπότ της πρώτης γενιάς δεν είχαν την ικανότητα υπολογισμού και αίσθησης, σε αντίθεση με τα ρομπότ της δεύτερης γενιάς, τα οποία διαθέτουν περιορισμένη υπολογιστική ισχύ, γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου και αισθητήρες ανατροφοδότησης. Τα ρομπότ της τρίτης γενιάς διαθέτουν νοημοσύνη με την έννοια ότι είναι ικανά να παίρνουν αποφάσεις κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της εργασίας τους. Τις ικανότητες αυτές, τις αποκτούν μέσω τεχνικών της τεχνητής νοημοσύνης σε συνδυασμό με εξελιγμένες μορφές αισθητήρων αφής, δύναμης, απόστασης, όρασης, κ.ο.κ.. Τα βιομηχανικά ρομπότ είναι εξελιγμένα συστήματα αυτοματισμού, που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικό υπολογιστή σαν μια βασική συνιστώσα του ελέγχου τους.

Σήμερα, οι υπολογιστές αποτελούν ένα βασικό μέρος του βιομηχανικού αυτοματισμού. Κατευθύνουν γραμμές παραγωγής και ελέγχουν συστήματα κατασκευής (λ.χ. εργαλειομηχανές, συγκολλητές, κοπτικές διατάξεις Laser κ.α.) Τα νέα ρομπότ εκτελούν ποικίλες εργασίες στα βιομηχανικά συστήματα και γενικά συμμετέχουν στον πλήρη αυτοματισμό των εργοστασίων. Το κύριο πλεονέκτημα του ρομπότ είναι η ευελιξία του. Μπορεί να προσαρμοστεί σε διάφορα προϊόντα στην ίδια γραμμή παραγωγής, όπως απαιτούν οι αλλαγές της αγοράς και να επαναπρογραμματιστεί έτσι, ώστε να είναι κατάλληλο για μικρές ή μεγάλες μεταβολές του παραγόμενου προϊόντος. Έτσι, προσφέρει στη βιομηχανία μαζικής παραγωγής έναν τρόπο να αντιμετωπίζει τις μεταβολές της απαιτούμενης ποσότητας ή του τύπου του προς παραγωγή προϊόντος.

Σύμφωνα με το Robot Institute της Αμερικής, ως ρομπότ μπορούμε να ορίσουμε έναν μηχανισμό σχεδιασμένο, ώστε μέσω προγραμματιζόμενων κινήσεων να μεταφέρει υλικά, τεμάχια, εργαλεία ή ειδικευμένες συσκευές με σκοπό την εκτέλεση ποικιλίας εργασιών. Ένας τέτοιος μηχανισμός περιλαμβάνει, συνήθως, τις ακόλουθες συνιστώσες: ένα μηχανολογικό υποσύστημα, ένα υποσύστημα αίσθησης και ένα σύστημα ελέγχου. Το μηχανολογικό υποσύστημα επιτρέπει στο ρομπότ να εκτελεί την εργασία, που του έχει ανατεθεί. Αποτελείται από το υποσύστημα αίσθησης το οποίο βοηθάει το ρομπότ να συλλέγει πληροφορίες για την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τόσο το ίδιο, όσο και το περιβάλλον του. Εκτός των άλλων, δέχεται εξωτερικές εντολές, τις επεξεργάζεται, τις μεταφράζει σε ηλεκτρική ισχύ, που θα δοθεί στους κινητήρες του ρομπότ, καθώς, επίσης, παράγει σήματα εξόδου, που θα πληροφορούν για την κατάσταση του συστήματος. Στο υποσύστημα αίσθησης περιλαμβάνονται όργανα μέτρησης, αισθητήρες, ηλεκτρονικά στοιχεία, κ.λ.π.. Επίσης συνήθως περιλαμβάνονται και μηχανισμοί, που επιτρέπουν στο ρομπότ να κινείται, όπως αρθρώσεις, σύστημα μετάδοσης κίνησης, επενεργητές –κινητήρες, οδηγούς, κ.λ.π..

1.2 Ρομποτικοί χειριστές

1.2.1 Βασικές κατηγορίες

Βιομηχανικά ρομπότ

Τα βιομηχανικά ρομπότ (ή ρομποτικοί βραχίονες) έχουν τη μορφή ενός ανθρώπινου βραχίονα με αρθρώσεις (ώμο, αγκώνα, καρπό) και παλάμη (αρπάγη/δαγκάνα, δάκτυλα).

Η επιλογή του τύπου της κίνησής τους (γραμμική, κυλινδρική, σφαιρική, αρθρωτή) εξαρτάται από το είδος της εργασίας που πρέπει να εκτελέσουν. Τα βιομηχανικά ρομπότ είναι κατάλληλα για επαναλαμβανόμενες εργασίες σε πλήρως δομημένα και σταθερά περιβάλλοντα. Τέτοιες εργασίες είναι: φόρτωμα/ξεφόρτωμα μηχανών, συναρμολόγηση, συγκόλληση, πρεσάρισμα, βαφή, γυάλισμα, κοκ. Τα πλεονεκτήματα που παρέχουν τα βιομηχανικά ρομπότ είναι: απαλλαγή των εργαζομένων από κουραστικές, ανιαρές και επικίνδυνες εργασίες ευελιξία, υψηλή παραγωγικότητα, καλύτερη ποιότητα προϊόντος και βελτιωμένη ποιότητα ζωής.

Κινητά ρομπότ

Τα ρομπότ αυτά αποτελούνται από μια πλατφόρμα (όχημα) με ρόδες (3 ή 4) η οποία κινείται με κατάλληλο πρόγραμμα ελέγχου και είναι εφοδιασμένη με αισθητήρες όρασης (κάμερες), υπερήχων, απόστασης κ.α. Πάνω στην πλατφόρμα μπορεί να είναι προσαρμοσμένοι ρομποτικοί βραχίονες (ένας ή περισσότεροι) για την εκτέλεση εργασιών. Τα ρομπότ του είδους αυτού, που καλούνται «κινούμενοι ρομποτικοί χειριστές», χρησιμοποιούνται για προσφορά υπηρεσιών, όπως μεταφορά υγειονομικού και λοιπού υλικού στα νοσοκομεία, μεταφορά φαρμάκων σε μεγάλες φαρμακαποθήκες, συλλογή φρούτων από δέντρα, κούρεμα προβάτων, κ.ο.κ. Χρησιμοποιούνται επίσης σε υποθαλάσσιες έρευνες για τη συλλογή οργανισμών, καθιζημάτων και άλλων αντικειμένων σε βάθη ωκεανών που είναι απαγορευτικά για τον άνθρωπο, αλλά και σε έρευνες στο εσωτερικό ηφαιστειών.

Ιατρικά ρομπότ

Τα ιατρικά ρομπότ διακρίνονται σε «μακρο-ρομπότ» (χειρουργικά ρομπότ, ρομπότ αποκατάστασης ΑΜΕΑ, αυτόνομες ρομποτικές καρέκλες) και «μικρο-ρομπότ» (για καθοδηγούμενη από εικόνες χειρουργική, ελάχιστης επέμβασης/ενδοσκοπική χειρουργική, αγγειοπλαστική, εμβολισμός (γέμισμα) εγκεφαλικών ανευρυσμάτων κ.α.). Τα ιατρικά ρομπότ ενισχύονται σημαντικά από τηλεχειριστές και εικονική πραγματικότητα, ιδιαίτερα όταν ο ασθενής δεν μπορεί να μεταφερθεί στον τόπο του ειδικευμένου χειρουργού (τραυματίες πολέμου, ασθενείς απομακρυσμένων νησιών κ.λπ.). Ένα ιατρικό ρομπότ ευρείας χρήσης είναι το χειρουργικό ρομπότ Da Vinci.

Τηλερομπότ

Τα τηλερομπότ συνδυάζουν τηλεχειρισμό από τον άνθρωπο και αυτονομία και μπορούν να λειτουργήσουν τόσο σε ημιδομημένα όσο και σε πλήρως αδόμητα περιβάλλοντα. Μπορούν να εκτελούν μη επαναλαμβανόμενες εργασίες χωρίς να έχουν τέλεια γνώση του χώρου εργασίας τους. Το μεγαλύτερο πρόβλημά τους είναι οι μεταβαλλόμενες χρονικές καθυστερήσεις ανάμεσα στο ρομπότ και το χειριστή, που οφείλονται κυρίως στα συστήματα επικοινωνίας. Οι κυριότερες εφαρμογές τους είναι οι ιατρικές, οι υποθαλάσσιες και οι διαστημικές εφαρμογές.

1.2.2 Ταξινόμηση ρομποτικών συστημάτων με βάση την Αρχή Λειτουργίας

Οι ρομποτικοί χειριστές ταξινομούνται και ως προς την αρχή λειτουργίας τους, σε σταθερής στάσης (fixed stop) (μη σερβοελεγχόμενα ή ανοικτού βρόχου) και σε σερβοελεγχόμενα (servocontrolled). Οι όροι αυτοί αναφέρονται στη μέθοδο επίτευξης της θέσης του ρομπότ μέσα στο χώρο εργασίας.

Ρομπότ Σταθερής Στάσης

Το ρομπότ κατά τη μετακίνηση του έχει έλεγχο μόνο των σημείων στάσης, αλλά όχι έλεγχο των ενδιάμεσων σημείων της τροχιάς. Κάθε άξονας έχει ένα προκαθορισμένο (ή καθοριζόμενο από τον ελεγκτή κάθε φορά) σταθερό μηχανικό όριο στο κάθε άκρο της έκτασής του και μπορεί να σταματάει μόνο στα όρια αυτά. Ρομπότ αυτού του τύπου είναι εξειδικευμένων εφαρμογών και ως εκ τούτου όχι διαδεδομένα.

Σερβοελεγχόμενα Ρομπότ

Ο τύπος αυτός κινείται από σερβομηχανισμούς, δηλαδή κινητήρες των οποίων το σήμα κίνησης είναι συνάρτηση της διαφοράς μεταξύ της διατεταγμένης και της μετρούμενης (πραγματικής) θέσης και/ή ταχύτητας (σπανιότερα δε και της επιτάχυνσης). Ένα τέτοιο ρομπότ έχει τη δυνατότητα να κινείται μέσα από έναν πρακτικά άπειρο αριθμό σημείων κατά την εκτέλεση μίας προγραμματισμένης ακολουθίας. Το σύνολο των σημείων προκύπτει από το συνδυασμό των επιτεύξεων μετατοπίσεων των αρθρώσεων. Εάν, για παράδειγμα, ένα ρομπότ έχει τρεις αρθρώσεις και κάθε άρθρωση μπορεί να επιτύχει 100 διαφορετικές μετατοπίσεις, τότε το άκρο του χειριστή μπορεί να επιτύχει 106 διαφορετικές τοποθετήσεις. Τα ρομπότ αυτά είναι πιο ακριβό και πιο σύνθετα στη λειτουργία, προγραμματισμό και συντήρηση από τα ρομπότ σταθερής στάσης.

1.2.3 Ταξινόμηση ρομποτικών συστημάτων με βάση Μέθοδος Ελέγχου Κίνησης

Σε σχέση με τη μέθοδο ελέγχου κίνησης, τα ρομπότ ταξινομούνται σε ρομπότ σημείο-σε-σημείο (point-to-point) και ρομπότ συνεχούς τροχιάς (continuous path).

Ρομπότ Σημείο-σε-Σημείο (Point-to-Point Robots)

Με αυτή τη μέθοδο ελέγχου της κίνησης, ένα ρομπότ προγραμματίζεται από το χρήστη ώστε να κινηθεί από μία θέση στην επόμενη. Οι ενδιάμεσες τροχιές μεταξύ των σημείων δεν μπορούν να προσδιορισθούν. Σε μία τέτοια ακολουθία κινήσεων, το ρομπότ κινείται σε μία προσδιορισμένη θέση, σταματάει και εκτελεί μία λειτουργία, κατόπιν κινείται σε μία άλλη προσδιορισμένη θέση, σταματάει, Κ.Ο.Κ. Η τροχιά του ρομπότ (δηλαδή η διαδρομή μεταξύ διαδοχικών σημείων) και η ταχύτητα κατά τη μετακίνηση από τη μία θέση στην επόμενη, εν γένει δεν έχει σημασία, και συνήθως δεν προγραμματίζεται, αλλά αποτελεί εσωτερική λειτουργία του ελεγκτή.

Στον τρόπο λειτουργίας σημείο-σε-σημείο, ένα ρομπότ εκτελεί χρήσιμο έργο μόνο όταν όλοι οι άξονες είναι σε στάση στις επιθυμητές θέσεις του χώρου εργασίας. Οι περισσότερες εργασίες χειρισμού αντικειμένων και ορισμένες εργασίες χειρισμού εργαλείων εκτελούνται κατ' αυτόν τον τρόπο. Όλα τα ρομπότ σταθερής στάσης και ορισμένα σερβοελεγχόμενα ρομπότ λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο.

Ρομπότ Συνεχούς τροχιάς (Continuous Path Robots)

Ο έλεγχος συνεχούς τροχιάς είναι ένας τύπος ρομποτικού ελέγχου κατά τον οποίο το ρομπότ επαναλαμβάνει την κίνηση μέσα από διδαγμένα σημεία σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, και τα οποία έχουν προγραμματισθεί σε μία (σταθερή χρονική βάση κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Τα σημεία διδασκαλίας καταγράφονται από τη μονάδα ελέγχου καθώς το ρομπότ οδηγείται μέσα από μία επιθυμητή τροχιά, διαβάζοντας τους κωδικοποιητές των αρθρώσεων, δηλ. τη θέση του κάθε άξονα σε σταθερή χρονική βάση. Ακολούθως, ένας αλγόριθμος επανάληψης επιχειρεί να επαναλάβει την κίνηση αυτή. Έλεγχος συνεχούς τροχιάς μπορεί επίσης να επιτευχθεί με την παρεμβολή μίας επιθυμητής καμπύλης τροχιάς μεταξύ των διδαγμένων σημείων.

Τα ρομπότ που λειτουργούν κατ' αυτόν τον τρόπο, μπορούν να εκτελέσουν χρήσιμο έργο ενώ όλοι οι άξονές τους βρίσκονται σε ταυτόχρονη, συντονισμένη κίνηση, ενδεχομένως με διαφορετική ταχύτητα, προκειμένου το εργαλείο να διαγράψει την επιθυμητή τροχιά. Η τροχιά του βραχίονα προγραμματίζεται με άμεσο τρόπο (καθοδήγηση μέσα από ενδιάμεσα σημεία - lead-through) ή υπολογίζει ο ελεγκτής τη διαδρομή μεταξύ διαδοχικών σημείων. Ορισμένες εργασίες χειρισμού αντικειμένων και εργαλείων εκτελούνται κατ' αυτόν τον τρόπο. Οι λειτουργίες συνεχούς τροχιάς μπορούν να εκτελεσθούν μόνο από σερβοελεγχόμενα ρομπότ.

1.2.4 Γεωμετρικός Σχηματισμός

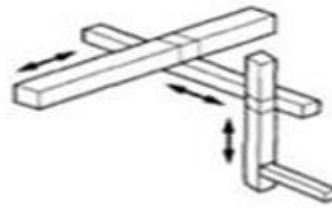
Ένα τρίτο σχήμα ταξινόμησης βασίζεται στο γεωμετρικό σχηματισμό του ρομποτικού συστήματος. Στους περισσότερους βιομηχανικούς ρομποτικούς βραχίονες, οι τρεις πρώτες αρθρώσεις, αυτές δηλαδή που βρίσκονται πλησιέστερα στη ρομποτική βάση, συνήθως χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση του άκρου του βραχίονα σε ένα σημείο στο χώρο, ενώ οι τελευταίες (τρεις ή λιγότερες) αρθρώσεις σχηματίζουν τον καρπό (wrist), ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον προσανατολισμό του

άκρου ή του τελικού στοιχείου δράσης. Ανάλογα με το σύστημα συντεταγμένων των τριών πρώτων βαθμών ελευθερίας τα ρομπότ ταξινομούνται σε καρτεσιανά ή ορθογωνικά, κυλινδρικά, σφαιρικά ή πολικά, και αρθρωτά. Εξάλλου, ανάλογα με την εμφάνισή τους και τη γεωμετρία του συνολικού μηχανισμού, τα ρομπότ μπορούν να χαρακτηρισθούν ως ανθρωπομορφικά, SCARA ή gantry.

Μία εναλλακτική μορφή γεωμετρικού σχηματισμού είναι τα παράλληλα ρομπάτ, τα οποία είναι κλειστές κινηματικές αλυσίδες (closed kinematic chains) και χρησιμοποιούνται σε εξειδικευμένες εφαρμογές. Ιδιαίτερο επίσης ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα ρομποτικά χέρια (robotic hands), τα οποία επίσης θεωρούνται ρομποτικοί μηχανισμοί και χρησιμοποιούνται για προηγμένους χειρισμούς αντικειμένων. Υπάρχουν επίσης σύνθετα ρομποτικά συστήματα τα οποία δεν έχουν σταθερή βάση, αλλά μπορούν να κινούνται, αυξάνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τον ωφέλιμο χώρο δράσης τους. Τα κινητά (mobile) ρομπότ αποτελούν μία ξεχωριστή κατηγορία, και συμπεριλαμβάνουν τα βαδίζοντα (walking) και τα κυλιόμενα (rolling). Οι παραπάνω κατηγορίες γεωμετρικών σχηματισμών εξετάζονται στη συνέχεια.

Ορθογωνικά Ρομπότ (Rectangular Robots)

Είναι επίσης γνωστά ως ορθογραμμικό (rectilinear) ή ως ρομπότ ορθογωνίων, καρτεσιανών ή ορθογραμμικών συντεταγμένων. Κινούνται σε ευθείες γραμμές πάνω-κάτω και μέσα-έξω. Οι βαθμοί ελευθερίας του βραχίονα ορίζονται από το καρτεσιανό σύστημα των αξόνων. Τα ρομπότ αυτά συνήθως δεν διαθέτουν ελεγχόμενη λογική για συντονισμένη κίνηση των ορθρώσεων. Ένα ορθογωνικό ρομπότ σχηματίζεται με τη συναρμολόγηση ενός οριζόντιου βραχίονα πάνω σε ένα κάθετο άξονα ανύψωσης, ο οποίος τοποθετείται σε γραμμική μεταφορική βάση, δημιουργώντας έτσι ένα ρομπότ X-Y-Z. Στα πλεονεκτήματα των καρτεσιανών ρομπότ συγκαταλέγονται η υψηλή διακριτική ικανότητα τους και η μεγάλη ακρίβεια, η εύκολη αποφυγή εμποδίων και συνεπώς η πρόληψη συγκρούσεων και η μη επίδραση φορτίων βαρύτητας τα οποία επιδρούν στην ακρίβεια, που συνεπάγεται ευκολία στον έλεγχο της κίνησης των αρθρώσεων. Τα βασικά μειονεκτήματά των καρτεσιανών ρομπότ είναι το μεγάλο δομικό πλαίσιο που διαθέτουν, το οποίο απαιτεί μεγάλη επιφάνεια δαπέδου για την εγκατάσταση, ο συγκριτικό περιορισμένος χώρος εργασίας, η δυσκολία συνεργασίας με άλλους ρομποτικούς βραχίονες σε κοινό χώρο εργασίας και η πολυπλοκότητα του μηχανικού σχεδιασμού για τρεις γραμμικές κινήσεις.



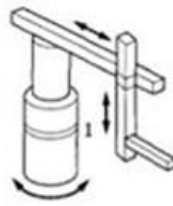
Cartesian

Εικόνα 1-1 Ορθογωνικά
Ρομπότ

Κυλινδρικά Ρομπότ (Cylindrical Robots)

Είναι επίσης γνωστά ως ρομπότ κυλινδρικών συντεταγμένων ή ρομπότ στήλης (columnar robot). Δομούνται γύρω από μία στήλη που κινείται σύμφωνα με ένα κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων, στο οποίο η θέση κάθε σημείου προσδιορίζεται συναρτήσει της γωνίας περιστροφής της βάσης, της ακτινικής διάστασης και του ύψους από το επίπεδο αναφοράς. Ο χώρος εργασίας έχει κυλινδρική μορφή. Οι δυνατές κινήσεις αυτών των ρομπότ ονομάζονται έκταση και περιστροφή. Ένα κυλινδρικό ρομπότ σχηματίζεται από τη συναρμολόγηση ενός οριζόντιου βραχίονα με ένα κάθετο άξονα, τοποθετημένα πάνω σε μία περιστρεφόμενη βάση. Ο οριζόντιος βραχίονας μπορεί να κινείται μέσα-έξω ή πάνω-κάτω στον κάθετο άξονα και να περιστρέφεται δεξιά ή αριστερά γύρω από τον κάθετο άξονα. Έτσι οι κινήσεις των τριών κυρίων αξόνων καλύπτουν ένα κυλινδρικό τομέα.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των κυλινδρικών ρομπότ είναι η πολύ μικρή εξάρτηση από τα φορτία βαρύτητας που δεν επηρεάζει την ακρίβεια του χειριστή και ο απλούστερος μηχανικός σχεδιασμός σε σχέση με τα καρτεσιανά ρομπότ. Στα μειονεκτήματά τους συμπεριλαμβάνονται η περιορισμένη συμβατότητα συνεργασίας με άλλους χειριστές σε κοινό χώρο εργασίας και η μικρότερη ακρίβεια και διακριτική ικανότητα σε σύγκριση με τα ορθογωνικά ρομπότ.



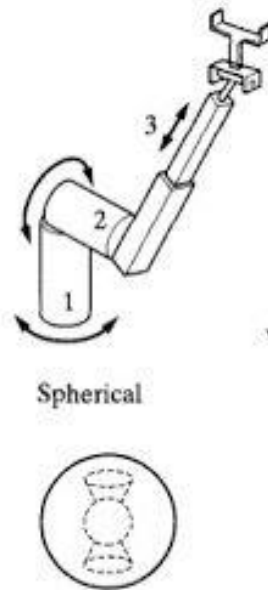
Cylindrical

Εικόνα 1-2
Κυλινδρικά
Ρομπότ

Σφαιρικά Ρομπότ (Spherical Robots)

Τα ρομπότ αυτά είναι επίσης γνωστά και ως ρομπότ σφαιρικών συντεταγμένων ή πολικά (polar) ρομπότ. Τα ρομπότ αυτά εργάζονται σε σφαιρικό χώρο εργασίας, είναι δηλαδή ικανά να κινούνται περιστροφικά, να επεκτείνουν και να προσδίδουν κλίση στο βραχίονά τους. Είναι δηλαδή κυλινδρικά ρομπότ με την προσθήκη στροφής (pitch) του άκρου. Ένας σφαιρικός ή πολικός ρομποτικός σχηματισμός αποτελείται από ένα βραχίονα που κινείται μέσα - έξω μέσα στο εύρος προσέγγισης (reach stroke), που χρησιμοποιεί όμως μία κάθετη περιστροφική κίνηση αντί για κάθετη ευθύγραμμη. Επιπλέον, ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται αριστερά - δεξιά γύρω από τον κάθετο περιστροφικό άξονα. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι κινήσεις των κυρίων αξόνων σχηματίζουν ένα τμήμα σφαίρας σαν χώρο εργασίας.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των σφαιρικών ρομπότ είναι η μικρή πολυπλοκότητα της δομής τους και το σχετικά χαμηλό βάρος τους, η δυνατότητα συνεργασίας τους με άλλα ρομπότ και εργαλειομηχανές σε κοινό χώρο εργασίας, η καλή διακριτική ικανότητα τους, καθότι τα σφάλματα τοποθέτησης είναι κάθετα, και το γεγονός ότι απαιτείται μικρή διαδρομή των αρθρώσεων για την εκτέλεση πολλών κινήσεων. Ανάμεσα στα μειονεκτήματα τους συγκαταλέγονται η περιορισμένη δυνατότητα αποφυγής συγκρούσεων με εμπόδια, το μεγάλο σφάλμα τοποθέτησης εξαιτίας των περιστροφικών κινήσεων, το οποίο είναι ανάλογο της ακτίνας (δηλ. της απόστασης του εργαλείου από τη βάση), και ότι απαιτούνται μεγάλες και μεταβλητές ροπές στη δεύτερη και τρίτη άρθρωση, προκαλώντας έτσι πρόβλημα εξισορρόπησης.

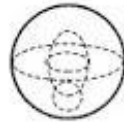
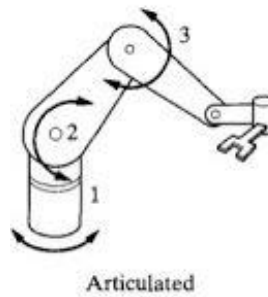


Εικόνα 1-3 Σφαιρικά
Ρομπότ

Αρθρωτά Ρομπότ

Τα ρομπότ αυτά, διαθέτουν μόνο περιστροφικές αρθρώσεις και εκτελούν κινήσεις όμοιες με τις κινήσεις ενός ανθρώπου. Για το λόγο αυτό, ρομπότ που διαθέτουν τέτοια γεωμετρία στις τρεις πρώτες αρθρώσεις τους, είναι γνωστά και ως ανθρωπομορφικά. Ένα αρθρωτό ρομπότ έχει περιστροφικές αρθρώσεις (που καλούνται ώμος και αγκώνας) τοποθετημένες σε μία βάση περιστρεφόμενη έτσι ώστε να παρέχονται τρεις κύριοι άξονες κίνησης.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των αρθρωτών ρομπότ είναι η ευελιξία προσέγγισης πάνω ή κάτω από ένα αντικείμενο και η συμβατότητα συνεργασίας με άλλα ρομπότ σε κοινό χώρο εργασίας. Τα βασικά μειονεκτήματά τους είναι η χαμηλή διακριτική ικανότητα και ακρίβεια, που συνεπάγονται μέγιστο σφάλμα τοποθέτησης, η περιορισμένη δυνατότητα αποφυγής εμποδίων, οι μεγάλες ροπές αδρανείας και επιδράσεις φορτίων βαρύτητας, που προκαλούν δυναμική αστάθεια (δηλ. δονήσεις), και τέλος, το γεγονός ότι δημιουργείται πρόβλημα εξισορρόπησης εξαιτίας των μεγάλων και μεταβλητών ροπών στις αρθρώσεις.

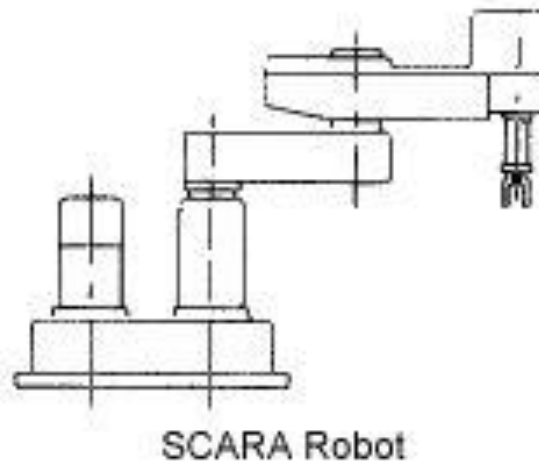


Εικόνα 1-4 Αρθρωτά
Ρομπότ

Ρομπότ Τύπου SCARA

Το ρομπότ τύπου SCARA (Selective Compliance ARm for Assembly - Ρομποτικός Βραχίονας Συναρμολόγησης με Επιλεκτική Συμμόρφωση), είναι ένας ρομποτικός σχηματισμός οριζόντιας περιστροφής ο οποίος σχεδιάστηκε στο Πανεπιστήμιο Yamamachi της Ιαπωνίας. Ο βραχίονας, ο οποίος έχει μέγεθος όσο και το τραπέζι εργασίας, σαρώνει μία περιοχή εξαρτημάτων και είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για εργασίες ανάκτησης και τοποθέτησης μικρών αντικειμένων .

Ένα ρομπότ SCARA είναι κατά βάση ανθρωπομορφική δομή (αρθρωτός βραχίονας), με τέσσερις ή πέντε βαθμούς ελευθερίας και λειτουργεί σε ένα οριζόντιο επίπεδο. Έχει συνήθως δύο ή τρεις οριζόντιες σερβοελεγχόμενες αρθρώσεις (ώμος, αγκώνας, και ορισμένες φορές καρπός), και έναν κάθετο, σερβοελεγχόμενο ή μη άξονα. Διακόπτοντας την παροχή και "χαλαρώνοντας" μία ή περισσότερες από τις οριζόντιες αρθρώσεις, η ρομποτική δομή μπορεί να συμμορφωθεί σε εξωτερικές δυνάμεις, χωρίς ωστόσο να επηρεάζεται από τη βαρύτητα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, μπορούν να εκτελεστούν εργασίες εισαγωγής αντικειμένων πολύ αυστηρών ανοχών, όταν δηλαδή ο βραχίονας κινείται από εξωτερικές δυνάμεις για να αντισταθμίσει μικρά σφάλματα τοποθέτησης.



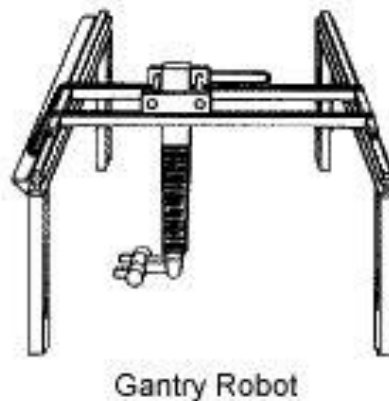
Εικόνα 1-5 Ρομπότ Τύπου SCARA

Ρομπότ Τύπου Gantry

Τα ρομπότ αυτά είναι ορθογωνικά με τρεις βαθμούς ελευθερίας κατ' ελάχιστο και έξι κατά μέγιστο και τοποθετούνται στην οροφή του τόπου εργασίας. Ρομπότ τοποθετημένα σε πάγκους εργασίας με σχεδιασμό gantry δεν περιλαμβάνονται συνήθως στον ορισμό αυτό. Ένα ρομπότ gantry μπορεί να κινηθεί κατά τους άξονες X και Y διανύοντας σχετικά μεγαλύτερες αποστάσεις από ένα ρομπότ τοποθετημένο στο δάπεδο με υψηλές ταχύτητες, ενώ ταυτόχρονα παρέχει και πολύ υψηλό βαθμό ακρίβειας τοποθέτησης. Τα χαρακτηριστικά του ρομπότ gantry περιλαμβάνουν μεγάλους χώρους

εργασίας, ικανότητα ανύψωσης μεγάλων φορτίων, κινητή τοποθέτηση στην οροφή, και τη δυνατότητα και ευελιξία λειτουργίας σε ένα χώρο εργασίας ισοδύναμο με αυτόν πολλών ρομπότ δαπέδου. Οι άξονες X, Y και Z ενός ρομπότ gantry ορίζονται ως ακολούθως:

- Άξονας X: Ταχεία Ολίσθηση (ganway). Αυτός είναι ο επιμήκης άξονας, συνήθως αποτελούμενος από τις παθητικές πλάγιες ράβδους της δομής του ρομπότ gantry.
- Άξονας Y: Γεφύρωση (bridge). Αυτός είναι ο εγκάρσιος άξονας, το ενεργητικό στοιχείο του ρομπότ, ο οποίος είναι τοποθετημένος πάνω στις ράβδους ταχείας ολίσθησης και υποστηρίζει το φορτίο του ρομπότ gantry.
- Άξονας Z: Τηλεσκοπικός Σωλήνας ή Ιστό (mast). Αυτός είναι ο κάθετος άξονας που ανυψώνει το φορτίο. Το ρομπότ που είναι προσαρτημένο πάνω στη δομή gantry μπορεί να διαθέτει έναν από τους ρομπωτικούς σχηματισμούς που περιγράφηκαν προηγουμένως. Η όλη δομή μπορεί να είναι τοποθετημένη σε μία υπερυψωμένη θέση πάνω από το χώρο εργασίας.



Εικόνα 1-6 Ρομπότ Τύπου Gantry

Παράλληλοι Χειριστές

Οι σειριακοί χειριστές, αν και συνήθως αποτελούνται από, κατά σύμβαση, άκαμπτους δομικά συνδέσμους, εν τούτοις η ανυψωτική τους ικανότητα και η σκληρότητα τους είναι αρκετά χαμηλές συγκρινόμενες με τα αντίστοιχα μεγέθη σε άλλους πολυαξονικούς μηχανισμούς, όπως οι εργαλειομηχανές NC. Για την αντιμετώπιση αυτών των μειονεκτημάτων, αναπτύχθηκαν οι παράλληλοι χειριστές (parallel manipulators) οι οποίοι μπορούν να ανυψώσουν μεγαλύτερα φορτία και διαθέτουν ελαφρύτερους συνδέσμους.

Ένας παράλληλος χειριστής αποτελείται από μία ακίνητη πλατφόρμα βάσης (base platform), μία κινούμενη πλατφόρμα (moving platform), και από διάφορα πόδια (legs) τα οποία συνδέουν τις δύο πλατφόρμες. Κάθε πόδι είναι στην ουσία μία σειριακή κινηματική αλυσίδα, τα δύο άκρα της οποίας είναι οι δύο πλατφόρμες. Σε αντίθεση με τους σειριακούς χειριστές, όλες οι αρθρώσεις των οποίων έχουν την δυνατότητα κίνησης καθοδηγούμενης από ένα κινητήρα, οι παράλληλοι χειριστές διαθέτουν αρθρώσεις χωρίς δυνατότητα καθοδηγούμενης κίνησης, κάτι το οποίο αποτελεί σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο τύπων, και που καθιστά την ανάλυση των παράλληλων χειριστών εν γένει πολύ πιο πολύπλοκη.

Ένα κλασικό παράδειγμα παράλληλων χειριστών είναι ο προσομοιωτής πτήσεων (flight simulator) ο οποίος αποτελείται από έξι πόδια καθοδηγούμενα από υδραυλικά έμβολα. Τέτοιου τύπου χειριστές καλούνται και πλατφόρμες Stewart (Stewart platforms). Πρόσφατα έχουν παρουσιασθεί πολλές εναλλακτικές μορφές παράλληλων χειριστών, όπως το ρομπότ Delta που αναπτύχθηκε στο Lausanne Federal Polytechnic Institute, το ρομπότ Hexa που αναπτύχθηκε στο University of Montpellier και το ρομπότ Star που αναπτύχθηκε στην Ecole Centrale στο Παρίσι. Άλλο παράδειγμα παράλληλου χειριστή είναι το Trussarm που αναπτύχθηκε στο University of Toronto Institute of Aerospace Studies (UTIAS), όπως και το "αριστερό χέρι" (main gauche) που αναπτύχθηκε στο INRIA, Sophia-Antipolis, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί βοηθητικά προς ένα σειριακό ρομπότ για να βελτιώσει την επιδεξιότητά του.

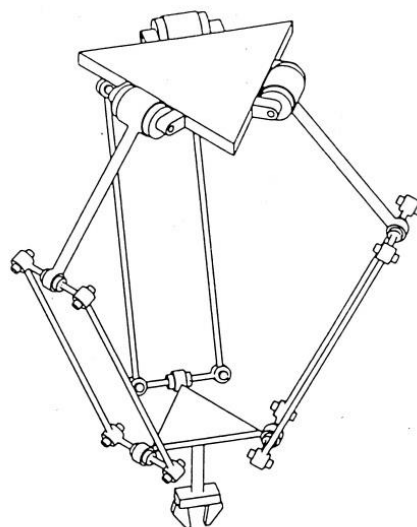


FIG. 1 CLAVEL'S "DELTA" ROBOT

Εικόνα 1-7 Παράλληλοι Χειριστές

Ρομποτικά Χέρια

Τα μηχανικά χέρια είναι ρομποτικά συστήματα που έχουν ως σκοπό την παραγωγή των κινήσεων του ανθρώπινου χεριού και προορίζονται να εκτελούν εργασίες χειρισμού (manipulation), διακρινόμενες σε απλές και επιδέξιες (dextrous). Στις απλές, τα δάκτυλα παίζουν δευτερεύοντα ρόλο και χρησιμοποιούνται ως απλές στατικές δομές που συγκρατούν σταθερά ένα αντικείμενο σε σχέση με την παλάμη του χεριού, η οποία θεωρείται ως στερεό σώμα. Ο απλός χειρισμός μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια ενός χειριστή και μίας αρπάγης. Ο επιδέξιος χειρισμός, αντίθετα, εμπλέκει την ελεγχόμενη κίνηση του συγκρατούμενου αντικειμένου σε σχέση με την παλάμη. Αυτό το είδος κίνησης εμφανίζεται κατά την εκτέλεση έργων με υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας, όπως γραφή ή κοπή ιστών με νυστέρι. Συνήθως, τα ρομποτικά χέρια έχουν πολλά δάκτυλα, αν και υπάρχουν ορισμένες συσκευές συγκράτησης με τη μορφή μίας απλής, ανοικτής, ιδιαίτερα πλεονάζουσας κινηματικής αλυσίδας.

Η βασική κινηματική δομή ενός ρομποτικού χεριού απαρτίζεται από μία παλάμη, που χρησιμεύει ως η βάση ενός απλού χειριστή και από ένα σύνολο δακτύλων, δημιουργώντας έτσι από κινηματική άποψη, μία τοπολογία δένδρου. Κατά τη συγκράτηση (grasping) ενός αντικειμένου με όλα τα δάκτυλα, η κινηματική αλυσίδα καθίσταται κλειστή με πολλούς βρόχους. Η αρχιτεκτονική των δακτύλων είναι ίδια με αυτή απλών ρομποτικών χειριστών και αποτελείται από δύο έως τέσσερις συνδέσμους που αντιστοιχούν στις φάλαγγες του ανθρώπινου χεριού, συζευγμένους μέσω περιστροφικών αρθρώσεων. Ωστόσο, οι αρθρώσεις των μηχανικών δακτύλων δεν κινούνται ανεξάρτητα, σε αντίθεση με αυτές των σειριακών χειριστών, και συχνά κινούνται από ένα μόνο κύριο (master) κινητήρα και οι υπόλοιπες αρθρώσεις λειτουργούν ως υπηρέτες (slaves).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι πολυδάκτυλων χεριών (multi-fingered hands), μεταξύ των οποίων τα γνωστότερα είναι το χέρι που αναπτύχθηκε στο University of Yale, το χέρι Utah MIT, το χέρι που αναπτύχθηκε στο University of Karlsruhe, το Stanford/JPL, το TU Munich, κ.ά. Εξ' αυτών, το Utah/MU είναι εμπορικά διαθέσιμο. Αποτελείται από τέσσερα δάκτυλα, ένα εκ των οποίων είναι τοποθετημένο απέναντι από τα υπόλοιπα τρία και αντιστοιχεί στον αντίχειρα. Κάθε δάκτυλο αποτελείται από τέσσερις φάλαγγες συζευγμένες με περιστροφικές αρθρώσεις, κάθε μία εκ των οποίων κινείται μέσω δύο εντατήρων (ή τενόντων - tendons). Ένα βασικό πρόβλημα του επιδέξιου χειρισμού είναι ο προγραμματισμός των κινήσεων των δακτύλων, που είναι κατά πολύ περισσότερο σύνθετος από τον προγραμματισμό ενός εξαζονικού χειριστή.

Οι Liu, Iberall και Bekey επρότειναν μία προσέγγιση ανάλυσης έργου για τον προγραμματισμό της κίνησης ρομποτικών χεριών σε υψηλό επίπεδο, χρησιμοποιώντας μία ευρετική, βασισμένη στη γνώση μέθοδο. Από την ανάλυση των διαφόρων καταστάσεων συγκράτησης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι απαιτήσεις έργων συγκράτησης είναι: (α) η ευστάθεια (stability), (β) η διαχειριστικότητα ή ευχρηστία (manipulability), (γ) η δυνατότητα άσκησης ροπής (torquability), και (δ) η ακτινική περιστρεψιμότητα (radial rotatability).

Η ευστάθεια ορίζεται ως ένα μέτρο της τάσης του αντικειμένου να επιστρέφει στην αρχική του θέση έπειτα από κάποια διαταραχή. Η ευχρηστία εκφράζει την ικανότητα μετάδοσης κίνησης στο συγκροτούμενο αντικείμενο, διατηρώντας τα δάκτυλα σε επαφή με αυτό. Η δυνατότητα άσκησης ροπής ή αλλιώς εφαπτομενική περιστρεψιμότητα (tangential rotatability) είναι η ικανότητα περιστροφής του επιμήκους άξονα ενός αντικειμένου με την ελάχιστη δύναμη, για δεδομένες προδιαγραφές ροπής. Τέλος, η ακτινική περιστρεψιμότητα είναι η ικανότητα περιστροφής του συγκροτούμενου αντικειμένου γύρω από τον επιμήκη άξονά του με την άσκηση ελάχιστης ροπής γύρω από αυτόν τον άξονα.



Εικόνα 1-8 Ρομποτικά Χέρια

Κινητά Ρομπότ

Τα περισσότερα κινητά ρομπότ είναι τοποθετημένα πάνω σε τροχούς. Σήμερα δεν υπάρχει ακόμη συστηματική παραγωγή βιομηχανικών ρομπότ με τροχούς, αν και υπάρχει η ανάγκη για κινητικότητα σε εργοστασιακούς χώρους. Έχουν ωστόσο δημιουργηθεί πειραματικά και ερευνητικά ρομπότ με τροχούς. Εξάλλου σε πειραματικό στάδιο υπάρχουν κινητά ρομπότ με ερπύστριες ή ρομπότ με τέσσερα έως έξι πόδια (legged robots), έτσι ώστε το ρομπότ να μπορεί να κινηθεί σε ανώμαλα εδάφη. Τα ρομπότ αυτά έχουν αναπτυχθεί για εξερευνητικούς ή στρατιωτικούς σκοπούς. Τέλος έχουν αναπτυχθεί σε πρωταρχικό στάδιο ρομπότ με δύο πόδια προκειμένου να μιμηθούν τις ανθρώπινες κινήσεις. Το μεγαλύτερο πρόβλημα για τα ρομπότ αυτά είναι η διατήρηση της ισορροπίας έτσι ώστε το ρομπότ να μπορεί να παραμένει όρθιο ενώ εκτελεί κάποια εργασία. Επίσης πρόβλημα αποτελεί και η παροχή ισχύος για ένα τέτοιο μηχανισμό.



Εικόνα 1-9 Κινητά Ρομπότ

1.3 Παρόν και Μέλλον της ρομποτικής

Η αναφορά στην Ιστορία των Ρομπότ οφείλει να εμπεριέχει και τον ορισμό τους. Ας δούμε λοιπόν, κατ' αρχήν, τι είναι ένα ρομπότ.

Το Ρομπότ είναι μία κατασκευή, που μπορεί να εκτελεί προγραμματισμένες εργασίες, αλλά σε αντίθεση με τις απλές μηχανές ακολουθεί τη μέθοδο: αντιλαμβάνομαι, σκέπτομαι, ενεργώ. Το Ρομπότ καθοδηγείται από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα και από κάποιο πρόγραμμα υπολογιστή και αποτελείται από δομικά μέρη (δοκοί, γρανάζια, ρόδες ..), ηλεκτρονικά (μονάδα εγκεφάλου...), αισθητήρες (χρώματος, φωτός, κίνησης, απόστασης.....) και κινητήρες. Συνήθως χρησιμοποιείται για την εκτέλεση επικίνδυνων ή δύσκολων (για ανθρώπους) εργασιών ή για να αυτοματοποιήσει μονότονες επαναλαμβανόμενες εργασίες, που ωστόσο πρέπει να γίνονται με μεγάλη ταχύτητα και ακρίβεια

Να επισημάνουμε πως ανδροειδές ονομάζουμε το ρομπότ που έχει πλήρη ή μερική ομοιότητα με την ανθρώπινη μορφή. Τα περισσότερα ρομπότ που βρίσκονται αυτόν τον καιρό σε λειτουργία μοιάζουν κυρίως με μηχανήματα που πραγματοποιούν εργασίες. Δεν πρέπει κανείς να ξεγελιέται. Πρόκειται περί πολύ εξελιγμένων μηχανημάτων, τα οποία έχουν ενσωματωμένες τεχνολογίες, τέτοιες που είναι δύσκολο να τις κατανοήσει ο μέσος άνθρωπος τους.

Πολύ πριν να κατασκευαστεί το πρώτο ρομπότ, οι αρχαίοι Έλληνες είχαν οραματιστεί τα Αυτόματα (διεθνώς Automata). Ο Όμηρος περιγράφει δύο Αυτόματα-κοπέλες. Τις είχε φτιάξει ο Ήφαιστος από χρυσό. Είχαν ως εργασία τους να σηκώνουν και να μεταφέρουν τον Ήφαιστο μέσα στο εργαστήριο του στον Όλυμπο. Καθώς φαίνεται στον «προγραμματισμό» τους συνεισέφεραν όλοι οι θεοί: «..... και τρέχαν δίπλα του να ανεβαστούν τον ρήγα χρυσές δυο βάγιες, απαράλλαχτες με ζωντανές κοπέλες, ξυπνάδα και μυλιά και δύναμη, τα 'χουν κι αυτές, κι ακόμα οι αθάνατοι θεοί τούς έμαθαν πάσα γυναίκεια τέχνη.....». Οι σίχοι αυτοί (417 – 420, Ραψωδία Σ, Ομήρου Ιλιάδα, μτφ. Ν. Καζαντζάκης – Ι.Θ. Κακριδής) σαφώς μιλάνε για αρχαία Αυτόματα. Αναφέρει επίσης ο Όμηρος μεταλλικά λεβέτια (λεκάνες με νερό), τα οποία περιπλανούνταν αυτοκινούμενα ανάμεσα στους θεούς, ώστε να έχουν να πλυθούν. Αυτά ήταν έργα του Ήφαιστου.

Σε όλους επίσης είναι γνωστός ο μύθος του Τάλω, μιας ακόμη κατασκευής του Ήφαιστου. Αυτό, που πρέπει να σημειωθεί για τον Τάλω, είναι οι εξαιρετικές του επιδόσεις (Για αυτό άλλωστε δεν χρειαζόμαστε τα ρομπότ;) και το γεγονός πως είχε όλη κι όλη μία φλέβα από την οποία εξαρτιόταν η λειτουργία του. Η λειτουργία αυτή έπαψε, μόλις η Μήδεια άνοιξε τη φλέβα και ο Τάλως άδειασε από ενέργεια. Ο Τάλως δέχτηκε την επέμβαση αυτή της Μήδειας, διότι του είχε υποσχεθεί πως με αυτόν τον τρόπο θα μεταλασσόταν από μηχανή σε έμβιο ον.



Εικόνα 1-10 Ο κρατήρας του Ζωγράφου του Τάλω. Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο, Νάπολη, Ιταλία.

Μεταλλικές μηχανικές κατασκευές, που δρουν αυτοβούλως, συναντάμε σε μύθους και παραμύθια πολλών λαών σε διάφορες εποχές. Αρκεί να ανατρέξει κανείς στη σχετική βιβλιογραφία.

Ήδη λοιπόν από την Ελληνιστική Εποχή αναφέρονται κατασκευές, οι οποίες έχουν αυτοματισμό και μηχανικό προγραμματισμό. Μολαταύτα, οι πρώτη παγκρατική αρχή των ρομπότ τοποθετείται στο 17^ο και στον 18^ο αιώνα. Τότε άρχισαν να κατασκευάζονται τα Αυτόματα. Μα, πριν να πάμε σε αυτά, ας δούμε τι είχαν πετύχει οι αλεξανδρινοί μας πρόγονοι και μετά από αυτούς οι Βυζαντινοί.

Ο αρχαιότερος γνωστός αυτοματισμός είναι, φυσικά, ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων. Ο Αρχύτας από τον Τάραντα, που συγκαταλέγεται στους πρώτους οραματιστές του κλάδου, κατασκεύασε (μέσα 4ου π.Χ. αιώνα) μια ιπτάμενη «περιστέρα», που ήταν ατμοωθούμενη και η οποία κατάφερε να πετάξει μέχρι και 200 μέτρα, σύμφωνα με τις πηγές.

Ο Ήρωνας ο Αλεξανδρεύς κατασκεύασε και το πρώτο προγραμματιζόμενο Αυτόματο, που ήταν ένα αυτοκινούμενο τρίκυκλο. Στη θεωρία του αυτοματισμού συνεισέφερε με το κορυφαίο σύγγραμμα της αρχαίας μηχανικής, με τον ενδεικτικό τίτλο «Αυτοματοποιητική». Ο Ήρων έζησε το 1^ο μ.Χ. αιώνα.

Καθώς τελείωνε η Αρχαιότητα και η Ευρώπη έμπαινε στον Μεσαίωνα, δεν ξεχάστηκαν και δε χάθηκαν ούτε τα επιτεύγματα των Ελλήνων, ούτε το όραμα τους αλλά ούτε και η διάθεση των Ρωμαίων (μετέπειτα Βυζαντινών) να επινοήσουν και να κατασκευάσουν Αυτόματα. Έτσι σε όλη την Αυτοκρατορία υπήρχαν διάσπαρτα αυτά τα υπέροχα δείγματα της μηχανικής και του αυτοματισμού.

Το υδραυλικό ρολόι της Γάζας (6ος μ.Χ. αιώνας). Σε αυτό ένας μηχανικός Ηρακλής ήταν προγραμματισμένος να σημαίνει τις ώρες με το ρόπαλό του. Περιώνυμος ήταν ο μηχανικός θρόνος του αυτοκράτορα Θεόφιλου από χρυσό (9ος μ.Χ. αιώνας). Τον είχε κατασκευάσει ο Λέων ο Μαθηματικός, ο μεγαλύτερος ίσως μαθηματικός και μηχανικός του Μεσαίωνα. Ο θρόνος είχε στη

βάση του μηχανικά λιοντάρια που «βρυχούνταν» και μηχανικά πουλιά, στα ψεύτικα κλαδιά ενός τεχνητού πλατάνου, και τα οποία «κελαηδούσαν». Το κάθισμα μαζί με τον αυτοκράτορα, με κάποιο σύστημα, ανυψωνόταν πάνω από τα κεφάλια όλων.

Οι Άραβες ως γνωστόν μετέφρασαν και διέδωσαν σε όλον τον αραβικό κόσμο τα συγγράμματα του Αρχύτα του Ταραντίνου και του Ήρωνα του Αλεξανδρέα. Πολύ γνωστό είναι πως επιδίδονταν και στην κατασκευή Αυτομάτων. Ο Αλ Γιαζάρι κατασκεύασε το πρώτο ανθρωποειδές Αυτόματο του Μεσαίωνα, έναν τυμπανιστή.

Στον παρόν άρθρο γίνεται εκτενής αναφορά στα Αυτόματα, μια και είναι ένα πάρα πολύ μεγάλο και σημαντικό κεφάλαιο στην Ιστορία των Ρομπότ. Η εξέλιξη των Αυτομάτων καταδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος αντελήφθη και διαμόρφωσε τη διαδικασία με την οποία προγραμματίζεται ένα μηχανισμός, δημιουργώντας την ψευδαίσθηση πραγματικής ανθρώπινης αντίδρασης και κίνησης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συνάρμοση και την κατασκευή συνδέσεων και μηχανικών αλληλουχιών κίνησης, οι οποίες αποτελούνται από απλούς στροφάλους, σχοινιά, γρανάζια, τροχαλίες, πλήκτρα, ελάσματα, κλειδιά και ελατήρια. Αποτέλεσμα είναι ένα λειτουργικό σύνολο – μηχανισμός, ο οποίος καταφέρνει να «χορογραφεί» τα «άκρα» του, τα «μάτια» του, ακόμη και τα «φρύδια» του!

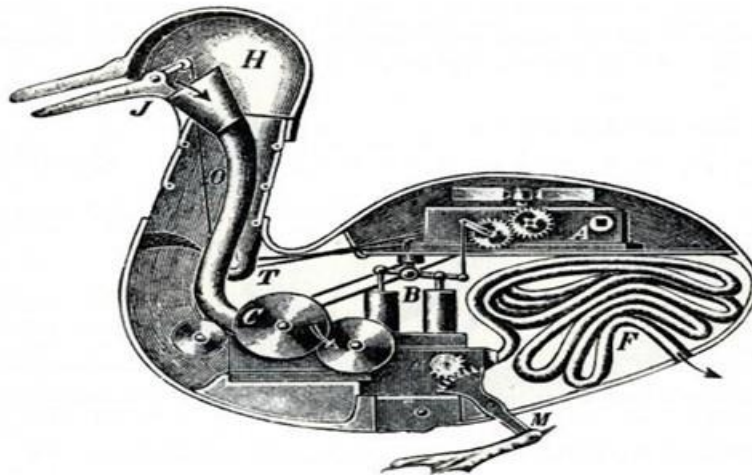
Πέραν όλων των παραπάνω κατασκευάστηκαν και πιο περίπλοκα Αυτόματα, τα οποία μπορούσαν να παίζουν μουσικά όργανα, να σχεδιάζουν, να χειρίζονται τόξο και βέλη, να παίζουν σκάκι. Όχι και τόσο μακρινοί συγγενείς των Αυτομάτων είναι τα κουρδιστά ρολόγια καθώς και οι λατέρνες και οι ρομβίες.

Επίσης, το παλαιότερο σωζόμενο σχέδιο ανθρωποειδούς Αυτομάτου είναι αυτό ενός πολεμιστή με πανοπλία. Τα σχέδια ανήκουν στον πνευματικό γίγαντα της Αναγέννησης Λεονάρντο Ντα Βίντσι (Leonardo Da Vinci). Το συγκεκριμένο Αυτόματο μπορούσε να ανασηκώνεται και να κινεί τα χέρια του και το κεφάλι του με περιορισμένες όμως κινήσεις. Ο Λεονάρντο το σχεδίασε για μάχη, όπως και πολλές από τις μηχανές του.



Εικόνα 1-11 Το Αυτόματο του Λεονάρντο Ντα Βίντσι και ο εσωτερικός του μηχανισμός, όπως εκτίθενται.

Θα αναφερθούμε ακόμη και στον Γάλλο Ζακ Ντε Βωκανσόν (Jacques De Vaucanson), που κατασκεύασε μία πάπια – Αυτόματο. Η πάπια μπορούσε να «τρώει» σπόρους και να κουνάει τα φτερά της. Στην εποχή της έκανε τεράστια εντύπωση.



Εικόνα 1-12 Το Αυτόματο-πάπια του Ζακ Ντε Βωκανσόν.

Αξίζει να αναφερθεί πως Αυτόματα δεν έφτιαχναν μόνο οι Ευρωπαίοι, το 19^ο αιώνα ο Ιάπωνας Χισασίγκε Τανάκα (Hisashige Tanaka) δημιούργησε ρομποτικούς μηχανισμούς που είχαν την «ικανότητα» γραφής ιαπωνικών ιδεογραμμάτων ή σερβίριματος τσαγιού.



Εικόνα 1-13 Αυτόματα που σερβίρουν τσάι. Κατασκευαστής Χισασίγκε Τανάκα.

Και σιγά – σιγά όλο και πιο πολλές κατασκευές πραγματοποιούνταν και με αυτόν τον τρόπο εξελισσόταν η τεχνογνωσία και η πολυπλοκότητά τους. Στα τέλη του 19ου αιώνα ο Σέρβος Νικόλα Τέσλα (Nicola Tesla) παρουσίασε το πρώτο τηλεχειριζόμενο πλοίο.

2 Η εφεύρεση του Delta ρομπότ

Σήμερα, τα δέλτα ρομπότ είναι καλά εδραιωμένα στη βιομηχανία αυτοματισμού. Σε αντίθεση με τους μεγαλύτερους αρθρωτούς βραχίονες, τα δέλτα ρομπότ συχνά κρατούνται ως στοιχείο αποθεμάτων σε πολλούς κατασκευαστές όπως η Yaskawa Motoman και η ABB. Αλλά το 1985, λίγα ρομπότ θα μπορούσαν να εκτελούν ελαφριά καθήκοντα επιλογής και θέσης γρήγορα ή επαναλαμβανόμενα.



Εικόνα 2-1 Ο καθηγητής Reymond Clavel, εφευρέτης του δέλτα ρομπότ.

Ο Reymond Clavel και η ομάδα του στο εργαστήριο Robotics Systems στο Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL) ξεκίνησαν την έρευνα που θα παρήγαγε το δέλτα ρομπότ μετά από μια επίσκεψη σε εργοστάσιο σοκολάτας. Η ομάδα του Clavel αναζητούσε επαναλαμβανόμενες εφαρμογές εργασίας για τα ρομπότ και διαπίστωσαν ότι η συσκευασία πραλίνας σοκολάτας ήταν υποψήφια για αυτοματοποίηση υψηλής ταχύτητας και χαμηλού ωφέλιμου φορτίου.

Η ομάδα του Clavel άρχισε να θέτει περιορισμούς στο σχεδιασμό τους. Πρώτον, το ρομπότ πρέπει να εκτελέσει 3 εργασίες ανά δευτερόλεπτο. Για να τοποθετηθούν σωστά οι σοκολάτες, η κινητικότητα του ρομπότ απαιτούσε 4 βαθμούς ελευθερίας: κίνηση κατά μήκος 3 αξόνων, καθώς και περιστροφή γύρω από τον κάθετο άξονα. Προκειμένου να επιτευχθεί υψηλός ρυθμός εργασίας, ο Clavel πρόσθεσε δύο ακόμη περιορισμούς στο σχεδιασμό: οι ενεργοποιητές του ρομπότ θα στερεώνονται στο πλαίσιο και το κινούμενο τμήμα του ρομπότ θα διατηρείται όσο το δυνατόν πιο ελαφρύ.



Εικόνα 2-2 Το πρώτο πρωτότυπο του δέλτα ρομπότ(Ιανουάριος 1986)

Έξι μήνες μετά την επίσκεψη στο εργοστάσιο σοκολάτας, ένα πρωτότυπο του δέλτα ρομπότ ήταν έτοιμο, μέχρι τον Δεκέμβριο κατατέθηκε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Δύο χρόνια αργότερα, το δέλτα ρομπότ βιομηχανοποιήθηκε από μια μικρή εταιρεία που ονομάζεται Demaurex Robotics and Microtechnology.

Ενώ οι μηχανικοί και οι φορείς της βιομηχανίας εντυπωσιάστηκαν από τον πρωτοποριακό σχεδιασμό, οι πρώτες αντιδράσεις στο νέο ρομπότ ήταν αδιάφορες. Ο Clavel υπενθύμισε: "Δεν θα κάνουν το πρώτο βήμα και θα διακινδυνεύσουν τη φήμη τους με ένα ρομπότ παρόμοιο με μια ομπρέλα". Όπως και με κάθε νέα τεχνολογία, οι πιθανοί πελάτες ζήτησαν να μάθουν πώς το προϊόν θα διευκόλυνε τις εργασίες τους. Ποια είναι η απόδοση επένδυσης (ROI);

Τριάντα δύο χρόνια αργότερα, οι βιομηχανικοί επαγγελματίες δεν είναι πλέον αμφίβολοι για αυτά τα ρομπότ σε σχήμα ομπρέλας, τα οποία έχουν γίνει ασύγκριτα σε εργασίες pick-and-place, τη διαλογή και άλλες εφαρμογές υψηλής ταχύτητας και χαμηλής μάζας. Ωστόσο, εξακολουθούν να ρωτούν πώς τα δέλτα ρομπότ μπορούν να ωφελήσουν την παραγωγική τους διαδικασία, καθώς και για την απόσβεση της επένδυσης.

2.1 Το μέλλον της ρομποτικής

Στις αρχές του περασμένου αιώνα, τα τρακτέρ αντικατέστησαν τα άλογα στη γεωργία. Σήμερα, αχνοφέγγει η εποχή όπου η υψηλή τεχνολογία θα περιορίσει, αν δεν εξαλείψει, τον ανθρώπινο παράγοντα από την παραγωγή, στην οποία κατέχει ακόμη τη σημαντικότερη θέση.

Προοπτική που έχει περιγραφεί εδώ και δύο δεκαετίες από κορυφαίους της διανοήσης. Τόσο ο καθηγητής Ιστορίας του Γέηλ Πολ Κένεντι στο βιβλίο του «Προετοιμασία για τον 21ο αι.», όσο και ο οικονομολόγος Τζ. Ρίφκιν στο «Τέλος της εργασίας», προέβλεπαν και αποτιμούσαν τις συνέπειες της 4ης βιομηχανικής επανάστασης, όπως αποκαλείται η εποχή της ρομποτικής και της τεχνητής νοημοσύνης, της νανοτεχνολογίας, της τρισδιάστατης εκτύπωσης κ.ο.κ.

Δεν ήταν προφήτες, ούτε παρακολουθούσαν πολύ αμερικανικό κινηματογράφο. Άλλωστε κάποια πράγματα είχαν από τότε δρομολογηθεί. Από τα μέσα ακόμη της δεκαετίας του '60, η Ιαπωνία είχε επενδύσει όσο καμία άλλη χώρα στη ρομποτική. Τώρα δρέπει τους καρπούς της, καθώς είναι πρωταγωνίστρια στον τομέα αυτό. Γιατί ειδικά η Ιαπωνία; Κατά τον Π. Κένεντι, σημαντικό ρόλο έπαιξε η έλλειψη εργατικού δυναμικού που απειλούσε τη δυναμική των εξαγωγών της. Όντας πρωτοπόρα και φανατική της ρομποτικής, σήμερα έχει μειώσει δραματικά το κόστος της τεχνολογίας σε αντίθεση με άλλες χώρες που μπαίνουν τώρα στον στίβο αυτό. Έχει κάνει λοιπόν απόσβεση και είναι η πλέον ανταγωνιστική χώρα.

Αυτή όμως είναι η λιγότερο ενδιαφέρουσα πλευρά του θέματος. Το ερώτημα-πρόκληση ετέθη με τον πλέον χαρακτηριστικό τρόπο από τον διευθύνοντα σύμβουλο της πολυεθνικής εταιρίας λογισμικού Autodesk, Κ. Μπας, ο οποίος διέγνωσε ότι «το εργοστάσιο του μέλλοντος θα έχει μόνο δύο εργαζόμενους: έναν άνθρωπο και έναν σκύλο. Ο άνθρωπος για να ταΐζει τον σκύλο και ο σκύλος για να δαγκώνει όσους επιχειρούν να πειράξουν τις μηχανές».

Η επαπειλούμενη εξαφάνιση της εργασίας από την παραγωγή, δεν είναι απλά ένα οικονομικό, αλλά ένα πολιτισμικό ζήτημα, καθότι «ο πολιτισμός από την αρχή του δομήθηκε γύρω από την έννοια της εργασίας» (Τζ. Ρίφκιν «Το τέλος της εργασίας και το μέλλον της», Εκδόσεις «Νέα Σύνορα- Λιβάνη»). Σύμφωνα με την πρόβλεψη του Αμερικανού οικονομολόγου οι δουλειές που απειλούνται από την αυτοματοποίηση (όχι μόνο στον τομέα της βιομηχανίας, αλλά και σε εκείνον της παροχής υπηρεσιών), αφορούν έως και το 75% του εργατικού δυναμικού των βιομηχανοποιημένων εθνών που απασχολούνται στην εκτέλεση εργασιών, που δεν είναι παρά επαναλαμβανόμενα καθήκοντα.

Είκοσι και κάτι χρόνια μετά οι εκτιμήσεις των οικονομολόγων στο Νταβός έρχονται προς επίρρωση όσων έχει πει ο Ρίφκιν. «Όποια εργασία δεν απαιτεί νοητικά προσόντα θα αντικατασταθεί από

ρομπότ και μόνο ό,τι απαιτεί «νόηση», κρίση, άριστη διαχείριση του λόγου και υψηλού επιπέδου εκπαίδευση έχει μέλλον, καθώς δεν μπορούν να αντικατασταθούν από μηχανές. Όχι τουλάχιστον ως το 2100».

Η απώλεια θέσεων εργασίας λόγω της εισαγωγής μηχανών υψηλής τεχνολογίας, έχει ως συνέπεια τη μείωση των μισθών. Αυτό συμβαίνει συχνά, διότι ο ανθρώπινος παράγων αντιδρά. Και για να ανταγωνιστεί τη θέση, προσφέρει φθηνή εργασία, γεγονός που, από τη μια επιβραδύνει την αυτοματοποίηση, από την άλλη όμως μειώνει την αγοραστική δύναμη του εργαζόμενου.

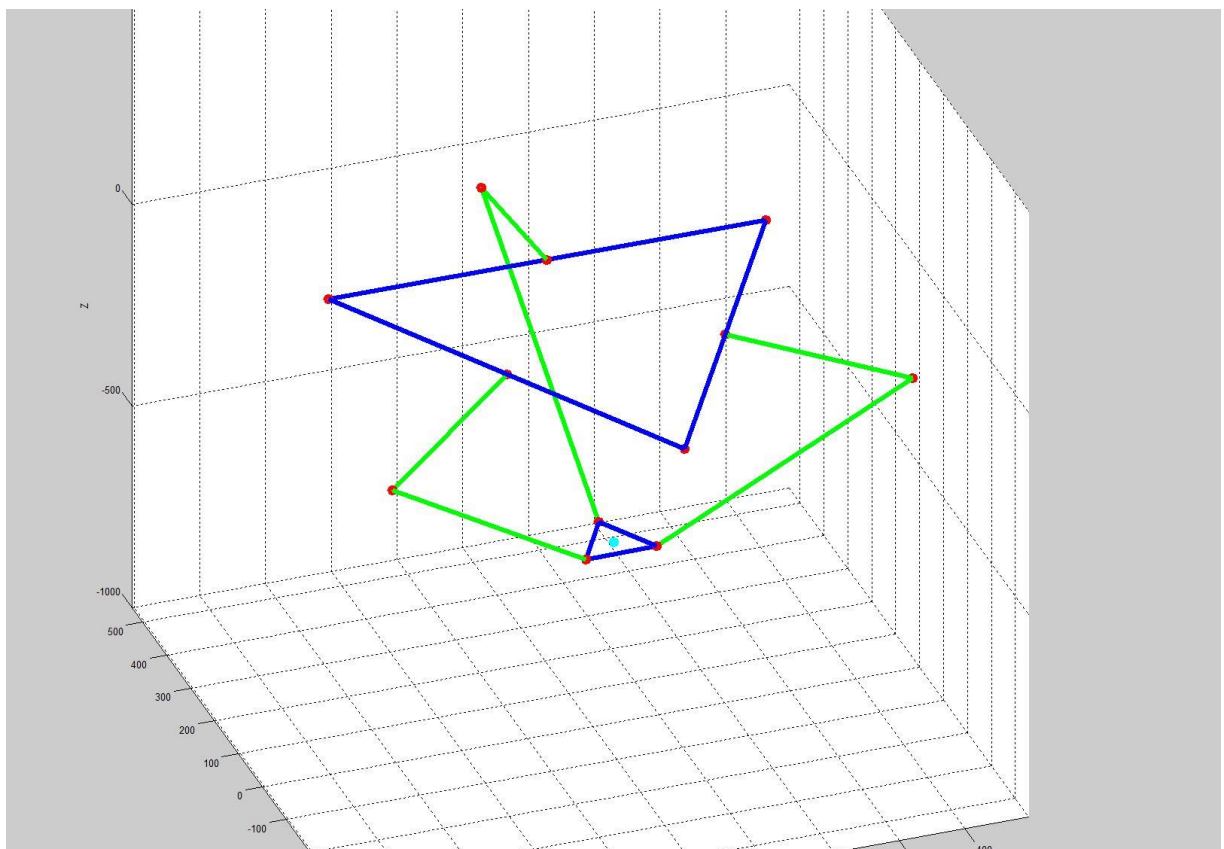
Αξίζει να σημειωθεί το ακόλουθο φαινόμενο: Σε γαλλικό σούπερ μάρκετ, δοκιμάστηκε η δυνατότητα ψηφιακής ανάγνωσης των τιμών προϊόντων και άμεσης έκδοσης της απόδειξης με το συνολικό κόστος αγοράς, με ένα απλό πέρασμα από, το χωρίς υπάλληλο αλλά με ειδικό σκάνερ, ταμείο. Εύκολα και γρήγορα. Όχι όμως για τους συνειδητοποιημένους Γάλλους, οι οποίοι επέλεξαν τα ταμεία με τους υπαλλήλους για να στηρίξουν τις θέσεις εργασίας.

Φυσικά η τεχνολογική εξέλιξη είναι δεδομένη. Το εύρος της ίσως παραμένει ζητούμενο. Ο Έλληνας καθηγητής στο τμήμα Ρομποτικής της Γένοβα, κ. Νίκος Τσαγκαράκης, θεωρεί ότι τα ρομπότ θα δημιουργήσουν νέες θέσεις εργασίας, καθώς η κατασκευή τους θα απαιτήσει ανθρώπινα χέρια και μυαλά, όπως συνέβη με την αυτοκινητοβιομηχανία. Από την άλλη τα ρομπότ και δη τα ανθρωποειδή, θα εκτελούν εργασίες κατ'οίκον βοηθώντας ηλικιωμένους και άτομα με αναπηρίες.

Όσον αφορά προβλέψεις σύμφωνα με τις οποίες ο άνθρωπος θα απαλλαγεί από τον καθημερινό μόχθο και, διαθέτοντας περισσότερο ελεύθερο χρόνο θα επαναπροσδιορίσει τη ζωή του, αυτές ακούγονται μάλλον ουτοπικές.

3 Ο ρομποτικός χειριστής τριών βαθμών ελευθερίας τύπου Δέλτα

3.1 Παρουσίαση-η σύνθεση του Delta ρομπότ



Εικόνα 3-1 Απεικόνιση Delta Ρομπότ μέσω Matlab

Πως λειτουργεί ένα τυπικό δέλταρομπότ: Διαθέτει τρεις σερβοκινητήρες υψηλής ροπής οι οποίοι τοποθετούνται σε ένα άκαμπτο πλαίσιο. Σε κάθε άτρακτο είναι τοποθετημένος ένας βραχίονας κάθετα στον άξονα περιστροφής της άτρακτου. Ορισμένα ρομπότ χρησιμοποιούν την άμεση μεταδοση, στην οποία ο βραχίονας είναι τοποθετημένος απευθείας στην άτρακτο, και κάποιοι χρησιμοποιούν κιβώτιο ταχυτήτων. Αυτοί οι βραχίονες "Bicep" συνδέονται με ελαφρές ράβδους σύνδεσης που είναι διατεταγμένοι σε σχήμα παράλληλόγραμου για να περιορίζουν την περιστροφική κίνηση. Αυτοί οι βραχίονες συνδέονται με μια κεντρική πλατφόρμα. Οι αρθρώσεις και στα δύο άκρα κάθε παράλληλης ράβδου κινούνται ελεύθερα, συνήθως είναι σφαιρικές αρθρώσεις. Στην κάτω πλατφόρμα, μπορεί να συνδεθεί ο τελεστής τερματισμού, καθώς και αρκετές άλλες επιλογές, συμπεριλαμβανομένων των κινητήρων για επιπλέον άξονες ελευθερίας. Τα

περισσότερα δέλτα ρομπότ έχουν, τουλάχιστον, έναν τέταρτο άξονα, επιτρέποντας την περιστροφή αντικειμένων.



Εικόνα 3-2 Το Yaskawa MPP3H έχει οριζόντια εμβέλεια 1300mm.

Το κύριο πλεονέκτημα των δέλτα ρομπότ είναι ότι οι βαρείς κινητήρες είναι στερεωμένοι στο πλαίσιο, επιτρέποντας στα κινούμενα μέρη του ρομπότ να είναι πολύ ελαφριά. Αντίθετα, κάθε κινητήρας ενός ρομπότ αρθρωτού βραχίονα φέρει το βάρος όλων των διαδοχικών κινητήρων. Ο Dean Elkins, Ανώτερος Γενικός Διευθυντής της Yaskawa Motoman, συμφώνησε: "Στο μηχανισμό του δέλτα ρομπότ, η κίνηση μεταφράζεται στις περισσότερες περιπτώσεις από χέρια ανθρακονημάτων, όπου υπάρχει πολύ λιγότερη κινούμενη μάζα. Έχουν γίνει ένας πάρα πολύ αποτελεσματικός τρόπος μεταφοράς κίνησης στους άξονες x, y, και περιορισμένης κίνησης z. "

Λόγω του σχεδιασμού του (τύπου μοχλού), οι κινητήρες πρέπει να παρέχουν υψηλή ροπή για να αντισταθμίσουν τις ροπές που δημιουργούνται από το ωφέλιμο φορτίο στον άξονα. Αυτό συμβάλλει στο χαμηλό ωφέλιμο φορτίο των περισσότερων δέλτα ρομπότ.

Υπάρχει μεγάλη ροπή στους κινητήρες η οποία μεταφέρεται έως τους καρπούς του ρομπότ. Λόγω ότι οι βραχίονες έχουν μεγάλο μήκος, έχει ως αποτέλεσμα στις ακραίες θέσεις να δημιουργούνται υψηλές ροπές στα μοτέρ. Έτσι, ενώ οι κινητήρες είναι υψηλής ροπής, υπάρχει αυτή η αντισταθμισή που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Επομένως για να διατηρηθεί η υψηλή ταχύτητα, περιορίζεται το ωφέλιμο φορτίο.

Ενώ τα περισσότερα δέλτα ρομπότ έχουν τρία χέρια και τέσσερις άξονες ελευθερίας, υπάρχουν και άλλες διαμορφώσεις διαθέσιμες. Η Omron, για παράδειγμα, προσφέρει το παράλληλο ρομπότ

Quattro. Σύμφωνα με την εταιρεία, αυτό το σχέδιο επιτρέπει στο ρομπότ να φέρει ένα αυξημένο ωφέλιμο φορτίο, ή να επιτύχει έναν πιο γρήγορο κύκλο εργασίας.



Εικόνα 3-3 Το Delta της Omron Sysmac.

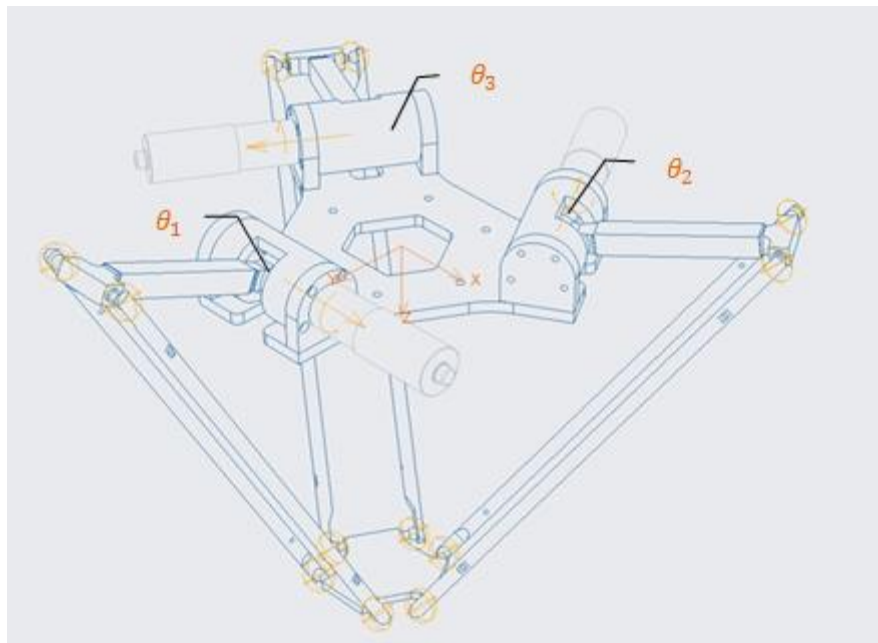
Αυτό αναδεικνύει ένα ενδιαφέρον σημείο για την περιστροφική κίνηση γύρω από τον άξονα z , ο οποίος είναι ο τέταρτος άξονας ελευθερίας για το δέλτα ρομπότ. Υπάρχουν δύο κύριες προσεγγίσεις σχεδιασμού σε αυτό. Η παραδοσιακή λύση είναι να τοποθετηθούν τρεις κινητήρες από πάνω και στη συνέχεια ένας ξεχωριστός κινητήρας να κάνει την περιστροφή. Μπορεί να τοποθετηθεί ο κινητήρας στην κορυφή ή στην πλατφόρμα. Αν τοποθετηθεί ο κινητήρας στην κορυφή, τότε πρέπει να υπάρχει ένας άξονας μετάδοσης της κίνησης. Μπορεί επίσης να τοποθετηθεί ο κινητήρας στην πλατφόρμα, αλλά θα είναι μικρότερος και το πρόσθετο βάρος θα αυξήσει την αδράνεια της πλατφόρμας. Προκύπτει βέβαια ένα ζήτημα αξιοπιστίας με το καλώδιο που πρέπει να λειτουργεί ο κινητήρας. Το καλώδιο δεν πρέπει να παρεμβάλλεται στους βραχίονες υψηλής ταχύτητας και πρέπει να αντέχει σε επαναλαμβανόμενη κάμψη και στρίψιμο. Από την άλλη μεριά, η προσέγγιση με άξονα προσθέτει ένα άλλο στοιχείο που απαιτεί συντήρηση. Ο άξονας μπορεί να φθαρεί με την πάροδο του χρόνου και χρειάζεται τακτική αντικατάσταση και, σε ορισμένες περιπτώσεις, τακτική συντήρηση όπως λίπανση.

3.1.1 Αρχές λειτουργίας

Όπως φαίνεται παρακάτω, το δέλτα ρομπότ 3 βαθμών ελευθερίας αποτελείται από τρεις πανομοιότυπες αρθρώσεις RBB(R:rotational joint, B:ball joint) παράλληλα τοποθετημένες μεταξύ της ανώτερης σταθερής βάσης και της κάτω κινούμενης πλατφόρμας. Οι κορυφαίες περιστροφικές αρθρώσεις ενεργοποιούνται μέσω σερβοκινητήρων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στην ανώτερη σταθερή βάση. Οι μεταβλητές ελέγχου τους είναι $\theta_i, i=1,2,3$ ως προς του άξονες που φαίνονται στο παρακάτω σχέδιο. Σε αυτό το μοντέλο οι γωνίες θ_i μετριοούνται με τον κανόνα του δεξιού χεριού, με την μηδενική γωνία να ορίζεται όταν ο βραχίονας βρίσκεται στην οριζόντια θέση.

Οι παραλληλόγραμμοι μηχανισμοί του κάτω μπράτσου που αποτελούνται από δυο μπάρες εξασφαλίζουν την κίνηση από σημείο σε σημείο χωρίς την περιστροφή της κινούμενης πλατφόρμας.

Οι ελεύθερες αρθρώσεις (B) υλοποιούνται χρησιμοποιώντας ειδικά διαμορφωμένες σφαιρικές αρθρώσεις με μεγάλη γωνία περιστροφής όπως φαίνεται παρακάτω.

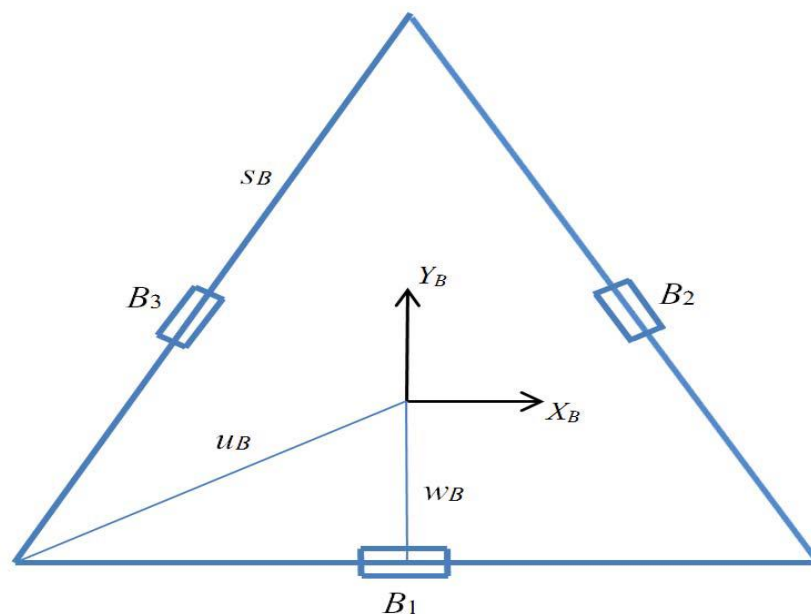


Εικόνα 3-4 Δέλτα ρομπότ

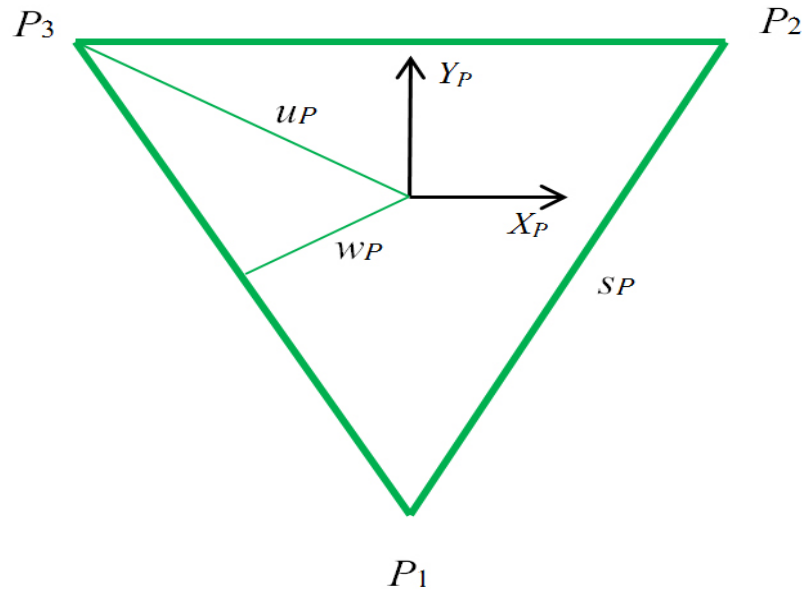
Το δέλτα ρομπότ τριών βαθμών ελευθερίας είναι ικανό να κάνει έλεγχο κίνησης στους άξονες XYZ της κινούμενης πλατφόρμας μέσα στο χώρο εργασίας του. Θεωρώντας τις τρεις πανομοιότυπες αλυσίδες RBBως πόδια, τα σημεία $B_i, i=1,2,3$ είναι οι γοφοί, τα σημεία $A_i, i=1,2,3$ είναι τα γόνατα και τα σημεία $P_i, i=1,2,3$ είναι οι αστραγάλοι. Το μήκος της πλευράς του ισόπλευρου τριγώνου της βάσης είναι SB και το μήκος της πλευράς του ισόπλευρου τριγώνου της κινούμενης πλατφόρμας είναι SP . Το ισόπλευρο τρίγωνο της κινούμενης πλατφόρμας είναι ανεστραμμένο σε σχέση με το ισόπλευρο τρίγωνο της βάσης όπως φαίνεται παρακάτω, με σταθερό προσανατολισμό.

Το καρτεσιανό πλαίσιο αναφοράς της σταθερής βάσης ορίζεται το $\{B\}$, η αρχή του οποίου βρίσκεται στο κέντρο της βάσης του ισόπλευρο τρίγωνο. Το καρτεσιανό πλαίσιο αναφοράς της κινητής βάσης ορίζεται το $\{P\}$, του οποίου η αρχή βρίσκεται στο κέντρο της πλατφόρμας του ισόπλευρο τρίγωνο. Ο προσανατολισμός του $\{P\}$ είναι πάντα ταυτόσημος με τον προσανατολισμό του $\{B\}$ έτσι ώστε ο πίνακας περιστροφής να είναι πάντα σταθερός. Οι μεταβλητές των αρθρώσεων είναι $\Theta = \{\theta_1 \theta_2 \theta_3\}^T$ και οι καρτεσιανές μεταβλητές είναι $\mathbf{P} = \{P_1 P_2 P_3\}^T$. Ο σχεδιασμός που παρουσιάζεται έχει υψηλή συμμετρία, μετατρία πάνωμήκη των ποδιών L και τα τρία χαμηλότερα μήκη l (τα μεγάλα μήκη των παραλλήλων μηχανισμών τεσσάρων ράβδων).

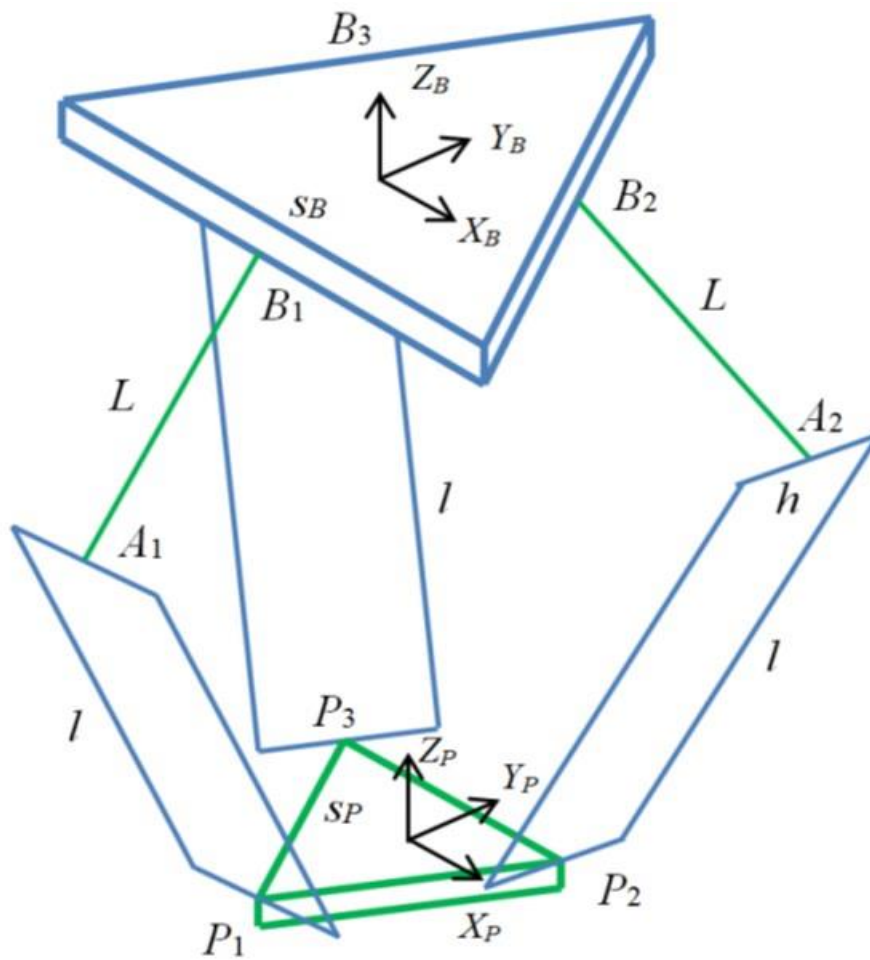
Οι σταθερές βάσεις και οι γεωμετρικές λεπτομέρειες της πλατφόρμας Delta Robot εμφανίζονται στην επόμενη σελίδα.



Εικόνα 3-5 Λεπτομέρειες σταθερής επιφάνειας



Εικόνα 3-6 Λεπτομέρειες Κινούμενης επιφάνειας



Εικόνα 3-7 Κινηματικό διάγραμμα δέλτα ρομπότ

3.1.2 Εφαρμογές του ρομποτικού χειριστή τύπου Δέλτα.

Οι εφαρμογές του ρομποτικού χειριστή τύπου δέλτα ποικίλουν στις βιομηχανίες, οι οποίες εκμεταλλεύονται την υψηλή ταχύτητά του. Μερικές από αυτές υλοποιούνται στη βιομηχανία συσκευασίας. Αυτό επιτυγχάνεται σε γραμμές παραγωγής με ταινιόδρομους συνδυάζοντας το με τεχνητή όραση όπου μπορεί να αντιλαμβάνεται τα αντικείμενα που διέρχονται σε τυχαία θέση και τελικά τοποθετώντας τα οργανωμένα στις συσκευασίες τους (pickandplace).



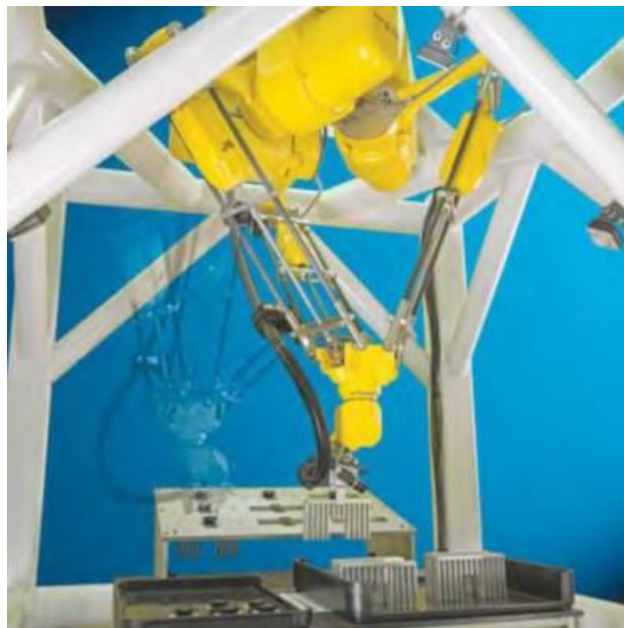
Εικόνα 3-8 Εφαρμογές δέλτα ρομπότ σε αυτοματοποιημένα συσκευαστήρια.



Εικόνα 3-9 Χρήση στον ιατρικό τομέα.

Με μεγάλη επιτυχία εφαρμόζετε και στην ιατρική, λόγω της ακαμψίας του και του ακριβούς έλεγχου κίνησης του άκρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χειρουργικές επεμβάσεις.

Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν εργασίες συναρμολόγησης υψηλής ακρίβειας για ηλεκτρονικά εξαρτήματα.



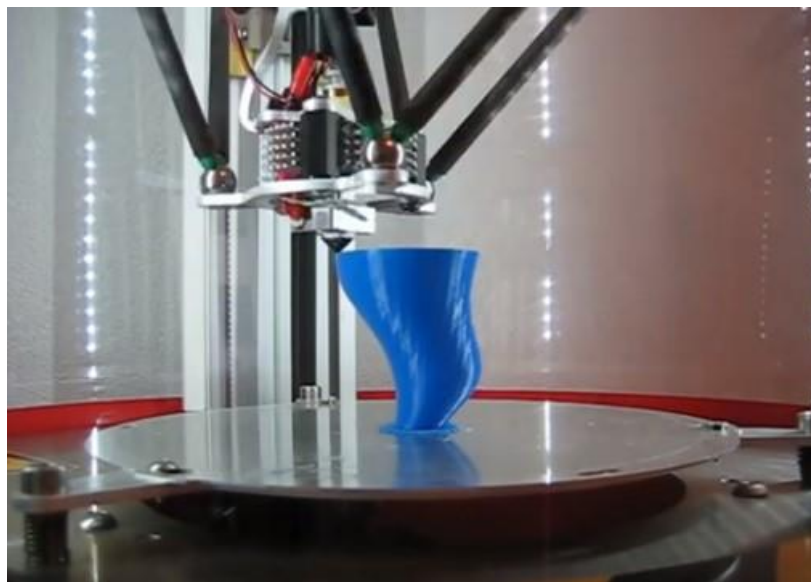
Εικόνα 3-10 Συναρμολόγηση ηλεκτρονικής
πλακέτας



Εικόνα 3-11 Ελεγκτής απτικής ανάδρασης

Επίσης λόγω της δομής του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ελεγκτής απτικής ανάδρασης.

Πρόσφατα η τεχνολογία του δέλτα ρομπότ έχει προσαρμοστεί σε 3D printers, οι οποίοι κατασκευάζονται φθηνότερο και μπορούν να ανταγωνιστούν καλά τους παραδοσιακούς καρτεσιανούς εκτυπωτές.



Εικόνα 3-12 Χρήση δέλτα ρομπότ ως 3D Printer

3.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του ρομποτικού χειριστή τύπου δέλτα.

Ο ρομποτικός χειριστής τύπου δέλτα έχει κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα τα όποια τον καθιστούν ιδανικό για κάποιες εφαρμογές. Τα πλεονεκτήματα που τον κάνουν ξεχωριστό είναι η απλή κατασκευή χωρίς την παρουσία καλωδίων και άλλων κινούμενων μερών που θα περιορίζαν τις δυνατότητες του. Επίσης λόγω του μικρού βάρους στα κινούμενα μέρη του έχει την δυνατότητα να κινητέ επαναληπτικά με μεγάλες ταχύτητες στο χώρο εργασίας του και να επιτυγχάνει υψηλές επιταχύνσεις. Ένα άλλο πλεονέκτημα του είναι η μεγάλη ακρίβεια της κάτω κινούμενης βάσης η οποία είναι αποτέλεσμα της κατασκευής και της γεωμετρίας του.

Ωστόσο, παρά την γρήγορη και ευέλικτη λειτουργία του το μικρό ωφέλιμο φορτίο, του περιορίζει το εύρος των εφαρμογών. Επιπρόσθετα, λόγω κατασκευής ο χώρος εργασίας του περιορίζεται χαρακτηριστικά.

3.2 Εμπορικά βιομηχανικά μοντέλα

Στην σύγχρονη βιομηχανία συναντάμε ποικιλία κατασκευαστών με διάφορα μοντέλα για κάθε βιομηχανική εφαρμογή. Παρακάτω θα αναφερθούμε σε μερικά από αυτά.

ABB:

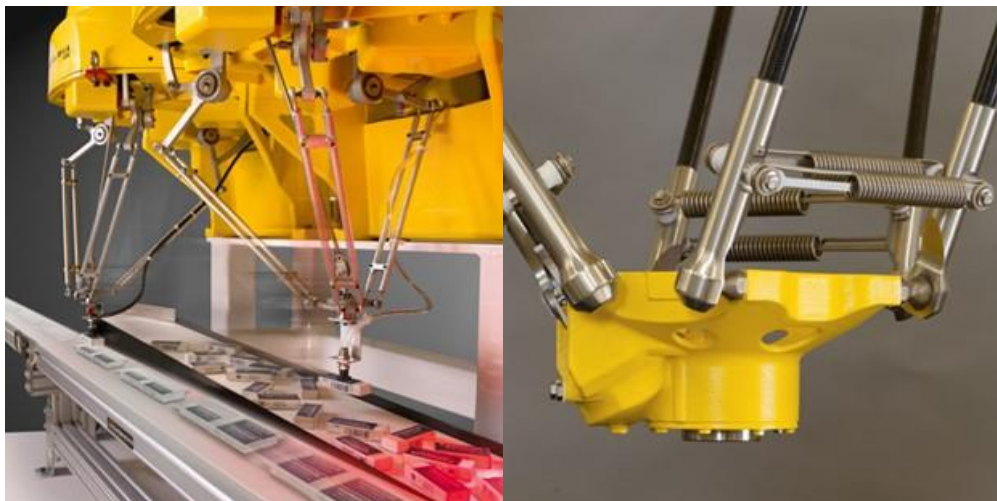
Το IRB 360 FlexPicker της ABB είναι ο ηγέτης στην προηγμένη τεχνολογία ρομποτικής συλλογής και συσκευασίας υψηλής ταχύτητας, το οποίο υπάρχει στην βιομηχανία εδώ και 15 χρόνια. Σε σύγκριση με τους κοινούς συμβατικούς αυτοματισμούς, το IRB 360 προσφέρει πολύ μεγαλύτερη ευελιξία ενώ διατηρεί την ακρίβεια και τα υψηλά ωφέλιμα φορτία.



Εικόνα 3-13 Χρήση δέλτα ρομπότ σε γραμμή παραγωγής συσκευασίας

FANUC:

Σχεδιασμένα ειδικά για να μεγιστοποιούν την ταχύτητα και την ευελιξία σε μικρές εργασίες μεγάλης ταχύτητας για τη διακίνηση και την παραλαβή σε διάφορες βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων τροφίμων, φαρμακευτικών και ηλεκτρονικών ειδών, τα ρομπότ M-3 είναι διαθέσιμα με 3, 4 ή 6 άξονες. Η μοναδική τους δομή παράλληλης σύνδεσης και το πολύ μεγάλο φάκελο εργασίας τους καθιστά ιδανικούς υποψήφιους για την αυτοματοποίηση απαιτητικών εφαρμογών που τα παραδοσιακά ρομπότ serial-link ή scara δεν είναι σε θέση να εκτελέσουν.



Εικόνα 3-14 Δέλτα ρομπότ της FANUC

WEISS:

Εικόνα 3-15 Δέλτα ρομπότ της WEISS

Το προκαθορισμένο πακέτο ελέγχου WEISS επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωση των δέλτα ρομπότ σε οποιοδήποτε σύστημα παραγωγής και την άμεση λειτουργία του χωρίς καμία βαθιά γνώση προγραμματισμού

OMRON ADEPT:

Το παράλληλο ρομπότ Omron Adept Quattro είναι το μοναδικό παράλληλο ρομπότ (δέλτα ρομπότ) στον κόσμο που έχει γίνει αποδεκτό από το USDA για επεξεργασία κρέατος και πουλερικών. Ο κατοχυρωμένος με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας σχεδιασμός τεσσάρων βραχιόνων, οι προηγμένοι αλγόριθμοι ελέγχου και ο μεγάλος χώρος εργασίας καθιστούν το Adept Quattro το ιδανικό ρομπότ εναέριας τοποθέτησης για ομαλές κινήσεις και εφαρμογές υψηλής απόδοσης. Το Adept Quattro τροφοδοτείται από εξειδικευμένα συστήματα ελέγχου και ενσωματωμένους σερβοενισχυτές, γεγονός που μειώνει τον χρόνο κύκλου και ελαχιστοποιεί τον συνολικό του όγκο.



Εικόνα 3-16 Δέλτα ρομπότ της OMRON ADEPT

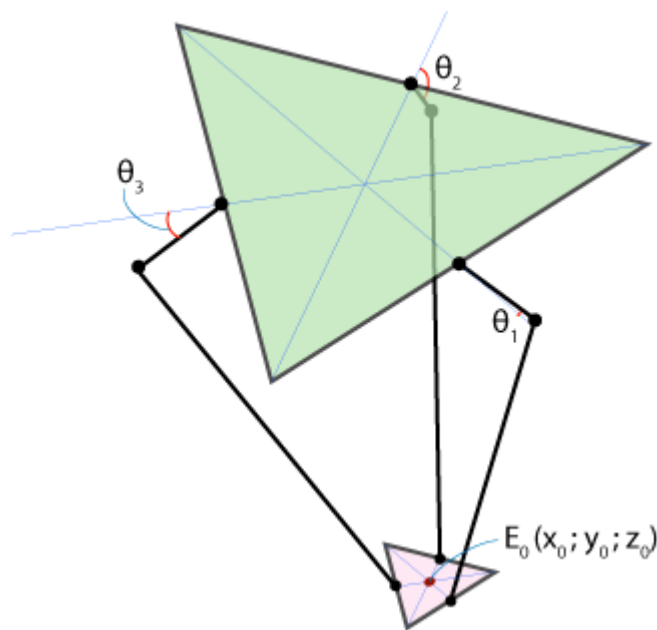
4 Κινηματική ανάλυση

4.1 Ορισμός του προβλήματος

Η ανάλυση του ρομπότ περιλαμβάνει την επίλυση δύο προβλημάτων.

Αρχικά, γνωρίζουμε τις συντεταγμένες της κάτω κινούμενης βάσης και ψάχνουμε τις γωνίες των servo. Αυτό είναι το αντίστροφο κινηματικό, το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε περισσότερο, αφού συνήθως γνωρίζουμε που θέλουμε να κινηθεί η κάτω κινούμενη βάση και ψάχνουμε τις κατάλληλες γωνίες των servo για την επίτευξη της κίνησης αυτής.

Επιπλέον, μπορεί να γνωρίζουμε τις γωνίες των servo και να ψάχνουμε τις συντεταγμένες της κάτω κινούμενης πλατφόρμας. Αυτό είναι γνωστό ως ευθύ κινηματικό πρόβλημα.



Σχήμα 4-1 Ορισμός προβλήματος του δέλτα ρομπότ

Τα παραπάνω φαίνονται αναλυτικότερα στο Σχήμα 4.1

Συμβολίζουμε με $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ τις γωνίες των servo και με $E_0(x_0, y_0, z_0)$ τη θέση της κάτω κινούμενης πλατφόρμας. Επομένως στο Ευθύ κινηματικό πρόβλημα χρειαζόμαστε μια συνάρτηση που να της δίνουμε τα $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ και να μας επιστρέφει τα x_0, y_0, z_0 , ενώ για το Αντίστροφο κινηματικό

πρόβλημα δίνουμε τις συντεταγμένες της κάτω κινούμενης πλατφόρμας και μας υπολογίζει τις γωνίες $\theta_1, \theta_2, \theta_3$.

4.2 Ευθύ κινηματικό πρόβλημα

Το πρόβλημα του ευθύ κινηματικού στο delta-robot ορίζεται ως:

Γνωρίζοντας τις τρεις γωνίες των περιστροφικών αρθρώσεων υπολογίζουμε την θέση της κάτω κινούμενης βάσης. Η λύση του ευθύ κινηματικού προβλήματος στο delta-robot είναι πολύ δύσκολη διότι απαιτεί την επίλυση πολλαπλών εξισώσεων και συχνά υπάρχουν πολλαπλές σωστές λύσεις.

4.3 Αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα

Το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα ορίζεται ως εξής.

Γνωρίζοντας την θέση της κάτω κινούμενης βάσης ψάχνουμε να βρούμε τις απαιτούμενες γωνίες των σερβομοτέρ του delta-robot. Η λύση του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος για το delta-robot δεν είναι τόσο εύκολη διότι απαιτεί την λύση συναρτήσεων για κάθε βραχίονα του ρομπότ.

Οι συναρτήσεις που προκύπτουν είναι του τύπου:

$$E_i \cos \theta_i + E_i \sin \theta_i + G_i = 0 \quad i = 1, 2, 3$$

όπου:

$$\begin{cases} E_1 = 2L(y + a) \\ F_1 = 2zL \\ G_1 = x^2 + y^2 + z^2 + a^2 + L^2 + 2ya - l^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} E_2 = -L(\sqrt{3}(x + b) + y + c) \\ F_2 = 2zL \\ G_2 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2(xb + yc) - l^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} E_3 = -L(\sqrt{3}(x - b) - y - c) \\ F_3 = 2zL \\ G_3 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2(-xb + yc) - l^2 \end{cases}$$

Η εξίσωση $E_i \cos \vartheta_i + F_i \sin \vartheta_i + G_i = 0$ εμφανίζεται συχνά σε κινηματικές ρομπότ και μηχανισμών και λύνεται εύκολα χρησιμοποιώντας την Tangent Half-Angle Substitution.

Αν ορίσουμε $t_i = \tan \frac{\theta_i}{2}$ τότε $\cos \theta_i = \frac{1-t_i^2}{1+t_i^2}$ και $\sin \theta_i = \frac{2t_i}{1+t_i^2}$

Αντικαθιστώντας την Tangent Half-Angle Substitution στην εξίσωση παίρνουμε:

$$E_i \left(\frac{1-t_i^2}{2+t_i^2} \right) + F_i \left(\frac{2t_i}{2+t_i^2} \right) + G_i = 0$$

$$E_i(1-t_i^2) + F_i(2t_i) + G_i(1+t_i^2) = 0$$

$$(G_i - E_i)t_i^2 + (2F_i)t_i + (G_i + E_i) = 0$$

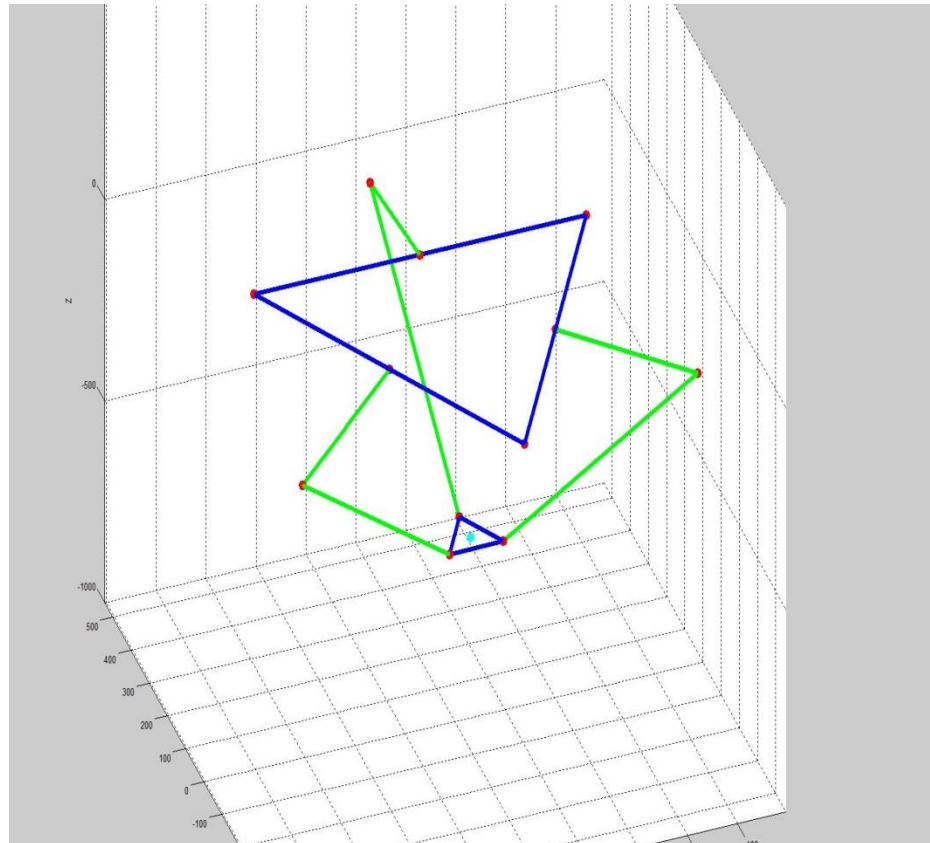
Ρίζα της λύσης:

$$t_{1,2} = \frac{-F_i \pm \sqrt{E_i^2 - F_i^2 - G_i^2}}{G_i - E_i}$$

Λύνοντας για το θ_i , αντιστρέφοντας τον αρχικό ορισμό της Tangent Half-Angle Substitution:

$$\theta_i = 2 \tanh^{-1}(t_i)$$

Υπάρχουν δύο θ_i λύσεις λόγω του \pm στον τετραγωνικό τύπο. Είναι σωστές και οι δύο, αφού υπάρχουν δύο έγκυρες λύσεις, μία με το γόνατο προς τα έξω και μία προς τα μέσα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα δύο λύσεις για κάθε πόδι του delta-robot, για ένα σύνολο 8 πιθανών έγκυρων λύσεων. Γενικά θα επιλεγεί η λύση κατά την οποία όλα τα γόνατα είναι προς τα έξω αντί για προς τα μέσα.



Εικόνα 4-1 Απεικόνιση Δέλτα ρομπότ από το matlab

Επίλυση αντίστροφου κινηματικού προβλήματος του delta robot με το υπολογιστικό πρόγραμμα Matlab

Παρακάτω παρουσιάζεται ο κώδικας του delta robot από το πρόγραμμα Matlab και στην συνέχεια οι επιμέρους συναρτήσεις του.

Αρχικά ορίζουμε τις απαιτούμενες βασικές διαστάσεις και μεταβλητές των μερών του ρομπότ που χρειάζονται για να υπολογιστεί το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα.

Κυρίως πρόγραμμα

```
s=1;
while s==1
fprintf('(1)ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΥ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ\n');
fprintf('(2)ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΚΙΝΗΣΗ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ\n');
fprintf('(3)ΤΕΛΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ\n');

select=input('ΤΙ ΘΑ ΘΕΛΑΤΕ ΝΑ ΓΙΝΕΙ (1-3);\n');

switch select

case 1

clear all

dr = supdelta.delta_robot_config() % Διαστάσεις Delta Robot
s=1;

fprintf('ΕΠΕΛΕΞΕΣ ΤΟ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ\n');

x = input('Δώσε τιμή για x (σε mm):');
y = input('Δώσε τιμή για y (σε mm):');
z = input('Δώσε τιμή για z (σε mm):');

y=-y; %μετατροπή για λόγους προσανατολισμού

disp ('=====ΓΩΝΙΕΣ=====')
%Επίλυση αντίστροφου κινηματικού προβλήματος
[thita1, thita2, thita3]=supdelta.inverseKin(x,y,z, dr)

%Έλεγχος για περιορισμό μέγιστης και ελάχιστης επιτρεπτής γωνίας της κατασκευής

if thita1 >= 35 || thita1 <= -90 || thita2 >= 35 || thita2 <= -
90 || thita3 >= 35 || thita3 <= -90;

fprintf(2, 'ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΕΦΙΚΤΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ\n
')

else

fprintf('\n      θ1=%6.2f      °\n      θ2=%6.2f      °\n      θ3=%6.2f
°\n\n\n',thita1,thita2,thita3)

clf;

r1= thita1*pi/180;
```



```

r2= thita2*pi/180;
r3= thita3*pi/180;

supdelta.plotdeltarobot(x,y,z,dr) %Εκτύπωση Delta Robot

disp ('=====ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΡΘΡΩΣΕΩΝ=====')

supdelta.calcD_and_AD(x,y,z, dr) %Επαλήθευση μηκών ρομποτικών
χειρηστών
end

case 2

clear all

dr = supdelta.delta_robot_config()
s=1;

fprintf('ΕΠΕΛΕΞΕΣ ΤΗΝ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΚΙΝΗΣΗ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΣΕ
ΣΗΜΕΙΟ\n\n');

x1 = input('Δώσε τιμή για x1 (σε mm):');
y1 = input('Δώσε τιμή για y1 (σε mm):');
z1 = input('Δώσε τιμή για z1 (σε mm):');

x2 = input('Δώσε τιμή για x2 (σε mm):');
y2 = input('Δώσε τιμή για y2 (σε mm):');
z2 = input('Δώσε τιμή για z2 (σε mm):');

y1=-y1;
y2=-y2;

figure('Position',get(0,'ScreenSize'))

for i=0: 0.01: 1

    x= x1+i*(x2-x1);
    y= y1+i*(y2-y1);
    z= z1+i*(z2-z1);

[thita1, thita2, thita3]=supdelta.inverseKin(x,y,z, dr)

if thita1 >= 35 || thita1 <= -90 || thita2 >= 35 || thita2 <= -
90 || thita3 >= 35 || thita3 <= -90;

fprintf(2, '\n\nΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΕΦΙΚΤΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ\n\n')
break;

else

```

```
fprintf('\n      θ1=%6.2f      °\n      θ2=%6.2f      °\n      θ3=%6.2f
°\n\n\n',thita1,thita2,thita3)

clf;

supdelta.plotdeltarobot(x,y,z,dr)

pause(0.001)

end
end

    case 3
        s=0;

end
end
```

Συνάρτηση διαστάσεων Delta Robot

```
function dr = delta_robot_config()
    dr.Wb= 192;           %Μήκος από το κέντρο της άνω
σταθερής βάσης έως την άρθρωση του μοτέρ
    dr.Wp = 31.0037;    %Μεταβλητή για τους υπολογισμούς
που ισούτε με Up /2
    dr.Up = 62.00742;   %Μήκος από το κέντρο της
κινούμενης βάσης έως την άρθρωση
    dr.Sp = 107.4;     %Μήκος πλευράς κάτω κινούμενης
βάσης
    dr.L = 280;        %Μήκος μπράτσου
    dr.l = 660;        %Μήκος συνδετικού βραχίονα
    dr.w =96;          %Μεταβλητή για τους υπολογισμούς
που ισούτε με Wb/2
```

```

dr.q=384; %Μεταβλητή για τους υπολογισμούς
που ισούτε με Wb*2

dr.B=5*pi/6; %Μεταβλητή για τους υπολογισμούς από
την γεωμετρία του ισόπλευρου τριγώνου

end

```

Συνάρτηση επίλυσης αντίστροφου κινηματικού προβλήματος

```

function [thital, thita2, thita3] = inverseKin(x,y,z,dr)

a = dr.Wb-dr.Up;
b = (dr.Sp/2)-(sqrt(3)/2)*dr.Wb;
c = dr.Wp-(1/2)*dr.Wb;

% Υπολογισμοί ρομποτικών χειρηστών
E1 = 2*dr.L*(y+a);
F1 = 2*z*dr.L;
G1 = x^2+y^2+z^2+a^2+dr.L^2+2*y*a-dr.l^2;

E2 = -dr.L*(sqrt(3)*(x+b)+y+c);
F2 = 2*z*dr.L;
G2 = x^2+y^2+z^2+b^2+c^2+dr.L^2+2*(x*b+y*c)-dr.l^2;

E3 = dr.L*(sqrt(3)*(x-b)-y-c);
F3 = 2*z*dr.L;
G3 = x^2+y^2+z^2+b^2+c^2+dr.L^2+2*(-x*b+y*c)-dr.l^2;

t1 = (-F1+sqrt(E1^2+F1^2-G1^2))/(G1-E1);
t2 = (-F2+sqrt(E2^2+F2^2-G2^2))/(G2-E2);
t3 = (-F3+sqrt(E3^2+F3^2-G3^2))/(G3-E3);

%Υπολογισμός γωνιών και μετατροπή σε μοίρες
thital = 2*atan(t1)*(180/pi);
thita2 = 2*atan(t2)*(180/pi);
thita3 = 2*atan(t3)*(180/pi);

r1= thital*pi/180;
r2= thita2*pi/180;
r3= thita3*pi/180;

end

```

Συνάρτηση εκύπωσης Delta robot

```

function [] = plotdeltarobot(x,y,z, dr)
% x: x-συντεταγμένη
% y: y- συντεταγμένη
% z: z- συντεταγμένη
% dr: Διαμόρφωση Delta robot
Wb = dr.Wb;           %Μήκος από το κέντρο της άνω σταθερής βάσης
έως την άρθρωση του μοιέρ
Wp = dr.Wp;           %Μεταβλητή για τους υπολογισμούς που
ισούτε με Up /2
Up = dr.Up;           %Μήκος από το κέντρο της κινούμενης βάσης
έως την άρθρωση
Sp = dr.Sp;           %Μήκος πλευράς κάτω κινούμενης βάσης
L = dr.L;             %Μήκος μπράτσου
l = dr.l;             %Μήκος συνδετικού βραχίονα
w=dr.w;              %Μεταβλητή για τους υπολογισμούς που
ισούτε με Wb/2
q=dr.q;              %Μεταβλητή για τους υπολογισμούς που ισούτε
με Wb*2
B=dr.B;              %Μεταβλητή για τους υπολογισμούς από την
γεωμετρία του ισόπλευρου τριγώνου

[thita1,thita2,thita3]=supdelta.inverseKin(x,y,z,dr);
r1=thita1*(pi/180);
r2=thita2*(pi/180);
r3=thita3*(pi/180);
% Υπολογισμός των άκρων των μπράτσων
p1x=L*cos(r1)*sin(0);
p1y=Wb+L*cos(r1)*cos(0);
p1z=L*sin(r1);
p2x=sqrt(Wb^2-w^2)+L*cos(r2)*sin(2*pi/3);
p2y=-w+L*cos(r2)*cos(2*pi/3);
p2z=L*sin(r2);
p3x=-sqrt(Wb^2-w^2)+L*cos(r3)*sin(-2*pi/3);
p3y=-w+L*cos(r3)*cos(-2*pi/3);
p3z=L*sin(r3);

% Εκτύπωση αρθρώσεων της άνω σταθερής βάσης
plot3(0,Wb,0,'ro','linewidth',5)
hold on

```

```

plot3(sqrt(Wb^2-w^2),-Wb/2,0,'ro','linewidth',5)
plot3(-sqrt(Wb^2-w^2),-Wb/2,0,'ro','linewidth',5)

% Εκτύπωση της άνω σταθερής βάσης

plot3(q*cos(B),q*sin(B),0,'ro','linewidth',5)
plot3(q*cos(B+2*pi/3),q*sin(B+2*pi/3),0,'ro','linewidth',5)
plot3(q*cos(B+4*pi/3),q*sin(B+4*pi/3),0,'ro','linewidth',5)

line([q*cos(B)          q*cos(B+2*pi/3)          q*cos(B+4*pi/3)
q*cos(B)],[q*sin(B)          q*sin(B+2*pi/3)          q*sin(B+4*pi/3)
q*sin(B)],[0 0 0 0]','linewidth',5)

% Εκτύπωση ρομποτικών χειρηστών
plot3(p1x,p1y,p1z,'ro','linewidth',5)
plot3(p2x,p2y,p2z,'ro','linewidth',5)
plot3(p3x,p3y,p3z,'ro','linewidth',5)

line([0 p1x ],[Wb p1y ],[0 p1z ],'linewidth',5,'Color',[0 1
0])
line([sqrt(Wb^2-w^2)    p2x    ],[-Wb/2    p2y    ],[0    p2z
], 'linewidth',5,'Color',[0 1 0])
line([-sqrt(Wb^2-w^2)    p3x    ],[-Wb/2    p3y    ],[0    p3z
], 'linewidth',5,'Color',[0 1 0])

% Εκτύπωση συνδετικών βραχιόνων
line([p1x x ],[p1y -y+Up ],[p1z -z ],'linewidth',5,'Color',[0
1 0])
line([p2x    x+Sp/2    ],[p2y    -y-Wp    ],[p2z    -z
], 'linewidth',5,'Color',[0 1 0])
line([p3x    x-Sp/2    ],[p3y    -y-Wp    ],[p3z    -z
], 'linewidth',5,'Color',[0 1 0])

plot3(x+Sp/2,-y-Wp,-z,'ro','linewidth',5)
plot3(x-Sp/2,-y-Wp,-z,'ro','linewidth',5)
plot3(x,-y+Up,-z,'ro','linewidth',5)

% Εκτύπωση κάτω κινούμενης βάσης
plot3(x,-y,-z,'co','linewidth',5)
line([x x+Sp/2 x-Sp/2 x],[-y+Up -y-Up/2 -y-Up/2 -y+Up],[-z -z
-z -z], 'linewidth',5)

xlabel('X');
ylabel('Y');
zlabel('Z');
grid on ;

```

```
xlim([-500 500])
ylim([-500 500])
zlim([-1000 500])

end
```

Συνάρτηση επαλήθευσης μηκών των ρομποτικών χειρηστών

```
function []= calcd_and_AD(x,y,z,dr)
% επαλήθευση μηκών των ρομποτικών χειρηστών
[thital, thita2, thita3]=supdelta.inverseKin(x,y,z,dr);

P3 = supdelta.arm_points(thital,thita2,thita3,dr);

AD1 = sqrt(sum(([0,dr.Wb, 0]-P3(1,:)).^2)) ;
AD2 = sqrt(sum([sqrt(dr.Wb^2-dr.w^2), (-dr.Wb/2), 0]-
P3(2,:)).^2)) ;
AD3 = sqrt(sum([-sqrt(dr.Wb^2-dr.w^2), (-dr.Wb/2), 0]-
P3(3,:)).^2)) ;

fprintf('\n D1=%6.2f mm\n D2=%6.2f mm\n D3=%6.2f
mm\n',AD1,AD2,AD3)

D1 = sqrt(sum([x , (-y+dr.Up), -z]-P3(1,:)).^2)) ;
D2 = sqrt(sum([ (x+dr.Sp/2), (-y-dr.Wp), -z]-P3(2,:)).^2)) ;
D3 = sqrt(sum([ (x-dr.Sp/2), (-y-dr.Wp), -z]-P3(3,:)).^2)) ;

fprintf('\n D1=%6.2f mm\n D2=%6.2f mm\n D3=%6.2f
mm\n',D1,D2,D3)
end
```

Συνάρτηση υπολογισμού συντεταγμένων ρομποτικών χειρηστών

```
function [P3] = arm_points(r1,r2,r3, dr)
% Υπολογισμός σημείων των ρομποτικών χειρηστών.
% r1,r2,r3: γωνίες σε [rad]
%
```

```
% επιστρέφει ένα πίνακα όπου κάθε σειρά του είναι
συντεταγμένες x,y,z, των άκρων των ρομποτικών χειρηστών
r1= r1*pi/180;
r2= r2*pi/180;
r3= r3*pi/180;
p1x=dr.L*cos(r1)*sin(0);
p1y=dr.Wb+dr.L*cos(r1)*cos(0);
p1z=dr.L*sin(r1);
p2x=sqrt(dr.Wb^2-dr.w^2)+dr.L*cos(r2)*sin(2*pi/3);
p2y=-dr.w+dr.L*cos(r2)*cos(2*pi/3);
p2z=dr.L*sin(r2);
p3x=-sqrt(dr.Wb^2-dr.w^2)+dr.L*cos(r3)*sin(-2*pi/3);
p3y=-dr.w+dr.L*cos(r3)*cos(-2*pi/3);
p3z=dr.L*sin(r3);

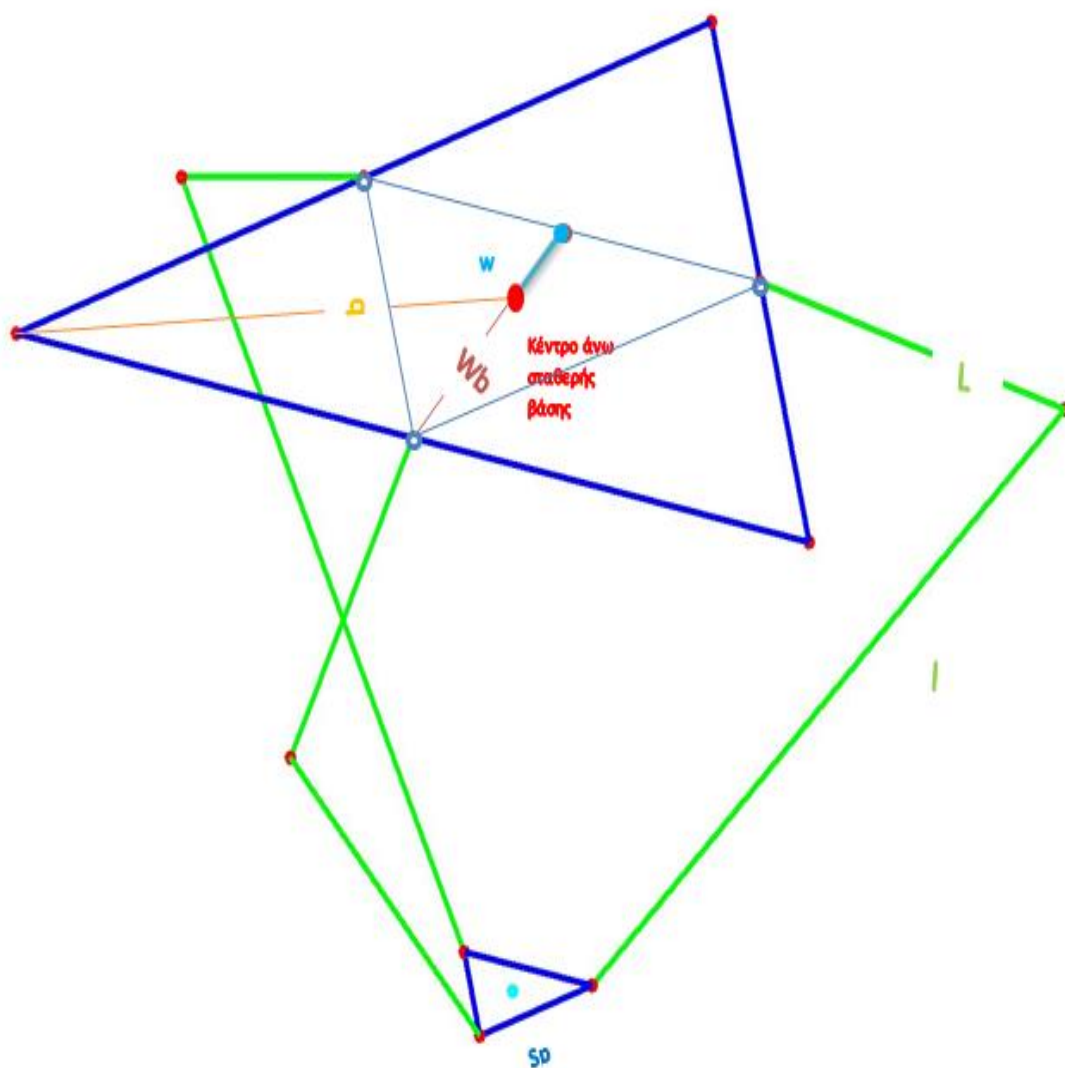
P3 = [p1x, p1y, p1z;p2x, p2y, p2z;p3x, p3y, p3z];
end
```


Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι μεταβλητές του Delta Robot που χρησιμοποιήθηκαν στο matlab.

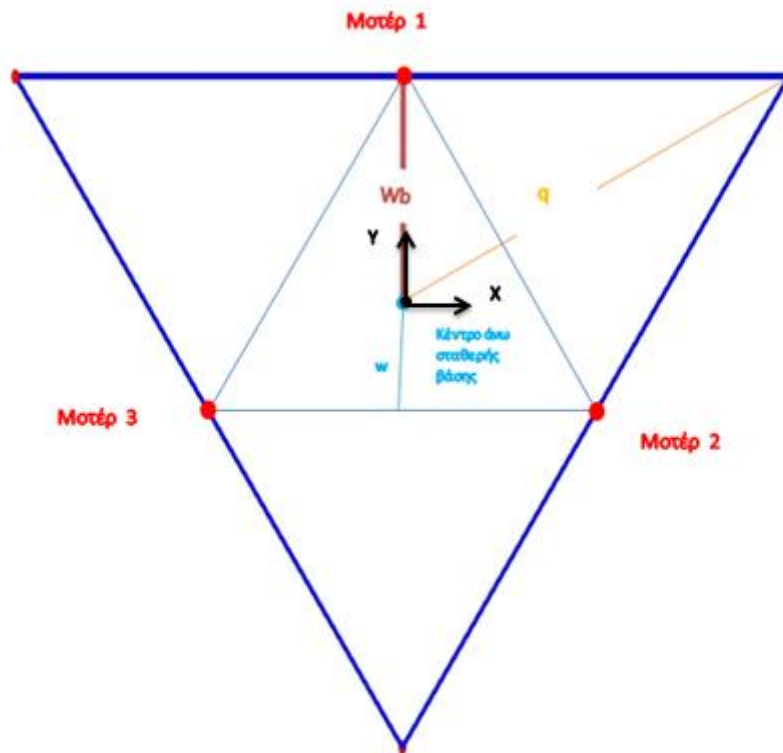
Το κέντρο της άνω σταθερής βάσης είναι το κέντρο των αξόνων, το σημείο 0(0,0,0). Με βάση αυτό το σημείο δίνονται οι συντεταγμένες για το που θα κινηθεί η κινούμενη βάση.

$Wb = 192;$	Μήκος από το κέντρο της άνω σταθερής βάσης έως την άρθρωση του μοτέρ
$q = 384;$	Μεταβλητή για τους υπολογισμούς που ισούτε με $Wb*2$
$w = 96;$	Μεταβλητή για τους υπολογισμούς που ισούτε με $Wb/2$
$Up = 62.00742;$	Μήκος από το κέντρο της κινούμενης βάσης έως την άρθρωση
$Wp = 31.0037;$	Μεταβλητή για τους υπολογισμούς που ισούτε με $Up /2$
$Sp = 107.4;$	Μήκος πλευράς κάτω κινούμενης βάσης
$L = 280;$	Μήκος μπράτσου
$l = 660;$	Μήκος συνδετικού βραχίονα
$B = 5 * \pi/6;$	Μεταβλητή για τους υπολογισμούς από την γεωμετρία του ισόπλευρου τριγώνου

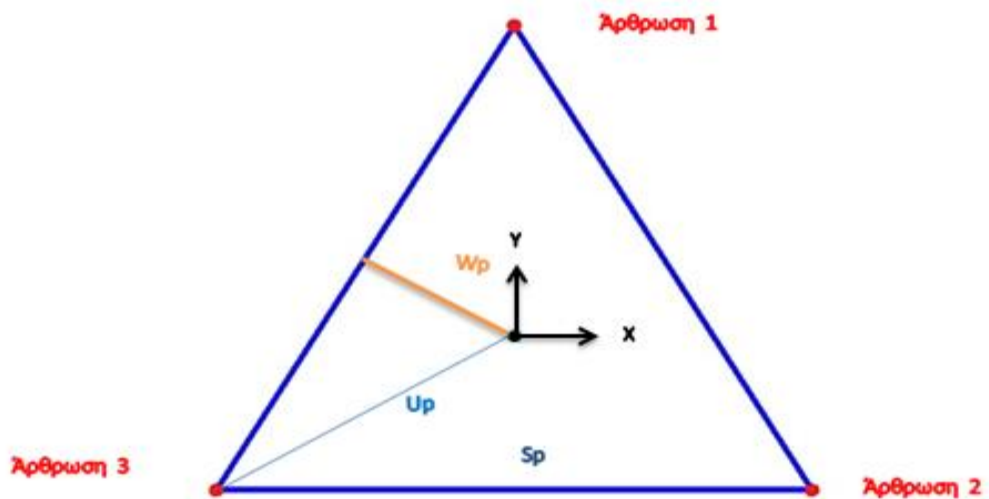
Παρακάτω φαίνονται στις εικόνες με λεπτομέρεια οι μεταβλητές της άνω σταθερής βάσης και της κινούμενης που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα Matlab καθώς και το σύστημα συντεταγμένων και η θέση των μοτέρ.



Εικόνα 4-2 Απεικόνιση Διαστάσεων Δέλτα Ρομπότ

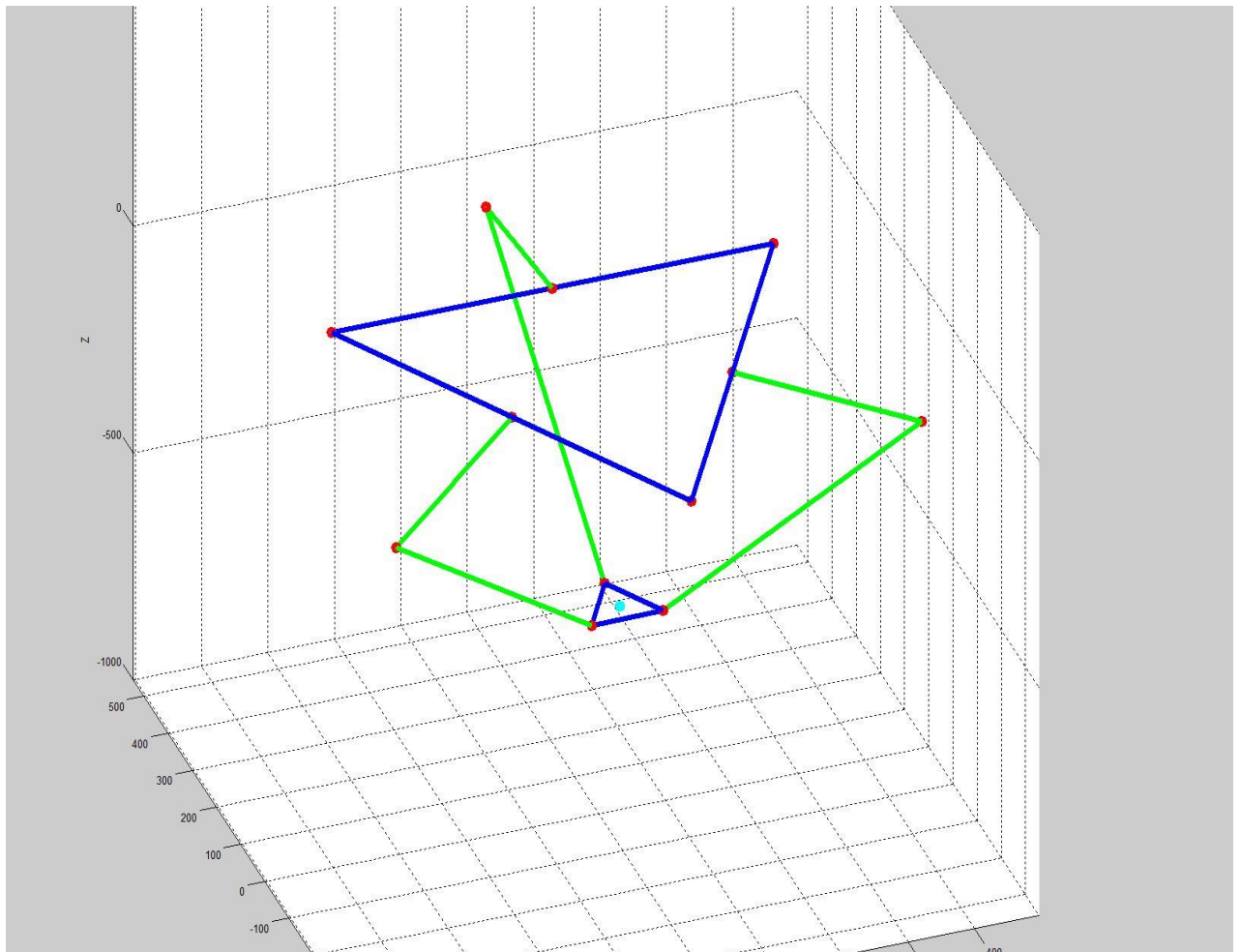


Εικόνα 4-3 Διαστάσεις άνω σταθερής βάσης

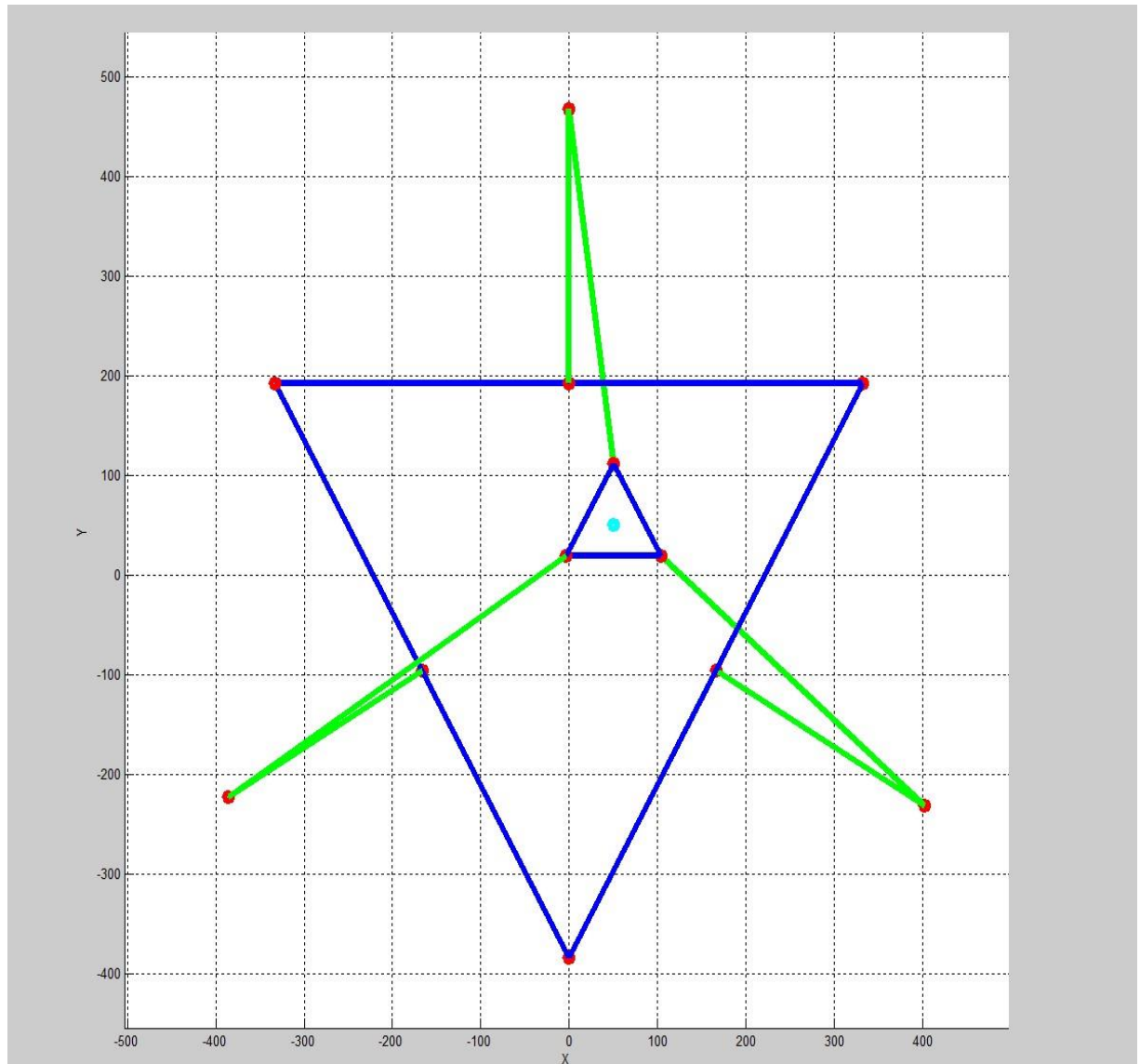


Εικόνα 4-4 Διαστάσεις κάτω κινούμενης βάσης

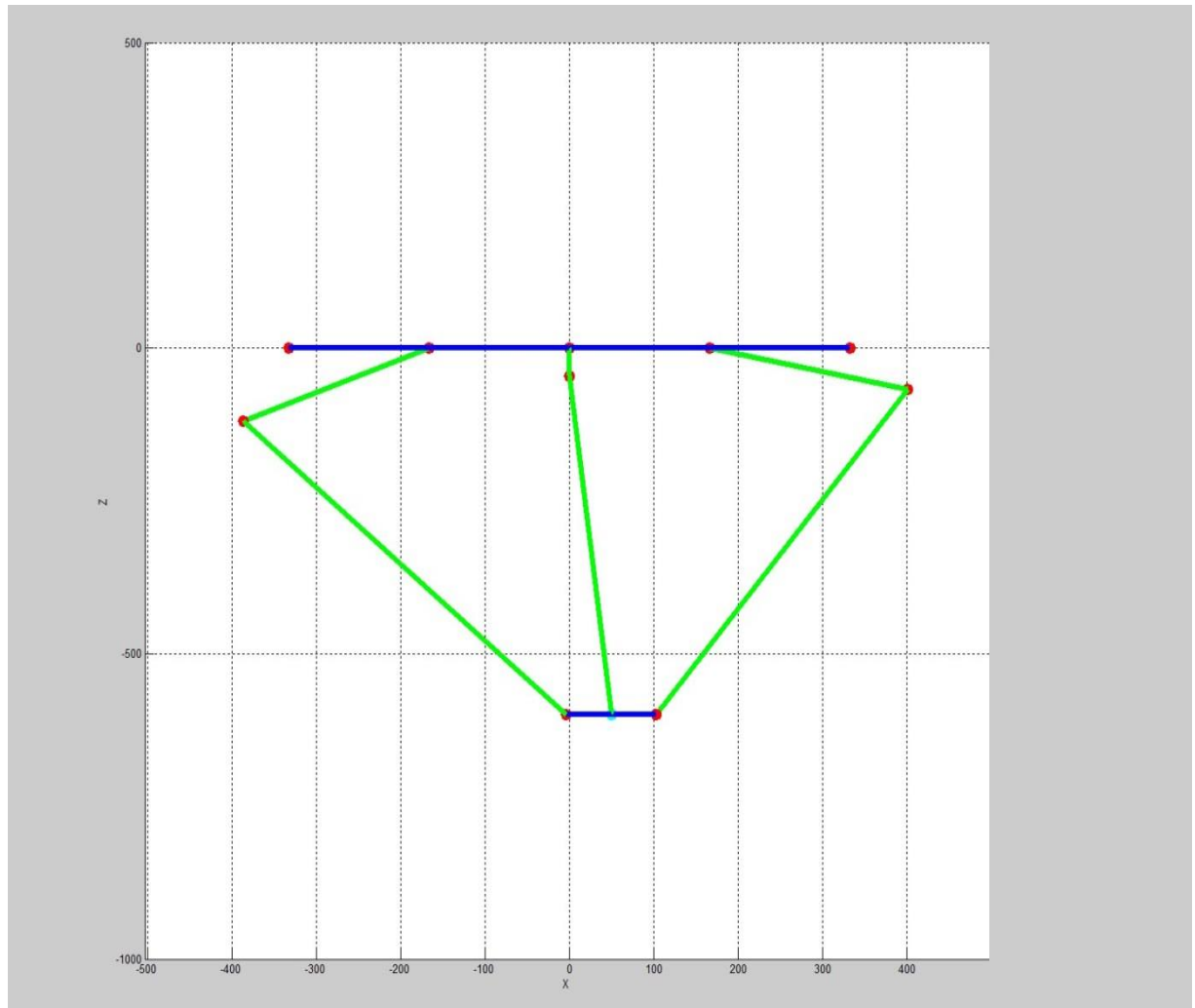
Παρακάτω παρουσιάζονται δυο παραδείγματα για την υπόθεση 1 και 2 του προγράμματος και πως απεικονίζονται στο Matlab. Στο 1^ο παράδειγμα επιλέχθηκε η πρώτη υπόθεση όπου δίνοντας στο πρόγραμμα που θέλουμε να πάει εκτελεί το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα και απεικονίζει το διάγραμμα του Delta Robot στην ζητούμενη θέση εικόνες 4-5, 4-6, 4-7. Στο παρακάτω παράδειγμα δηλώθηκαν ως ζητούμενες συντεταγμένες $x=50, y=50, z=600$. (Για λόγους απλοποίησης στο πρόγραμμα γίνεται αλλαγή προσήμου στον άξονα z). Αξίζει να σημειωθεί ότι στο πρόγραμμα γίνεται έλεγχος ώστε να ανταποκρίνονται οι τιμές που μπορούν να του δοθούν με τον πραγματικό χώρο εργασίας.



Εικόνα 4-5 Απεικόνιση διαγράμματος Δέλτα Ρομπότ από το Matlab στην πρώτη υπόθεση

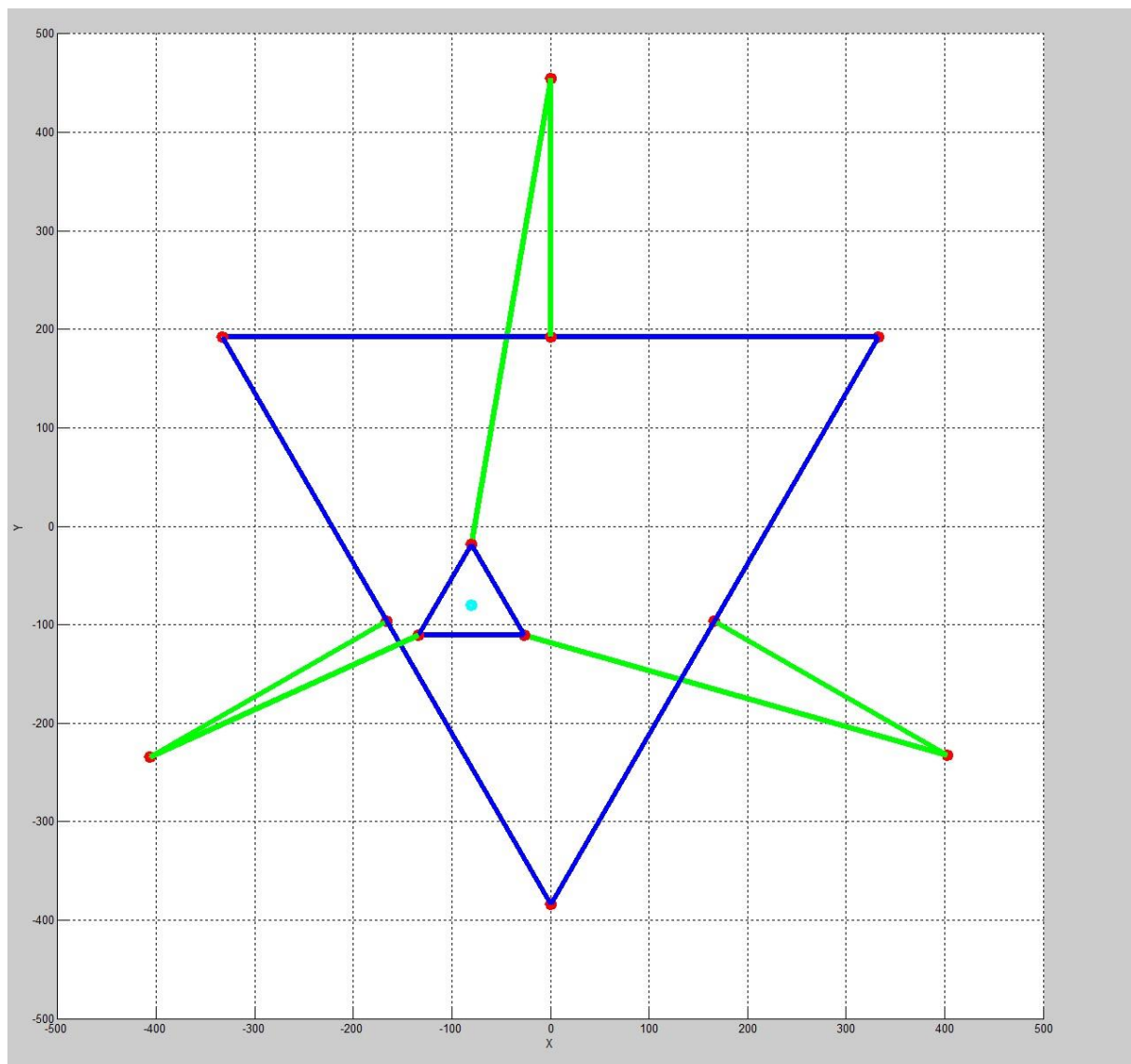


Εικόνα 4-6 Απεικόνιση x,y αξόνων στο πρώτο παράδειγμα

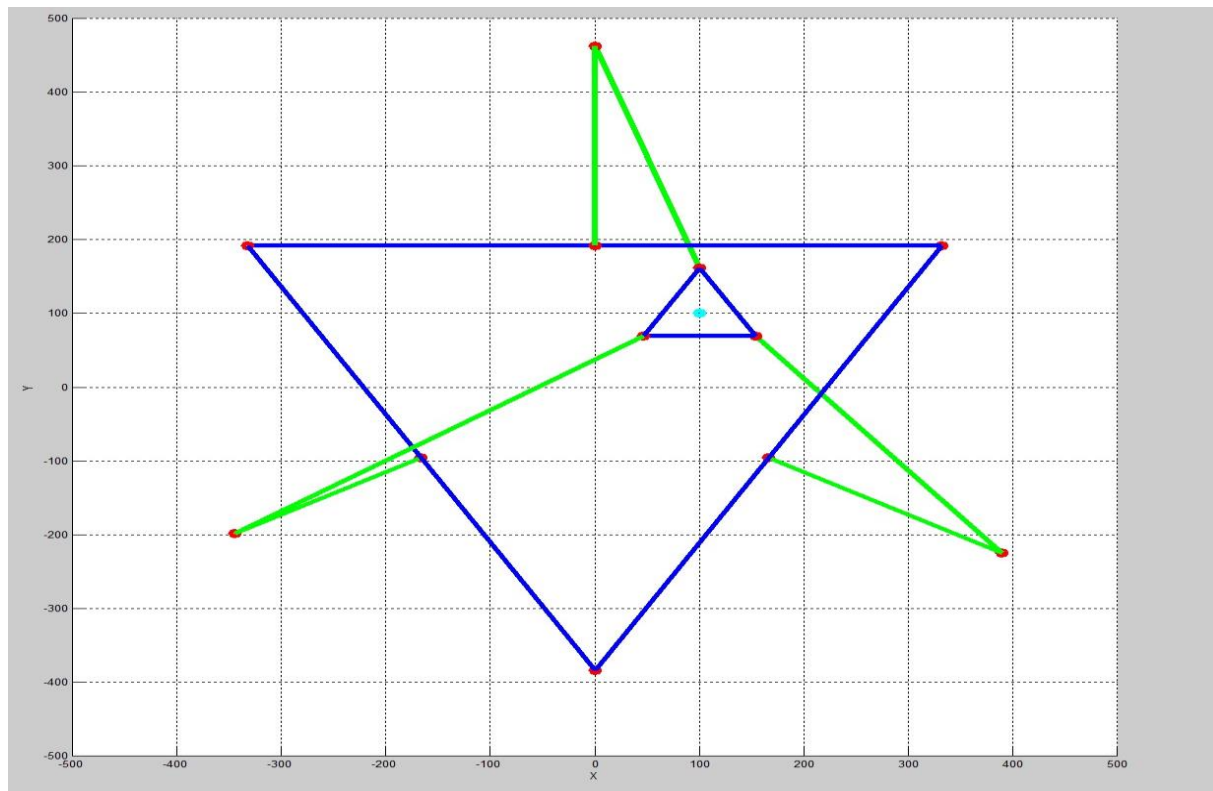


Εικόνα 4-7 Απεικόνιση άξονα z στο πρώτο παράδειγμα

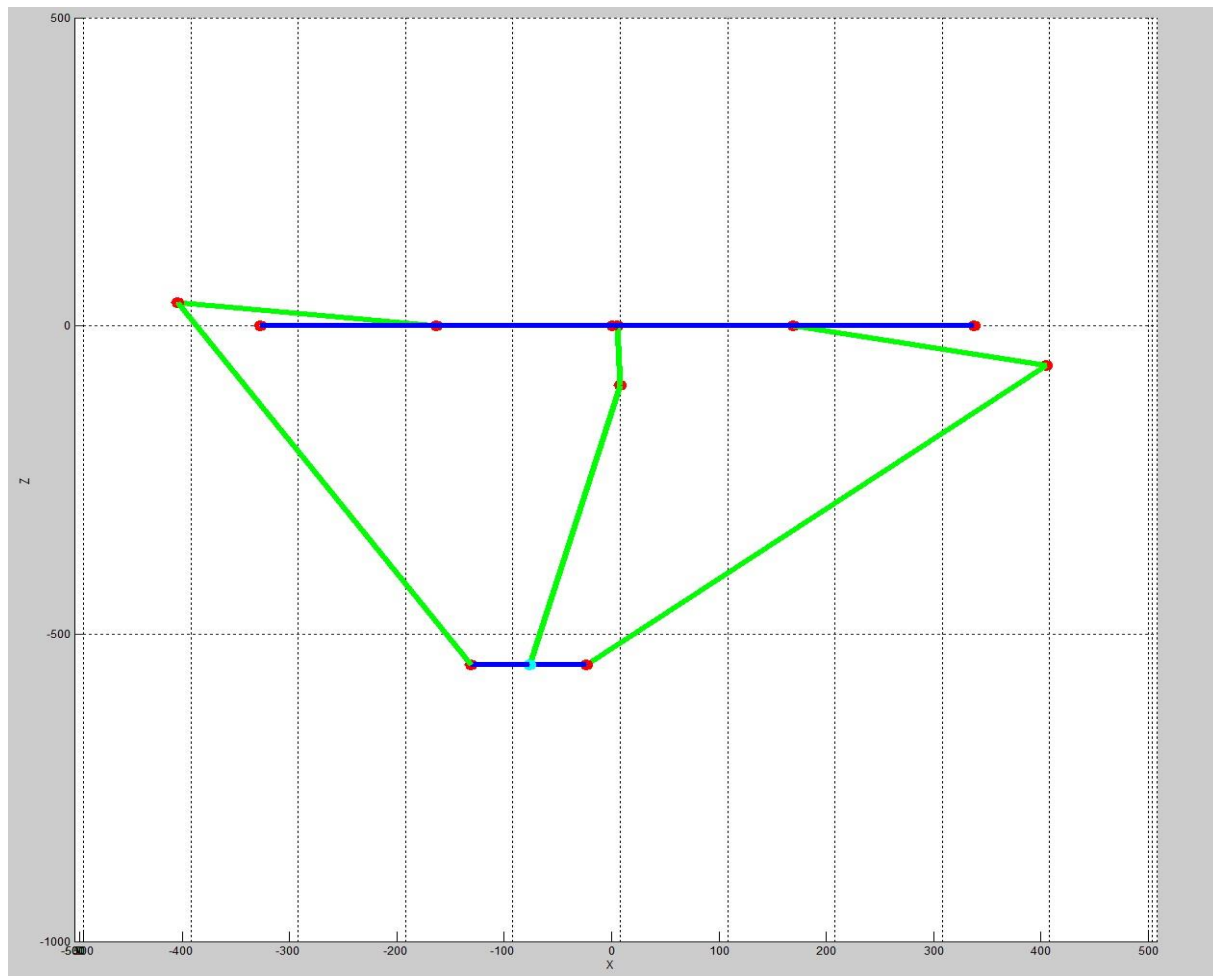
Στο δεύτερο παράδειγμα επιλέχθηκε η δεύτερη υπόθεση στο πρόγραμμα όπου εκτελείτε η κίνηση από σημείο σε σημείο. Το πρόγραμμα εκτελεί το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα για κάθε ενδιάμεσο σημείο ώσπου να εκτελέσει την ζητούμενη κίνηση. Στις παρακάτω εικόνες (4-8 έως 4-11) απεικονίζεται η κίνηση από σημείο σε σημείο.



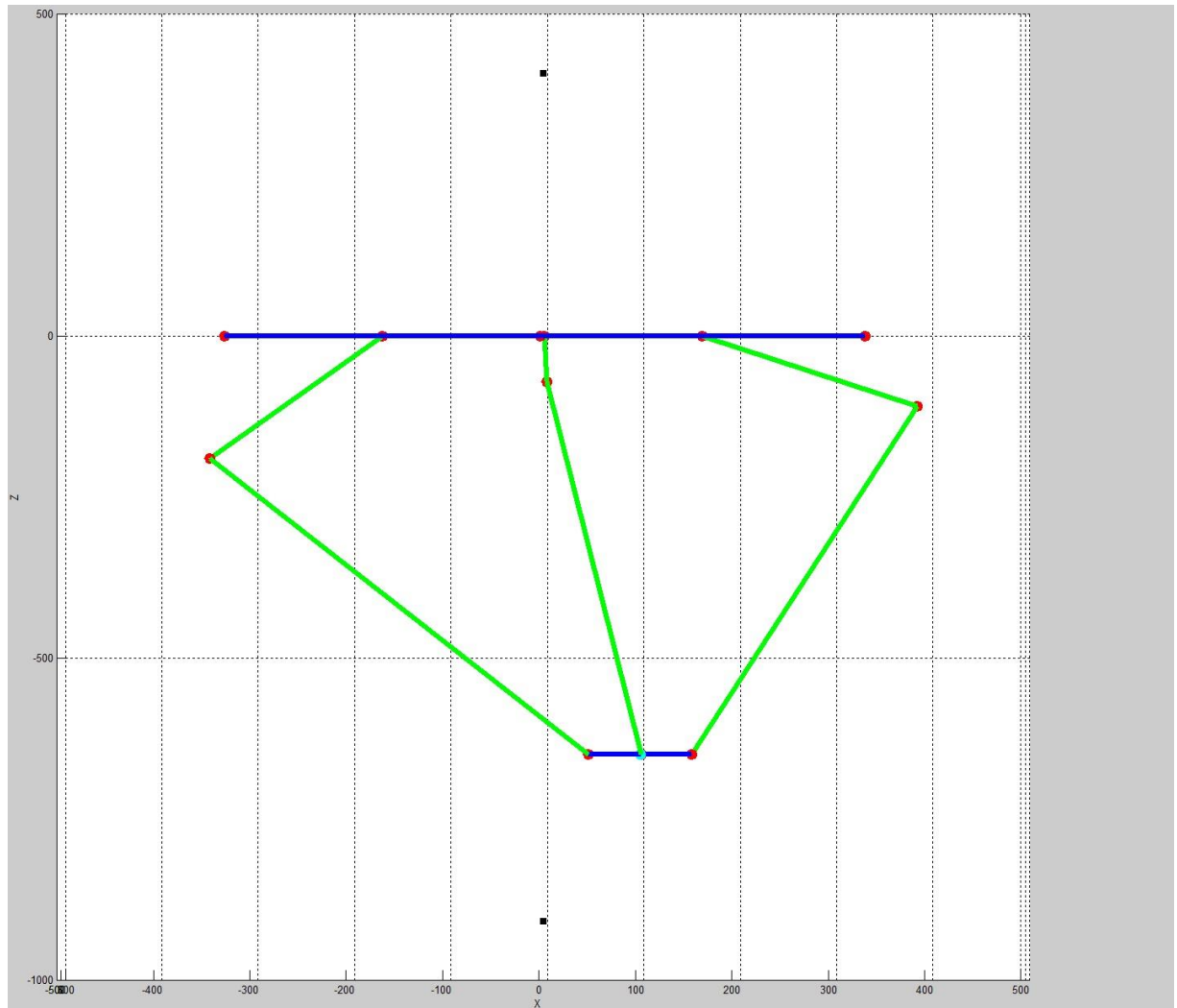
Εικόνα 4-8 Αρχική θέση εκκίνησης-απεικόνιση αξόνων X-Y



Εικόνα 4-9 Τελική θέση-απεικόνιση αξόνων X-Y



Εικόνα 4-10 Αρχική θέση εκκίνησης-απεικόνιση άξονα Z



Εικόνα 4-11 Τελική θέση-απεικόνιση άξονα Z

5 Σχεδιασμός και Κατασκευή του Delta Robot

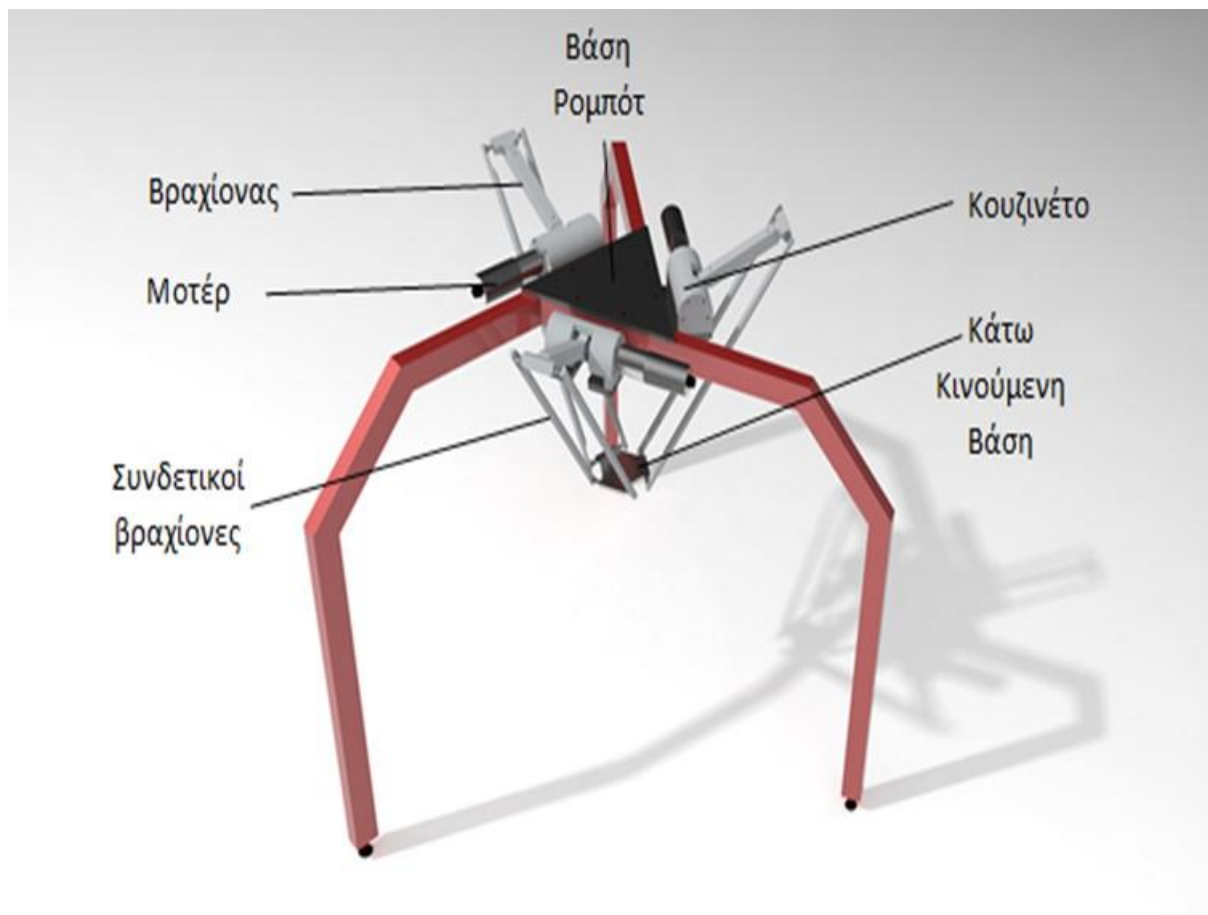
Το Delta Robot που κατασκευάστηκε, σχεδιάστηκε αρχικά στο Autocad το κάθε κομμάτι ξεχωριστά και έπειτα εξολοκλήρου στο λογισμικό CREO PARAMETRIC όπου και έγινε η προσομοίωση της λειτουργίας του, αλλά και για να γίνει η εξαγωγή του G κώδικα ώστε να κατασκευαστούν τα κομμάτια στην φρέζα. Τα κύρια μέρη του είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο και χάλυβα σε συμβατικές και CNC εργαλειομηχανές (Εικόνα 5.1) στο εργαστήριο του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου Κρήτης. Λόγω της υψηλής ακρίβειας που απαιτήθηκε να έχει η κατασκευή τα επί μέρους κομμάτια του ρομπότ επιλέχθηκε να κατασκευαστούν σε CNC τόρνο και φρέζα.



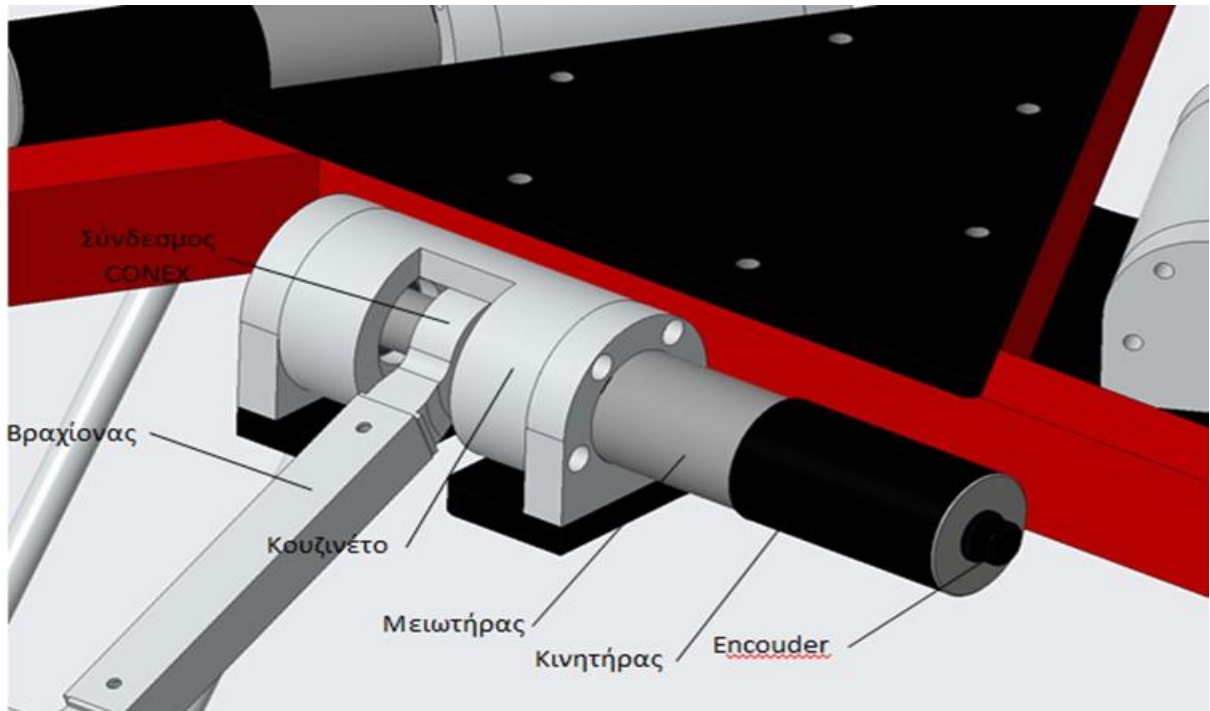
Εικόνα 5-1 Εργαλειομηχανές CNC

Η επιλογή του αλουμινίου έγινε λόγω της ταυτόχρονης αντοχής του αλλά και του μικρού βάρους του, δύο χαρακτηριστικά που ήταν αναγκαία για την υλοποίηση του ρομπότ.

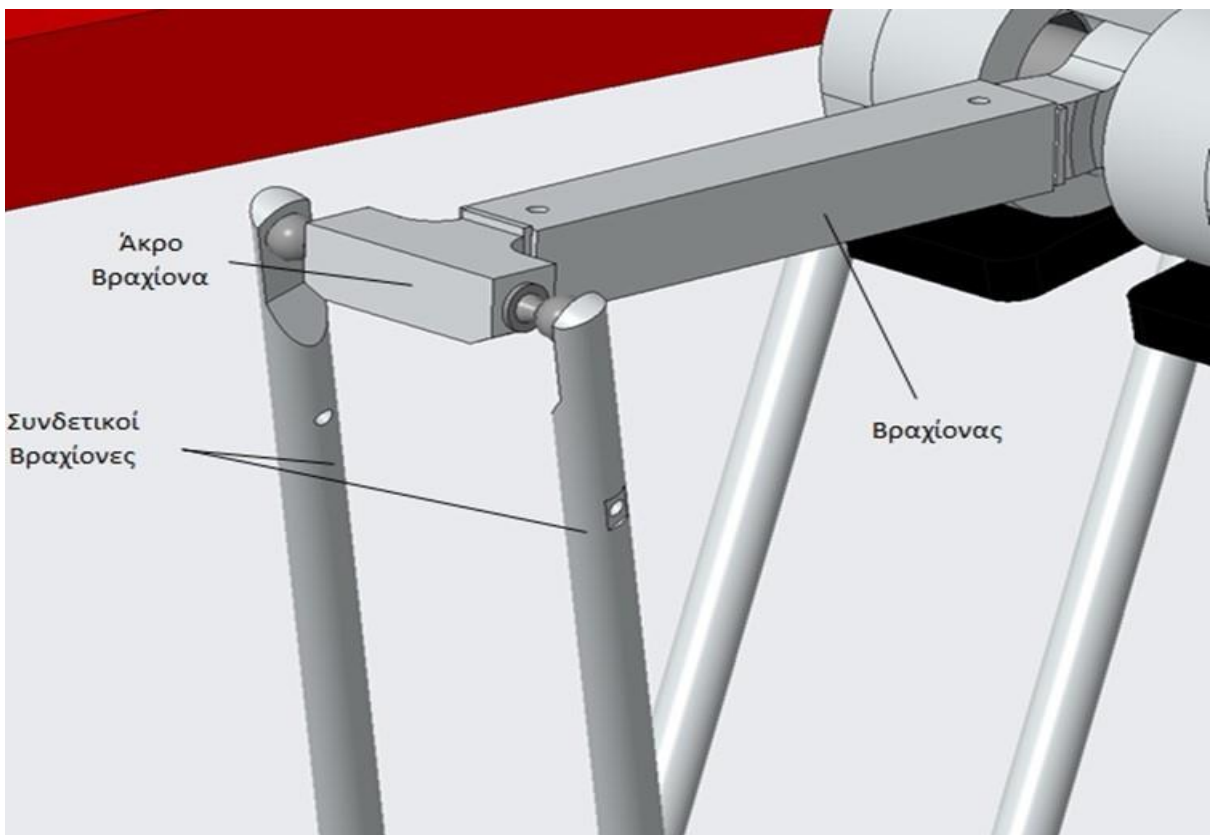
Παρακάτω ακολουθούν μερικές εικόνες όλης της κατασκευής όπου φαίνονται και τα κυριότερα μέρη του ρομπότ.



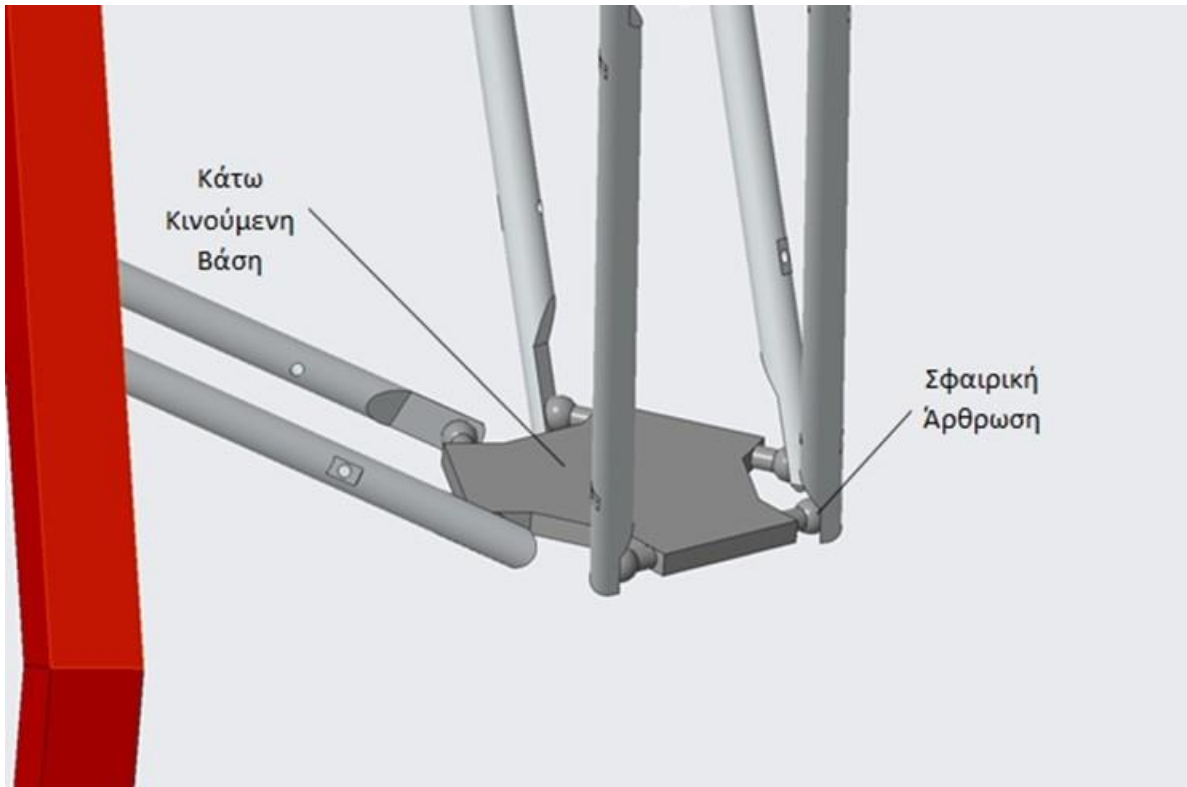
Εικόνα 5-2 Κυριότερα μέρη του delta robot



Εικόνα 5-3 Συναρμογή κουζινέτου-κινητήρα



Εικόνα 5-4 Ρομποτικός χειριστής delta robot



Εικόνα 5-5 Κάτω κινούμενη βάση

5.1 Μηχανολογικός Σχεδιασμός

Οι απαιτούμενες προδιαγραφές που ζητήθηκε να καλύπτει το ρομπότ είναι να μπορεί να σηκώνει αντικείμενα με βάρος μέχρι 1 κιλό και να έχει από την επιφάνεια εργασίας απόσταση του ενός μέτρου .

Με βάση τις απαιτούμενες προδιαγραφές υπολογίστηκε και το μέγεθος του ρομπότ.

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία σχεδιασμού των επιμέρους κομματιών του ρομπότ.

Επιλογή Διαστάσεων

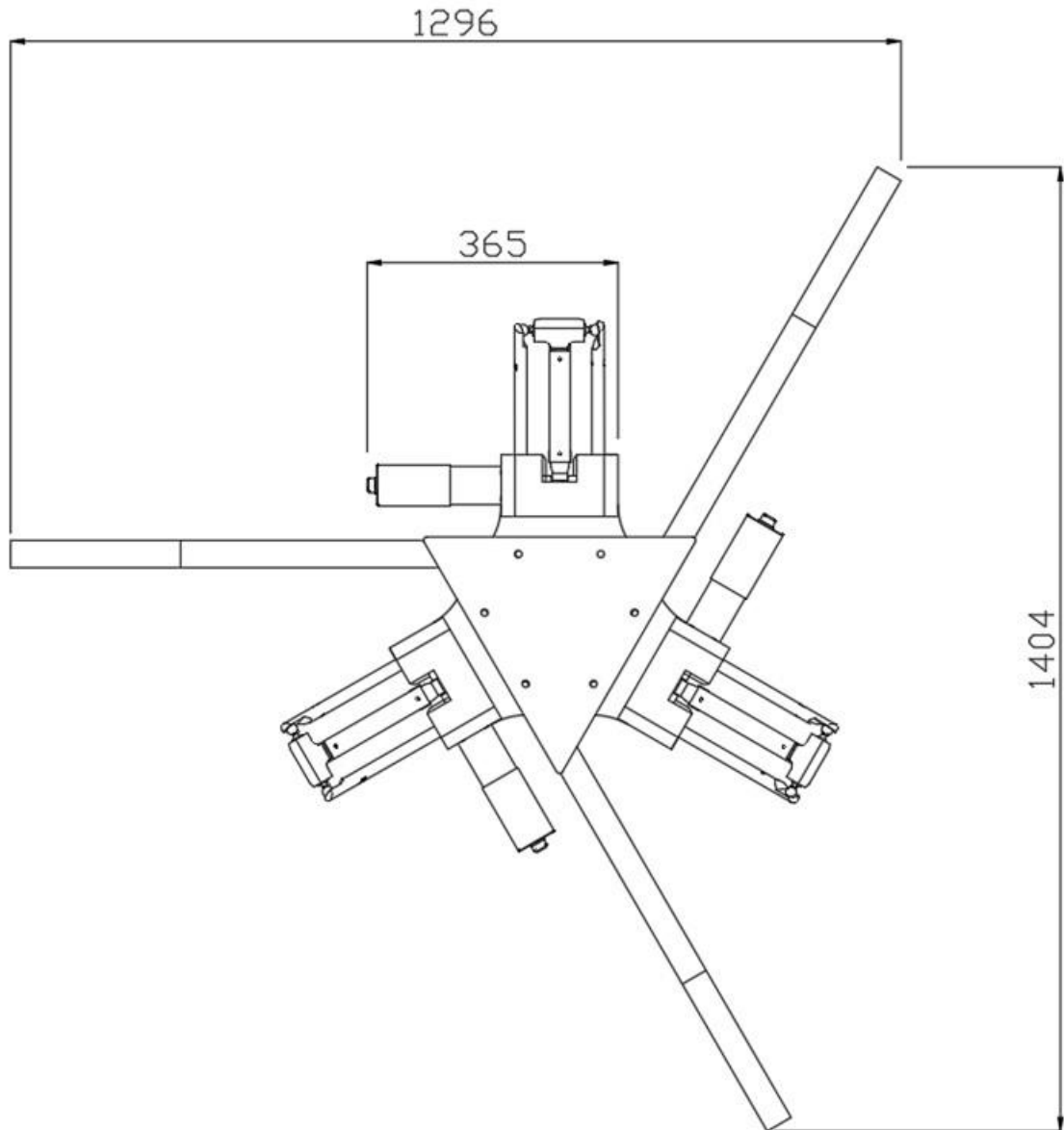
Για να επιλεγθούν οι διαστάσεις του ρομπότ, υπολογίστηκε με τη βοήθεια του λογισμικού Matlab και τη συνάρτηση της ορθής κινηματικής του ρομπότ, με την οποία υπολογίστηκε για γωνίες από -90 έως 35 μοίρες, η θέση του κέντρου της κινούμενης πλατφόρμας (x, y, z).

Έτσι, μετά από πολλές δοκιμές επιλέχθηκαν οι παρακάτω τιμές για τις διαστάσεις του ρομπότ:

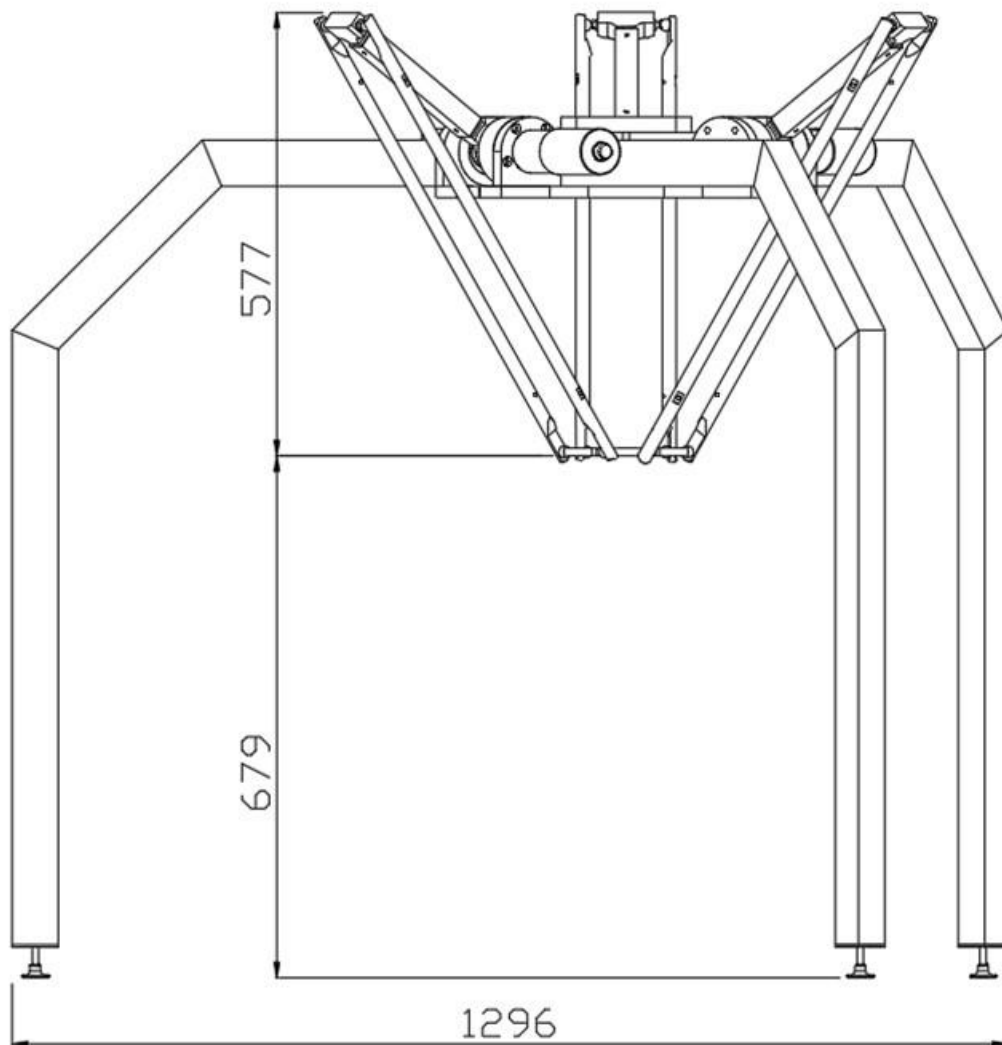
Wb	Πλευρά ισόπλευρου τριγώνου της πάνω σταθερής βάσης(mm)	192
sP	Πλευρά ισόπλευρου τριγώνου κάτω κινούμενης βάσης(mm)	107,4
L	Μήκος μπράτσου(mm)	280
I	Μήκος συνδετικού βραχίονα(mm)	660

Πίνακας 5.1 (Διαστάσεις εξαρτημάτων)

Παρακάτω φαίνονται σχέδια ολόκληρου του ρομποτ, μια πλάγια όψη και μια κάτοψη όπου φαίνονται οι βασικές διαστάσεις του, όπως το συνολικό του πλάτος και ύψος ώστε να δοθεί η δυνατότητα να γίνει αντιληπτό το μέγεθος του.



Σχέδιο 5-1 Κάτοψη delta robot

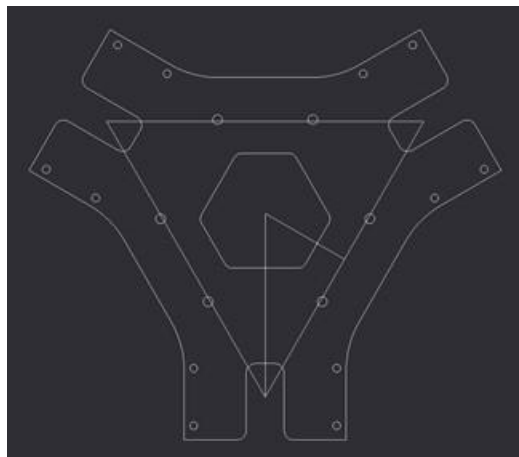


Σχέδιο 5-2 Πλάγια Όψη delta robot

5.1.1 Κατασκευαστικά σχέδια

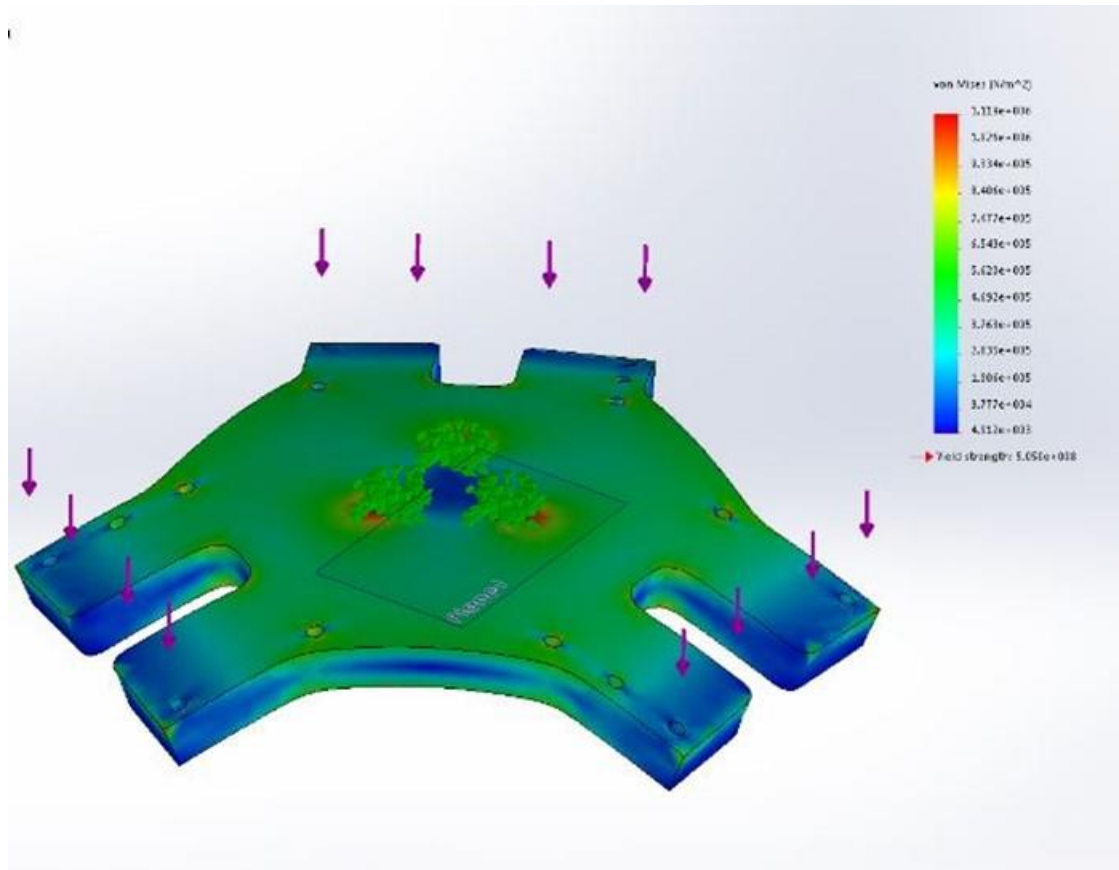
5.1.2 Άνω σταθερή βάση

Η άνω σταθερή βάση ενός delta robot βασίζεται σε ένα ισόπλευρο τρίγωνο, πάνω στις γωνίες του οποίου βρίσκονται οι servo-κινητήρες. Στο τελικό σχέδιο δεν είναι από την αρχή προφανές το προηγούμενο, αλλά όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.6, η βάση σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη ένα νοητό ισόπλευρο τρίγωνο πλευράς 332 mm. Η άνω σταθερή βάση είναι ο κορμός του ρομπότ. Πάνω της στηρίζονται τα κουζινέτα των βραχιόνων. Ο σχεδιασμός της έγινε βάση των διαστάσεων του κουζινέτου. Φέρει οπές για την στήριξη των κουζινέτων και για την στήριξη της στην βάση στήριξης του ρομπότ.

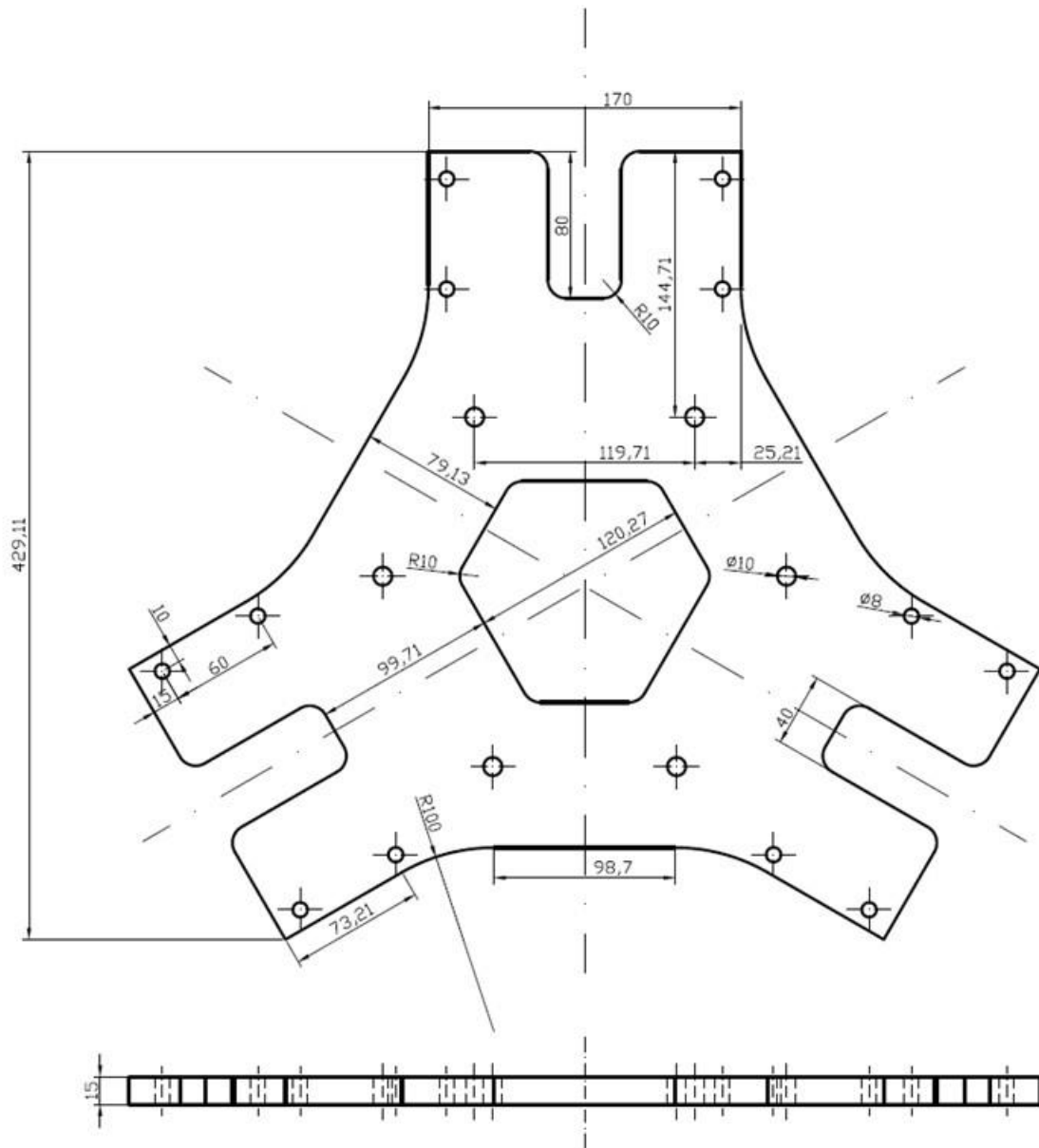


Εικόνα 5-6 Απεικόνιση νοητού τριγώνου

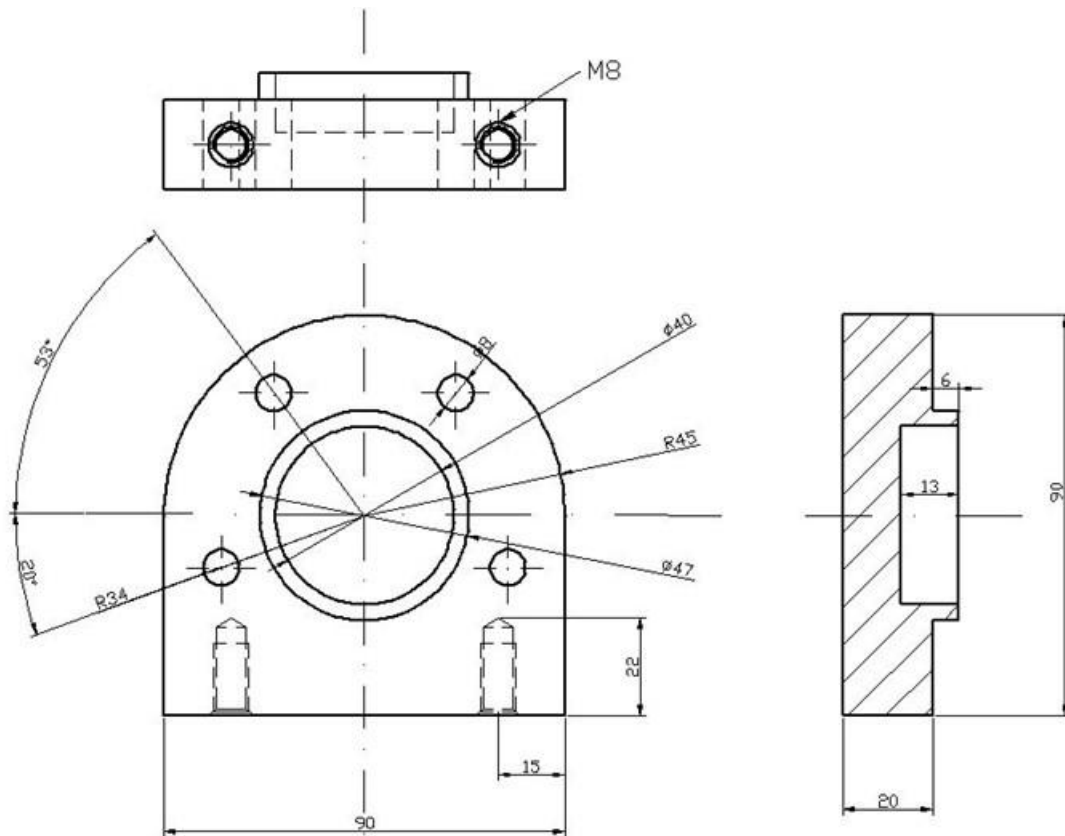
Το πάχος της βάσης επιλέχτηκε να είναι 15 mm για να είναι στιβαρή και άκαμπτη η βάση του ρομπότ, βάση της ανάλυσης των στατικών δυνάμεων που πραγματοποιήθηκε στο Solid Works .



Εικόνα 5-7 Προσομοίωση στατικών φορτίων



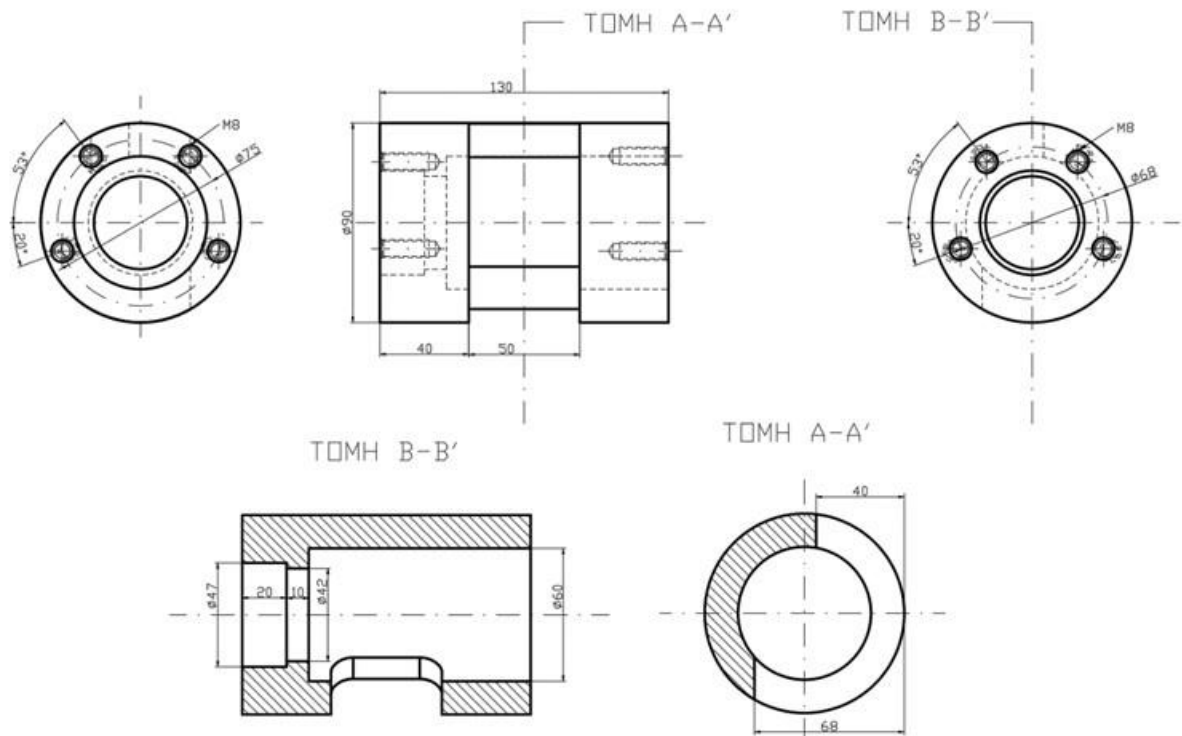
Σχέδιο 5-3 Άνω σταθερή βάση



Σχέδιο 5-5 Βάση στήριξης κουζινέτου

5.1.5 Κύλινδρος κουζινέτου

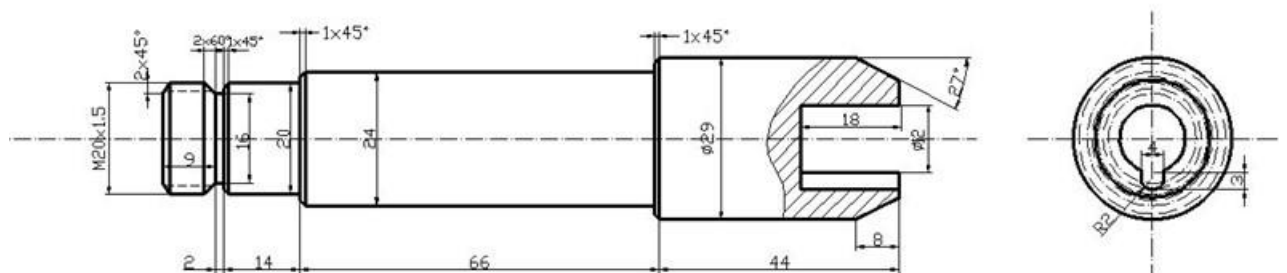
Ο κύλινδρος φέρει περιφεριακά οπές στις βάσεις του για να επιτυγχάνεται η συναρμογή με τις βάσεις στήριξης. Έχει διαστάσεις $\varnothing 90 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$. Έχει εσωτερικά από την μία πλευρά διαμόρφωση διαστάσεων $\varnothing 47 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ για την έδραση του εδράνου κύλισης. Εσωτερικά και από την άλλη πλευρά έχει διαμορφωθεί εσοχή $\varnothing 60 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$ για να επιτυγχάνεται η συναρμογή της περιστροφικής άρθρωσης μέσω των ρουλεμάν. Στο κέντρο φέρει ένα άνοιγμα 200 μοίρες περιμετρικά με 50 mm πλάτος για να επιτυγχάνεται η κίνηση του βραχίονα.



Σχέδιο 5-6 Κύλινδρος κουζινέτου

5.1.6 Άτρακτος περιστροφικής άρθρωσης

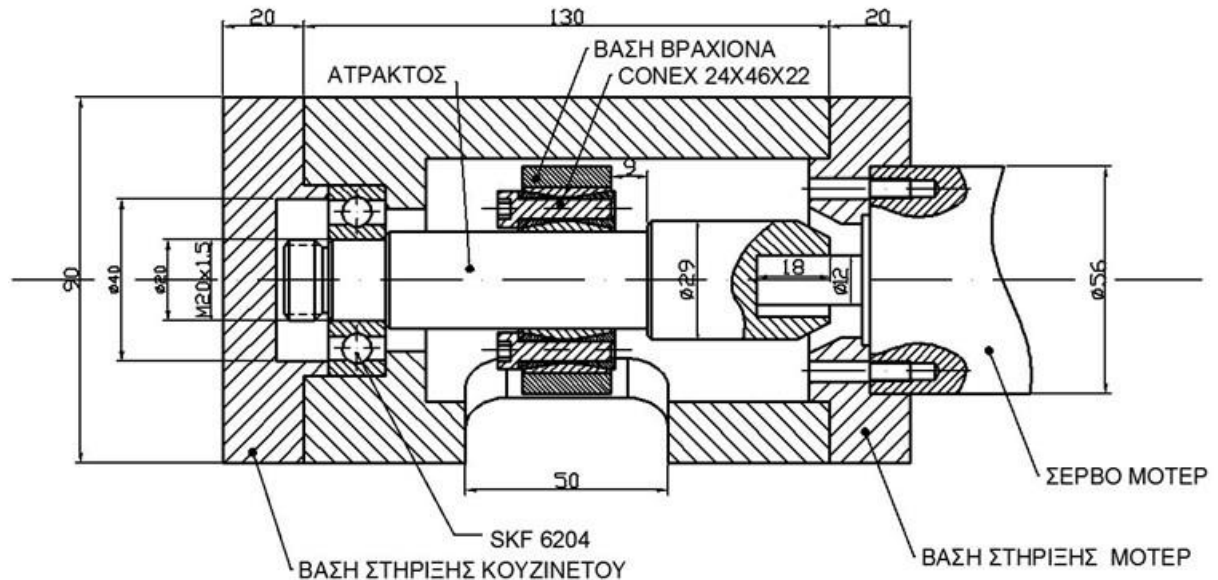
Η άτρακτος της περιστροφικής άρθρωσης σχεδιάστηκε με βάση τον άξονα του κινητήρα όπου διαμορφώθηκε και ο σφηνόδρομος. Από την άλλη πλευρά της ατράκτου έχει διαμορφωθεί η έδραση του εδράνου και σπείρωμα M20x1.5 για να συσφίγγει το έδρανο κύλισης με την άτρακτο. Σκοπός της ατράκτου είναι να μεταφέρει ροπή από το σερβό-μοτέρ στον βραχίονα της περιστροφικής άρθρωσης.



Σχέδιο 5-7 Άτρακτος περιστροφικής άρθρωσης

5.1.7 Συναρμογή κουζινέτου

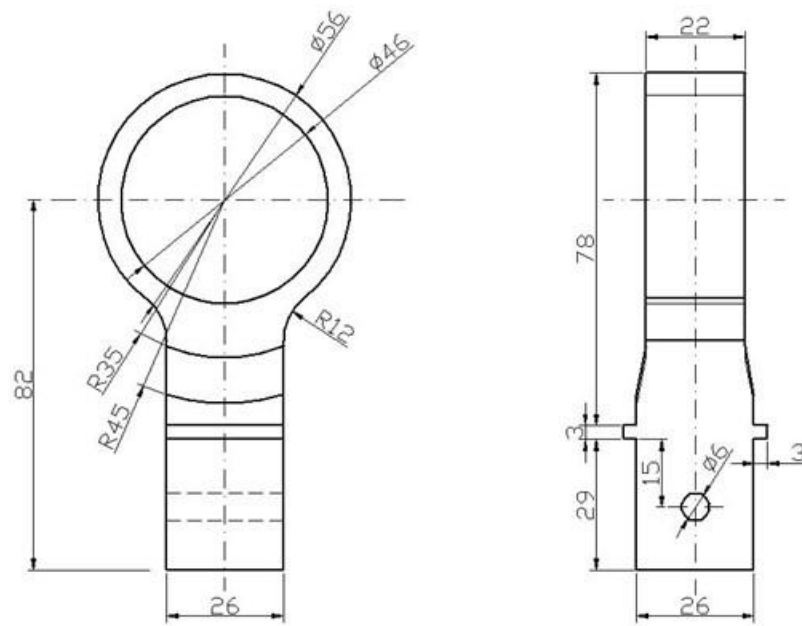
Όπως φαίνεται και στην εικόνα η συναρμογή αποτελείται από τις δύο βάσεις που στηρίζουν το κουζινέτο, το κύλινδρο, την άτρακτο, και το έδρανο κύλισης. Το ρομπότ διαθέτει τρεις τέτοιες συναρμογές όπου σκοπό έχουν την μετάδοση της κίνησης από τους κινητήρες στους βραχίονες αλλά και την στήριξη τους. Έχει συνολικό μήκος 170 mm και ύψος 90 mm.



Σχέδιο 5-8 Συναρμογή κουζινέτου

5.1.8 Βάση βραχίονα

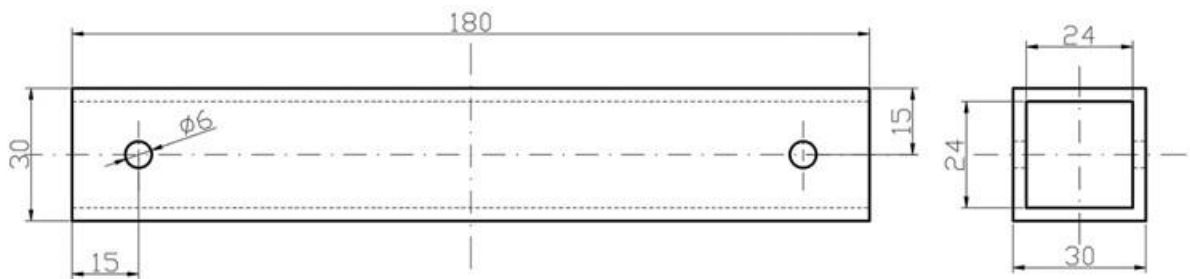
Η βάση του βραχίονα σχεδιάστηκε έτσι ώστε να εφαρμόζει πάνω στο conex και να μεταφέρει τη ροπή στον βραχίονα με υψηλή ακρίβεια. Έχει διαστάσεις 110 mm ύψος επί 56 mm πλάτος. Από τη μία πλευρά έχει διαμορφωθεί κύλινδρος εσωτερικής διαμέτρου $\varnothing 46$ για να εφαρμόζει το conex και από την άλλη έχει διαμόρφωση ώστε να εφαρμόζει ο βραχίονας. Φέρει οπή $\varnothing 6$ και κατάλληλη διαμόρφωση στην μεριά όπου εφαρμόζει ο βραχίονας για την συγκράτησή του.



Σχέδιο 5-9 Βάση βραχίονα

5.1.9 Κορμός βραχίονα

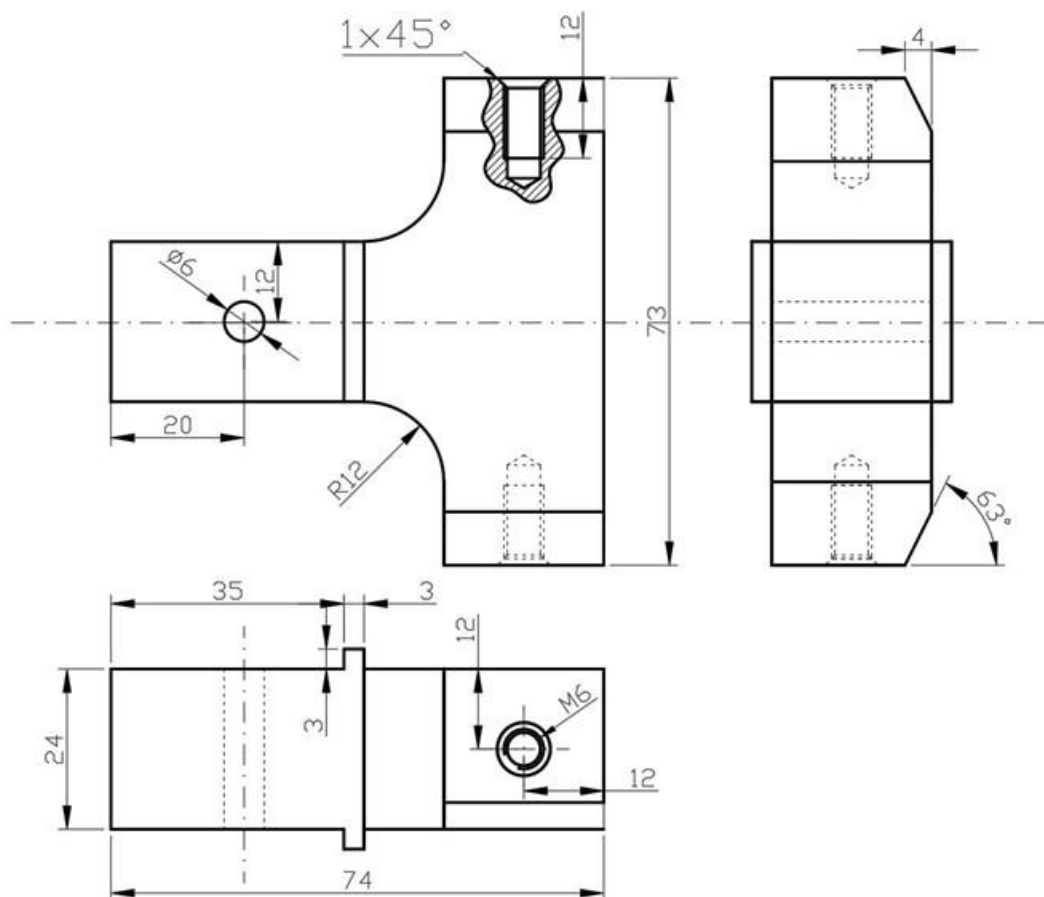
Ο κορμός του βραχίονα σχεδιάστηκε ώστε να συνδέει την βάση του με το άκρο του για την μεταφορά της κίνησης. Είναι 180mm x 30mm x 30mm με πάχος τοιχώματος 3 mm. Φέρει στα άκρα του οπές $\varnothing 6$ για την σύσφιξη του με το άκρο και την βάση του όπως φαίνεται στο Σχέδιο 5.10.



Σχέδιο 5-10 Κορμός βραχίονα

5.1.10 Άκρο βραχίονα

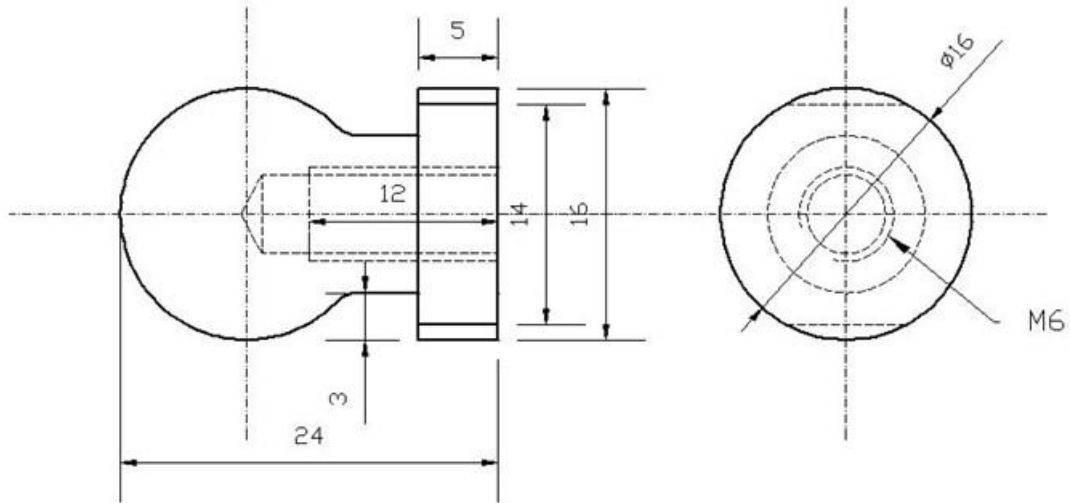
Το άκρο του βραχίονα όπως φαίνεται και στο σχέδιο 5.11 έχει διαστάσεις 74mm x 73mm και μοιάζει σαν το γράμμα Τ. Έχει διαμόρφωση με ένα αυτάκι από την μία πλευρά όπου συνδέεται με τον κορμό του βραχίονα και μία οπή $\varnothing 6$ για την σύνδεσή τους. Από την άλλη μεριά φέρει στα άκρα του οπές με σπείρωμα M 6 όπου βιδώνουν οι σφαίρες των σφαιρικών αρθρώσεων.



Σχέδιο 5-11 Άκρο βραχίονα

5.1.11 Σφαίρα άρθρωσης

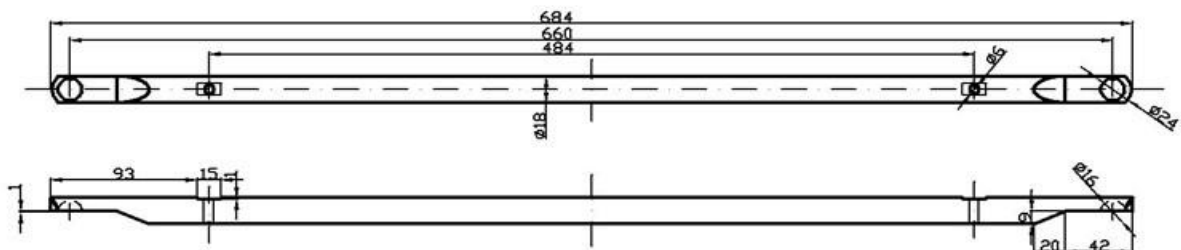
Μαζί με τον συνδετικό βραχίονα αποτελούν την σφαιρική άρθρωση. Αποτελείται από μία σφαίρα $\varnothing 16$ με διαμορφωμένη βάση όπως φαίνεται στο σχέδιο 5.12. Στην κάτω μεριά έχει οπή $\varnothing 6$ με σπείρωμα M6 για την σύνδεση της με το άκρο του βραχίονα με ντίζα M 6. Σχεδιάστηκε στην βάση της να έχει εσοχές όπως φαίνεται και στο σχέδιο για την σύσφιξή της στο άκρο.



Σχέδιο 5-12 Σφαίρα άρθρωσης

5.1.12 Συνδετικοί βραχίονες

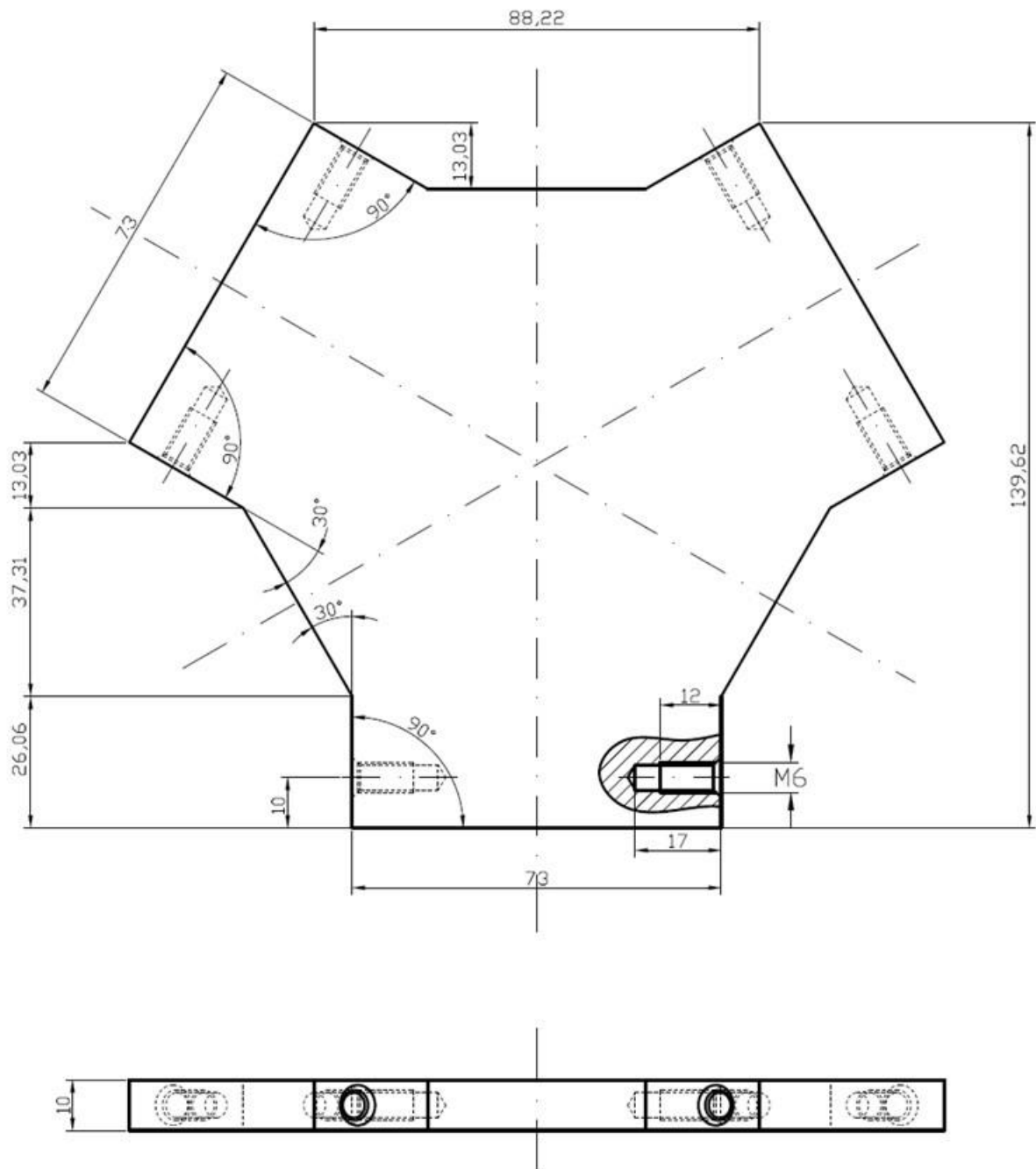
Οι συνδετικοί βραχίονες έχουν μήκος 684mm και διάμετρο $\varnothing 18$. Στα άκρα του έχουν διαμορφωθεί εσοχές τέτοιες ώστε να μην περιορίζεται το εύρος κίνησης του βραχίονα από το σώμα του. Επίσης φέρει οπές $\varnothing 6$ όπου τοποθετούνται οι βάσεις των ελατηρίων. Στην εξωτερική πλευρά των οπών διαμέτρου 6 mm σχεδιάστηκε να γίνει φρεζάρισμα για να εφαρμόζει περικόχλιο M6. Συνδέουν τους βραχίονες με την κάτω κινούμενη βάση και είναι υπεύθυνα για την μόνιμη παραλληλότητα με την άνω σταθερή βάση λόγω γεωμετρίας.



Σχέδιο 5-13 Συνδετικοί βραχίονες

5.1.13 Κάτω κινούμενη βάση

Η κάτω κινούμενη βάση σχεδιάστηκε με βάση ένα ισόπλευρο τρίγωνο πλευράς 107.4 mm όπου στις γωνίες του είναι οι άξονες των σφαιρικών αρθρώσεων. Φέρει περιμετρικά οπές όπως φαίνεται στο σχέδιο όπου βιδώνουν οι σφαίρες των σφαιρικών αρθρώσεων. Σχεδιάστηκε με στόχο το ελάχιστο βάρος ώστε να αποφευχθούν οι ανεπιθύμητες ροπές αδράνειας. Έχει μέγεθος 161mmx140mm και πάχος 10mm.



Σχέδιο 5-14 Κάτω κινούμενη βάση

5.2 Η Κατασκευή

5.2.1 Άνω σταθερή βάση

Το πρώτο κομμάτι που σχεδιάστηκε είναι η πάνω βάση του ρομπότ, η οποία κατασκευάστηκε σε εξωτερικό μηχανουργείο και κόπηκε σε CNC Plasma. Έπειτα στο εργαστήριο του τμήματος πραγματοποιήθηκε κατεργασία φρεζαρίσματος στα σημεία που θα τοποθετηθούν τα κουζινέτα της περιστροφικής άρθρωσης ώστε να επιτευχθεί η ορθή συναρμογή τους. Για την κατεργασία αυτή χρειάστηκε να δεθεί μια φορά στην τράπεζα της φρέζας.



Εικόνα 5-8 Φρεζάρισμα της άνω σταθερής βάσης



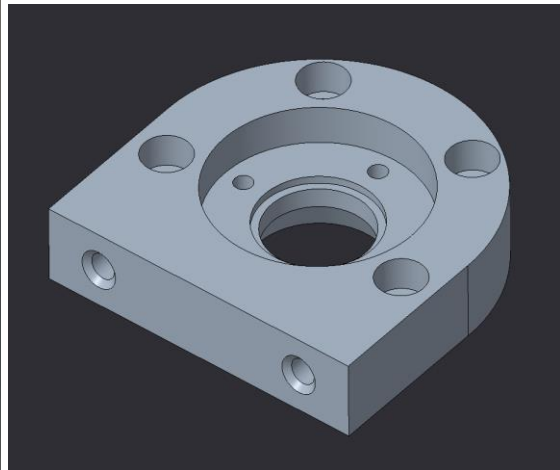
Εικόνα 5-9 Μηδενισμός άνω σταθερής βάσης

5.2.2 Βάση στήριξης του μοτέρ

Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν οι τρεις βάσεις των μοτέρ οι οποίες είναι βιδωμένες στην άνω σταθερή βάση πάνω στις οποίες στηρίζονται τα σέρβο-μοτέρ από την μία πλευρά, και από την άλλη λειτουργεί ως βάση για την στήριξη του κουζινέτου της περιστροφικής άρθρωσης. Αρχικά σχεδιάστηκε στο AutoCAD για να γίνει η διαστασιολόγηση του και έπειτα επανασχεδιάστηκε στο CREO Parametric για την εξαγωγή του G κώδικα για την κατασκευή του από αλουμίνιο στην CNC φρέζα. Για την κατασκευή του στην φρέζα χρειάστηκε να δεθεί 3 φορές, πρώτα για την κατεργασία από τη μεριά του κινητήρα *εικόνα 5-10*, μετά από την άλλη για την κατασκευή της μεριάς του κουζινέτου *εικόνα 5-11* και τέλος δέθηκε από την κάτω μεριά για να γίνουν οι τρύπες όπου θα γίνουν τα σπειρώματα που δένει στη άνω σταθερή βάση.



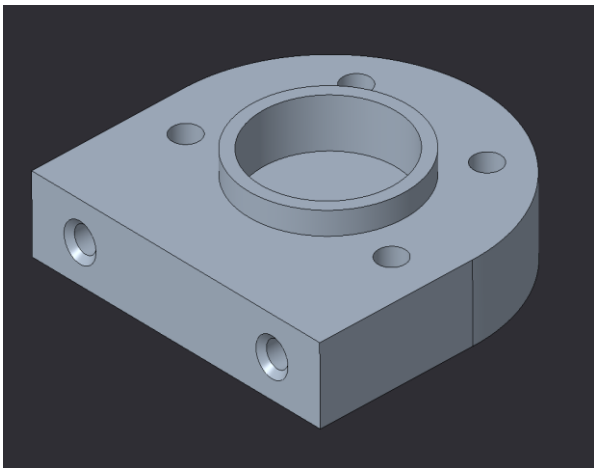
Εικόνα 5-10 Βάση στήριξης του μοτέρ



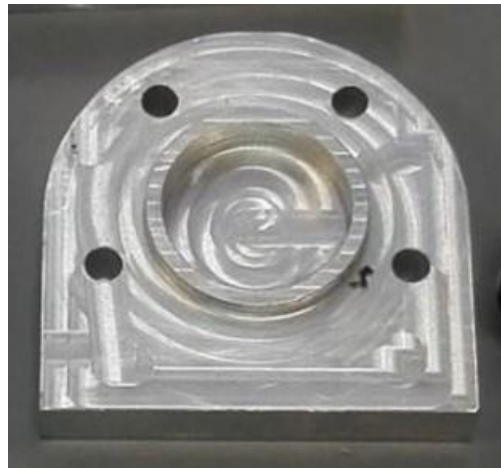
Εικόνα 5-11 3D απεικόνιση

5.2.3 Βάση στήριξης του κουζινέτου

Σκοπός της βάσης είναι να στηρίζει το κουζινέτο της περιστροφικής άρθρωσης όπου είναι βιδωμένη στην άνω σταθερή βάση. Σχεδιάστηκε στο autocad για να γίνει η διαστασιολόγηση του και έπειτα επανασχεδιάστηκε στο CREO Parametric για την εξαγωγή του G κώδικα για την κατασκευή του από αλουμίνιο στην CNC φρέζα. Για την κατασκευή του χρειάστηκε να δεθεί 3 φορές, πρώτα για την κατεργασία απο τη μεριά του κουζινέτου *εικόνα 5-13*, μετά από την άλλη μεριά για την οριστικοποίηση του τελικού πάχους και τέλος δέθηκε από την κάτω μεριά για να γίνουν οι τρύπες όπου θα γίνουν τα σπειρώματα που δένει στη άνω σταθερή βάση.



Εικόνα 5-13 3D απεικόνιση

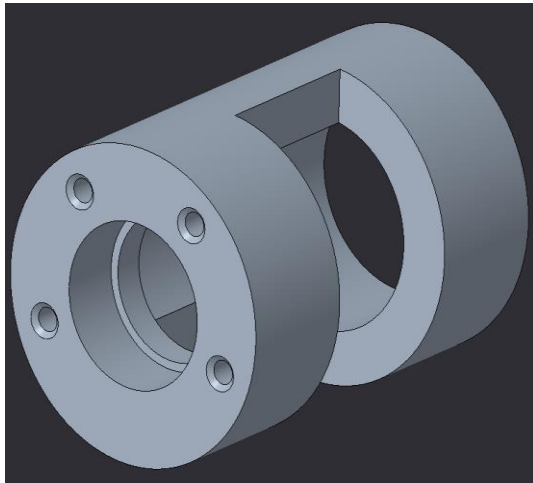


Εικόνα 5-12 Βάση στήριξης κουζινέτου

5.2.4 Κουζινέτο

Το κουζινέτο στηρίζεται σε δυο βάσεις και στηρίζει τον άξονα της περιστροφικής άρθρωσης μέσω των ρουλεμάν. Σχεδιάστηκε στο autocad και έπειτα και στο CREO Parametric για να βγει ο G

κώδικας ώστε να κατασκευαστεί στην CNC φρέζα. Στο κέντρο φέρει μια εγκοπή που βγαίνει το μπράτσο .Είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο. Για να κατασκευαστεί χρειάστηκε να δεθεί πρώτα στον συμβατικό τόρνο για να έρθει στις επιθυμητές διαστάσεις και να κατασκευαστεί η έδρα του εδράνου κύλισης και έπειτα τρεις φορές στην CNC φρέζα για να γίνουν οι οπές των σπειρωμάτων και το άνοιγμα για να επιτυγχάνεται η κίνηση του βραχίονα.



Εικόνα 5-14 3D απεικόνιση



Εικόνα 5-15 Τεμαχισμός ακατέργαστου

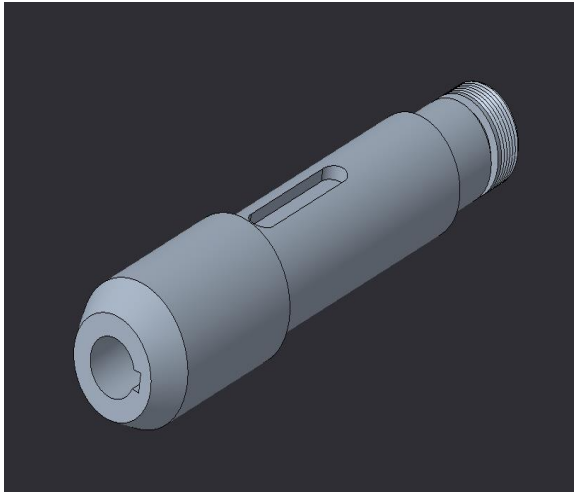


Εικόνα 5-16 Κατεργασία στον τόρνο

5.2.5 Άτρακτος περιστροφικής άρθρωσης

Σκοπός της ατράκτου είναι να μεταφέρει ροπή από το σερβό-μοτέρ στον βραχίονα της περιστροφικής άρθρωσης. Στηρίζεται σε έδρανο κύλισης από την μία πλευρά και από την άλλη στον άξονα του μειωτήρα. Σχεδιάστηκε στο autocad και στην συνέχεια κατασκευάστηκε στον συμβατικό τόρνο από χάλυβα CK 45.Για την ομαλή μεταφορά της ροπής από τον άξονα του μειωτήρα στην

άτρακτο έχει διαμορφωθεί σφηνόδρομος 4mm στην φρέζα. Η κατασκευή του σπειρώματος έγινε στον συμβατικό τόρνο. Αρχικά είχε σχεδιαστεί και κατασκευάστηκε σφηνόδρομος στην άτρακτο για την μεταφορά της ροπής στον βραχίονα αλλά κατόπιν δοκιμών παρατηρήθηκε ανεπιθύμητος τζόγος. Ο τζόγος αυτός ενώ ήταν αμελητέος μεταξύ ατράκτου και βάσης βραχίονα, στο άκρο γίνονταν πολύ μεγαλύτερος λόγω του μεγάλου μήκους του βραχίονα. Για τον λόγο αυτό δεν χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αυτή αλλά η μέθοδος μεταφοράς της ροπής με σύνδεσμο σφικτήρα άξονα (conex).



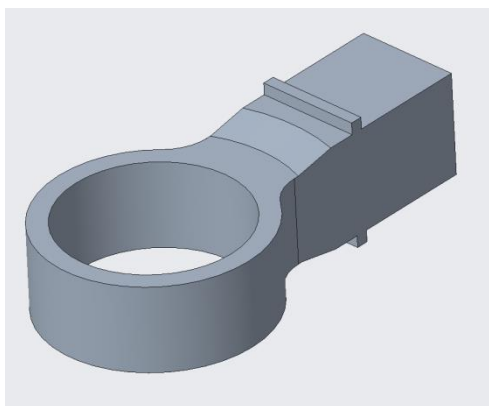
Εικόνα 5-17 3D απεικόνιση



Εικόνα 5-18 Άτρακτος

5.2.6 Βάση βραχίονα

Η βάση αυτή έχει σκοπό την σύνδεση της ατράκτου με τον βραχίονα έτσι ώστε να επιτυγχάνετε η μετάδοση της περιστροφικής κίνησης. Σχεδιάστηκε στο Creo Parametric και αφού διαστασιολογήθηκε, κατασκευάστηκε από αεροπορικού τύπου αλουμίνιο σειράς 7075 στην CNC φρέζα στο εργαστήριο του τμήματος. Για την κατασκευή του χρειάστηκε να δεθεί δύο φορές ώστε να γίνουν οι απαραίτητες κατεργασίες, και άλλη μία ώστε να γίνει η οπή όπου συναρμολογείτε με το σώμα του βραχίονα για την συγκράτησή του.



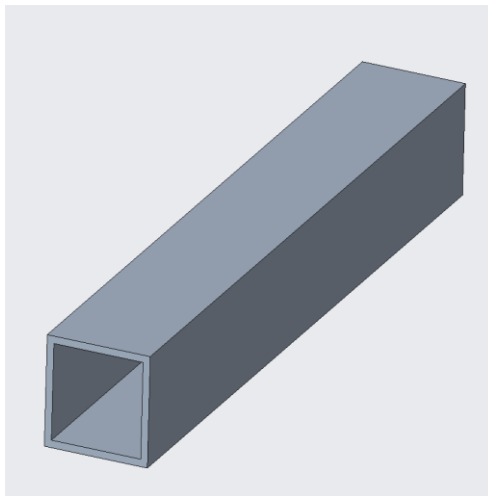
Εικόνα 5-19 3D απεικόνιση



Εικόνα 5-20 Βάση βραχίονα

5.2.7 Κορμός βραχίονα

Σχεδιάστηκε και διαστασιολογήθηκε στο Creo Parametric και στην συνέχεια κατασκευάστηκε από προφίλ αλουμινίου 30X30 για να μειώσουμε το βάρος των κινούμενων μερών. Σκοπός του κορμού του βραχίονα είναι η σύνδεση της βάσης του βραχίονα (εικόνα 5-20) με το άκρο του (εικόνα 5-24). Για να επιτύχουμε και στους τρεις κορμούς το ίδιο επιθυμητό μήκος κόπηκαν αρχικά με το πριόνι λίγο μεγαλύτερα από το τελικό μήκος και έπειτα πιάστηκαν στην μέγγενη της τράπεζας της CNC φρέζας. Εκεί πάρθηκε από τη μία άκρη τους ένα πρόσωπο και έπειτα αφού ορίσαμε ως σημείο μηδέν αυτήν την μεριά κόπηκαν τα κομμάτια στα 200mm όπως ήταν πιασμένα όλα μαζί. Κατόπιν έγιναν οι οπές όπου συνδέονται με τα άκρα και την βάση τους.



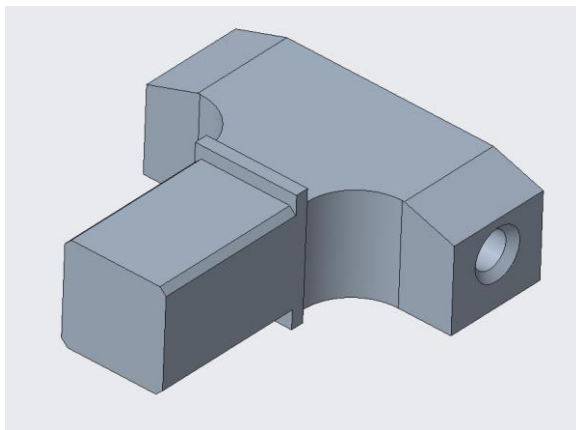
Εικόνα 5-22 3D απεικόνιση



Εικόνα 5-21 Κορμός βραχίονα

5.2.8 Άκρο βραχίονα

Αποτελεί το τελευταίο εξάρτημα του βραχίονα όπου από την μια πλευρά συνδέεται με τον κορμό και από την άλλη βιδώνονται δύο σφαίρες που τελούν μαζί με τους κάτω συνδετικούς βραχίονες τις σφαιρικές αρθρώσεις (balljoint). Αφού διαστασιολογήθηκε και σχεδιάστηκε στο Creo Parametric κατασκευάστηκε από αεροπορικού τύπου αλουμίνιο σειράς 7075 στην CNC φρέζα στο εργαστήριο του τμήματος. Για την κατασκευή του χρειάστηκε να πιαστεί στην φρέζα τέσσερις φορές. Δύο για τις κατεργασίες των πλευρών του ώστε να πάρει την τελική του όψη και δύο φορές για να γίνουν οι οπές όπου έγιναν τα σπειρώματα που βιδώνουν οι σφαίρες της άρθρωσης.



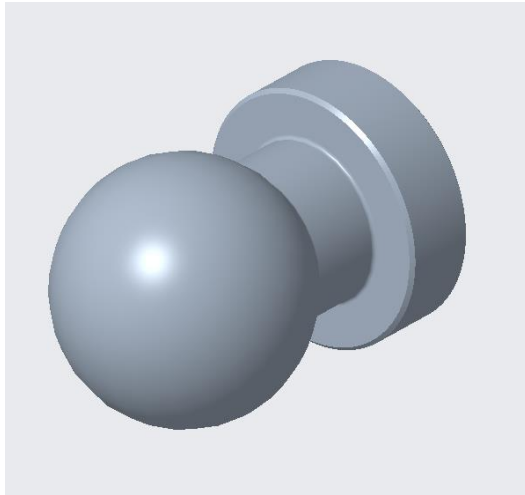
Εικόνα 5-23 3D απεικόνιση



Εικόνα 5-24 Άκρο βραχίονα

5.2.9 Σφαίρα άρθρωσης

Μαζί με τον συνδετικό βραχίονα αποτελούν την σφαιρική άρθρωση. Σχεδιάστηκε και διαστασιολογήθηκε στο Creo Parametric. Για τις ανάγκες του εργαστηρίου σχεδιάστηκε και στο Inventor για να γίνει η διεξαγωγή συμβατού κώδικα G για τον CNC τόρνο του εργαστηρίου όπου κατασκευάστηκαν 12 τεμάχια. Στην κάτω πλευρά έγιναν τρύπες και σπειρώματα ώστε να βιδωθεί ντίζα M6 για να επιτευχθεί η συναρμογή τους με τα υπόλοιπα εξαρτήματα. Για την κατασκευή τους πιάστηκε άξονας $\varnothing 18$ mm στον τόρνο όπου βάση του προγράμματος κόπηκαν τα τεμάχια. Στην συνέχεια πιάστηκαν στον συμβατικό τόρνο και με γυαλόχαρτο P800 και έπειτα με P1000 λειάνθηκε η επιφάνεια της σφαίρας για όσο το δυνατόν λιγότερες τρυβές στην άρθρωση.



Εικόνα 5-23 3D απεικόνιση



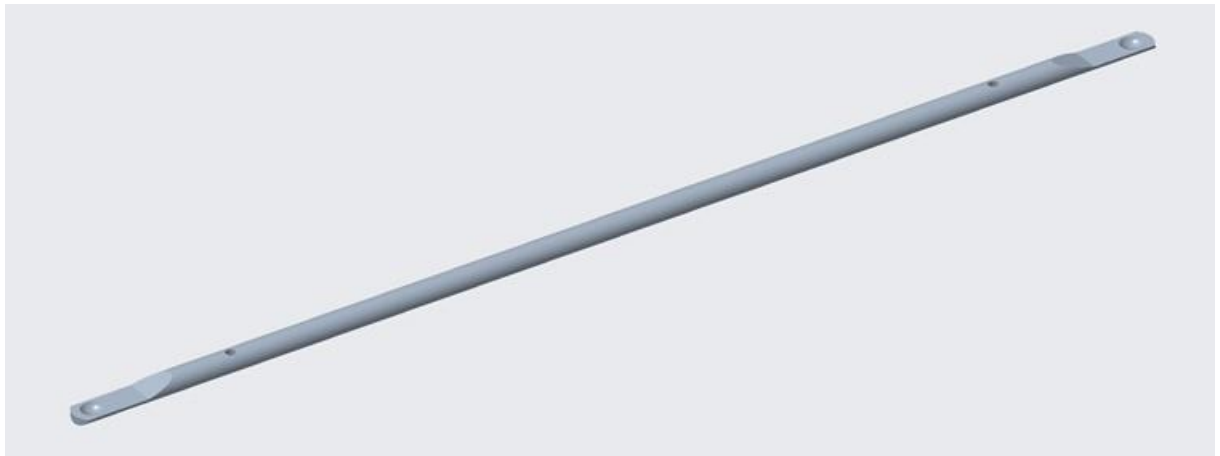
Εικόνα 5-25 Σφαίρα άρθρωσης



Εικόνα 5-265 Κατεργασία στον CNC
τόρνο

5.2.10 Συνδετικοί βραχίονες

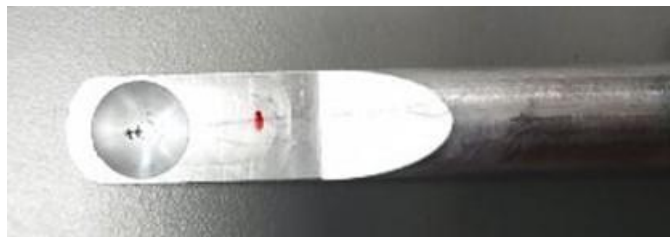
Συνδέουν τους βραχίονες με την κάτω κινούμενη βάση και είναι υπεύθυνα για την μόνιμη παραλληλότητα με την άνω σταθερή βάση λόγω γεωμετρίας. Σχεδιάστηκαν και διαστασιολογήθηκαν στο Creo Parametric και έπειτα κατασκευάστηκαν από αλουμίνιο στην CNC φρέζα. Για την κατασκευή τους δέθηκαν πάνω στην τράπεζα με την βοήθεια των μητρών 2 φορές ώστε να γίνουν οι απαραίτητες κατεργασίες. Κατασκευάστηκε από $\varnothing 18$ mm ράβδο αλουμινίου με τελικό μήκος 684mm.



Εικόνα 5-27 3D απεικόνιση



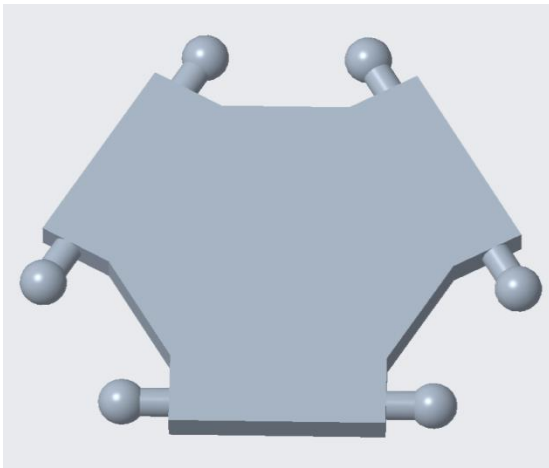
Εικόνα 5-28 Συνδετικοί βραχίονες



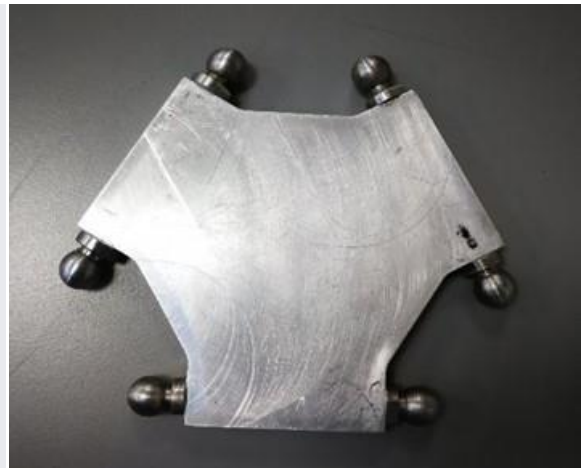
Εικόνα 5-28 Λεπτομέρεια του κλωβού της σφαιρικής άρθρωσης

5.2.11 Κάτω κινούμενη βάση

Στην κάτω κινούμενη βάση του ρομπότ μπορούν να προσαρμοστούν διάφορα εξαρτήματα αναλόγως τον σκοπό της εργασίας που προορίζεται. Από μια αρπάγη κενού σε μια γραμμή παραγωγής έως μια κεφαλή 3Dprinter. Σχεδιάστηκε στο Creo Parametric και κατασκευάστηκε από αλουμίνιο στην CNC φρέζα. Συνδέεται μέσω των σφαιρικών αρθρώσεων με τους συνδετικούς βραχίονες. Φέρει οπές και σπειρώματα περιφερειακά για την συναρμογή των σφαιρικών αρθρώσεων. Έχει πάχος 10mm. Για την κατασκευή του χρειάστηκε να πιαστεί στην φρέζα 8 φορές. Δύο για τις κατεργασίες των πλευρών του και άλλες έξι για κάθε μία τρύπα.



Εικόνα 5-29 3D απεικόνιση



Εικόνα 5-29 Κάτω κινούμενη βάση

5.2.12 Ελατήρια και βάσεις ελατηρίων συνδετικών βραχιόνων

Σκοπός των ελατηρίων είναι να συγκρατούν τους συνδετικούς βραχίονες πάνω στις σφαίρες των αρθρώσεων ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή λειτουργία τους. Κατασκευάστηκαν από ελατήριο έλξεως $\varnothing 12$ 2 χιλιοστών πάχους σύρματος. Οι βάσεις των ελατηρίων έχουν σκοπό τον σταθερό προσανατολισμό των βραχιόνων γύρω από τον άξονα τους. Είναι κατασκευασμένες από δύο ξεχωριστά τεμάχια. Ο κορμός τους αποτελείται από πείρο $\varnothing 6$ mm που φέρει σπείρωμα στο ένα άκρο του και στο άλλο άκρο του συγκολλείται πείρος $\varnothing 6$ mm με MIG όπου στις άκρες του φέρει αυλάκωση περιμετρικά για να συγκρατούνται τα ελατήρια, η οποία έγινε στον τόρνο με ειδικά τροχισμένο κοπτικό εργαλείο.



Εικόνα 5-301 Ελατήρια



Εικόνα 5-312 Πείροι



Εικόνα 5-323 Βάση ελατηρίων



Εικόνα 5-334 Κοπτικό ειδικής αυλάκωσης

5.2.13 Βάση στήριξης ρομπότ

Σχεδιάστηκε και διαστασιολογήθηκε στο Autocad και στο Creoparametric και στην συνέχεια κατασκευάστηκε από κοιλοδοκό 40x60 τα οποία τεμαχίστηκαν και συγκολλήθηκαν με MIG. Έπειτα τροχίστηκαν και βάφτηκαν με αντισκωριακό χρώμα. Στα πόδια της τοποθετήθηκαν ρυθμιστικά καθ' ύψους πέδιλα. Επιπρόσθετα για να επιτευχθεί η μέγιστη στιβαρότητα της βάσης σχεδιάστηκε και διαστασιολογήθηκε στο Creo parametric μια τριγωνική βάση πάχους 10mm η οποία κόπηκε σε CNC Plasma.



Εικόνα 5-345 Τεμαχισμός κοιλοδοκών



Εικόνα 5-356 Πόδια βάσης



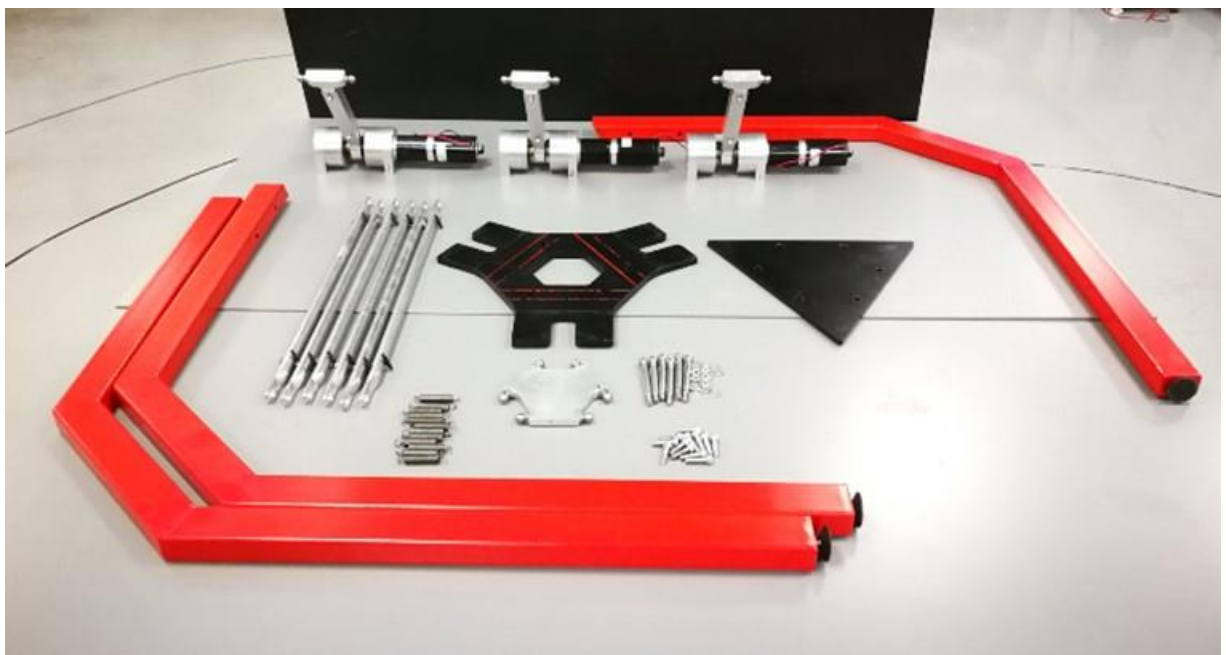
Εικόνα 5-37 Ρυθμιστικό πέδιλο



Εικόνα 5-36 Βάση στήριξης ρομπότ

6 Συναρμογή

Για την συναρμογή του ρομπότ εκτός τα τεμάχια που φτιάχτηκαν(Εικόνα 6-1) στα εργαστήρια της σχολής χρειάστηκαν και ορισμένα τυποποιημένα εξαρτήματα που παρατίθενται παρακάτω. 3 ρουλεμάν NSK 6204 για την έδραση του άξονα. Για την σύνδεση του άξονα με τον βραχίονα επιλέχθηκε η συναρμογή με σφικτήρα άξονα(conex). Σερβομοτέρ DONG ZHENG MOTOR CO. LTD 30W 24V 2.2A με encoder προσαρμοσμένο στον άξονα του σερβομοτέρ και με μειωτήρα 1:168 όπου η μετάδοση της κίνησης γίνεται με την μέθοδο σφήνας-σφηναύλακα.



Εικόνα 6-1 Κομμάτια-εξαρτήματα του δέλτα ρομπότ προς συναρμολόγηση

Αρχικά συναρμολογούμε την βάση του ρομπότ. Ξεκινώντας προσαρμόζουμε τα ρυθμιστικά πόδια στα πόδια της βάσης. Έπειτα προσαρμόζονται τα πόδια με την άνω σταθερή βάση και συγκρατούνται με 6 κοχλίες M8 με την προσθήκη ενός ακόμα εξαρτήματος από χάλυβα για αυξημένη σταθερότητα όπως φαίνεται στην εικόνα 6-2.



Εικόνα 6-2 Βάση ρομπότ

Ξεκινώντας συναρμολογήθηκε πρώτα το σετ της βάσης του βραχίονα όπως φαίνεται στην **εικόνα 6-3**. Αρχικά βιδώνεται το μοτέρ πάνω στην αλουμινένια βάση του με 4 κοχλίες M6x1. Στην συνέχεια προσαρμόζεται ο άξονας πάνω στο μοτέρ με σφήνα και σκουλικόβιδα M4 για επιπλέον συγκράτηση. Έπειτα συναρμολογείται ο κύλινδρος ταυτόχρονα με το μπράτσο το οποίο έχει περαστεί μέσα στον άξονα μαζί με το conex. Πάνω στον κύλινδρο από την άλλη πλευρά προσαρμόζεται το ρουλεμάν στο οποίο εδράζεται η άτρακτος το οποίο συγκρατείται με περικόχλιο M20. Τέλος ακολουθεί η βάση η οποία βιδώνεται με 4 κοχλίες M8.



Εικόνα 6-3 Συναρμολογή Μοτέρ-Άξονα-Κουζινέτο



**Εικόνα 6-4 Συναρμογή Βραχίονα -
κουζινέτου - Μοτέρ**

Προχωρώντας συναρμολογείται ο βραχίονας ο οποίος αποτελείται από τρία μέρη. Αρχικά προσαρμόζεται ο κορμός του βραχίονα πάνω στην βάση του και συσφίγγεται με μία διαμπερής βίδα M6. Στην συνέχεια τοποθετείται το άκρο του βραχίονα στον κορμό του το οποίο συγκρατείται επίσης με μια διαμπερής βίδα M6. Πάνω στο άκρο προσαρμόζονται οι σφαίρες των αρθρώσεων μέσω μιας ντίζας M8. Τέλος κεντράρετε και συσφίγγετε ο βραχίονας πάνω στην άτρακτο μέσω του σφικτήρα άξονα (conex) .

Αφού ολοκληρώθηκε η συναρμογή του παραπάνω συνόλου (κουζινέτο-μοτέρ-βραχίονας, **Εικ. 6-4**), τοποθετείται πάνω στις υποδοχές (λεπτομέρεια **Εικ. 6-5**) στην πάνω σταθερή βάση. Βιδώνεται με 4 βίδες M8 το κάθε ένα όπως φαίνεται στην **Εικόνα 6-6**.



Εικόνα 6-5 Η πάνω βάση μαζί με το σύνολο βραχίονας-κουζινέτο-μοτέρ



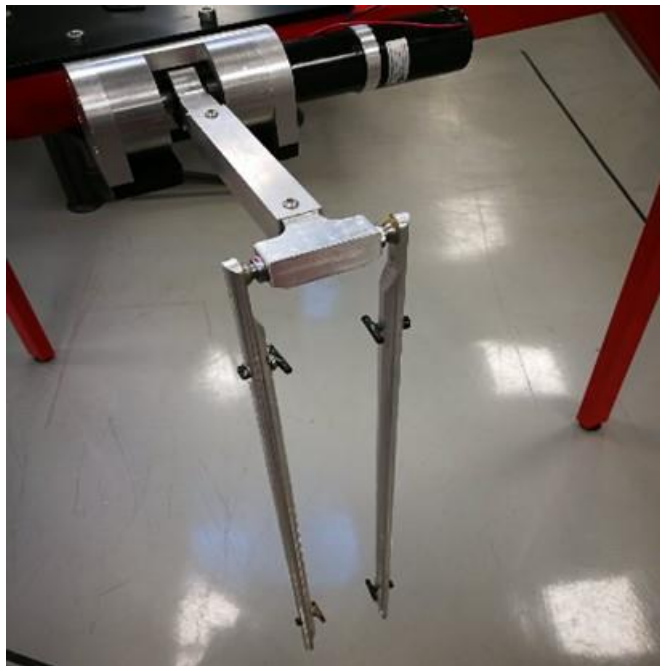
Εικόνα 6-6 Λεπτομέρεια όπου φαίνονται οι οπές και η επιφάνεια όπου βιδώνει το κουζινέτο.



Εικόνα 6-7 Εφαρμογή γράσσου στις σπές των σφαιρικών αρθρώσεων

Στην συνέχεια τοποθετούνται οι συνδετικοί βραχίονες πάνω στον βραχίονα πάνω στις σφαιρες των σφαιρικών αρθρώσεων. Αρχικά τοποθετούνται οι βάσεις των ελατηρίων πάνω στους συνδετικούς βραχίονες με ένα περικόχλιο M4. Έπειτα εφαρμόζεται γράσσο στα σημεία τριβής των σφαιρικών αρθρώσεων όπως φαίνεται στην **εικόνα 6-7**.

Μετέπειτα τοποθετούνται οι συνδετικοί βραχίονες πάνω στις σφαίρες του κάθε βραχίονα(Εικόνα.6-8) και ακολουθεί η τοποθέτηση των πάνω σετ των ελατηρίων στους συνδετικούς βραχίονες συγχρόνως με την τοποθέτηση της κάτω κινούμενης βάσης η οποία στερεώνεται με την τοποθέτηση των κάτω σετ των ελατηρίων(Εικόνα 6-9) πάνω στους συνδετικούς βραχίονες (Εικόνα 6-10).



Εικόνα 6-8 Τοποθετημένα τα κάτω άκρα πάνω στον βραχίονα



Εικόνα 6-9 Τοποθέτηση των ελατηρίων



Εικόνα 6-10 Συναρμογή κάτω βάσης

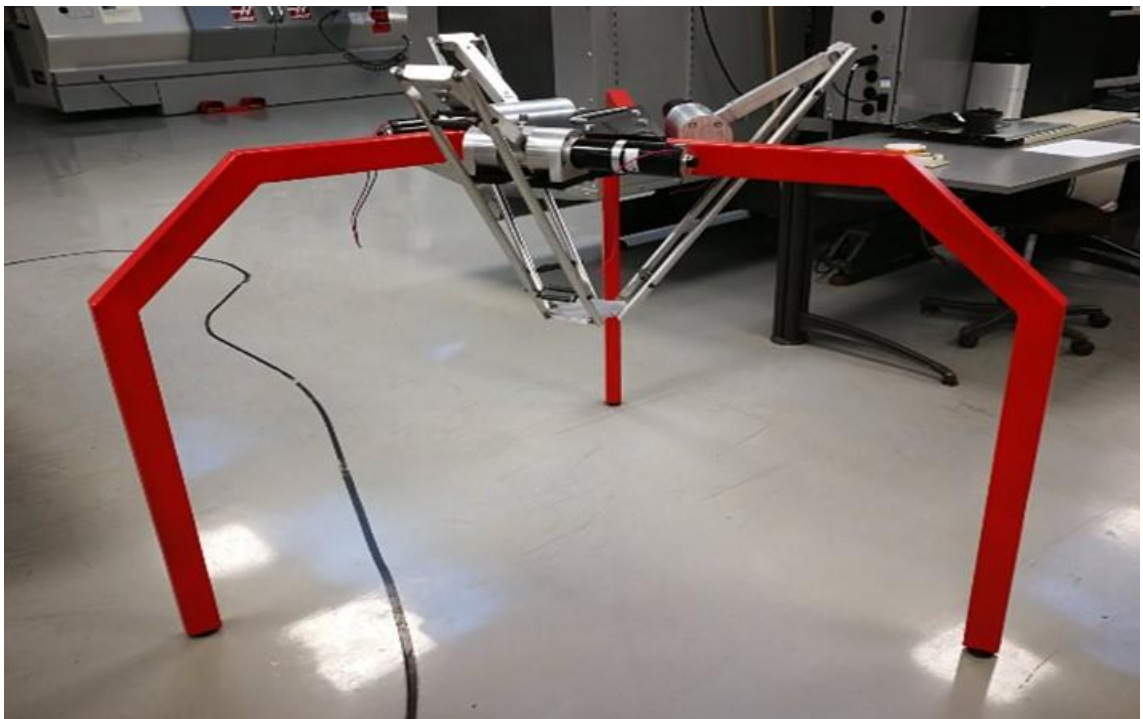
Τέλος ακολουθεί έλεγχος ορθής γεωμετρικής λειτουργίας. Μετρήθηκε και επαληθεύτηκε η παραλληλότητα της πάνω σταθερής βάσης με την κάτω κινούμενη βάση όπως φαίνεται στην **εικόνα 6-11**. Στην **εικόνα 6-12** φαίνεται η μέγιστη και η ελάχιστη απόσταση της κινούμενης βάσης από την πάνω σταθερή βάση .



Εικόνα 6-11 Επαλήθευση παραλληλότητας της πάνω σταθερής βάσης με την κάτω κινούμενη βάση



Εικόνα 6-12 Μέγιστη και ελάχιστη απόσταση της κινούμενης βάσης από την πάνω σταθερή βάση.



Εικόνα 6-13 Δέλτα ρόμποτ

7 Παράρτημα Α'

Αλγόριθμος Τομής Τριών Σφαιρών

Α'.1 Γενική Λύση

Η λύση της τομής τριών σφαιρών απαιτείται για τη λύση της ορθής κινηματικής σε πολλά ρομπότ και κυρίως σε παράλληλα ρομπότ. Ας υποθέσουμε ότι οι τρεις δοσμένες σφαίρες είναι οι (\mathbf{c}_1, r_1) , (\mathbf{c}_2, r_2) και (\mathbf{c}_3, r_3) . Τα διανύσματα των κέντρων $\mathbf{c}_1 = [x_1 y_1 z_1]^T$, $\mathbf{c}_2 = [x_2 y_2 z_2]^T$, $\mathbf{c}_3 = [x_3 y_3 z_3]^T$ και οι ακτίνες r_1 , r_2 και r_3 είναι γνωστά και εκφράζονται στο ως προς το ίδιο σύστημα αναφοράς, το ίδιο που θα εκφράζεται και η λύση. Οι εξισώσεις των τριών σφαιρών είναι:

$$\begin{aligned} (x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2 &= r_1^2 \\ (x-x_2)^2+(y-y_2)^2+(z-z_2)^2 &= r_2^2 \\ (x-x_3)^2+(y-y_3)^2+(z-z_3)^2 &= r_3^2 \end{aligned} \quad (\text{A'.1})$$

Οι Εξισώσεις Α'.1 είναι τρεις συζευγμένες μη γραμμικές εξισώσεις ως προς τρεις αγνώστους x , y και z , των οποίων η λύση είναι το σημείο τομής $\mathbf{P} = [xyz]^T$. Ο τρόπος επίλυσης είναι να αναλύσουμε τις Εξισώσεις Α'.1 και να τις συνδυάσουμε με τρόπους που θα μας δώσουν $x = f(y)$ και $z = f(y)$, στη συνέχεια να αντικαταστήσουμε αυτές σε μία από τις εξισώσεις σφαιρών και να καταλήξουμε σε μία εξίσωση δευτέρου βαθμού συναρτήση μόνο του y . Αυτή μπορεί εύκολα να επιλυθεί και θα δώσει δύο λύσεις y . Μετά χρησιμοποιώντας τις $x = f(y)$ και $z = f(y)$ βρίσκονται οι άγνωστοι x και z , ένα για κάθε λύση y . Στη συνέχεια υλοποιούνται τα προηγούμενα και βρίσκεται η λύση.

Αρχικά αναλύουμε τις Εξισώσεις Α'.1 τετραγωνίζοντας όλα τα αριστερά μέρη. Μετά αφαιρούμε την τρίτη από την πρώτη εξίσωση και την τρίτη από την δεύτερη, δίνοντας:

$$a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z = b_1 \quad (\text{A'.2})$$

$$a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z = b_2 \quad (\text{A'.3})$$

όπου:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 2(x_3 - x_1) & a_{21} &= 2(x_3 - x_2) & b_1 &= r_1^2 - r_3^2 - x_1^2 - y_1^2 - z_1^2 + x_3^2 + y_3^2 + z_3^2 \\ a_{22} &= 2(y_3 - y_2) & a_{12} &= 2(y_3 - y_1) & b_2 &= r_2^2 - r_3^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2 + x_3^2 + y_3^2 + z_3^2 \\ a_{23} &= 2(z_3 - z_2) & a_{13} &= 2(z_3 - z_1) & & \end{aligned}$$

Λύνοντας ως προς z στις Εξισώσεις Α'.2 και Α'.3:

$$z = \frac{b_1}{a_{13}} - \frac{\alpha_{11}}{a_{13}}x - \frac{\alpha_{12}}{a_{13}}y$$

$$z = \frac{b_2}{a_{23}} - \frac{\alpha_{21}}{a_{23}}x - \frac{\alpha_{22}}{a_{23}}y$$

Αφαιρούμε την Α'.4 από την Α'.5 για να εξαλείψουμε το z και παίρνουμε $x = f(y)$:

$$x = f(y) = a_4y + a_5 \quad (\text{A'.6})$$

όπου:

$$\alpha_4 = -\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\alpha_5 = -\frac{\alpha_3}{\alpha_1}\alpha_1 = \frac{\alpha_{11}}{\alpha_{13}} - \frac{\alpha_{21}}{\alpha_{23}}\alpha_2 = \frac{\alpha_{12}}{\alpha_{13}} - \frac{\alpha_{22}}{\alpha_{23}}\alpha_3 = \frac{b_2}{a_{23}} - \frac{b_1}{a_{13}}$$

Αντικαθιστούμε την Α'.6 στην Α'.5 για να εξαλείψουμε το x και παίρνουμε $z = f(y)$:

$$z = f(y) = a_6y + a_7 \quad (\text{A'.7})$$

όπου:

$$\alpha_6 = -\frac{-\alpha_{21}\alpha_4 - \alpha_{22}}{\alpha_{23}}\alpha_7 = -\frac{b_2 - \alpha_{21}\alpha_5}{\alpha_{23}}$$

Τώρα αντικαθιστάμε την Α'.6 και την Α'.7 στην πρώτη εξίσωση της Α'.1, για να εξαλείψουμε το x και το z και να πάρουμε μία τετραγωνική συνάρτηση ως προς y:

$$ay^2 + by + c = 0 \quad (\text{A'.8})$$

όπου:

$$a = a_4^2 + 1 + a_6^2$$

$$b = 2\alpha_4(\alpha_5 - x_1) - 2y_1 + 2\alpha_6(\alpha_7 - z_1)$$

$$c = \alpha_5(\alpha_5 - 2x_1) + a_7(\alpha_7 - 2z_1) + x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - r_1^2$$

Υπάρχουν δύο λύσεις για το y:

$$y_{\pm} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (\text{A'.9})$$

Για να ολοκληρώσουμε την λύση της τομής τριών σφαιρών, αντικαθιστούμε και τις δύο τιμές του y από την Α'.9 στις Α'.6 και Α'.7:

$$x_{\pm} = a_4y_{\pm} + a_5 \quad (\text{A'.10})$$

$$z_{\pm} = a_6 y_{\pm} + a_7 \quad (\text{A'.11})$$

Γενικά υπάρχουν δύο λύσεις, μία για τις θετικές και μία για τις αρνητικές λύσεις της A'.9. Προφανώς οι θετικές και αρνητικές λύσεις δεν γίνεται να εναλλαχτούν:

$$[x_+ y_+ z_+]^T \quad [x_- y_- z_-]^T \quad (\text{A'.12})$$

Φανταστικές Λύσεις

Ο αλγόριθμος τομής τριών σφαιρών μπορεί να δώσει φανταστικές λύσεις. Αυτό συμβαίνει όταν ο όρος $b^2 - 4a_c$ στην A'.9 είναι μικρότερος του μηδενός. Αυτό δίνει φανταστικές λύσεις για το y_{\pm} , το οποίο στην πραγματικότητα σημαίνει ότι δεν τέμνονται και οι τρεις σφαίρες. Άλλη μία ειδική περίπτωση είναι όταν ο παραπάνω όρος είναι ίσος με μηδέν. Σε αυτή τη περίπτωση υπάρχει μόνο μία λύση και συμβαίνει όταν οι δύο σφαίρες συναντώνται εφαπτομενικά και η τρίτη περνάει από αυτό το σημείο. Οι παραπάνω περιπτώσεις όμως είναι αδύνατο να συναντηθούν στη συγκεκριμένη περίπτωση, λόγω της κατασκευής του delta robot.

Ιδιομορφίες

Ο αλγόριθμος τομής τριών σφαιρών υπόκειται σε ορισμένες ιδιομορφίες. Αυτές είναι αλγοριθμικές ιδιομορφίες, όπως για παράδειγμα διαίρεση με το μηδέν σε κάποια μαθηματική πράξη και όχι κατασκευαστικές ιδιομορφίες. Στο συγκεκριμένο αλγόριθμο ο οποίος αποτελείται από τις εξισώσεις A'.1 - A'.12, υπάρχουν τρεις ιδιομορφίες, όλες διαίρεση με το μηδέν, οι οποίες είναι οι παρακάτω:

Συνθήκες Ιδιομορφίας:

$$\begin{aligned} a_{13} &= 0 \\ a_{23} &= 0 \\ a_1 &= 0 \\ a &= 0 \end{aligned} \quad (\text{A'.13})$$

Οι δύο πρώτες συνθήκες:

$$a_{13} = 2(z_3 - z_1) = 0 \quad (\text{A'.14})$$

$$a_{23} = 2(z_3 - z_2) = 0 \quad (\text{A'.15})$$

ικανοποιούνται όταν τα κέντρα των σφαιρών 1 και 3 ή 2 και 3 έχουν ίδια z συντεταγμένη, πχ. $z_1 = z_2$ ή $z_2 = z_3$. Ωστόσο, σε γενική περίπτωση που τα κέντρα όλων των σφαιρών έχουν το ίδιο ύψος z , αυτός ο αλγόριθμος έχει πάντα ιδιομορφία. Μία λύση για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα παρουσιάζεται στο δεύτερο μέρος του Παραρτήματος.

Η τρίτη συνθήκη ιδιομορφίας:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_{11}}{\alpha_{13}} - \frac{\alpha_{21}}{\alpha_{23}} = 0 \quad (\text{A'.16})$$

Απλοποιείται σε:

$$\frac{x_3 - x_1}{z_3 - z_1} = \frac{x_3 - x_2}{z_3 - z_2} \quad (\text{A'.17})$$

Για να ικανοποιείται αυτή η συνθήκη, πρέπει τα κέντρα των σφαιρών 1, 2 και 3 να είναι συνευθειακά στο επίπεδο ΧΖ. Αυτό δεν είναι δυνατόν να συμβεί, εφόσον η υλοποίηση του ρομπότ είναι σωστή.

Η τέταρτη συνθήκη ιδιομορφίας:

$$a = a_4^2 + 1 + a_6^2 = 0 \quad (\text{A'.18})$$

Ικανοποιείται όταν:

$$a_4^2 + a_6^2 = -1 \quad (\text{A'.19})$$

Αυτό είναι αδύνατον να συμβεί, αφού οι αριθμοί a_4 και a_6 από τις σχέσεις A'.6 και A'.7, είναι πραγματικοί αριθμοί. Οπότε η τέταρτη ιδιομορφία δεν είναι ποτέ πρόβλημα.

Πολλαπλές Λύσεις

Γενικά ο αλγόριθμος τομής τριών σφαιρών δίνει δύο σωστές λύσεις (\pm στις σχέσεις A'.9 -A'.11). Όμως μία από αυτές τις λύσεις είναι η έγκυρη και εξαρτάται από τη διαμόρφωση του DeltaRobot.

A'.2 Απλοποιημένη μορφή

Σε αυτό το μέρος θα υπολογίσουμε το σημείο τομής τριών σφαιρών, υποθέτοντας ότι οι τρεις σφαίρες έχουν τα κέντρα τους στο ίδιο ύψος. Ας υποθέσουμε ότι οι τρειςδοσμένες σφαίρες είναι οι (c_1, r_1) , (c_2, r_2) και (c_3, r_3) . Τα διανύσματα των κέντρων $c_1 = [x_1 \ y_1 \ z_1]^T$, $c_2 = [x_2 \ y_2 \ z_2]^T$, $c_3 = [x_3 \ y_3 \ z_3]^T$ και οι ακτίνες r_1 , r_2 και r_3 είναι γνωστά και εκφράζονται στο ως προς το ίδιο σύστημα αναφοράς, το ίδιο ως προς το οποίο θα εκφράζεται και η λύση. Οι εξισώσεις των τριών σφαιρών είναι:

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = r_1^2 \quad (\text{A'.20})$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = r_2^2 \quad (\text{A'.21})$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = r_3^2 \quad (\text{A'.22})$$

Αφού όλα τα κέντρα των σφαιρών έχουν το ίδιο ύψος, έχουμε $z_1 = z_2 = z_3 = z_n$. Η λύση της τομής των τριών σφαιρών είναι το σημείο $P = [xyz]^T$. Αναλύοντας τις εξισώσεις A'.20 - A'.22 έχουμε:

$$x^2 - 2x_1x + x_1^2 + y^2 - 2y_1y + y_1^2 + z^2 - 2z_nz + z_n^2 = r_1^2 \quad (\text{A'.23})$$

$$x^2 - 2x_2x + x_2^2 + y^2 - 2y_2y + y_2^2 + z^2 - 2z_2z + z_2^2 = r_2^2 \quad (A'.24)$$

$$x^2 - 2x_3x + x_3^2 + y^2 - 2y_3y + y_3^2 + z^2 - 2z_3z + z_3^2 = r_3^2 \quad (A'.25)$$

Αφαιρώντας την A'.25 από την A'.23 και την A'.25 από την A'.24 παίρνουμε:

$$2(x_3 - x_1)x + 2(y_3 - y_1)y + x_1^2 + y_1^2 - x_3^2 - y_3^2 = r_1^2 - r_3^2 \quad (A'.26)$$

$$2(x_3 - x_2)x + 2(y_3 - y_2)y + x_2^2 + y_2^2 - x_3^2 - y_3^2 = r_2^2 - r_3^2 \quad (A'.27)$$

Όλοι οι μη γραμμικοί όροι x , y ακυρώθηκαν με τις παραπάνω αφαιρέσεις. Επίσης, όλοι οι σχετικοί με το z όροι ακυρώθηκαν, αφού το ύψος z όλων των κέντρων των σφαιρών είναι ίδιο. Οι εξισώσεις A'.26 - A'.27 είναι δύο γραμμικές εξισώσεις με δύο αγνώστους x , y στην παρακάτω μορφή:

$$\begin{vmatrix} a & b \\ d & y \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} c \\ f \end{vmatrix} \quad (A'.28)$$

όπου:

$$\begin{aligned} a &= 2(x_3 - x_1) \\ b &= 2(y_3 - y_1) \\ c &= r_1^2 - r_3^2 - x_1^2 - y_1^2 + x_3^2 + y_3^2 \\ d &= 2(x_3 - x_2) \\ e &= 2(y_3 - y_2) \\ f &= r_2^2 - r_3^2 - x_2^2 - y_2^2 + x_3^2 + y_3^2 \end{aligned}$$

Η μοναδική λύση για τους δύο από τους αγνώστους, x και y , είναι:

$$x = \frac{ce - bf}{ae - bd} \quad (A'.29)$$

$$y = \frac{af - cd}{ae - bd}$$

Επιστρέφοντας στην A'.20 και λύνοντας για τον άγνωστο z :

$$A_z^2 + B_z + C = 0 \quad (A'.30)$$

όπου:

$$\begin{aligned} A &= 1 \\ B &= -2z_n \\ C &= z_n^2 - r_1^2 + (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \end{aligned}$$

Γνωρίζοντας τις μοναδικές τιμές x , y , οι δύο πιθανές λύσεις για το άγνωστο z βρίσκονται από τον τετραγωνικό τύπο:

$$z_{\pm} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4C}}{2} \quad (A'.31)$$

Για το DeltaRobot επιλέγουμε πάντα το z που βρίσκεται κάτω από την σταθερή του βάση, δηλαδή το αρνητικό z , αφού είναι η μόνη κατασκευαστικά αποδεκτή λύση.

Ο απλουστευμένος αλγόριθμος τομής τριών σφαιρών έχει δύο αλγοριθμικές ιδιομορφίες:

- Όταν η ορίζουσα του πίνακα στην εξίσωση A'.28 ισούται με το μηδέν.

$$ae - bd = 2(x_3 - x_1)2(y_3 - y_2) - 2(y_3 - y_1)2(x_3 - x_2) = 0 \quad (A'.32)$$

Απλοποιώντας την εξίσωση A'.32 έχουμε:

$$(x_3 - x_1)(y_3 - y_2) = (y_3 - y_1)(x_3 - x_2) \quad (A'.33)$$

Η παραπάνω ιδιομορφία μπορεί να αποφευχθεί μέσω του σχεδιασμού. Για ένα συμμετρικό delta robot η συγκεκριμένη ιδιομορφία είναι αδύνατο να συμβεί λόγω κατασκευής.

- Όταν το εσωτερικό της ρίζας στη εξίσωση A'.31 είναι αρνητικό προκύπτει φανταστική λύση για το z . Η σχέση $B^2 - 4C < 0$ δίνει:

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 > r_1^2 \quad (A'.34)$$

Όταν η παραπάνω ανισότητα ικανοποιείται, η λύση για το z είναι φανταστική, που σημαίνει ότι το ρομπότ έχει λάθος υλοποίηση. Αυτή η ιδιομορφία δεν θα συμβεί ποτέ, εφόσον δοθούν σωστές είσοδοι στην ορθή κινηματική του delta robot.

8 Βιβλιογραφία

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Delta_robot
2. JOHNS. CRAIG. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ 3η ΕΚΔΟΣΗ 2009
3. R.L. Williams II. The Delta Parallel Robot: Kinematics Solutions. Internet Publication, April 2015.
4. <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360>
5. <https://www.fanuc.eu/cz/en/robots>
6. <https://industrial.omron.eu/en/products/hornet>
7. <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/16651/The-What-Why-and-How-of-Delta-Robots.aspx>