



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**Ανάπτυξη συστήματος ρομποτικών
βραχιόνων για συνεργατικές
εργασίες**

**Χαμάλης Πιερής
Αριθμός Μητρώου: 15117**

**Επιβλέπων Καθηγητής
Παντελής Ασβεστάς, Αναπληρωτής Καθηγητής**

Αθήνα 22/02/2021

Π. Ασβεστάς, Αναπλ.
Καθηγητής, Τμήμα
Μηχανικών Βιοϊατρικής,
ΠΑΔΑ

Δ. Γκλώτσος, Αναπλ.
Καθηγητής, Τμήμα
Μηχανικών Βιοϊατρικής,
ΠΑΔΑ

Σ. Κωστόπουλος, Επ.
Καθηγητής, Τμήμα
Μηχανικών Βιοϊατρικής,
ΠΑΔΑ

Δήλωση συγγραφέα διπλωματικής εργασίας

Ο υπογράφων **Χαμάλης Πιερής** του **Θεόδωρου**, με αριθμό μητρώου **15117** φοιτητής του Τμήματος **Μηχανικών Βιοϊατρικής** της Σχολής **Τεχνολογικών Εφαρμογών** του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ημερομηνία

23/02/2021

Ο Δηλών



Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει αρχικά μια ιστορική αναδρομή των ρομπότ και τις εφαρμογές τους σε διάφορους τομείς. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση τους στον τομέα της ιατρικής αποτέλεσε την κεντρική ιδέα για την κατασκευή και προγραμματισμό δύο ρομποτικών βραχιόνων πέντε βαθμών ελευθερίας με ταυτόχρονη λειτουργία οι οποίοι ελέγχονται μέσω του λογισμικού Arduino. Η πλατφόρμα Arduino είναι σειριακά συνδεδεμένη με ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή για την καθοδήγηση σερβοκινητήρων και την σωστή λειτουργία των ρομποτικών βραχιόνων οι οποίοι μπορούν να μετακινήσουν αντικείμενα όπως χειρουργικά εργαλεία. Την περιγραφή του πειραματικού μέρους, ακολουθεί η κινηματική ανάλυση στην οποία έχουν υπολογιστεί οι γωνίες περιστροφής των σερβοκινητήρων προσδιορίζοντας την θέση και τον προσανατολισμό του τελικού επενεργητή. Οι δύο βραχίονες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον ιατρικό τομέα ως εργαλειοδότες. Τέλος, ο κώδικας για τον προγραμματισμό των δύο βραχιόνων, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως βάση για μελλοντικές κατασκευές ρομπότ στην ιατρική και σε άλλους τομείς.

Λέξεις κλειδιά: Ρομποτικός Βραχίονας Learn Soul, Παράμετροι D-H, Arduino UNO, Arduino IDE

Abstract

This dissertation presents a historical background of robots and their applications in different areas. More precisely, their application in Medicine constituted the base and the main idea for the construction and programming of two robotic arms which can move simultaneously and have five degrees of freedom. The arms are controlled by the Arduino platform which is installed on a computer for the appropriate guidance of the two arms that can move objects such as medical instruments. The description of the experiment follows a movement analysis in which the rotation angles were calculated to determine the position and the orientation of the arms. The two robotic arms could be used in Medicine to assist in moving and giving medical tools to practitioners. Finally, the code could be used as a base for future construction of robots to be used in Medicine and other areas.

Keywords: Robotic arm Learn Soul, Parameters D-H, Arduino UNO, Arduino IDE

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Παντελή Ασβεστά, για την βοήθεια του και τις πολύτιμες συμβουλές του κατά την διάρκεια υλοποίησης της διπλωματικής μου εργασίας αλλά και για καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Επιπλέον, με την ευκαιρία ολοκλήρωσης των σπουδών μου θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου οι οποίοι με τον δικό τους τρόπο με υποστήριξαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ	9
1.1 Εισαγωγή	9
1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα από χρήση Ρομπότ	11
1.4 Είδη Ρομπότ	12
1.6 Εφαρμογές Ρομπότ στην ιατρική χειρουργική	16
1.6.1 Εφαρμογές στην Νευροχειρουργική	16
1.6.2 Εφαρμογές στην Καρδιοχειρουργική	17
1.6.3 Εφαρμογές στην Ορθοπαιδική Χειρουργική	18
1.6.5 Εφαρμογές στην Ουρολογική Χειρουργική	19
1.7 Χειρουργικά Ρομποτικά Συστήματα	19
1.7.1 Συστήματα Υποβοήθησης Χειρουργικών Επεμβάσεων	20
1.7.2 Ρομποτικά Συστήματα Ενδοσκόπησης	24
1.7.3 Σύστημα Ρομποτικής Ακτινοχειρουργικής	25
1.7.4 Ρομποτικά Συστήματα τύπου Master-Slave	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	30
2.1 Ρομποτικός Βραχίονας Learn LewanSoul	30
2.1.1 Ελεγκτής Bluetooth	33
2.1.2 Σχεδιασμός και κατασκευή του ρομπότ	34
2.2 Μικροελεγκτής Arduino	39
2.2.1 Arduino UNO (R3)	40
2.2.2 Χαρακτηριστικά Arduino UNO	40
2.2.2.1 Ισχύς	41
2.2.2.2 Είσοδοι και Έξοδοι	41
2.2.2.3 Μικροελεγκτής ATmega	42
2.2.2.4 Ψηφιακοί και Αναλογικοί Ακροδέκτες	44
2.3 Breadboard	44
2.3.1 Το εσωτερικό και η συνδεσμολογία του Breadboard	45

2.4 Σχηματικό Διάγραμμα.....	47
2.5 Κατασκευή	47
Κεφάλαιο 3 Κινηματική.....	48
3.1 Κινηματικό Διάγραμμα	49
3.2 Παράμετροι Denavit-Hartenberg.....	50
3.2.1 Παράμετρος θ_i	50
3.2.3 Παράμετρος r	51
3.2.4 Παράμετρος d	52
3.3 Πίνακας Ομογενούς Μετασχηματισμού με χρήση των παραμέτρων D-H.....	53
3.3.1 Επίλυση του συστήματος	53
Κεφάλαιο 4 Λογισμικό.....	58
4.1 CoppeliaSim Edu	58
4.2.1 Γραμμή εργαλείων και σειριακή επικοινωνία.....	62
4.2.2 Δομή του προγράμματος	63
4.2.3 Ψηφιακές και αναλογικές συναρτήσεις εξόδου/εισόδου ρεύματος.....	67
4.2.3 Υποστήριξη Βιβλιοθηκών.....	68
4.3 Κώδικας του συστήματος	69
Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα και Παρατηρήσεις.....	74
Βιβλιογραφία	77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο παραθέτετε η ιστορική αναδρομή της ρομποτικής καθώς και κάποια από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης ρομπότ. Στην συνέχεια, αναφέρονται τα σημαντικότερα είδη των ρομπότ, αναλύονται και διαχωρίζονται ανάλογα με τον βαθμό ελευθερίας τους. Αρχικά, διαχωρίζονται στα ρομπότ σταθερής βάσης και στα κινούμενα ρομπότ και στην συνέχεια σύμφωνα με τον βαθμό ελευθερίας τους διακρίνονται τα: AGVs, Αυτόνομα έντροχα ρομπότ, Βαδίζοντα ρομπότ, AUVs και Εναέρια ρομπότ. Μετά την ανάλυση αυτή, ακολουθούν τόσο οι γενικές εφαρμογές των ρομπότ όσο και οι εφαρμογές τους στην ιατρική χειρουργική. Οι εφαρμογές αυτές αναφέρονται στους τομείς της Νευροχειρουργικής, Καρδιοχειρουργικής, Γενικής Χειρουργικής και της Ουρολογικής. Τέλος, αναλύονται περαιτέρω τα χειρουργικά ρομποτικά συστήματα τα οποία αποτέλεσαν ορόσημο στην ρομποτική χειρουργική.

1.1 Εισαγωγή

Ο κλάδος της ρομποτικής είχε κάνει τα πρώτα του καινοτόμα βήματα στον τομέα του πολιτισμού. Με το πέρασμα των αιώνων, ο άνθρωπος έχει επιχειρήσει την αναζήτηση υποκατάστατων που θα ήταν ικανά να "μιμηθούν" τις ανθρώπινες συμπεριφορές στις διάφορες περιπτώσεις αλληλεπίδρασης του με το γύρο περιβάλλον. Αρκετά κίνητρα έχουν εμπνεύσει αυτή τη συνεχόμενη αναζήτηση που αναφέρεται σε φιλοσοφικές, οικονομικές, κοινωνικές και επιστημονικές αρχές. Παρ' όλα αυτά η σπουδαιότερη φιλοδοξία του ανθρώπου ήταν να δώσει ζωή στα τεχνουργήματα του. Υπήρχαν μυθοπλασίες όπως ο θρύλος του Τιτάνα Προμηθέα, ο οποίος έπλασε την ανθρωπότητα με πηλό, όπως επίσης και του γίγαντα Τάλου. Ο Τάλως ήταν χάλκινος σκλάβος που δημιούργησε ο Ήφαιστος για να προστατεύει το νησί της Κρήτης από διάφορους εισβολείς και ήταν δώρο προς τον Μίνωα, τον βασιλιά της Κρήτης. Η σύγχρονη εποχή που ζούμε είναι επηρεασμένη από τα παραπάνω γεγονότα όπως είναι και ο μύθος του Φράνκεστριν που γνωρίζουμε μέχρι και σήμερα.[1]



Εικ 1.1 Τάλως, χάλκινος σκλάβος και δημιούργημα του θεού Ήφαιστου (Πηγή)

Η καθημερινότητα μας πλέον κατακλύζεται από την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας. Την τελευταία δεκαετία η εποχή μας χαρακτηρίζεται ως Τεχνολογική αφού η οικονομία μας και η καθημερινότητα μας είναι εξαρτημένη από την σύγχρονη τεχνολογία. Ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της τεχνολογίας είναι η ρομποτική η οποία βοηθά στην βελτίωση εργατικής δύναμης κατασκευής και την ανάπτυξη της βιομηχανίας σε όλο τον κόσμο. Γενικά η ρομποτική, παίζει σημαντικό ρόλο στην σύγχρονη κοινωνία μας. Με την πάροδο του χρόνου εξελίχθηκαν τα ρομπότ αφού από απλές μηχανές που μπορούσαν να εκτελέσουν επαναλαμβανόμενες κινήσεις εξελίσσονται σε μηχανές υψηλής νοημοσύνης, ρομπότ όπου συμπεριφέρονται σχεδόν όπως οι άνθρωποι. Τα σημερινά ρομπότ εξακολουθούν να είναι μηχανές χωρίς νοημοσύνη, παρ' όλα αυτά έγιναν μεγάλες προσπάθειες για να επεκταθεί η χρησιμότητά τους. Σήμερα, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών μεγάλης ακριβείας σε βαριά βιομηχανία αλλά και σε επιστημονικές έρευνες. Πλέον τα ρομπότ χρησιμοποιούνται καθημερινά στην κατασκευή μικροεπεξεργαστών, στην ιατρική, στην εξερεύνηση του διαστήματος, των ωκεανών και γενικά σε εργασίες που πραγματοποιούνται σε επικίνδυνο περιβάλλον.

1.2 Ιστορική Αναδρομή

Το "Ρομπότ" είναι μια λέξη που έχει τις ρίζες του στην Τσέχικη λέξη "robot" που σημαίνει σκλάβος ή τραγωδία. Το 1922, η λέξη αυτή χρησιμοποιήθηκε σε ένα έργο του Τσέχου συγγραφέα Karel Capek το Rossum's Universal Robots (R.U.M) όπου περιέγραφε τους εργάτες να κατασκευάζουν τεχνητούς ανθρώπους με το όνομα ρομπότ. Το 1942 ο Isaac Asimov έγραψε το έργο "Runaround", το οποίο περιλάμβανε τους τρεις νόμους της ρομποτικής οι οποίοι ισχύουν μέχρι και σήμερα. Οι τρεις νόμοι είναι:

Ένα ρομπότ δεν μπορεί να τραυματίσει ένα ανθρώπινο ων ή εξαιτίας αδράνειας του, να επιτρέψει τον τραυματισμό ενός ανθρώπινου όντως.

Ένα ρομπότ πρέπει να υπακούει στις εντολές, οι οποίες του δίνονται από ανθρώπινα όντα, εκτός από αυτές που έρχονται σε αντίθεση με τον πρώτο νόμο.

Ένα ρομπότ πρέπει να προστατεύει την ύπαρξη του εφόσον αυτή η προστασία δεν έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο ή με τον δεύτερο νόμο. [2,3]

Αυτοί οι τρεις νόμοι καθιέρωσαν κανόνες συμπεριφοράς προς εξέταση ως προδιαγραφές για το σχεδιασμό ρομπότ.

Κατά την διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου το 1940, πραγματοποιήθηκε μια έρευνα η οποία κατέληξε στα σύγχρονα βιομηχανικά ρομπότ. Μία δεκαετία αργότερα, το 1950, ο George Devol και ο Joseph Engelberger δημιούργησαν την πρώτη εταιρία ρομπότ. Στο New Jersey, στην αρχή της δεκαετίας του 1960, η εταιρία General Motors κατασκεύασε το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ. Στο τέλος της δεκαετίας, δημιουργήθηκε ο πρώτος βραχίονας που τροφοδοτήθηκε ηλεκτρικά όπου και ήταν ελεγχόμενος από έναν υπολογιστή. Η δεκαετία του 1970 ήταν ένα ορόσημο για την ρομποτική διότι η τεχνητή νοημοσύνη αρχίζει να αναπτύσσεται περισσότερο στα ρομπότ. Από το 1980 και μετά τα βιομηχανικά ρομπότ άρχισαν να χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στη βιομηχανία. Το 1997 έκανε την εμφάνιση του το κινητό ρομπότ Mars Pathfinder. Το ρομπότ αυτό προσγειώθηκε στην επιφάνεια του πλανήτη Άρη ως εξερευνητής όπου και λειτούργησε για μερικές εβδομάδες τηλεκατευθυνόμενο από τη γη. Σήμερα, η τεχνολογία αναπτύσσεται ραγδαία με γοργούς ρυθμούς και χρόνο με το χρόνο εξελίσσεται αποτελεσματικά. Καθημερινά καλύπτονται όλο και περισσότεροι τομείς της καθημερινότητας μας και έτσι διευκολύνουν την ζωή των ανθρώπων σε αντίξοες συνθήκες όπου ο άνθρωπος δεν μπορεί να επιζήσει. [4]

1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα από χρήση Ρομπότ

- **Πλεονεκτήματα**

1. Η αύξηση της παραγωγικότητας, της ασφάλειας, της αποδοτικότητας, της ποιότητας και της συνέπειας των προϊόντων οφείλεται στην ρομποτική και τον αυτοματισμό.

Τα ρομπότ λειτουργούν χωρίς να υπόκεινται σωματική κούραση 24 ώρες τη μέρα και με περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τον άνθρωπο όπως μεγάλη ταχύτητα, υψηλή ακρίβεια και πιο λίγα σφάλματα.

2. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των ρομπότ είναι η δυνατότητα εργασίας τους σε επικίνδυνο περιβάλλον. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η λειτουργία τους σε περιβάλλον με τοξικά αέρια ή σε ακόμα πιο επικίνδυνο περιβάλλον όπου ο άνθρωπος δεν θα εργαζόταν με ασφάλεια. Επίσης, εργάζονται σε αντίξοες συνθήκες που δεν είναι προσιτές στον άνθρωπο όπως είναι οι υποθαλάσσιες και διαστημικές έρευνες, τα ηφαίστεια και οι σήραγγες.

3. Τα ρομπότ πραγματοποιούν ταυτόχρονα ποικίλες εργασίες σε σχέση με τους ανθρώπους οι οποίοι δεν έχουν την δυνατότητα να εκτελούν ταυτόχρονα πολλές εργασίες. [5]

- **Μειονεκτήματα**

1. Τα ρομπότ δεν είναι εξοικειωμένα στο να ανταποκρίνονται σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης εκτός και αν η κατάσταση έχει προγραμματιστεί στο σύστημα. Επίσης, είναι απαραίτητο να εξασφαλιστούν κάποια μέτρα προστασίας για τη καλύτερη ασφάλεια των εργατών που τα χειρίζονται λόγω πιθανών ατυχημάτων.

2. Η ταχύτητα λειτουργίας των ρομπότ είναι μικρή και είναι εμφανείς στα σερβοελεγχόμενα συστήματα συνεχούς τροχιάς.

3. Η ακριβής τοποθέτηση ρομποτικών συνιστωσών περιορίζεται από τον «τζόγο» στις ρομποτικές αρθρώσεις και την ευκαμψία ή «κύρτωση» των ρομποτικών συνδέσμων. Αν το φορτίο είναι μεγαλύτερο σε μέγεθος ή βάρος σε σχέση με το μέγεθος του ρομπότ, τότε το πρόβλημα θα είναι μεγαλύτερο.

4. Μεγάλη δυσκολία προγραμματισμού στα ρομπότ.

5. Η εγκατάσταση, η συντήρησή αλλά και η εκμάθηση του ρομπότ έχουν υψηλό κόστος.[5]

1.4 Είδη Ρομπότ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα σημαντικότερα είδη ρομπότ:

- **Τα Ρομπότ Σταθερής Βάσης:** απαρτίζονται από στερεά σώματα – συνδέσμους διαδοχικά μεταξύ τους που είναι συνδεδεμένα με αρθρώσεις σχηματίζοντας κινηματική αλυσίδα. Στο ένα άκρο της αλυσίδας υπάρχει μια βάση η οποία είναι σταθερά συνδεδεμένη σε σημείο του

περιβάλλοντος του χώρου. Η μορφή του ρομπότ αυτή αποτελείται από το εργαλείο, τον βραχίονα και τον καρπό.

- **Τα Κινούμενα Ρομπότ:** ονομάζονται τα ρομπότ που έχουν την δυνατότητα να μετακινήσουν όλα τα σημεία του σώματος-μηχανισμού τους. Επίσης, τροχοί ή τα πολύπλοκα π.χ jet, προπέλες είναι ειδικά συστήματα προώθησης που βοηθούν στην λειτουργία των ρομπότ αυτών.

Παρακάτω ανάλογα με τον βαθμό ελευθερίας αναλύονται οι κατηγορίες των κινούμενων ρομπότ:

- **Τα AGVs:** τα Automatic Guided Vehicles δεν έχουν μεγάλη αυτονομία κίνησης και η τροχιά τους είναι προκαθορισμένη μέσω καλωδίων στο έδαφος ή πομπών στον περιβάλλοντα χώρο.

- **Τα Αυτόνομα Έντροχα Ρομπότ:** λειτουργούν με μεγάλο βαθμό αυτονομίας. Συγκεκριμένα η λειτουργία τους γίνεται χωρίς συνεχή εξωτερική επίβλεψη και έχουν την δυνατότητα να εκτελούν εργασίες με εντολές υψηλού επιπέδου.

- **Τα Βαδίζοντα Ρομπότ:** έχουν μηχανικά πόδια και όχι συμβατικούς τροχούς για την κίνηση τους, χαρακτηριστικό το οποίο τα διαφοροποιεί από τις παραπάνω κατηγορίες. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά τους είναι η υψηλή αποφυγή εμποδίων αλλά και η αναρρίχηση σε μη επίπεδες επιφάνειες και σε ανώμαλα εδάφη. Τα δίποδα ρομπότ είναι τα πιο κοινά της κατηγορίας αυτής, ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν και οι εφαρμογές με περισσότερα από δύο πόδια, π.χ. ρομπότ με περισσότερα πόδια που με την ιδιαίτερη κίνηση τους μοιάζουν με αράχνες. Είναι σε σχήμα κουτιού και η κίνηση τους γίνεται σε πολύ χαμηλές ταχύτητες.

- **Τα AUVs:** τα Autonomous Underwater Vehicles είναι αυτόνομα ρομπότ και δεν χρειάζονται καλώδια για την λειτουργία τους. Για την τροφοδοσία (ενέργεια) τους χρησιμοποιούνται ειδικές μπαταρίες αλλά έχει ως μειονέκτημα τον περιορισμό λειτουργίας τους. Είναι σε σχήμα τορπιλών, το οποίο τους βοηθάει να κινούνται με υψηλές ταχύτητες.

- **Τα Εναέρια Ρομπότ:** Έχουν συνέχεια αυξανόμενες εφαρμογές, αλλά η σταθερότητα και η ασφάλεια τους δεν είναι έμπιστη ακόμα γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς σκοπούς. Τα ελικόπτερα και τα αεροπλάνα είναι μη στελεχωμένα ιπτάμενα ρομπότ.

1.5 Εφαρμογές και χρήσεις Ρομπότ

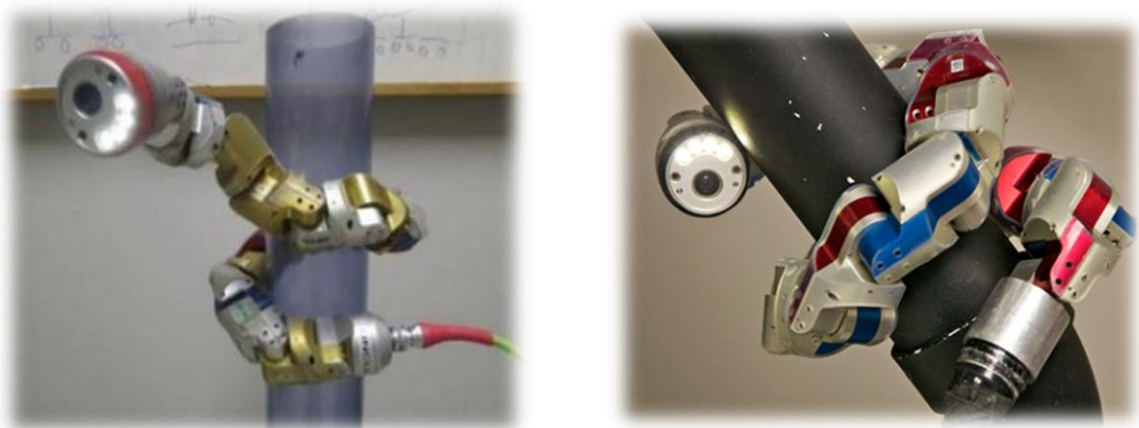
Στη σύγχρονη εποχή, η ρομποτική έχει μεγάλη ποικιλομορφία από εφαρμογές στην πλειοψηφία των βιομηχανιών και βιοτεχνιών, όπως είναι οι βιομηχανίες τσιμέντου, αυτοκινήτων, μεταλλικών κατασκευών, βιοτεχνίες ενδυμάτων, κλπ. Μερικές εφαρμογές είναι η μεταφορά υλικών και η ταξινόμησή τους σε αποθήκες, η συγκόλληση μεταλλικών και ηλεκτρικών στοιχείων, η μικροχειρουργική, η ιατρική κ.α . Η σχέση ρομπότ και βιομηχανίας είναι πολύ στενή αφού τα ρομπότ αποτελούν παράδειγμα συσκευής αυτοματισμού ευρείας χρήσης. Προσφέρει την ευκαιρία στη βιομηχανία μικρής κλίμακας για ένα μεγάλο άλμα στην παραγωγικότητα της. Ταυτόχρονα όμως συνεχίζει να παράγει σε μικρές ποσότητες, έτσι ώστε σε μερικές περιπτώσεις να είναι σε θέση να ανταγωνιστεί τις μεγαλύτερες βιομηχανίες. Υπάρχουν διάφορες εργαλειομηχανές με Computer Numerical Control (CNC) οι οποίες συνθέτουν ιδιαίτερες μορφές ρομποτικών συστημάτων. Από χρόνο σε χρόνο, αυξάνεται εκθετικά ο αριθμός των ρομπότ που χρησιμοποιούνται σε παραγωγικές μονάδες διεθνώς. Ένα μεγάλο μέρος των ρομπότ αυτών είναι βιομηχανικά. Ένα μικρό αλλά και εξειδικευμένο τμήμα από τα ρομπότ αυτά χρησιμοποιούνται για στρατιωτικές εφαρμογές. Τα κινητά ή κινούμενα ρομπότ έχουν και αυτά τις ιδιαιτερότητες τους, αφού ολοένα και αυξάνεται η ένταξη τους σε διάφορα άλλα τμήματα στη βιομηχανία.

Τα τελευταία χρόνια, η ρομποτική επιστήμη έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εξερεύνηση και τη μελέτη του διαστήματος. Γενικά τα ρομπότ συμβάλουν σημαντικά στην εξερεύνηση του σύμπαντος. Οι επιστήμονες μπορούν να επεξεργαστούν και να σχεδιάσουν ένα ρομπότ έτσι ώστε να λειτουργεί σε αντίξοες συνθήκες στις οποίες ο άνθρωπος δεν μπορεί να ανταπεξέλθει. Τα ρομπότ δεν είναι ζωντανοί οργανισμοί, αλλά μηχανήματα, πράγμα το οποίο οι επιστήμονες μπορούν να εκμεταλλευτούν. Ακόμα ένα θετικό των ρομπότ για τους επιστήμονες του διαστήματος είναι πως τα ρομπότ μπορούν να επιβιώσουν στο διάστημα για πολλά χρόνια ενώ ένας αστροναύτης δεν μπορεί λόγω επιβίωσης. [6,7]



Εικ 1.2 Ρομποτικός εξερευνητής της NASA Curiosity ([Πηγή](#))

Εκτός από το διάστημα, η ρομποτική διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον τομέα της μελέτης των φυσικών φαινομένων. Η πρόβλεψη και η κατάλληλη προετοιμασία από διάφορα φυσικά φαινόμενα όπως σεισμοί, τυφώνες, θύελλες κ.ά. οφείλεται στην εξελιγμένη τεχνολογία που βιώνουμε καθημερινά. Είναι πολύ σημαντική αφού με την πρόβλεψη αυτή μπορούν σωθούν χιλιάδες ανθρώπινες ζωές. Παρ' όλα αυτά, οι προβλέψεις αυτές και συγκεκριμένα των σεισμών δεν παύει να δυσκολεύει τους επιστήμονες. Γίνονται πολλές προσπάθειες από σεισμολόγους έτσι ώστε να προβλέψουν με αξιοπιστία ένα σεισμό, αλλά πολλές φορές αδυνατούν στην πρόβλεψη του έναν μήνα νωρίτερα ή και ακόμα την ίδια τη ημέρα που θα πραγματοποιηθεί. Για να αποφευχθούν θύματα από φυσικές καταστροφές, θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη βάση στην αναζήτηση αλλά και στην διάσωση. Ωστόσο, ερευνητικές ομάδες κάνουν σημαντικές προσπάθειες στο να δημιουργήσουν εξειδικευμένα ρομπότ τα οποία θα είναι ικανά να εντοπίζουν επιζώντες σε χαλάσματα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα ρομπότ σε σχήμα φιδιού (βλέπε εικ 1.3) τα οποία θα λειτουργούν ως εξής: αρχικά ο αγωγός τοποθετείται κοντά στα συντρίμια από τους διασώστες έτσι ώστε το ρομπότ φίδι να συρθεί κατά μήκος του αγωγού. Η ουρά του φιδιού ρομπότ είναι συνδεδεμένη με ένα σύνθετο και λεπτό καλώδιο το οποίο παρέχει ρεύμα και μεταφέρει δεδομένα από και προς τις δυο πλευρές αντίστοιχα. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα, το ρομπότ φίδι σταματάει για να ανιχνεύσει και να ακούσει καλύτερα τους επιζώντες αν υπάρχουν. Ο ήχος προς τον χειριστή αποστέλλεται απευθείας μέσω του κεφαλιού του φιδιού ρομπότ.



Εικ 1.3 Ρομπότ σε σχήμα φιδιού ([Πηγή](#))

1.6 Εφαρμογές Ρομπότ στην ιατρική χειρουργική

Ένας από τους σημαντικότερους τομείς στον οποίο χρησιμοποιείται η ρομποτική είναι η ιατρική. Οι εφαρμογές της εκεί είναι ποικίλες, παρέχοντας μεγάλη βοήθεια στον ιατρό και στις πλείστες περιπτώσεις την γρηγορότερη αποκατάσταση των ασθενών. Οι εφαρμογές οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω είναι η Νευροχειρουργική, η Καρδιοχειρουργική, η Ορθοπεδική Χειρουργική, η Γενική Χειρουργική και η Ουρολογική Χειρουργική. [6]

1.6.1 Εφαρμογές στην Νευροχειρουργική

Η νευροχειρουργική τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί ραγδαία και αναβαθμίζεται καθημερινά σε νέες τεχνολογίες και συγκεκριμένα στο πεδίο της χειρουργικής αλλά και στο τεχνικό πεδίο. Γενικά, η νευροχειρουργική ασχολείται κυρίως με θεραπείες του Κεντρικού και του Περιφερικού Νευρικού Συστήματος του ανθρώπινου σώματος όπως είναι ο εγκέφαλος, ο νωτιαίος μυελός (σπονδυλική στήλη) και τα περιφερικά νεύρα. Λόγο της τεχνολογικής επανάστασης γίνονται καθημερινά μεγάλες προσπάθειες έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι τραυματισμοί ανθρώπινων φυσιολογικών ιστών κατά τη διάρκεια μίας χειρουργικής επέμβασης. Ταυτόχρονα, γίνονται προσπάθειες ώστε να βελτιστοποιηθούν τα κλινικά αποτελέσματα. Μέσω αυτής της προόδου, η χειρουργική ρομποτική διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον τομέα της νευροχειρουργικής. Είναι εμφανής η πρόοδος της νευροχειρουργικής μέσω της τεχνολογικής επανάστασης με την χρήση μικροσκοπίου, εργαλείων μικροχειρουργικής, αναβαθμισμένες απεικονιστικές μεθόδους νευροπλοήγησης και ενδοσκοπίου. Με αυτό τον τρόπο έχουμε καλύτερη κατανόηση του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος με αποτέλεσμα τη δημιουργία υποειδικοτήτων όπως είναι η παιδιατρική νευροχειρουργική, η αγγειακή νευροχειρουργική, η χειρουργική βάσης κρανίου και πολλές άλλες. [5,6]

Στα τέλη του 1980, ο γνωστός Kwoh και οι συνεργάτες του αποπειράθηκαν στην βιοψία εγκεφάλου με την χρήση ρομπότ. Αυτό το γεγονός έδωσε το έναυσμα στους ιατρούς και στους τεχνικούς να εξελίξουν την νευροχειρουργική με σκοπό το βέλτιστο αποτέλεσμα. Παρ' όλα αυτά, ήταν μεγάλη πρόκληση για τους νευροχειρουργούς και συνεχίζει ακόμα να είναι, αφού στην εξελιγμένη εποχή που ζούμε σήμερα οι μικροχειρουργικές τεχνικές έχουν ενταχθεί στην καθημερινή χειρουργική και είναι αποτελεσματική. Ο σκοπός της ρομποτικής

νευροχειρουργικής είναι η άριστη προσέγγιση όσον αφορά το κεντρικό νευρικό σύστημα αλλά και ο περιορισμός απότομων κινήσεων των χεριών του χειρουργού. Το κατάλληλο όργανο του ανθρώπινου σώματος για ρομποτικές εφαρμογές είναι ο εγκέφαλος αφού "θωρακίζετε" από το κρανίο με αποτέλεσμα να περιορίζει την εισαγωγή εργαλείων στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Η επικινδυνότητα είναι μεγάλη αφού η επέμβαση πρέπει να γίνεται με μεγάλη ακρίβεια και μπορεί να προκαλέσει μη αναστρέψιμη βλάβη στον ασθενεί γι' αυτό και σήμερα χρησιμοποιείται η ρομποτική νευροχειρουργική.

1.6.2 Εφαρμογές στην Καρδιοχειρουργική

Τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια, η πρόοδος της καρδιοχειρουργικής είναι επηρεασμένη από την σύγχρονη τεχνολογική εξέλιξη. Οι σημαντικότερες επεμβατικές τεχνικές που εφαρμόστηκαν είναι η MIDCAB, η παράκαμψη στεφανιαίας χωρίς αντλία και η ελαχίστης πρόσβασης χειρουργικών βαλβίδων. Τα πρώτα χρόνια που εφαρμόστηκε η ελάχιστη επεμβατική καρδιοχειρουργική είχε ως αποτέλεσμα την απουσία συστημάτων απεικόνισης, των σταθερών μεθόδων αγγειακής και την παράκαμψη καρδιοπνευμονικής. Η απουσία όλων των τεχνικών αυτών είχε ως αποτέλεσμα την αναστολή εκτέλεσης μικρών τομών επεμβάσεων χωρίς την κατάλληλη τεχνολογική πρόσβαση, όπως τα συστήματα απεικόνισης. Η επαναστατική αυτή εξέλιξη βοήθησε τους χειρουργούς να έχουν την δυνατότητα εκτέλεσης πολύπλοκων καρδιακών επεμβάσεων όπως είναι η χειρουργική αποκατάσταση της μιτροειδούς βαλβίδας.

Τέτοιες πολύπλοκες επεμβάσεις όπως είναι της μιτροειδούς βαλβίδας ήταν και εξακολουθούν ακόμη να είναι από τις πιο σύγχρονες εγχειρήσεις καρδιάς. Έως και λίγα χρόνια πριν, η αποκατάσταση της μιτροειδούς βαλβίδας γινόταν με θωρακοτομή. Πλέον η ρομποτική τεχνολογία εξελίχθηκε και δημιούργησε ένα σύγχρονο μηχάνημα το DaVinci όπου έχει την δυνατότητα καρδιακών επεμβάσεων με μεγάλη ακρίβεια αλλά και χωρίς θωρακοτομή. Με αυτό τον τρόπο η επέμβαση μιτροειδούς βαλβίδας κατατάσσεται πλέον στην κατηγορία με τις επεμβάσεις ρουτίνας. [10]

1.6.3 Εφαρμογές στην Ορθοπεδική Χειρουργική

Ένας από τους πρώτους τομείς που έχει αναπτυχθεί η χρήση των ρομποτικών συστημάτων είναι η Ορθοπεδική. Γενικά, τα οστά δεν παραμορφώνονται τόσο εύκολα όσο οι μαλακοί ιστοί κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Οι πιο σημαντικές επεμβάσεις που γίνονται με την εφαρμογή ρομποτικών συστημάτων είναι η ολική αντικατάσταση γονάτου και ολική αρθροπλαστική ισχίου.

Τα πλεονεκτήματα της Ρομποτικής Ορθοπεδικής Χειρουργικής γόνατος και ισχίου σε σύγκριση με τις κλασικές μεθόδους;

1. Μεγάλη ακρίβεια στο σχεδιασμό και στην εκτέλεση της επέμβασης
2. Η μικρότερη χειρουργική τομή
3. Η ελάχιστη απώλεια αίματος
4. Λιγότερες χειρουργικές επιπλοκές
5. Η αλλαγή και βελτίωση του αρχικού σχεδιασμού κατά την εκτέλεση της επέμβασης
6. Η μείωση του μετεγχειρητικού άλγους
7. Λιγότερος χρόνος παραμονής στο νοσοκομείο
8. Η ελαχιστοποίηση του χρόνου αποθεραπείας

1.6.4 Εφαρμογές στη Γενική Χειρουργική

Η γενική χειρουργική σχετικά πρόσφατα έχει εφαρμόσει την ρομποτική τεχνολογία στον τομέα της. Κάποια συστήματα ρομποτικής που εφαρμόζονται στην γενική χειρουργική είναι η λαπαροσκόπηση χολοκυστεκτομών που χρησιμοποιείται σε επεμβάσεις αντιμετώπισης της αχαλασίας του οισοφάγου και της γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης. Επίσης, ρομποτικά συστήματα εφαρμόζονται σε εγχειρήσεις που πραγματοποιούνται στο ορθό και στο κόλον.

Η Αχαλασία του οισοφάγου προκαλεί χαλάρωση του οισοφάγου κατά την διάρκεια της κατάποσης και έτσι έχουμε αύξηση της διαμέτρου του οισοφάγου η οποία είναι μόνιμη. Η αντιμετώπιση της πάθησης αυτής γίνεται με ρομποτική χειρουργική και ονομάζεται μυοκτομή κατά Heller. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις πραγματοποιείται από την λαπαροσκοπική θολοπλαστική κατά Toupet 270° ή Dor 180°.

Η νόσος της Γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης είναι η παλινδρόμηση φαγητού από το στομάχι στον οισοφάγο. Για την αντιμετώπιση της νόσου αυτής χρησιμοποιούνται δύο

χειρουργικές τεχνικές οι οποίες είναι η θολοπλαστική Toupet η και η θολοπλαστική Nissen.
[5]

1.6.5 Εφαρμογές στην Ουρολογική Χειρουργική

Στο τέλος του 1980 η ουρολογική χειρουργική εμπνευσμένη από τα βιομηχανικά ρομπότ, είχε αρχίσει να κάνει τα πρώτα της βήματα χρησιμοποιώντας την ρομποτική τεχνολογία. Τα σημερινά ρομπότ δημιουργήθηκαν για να βοηθούν κατά την διάρκεια μιας χειρουργικής επέμβασης τους ουρολόγους χειρουργούς.

Οι πιο βασικές επεμβάσεις που γίνονται με την βοήθεια ρομπότ είναι η ριζική προστατεκτομή, η μερική νεφρεκτομή και η κυστεκτομή. Η ριζική προστατεκτομή παρουσιάζει στυτική λειτουργία και ακράτεια των ούρων. Γίνετε λαπαροσκοπικά και είναι από τις πιο δύσκολες επεμβάσεις που συναντάνε συχνά οι ιατροί σήμερα. Η μερική νεφρεκτομή γίνετε με την βοήθεια χειρουργικών εργαλείων EndoWrist που είναι μια εναλλακτική τεχνική διευκολύνοντας τον χειρουργό στις ενδοσωματικές συρραφές. Τέλος, η ριζική κυστεκτομή χρησιμοποιείται ως θεραπεία και εφαρμόζετε σε ασθενείς που πάσχουν από καρκίνο της ουροδόχου κύστης. [5,6]

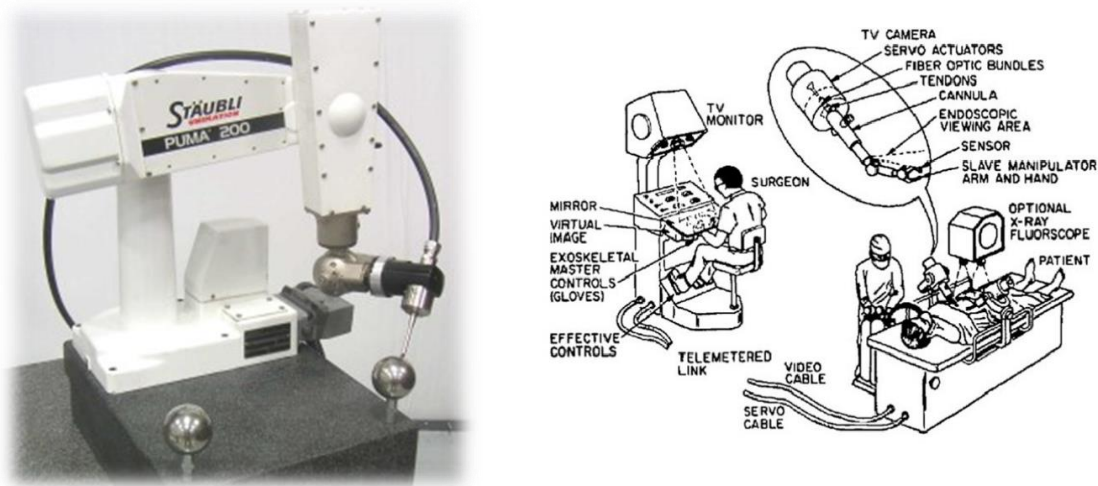
1.7 Χειρουργικά Ρομποτικά Συστήματα

Τα χειρουργικά ρομποτικά συστήματα διαιρούνται σε δύο κατηγορίες: στα ενεργά και στα παθητικά συστήματα. Τα ενεργά είναι συστήματα αυτόνομα δηλαδή είναι ελεγχόμενα από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και εκτελούν καθήκοντα με την κατάλληλη επίβλεψη του χειρουργού καθ' όλη τη διάρκεια της επέμβασης. Η παρουσία του χειρουργού επιβάλλεται αφού και αυτός με την σειρά του πρέπει να είναι ενεργός σε περίπτωση που ο βραχίονας υποστεί κάποια δυσλειτουργία την ώρα της επέμβασης. Παρ όλα αυτά, τα ενεργά συστήματα κάποιες φορές είναι ανασφαλής γι' αυτό και τα περισσότερα ρομποτικά συστήματα μπορούν να αλλάξουν σε παθητική κατάσταση. Στην δεύτερη περίπτωση, δηλαδή, στα παθητικά ρομποτικά συστήματα τα οποία δεν είναι αυτόνομα, τα χειρίζεται ένας έμπειρος χειρουργός και όχι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Κατά τη διάρκεια επέμβασης με παθητικό ρομποτικό σύστημα απαιτείται η φυσική παρουσία ενός έμπειρου χειρουργού. Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται συνήθως τα ενεργά συστήματα αφού είναι πιο σύγχρονα από τα παθητικά.

Κάποια από τα σημαντικότερα ρομποτικά συστήματα χρησιμοποιούνται παγκοσμίως είναι ενδοσκόπησης, υποβοήθησης χειρουργικών επεμβάσεων, ελέγχου και τηλεσυνεργασίας, ακτινοχειρουργικής και τύπου MasterSlave.

1.7.1 Συστήματα Υποβοήθησης Χειρουργικών Επεμβάσεων

Κάποια συστήματα τα οποία υποβοηθούν σε χειρουργικές επεμβάσεις είναι τα ακόλουθα PUMA 200/560, ROBODOC, Probot, NeuroMate, Minerva, Acrobot και neuroArm. Το PUMA 200, (βλ. εικόνα 1.4), είναι σύστημα αυτόνομο, προγραμματισμένο να ελέγχετε από ηλεκτρονικό υπολογιστή και σχεδιάστηκε για να βοηθά τον χειρουργό κατά την διάρκεια νευροχειρουργικής επέμβασης. Είναι ένα εξοικειωμένο σύστημα που παρέχει σταθερότητα με ακριβή και λεπτή εργασία με τη βοήθεια στερεοτακτικού πλαισίου και εικόνων αξονικής τομογραφίας. Επίσης, είναι από τα πιο αξιόπιστα συστήματα αφού παρέχει μηχανισμούς ασφάλειας σε περίπτωση κάποιου σφάλματος. Οι κινήσεις του συστήματος γίνονται με τη βοήθεια DC σερβοκινητήρων και έχει έξι βαθμούς ελευθερίας [7].



Εικ 1.4 Το υποβοηθούμενο χειρουργικό ρομποτικό σύστημα PUMA 200 (Πηγή, Πηγή)

Ακόμα ένα εξίσου σημαντικό ρομποτικό σύστημα που χρησιμοποιείται στην ορθοπαιδική χειρουργική είναι το Puma 560 (βλέπε εικ.1.5) το οποίο βασίζεται σε ολική αντικατάσταση γονάτου και περιλαμβάνει προεγχειρητικές εικόνες και ρομπότ για την κοπή του οστού. Το ρομπότ αυτό χρησιμοποιείται κυρίως για να οδηγήσει στη σωστή θέση τα εργαλεία κοπής ώστε να βοηθήσει τον χειρουργό να κάνει τις τομές με μεγαλύτερη ακρίβεια. Αφού πραγματοποιηθεί η κοπή του μηριαίου οστού από τον χειρουργό το ρομπότ λαμβάνει θέση για κοπή της κνήμης. Μετά την κοπή κνήμης, το ρομπότ χρησιμοποιεί ένα βραχίονα με έξι βαθμούς ελευθερίας ο οποίος βρίσκεται στην

βάση του και ασφαλίζει με αυτό τον τρόπο την κνήμη και το μηριαίο οστό. Αυτή η διαδικασία γίνεται χωρίς την παρεμβολή του χειρουργού. [10]

Για την αναβάθμιση αλλά και την βελτίωση της ακρίβειας, δημιουργήθηκαν ρομποτικά συστήματα για ορθοπεδικές επεμβάσεις και συγκεκριμένα για τη διαμόρφωση μηριαίας κοιλότητας. Ένα από τα πιο σημαντικά ρομποτικά συστήματα στην ορθοπεδική είναι το Robodoc (βλέπε εικόνα 1,6) το οποίο έχει δύο βασικά χαρακτηριστικά σε σχέση με την απλή χειρουργική διαδικασία:

1. επιτυγχάνει με μεγαλύτερη ακρίβεια την διαμόρφωση μηριαίας κοιλότητας και
2. χρησιμοποιεί εικόνες του ασθενούς π.χ αξονική τομογραφία, οι οποίες έχουν ληφθεί πριν την επέμβαση και είναι απαραίτητες για την παροχή ακριβών αριθμητικών οδηγιών του ρομπότ. Με αυτό τον τρόπο ο χειρουργός μπορεί με μεγαλύτερη ευκολία να βελτιστοποιήσει το μέγεθος και την τοποθέτηση του εμφυτεύματος. [9]

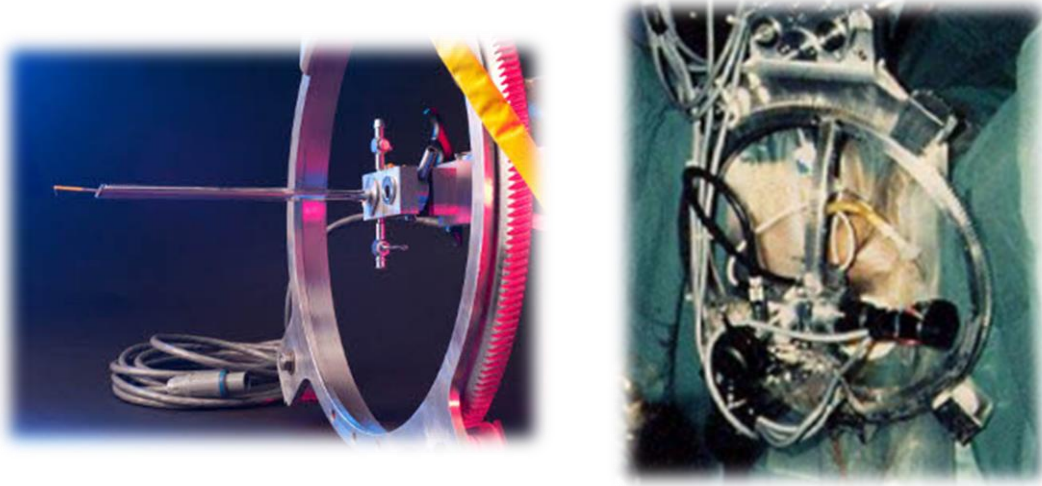


Εικ 1.5 Ρομποτικό σύστημα Puma 560 (Πηγγή)



Εικ 1.6 Ρομποτικό σύστημα Robodoc (Πηγγή)

Το Probot, (βλ. εικόνα 1,7), είναι ένα ειδικά κατασκευασμένο χειρουργικό ρομποτικό σύστημα που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια επέμβασης για αφαίρεση του προστάτη. Αρχικά, γίνεται εντοπισμός του όγκου μέσα στον προστάτη από τον χειρουργό και στη συνέχεια ενεργοποιείται αυτόματα ο ρομποτικός βραχίονας και κατευθύνεται προς τον όγκο. Η αφαίρεση του όγκου γίνεται χωρίς την παρέμβαση του χειρουργού. Το Probot παρέχει έναν μεταλλικό δακτύλιο που δεν επιτρέπει στο ρομποτικό βραχίονα να κινείται έξω από την προκαθορισμένη περιοχή που βρίσκεται ο όγκος. [9]



Εικ 1.7 Ρομποτικό σύστημα Probot (Πηγή, Πηγή)

Το NeuroMate, (βλ. εικόνα 1,8), είναι από τα πρώτα ρομποτικά συστήματα που εγκρίθηκαν από τον Αμερικανικό Οργανισμό Φαρμάκων και Υλικών (FDA) έτσι ώστε να μπορεί να πραγματοποιεί νευροχειρουργικές επεμβάσεις. Έχει πέντε βαθμούς ελευθερίας, έναν ρομποτικό βραχίονα και ένα σύστημα σχεδιασμού σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το σύστημα βασίζεται σε εικόνες οι οποίες λαμβάνονται από τον ασθενή με αξονική τομογραφία ή με απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού και επιτρέπει τον ακριβή σχεδιασμό και την οπτικοποίηση πολλαπλών τροχιών.

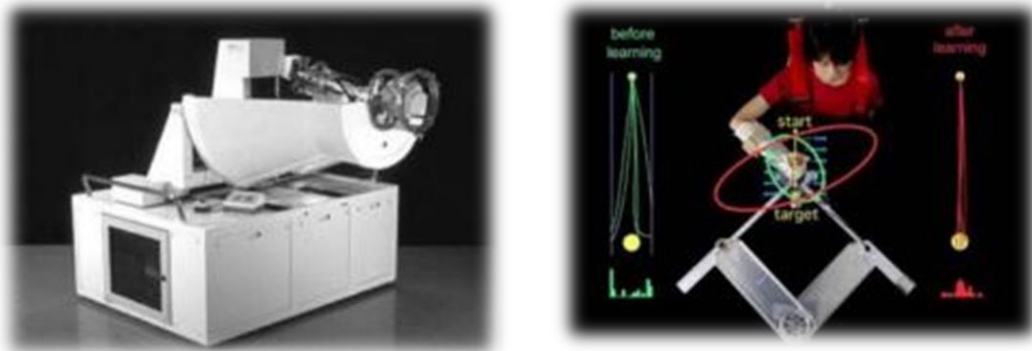
ψ



Εικ.1.8 NeuroMate (Πηγή)

Το Minerva, (βλ. εικόνα 1.9), κατασκευάστηκε το 1991 στην Ελβετία και συγκεκριμένα στο Πολυτεχνείο της Λωζάννης για τη βοήθεια νευροχειρουργικών επεμβάσεων. Το ρομποτικό σύστημα Minerva έχει πέντε βαθμούς ελευθερίας από τον οποίο ο ένας είναι κάθετος και ο άλλος πλάγιος πάνω στον γραμμικό άξονα, οι δύο περιστροφικοί άξονες χρησιμεύουν για την κίνηση του σε οριζόντιο και σε κάθετο επίπεδο και ένας ακόμα γραμμικός άξονας ο οποίος είναι για την κίνηση του εργαλείου από και προς το κεφάλι του

ασθενούς. Το ρομπότ τοποθετείται πάνω σε έναν κινούμενο φορέα. Παράλληλα το στερεοτακτικό πλαίσιο αναφοράς είναι προσαρτημένο στο σκελετό του ρομπότ και συζευγμένο με το μηχανοκίνητο τραπέζι του αξονικού τομογράφου.



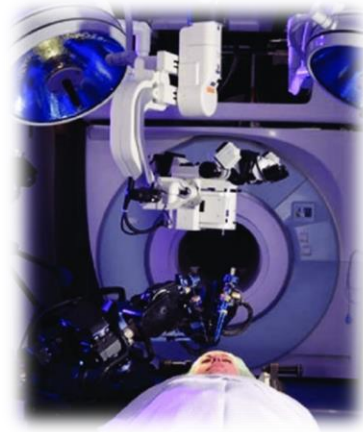
Εικ.1.9 Ρομποτικό σύστημα Minerva (Πηγή)

Το Acrobot (βλ. εικόνα 1.10) είναι ένα ημιενεργό ρομποτικό σύστημα που χρησιμοποιείται στην ορθοπαιδική χειρουργική. Το σύστημα δεν κινείται αυτόνομα, παρόλο που θα μπορούσε να προγραμματιστεί για κάτι τέτοιο. Αντιδρά στις κινήσεις του χειρουργού, ο οποίος κρατά μία λαβή προσαρτημένη στη συσκευή. Το σύστημα υποβοηθά την κίνηση όποτε ο χειρουργός μετακινεί ένα εργαλείο διάτρησης οστού στην περιοχή του γονάτου του ασθενούς για να αφαιρέσει το οστό, παράλληλα όμως τον αποτρέπει στο να κινηθεί έξω από τη συγκεκριμένη περιοχή ασφαλείας. [7]

Το neuroArm, (βλ. εικόνα 1.11), είναι ένα ρομποτικό σύστημα καθοδηγούμενο και ελεγχόμενο από υπολογιστή για νευροχειρουργικές εφαρμογές. Είναι ειδικά σχεδιασμένο τόσο για μικροχειρουργικές επεμβάσεις όσο και για εφαρμογές βιοψίας και στερεοταξίας. Το σύστημα περιλαμβάνει έναν σταθμό εργασίας, την κονσόλα ελέγχου του συστήματος και δύο ρομποτικούς βραχίονες πάνω σε μία κινητή βάση. Το neuroArm επιτρέπει τον τηλεχειρισμό των χειρουργικών εργαλείων από ένα δωμάτιο ελέγχου δίπλα ακριβώς στη χειρουργική αίθουσα. Οι ρομποτικοί βραχίονες του συστήματος έχουν επτά βαθμούς ελευθερίας και είναι συμβατοί με την τεχνική του μαγνητικού συντονισμού.



Εικ: 1.10 Το ρομποτικό σύστημα Acrobot ([Πηγή](#))



Εικ: 1.11 Ρεαλιστική λειτουργία του ρομποτικού συστήματος neuroArm ([Πηγή](#))

1.7.2 Ρομποτικά Συστήματα Ενδοσκόπησης

Τα ρομποτικά συστήματα Aesop και EndoAssist ανήκουν στα συστήματα ενδοσκόπησης. Το Aesop είναι το μόνο ρομποτικό σύστημα που ανήκει στη κατηγορία με τα συστήματα ενδοσκόπησης, (βλ. εικόνα 1.12). Είναι το πρώτο ρομποτικό σύστημα τύπου master slave που πήρε έγκριση από τον FDA το 1994. Αποτελείται από έναν μοναδικό ρομποτικό βραχίονα και σχεδιάστηκε για να κρατάει την ενδοσκοπική κάμερα κατά τη διάρκεια των χειρουργικών επεμβάσεων, γεγονός που απαλλάσσει τον χειρουργό από την ανάγκη για χειροκίνητο χειρισμό της λαπαροσκοπικής κάμερας. Ο χειρισμός του συστήματος γίνεται με τη βοήθεια ποδοδιακόπτη, γεγονός που συνέβαλλε στην εξάλειψη των προβλημάτων από το φυσιολογικό τρέμουλο των άνω άκρων του χειρουργού. Το τελευταίο μοντέλο (AESOP 3000) του συστήματος αυτού έχει επτά βαθμούς ελευθερίας και λειτουργεί με φωνητική εντολή. [8,9,14]

Το ρομποτικό σύστημα EndoAssist, (βλ. εικόνα 1.13), απαρτίζεται από έναν ειδικά σχεδιασμένο αποσπώμενο ρομποτικό βραχίονα έτσι ώστε να κρατάει σταθερή τη λαπαροσκοπική κάμερα. Κατά τη διάρκεια χειρουργικής επέμβασης ο χειρουργός φοράει στο κεφάλι του έναν ειδικό κεφαλόδεσμο ο οποίος είναι συνδεδεμένος με το σύστημα του μηχανήματος μέσω υπερύθρων. Με αυτό τον τρόπο το σύστημα ανιχνεύει τις κινήσεις του κεφαλιού του χειρουργού και έτσι μετακινείται η κάμερα. Επίσης, η κίνηση του κεφαλιού του χειρουργού ανιχνεύεται από τη μονάδα του δέκτη, η οποία και τη μετατρέπει σε κίνηση του ρομπότ. Η εκτέλεση των κινήσεων του ρομποτικού βραχίονα και της λαπαροσκοπικής

κάμερας, γίνονται με έναν ποδοδιακόπτη όπου ο χειρουργός πρέπει να το κρατάει πατημένο για να μπορεί το σύστημα να εκτελέσει τις κινήσεις που θα του αναθέσει. [8,11,12]



Εικ 1.12 Ρομποτικό σύστημα Aesop (3000)([Πηγή](#))



Εικ 1.13 ρομποτικό σύστημα EndoAssist ([Πηγή](#))

1.7.3 Σύστημα Ρομποτικής Ακτινοχειρουργικής

Το σύστημα CyberKnife και η στερεοτακτική χειρουργική ανήκουν στη κατηγορία με τα συστήματα ρομποτικής ακτινοχειρουργικής (βλ. εικόνα 1.14). Ως μια εξειδικευμένη τεχνική ακτινοθεραπείας, η στερεοτακτική χειρουργική έχει την ιδιότητα να κατευθύνει ακτίνες φωτονίων προς ένα συγκεκριμένο καθορισμένο στόχο με αποτέλεσμα την καταστροφή του ιού. Στόχος της θεραπείας αυτής είναι η πραγματοποίηση αναίμακτης επέμβασης. Αρχικά, η στερεοτακτική χειρουργική χρησιμοποιήθηκε για αφαίρεση όγκων στον εγκέφαλο αλλά πλέον μπορεί να αντιμετωπίσει οποιαδήποτε παθολογικές ασθένειες στον ανθρώπινο οργανισμό [9].

Το πρώτο σύστημα ακτινοχειρουργικής είναι το CyberKnife το οποίο χρησιμοποιεί μια σύγχρονη τεχνολογία με στόχο την αντιμετώπιση παθολογικών ασθενειών και όγκων τα οποία μπορεί να εμφανίζουν είτε καλοήθεια είτε κακοήθεια με εξαιρετικά μεγάλη ακρίβεια.

Το CyberKnife αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά μέρη:

- Έναν γραμμικό επιταχυντή 6MV ο οποίος έχει μικρές διαστάσεις και ο ρυθμός δόσης του είναι 600MU/min.

- Ένα ρομποτικό βραχίονα με έξι βαθμούς ελευθερίας ο οποίος κατευθύνεται και ελέγχεται από έναν υπολογιστή με μέγιστο σφάλμα απόκλισης 0.2 χιλ.
- Ένα σύστημα ψηφιακής ακτινογραφίας για την καθοδήγηση του ρομπότ.
- Ειδικά σχεδιασμένο τραπέζι θεραπείας.
- Ένα σύστημα για σχεδιασμό της θεραπείας το οποίο αποτελείται από σύγχρονους υπολογιστές και από ένα λογισμικό σύγχρονης τεχνολογίας.

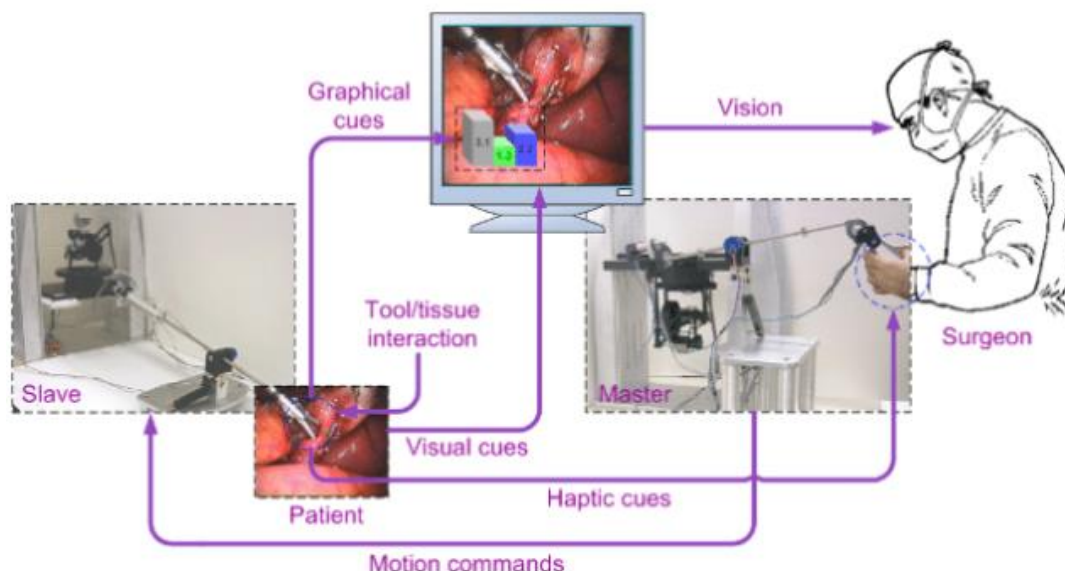
Κατά την έναρξη της λειτουργία του συστήματος τοποθετείται ο ασθενής σε θέση θεραπείας και σε γωνία 90° λαμβάνονται δυο ψηφιακές ακτινογραφίες με σκοπό την εύρεση της στερεοτακτικής θέσης του όγκου-στόχου. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται έλεγχος της θέσης αυτής από τον θεράποντα ιατρό και ταυτόχρονα αρχίζει να κινείται ο ρομποτικό βραχίονας μαζί με τον γραμμικό επιταχυντή και λαμβάνουν θέση ακτινοβολήσης. Πριν ξεκινήσει η ακτινοβολήση, λαμβάνεται μια επιπλέον λήψη ώστε να επιβεβαιωθεί ο ιατρός ότι δεν υπήρξε καμία μετακίνηση του στόχου. Αμέσως μετά ξεκινάει η πρώτη ακτινοβολήση και επακολουθούν και οι υπόλοιπες σε διάφορες γωνίες. Ένα πολύ σημαντικό σημείο της θεραπείας είναι ότι πριν από κάθε ακτινοβολήση γίνεται ένας επιβεβαιωμένος έλεγχος από το σύστημα για τη σωστή θέση του ασθενούς και του στόχου. Αν υπάρξει κάποια μετακίνηση του ασθενούς κατά τη διάρκεια της θεραπείας το σύστημα την αναγνωρίζει και αυτόματα προβαίνει σε διορθώσεις ελέγχοντας ξανά την θέση του ασθενούς και του στόχου. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζετε η μέγιστη ακρίβεια στην χορηγούμενη ακτινοθεραπεία. [7]



Εικ 1.14 Κίνηση του συστήματος CyberKnife κατά την διάρκεια λειτουργίας ([Πηγή](#))

1.7.4 Ρομποτικά Συστήματα τύπου Master-Slave

Η ονομασία master προήλθε από τον χειρουργό ο οποίος είναι ο χειριστής μιας κονσόλας κατά την διάρκεια μιας επέμβασης. Οι ρομποτικοί βραχίονες του συστήματος έχουν τον όρο slave αφού ο σκοπός τους είναι η εξερεύνηση των οργάνων του ασθενούς με την βοήθεια τοποθετημένης ενδοσκοπικής κάμερας και των χειρουργικών εργαλείων. Κατά την διάρκεια μια επέμβασης ο χειρουργός δίνει εντολές μέσω εξειδικευμένων μοχλών οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω σε μια κονσόλα, ταυτόχρονα όμως για την σωστή καθοδήγηση του χειρουργού υπάρχει μια τρισδιάστατη οθόνη η οποία απεικονίζει την δραστηριότητα εκτέλεσης της επέμβασης μέσω μιας λαπαροσκοπικής κάμερας (βλέπε εικόνα 1.15). Για να επιτευχθεί η σωστή εστίαση της λαπαροσκοπικής κάμερας και η κατάλληλη τοποθέτηση των ρομποτικών βραχιόνων γίνεται μέσω κάποιων ειδικών μοχλών χειρός και κάποιων ποδοδιακόπτων. Τα χαρακτηριστικά των ρομποτικών συστημάτων τύπου master-slave είναι η άριστη σταθερότητα και η ακρίβεια κινήσεων. Μέσω αυτών των χαρακτηριστικών τους έχουν την δυνατότητα στο να επιδιορθώνουν σφάλματα που προκύπτουν από τον χειριστή-χειρουργό λόγω αστάθειας χεριού, αποκλίσεων κ.α. Τα δυο πιο σημαντικά χειρουργικά συστήματα που ανήκουν στην κατηγορία ρομποτικών συστημάτων τύπου master-slave είναι το Zeus και το DaVinci. [11,13,14]



Εικ 1.15 Τυπική μορφή χειρουργικής ρομποτικής επέμβασης (Πηγή)

Το χειρουργικό ρομποτικό σύστημα Zeus, (βλ. εικόνα 1.16) έκανε την εμφάνιση του το 2001 και προοριζόταν για υποβοήθηση των χειρουργών στον έλεγχο των λαβίδων,

νυστεριών και άλλων εργαλείων κατά τη διάρκεια λαπαροσκοπικών επεμβάσεων. Αποτελείται από την εργονομικά σχεδιασμένη κονσόλα ελέγχου του χειρουργού, τρεις ρομποτικούς βραχίονες προσαρμοσμένους πάνω στο χειρουργικό τραπέζι και έναν υπολογιστή ή ελεγκτή. Ο κεντρικός βραχίονας καθοδηγεί την ενδοσκοπική κάμερα μέσα στο σώμα του ασθενούς με τη βοήθεια φωνητικών εντολών, παρέχοντας στον χειρουργό τη δυνατότητα να έχει δισδιάστατη ή τρισδιάστατη, σταθερή και μεγεθυσμένη εικόνα του χειρουργικού πεδίου. Ο έλεγχος των δύο άλλων ρομποτικών βραχιόνων γίνεται από τον χειρουργό με τη χρήση ειδικών μοχλών στην κεντρική κονσόλα, οι κινήσεις των οποίων μετατρέπονται σε κινήσεις των χειρουργικών εργαλείων. Παράλληλα ένα σημαντικό πλεονέκτημα του συστήματος Zeus είναι η ενσωμάτωση της τεχνολογίας MicroWrist με την οποία το ρομποτικό σύστημα έχει έξι βαθμούς ελευθερίας και άρα μεγαλύτερο εύρος χειρουργικών κινήσεων. Επιπλέον η τεχνολογία αυτή παρέχει στο Zeus ένα μεγάλο σύνολο χειρουργικών εργαλείων με διάμετρο 3.5 - 5 mm, καθώς και οργάνων τα οποία χρησιμοποιούνται για ενδοσκοπική χειρουργική. [8,9,11]



Εικ 1.16 Στην εικόνα παρουσιάζεται ολοκληρωμένα το ρομποτικό σύστημα Zeus. Στα αριστερά είναι οι βραχίονες του ρομποτικού συστήματος (slave) και στα δεξιά η χειρουργική κονσόλα (master) ([Πηγή](#))

Το χειρουργικό ρομποτικό σύστημα daVinci είναι το πρώτο σύστημα ρομποτικής χειρουργικής που εγκρίθηκε το 1997 από τον Αμερικανικό Οργανισμό Φαρμάκων και Υλικών (FDA) για την πραγματοποίηση επεμβάσεων. Πραγματοποιεί εγχειρήσεις με την ελάχιστη δυνατή επέμβαση στον οργανισμό του ασθενούς μέσω χειρουργικών εργαλείων τα οποία χειρίζεται από απόσταση ο ιατρός. Το ρομποτικό σύστημα αποτελείται από την εργονομικά σχεδιασμένη κονσόλα του χειρουργού, τον χειρουργικό πύργο (ενδοσκοπικό πύργο ή τραχήλατο), την ολοκληρωμένη σειρά πρωτοποριακών, αποσπώμενων χειρουργικών εργαλείων EndoWrist και το σύστημα υψηλών προδιαγραφών όρασης. [11,14]

Η λειτουργία του ρομποτικού συστήματος είναι σχετικά απλή. Αρχικά, ο ιατρός είναι καθισμένος μπροστά από την κονσόλα χειρισμού και ελέγχει τις κινήσεις μέσω εξειδικευμένων μοχλών οι οποίοι είναι μέρος της κονσόλας. Οι διαδικαστικές κινήσεις πραγματοποιούνται από τον ιατρό μέσω εξειδικευμένων μοχλών οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε μια κονσόλα ελέγχου. Στο κάτω μέρος της κονσόλας υπάρχουν διακόπτες οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για το συντονισμό κινήσεων, για την ρύθμιση της διαθερμίας και για τις επιμέρους λειτουργίες της κάμερας (κίνηση, εστίαση κ.α). Επιπλέον, δίπλα από τον ασθενή τοποθετείται ο χειρουργικός πύργος (ή τραχήλατο) ο οποίος απαρτίζεται από 3 ή 4 ρομποτικούς βραχίονες. Ο κεντρικός βραχίονας είναι ενσωματωμένος με ενδοσκοπική κάμερα ενώ οι υπόλοιποι βραχίονες είναι ενσωματωμένοι με μικροχειρουργικά εργαλεία και κινούνται σύμφωνα με τις εντολές του χειριστή. Τα χειρουργικά ρομποτικά εργαλεία EndoWrist (ΕνδοΚαρπός) παίρνουν εντολές από τον χειριστή και κάθε εργαλείο έχει την δική του ξεχωριστή λειτουργία όπως είναι το ράψιμο, το κόψιμο και ο χειρισμός των ιστών. Έχουν 7 βαθμούς ελευθερίας και ονομάζονται έτσι λόγω μίμησης της ευκινησίας του ανθρώπινου χεριού και καρπού. Το σύστημα υψηλών προδιαγραφών όρασης είναι το InSite. Προσφέρει τρισδιάστατη ρεαλιστική απεικόνιση αφού διαθέτει τρισδιάστατο ενδοσκόπιο μεγάλης ευκρίνειας και τους πιο σύγχρονους επεξεργαστές εικόνας, εξασφαλίζοντας στον χειρουργό πραγματική αίσθηση αφής. [7,11,14]



Εικ 1.17 Χειρουργικό σύστημα daVinci ([Πηγή](#))

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

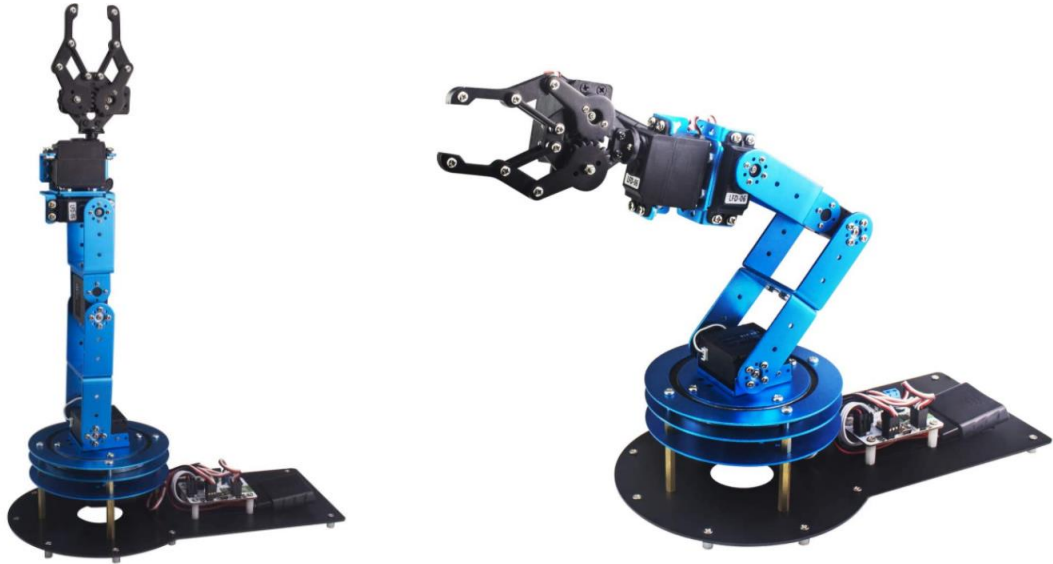
Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθώ στο υλικό (hardware) από το οποίο αποτελείται το σύστημα και την κατασκευή που υλοποιήθηκε. Για την υλοποίηση του συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν δύο ρομποτικοί βραχίονες με λαβή (δαγκάνα) μάρκας LewanSoul όπου έγινε η συναρμολόγηση τους και για το προγραμματιστικό μέρος τους χρησιμοποιήθηκαν δύο *Arduino* τύπου UNO και δύο breadboards. Για την σύνδεση χρησιμοποιήθηκαν καλώδια τύπου Jumper Wires Male to Male.

2.1 Ρομποτικός Βραχίονας Learn LewanSoul

Το Learn είναι ένας προγραμματισμένος ρομποτικός βραχίονας με πέντε βαθμούς ελευθερίας και η λειτουργία του στηρίζεται στον *Arduino*. Είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο έτσι ώστε να ενισχύει το σώμα του ρομπότ. Διαθέτει έξι ψηφιακούς σερβοκινητήρες μεγάλης ακρίβειας και αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, χρησιμοποιεί πλακέτα Bluetooth με έξι κανάλια για την κίνηση των σερβοκινητήρων και εκεί βρίσκεται όλο το προγραμματιστικό μέρος του συστήματος. Επιπλέον, το σύστημα περιέχει ασύρματη υποστήριξη μέσω εφαρμογής Android και IOS και ελεγκτή Wireless το οποίο συνδέεται ασύρματα με χειριστήριο PS2. Παρέχει λογισμικό γραφικών υπολογιστών το οποίο είναι μόνο για Window και για τον προγραμματιστικό κομμάτι του ρομπότ, παρέχει την δυνατότητα C language Programming η οποία είναι πολύ εύκολη σε χρήση.

Γενικά, το ρομπότ έχει ύψος 570mm, μήκος 300mm και πλάτος 570mm. Ζυγίζει περίπου 2.16 kg και μπορεί να σηκώσει αντικείμενα με βάρος περίπου 250 γραμμάρια. Ανάλογα με το σύστημα συντεταγμένων τα ρομπότ ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες όπως είναι τα καρτεσιανά, τα κυλινδρικά, τα σφαιρικά και τα ανθρωπομορφικά. Το ρομπότ Learn κατατάσσεται στην κατηγορία με τα ανθρωπομορφικά. Τα ρομπότ αυτά διαθέτουν μόνο περιστροφικές αρθρώσεις και οι κινήσεις που εκτελούν είναι όμοιες με τις κινήσεις ενός ανθρώπου, γι' αυτό και ονομάζονται και έτσι. Το Learn είναι από τα πιο συνηθής χρησιμοποιούμενα ρομπότ και κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές επειδή έχουν υψηλή ευελιξία.

Επίσης, επειδή είναι τόσο εύκολο σε χρήση, είναι κατάλληλο για παιδιά τα οποία κάνουν τα πρώτα τους βήματα στον τομέα της ρομποτικής και παράλληλα θέλουν να ασχοληθούν και στο μέλλον.



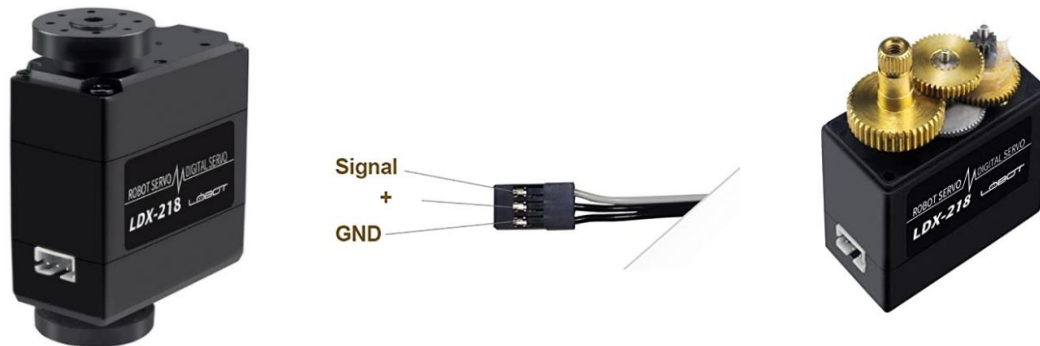
Εικ.2.1 Ρομποτικός Βραχίονας Learn (Πηγή)

Ο ρομποτικός βραχίονας Learn για την κίνηση του χρησιμοποιεί τρία διαφορετικά μοντέλα από ψηφιακούς σερβοκινητήρες τα οποία είναι [15]:

- **Σερβοκινητήρας LDX – 218**

Ο ψηφιακός σερβοκινητήρας LDX – 218 έχει διαστάσεις 40 * 20 * 40.5mm, ζυγίζει 60 γραμμάρια, έχει ταχύτητα 0.16 δευτερόλεπτα κάθε 60°, ροπή 17kg*cm και ακρίβεια 0.3°. Εσωτερικά έχει πλήρες μεταλλικό γρανάζι το οποίο βοηθάει στην ακρίβεια αλλά και στην μεγάλη διάρκεια ζωής του σερβοκινητήρα. Επίσης, περιέχει δύο ρουλεμάν από τα οποία το ένα είναι για την κίνηση (πρωτεύον) και το άλλο έχει το ρόλο υποστήριξης (βοηθητικό). Χρησιμοποιεί ποτενσιόμετρο μεγάλης ακρίβειας όπου με αυτό τον τρόπο το κάνει να έχει βελτιωμένη γραμμικότητα και ακρίβεια. Για την σύνδεση του χρησιμοποιείται βολικό καλώδιο plug-in πράγμα που το κάνει να έχει πολύ εύκολη καλωδίωση. Η κίνηση του κυμαίνεται από 0 έως 180 μοίρες και κατά την απενεργοποίηση του μπορεί να κινηθεί χειροκίνητα 360 μοίρες. Επιπλέον, η τάση λειτουργίας του κυμαίνεται από 6 - 7.4V, το ελάχιστο ρεύμα λειτουργίας του είναι 1A και το ρεύμα χωρίς φορτίο (κενό ρεύμα

φόρτωσης) είναι 100mA. Στο συγκεκριμένο σύστημα βρίσκεται στην 5^η θέση και 4^η θέση με σκοπό τις κινήσεις των κάτω αρθρώσεων[15,16].



Εικ.2.2 Στα δεξιά και αριστερά ο σερβοκινητήρας LDX – 218 και στην μέση το καλώδιο plug-in της σύνδεσης του (Πηγή)

- **Σερβοκινητήρας LD – 1501MG**

Ο σερβοκινητήρας είναι και αυτός μεταλλικός όπως και οι προηγούμενοι, έχει διαστάσεις 40 * 20 * 40.5mm, ζυγίζει 60 γραμμάρια, έχει ταχύτητα 0.16 δευτερόλεπτα κάθε 60°, ροπή 17kg*cm και ακρίβεια 0.3°. Ο σερβοκινητήρας 1501MG λειτουργεί με τυπικούς servo παλμούς RC, παρέχοντας γωνία λειτουργίας περίπου 165° σε εύρος servo pulse από 800 μs έως 2200 μs. Επιπλέον, έχει τάση λειτουργίας 6 - 7.4V και κενό ρεύμα φόρτωσης 100mA. Γενικά, έχει ίδια χαρακτηριστικά τροφοδοσίας και λειτουργίας όπως ο LDX – 218 (γρανάζια και ρουλεμάν) και οι μόνες διαφορές τους είναι πως έχει πιο σταθερή ροπή κατά τη διάρκεια κίνησης του και αυξημένη ισχύς συγκράτησης όταν βρίσκεται σε αδράνεια. Ο συγκεκριμένος σερβοκινητήρας βρίσκεται στην βάση του ρομποτικού βραχίονα, στην 6^η θέση δηλαδή και έχει ως λειτουργία την κατεύθυνση του συστήματος. [15,16]



Εικ.2.3 Σερβοκινητήρας LD – 1501MG (Πηγή)

- **Σερβοκινητήρας LFD – 06**

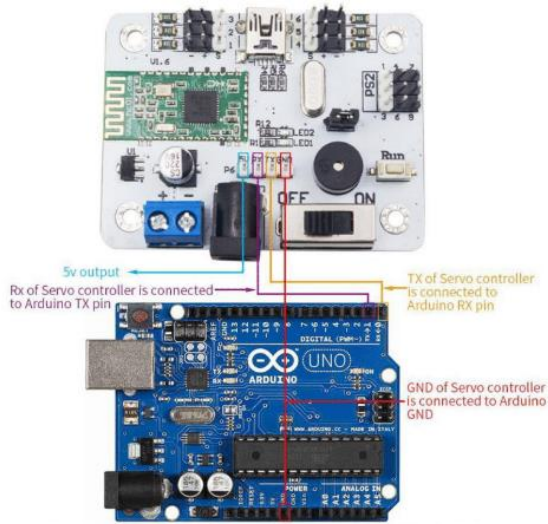
Ο ψηφιακός σερβοκινητήρας LFD – 06 είναι και αυτός μεταλλικός και έχει διαστάσεις 40 * 20 * 40.5mm, ζυγίζει 60 γραμμάρια, έχει ταχύτητα 0.16 δευτερόλεπτα κάθε 60°, ροπή 17kg*cm και ακρίβεια 0.3°. Η λειτουργία του είναι ίδια με τους προαναφερόμενους σερβοκινητήρες όπως και η τροφοδοσία του. Επίσης, έχει τάση λειτουργίας 6 - 7.4V και το βασικό του πλεονέκτημα σε σχέση με τους άλλους σερβοκινητήρες είναι ότι αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες. Η διαφοροποίηση του από τους άλλους σερβοκινητήρες είναι ότι η γωνία λειτουργίας του είναι από 80° έως 175°. Επιπλέον, ο συγκεκριμένος σερβοκινητήρας βρίσκεται στην 2^η θέση όπου περιστρέφει την δαγκάνα του ρομπότ και στην 1^η θέση όπου την ανοιγοκλείνει την δαγκάνα. [15,16]



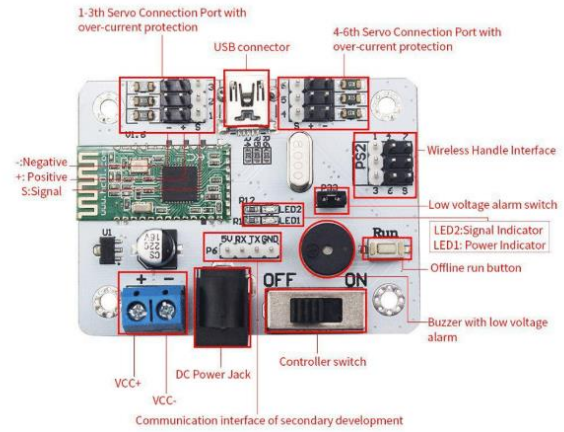
Εικ.2.4 Σερβοκινητήρας LFD – 06 (Πηγή)

2.1.1 Ελεγκτής Bluetooth

Ο ελεγκτής - πλακέτα Bluetooth απαρτίζεται από ένα χειριστήριο ON/OFF, μία θύρα USB με την οποία συνδέει την πλακέτα με τον υπολογιστή (PC software), ένα βύσμα τροφοδοσίας DC για σύνδεση του τροφοδοτικού, δυο μικρά LED όπου το LED1 μας δείχνει ότι το σύστημα βρίσκεται σε λειτουργία και το LED2 μας δείχνει το σήμα. Περιλαμβάνει επίσης μια θύρα VCC+ και μια VCC-, τρεις θύρες (PS2) που εκεί γίνεται η σύνδεση του ελεγκτή Wireless και ακόμα έξι θύρες (τρεις πάνω δεξιά και τρεις πάνω αριστερά) όπου εκεί γίνεται η σύνδεση των έξι σερβοκινητήρων. Έχει ακόμα και ένα buzzer χαμηλής τάσης άμεσης λειτουργίας το οποίο εάν το τροφοδοτικό είναι κάτω από 5V, ο σέρβοελεγκτής θα κάνει ένα χαρακτηριστικό ήχο “μπιπ” έτσι ώστε να προειδοποιήσει στο να γίνει άμεσα αντικατάσταση ή φόρτιση της μπαταρίας. Παρ’ όλα αυτά ο ελεγκτής Bluetooth λειτουργεί και χωρίς την σύνδεση με τον υπολογιστή πατώντας το κουμπί Run και συνδέοντας μόνο το τροφοδοτικό. Επίσης ο συγκεκριμένος ελεγκτής είναι συμβατός με τον *Arduino* και μπορεί να συνδεθεί πολύ εύκολα όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. [15]



Εικ.2.5 Σύνδεση της πλακέτας Bluetooth με τον Arduino (Πηγή)



Εικ.2.6 Πλακέτα Bluetooth (Πηγή)

2.1.2 Σχεδιασμός και κατασκευή του ρομπότ

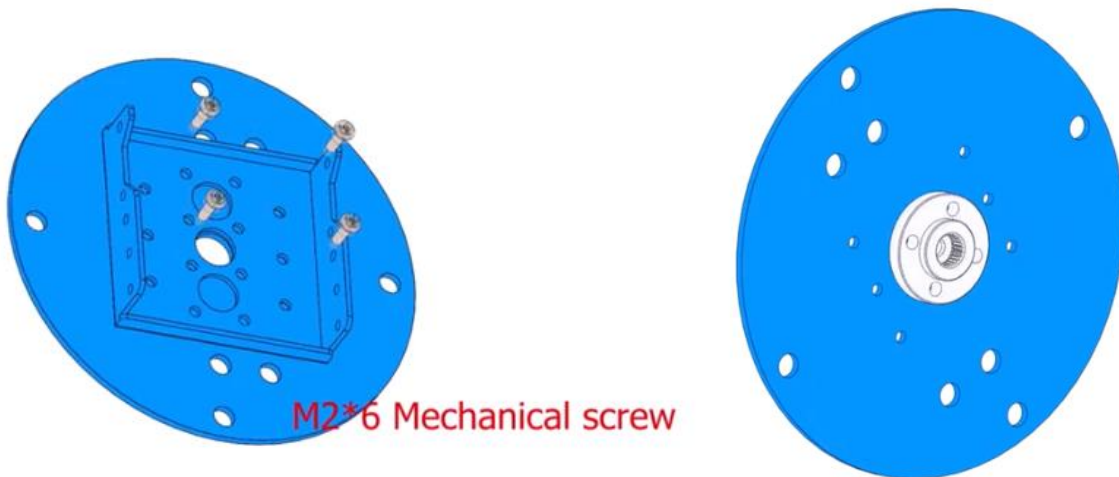
Αρχικά, η κατασκευή του ρομπότ είναι πάρα πολύ εύκολη ακόμα και για κάποιον που δεν έχει ασχοληθεί ξανά με τέτοιου είδους ρομποτικές κατασκευές. Επίσης, υπάρχει και βοηθητικό βίντεο tutorial στο οποίο παρουσιάζεται βήμα προς βήμα η κατασκευή του ρομπότ. Για την υλοποίηση του ρομποτικού βραχίονα θα πρέπει να υπάρχουν τα παρακάτω εξαρτήματα και ο χρήστης να ακολουθήσει τα βήματα που παρουσιάζονται παρακάτω με την σωστή σειρά.

	3pcs		1pcs		1pcs		2pcs
Long U-shaped bracket		Side cover bracket		Small U-shaped bracket		Multifunctional Bracket	
	A Set		1pcs		1pcs		1pcs
Rotational station		Bearing		Power Adapter		Large bottom plate	
	1pcs		2pcs		2pcs		1pcs
Clamper		LDX-218 digital servo		LFD-06 digital servo		LD-1501 MG digital servo	
	A Set		1pcs		Several		1pcs
Wireless handle and handle receiver		Controller		Winding tube		Screwdriver	
	4pcs		4pcs		10pcs		5pcs
M4*40 Copper Column		M4*8 Copper Column		M3*15 Nylon Column		M4*35 Screw	
	4pcs		4pcs		1pcs		5pcs
M4*15 Copper Column		M3*15 Nylon Column		Small Bearing		M4*20 Screw	
	4pcs		5pcs		20pcs		1pcs
M4*8 Copper Column		M4*35 Screw		M4 Screw Nut		M3*10 Screw	
	10pcs		5pcs		10pcs		10pcs
M3*15 Nylon Column		M4*20 Screw		M3 Screw Nut		M3*8 Screw	
	5pcs		5pcs		12pcs		20pcs
M4*35 Screw		M4*20 Screw		M4*8 Screw		M3*6 Screw	
	1pcs		5pcs		20pcs		10pcs
Small Bearing		M4*20 Screw		M3*6 Screw		M2*6 Screw	
	20pcs		20pcs		10pcs		35pcs
M4 Screw Nut		M3*6 Screw		M2*6 Screw		M2*5 Screw	
	10pcs		10pcs		35pcs		
M3 Screw Nut		M2*6 Screw		M2*5 Screw			
	10pcs						
M2 Screw Nut							

Εικ.2.7 Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του ρομποτικού βραχίονα (Πηγή)

- **Πρώτο στάδιο**

Αρχικά, θα πρέπει να κατασκευαστεί το κάτω μέρος του βραχίονα για την τοποθέτηση πρώτα του σερβοκινητήρα 1 και στην συνέχεια του σερβοκινητήρα δύο. Η κατασκευή απαρτίζεται από δύο Rotational station, ένα Side cover bracket και ένα μικρό μεταλλικό κύλινδρο που συνδέετε στον σερβοκινητήρα και είναι υπεύθυνο για την κατεύθυνση.



[\(Πηγή\)](#)

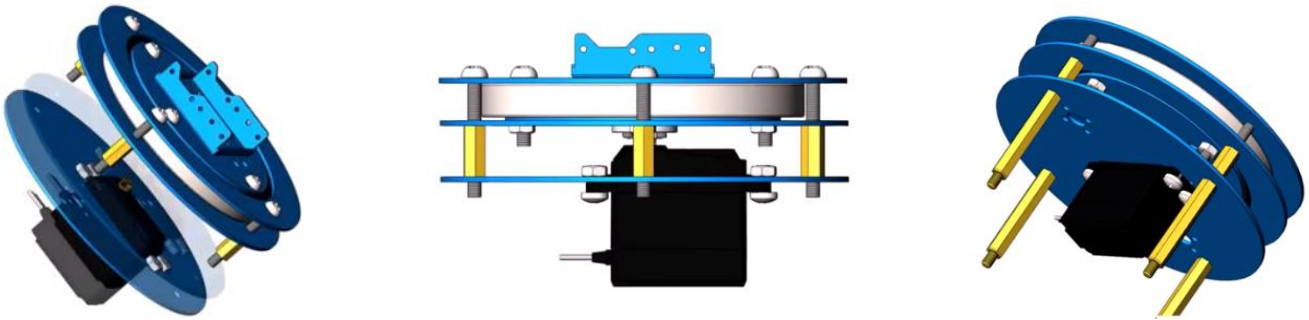
Ανάμεσα στους δυο σερβοκινητήρες θα πρέπει να τοποθετηθεί ένα ρουλεμάν (Bearing) το οποίο είναι απαραίτητο για την περιστροφική κίνηση του ρομπότ και του σερβοκινητήρα 1.



[\(Πηγή\)](#)

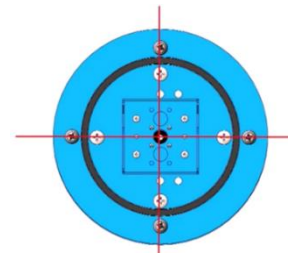
- **Δεύτερο στάδιο**

Στο στάδιο αυτό γίνεται η τοποθέτηση πρώτα του σερβοκινητήρα ένα που είναι υπεύθυνος για την περιστροφική κίνηση του ρομπότ σε διάφορα σημεία. Επίσης, θα πρέπει να γίνει η τοποθέτηση σε έναν ακόμα δακτύλιο (Rotational station) που θα κρατάει την απόσταση του σερβοκινητήρα ένα από την βάση του ρομπότ.



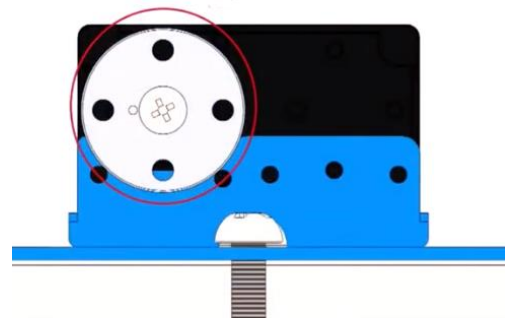
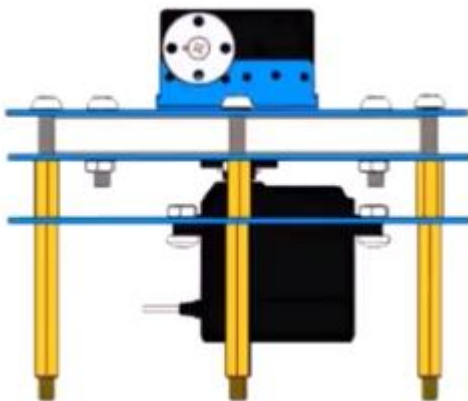
(Πηγή)

*****Προσοχή** πριν από την τοποθέτηση του σερβοκινητήρα θα πρέπει οι βίδες που τοποθετήθηκαν να είναι ευθυγραμμισμένες



- **Τρίτο στάδιο**

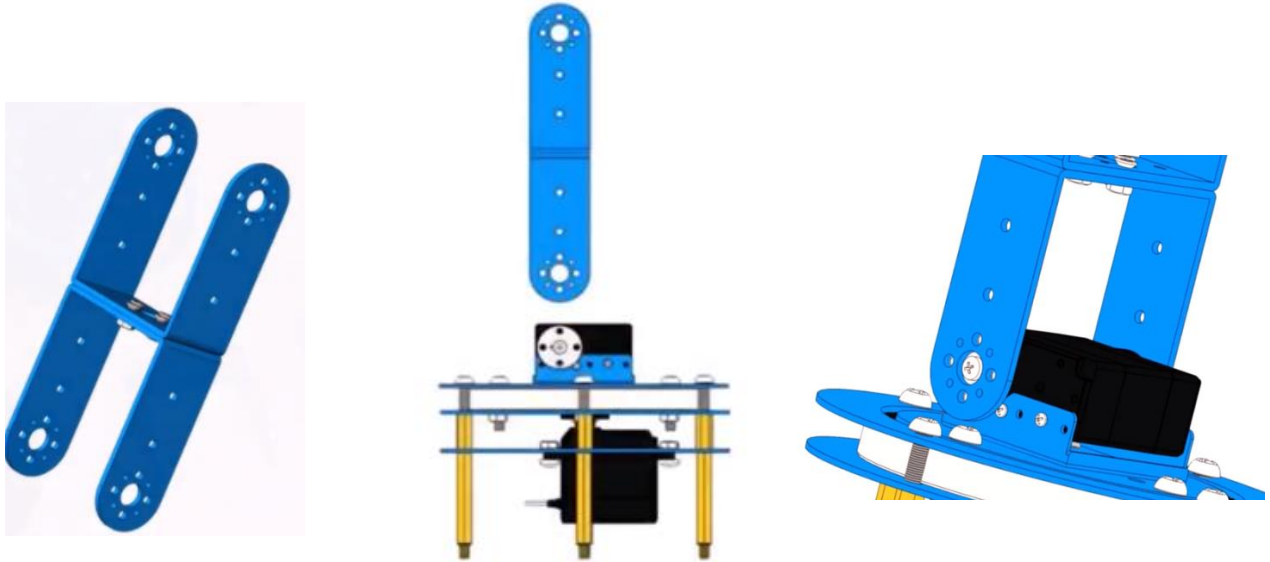
Στην συνέχεια θα πρέπει να τοποθετηθεί ο σερβοκινητήρας δύο που είναι υπεύθυνος για την κλίση που θα κάνει το ρομπότ. Πριν την τοποθέτηση ο χρήστης θα πρέπει να προσθέσει στον σερβοκινητήρα ένα μεταλλικό μικρό δακτύλιο με οπές το οποίο είναι υπεύθυνο για την κατεύθυνση του.



(Πηγή)

- **Τέταρτο στάδιο**

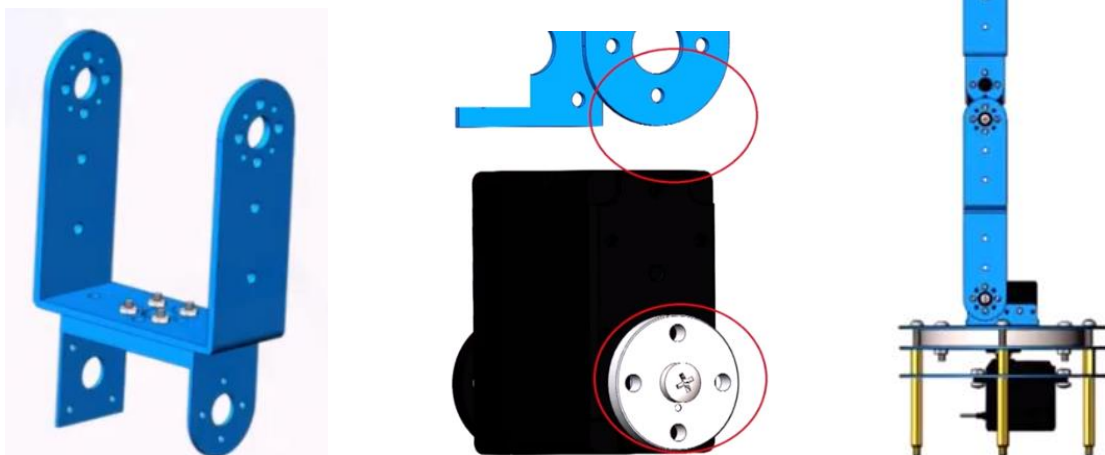
Στο στάδιο αυτό θα γίνει η σύνδεση ανάμεσα σε δυο Long U – shaped bracket και η σύνδεση τους στον σερβοκινητήρα δύο με της κατάλληλες βίδες. Προσοχή όμως στην τοποθέτηση του Long U – shaped bracket να είναι στις σωστές οπές.



(Πηγή)

- **Πέμπτο στάδιο**

Συνεχίζοντας, ο χρήστης θα πρέπει να ενώσει ένα Long U – shaped bracket με ένα Small U – shaped bracket το οποίο είναι η βάση του σερβοκινητήρα τρία. Τοποθετώντας στον σερβοκινητήρα τρία τον μεταλλικό μικρό δακτύλιο με οπές, στην συνέχεια θα τοποθετηθεί η ένωση που φτιάχτηκε. Στο τέλος του βήματος αυτού γίνεται η τοποθέτηση του σερβοκινητήρα τρία στο προηγούμενο στάδιο.



(Πηγή)

- **Έκτο στάδιο**

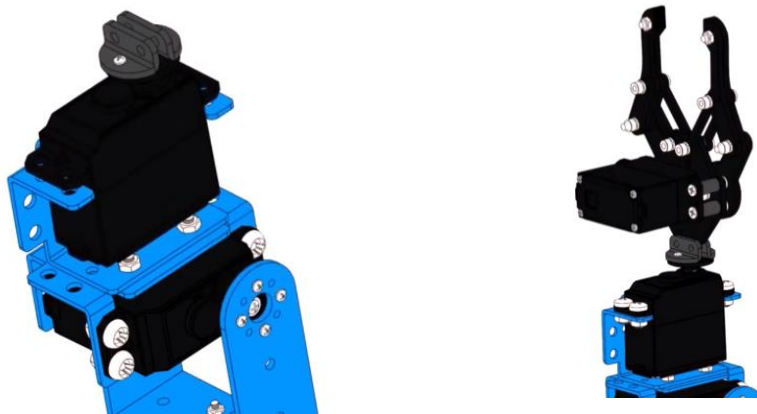
Στην συνέχεια, θα γίνει ένωση των δύο Multifunctional Bracket τα οποία είναι η βάση του σερβοκινητήρα τέσσερα και πέντε. Έπειτα, γίνεται η τοποθέτηση τους στο προηγούμενο στάδιο. Ο σερβοκινητήρας τέσσερα είναι υπεύθυνος για την κατεύθυνση της δαγκάνας.



[\(Πηγή\)](#)

- **Έβδομο στάδιο**

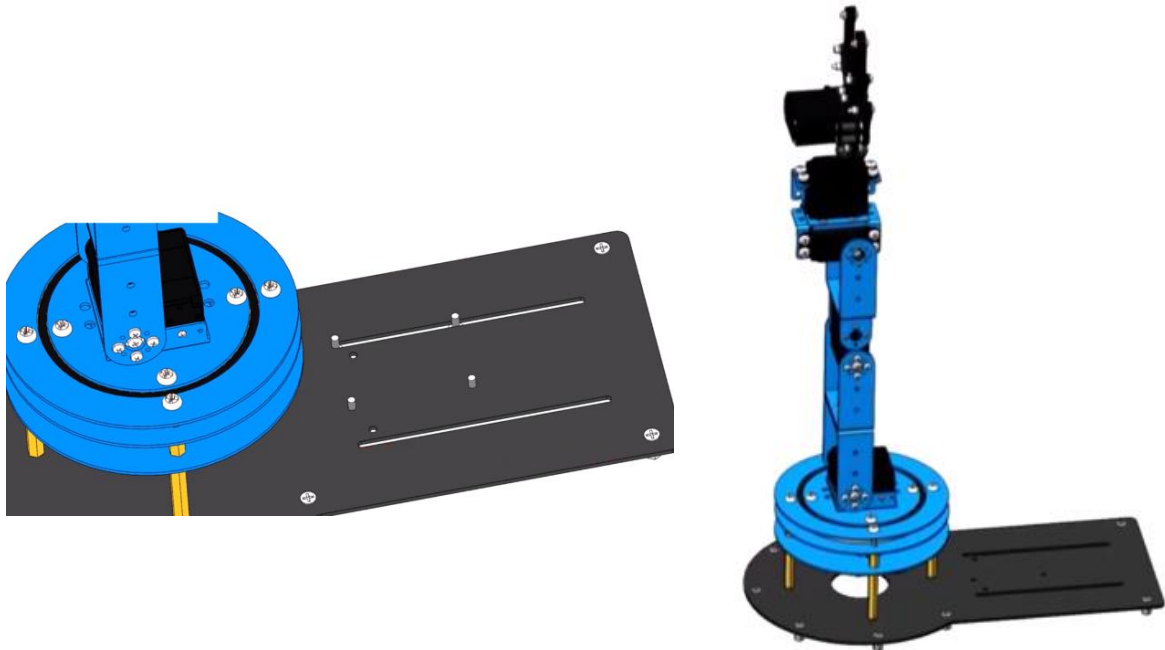
Συνεχίζοντας, γίνεται η τοποθέτηση του σερβοκινητήρα πέντε και της δαγκάνας.



[\(Πηγή\)](#)

- **Όγδοο Στάδιο**

Τέλος, για την σωστή σταθεροποίηση του ρομποτικού βραχίονα που δημιουργήθηκε θα πρέπει να τοποθετηθεί μια βάση (Large bottom plate). [15,17]



[\(Πηγή\)](#)

2.2 Μικροελεγκτής Arduino

Ο *Arduino* είναι μια υπολογιστική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα βασισμένη σε μια απλή μητρική πλακέτα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με πολύ εύκολο τρόπο όταν συνδεθεί σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Γενικά, ο *Arduino* μπορεί να "διαβάσει" το περιβάλλον λαμβάνοντας σήματα από διάφορους αισθητήρες και μπορεί να το επηρεάσει ελέγχοντας φώτα, κινητήρες, ηχεία, μονάδες GPS, κάμερες και άλλους πολλούς μηχανισμούς. Έχει πολύ εύκολη χρήση, είναι κατασκευασμένος από έναν bootloader, με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται ξεχωριστό κομμάτι υλικού (δηλαδή έναν προγραμματιστή) για να φορτώσει νέο κώδικα στην πλακέτα αφού αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την βοήθεια ενός καλωδίου USB. Επίσης, για τον προγραμματισμό της πλακέτας χρησιμοποιείται γλώσσα προγραμματισμού Wiring, η οποία είναι μια απλοποιημένη έκδοση της γλώσσας προγραμματισμού C++, συμπεριλαμβάνοντας και μια συστοιχία βιβλιοθηκών προκειμένου να απλοποιηθούν πολλές από τις λειτουργίες εισόδου/εξόδου του μικροελεγκτή. Διαθέτει τις απαραίτητες ικανότητες προκειμένου να

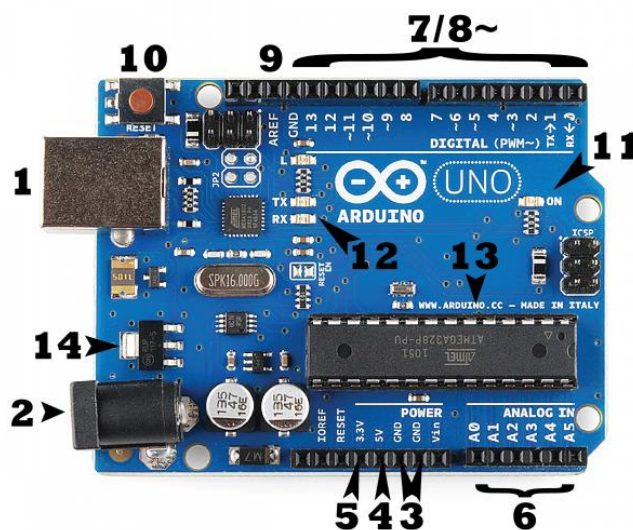
χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές ρομποτικής και συστήματα αυτοματισμού, καθοδηγώντας έτσι την κίνηση κινητήρων συνεχούς ρεύματος, σερβοκινητήρων και βηματικών κινητήρων, επιτυγχάνοντας τη λήψη δεδομένων από διάφορων ειδών αισθητήρες (πίεσης, θερμοκρασίας, υγρασίας, κίνησης).

2.2.1 Arduino UNO (R3)

Υπάρχουν διάφορα μοντέλα τύπου *Arduino* όπως είναι ο MEGA, ο LEONARDO, ο LILYPAD αλλά η πιο κοινή έκδοση είναι ο *Arduino UNO (R3)*. Η λέξη “Uno” σημαίνει “ένα” στα ιταλικά και κατονομάστηκε έτσι για να σηματοδοτήσει την επερχόμενη έκδοση του *Arduino 1.0*. Η έκδοση UNO και η έκδοση 1.0, αποτελούν τις εκδόσεις αναφοράς του *Arduino* οι οποίες εξελίσσονται. Το μοντέλο UNO είναι το τελευταίο της σειράς των USB πλακετών *Arduino*, καθώς και το μοντέλο αναφοράς για την πλατφόρμα αυτή. Περιλαμβάνει δεκατέσσερις ψηφιακούς ακροδέκτες εισόδου/εξόδου όπου οι έξι από αυτούς έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν και ως έξοδοι **PWM**, έξι αναλογικούς εξόδους, μια θύρα USB, μια υποδοχή τροφοδοσίας, ένα κουμπί επαναφοράς (reset), ένα μικροελεγκτή ATmega328. [17,18]

2.2.2 Χαρακτηριστικά Arduino UNO

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται με ενδεικτικούς αριθμούς τα χαρακτηριστικά του *Arduino* τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω.



Εικ.2.8 Τα χαρακτηριστικά του *Arduino* σε ενδείξεις από το 1 ως το 11 ([Πηγή](#))

2.2.2.1 Ισχύς

- **Τροφοδοσία - ένδειξη 1 και 2**

Η τροφοδοσία του Arduino UNO (R3) γίνεται μέσω ενός καλωδίου USB (ένδειξη 1) το οποίο συνδέεται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ή από ένα τροφοδοτικό με τάση από 7 μέχρι 12 Volt (ένδειξη 2). Τάσεις μεγαλύτερες από 7 - 12V μπορούν δημιουργήσουν υπερφόρτωση με αποτέλεσμα την καταστροφή της πλακέτας. Ακόμα μία πηγή εξωτερικής τροφοδοσίας είναι η ακίδα Vin που παρέχει τάση εισόδου 5V όταν συνδεθεί μέσω του καλωδίου USB, ή μέσω άλλης ρυθμιζόμενη πηγή ισχύος.

- **Καρφίτσες (GND, 5V, 3.3V) - ένδειξη από 3 μέχρι 5**

Οι καρφίτσες **GND** (ένδειξη 3) χρησιμοποιούνται για την γείωση του κυκλώματος. Τα 5V και 3.3V με τις ενδείξεις (4) και (5) αντίστοιχα μπορούν να τροφοδοτήσουν την ισχύ βολτ που αναγράφουν. Γενικά, δεν δημιουργείται κάποιο πρόβλημα αφού με τον *Arduino* συνήθως χρησιμοποιούνται απλά εξαρτήματα. [17,18]

2.2.2.2 Είσοδοι και Έξοδοι

- **Καρφίτσες (PWM, AREF) – ένδειξη από 6 μέχρι 9**

Το **PWM** (Pulse-Width Modulation ένδειξη 8) χρησιμοποιείται στους ακροδέκτες (3, 5, 6, 9, 10, 11) και εκτός από ψηφιακές εισοδοι/έξοδοι, μπορούν προσομοιώσουν την αναλογική έξοδο (π.χ ξεθώριασμα LED μέσα και έξω). Το **AREF** (ένδειξη 9) της παραπάνω εικόνας χρησιμοποιείται για τον ορισμό μιας εξωτερικής τάσης αναφοράς (μεταξύ 0 και 5V) ως το ανώτερο όριο των αναλογικών ακίδων εισόδου. Αν ο χρήστης προσθέσει περισσότερα από 5V υπάρχει μεγάλη πιθανότητα το κύκλωμα να καταστραφεί. Επίσης, τις περισσότερες φορές μπορεί να μην χρησιμοποιηθεί αυτό το pin.

- **Κουμπί επαναφοράς (reset) - ένδειξη 10**

Το κουμπί επαναφοράς (reset) το διαθέτουν πάρα πολλές σύγχρονες πλακέτες. Κατά την πίεση του κουμπιού γίνεται επανεκκίνηση του κώδικα που έχει φορτωθεί στον *Arduino*. Η λειτουργία του είναι πάρα πολύ χρήσιμη δίνοντας στον χρήστη την δυνατότητα να επαναλάβει τον κώδικα έτσι ώστε να μπορεί να τον δοκιμάσει πολλές

φορές. Επίσης, κατά την επανεκκίνηση δεν χάνονται τα δεδομένα ούτε ο κώδικας που είχε ήδη υποβληθεί στο σύστημα.

- **Λυχνία LED – ένδειξη 11**

Το LED αυτό βρίσκεται κάτω δεξιά στην πλακέτα και ανάβει όταν ο *Arduino* συνδέεται σε πηγή τροφοδοσίας. Επίσης, είναι μια ένδειξη, ώστε αν δεν ανάβει να γίνει ξανά έλεγχος του κυκλώματος.

- **Ένδειξη LED TX και RX – ένδειξη 12**

Χρησιμοποιούνται για σειριακή λειτουργία. Το TX χρησιμοποιείται για τη μετάδοση (εκπομπή) και το LED RX για την λήψη σειριακών δεδομένων. Τα LED αυτά ανάβουν κατά την διάρκεια μετάδοσης δεδομένων (π.χ μεταφόρτωση κώδικα). Το TX και το RX μπορούν να διακριθούν και δεύτερη φορά στα pin 0 (TX) και 1 (RX). Σε αυτή την περίπτωση και εφόσον είναι συνδεδεμένα, κατά την διαδικασία μεταφόρτωσης δεδομένων τα pin αυτά προωθούν τα δεδομένα μέσω του ελεγκτή Serial-Over-USB στην θύρα USB και συγκεκριμένα στο pin 0 έτσι ώστε να τα στείλει στο pin 1 του δεύτερου *Arduino*. Άρα, με αυτό τον τρόπο μπορεί να συνδεθεί ακόμη μια πλακέτα *Arduino* στο κύκλωμα, αλλά ενεργοποιώντας το σειριακό αυτό interface αυτόματα χάνονται 2 ψηφιακοί είσοδοι.

- **Ρυθμιστής τάσης – ένδειξη 14**

Βρίσκεται ακριβώς δίπλα από τη θύρα του τροφοδοτικού. Χρησιμοποιείται για να ελέγχει την τάση που στέλνεται στην πλακέτα του *Arduino*. Λειτουργεί επίσης και σαν φύλακας της πλακέτας και μπορεί να απομακρύνει την επιπλέον τάση που μπορεί να βλάψει το κύκλωμα έχοντας όμως και συγκεκριμένα όρια στα οποία μπορεί να χρησιμοποιήσει την ιδιότητα του αυτή. Γι' αυτό καλό θα ήταν να μην συνδέεται κάτι μεγαλύτερο από 20V γιατί θα καταστραφεί. [17,18]

2.2.2.3 Μικροελεγκτής ATmega

- **Ολοκληρωμένο κύκλωμα - ένδειξη 13**

Το ολοκληρωμένο αυτό ή αλλιώς το IC είναι κατασκευασμένο από την εταιρία ATMEL και έχει το όνομα ATmega (βλέπε εικόνα 2.9). Ο μικροελεγκτής αυτός υποστηρίζει

σειριακή επικοινωνία, την οποία το *Arduino* προωθεί μέσα από έναν ελεγκτή Serial-over-USB ώστε να συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω USB. Μέσω της σύνδεσης αυτής γίνεται μεταφορά των διάφορων προγραμμάτων που σχεδιάζονται από τον υπολογιστή στο *Arduino* και παράλληλα η άμεση επικοινωνία του *Arduino* με τον υπολογιστή μέσα από το πρόγραμμα κατά την διάρκεια της εκτέλεσης του.

Γενικά, ο *Arduino* βασίζεται στους μικροελεγκτές **ATMEGA328** και **ATMEGA168**. Στο **Arduino UNO** χρησιμοποιείται ο **ATMEGA328** όπου ενσωματώνει 14 ψηφιακούς ακροδέκτες εισόδου/εξόδου, εκ των οποίων οι 6 δύναται να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι παλμών (σημάτων) με διαμορφωμένο πλάτος (PWM signals). Ενσωματώνει επίσης και 6 ακροδέκτες, διακριτικής ικανότητας 10 bit, οι οποίοι χρησιμεύουν ως είσοδοι/έξοδοι αναλογικών σημάτων. Επίσης, διαθέτει ενσωματωμένη μνήμη τριών τύπων.

- Έχει **2Kb** μνήμη SRAM (Static Random Access Memory) που είναι η ωφέλιμη μνήμη. Την χρησιμοποιούν τα προγράμματά για να αποθηκεύουν συνήθως μεταβλητές, πίνακες κ.λπ. κατά το runtime. Η μνήμη χάνει τα δεδομένα της όταν σταματήσει η παροχή ρεύματος στο *Arduino* ή σε περίπτωση επανεκκίνηση (reset). Παρ' όλα αυτά, μπορεί να γράψει και να διαβάσει πολύ γρήγορα. Επίσης, είναι παρόμοια με την μνήμη RAM ενός υπολογιστή.
- Έχει **1Kb** μνήμη EEPROM, η οποία χρησιμοποιείται για εγγραφή και ανάγνωση δεδομένων (χωρίς datatype) ανά byte από τα προγράμματά κατά το runtime. Η διαφορά της SRAM με την EEPROM είναι πως τα δεδομένα της δεν μπορούν να χαθούν όταν υπάρχει απώλεια τροφοδοσίας ή επανεκκίνησης (reset).
- Έχει **32Kb** μνήμη Flash. Παρ' όλα αυτά τα 2Kb χρησιμοποιούνται από το firmware του *Arduino* που ο κατασκευαστής έχει ήδη εγκαταστήσει. Το firmware είναι το bootloader του *Arduino* και είναι απαραίτητο για την εγκατάσταση προγραμμάτων στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB, χωρίς δηλαδή να χρειάζεται εξωτερικός hardware programmer. Άρα μένουν 30Kb ελεύθερα από τη μνήμη Flash τα οποία χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των προγραμμάτων. Επίσης, όπως και η μνήμη EPROM έτσι και η μνήμη Flash δεν χάνει τα δεδομένα της με απώλεια τροφοδοσίας ή

επανεκκίνησης (reset). Χρησιμοποιεί την ίδια τεχνολογία που χρησιμοποιείται στους Thumb-Drivers και στις SD-Cards. [17,18]



Εικ.2.9 Μικροελεγκτής ATMEGA328 (Πηγή)

2.2.2.4 Ψηφιακοί και Αναλογικοί Ακροδέκτες

- **Ψηφιακοί Ακροδέκτες**

Η ένδειξη (7) της εικόνας είναι οι ψηφιακοί ακροδέκτες από 0 μέχρι 13. Χρησιμοποιούνται για ψηφιακούς εισόδους (π.χ πάτημα ενός κουμπιού) αλλά και για ψηφιακούς εξόδους (π.χ τροφοδοσία LED). Τα pin από 0 ως 7 είναι μόνο για είσοδο και τα pin από 8 ως 13 είναι για είσοδο αλλά και για έξοδο.

- **Αναλογικοί Ακροδέκτες**

Οι μικροελεγκτές ATmega τους οποίους ενσωματώνει το σύστημα του *Arduino*, διαθέτουν έναν ενσωματωμένο αναλογοψηφιακό μετατροπέα στην ηλεκτρονική πλακέτα με 6 υποδοχής καναλιών. Η ένδειξη (6) δηλαδή από A0 μέχρι A5 είναι οι αναλογικές ακίδες του Arduino UNO. Χρησιμοποιούνται για να διαβάζουν και να μετατρέψουν το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό έτσι ώστε να μπορεί να διαβαστεί με την βοήθεια του μετατροπέα αυτού. [18]

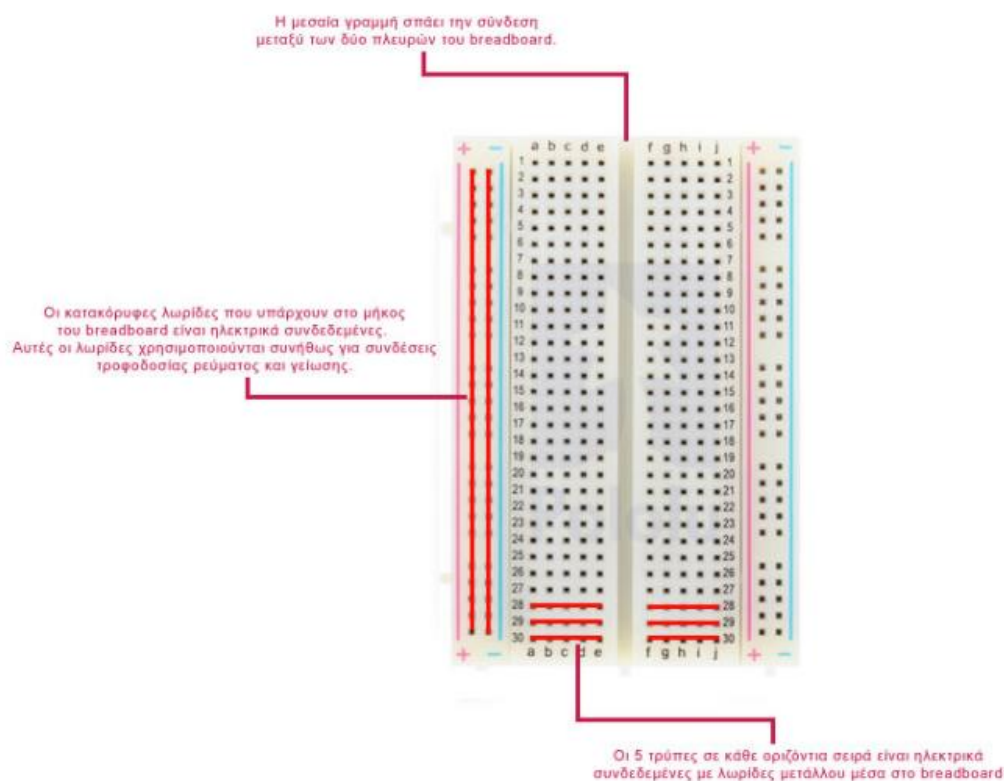
2.3 Breadboard

Το breadboard είναι μια πλαστική πλακέτα, απλά σχεδιασμένη με σκοπό να γίνονται υλοποιήσεις κυκλωμάτων χωρίς να απαιτείται κάποια συγκόλληση. Χρησιμοποιείται συνήθως για την κατασκευή προσωρινών κυκλωμάτων και προτείνεται για αρχάριους. Το breadboard μπορούν να υποστηρίξει τόσο απλά όσο και πιο πολύπλοκα κυκλώματα. Σε περίπτωση που το κύκλωμα είναι πολύ μεγάλο το breadboard έχει την δυνατότητα επέκτασης

συνδέοντας το κατάλληλα με άλλα breadboard. Γενικά, υπάρχουν διάφορα μεγέθη και είδη breadboards που σχεδιάστηκαν, έτσι ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν κυκλώματα διαφόρων μεγεθών. [19]

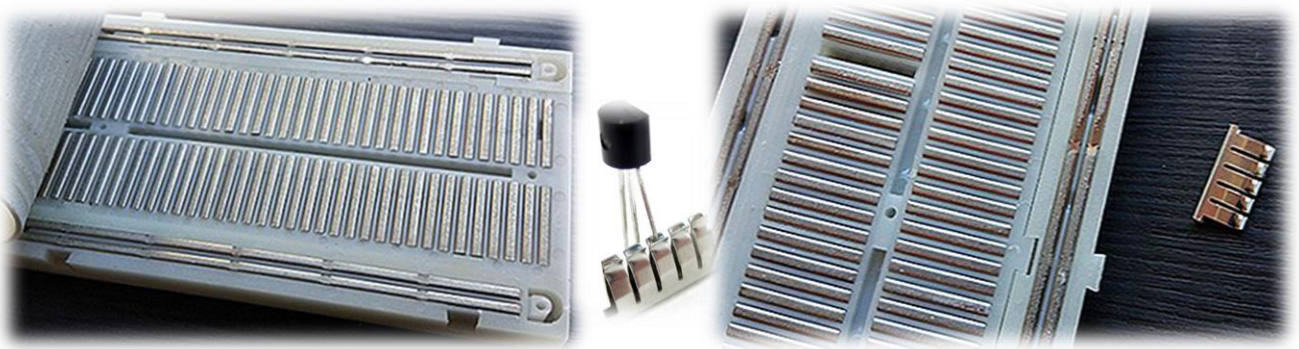
2.3.1 Το εσωτερικό και η συνδεσμολογία του Breadboard

Η επιφάνεια του breadboard διαθέτει μικρές οπές οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός λεπτού μετάλλου ανά πέντε και εκεί γίνεται η τοποθέτηση των εξαρτημάτων για την υλοποίηση του κυκλώματος. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζετε το πώς γίνεται η βραχυκύκλωση των οριζόντιων και κατακόρυφων οπών. Το αυλάκι (μεσαία γραμμή) διαχωρίζει την σύνδεση των δυο περιοχών έτσι ώστε να υπάρχουν περισσότερες επιλογές σύνδεσης. Επίσης ένας ακόμη λόγος ύπαρξής του είναι η σύνδεση των ολοκληρωμένων. [19,20]



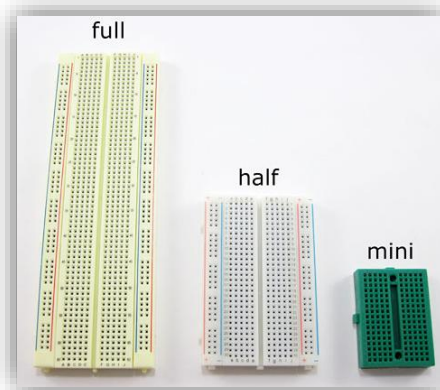
Εικ.2.10 Συνδεσμολογία breadboard (Πηγή)

Στο εσωτερικό του breadboard (βλέπε εικόνα 2.11), υπάρχουν τέσσερις μεγάλες μεταλλικές λωρίδες που χρησιμοποιούνται για συνδέσεις τροφοδοσίας και γείωσης οριζόντια. Ονομάζονται ράγες ισχύος και βρίσκονται στην πάνω και κάτω περιοχή του breadboard. Τα υπόλοιπα μικρά μεταλλικά κομμάτια που βρίσκονται ανάμεσα από τις μεγάλες λωρίδες συνδέονται κάθετα και έχουν μικρότερο μέγεθος. Εκεί συνδέονται τα διάφορα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα. Τα μικρά αυτά μεταλλικά κομμάτια είναι σχεδιασμένα στο να εγκλωβίζουν τα ποδαράκια των εξαρτημάτων (π.χ κάποιο ολοκληρωμένο). Αυτό εξασφαλίζει την καλή επαφή με το board χωρίς χρειάζεται να γίνει κάποια συγκόλληση.



Εικ.2.11 Το εσωτερικό του breadboard (Πηγή)

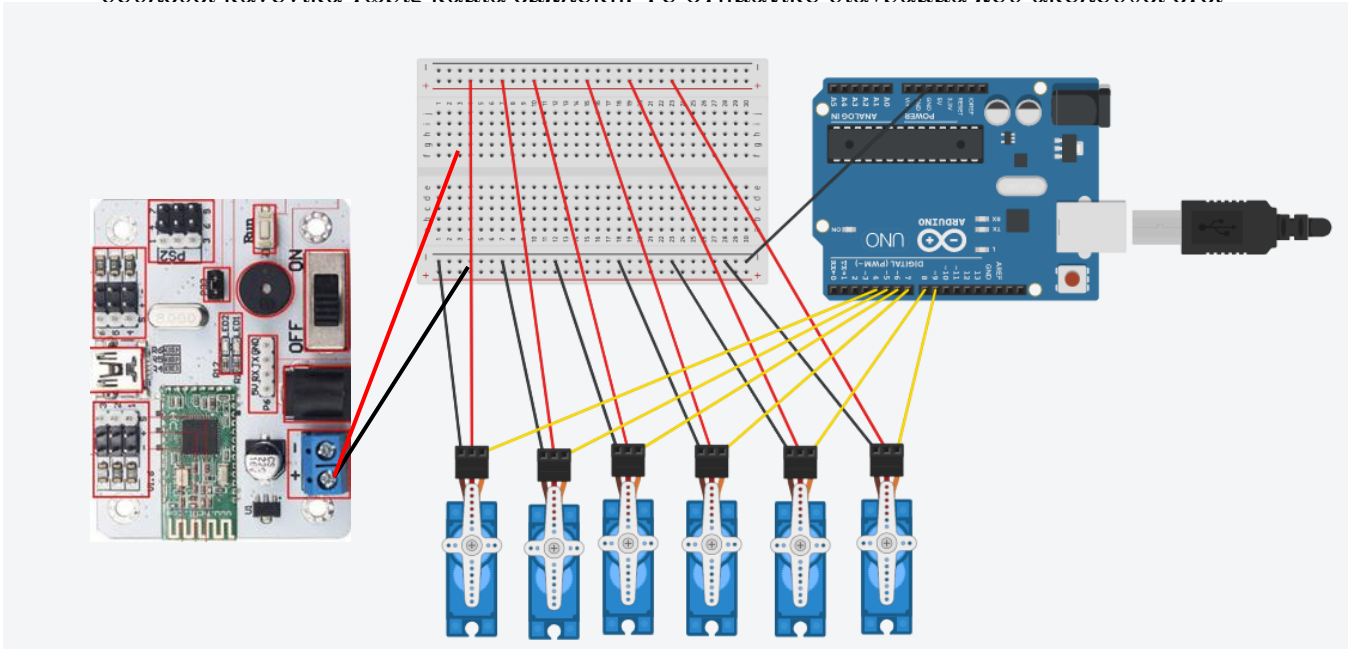
Τα breadboards είναι διαθέσιμα σε ποικίλα σχήματα, μεγέθη, ακόμη και διαφορετικά χρώματα. Παρά το γεγονός ότι διατίθενται σε μεγαλύτερα και σε μικρότερα μεγέθη, τα πιο συνηθισμένα μεγέθη είναι τα "full-size", "half-size" και "mini" breadboards. Τα περισσότερα breadboards είναι κατασκευασμένα επίσης με γλωττίδες και εγχοπές στις πλευρές τους, τα οποία επιτρέπουν την ευκολότερη σύνδεση μεταξύ πολλών πλακετών. Ωστόσο, ένα ενιαίο breadboard μεσαίου μεγέθους είναι αρκετό για την υλοποίηση πολύπλοκων κατασκευών [19,20].



Εικ.2.12 Διάφορα μεγέθη breadboards (Πηγή)

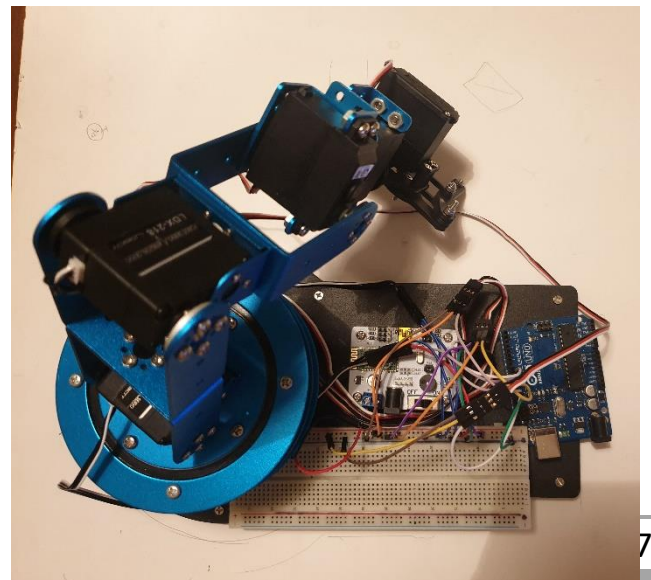
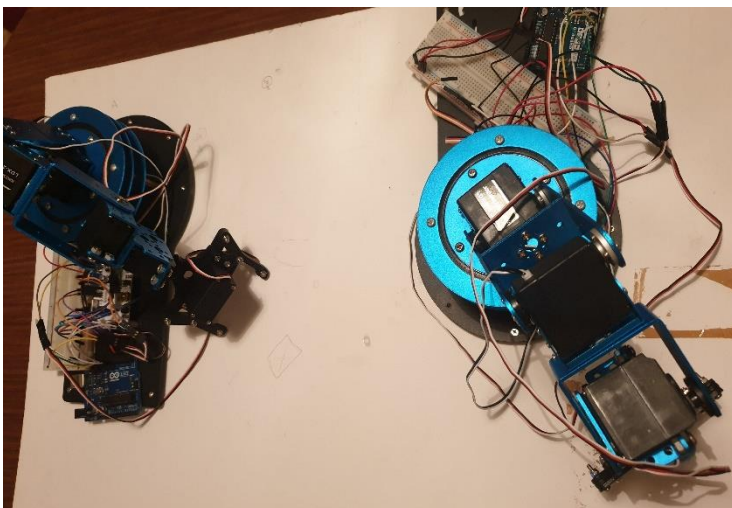
2.4 Σχηματικό Διάγραμμα

Πριν την σύνδεση του ρομποτικού βραχίονα με το breadboard και τον *Arduino* καλό θα ήταν να γίνει μια προσομοίωση της σύνδεσης έτσι ώστε να βεβαιωθούμε ότι το σύστημα μας δουλεύει κανονικά γωρίς καμία ευπλοκή. Το σχηματικό διάγραμμα που ακολουθεί έχει



2.5 Κατασκευή

Στις ακόλουθες εικόνες παρουσιάζεται η τελική υλοποίηση του κυκλώματος και της κατασκευής



Κεφάλαιο 3

Κινηματική

Με σκοπό την εγκυρότητα του πειραματικού μέρους είναι απαραίτητη η Κινηματική ανάλυση. Κινηματική ανάλυση ορίζεται ως η μελέτη της κίνησης θεωρώντας αμελητέα οποιαδήποτε δύναμη. Σκοπός της κινηματικής είναι να σχεδιαστούν οι κινήσεις των σωμάτων και μαθηματικά να υπολογιστούν οι θέσεις. Αρχικά, θα πρέπει να σχεδιαστεί το κινηματικό διάγραμμα του πειράματος με τις κατάλληλες αρθρώσεις. Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι ανθρωπομορφικό με πέντε βαθμούς ελευθερίας, δηλαδή πέντε κυλινδρικές αρθρώσεις. Στην συνέχεια θα τοποθετηθούν οι άξονες περιστροφής X , Y , Z των αρθρώσεων, οι γωνίες θ και τα μήκη L με σκοπό την εύρεση των μεταβλητών. Προσοχή όμως, θα πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω 4 κανόνες **Denavit-Hartenberg (D-H rules)** για την τοποθέτηση των αξόνων.

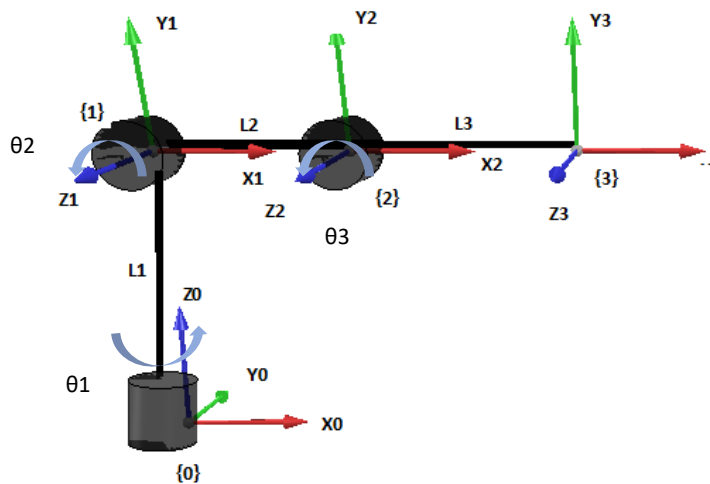
- Ο άξονας Z θα πρέπει να τοποθετείται σύμφωνα με τον άξονα κίνησης της άρθρωσης. Συνήθως ο άξονας Z του τελικού επενεργητή τοποθετείται παράλληλα του προηγούμενου άξονα Z του συστήματος συντεταγμένων.
- Ο άξονας X θα πρέπει να τοποθετείται κάθετα σε σχέση με τον άξονα Z της συγκεκριμένης άρθρωσης αλλά και της προηγούμενης του συστήματος συντεταγμένων. Η τοποθέτηση του πρώτου άξονα X , θα πρέπει απλά να τοποθετείται κάθετα σε σχέση με τον πρώτο άξονα Z .
- Η προέκταση του άξονα X θα πρέπει να τέμνει την προέκταση του άξονα Z του προηγούμενου συστήματος συντεταγμένων. Αυτός ο κανόνας δεν ισχύει στην τοποθέτηση συντεταγμένων της πρώτης άρθρωσης. Σε περίπτωση που δεν τέμνονται θα πρέπει να γίνει η κατάλληλη μετακίνηση στην αρχή των αξόνων της προηγούμενης άρθρωσης του συστήματος συντεταγμένων.
- Για την τοποθέτηση του άξονα Y χρησιμοποιούμε τον κανόνα του δεξιού χεριού, όπου ο αντίχειρας αντιπροσωπεύει τον άξονα Z , τα δάκτυλα τον άξονα X και η παλάμη τον άξονα Y . [22]

Στην συνέχεια, θα πρέπει να γίνει η κινηματική περιγραφή του συστήματος μας με την μέθοδο των Denavit & Hartenberg. Για την κινηματική περιγραφή του βραχίονα επιλέχθηκε

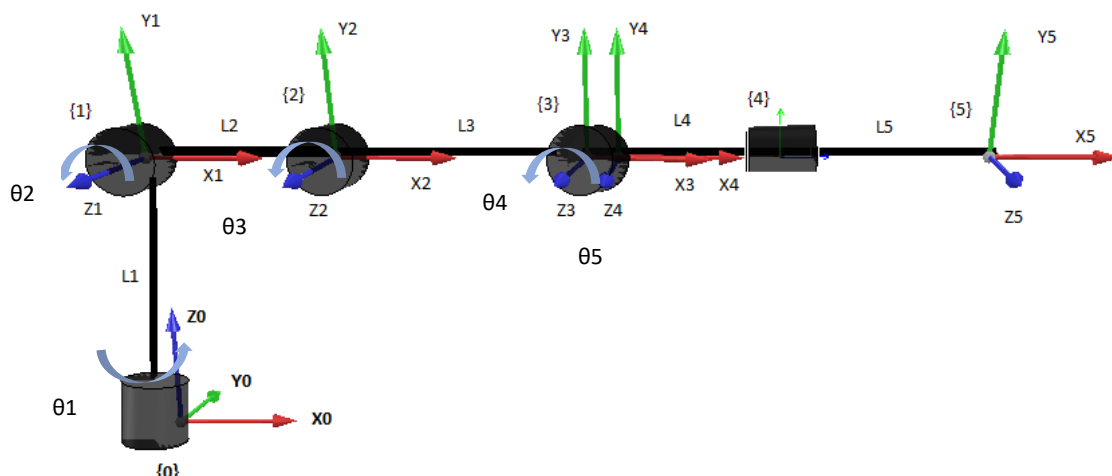
η συγκεκριμένη μέθοδος, διότι αποτελεί μια δόκιμη διαδικασία περιγραφής μια ανοιχτής κινηματικής αλυσίδας.

3.1 Κινηματικό Διάγραμμα

Σύμφωνα με τους κανόνες των αξόνων που προαναφέρθηκαν και λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ρομποτικός βραχίονας *learn soul* αποτελείται από πέντε περιστροφικές αρθρώσεις σχεδιάστηκε το πρώτο κινηματικό διάγραμμα. Αρχικά, επιλέχτηκαν οι τρεις πρώτες αρθρώσεις διότι προσδιορίζουν την θέση ενώ οι υπόλοιπες δυο τον προσανατολισμό (βλέπε εικόνα 3.1). Επιπλέον, η άρθρωση στη θέση τέσσερα του κινηματικού διαγράμματος δεν πληρεί του κανόνες D-H και έτσι χρειάστηκε να μετακινηθεί το σύστημα τέσσερα στο κέντρο του προηγούμενου συστήματος (βλέπε εικόνα 3.2). [22,23]



Εικ.3.1 Κινηματικό διάγραμμα τριών πρώτων αρθρώσεων



Εικ.3.2 Ολοκληρωμένο κινηματικό διάγραμμα

3.2 Παράμετροι Denavit-Hartenberg

Αφού γίνει η σχεδίαση του κινηματικού διαγράμματος, για την ανάλυση τους θα πρέπει να κατασκευαστούν οι πίνακες παραμέτρων Denavit-Hartenberg. Οι παράμετροι έχουν ως σκοπό την περιγραφή της μετατόπισης και της περιστροφής ανάμεσα σε δύο διαδοχικά συστήματα συντεταγμένων (στην συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχει μόνο περιστροφή) και στη συνέχεια την εξαγωγή των πινάκων ομογενούς μετασχηματισμού. Η δομή του πίνακα παραμέτρων είναι αρκετά απλή καθώς αποτελεί από $N-1$ γραμμές, όπου N είναι ο αριθμός των αρθρώσεων, και από 4 στήλες που αντιστοιχούν στις παραμέτρους θ , α , r , d . Οι παράμετροι θ και α περιγράφουν τις περιστροφές και οι παράμετροι r και d περιγράφουν τις μετατοπίσεις ανάμεσα στα συστήματα. Γενικά, η κάθε γραμμή του πίνακα αντιστοιχεί στην σχέση των συστημάτων συντεταγμένων π.χ ο αριθμός 1 είναι το σύστημα συντεταγμένων $\{0\}$ - $\{1\}$. [23]

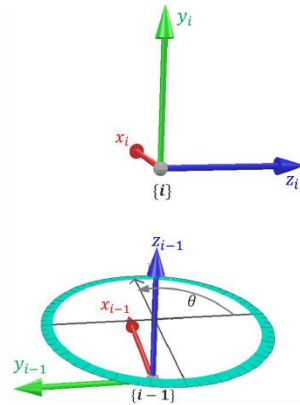
	θ	α	r	d
1				
2				
⋮				
N				

Εικ.3.3 Τυπική μορφή πίνακα παραμέτρων Denavit-Hartenberg

(Πηγή)

3.2.1 Παράμετρος θ_i

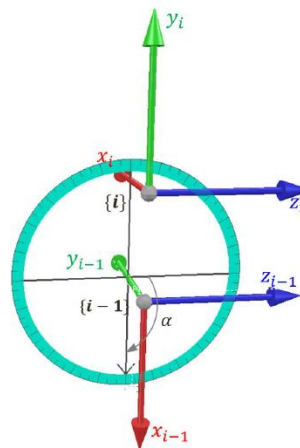
Λαμβάνοντας υπόψη δυο διαδοχικά συστήματα συντεταγμένων, η παράμετρος θ εκφράζει την γωνιά κατά την οποία θα πρέπει να περιστραφεί το σύστημα $\{i-1\}$ γύρω από τον άξονα Z_{i-1} , ώστε ο άξονας X_{i-1} και ο άξονας X_i του συστήματος I , να γίνουν παράλληλοι. Επιπλέον σε περίπτωση που η άρθρωση του συστήματος $\{i-1\}$ είναι περιστροφική, θα πρέπει να αθροιστεί με την προηγούμενη γωνιά. Χρησιμοποιώντας τον κανόνα του δεξιού χεριού γίνεται η εύρεση της θετικής φοράς περιστροφής. Ο δεξιός αντίχειρας δείχνει την κατεύθυνση που ακολουθεί το σύστημα και τα υπόλοιπα δάκτυλα "αγκαλιάζουν" το σύστημα, τα οποία μας δείχνουν και την θετική ή αρνητική φορά. [23]



Εικ.3.4 Ορισμός παραμέτρου θ (Πηγή)

3.2.2 Παράμετρος α

Λαμβάνοντας υπόψη δυο διαδοχικά συστήματα συντεταγμένων, η παράμετρος α εκφράζει την γωνιά κατά την οποία θα πρέπει να περιστραφεί το σύστημα $\{i-1\}$ γωνία από τον άξονα X_i ώστε οι άξονες Z_{i-1} και Z_i να είναι παράλληλοι. Ομοίως και στην περίπτωση αυτή, η θετική φορά περιστροφής μπορεί να βρεθεί με τον κανόνα του δεξιού χεριού. [23]



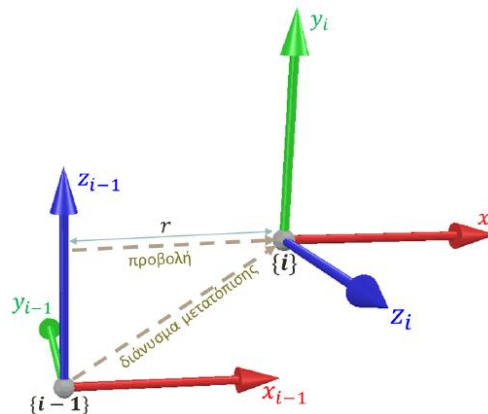
Εικ.3.5 Ορισμός παραμέτρου α
(Πηγή)

3.2.3 Παράμετρος r

Η διαδικασία για την εύρεση της παραμέτρου r είναι λίγο πιο πολύπλοκη από τις άλλες δυο παραμέτρους που αναφέρθηκαν. Αρχικά, σχεδιάζουμε το διάνυσμα το οποίο ενώνει τα κέντρα των δυο συστημάτων $\{i-1\}$ και $\{i\}$. Το διάνυσμα αυτό ορίζεται ως το διάνυσμα μετατόπισης μεταξύ των δυο συστημάτων. Στην συνέχεια, σχεδιάζουμε την προβολή του διανύσματος μετατόπισης στον άξονα X_i και υπολογίζουμε το μήκος της προβολής αυτής που συμβολίζει και την παράμετρο r . Στην περίπτωση της παραμέτρου r για

την εύρεση της θετικής φοράς δεν χρησιμοποιείται ο κανόνας του δεξιού χεριού αλλά ισχύουν τα παρακάτω:

- Όταν η προβολή του διανύσματος μετατόπισης είναι παράλληλη με τον άξονα X_i τότε το $r > 0$
- Όταν η προβολή του διανύσματος μετατόπισης είναι αντιπαράλληλη με τον άξονα X_i τότε το $r < 0$. [23]



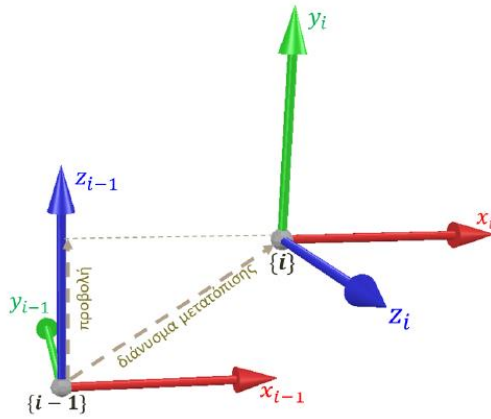
Εικ.3.6 Ορισμός παραμέτρου r

(Πηγή)

3.2.4 Παράμετρος d

Η διαδικασία εύρεση της παραμέτρου d είναι όμοια με αυτήν της παραμέτρου r . Αρχικά, σχεδιάζετε το διάνυσμα το οποίο ενώνει τα κέντρα των δυο συστημάτων $\{i-1\}$ και $\{i\}$. Το διάνυσμα αυτό ορίζεται ως το διάνυσμα μετατόπισης μεταξύ των δυο συστημάτων. Στην συνέχεια, σχεδιάζουμε την προβολή του διανύσματος μετατόπισης στον άξονα Z_{i-1} και υπολογίζουμε το μήκος της προβολής αυτής που συμβολίζει και την παράμετρο d . Στην περίπτωση της παραμέτρου d για την εύρεση της θετικής φοράς δεν χρησιμοποιείται ο κανόνας του δεξιού χεριού αλλά ισχύουν τα παρακάτω:

- Όταν η προβολή του διανύσματος μετατόπισης είναι παράλληλη με τον άξονα Z_{i-1} τότε το $d > 0$
- Όταν η προβολή του διανύσματος μετατόπισης είναι αντιπαράλληλη με τον άξονα Z_{i-1} τότε το $d < 0$. [23]



Εικ.3.7 Ορισμός παραμέτρου d

(Πηγή)

Με βάση το κινηματικό διάγραμμα θα προκύψει ο παρακάτω πίνακας παραμέτρων D-H.

i	θ	α	r	d
1	θ_1	$+90^\circ$	0	L_1
2	θ_2	0°	L_2	0
3	θ_3	0°	L_3	0
4	$+90^\circ + \theta_4$	$+90^\circ$	0	0
5	θ_5	0°	0	$L_4 + L_5$

3.3 Πίνακας Ομογενούς Μετασχηματισμού με χρήση των παραμέτρων D-H

Ο πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού \mathbf{H}_i^{i-1} ανάμεσα σε δυο διαδοχικά συστήματα συντεταγμένων, συμπληρώνετε σε συνδυασμό με τις παραμέτρους Denavit-Hartenberg του παραπάνω πίνακα. [22]

$$H_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta * \cos\alpha & \sin\theta * \sin\alpha & r * \cos\theta \\ \sin\theta & \cos\theta * \cos\alpha & -\cos\theta * \sin\alpha & r * \sin\theta \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Εικ.3.8 Τυπική μορφή ομογενούς πίνακα μετασχηματισμού

3.3.1 Επίλυση του συστήματος

Από τον παραπάνω πίνακα παραμέτρων D-H θα προκύψουν οι επιμέρους πίνακες \mathbf{H}_1^0 , \mathbf{H}_2^1 και \mathbf{H}_3^2 . Ο πίνακας \mathbf{H}_1^0 του συστήματος $\{0 - 1\}$ που προκύπτει από τον πίνακα D-H είναι:

$$H_1^0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ο πίνακας H_2^1 του συστήματος {1-2} που προκύπτει από τον πίνακα D-H είναι:

$$H_2^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & \sin\theta_2 & 0 & \cos\theta_2 * L_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & \sin\theta_2 * L_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ο πίνακας H_3^2 του συστήματος {2-3} που προκύπτει από τον πίνακα D-H είναι:

$$H_3^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & \sin\theta_3 & 0 & \cos\theta_3 * L_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & \sin\theta_3 * L_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Στη συνέχεια, για να βρεθεί ο τελικός πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού, δηλαδή ο πίνακας H_3^0 , θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν οι παραπάνω πίνακες ($H_1^0 * H_2^1 * H_3^2 = H_3^0$). Ο πολλαπλασιασμός έγινε μέσω του προγράμματος matlab και ο πίνακας που προκύπτει είναι:

$$H_3^0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 * \cos\theta_2 * \cos\theta_3 - \cos\theta_1 * \sin\theta_2 * \sin\theta_3 & -\cos\theta_1 * \cos\theta_2 * \sin\theta_3 - \cos\theta_1 * \cos\theta_3 * \sin\theta_2 & \sin\theta_1 & L_2 * \cos\theta_1 * \cos\theta_2 + L_3 * \cos\theta_1 * \cos\theta_2 * \cos\theta_3 - L_3 * \cos\theta_1 * \sin\theta_2 * \sin\theta_3 \\ \cos\theta_2 * \cos\theta_3 * \sin\theta_1 - \sin\theta_1 * \sin\theta_2 * \sin\theta_3 & -\cos\theta_2 * \sin\theta_1 * \sin\theta_3 - \cos\theta_3 * \sin\theta_1 * \sin\theta_2 & -\cos\theta_1 & L_2 * \cos\theta_2 * \sin\theta_1 - L_3 * \sin\theta_1 * \sin\theta_2 * \sin\theta_3 + L_3 * \cos\theta_2 * \cos\theta_3 * \sin\theta_1 \\ \cos\theta_2 * \sin\theta_3 + \cos\theta_3 * \sin\theta_2 & \cos\theta_2 * \cos\theta_3 - \sin\theta_2 * \sin\theta_3 & 0 & L_1 + L_2 * \sin\theta_2 + L_3 * \cos\theta_2 * \sin\theta_3 + L_3 * \cos\theta_3 * \sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Η εύρεση των συντεταγμένων (x, y, z) του τελικού επενεργητή γίνεται από τον πολλαπλασιασμό του τελικού πίνακα ομογενούς μετασχηματισμού (H_3^0) με τον πίνακα $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$. Από τον πολλαπλασιασμό αυτό προκύπτει η τελευταία στήλη του πίνακα H_3^0 όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = H_3^0 * \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Άρα οι συναρτήσεις που προκύπτουν είναι:

$$x = L_2 * \cos\theta_1 * \cos\theta_2 + L_3 * \cos\theta_1 * \cos\theta_2 * \cos\theta_3 - L_3 * \cos\theta_1 * \sin\theta_2 * \sin\theta_3$$

$$y = L_2 * \cos\theta_2 * \sin\theta_1 - L_3 * \sin\theta_1 * \sin\theta_2 * \sin\theta_3 + L_3 * \cos\theta_2 * \cos\theta_3 * \sin\theta_1$$

$$z = L_1 + L_2 * \sin\theta_2 + L_3 * \cos\theta_2 * \sin\theta_3 + L_3 * \cos\theta_3 * \sin\theta_2$$

Παρακάτω παρουσιάζονται οι απλοποιήσεις των συναρτήσεων

$$x = \cos\theta_1 * (L_2 * \cos\theta_2 + L_3 * \cos(\theta_2 + \theta_3)) \quad (1)$$

$$y = \sin\theta_1 * (L_2 * \cos\theta_2 + L_3 * \cos(\theta_2 + \theta_3)) \quad (2)$$

$$z = L_1 + L_2 * \sin\theta_2 + L_3 * \sin(\theta_2 + \theta_3) \quad (3)$$

Από τις σχέσεις (1, 2, 3) μπορούν να βρεθούν οι γωνίες θ_1 , θ_2 και θ_3 αφού τα σημεία x , y και z είναι γνωστά. Επειδή χρησιμοποιήθηκαν δυο όμοια ρομποτικά συστήματα για την μεταφορά ενός αντικειμένου, θα πρέπει να επιλεγθούν τέσσερα διαφορετικά σημεία (δυο για το πρώτο ρομπότ και δυο για το δεύτερο). Το σημείο όπου τοποθετεί το πρώτο ρομπότ το αντικείμενο είναι κοινό με το σημείο από όπου λαμβάνει το δεύτερο ρομπότ το συγκεκριμένο αντικείμενο, γι αυτό και κάποιος θα μπορούσε να ισχυριστεί ότι χρειάζονται τρία σημεία και όχι τέσσερα. Επειδή όμως τα ρομπότ έχουν διαφορετικά συστήματα αναφοράς, το σημείο θα έχει διαφορετικές συντεταγμένες και γι αυτό λόγο επιλέχθηκαν τέσσερα σημεία. Τα σημεία που επιλέχθηκαν για το πρώτο ρομπότ είναι (15.5, 7.5, 0), (-15, 9, 0) και για το δεύτερο ρομπότ είναι (-12, 4, 0), (2, 18, 0).

Αρχικά, θα διαιρούνται κατά μέλη οι δύο πρώτες συναρτήσεις.

$$\frac{y}{x} = \frac{\sin\theta_1}{\cos\theta_1} \rightarrow \frac{y}{x} = \tan\theta_1 \quad \boxed{\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)}$$

Στην συνέχεια αφού βρεθεί η γωνία θ_1 και αντίστοιχα το \cos και το \sin της γωνία αυτής, θα πρέπει να γίνει πολλαπλασιασμός και στα δυο μέρη της σχέση (1) με το $\cos\theta_1$ και της σχέσης (2) με το $\sin\theta_1$.

$$x * \cos\theta_1 = \cos^2\theta_1 * [L_3 * \cos(\theta_2 + \theta_3) + L_2 * \cos\theta_2] \quad (4)$$

$$y * \sin\theta_1 = \sin^2\theta_1 * [L_3 * \cos(\theta_2 + \theta_3) + L_2 * \cos\theta_2] \quad (5)$$

Λαμβάνοντας γνώση την ταυτότητα $[\cos^2 a + \sin^2 a = 1]$ και προσθέτοντας κατά μέρη τις δυο σχέσεις θα προκύψει:

$$x * \cos\theta_1 + y * \sin\theta_1 = L_3 * \cos(\theta_2 + \theta_3) + L_2 * \cos\theta_2]$$

Σύμφωνα με την σχέση (3) προκύπτει ότι:

$$z - L_1 = [L_3 * \sin(\theta_2 + \theta_3) + L_2 * \sin\theta_2] \quad (6)$$

Η εύρεση της εξίσωσης θ_3 προκύπτει υψώνοντας τις σχέσεις (4), (5) και (6) στο τετράγωνο και έτσι έχουμε:

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{(x * \cos\theta_1 + y * \sin\theta_1)^2 + (z - L_1)^2 - L_2^2 - L_3^2}{2 * L_2 * L_3} \right)$$

Απλοποιώντας την σχέση (6) προκύπτει:

$$z - L_1 = L_3 * \sin\theta_3 * \cos\theta_2 + (L_2 + L_3 * \cos\theta_3) * \sin\theta_2$$

Θέτοντας $(L_2 + L_3 * \cos\theta_3) = \rho * \cos\varphi$ και $(L_3 * \sin\theta_3) = \rho \sin\varphi$. Άρα προκύπτει ότι:

:

$$\rho = \sqrt{(L_2 + L_3 * \cos\theta_3)^2 + (L_3 * \sin\theta_3)^2}$$

$$\rightarrow \sqrt{(L_2)^2 + 2 * L_2 * L_3 * \cos\theta_3 + (L_3 * \cos\theta_3)^2 + (L_3 * \sin\theta_3)^2}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{L_3 * \sin\theta_3}{L_2 + L_3 * \cos\theta_3} \right)$$

Τελικά, η εύρεση της θ_2 είναι:

$$z - L_1 = \rho * \sin\varphi * \cos\theta_2 + \rho * \cos\varphi * \sin\theta_2$$

$$\rightarrow z - L_1 = \rho * \sin(\theta_2 + \varphi)$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{z - L_1}{\rho} \right) - \varphi$$

Σύμφωνα με τις προηγούμενες εξισώσεις και τα σημεία, προκύπτουν οι παρακάτω γωνίες:

	Ρομπότ 1	Ρομπότ 2
	Σημείο 1° (15.5, 7.5, 0)	Σημείο 1° (-12, 4, 0)
θ_1	25,823	161,56
θ_2	- 38,48	- 66,37
θ_3	38,70	86,66
	Σημείο 2° (-15, 9, 0)	Σημείο 2° (2, 18, 0)
θ_1	149,03	83,65
θ_2	- 35,95	- 28,37
θ_3	33,83	18,72

Από την εύρεση των υπολοίπων γωνιών δηλαδή, της θ_4 και της θ_5 προκύπτει ο προσανατολισμός του ρομπότ. Επειδή η εύρεση προσανατολισμού ήταν πολύπλοκη έγινε ο προσεγγιστικός υπολογισμός τους σύμφωνα με τη επιθυμητή κλίση των γωνιών. Με αυτό τον τρόπο ο ρομποτικός βραχίονας έλαβε τον επιθυμητό προσανατολισμό έτσι ώστε να μπορεί να μετακινεί τα αντικείμενα. [22,23]

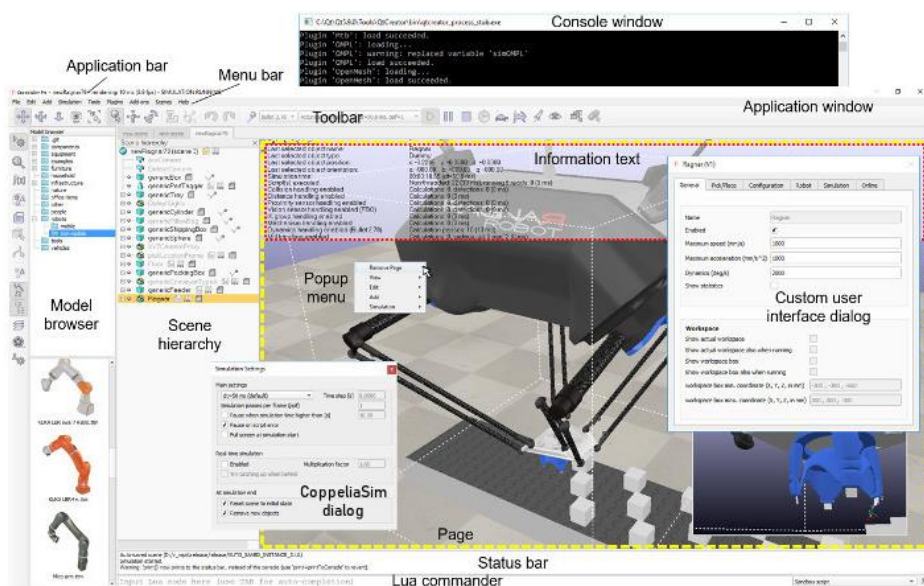
Κεφάλαιο 4

Λογισμικό

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζεται το λογισμικό που χρειάστηκε για την υλοποίηση του συστήματος. Για την σχεδίαση, καθοδήγηση του συστήματος και για τα σημεία συντεταγμένων (θέσης-γωνίες) χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα CoppeliaSim Edu . Έπειτα, για τον προγραμματισμό του συστήματος και της πλακέτας *Arduino* χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *Arduino IDE*[24].

4.1 CoppeliaSim Edu

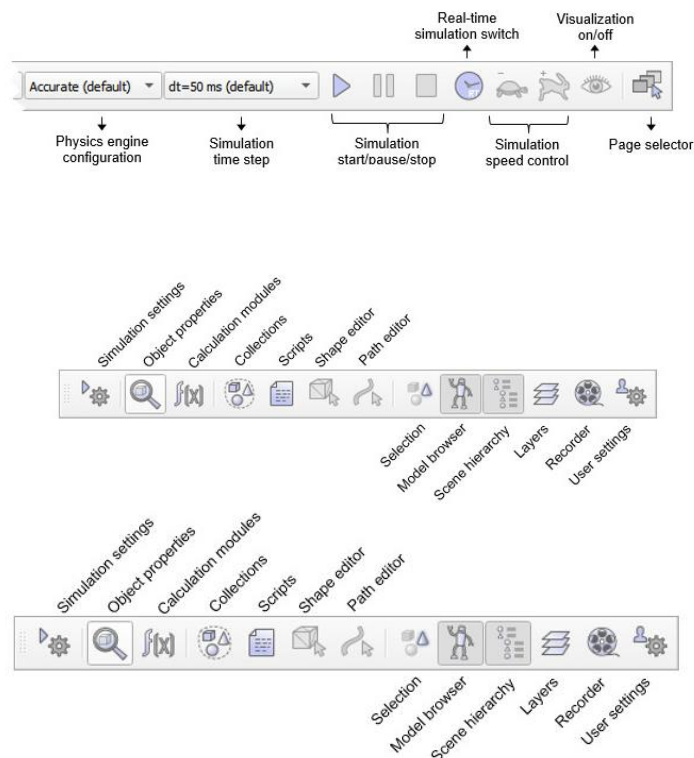
Η εφαρμογή αυτή είναι ένας προσομοιωτής ρομπότ με ενσωματωμένο περιβάλλον ανάπτυξης. Κατασκευάστηκε στην Ελβετία γι' αυτό ονομάζεται και Ελβετικό "μαχαίρι". Είναι το πρώτο σε λήψη διεθνώς αφού είναι το μοναδικό με τις τόσες λειτουργίες. Έχει την βάση του σε μια κατανεμημένη αρχιτεκτονική ελέγχου όπου κάθε αντικείμενο ή μοντέλο μπορεί να ελεγχθεί ξεχωριστά μέσω ενός ενσωματωμένου σεναρίου. Αυτό καθιστά το CoppeliaSim πολύ ευέλικτο και ιδανικό για διάφορες εφαρμογές πολλαπλών ρομπότ. Επιπλέον, έχει την δυνατότητα να εμφανίζει αντικείμενα σε τρισδιάστατη μορφή (3D) και μπορεί να δεχτεί ποικίλες γλώσσες προγραμματισμού C ή C ++, Python, Java, Lua, Matlab, Octave ή Urbi.



Εικ.4.1 Στην εικόνα παρουσιάζεται η τυπική μορφή του CoppeliaSim (Πηγή)

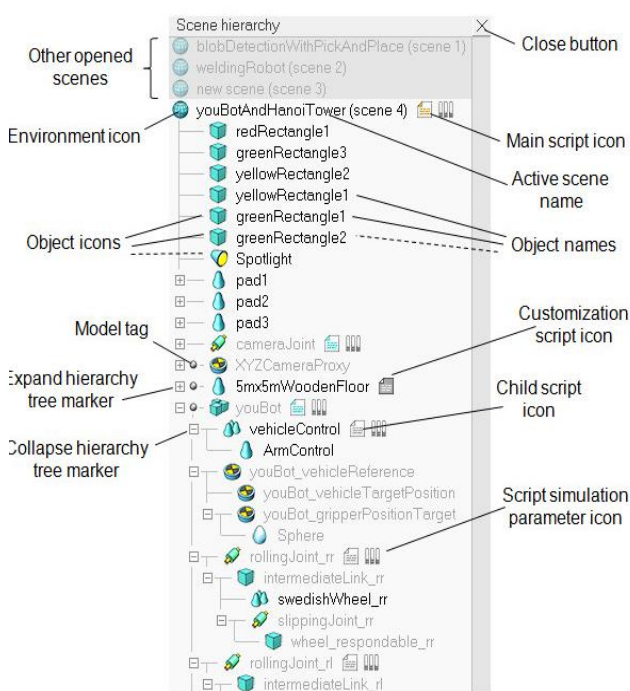
Η εφαρμογή CorreliaSim είναι καταμελημένη από ποικίλες λειτουργίες όπως παρουσιάζονται στην προηγούμενη εικόνα. Κάποιες σημαντικές λειτουργίες που απαρτίζεται η εφαρμογή και χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του διαγράμματος είναι:

- **Γραμμή εφαρμογών (application bar):** Εμφανίζεται το όνομα του αρχείου που χρησιμοποιείται εκείνη την στιγμή, ο χρόνος και η τρέχουσα κατάσταση του προσομοιωτή.
- **Γραμμές εργαλείων (toolbars):** Αποτελούνται από διάφορες συναρτήσεις οι οποίες είναι προσβάσιμες και εύκολες στη χρήση. Υπάρχουν συγκεκριμένες λειτουργίες που βρίσκονται στην γραμμή εργαλείων ένα και άλλες στην δύο. Για το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιήθηκε κυρίως η γραμμή εργαλείων ένα η οποία περιλαμβάνει την κίνηση του αντικειμένου και τον τρόπο προβολής του.
- **Γραμμή μενού (menu bar):** Είναι η μόνη γραμμή που επιτρέπει στον χρήστη την πρόσβαση σε όλες σχεδόν τις λειτουργίες της εφαρμογής. Η γραμμή μενού συνήθως, έχει την ιδιότητα με ένα κλικ στα στοιχεία του απαρτίζεται, να ενεργοποιεί αυτόματα ένα αναδυόμενο παράθυρο λειτουργίας. Στο συγκεκριμένο παράθυρο, μπορεί εύκολα ο χρήστης να μεταβεί στην προβολή ιεραρχίας σκηνής ή μέσω ενός κουμπιού στη γραμμή εργαλείων. [25]

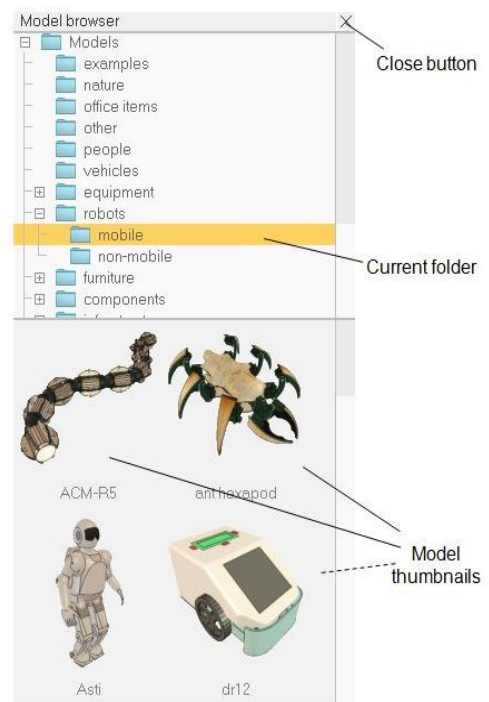


Εικ.4.2 Γραμμή εφαρμογών, εργαλείων και μενού στο πρόγραμμα CorreliaSim (Πηγή)

- **Πρόγραμμα περιήγησης μοντέλου (model browser):** Το πρόγραμμα αυτό εμφανίζει κάποιους φακέλους όπου το περιεχόμενο τους εμπεριέχει μικρογραφίες μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά μπορούν εύκολα να φορτωθούν στη σκηνή για χρήση (βλέπε εικόνα 4.3).
- **Ιεραρχία σκηνής (scene hierarchy):** Στο συγκεκριμένο παράθυρο εμφανίζονται όλα τα αντικείμενα τα οποία είναι ενσωματωμένα στην σκηνή και χρησιμοποιούνται. Ονομάζεται ιεραρχία σκηνής αφού εμφανίζει ένα “δέντρο” ιεραρχίας με τα μεμονωμένα στοιχεία που μπορούν να επεκταθούν ή να διαγραφούν. Επίσης, πατώντας διπλό κλικ στο στοιχείο μπορεί να γίνει αλλαγή ονόματος του αντικειμένου, η επεξεργασία του και η μετακίνησή του σε άλλο φάκελο. (βλέπε εικόνα 4.4). [25]



Εικ.4.3 Το Scene hierarchy στο πρόγραμμα CoppeliaSim ([Πηγή](#))

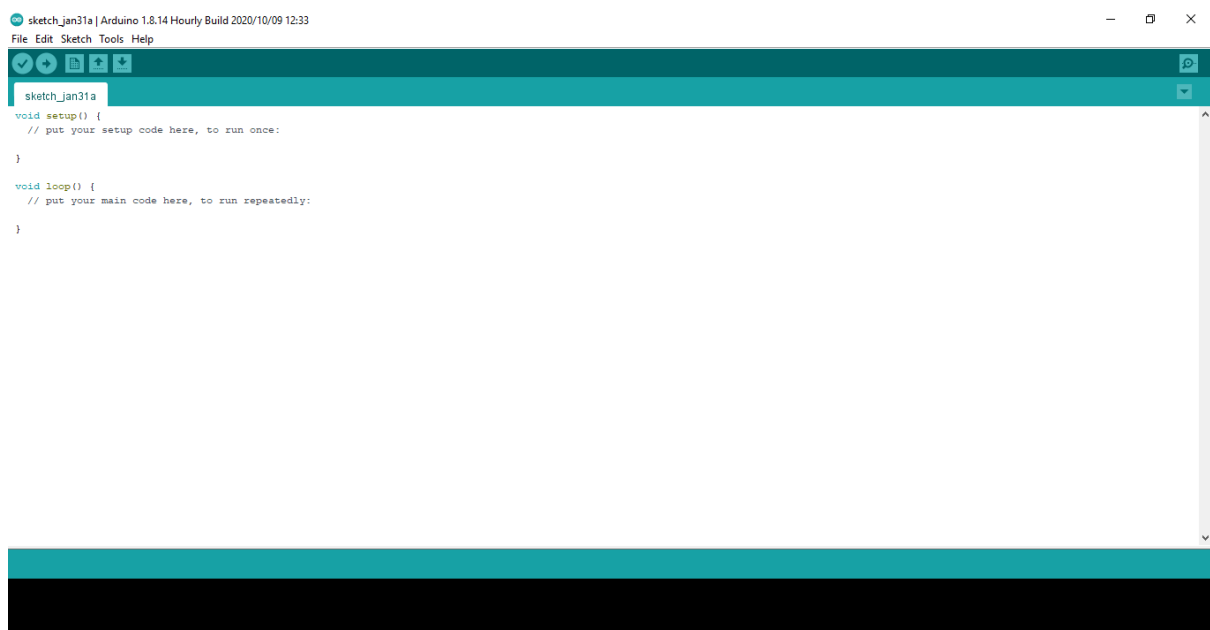


Εικ.4.4 Το Model browser στο πρόγραμμα CoppeliaSim ([Πηγή](#))

4.2 Arduino IDE

Το Arduino IDE είναι ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα ανάπτυξης *Arduino* το οποίο είναι πολύ εύκολο στην χρήση. Απαρτίζεται από μια περιοχή επεξεργασίας κειμένου για συγγραφή κώδικα, μια περιοχή μηνυμάτων, το μενού και η γραμμή εργαλείων που αποτελείται από κουμπιά που χρησιμοποιούνται για κοινές λειτουργίες. Έχει την δυνατότητα σύνδεσης με την πλακέτα *Arduino* έτσι ώστε να γίνετε η φόρτωση προγραμμάτων και να επικοινωνούν μεταξύ τους. Η φόρτωση του κώδικα γίνεται μέσω καλωδίου USB που περιλαμβάνει η πλακέτα *Arduino* και του υπολογιστή.

Το ολοκληρωμένο πρόγραμμα που προκύπτει, συνήθως έχει την ονομασία sketch και είναι γραμμένο με το πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου. Το παράθυρο sketch έχει την δυνατότητα αντιγραφής/επικόλλησης αλλά και την αναζήτηση/αντικατάσταση κειμένου. Στο κάτω μέρος του υπάρχει η κονσόλα μηνυμάτων στην οποία απεικονίζεται η έξοδος του κειμένου από το περιβάλλον του *Arduino* και τα σχετικά λάθη του κώδικα σε μορφή πλήρους μηνύματος έτσι ώστε να γίνει η άμεση αντιμετώπιση (αντικατάσταση) τους. Επιπλέον, στην γραμμή εργαλείων (καρτέλα) που βρίσκετε πάνω από την επεξεργασία κειμένου, υπάρχουν κουμπιά τα οποία έχουν ως σκοπό τον έλεγχο και το ανέβασμα των προγραμμάτων, τη δημιουργία νέου sketch, το άνοιγμα και την αποθήκευση των sketch και το άνοιγμα της σειριακής οθόνης (βλέπε εικόνα 4.5). [26]



Εικ.4.5 Το πρόγραμμα Arduino IDE

4.2.1 Γραμμή εργαλείων και σειριακή επικοινωνία

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα κουμπιά της γραμμής εργαλείων



Verify/Compile (Ελεγχος/Μεταγλώττιση): Ελέγχει αν υπάρχουν λάθη στον κώδικα



Upload: Ανέβασμα του κώδικα στον μικροελεγκτή



New (Νέο): Επιλέγοντας το κουμπί γίνεται δημιουργία νέου sketch



Open (Άνοιγμα): Κατά την επιλογή του κουμπιού αυτού, εμφανίζεται ένα μενού με όλα τα sketch, κάνοντας και επιλέγοντας ένα από αυτά θα ανοίξει μέσα στο τρέχον παράθυρο



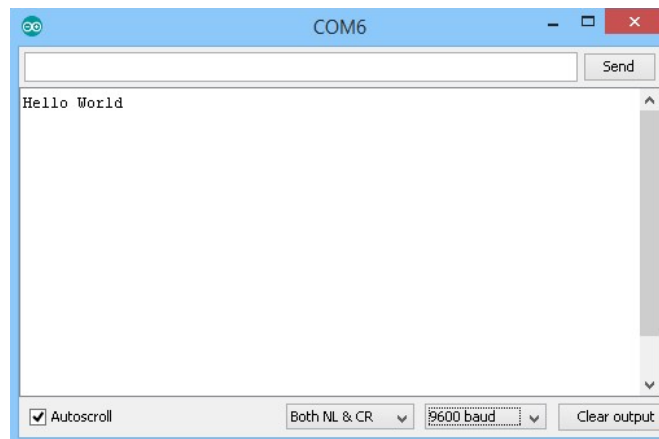
Save (Αποθήκευση): Επιλέγοντας το κουμπί αυτό γίνεται αποθήκευση του sketch



Serial Monitor (Σειριακή οθόνη): Επιλέγοντας το, ανοίγει την σειριακή οθόνη ώστε ο χρήστης να μπορεί να εισάγει δεδομένα από το πληκτρολόγιο

Μια επιπλέον λειτουργία που περιλαμβάνει το Arduino IDE είναι η σειριακή οθόνη (Serial Monitor). Για την ενεργοποίηση της σειριακής θύρας επικοινωνίας θα πρέπει αρχικά ο χρήστης να δώσει την εντολή `Serial.begin (BaudRate)` η οποία συνήθως έχει μονάδες bits-per-second (bps). Η εντολή αυτή καθορίζει το πόσο γρήγορα αποστέλλονται τα δεδομένα μέσω μιας σειριακής γραμμής. Κατά την σύνδεση του *Arduino* με τον υπολογιστή μέσω καλωδίου USB, ενεργοποιείται η σειριακή οθόνη και ανοίγει ένα παράθυρο. Σκοπός της είναι να εμφανίζει όλα τα σειριακά δεδομένα τα οποία αποστέλλονται από την πλακέτα *Arduino*. Είναι εύκολη η λειτουργία της αφού εισάγοντας κάποιο κείμενο – κώδικα και πατώντας το κουμπί send ή πατώντας το Enter από το πληκτρολόγιο, αυτόματα αποστέλλονται στην πλακέτα *Arduino*. Επίσης, στο κάτω μέρος της σειριακής οθόνης, μπορεί να γίνει η επιλογή της κατάλληλης ταχύτητας (baud) από την λίστα που εμφανίζεται ανάλογα με την τιμή που

θα επιλεγθεί στο προγραμματισμό του *Arduino* με το **Serial.begin()** που προαναφέρθηκε. (βλέπε εικόνα 4.6) [26]



Εικ.4.6 Serial Monitor

4.2.2 Δομή του προγράμματος

Παρακάτω παρουσιάζεται η τυπική μορφή προγράμματος *Arduino*

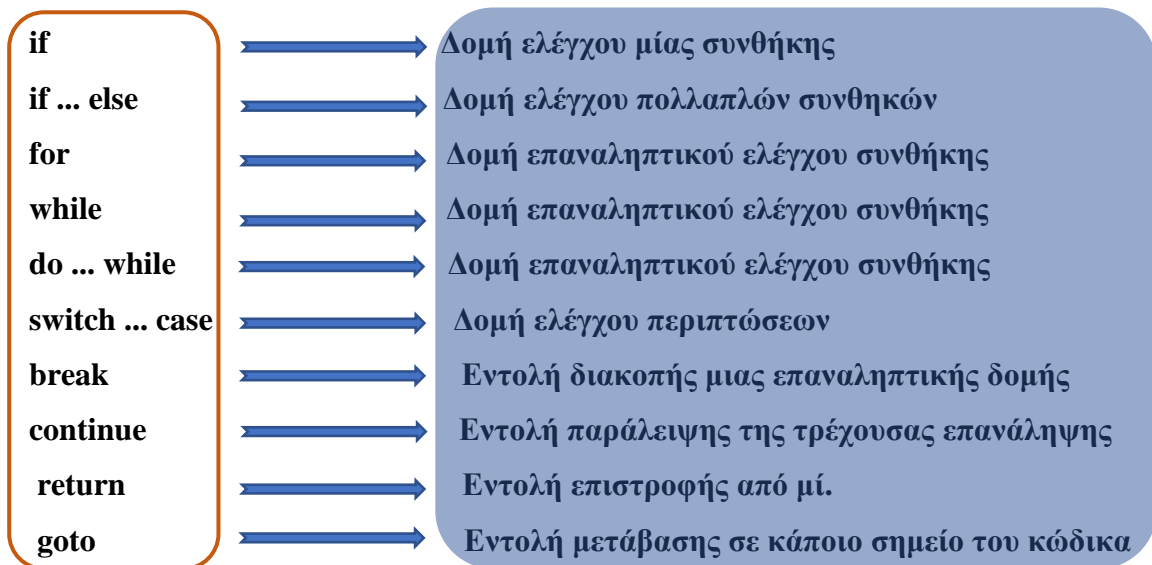
```
//δήλωση μεταβλητών
void setup ()
{
  //αρχικοποιήσεις
}
void loop ()
{
  //Κώδικας
}
```

Οι δυο βασικές συναρτήσεις που απεικονίζονται στον παραπάνω κώδικα *Arduino* και είναι μέρος του κάθε sketch είναι η **setup()** και η **loop()**. Κατά την φόρτωση στον *Arduino* η συνάρτηση **setup()** καλείται μόνο μια φορά. Σε περίπτωση που γίνει επαναφορά (reset) από την πλατφόρμα *Arduino*, τότε καλείται ξανά αφού λόγω της επανεκκίνησης τα δεδομένα διαγράφηκαν. Επίσης, στην συνάρτηση **setup()** γίνονται κυρίως οι αρχικοποιήσεις των μεταβλητών, η ρύθμιση της κατάστασης των ακίδων (pins) και η προετοιμασία των βιβλιοθηκών. Σε αντίθεση με την συνάρτηση **setup()**, η συνάρτηση **loop()** έχει την ιδιότητα να μπορεί να καλείται συνέχεια επιτρέποντας τη ανταπόκριση του προγράμματος σε

εξωτερικά ερεθίσματα. Παράλληλα, και οι δυο συναρτήσεις θα πρέπει να είναι γραμμένες στο sketch, ακόμα και στην περίπτωση που είναι κενές.

Για την υλοποίηση-συγγραφή του κώδικα ο χρήστης πρέπει να είναι σε θέση να γνωρίζει κάποιες βασικές δομές αλλά και λειτουργίες. Παρακάτω ακολουθούν μερικές από τις πιο βασικές δομές όπου με αυτές ακόμα και ένας αρχάριος να μπορεί να συγγράψει έναν απλό κώδικα.

Βασικές Δομές

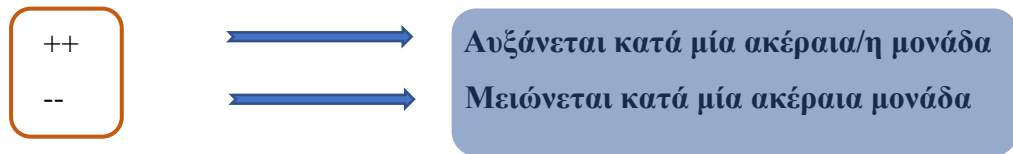


Εκτός από τις δομές, υπάρχουν και οι τελεστές οι οποίοι είναι πολύ χρήσιμοι για την συγγραφή του κώδικα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιο σημαντικοί και οι πιο συχνά εμφανιζόμενοι τελεστές, σταθερές και τύποι δεδομένων (από τους περισσότερους χρησιμοποιήθηκαν στο κώδικα του συστήματος)[26].

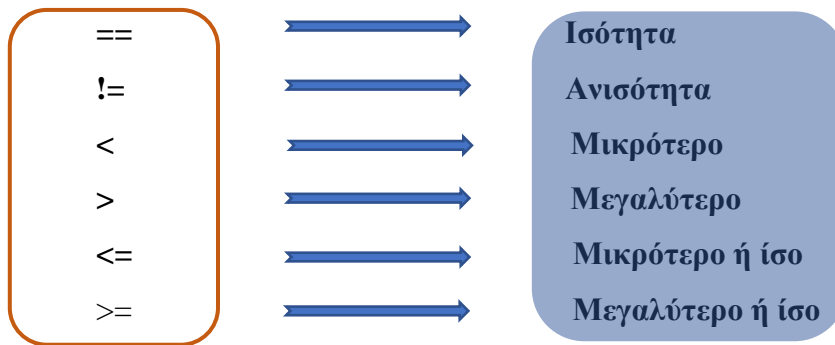
Αριθμητικοί τελεστές



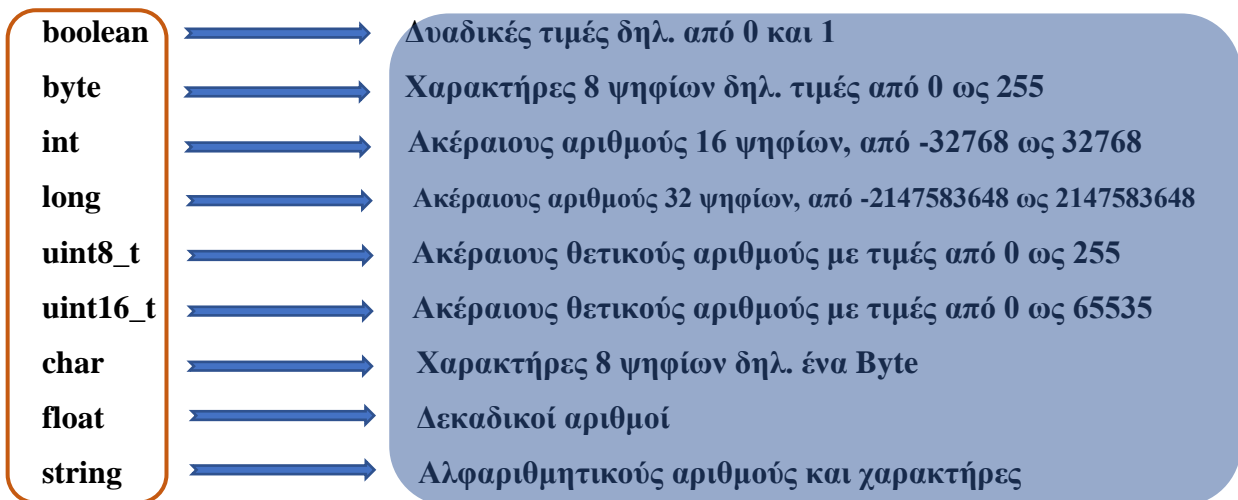
Τελεστές που δηλώνουν αύξηση και μείωση



Τελεστές που δηλώνουν σύγκριση

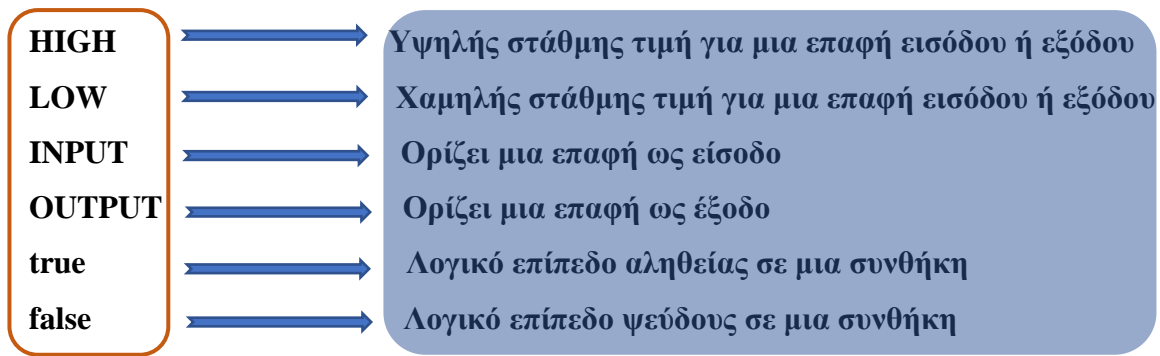


Υπάρχουν ποικίλοι τύποι μεταβλητών του οποίους υποστηρίζει ο *Arduino*. Κάποιοι από τους πιο σημαντικούς τύπους είναι

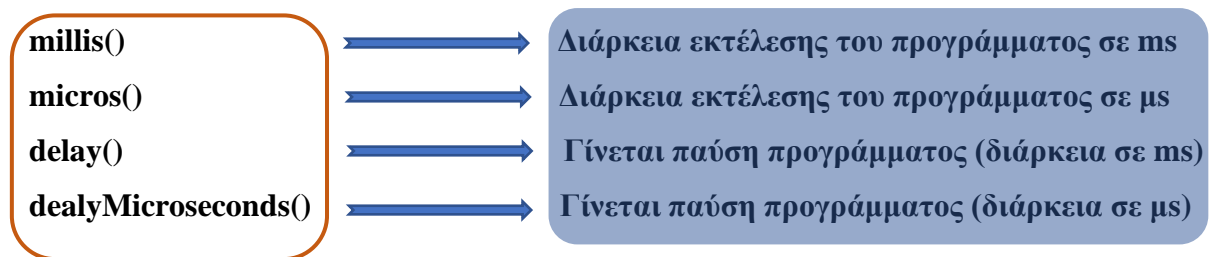


Για την σωστή συγγραφή - υλοποίηση ενός κώδικα πρέπει να είναι γνώριμες κάποιες σταθερές μεταβλητές αλλά και συναρτήσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιο σημαντικές σταθερές μεταβλητές και συναρτήσεις:

Σταθερές μεταβλητές



Συναρτήσεις χρόνου



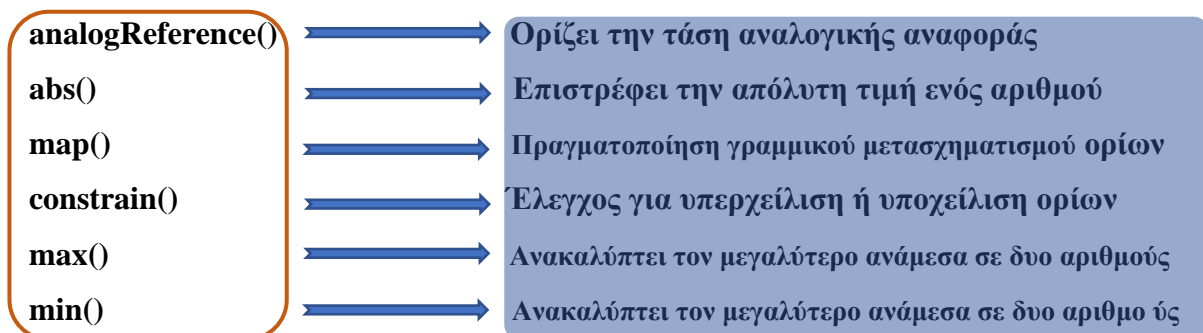
Συναρτήσεις εισόδου και εξόδου



Συναρτήσεις ψηφιακών εισόδων και εξόδων



Συναρτήσεις ψηφιακών εισόδων και εξόδων



analogWrite()
analogRead()



Γράφει PWM (pins 3,5,6,9,10,11) σήματα σε μια επαφή εξόδου
Διαβάζει από μια αναλογική επαφή εισόδου

4.2.3 Ψηφιακές και αναλογικές συναρτήσεις εξόδου/εισόδου ρεύματος

Όπως προαναφέρθηκε η συνάρτηση **pinMode()** ορίζει μια επαφή ως είσοδο ή έξοδο. Για την πραγματοποίηση αυτής της λειτουργίας και για να μπορέσει να σταλεί ρεύμα σε μια θύρα, θα πρέπει να οριστεί ο αριθμός **pin** και η κατάσταση λειτουργίας του, δηλαδή, **INPUT** (είσοδος) ή **OUTPUT** (έξοδος). Επιπλέον, η επιθυμητή τάση εξόδου γίνεται με την χρήση κατάλληλης εντολής.

- **Ψηφιακές εισοδοί/έξοδοι**

Η πλακέτα *Arduino* διαθέτει 14 pins όπως έχει αναφερθεί στην ενότητα (2.2.2), τα οποία λειτουργούν και ως ψηφιακοί εισοδοί αλλά και έξοδοι. Η ψηφιακή έξοδος πραγματοποιείται με την συνάρτηση **digitalWrite(Pin, Value)** και δίνουν έξοδο 0V ή 5V. Αν ο χρήστης επιθυμεί έξοδο 0V θα συγγράψει την λέξη **LOW** στην παράμετρο **Value**, ενώ αν επιθυμεί έξοδο 5V την λέξη **HIGH**.

Ένα παράδειγμα είναι:

```
digitalWrite(ServoPin,HIGH);
```

Η ψηφιακή είσοδος λειτουργεί με το να διαβάζει τιμές τάσης 0V ή 5V και πραγματοποιείται με την συνάρτηση **digitalRead(Pin)**, όπου Pin ο αριθμός της θύρας. Άρα όταν πάρει τάση εισόδου 0V θα διαβάσει την λέξη **LOW** και όταν πάρει τάση 5V την λέξη **HIGH**.

Ένα παράδειγμα είναι

```
Value=digitalRead(ServoPin);
```

- **Αναλογικές εισοδοί/έξοδοι**

Οι αναλογικές έξοδοι δεν αντιστοιχούν σε όλα τα pins αλλά σε συγκεκριμένα. Τα pins αυτά έχουν την ένδειξη **PWM** και μπορούν να έχουν την δυνατότητα μετατροπής αναλογικής εξόδου μέσω παλμοκωδικής διαμόρφωσης. Μπορούν να πάρουν τιμές από 0 ως 255 μετατρέποντας αναλογικά τάση από 0V μέχρι 5V. Η λειτουργία προσομοίωσης πραγματοποιείται με την χρήση της συνάρτησης **analogWrite(Pin, Value)**. Η συμπλήρωση της συνάρτησης αυτής είναι ίδια με αυτή της ψηφιακής εξόδου με μια μικρή διαφορά. Σε

τιμή "0" ο χρήστης παίρνει τάση 0V στην έξοδο του pin και σε τιμή 255 παίρνει 5V.

Επιπλέον, στα αναλογικά υπάρχει η δυνατότητα ο χρήστης να μπορεί να δώσει ενδιάμεσες τάσεις.

Ένα παράδειγμα είναι:

```
analogReference(type);
```

Οι αναλογικές εισοδοι διαφέρουν από τις προηγούμενες διότι έχουν τα δικά τους pins. Έχουν 6 αναλογικές εισόδους που συμβολίζονται με A0, A1, A2, A3, A4, και A5. Με την χρήση της συνάρτησης **analogRead(Pin)** ο χρήστης μπορεί να συνδέσει ένα αναλογικό εξάρτημα και να το διαβάσει ως είσοδο. Οι τιμές εισόδου που παίρνει είναι από 0 ως 1023 και για την καταχώρηση της τιμής χρησιμοποιούμε την μεταβλητή **int**.

Ένα παράδειγμα είναι:

```
Int read=analogRead(A5);
```

****Προσοχή:** Η κλήση της εντολής `analogRead()` πρέπει να γίνει μετά την κλήση της εντολής `analogReference()` [26].

4.2.3 Υποστήριξη Βιβλιοθηκών

Ένα από τα πιο βασικά πλεονεκτήματα του προγράμματος Arduino IDE είναι οι βιβλιοθήκες που περιέχει. Η χρήση τους προσφέρει μεγαλύτερη αξιοπιστία σε συνεργασία με το υλικό και τον χειρισμό των δεδομένων. Για να επιλέξουμε μια βιβλιοθήκη από το sketch, θα πρέπει πρώτα να επιλέξουμε από την καρτέλα μενού Sketch → Include Library.

Επιλέγοντας το, το πρόγραμμα είναι διαθέσιμο στο να εισάγει μια ή περισσότερες βιβλιοθήκες οι οποίες υπάρχουν στο sketch. Κατά την φόρτωση τους αυξάνεται το μέγεθος του χώρου που καταλαμβάνεται. Σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να χρησιμοποιήσει μια βιβλιοθήκη η οποία δεν υπάρχει στο sketch, το πρόγραμμα του δίνει την δυνατότητα να φορτώσει μια αποσυμπιέζοντας την καινούργια βιβλιοθήκη μέσα στον κατάλογο του sketchbook.

Παρ' όλα αυτά η επιλογή της βιβλιοθήκης έχει κάποια μειονεκτήματα τα οποία είναι:

- Κατά την πολλαπλή χρήση σειριακών θυρών λογισμικού, μόνο μία θύρα μπορεί να λαμβάνει δεδομένα σε μια μόνο στιγμή.

- Υπάρχουν συγκεκριμένα pin στη βάση στήριξης Mega και Mega 2560 τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το RX: 10, 11, 12, 13, 14, 15, 50, 51, 52, 53, A8 (62), A9 (63), A10 (64), A11 (65), A12 (66), A13 (67), A14 (68), A15 (69)
- Συγκεκριμένα pin στα Leonardo και Micro μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το RX: 8, 9, 10, 11, 14 (MISO), 15 (SCK), 16 (MOSI)
- Στο *Arduino* η τρέχουσα μέγιστη ταχύτητα RX είναι 57600bps
- Στο *Arduino* το RX δεν λειτουργεί στο Pin 13 [26]

4.3 Κώδικας του συστήματος

Παρακάτω ακολουθεί ο κώδικας υλοποίησης του συστήματος για το πρώτο ρομπότ

```
#include <Servo.h>

Servo servo1, servo2, servo3, servo4, servo5, servo6; //ορισμος servo
float angle1, angle2, angle3, angle4, angle5, angle6; //ορισμος gwniwn

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

  //ορίζουμε τα pin
  servo1.attach(8);
  servo2.attach(9);
  servo3.attach(10);
  servo4.attach(11);
  servo5.attach(12);
  servo6.attach(13);

  //ορισμος αρχικis thesis
  servo1.write(90);
  servo2.write(75);
```

```

servo3.write(95);
servo4.write(90);
servo5.write(90);
servo6.write(90);
//
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  //gia to proto antikeimeno
  moveServo(servo1, 90);
  moveServo(servo2, 100);
  moveServo(servo3, 20);
  moveServo(servo4, 20);
  moveServo(servo5, 90);
  moveServo(servo6, 175);
//
  moveServo(servo2, 70);
  moveServo(servo1, 175);
  moveServo(servo2, 105);
  moveServo(servo3, 25);
  moveServo(servo4, 25);
  moveServo(servo5, 95);
  moveServo(servo6, 85);
  moveServo(servo2, 50);

  servo1.detach(); //stop servo1
  servo2.detach(); //stop servo2

```

```

servo3.detach(); //stop servo3
servo4.detach(); //stop servo4
servo5.detach(); //stop servo5
servo6.detach(); //stop servo6
}
//για να κανει τις kiniseis pio omales
void moveServo(Servo servo, float angle){
float angle0 = servo.read();
if(angle >= angle0){
for(float a = angle0; a<= angle; a=a+1){
servo.write(a);
delay(20);
}
} else{
for(float a = angle0; a>= angle; a=a-1){
servo.write(a);
delay(20);
}
}
}
}

```

Για το δεύτερο ρομπότ προέκυψε ο παρακάτω κώδικας

```

#include <Servo.h>
Servo servo1, servo2, servo3, servo4, servo5, servo6; //orismos servo
float angle1, angle2, angle3, angle4, angle5, angle6; //orismos gwniwn

void setup() {
// put your setup code here, to run once:
//orizoyme ta pin

```

```
servo1.attach(8);
servo2.attach(9);
servo3.attach(10);
servo4.attach(11);
servo5.attach(12);
servo6.attach(13);

//orismos arxikis thesis

servo1.write(90);
servo2.write(95);
servo3.write(90);
servo4.write(90);
servo5.write(90);
servo6.write(90);

//
Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  //gia to proto antikeimeno
  moveServo(servo1, 175);
  moveServo(servo2, 50);
  moveServo(servo3, 150);
  moveServo(servo4, 160);
  moveServo(servo5, 90);
  moveServo(servo6, 175);

  moveServo(servo2, 80);
  moveServo(servo1, 120);
```



```

moveServo(servo2, 60);
moveServo(servo3, 150);
moveServo(servo4, 160);
moveServo(servo5, 90);
moveServo(servo6, 85);
moveServo(servo2, 90);

servo1.detach(); //stop servo1
servo2.detach(); //stop servo2
servo3.detach(); //stop servo3
servo4.detach(); //stop servo4
servo5.detach(); //stop servo5
servo6.detach(); //stop servo6
}
//gia na kanei tis kiniseis pio omales
void moveServo(Servo servo, float angle){
float angle0 = servo.read();
if(angle >= angle0){
for(float a = angle0; a<= angle; a=a+1){
servo.write(a);
delay(20);
}
} else{
for(float a = angle0; a>= angle; a=a-1){
servo.write(a);
delay(20);
}
}
}
}

```

Κεφάλαιο 5

Παρατηρήσεις, Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία κατασκευάστηκαν δυο ρομποτικοί βραχίονες με σκοπό την μετακίνηση αντικειμένων. Η τελειοποίηση του συστήματος έγινε μέσω του *Arduino*, ο οποίος προγραμματίστηκε με τον κατάλληλο κώδικα για τις κινήσεις του ρομποτικού βραχίονα. Κατά την προσθήκη του αρχικού κώδικα παρατηρήθηκε ότι οι κινήσεις που έκανε το ρομπότ ήταν πάρα πολύ απότομες με αποτέλεσμα να υπήρχαν αποκλείσεις. Επίσης, αποκλείσεις στις μοίρες των γωνιών προέκυψαν κατά την κατασκευή του ρομπότ λόγω μη ακριβής ευθυγράμμισης των δακτυλίων που αφορά την περιστροφή του ρομποτικού βραχίονα. Επιπλέον, οι γωνίες εκτός από αποκλείσεις έχουν και περιορισμούς στις τιμές τους. Αυτό μπορεί να το διακρίνει κάποιος κατά την διάρκεια της εύρεσης των γωνιών, και συγκεκριμένα για την γωνία θ_2 του συστήματος ισχύει η ανίσωση $-1 < \cos^{-1} < 1$. Στην περίπτωση αυτού του ρομποτικού βραχίονα χρησιμοποιήθηκαν τυχαίες γωνίες επειδή από τα σημεία που επιλέχθηκαν προκύπταν πολύ μικρές γωνίες. Επιπροσθέτως, ο ρομποτικός βραχίονας *learn soul* περιέχει σερβοκινητήρες οι οποίοι έχουν γωνία περιστροφής μέχρι 180 μοίρες (περιορισμός κινήσεων). Επίσης, η δαγκάνα μπορεί να λειτουργήσει από 80 (ανοικτή) μέχρι 180 (κλειστή) μοίρες. Το υλικό κατασκευής της δαγκάνας δεν τις επιτρέπει να μεταφέρει αντικείμενα με συγκεκριμένο σχήμα. Επίσης, το ρομπότ δεν μπορεί να σηκώσει αντικείμενο βάρος μεγαλύτερο από 250 γραμμάρια όπου αυτό περιορίζει τις ανάγκες του χρήστη. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν δύο ρομποτικά συστήματα με σκοπό την μεταφορά ενός αντικειμένου σε μεγαλύτερη απόσταση από την προβλεπόμενη διότι τα μήκη των αξόνων του ενός ρομποτικού συστήματος δεν επέτρεπαν την λειτουργία αυτή.

Επίσης, παρ όλο που ο *Arduino* διαθέτει τροφοδοσία για να υποστηρίξει τους σερβοκινητήρες, το κατάλληλο ήταν να δοθεί τροφοδοσία από την πλακέτα Bluetooth την οποία διέθετε ο ρομποτικός βραχίονας διότι στέλνει την κατάλληλη τροφοδοσία που χρειάζονται οι σερβοκινητήρες. Μια επιπλέον παρατήρηση, είναι ότι χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι τύποι καλωδίων από τα οποία κάποια δεν ήταν τόσο αξιόπιστα με αποτέλεσμα να μην μπορούν να τροφοδοτήσουν σωστά του σερβοκινητήρες.

Κατά την υλοποίηση και φόρτωση του κώδικα στον *Arduino* παρατηρήθηκε ότι το ρομπότ και συγκεκριμένα οι σερβοκινητήρες εκτελούσαν απότομες κινήσεις και έτσι

χρησιμοποιήθηκε κατάλληλος κώδικας με αποτέλεσμα να κινείται πιο ομαλά το ρομπότ και να μπορεί να κατευθύνεται από μια μικρή γωνία σε μία μεγάλη ανά μια ή δύο μοίρες.

Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις που προαναφέρθηκαν προέκυψαν συμπερασματικά κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του ρομποτικού συστήματος. Αρχικά, ένα προτέρημα είναι ο τύπος του ρομπότ που επιλέχτηκε για την υλοποίηση του πειραματικού μέρους. Το ρομποτικό σύστημα *learm* είναι εύκολο τόσο στην κατασκευή όσο και στην χρήση του γι αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Επιπροσθέτως, παρ όλο που η δαγκάνα του ρομποτικού συστήματος έχει περιορισμένες διαστάσεις και συγκεκριμένο βάρος αντοχής γι αυτό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην νευροχειρουργική η οποία έχει εργαλεία με μικρό βάρος και μικρές διαστάσεις. Επιπλέον, ένα σημαντικό εργαλείο της παρούσας διπλωματικής είναι ο *Arduino* καθώς και το πρόγραμμα *Arduino IDE* τα οποία είχαν διδαχθεί στην διάρκεια του προπτυχιακού κύκλου σπουδών.

Ένα βασικό μειονέκτημα του ρομποτικού βραχίονα είναι ότι μπορεί να μετακινήσει αντικείμενα περιορισμένου βάρους. Σε περίπτωση που το ρομπότ χρησιμοποιηθεί σε ιατρικές εφαρμογές και συγκεκριμένα ως εργαλειοδότης, δεν θα μπορεί να ανταπεξέλθει σε συνθήκες όπως μεταφορά χειρουργικών εργαλείων με βάρος μεγαλύτερο από το προαναφερόμενο. Επιπλέον, η δαγκάνα έχει συγκεκριμένη διάμετρο γι αυτό και μπορεί να σηκώσει αντικείμενα με συγκεκριμένες διαστάσεις. Για τον λόγο αυτό, δεν συνίσταται η χρήση του συγκεκριμένου ρομποτικού συστήματος στην ορθοπεδική χειρουργική γιατί οι διαστάσεις των πλείστων εργαλείων είναι μεγαλύτερες από τις επιτρεπτές.

Το σύστημα μπορεί να βελτιωθεί με ποικίλους τρόπους όπως είναι οι παρακάτω:

- Με την τοποθέτηση μιας κάμερας στην δαγκάνα του ρομπότ έτσι ώστε να αναγνωρίζει τα εργαλεία με την προϋπόθεση ότι εργάζεται ως εργαλειοδότης και μεταφέρει εργαλεία σε κλιβάνους για αποστείρωση.
- Χρησιμοποιώντας κατάλληλο τροφοδοτικό ακριβείας, ο ρομποτικός βραχίονας θα εκτελεί κινήσεις χωρίς αποκλείσεις στις μοίρες.
- Με την χρήση κατάλληλων σερβοκινητήρων οι οποίοι θα έχουν εύρος κίνησης μέχρι 360 μοίρες το σύστημα θα έχει μεγαλύτερο πεδίο κίνησης.
- Με τον κατάλληλο ελεγκτή *Wireless*, ο χρήστης θα μπορεί να ελέγχει το ρομποτικό σύστημα από απόσταση και θα μπορεί να το κατευθύνει με πιο εύρηστο τρόπο.

- Με την τοποθέτηση Arduino Mega αντί για Arduino Uno, θα υπάρχουν διαθέσιμοι περισσότεροι ακροδέκτες για την σύνδεση εξαρτημάτων (πχ led, push button κ.α).

Βιβλιογραφία

- [1] <https://www.explorecreate.com/mythology/GR-talos.html>
- [2] ‘Molecular Robots Obeying Asimov’s.pdf’ (no date).
- [3] ‘Karel Čapek (1890-1938).pdf’ (no date).
- [4] Christoforou, E. G. and Müller, A. (2017) ‘Robot and robotics: The origin and beyond’, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 540(May), pp. 613–621. doi: 10.1007/978-3-319-49058-8_67.
- [5] Lanfranco, A. R. et al. (2004) ‘Robotic Surgery: A Current Perspective’, *Annals of Surgery*, 239(1), pp. 14–21. doi: 10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d.
- [6] Patel, V. R. (2006). Essential elements to the establishment and design of a successful robotic surgery programme. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 2(1), 28–35. doi:10.1002/rcs.77
- [7] Camarillo, D. B., Krummel, T. M., & Salisbury, J. K. (2004). Robotic technology in surgery: Past, present, and future. *The American Journal of Surgery*, 188(4), 2–15. doi:10.1016/j.amjsurg.2004.08.025
- [8] Kim, S. J. and Lee, S. C. (2015) ‘Technical and instrumental prerequisites for single-port laparoscopic solo surgery: State of art’, *World Journal of Gastroenterology*, 21(15), pp. 4440–4446. doi: 10.3748/wjg.v21.i15.4440.
- [9] ‘Ρομποτική Μια πρωτοποριακή χειρουργική προσέγγιση’ (2010), 22(1), pp. 62–65.
- [10] Kobilka, B. (2012) ‘基因的改变 NIH Public Access’, *Bone*, 23(1), pp. 1–7. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3624763/pdf/nihms412728.pdf>.
- [11] Leal Ghezzi, T. and Campos Corleta, O. (2016) ‘30 Years of Robotic Surgery’, *World Journal of Surgery*, 40(10), pp. 2550–2557. doi: 10.1007/s00268-016-3543-9.
- [12] Gilbert, J. M. (2009) ‘The EndoAssist™ robotic camera holder as an aid to the introduction of laparoscopic colorectal surgery’, *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 91(5), pp. 389–393. doi: 10.1308/003588409X392162.
- [13] Marescaux, J., & Rubino, F. (2003). *The ZEUS robotic system: experimental and clinical applications. Surgical Clinics of North America*, 83(6), 1305–1315. doi:10.1016/s0039-6109(03)00169-5
- [14] Ballantyne, G. H. (2002) ‘Robotic surgery, telerobotic surgery, telepresence, and

telementoring: Review of early clinical results’, *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 16(10), pp. 1389–1402. doi: 10.1007/s00464-001-8283-7.

[15] Çelik, A. *et al.* (2018) ‘Title’, *Journal of Materials Processing Technology*, 1(1), pp. 1–8. Available at:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001><http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055><https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006><https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.04.024><https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127252><http://dx.doi.o>

[16] Servo, A. (2014) ‘V1 Analog Servo V1’, *HuiDa RC International INC.*, (1), pp. 3–5. Available at: https://www.pololu.com/file/download/HD-3001HB.pdf?file_id=0J728.

[17] Π. Ασβεστάς. Διαλέξεις Ιατρικά Ηλεκτρονικά

[18] Πογαρίδης Δημήτρης (2015), Ενσωματωμένα Συστήματα, οι μικροελεγκτές AVR και ARDUINO. Αθήνα : Εκδόσεις Δίσιγμα

[19] From, P. P. (2003) ‘Patent Application Publication (10) Pub . No . : US 2003 / 0166608A1’, 1(19), pp. 1–4.

[20] Breadboard, M. (2003) ‘TD Cir) D . D’, 1(19).

[21] <https://www.tinkercad.com/dashboard>

[22] Ασβεστάς, Π. (2019) ‘Εισαγωγή στη ρομποτική.

[23] Ασβεστάς, Π. (2019) ‘Προχωρημενα θεματα ρομποτική.

[24] <https://www.coppeliarobotics.com/downloads>

[25] <https://www.coppeliarobotics.com/>

[26] <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>