



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

**Κατασκευή και χειρισμός ρομποτικού
βραχίονα για αναγνώριση ιατρικών
εργαλείων με χρήση NFC**

Στριμπίνου Χρυσούλα

Αριθμός Μητρώου: 48015106

Επιβλέπων Καθηγητής:

Παντελεήμων Ασβεστάς, Αναπληρωτής Καθηγητής

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

Η υπογράφουσα **Στριμπίνου Χρυσούλα** του **Αναστάσιου**, με αριθμό μητρώου **48015106** φοιτητής του Τμήματος **Μηχανικών Βιοϊατρικής** της Σχολής **Μηχανικών** 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

8/07/2021

Η Δηλούσα

Στριμπίνου Χρυσούλα



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο επίκεντρο της παρούσας διπλωματικής εργασίας τίθεται ο ρομποτικός βραχίονας LeArm, ο οποίος είναι ανθρωπομορφικού τύπου με 5 βαθμούς ελευθερίας. Στα πλαίσια της εργασίας κατασκευάστηκε ο ρομποτικός βραχίονας και χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία Radio frequency identification (RFID). Η βασική ιδέα του πειράματος είναι η εξής: σε ένα σημείο να είναι τοποθετημένος ο ρομποτικός βραχίονας και σε ένα άλλο σημείο να είναι τοποθετημένα δύο αντικείμενα. Στην συνέχεια ο βραχίονας με την βοήθεια της τεχνολογίας RFID και των RFID Tags, έχει την δυνατότητα να αναγνωρίζει τα αντικείμενα μέσω των πληροφοριών που θα έχουν περαστεί σε αυτά και να τα μετακινεί σε δύο εκ νέου σημεία. Η υλοποίηση του συστήματος έγινε μέσω του Arduino, ο οποίος έχει προγραμματιστεί έτσι ώστε να κινεί τους σερβοκινητήρες στην κατάλληλη θέση σε συνδυασμό με την πλακέτα RC522, η αρμοδιότητα της οποίας είναι η ανάγνωση και η εγγραφή δεδομένων στις ετικέτες. Ο προγραμματισμός του Arduino τόσο για την κίνηση των σερβοκινητήρων όσο και για την ανάγνωση και η εγγραφή δεδομένων στις ετικέτες έγινε μέσω του προγράμματος Arduino IDE.

Λέξεις Κλειδιά : Ρομπότ ,LeArm, Σερβοκινητήρες, Arduino, NFC ,NFC Module, NFC Tag, Arduino IDE

ABSTARCT

The present dissertation focuses on LeArm, an anthropomorphic robotic arm with 5 degrees of freedom. In the framework of this dissertation, the robotic arm was created using Radio frequency identification (RFID) technology. The main scenario for the use of the robotic arm, in the present experiment, is the following: the robotic arm is fixed in a specific place and in a different space there are 2 medical instruments. Using the RFID technology and the RFID tags, LeArm can identify the instruments through information that has been installed in them and move them to new places. The robotic arm's system was programmed using Arduino to move the server motors in the appropriate place and using an RC522 Module board to read and register data on the tags. The code used for the movement of the server motors and the identification and registration of data on the tags were written using Arduino IDE.

Keywords: Robot, Servomotor, LeArm, Arduino, NFC, NFC Module, NFC Tag, Arduino IDE

Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή στην ρομποτική	8
1.1	Ιστορική αναδρομή.....	8
1.2	Μέρη Ρομποτικού Βραχίονα.....	11
1.3	Ταξινόμηση ρομπότ ανάλογα με το σύστημα συντεταγμένων	12
1.3.1	Καρτεσιανά Ρομπότ	12
1.3.2	Κυλινδρικά Ρομπότ.....	13
1.3.3	Σφαιρικά Ρομπότ	14
1.3.4	Ανθρωπόμορφα ρομπότ	15
1.3.5	Ρομπότ τύπου SCARA	16
1.4	Εφαρμογές της ρομποτικής στην Ιατρική	16
1.4.1	Νοσοκομειακά ρομπότ	17
1.4.2	Εργαστηριακά ρομπότ	18
1.4.3	Ρομπότ Αποκατάστασης	18
1.5	Σημαντικότερα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα	20
1.5.1	Σύστημα Aesop	20
1.5.2	Σύστημα Zeus	21
1.5.3	Σύστημα Da Vinci	22
1.6	Εφαρμογές της ρομποτικής στην χειρουργική	24
1.6.1	Εφαρμογές στην γυναικολογία	24
1.6.2	Εφαρμογές στην παιδιατρική.....	26
1.6.3	Εφαρμογές στην καρδιοχειρουργική.....	27
1.6.4	Εφαρμογές στην νευροχειρουργική	29
2	Υλικά και Εξοπλισμός	32
2.1	Ρομποτικός βραχίονας LeArm LewanSoul.....	32
2.1.1	Μέρη ρομποτικού βραχίονα LeArm LewanSoul.....	34
2.2	Breadboard.....	37
2.3	Arduino Uno R3	38
2.3.1	Μνήμη Arduino	40
2.3.2	Ακροδέκτες Arduino.....	41
2.4	Τεχνολογία Near Field Communication	43

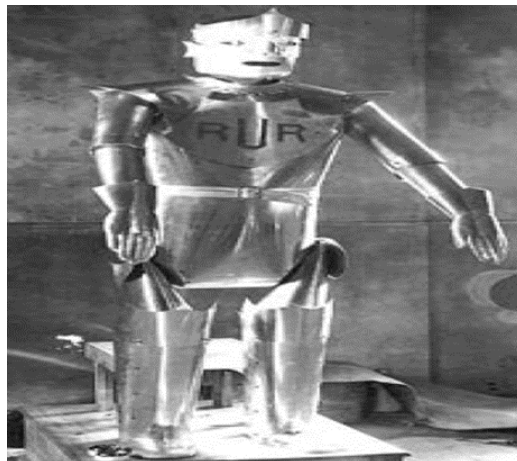
2.4.1	Τεχνολογία Radio Frequency Identification (RFID).....	44
2.4.2	RFID- RC522 Module.....	46
3	Κινηματική Ανάλυση	49
3.1	Βασικοί ορισμοί κινηματικής ανάλυσης.....	49
3.2	Βήματα κινηματικής ανάλυσης	51
3.3	Εύρεση Θέσης.....	52
3.3.1	Σχεδιασμός κινηματικού διαγράμματος	52
3.3.2	Υπολογισμών πινάκων περιστροφής, μετατόπισης και ομογενούς μετασχηματισμού	54
3.3.3	Εύρεση σχέσεων.....	58
3.3.4	Εύρεση Προσανατολισμού	62
4	Λογισμικό	63
4.1	Matlab	63
4.2	CoppeliaSim	64
4.3	Arduino IDE.....	67
4.3.1	Βασική Δομή Προγράμματος.....	69
4.3.2	Συνάρτηση ορισμού θυρών εισόδου –εξόδου και συνάρτηση χρόνου	71
4.3.3	Συναρτήσεις ψηφιακής εισόδου - εξόδου ρεύματος.....	71
4.3.4	Συναρτήσεις αναλογικής εισόδου - εξόδου ρεύματος.....	72
5	Συμπεράσματα – Μελλοντικές Βελτιώσεις	73
	Βιβλιογραφία	75
	Παράρτημα I Functions.....	78
	Παράρτημα II Κώδικας	80

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ

Γενικά το ρομπότ είναι ένα μηχάνημα το οποίο προγραμματίζεται για να εκτελέσει κάποια εργασία. Η εργασία αυτή είτε αφορά την φυσική δραστηριότητα, όπως για παράδειγμα την μετακίνηση ή τον χειρισμό αντικειμένων, είτε αφορά την διαδικασία λήψης αποφάσεων. Στο χώρο της επιστήμης ως ρομπότ μπορούν να θεωρηθούν οι μηχανές οι οποίες ανεξαρτήτως της εμφάνισης τους, έχουν την δυνατότητα να διαφοροποιούν το περιβάλλον με το οποίο αλληλοεπιδρούν, μέσω κανόνων και δεδομένων τα οποία αποκτώνται από τα αισθητήρια με τα οποία είναι το ρομπότ εφοδιασμένο. Σήμερα η χρήση των ρομπότ αφορά την εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών υψηλής ακριβείας στην βαριά βιομηχανία και στην επιστημονική έρευνα που παλαιότερα δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθούν από το ανθρώπινο δυναμικό. Στην επιστημονική κοινότητα η ρομποτική είναι εκείνος ο κλάδος που ασχολείται με την θεωρία, την σύλληψη, τον σχεδιασμό και την εφαρμογή των ρομπότ. Σήμερα η ρομποτική έχει οριστεί ως η επιστήμη η οποία μελετά την ευφυή διασύνδεση της αντίληψης με την δράση.

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο όρος ρομπότ χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1921 από τον Karel Capek που ήταν ένας Τσεχοσλάβος θεατρικός συγγραφέας στο έργο του «Rossum's Universal Robots». Ουσιαστικά η λέξη ρομπότ απορρέει από την τσέχικη λέξη «robota», που η σημασία της είναι «εργάτης».



Εικόνα 1.1 : Το πρώτο ρομπότ 1921 [\(πηγή\)](#)

Λίγο αργότερα η παραγωγική διαδικασία στις βιομηχανίες μαζικής παραγωγής άρχισε να αυτοματοποιείται με αποτέλεσμα να αντικαθιστά το ανθρώπινο δυναμικό με πιο εξειδικευμένες μηχανές οι οποίες εκτελούσαν μια προδιαγεγραμμένη σειρά εργασιών. Σκοπός αυτής την διαδικασίας η οποία αναπτύχθηκε τον 20^ο αιώνα ήταν η αύξηση της παραγωγικότητας με ταυτόχρονη βελτίωση την ποιότητας και αύξηση του κέρδους των βιομηχανιών. Μέσα στον ίδιο αιώνα η τεχνολογία των υπολογιστών αναπτύσσεται ραγδαία και εισέρχεται στον χώρο της αυτοματοποιημένης βιομηχανίας με επαναπρογραμματιζόμενες μηχανές. Την ίδια περίοδο περίπου δημιουργούνται τα πρώτα βιομηχανικά ρομπότ τα οποία αντικαθιστούν τον άνθρωπο σε εργασίες χειρισμού. Παρακάτω ακολουθεί ένα ιστορικό χρονοδιάγραμμα για την ανάπτυξη της ρομποτικής και της ρομποτικής χειρουργικής [1] :

- **1938:** Δύο Αμερικάνοι ο Willard Pollard και Harold Roselund σχεδίασαν τον πρώτο προγραμματιζόμενο μηχανισμό βαφής με σπρέι για τοίχους.
- **1950:** Γράφεται το βιβλίο ‘‘I, Robot’’ από τον Isaac Asimov , το οποίο απαρτίζεται από ιστορίες αναφορικά με τα ρομπότ .
- **1951:** Σχεδιάζεται στην Γαλλία ο πρώτος αρθρωτός βραχίονας από τον Αμερικανό μηχανικό Raymond Goertz για την Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας.
- **1954:** Ο Αμερικάνος George Devol σχεδίασε το πρώτο προγραμματιζόμενο βιομηχανικό ρομπότ και ονομάστηκε ‘‘Πατέρας της Ρομποτικής ‘’.
- **1959:** Δημιουργήθηκε η πρώτη υποβοηθούμενη από κομπιούτερ Σερβομηχανική κατασκευή.
- **1961 :** Η εταιρεία Unimation κατασκευάζει και θέτει ταυτόχρονα σε λειτουργία το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ.
- **1968 :** Κατασκευάζεται το ρομπότ Shakey από το Κέντρο Τεχνητής Νοημοσύνης του Ινστιτούτου Έρευνας του Στάνφορντ (SRI). Ο Shakey

ελέγχονταν από τεχνητή νοημοσύνη και μπορούσε να εκτελέσει αυτόνομες ενέργειες.

- **1970** : Σχεδιάζεται ο πρώτος ηλεκτρικά κινούμενος βραχίονας με 6 βαθμούς ελευθερίας από τον καθηγητή Victor Scheinman
- **1971** : Γίνεται ίδρυση του Συνδέσμου Ιαπωνικών Βιομηχανικών Ρομπότ
- **1972** : Αναπτύσσεται ο πρώτος καρτεσιανός ρομποτικός βραχίονας 7565 από την εταιρεία IBM
- **1974** : Σχεδιάζεται από τον καθηγητή Victor Scheinman ο Vicarm , ο οποίος είναι ένας βραχίονας κατασκευασμένος για βιομηχανικές εφαρμογές και ελέγχεται από μικροελεγκτή.
- **1978** : Η General Motors υπογράφει συμβόλαιο με την Unimation η οποία αναπτύσσει την πρώτη πλήρως προγραμματιζόμενη μηχανή συναρμολόγησης PUMA.
- **1982**: Υπογράφεται συμφωνία από την General Electric με την VW και την Hitachi με σκοπό την πώληση των ρομπότ τους στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.
- **1993** : Έγινε χρήση του AESOP από την εταιρεία Computer Motion που ήταν το πρώτο ρομπότ στην ενδοσκοπική χειρουργική και αναγνώριζε φωνητικές εντολές.
- **1998** : Πραγματοποιήθηκε η πρώτη πλήρης ενδοσκοπική ρομποτική επέμβαση με το σύστημα Zeus από την εταιρεία Computer Motion.
- **1999** : Την χρονιά αυτή δημιουργήθηκαν ολοκληρωμένα ημιαυτόνομα χειρουργικά συστήματα ,τα οποία εκτελούσαν ορθοπεδικές και νευρολογικές επεμβάσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ήταν το NeuroMate. Παράλληλα τον

Οκτώβριο του 1999 πραγματοποιείται η πρώτη επέμβαση αποκατάστασης μιτροειδούς βαλβίδας καρδιάς κλειστού θώρακα από έναν Γερμανό ιατρό με το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα DaVinci.

- **2000** : Στις 13 Μαρτίου πραγματοποιήθηκαν επτά ενδοσκοπικές παιδιατρικές επεμβάσεις με το ρομποτικό σύστημα Zeus από τον ιατρό Francois Labore.
- **2001** : Τον Σεπτέμβριο υλοποιήθηκε η πρώτη υπερατλαντική τηλεχειρουργική επέμβαση από το ρομποτικό σύστημα SOCRATES.
- **2018** : Η τελευταία εξέλιξη του ρομποτικού συστήματος Da Vinci η οποία ήταν :Da Vinci Sp

1.2 ΜΕΡΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Ένα ρομποτικό σύστημα αποτελείται από τα παρακάτω μέρη τα οποία συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν την τελική μορφή του ρομπότ. Τα μέρη αυτά είναι [2]:

- **Βάση του ρομπότ** : η βάση είναι το τμήμα του ρομπότ το οποίο είναι στερεωμένο στον περιβάλλοντα χώρο εργασίας . Στην βάση του ρομποτικού βραχίονα είναι συνδεδεμένοι οι σύνδεσμοι και οι αρθρώσεις .
- **Σύνδεσμοι**: οι σύνδεσμοι είναι στερεά σώματα, τα οποία απαρτίζουν το σκελετικό μέρος του ρομπότ.
- **Αρθρώσεις** : οι αρθρώσεις είναι κάποιοι μηχανισμοί οι οποίοι επιτρέπουν την σχετική κίνηση μεταξύ των συνδέσμων.
- **Ενεργοποιητές**: οι ενεργοποιητές είναι κάποια εξαρτήματα τα οποία ελέγχουν τις αρθρώσεις. Οι ενεργοποιητές είναι ουσιαστικά οι “μύες” των χειριστών και αυτοί που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι οι σερβοκινητήρες, οι βηματικοί, πνευματικοί και υδραυλικοί κινητήρες.

- **Αισθητήρες :** οι αισθητήρες είναι εξαρτήματα τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για να συλλέξουν πληροφορίες για την εσωτερική κατάσταση του ρομπότ αλλά και για το εξωτερικό του περιβάλλον. Οι αισθητήρες οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι στο ρομπότ , αποστέλλουν δεδομένα για κάθε σύνδεσμο στον ελεγκτή, ο οποίος ρυθμίζει την διάταξη του ρομπότ.
- **Τελικός επενεργητής :** ο τελικός επενεργητής είναι το εξάρτημα το οποίο είναι συνδεδεμένο στον τελευταίο σύνδεσμο του ρομπότ ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον χειρισμό αντικειμένων , για διάφορες συνδέσεις και άλλες απαιτούμενες εργασίες .
- **Ελεγκτής :** ο ελεγκτής είναι εκείνο το κομμάτι του ρομπότ το οποίο συλλέγει τις απαραίτητες πληροφορίες από τον υπολογιστή και ελέγχει τις κινήσεις των κινητήρων .
- **Επεξεργαστής :** ο επεξεργαστής κάνει τους απαραίτητους υπολογισμούς για τις κινήσεις των ρομπότ αλλά ταυτόχρονα ορίζει την απόσταση και την ταχύτητα με την οποία είναι απαραίτητο να κινηθούν οι σύνδεσμοι έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή τοποθεσία τους .

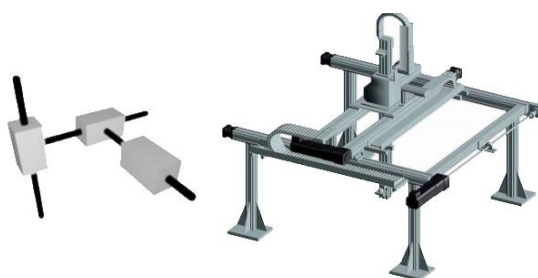
1.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΡΟΜΠΟΤ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ

Γενικά τα ρομπότ απαρτίζονται από μηχανικούς συνδέσμους και αρθρώσεις , οι οποίες ενώνουν τους συνδέσμους ανά δύο . Παρακάτω ακολουθεί ο διαχωρισμός των ρομπότ ανάλογα με το σύστημα συντεταγμένων του βραχίονα.

1.3.1 Καρτεσιανά Ρομπότ

Τα καρτεσιανά ή αλλιώς γραμμικά ρομπότ είναι βιομηχανικά ρομπότ των οποίων η διάταξη τους αποτελείται από τρεις πρισματικές αρθρώσεις και τρεις γραμμικούς άξονες , οι οποίοι βρίσκονται σε γωνία 90° μεταξύ τους. Πολλές φορές

ονομάζονται και ρομπότ γκάντρι όταν ο οριζόντιος άξονας τους στηρίζεται και στα δύο άκρα. Τις περισσότερες φορές τα ρομπότ αυτά έχουν μεγαλύτερο μέγεθος. Η συνήθης χρήση των καρτεσιανών ρομπότ είναι ως μηχανή αριθμητικού ελέγχου με υπολογιστή και γενικά τα χαρακτηριστικά τους δεν διαφέρουν σημαντικά από των εργαλειομηχανών υπολογιστικού αριθμητικού ελέγχου (computer numerical control machine). Με αυτόν τον τρόπο τα ρομπότ αυτά έχουν πολύ καλή διακριτική ικανότητα αλλά και επαναληψιμότητα όπως έχουν και οι εργαλειομηχανές υπολογιστικού αριθμητικού ελέγχου.



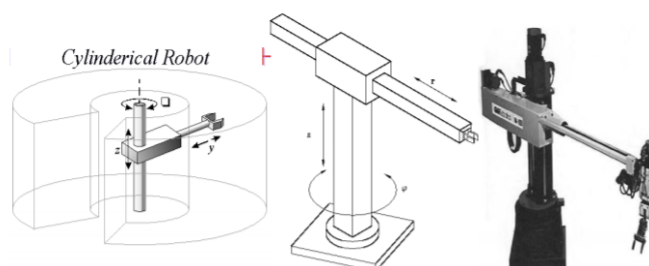
Εικόνα 1.2 : Κινηματικό διάγραμμα καρτεσιανού ρομπότ ([πηγή](#))

Γενικά ο τύπος των ρομπότ αυτών έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων. Αρχικά η απλουστευμένη μηχανική τους διάταξη , κάνει πιο απλό τον έλεγχο του ρομπότ και την επίλυση του βραχίονα. Επιπλέον ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι η σταθερότητα της διακριτικής ικανότητας θέσης την οποία δεν την έχουν τα μη καρτεσιανά ρομπότ. Πάραυτα οι βιομηχανίες δεν προτιμούν τα καρτεσιανά ρομπότ διότι δεν είναι καλή η μηχανική ευελιξία τους. Δηλαδή τα ρομπότ αυτά αδυνατούν να φθάσουν αντικείμενα που δεν είναι στο οπτικό πεδίο της βάσης τους όπως για παράδειγμα ένα αντικείμενο που βρίσκεται στο πάτωμα. Παράλληλα τα ρομπότ με περιστρεφόμενη βάση έχουν πιο μεγάλη ταχύτητα στο οριζόντιο επίπεδο σε αντίθεση με τα καρτεσιανά ρομπότ.

1.3.2 Κυλινδρικά Ρομπότ

Τα κυλινδρικά ρομπότ έχουν μια πιο σύνθετη διάταξη. Η ονομασία τους οφείλετε στο ότι ο χώρος που κινείται ο τελικός επενεργητής είναι κυλινδρικός. Το ρομπότ απαρτίζεται από έναν οριζόντιο βραχίονα στερεωμένο σε μια κατακόρυφη

κολώνα, η οποία στηρίζεται πάνω σε μια περιστρεφόμενη βάση. Δηλαδή ένα κυλινδρικό ρομπότ έχει μια περιστροφική άρθρωση για βάση και ακολουθούν δύο πρισματικές αρθρώσεις. Ο άξονας της περιστροφικής άρθρωσης είναι παράλληλος με τον άξονα της πρώτης πρισματικής άρθρωσης. Οι δύο πρισματικές αρθρώσεις σχηματίζουν γωνία 90° μεταξύ τους.

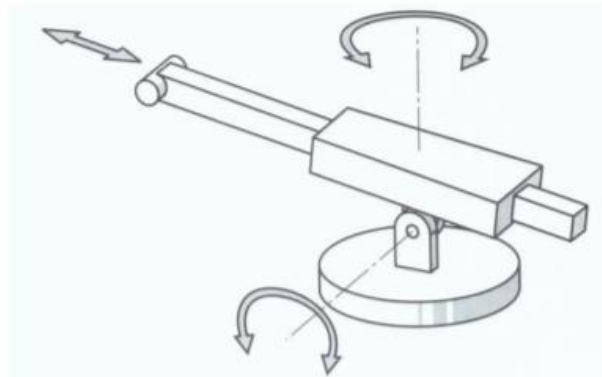


Εικόνα 1.3: Κυλινδρικό Ρομπότ (πηγή)

Ένα μειονέκτημα των ρομπότ αυτών είναι η διακριτική ικανότητα θέσης του θεωρούμενου κυλινδρικού ρομπότ γύρω από τον άξονα, η οποία είναι χειρότερη σε σχέση με τα καρτεσιανά ρομπότ. Σημαντικό πλεονέκτημά τους όμως είναι η μεγαλύτερη ταχύτητα στο άκρο του βραχίονα λόγω της περιστροφής του άξονα. Τέλος τα ρομπότ αυτά χρησιμοποιούνται για την συναρμολόγηση κομματιών, τον χειρισμό εργαλειομηχανής και την συγκόλληση μεγάλων κομματιών.

1.3.3 Σφαιρικά Ρομπότ

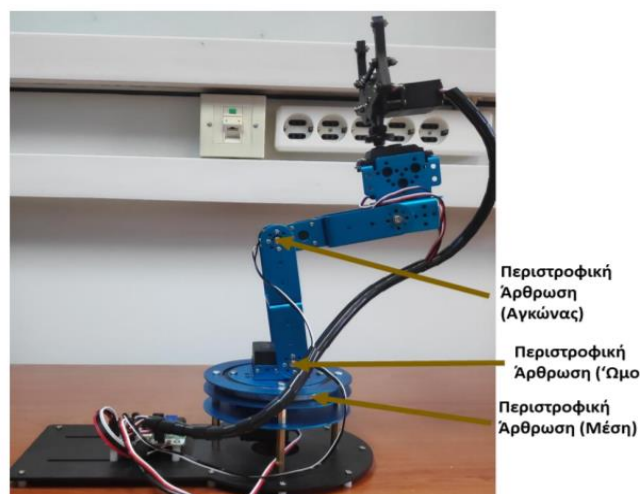
Τα σφαιρικά ρομπότ αποτελούνται από δύο περιστροφικές και μια πρισματική άρθρωση. Πιο συγκεκριμένα οι δύο πρώτες αρθρώσεις είναι περιστροφικές και οι άξονές τους σχηματίζουν γωνία 90° μεταξύ τους, ενώ η τρίτη άρθρωση είναι πρισματική και ο άξονας της είναι κάθετος στον άξονα περιστροφής. Το σημαντικότερο μειονέκτημα των ρομπότ αυτών είναι η μικρή διακριτική ικανότητα θέσης των δύο περιστροφικών αξόνων. Παράλληλα όμως έχουν και δύο σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα καρτεσιανά και τα κυλινδρικά ρομπότ. Πρώτον έχουν υψηλή ταχύτητα κίνησης και δεύτερον έχουν υψηλή ευελιξία.



Εικόνα 1.4: Σφαιρικό Ρομπότ ([πηγή](#))

1.3.4 Ανθρωπόμορφα ρομπότ

Τα ανθρωπομορφικά ρομπότ αποτελούνται από τρεις διαδοχικές περιστροφικές αρθρώσεις . Ο άξονας περιστροφής της 1^{ης} άρθρωσης είναι κατακόρυφος και ταυτόχρονα κάθετος στους άξονες περιστροφής της 2^{ης} και 3^{ης} άρθρωσης, οι οποίοι βρίσκονται σε παραλληλία μεταξύ τους . Με το ρομπότ αυτό θα ασχοληθεί το κατασκευαστικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, το οποίο στην πραγματικότητα αντιπροσωπεύει έναν ανθρώπινο βραχίονα και οι τρεις αρθρώσεις αντιστοιχούν στην μέση, τον ώμο και τον αγκώνα ενός ανθρώπου αντίστοιχα.



Εικόνα 1.5: Ανθρωπομορφικό Ρομπότ ([πηγή](#))

1.3.5 Ρομπότ τύπου SCARA

Τα ρομπότ τύπου SCARA μοιάζουν με τα σφαιρικά ρομπότ , αλλά έχουν κάποιες σημαντικές διαφορές. Το κυρίως σώμα τους αποτελείται από δύο περιστροφικές αρθρώσεις και μια πρισματική, οι οποίες είναι έτσι τοποθετημένες ώστε οι άξονες κίνησης να βρίσκονται σε παραλληλία μεταξύ τους .



Εικόνα 1.6 : Ρομπότ τύπου SCARA [\(πηγή\)](#)

Τα ρομπότ αυτά εμφανίζουν ελαστικότητα στον οριζόντιο άξονα , αλλά και δυσκαμψία στον κάθετο άξονα τους . Παράλληλα όταν αυξάνεται η απόσταση από τον άξονα της πρώτης άρθρωσης , μειώνεται η ακρίβεια τοποθέτησης του καρπού. Η κύρια χρήση των ρομπότ αυτών είναι για εργασίες συναρμολόγησης.

1.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ

Στον τομέα της ιατρικής, ο ρόλος της ρομποτικής είναι καθοριστικός, καθώς έδωσε λύσεις σε αρκετά προβλήματα. Μια σημαντική εφαρμογή είναι η εισαγωγή των νοσοκομειακών ρομπότ στην ιατρική τα οποία εκτελούν αρκετές νοσοκομειακές εργασίες. Έπειτα είναι τα εργαστηριακά ρομπότ τα οποία πραγματοποιούν εργαστηριακές εξετάσεις και τέλος υπάρχουν τα ρομπότ αποκατάστασης τα οποία διαχωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με την πάθηση.

1.4.1 Νοσοκομειακά ρομπότ

Λόγω του μεγάλου φόρτου εργασίας των νοσοκομειακών μονάδων και λαμβάνοντας υπόψη ότι το προσωπικό στα περισσότερα νοσοκομεία δεν επαρκεί, χρησιμοποιούνται κινητά ρομπότ τα οποία εκτελούν ποικίλες εργασίες. Αρχικά μπορούν να μεταφέρουν φάρμακα μέσα στα νοσοκομεία, να βοηθήσουν στην μεταφορά ασθενών και να σηκώσουν βαριά φορτία ή και πιο ελαφριά. Στα ρομπότ αυτά όμως υπάρχει η δυσκολία του να εντοπιστεί η θέση τους και να οδηγηθούν στον επιθυμητό προορισμό [4].



Εικόνα 1.7: Ρομπότ νοσοκόμα σε νοσοκομείο στο Βέλγιο ([πηγή](#))



Εικόνα 1.8 Νοσοκομειακό ρομπότ ακολουθεί μαγνητικό πεδίο ([πηγή](#))

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα υπήρξαν δύο λύσεις, οι οποίες όμως είχαν σημαντικά μειονεκτήματα. Αρχικά η πρώτη λύση ήταν η κίνηση του ρομπότ να πραγματοποιείται πάνω σε κάποιες σταθερές ράγες οι οποίες θα ήταν εγκατεστημένες στο εσωτερικό του νοσοκομείου. Αυτό όμως είχε σαν μειονέκτημα ότι θέτει σε κίνδυνο τους ασθενείς και το προσωπικό αλλά ταυτόχρονα δίνει στο ρομπότ μικρότερη ευελιξία. Η δεύτερη λύση είναι το ρομπότ να κινείται πάνω σε μαγνητικό πεδίο το οποίο δημιουργείται από ένα ηλεκτροφόρο σύρμα τοποθετημένο κάτω από το δάπεδο του νοσοκομείου, όμως και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μικρή ευελιξία του ρομπότ. Πλέον λοιπόν χρησιμοποιούνται αισθητήρες οι οποίοι προσδιορίζουν την θέση στον χώρο και ηλεκτρονικοί χάρτες οι οποίοι ελέγχουν την πλοήγηση του ρομπότ.

1.4.2 Εργαστηριακά ρομπότ

Τα εργαστηριακά ρομπότ έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιούν αρκετά μεγάλο αριθμό τεστ όπως είναι οι εξετάσεις αίματος για τον ιό HIV και ταυτόχρονα εξοικονομούν χρόνο στους επαγγελματίες υγείας ώστε να εκτελούν άλλες εργασίες . Κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η εκτέλεση επαναληπτικών εργασιών σε αρκετά υψηλούς ρυθμούς , η αξιοπιστία τους και η συνεχόμενη λειτουργία τους χωρίς “κούραση”.

1.4.3 Ρομπότ Αποκατάστασης

Γενικά τα ρομπότ αποκατάστασης είναι ρομποτικά συστήματα τα οποία βοηθούν άτομα με ειδικές ανάγκες και χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με την πάθηση [5] :

- Ρομποτικά συστήματα φυσιοθεραπείας : Το κυρίως σώμα των ρομπότ αυτών αποτελείται από ρομποτικούς βραχίονες ειδικού σχεδιασμού οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να θέτουν σε κίνηση το άκρο του ασθενούς που είναι σε δυσλειτουργία μέσω ενός προγράμματος. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ρομπότ αυτών είναι ότι δεν αλλάζει η ένταση της θεραπείας όσο και αν διαρκεί αλλά ταυτόχρονα ελαχιστοποιείται η παρέμβαση του θεράποντα ιατρού με αποτέλεσμα ο ασθενής να εξοικονομεί χρήματα.
- Ρομποτικά συστήματα για την βοήθεια κίνησης σε άτομα με κινητικές βλάβες: Τα συστήματα αυτά είναι αναπηρικές καρέκλες οι οποίες έχουν άλλοτε μικρότερο και άλλοτε μεγαλύτερο βαθμό αυτονομίας. Ανάλογα με τον βαθμό αυτόν παρέχονται και οι κατάλληλες διευκολύνσεις στους ασθενείς όπως για παράδειγμα η αναπηρική καρέκλα να ανιχνεύει εμπόδια και να τα αποφεύγει ώστε να διευκολύνει την κίνηση των ατόμων αυτών . Ένα παράδειγμα τέτοιου ρομποτικού συστήματος είναι η αναπηρική καρέκλα VTT η οποία είχε σχεδιαστεί στην Φιλανδία και αποτελούνταν από αισθητήρες υπερήχων για την αποφυγή εμποδίων , αισθητήρες φωτός ώστε να

ανιχνεύονται κενά και πτώσεις και τέλος διαθέτε ηλεκτρονική πυξίδα για την διευκόλυνση πλοήγησης.



Εικόνα 1.9 : Αναπηρική καρέκλα VTT [\(πηγή\)](#)

- Ρομποτικό σύστημα για την υποβοήθηση κίνησης των ασθενών με εξασθενημένη όραση : Ένα τέτοιο ρομποτικό σύστημα είναι το PAM-AID το οποίο αποτελείται από έναν βασικό αισθητήρα Laser , ο οποίος έχει την δυνατότητα να ανιχνεύει εμπόδια. Η λειτουργία του μπορεί να είναι είτε ενεργητική, είτε παθητική. Στην πρώτη περίπτωση ο αισθητήρας παρεμβαίνει στους τροχούς του PAM-AID οδηγώντας το σε φρενάρισμα ή στρίψιμο , ενώ στην δεύτερη περίπτωση ενημερώνει τον ασθενή για πιθανά εμπόδια στην πορεία του.



Εικόνα 1.10: Ρομποτικό Σύστημα PAM-AID [\(πηγή\)](#)

1.5 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ως χειρουργικό ρομπότ ορίζεται το υπολογιστικό σύστημα το οποίο αποτελείται από βραχίονες οι οποίοι είναι μηχανοκίνητοι και διαθέτουν αισθητήρες, με σκοπό τον προγραμματισμό του για κίνηση, τοποθέτηση εργαλείων και πραγματοποίηση πολλαπλών χειρουργικών ελιγμών. Τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα μπορούν να διαχωριστούν σε απλά και πιο πολύπλοκά. Παρακάτω ακολουθούν κάποια σημαντικά χειρουργικά ρομπότ και από τις δύο κατηγορίες τα οποία είναι το Aesop, Zeus και Da Vinci

1.5.1 Σύστημα Aesop

Το σύστημα Aesop ήταν το πρώτο χειρουργικό ρομπότ που πήρε έγκριση από την FDA το 1994 και ήταν πολύ βοηθητικό στα χειρουργεία και συγκεκριμένα σε ενδοσκοπικές εγχειρίσεις. Λίγο αργότερα, το 1996 εισήχθη το AESOP 2000 το οποίο είχε επιπλέον και την λειτουργία της φωνητικής εντολής, ενώ το 1998 εισήχθη στην βιομηχανία των ρομπότ το AESOP 3000 το οποίο είχε επτά βαθμούς ελευθερίας και ήταν πιο κοντά στην λειτουργία του ανθρώπινου χεριού. Πιο αναλυτικά ακολουθώντας φωνητικές εντολές από τον χειρουργό πραγματοποιεί τους ελιγμούς μιας μικροσκοπικής κάμερας στο εσωτερικό του ανθρώπινου οργανισμού, με τελικό σκοπό να μιμηθεί τις κινήσεις του καρπού του χειριστή. Με αυτόν τον τρόπο το Aesop κατάφερε να μπορεί να χειριστεί 28 χειρουργικά αντικείμενα και να ‘‘μηδενίσει’’ το τρέμουλο που υπήρχε στο χέρι του χειρουργού σε επεμβάσεις με μεγάλη διάρκεια. [6]



Εικόνα 1.11: Ρομποτικό Σύστημα Aesop ([πηγή](#))

Αρχικά όταν ανακαλύφθηκε χρησιμοποιούνταν ως βοηθός του χειρουργού σε λαπαροσκοπικές επεμβάσεις, αλλά λίγο αργότερα ήταν το πρώτο χειρουργικό ρομπότ το οποίο απέκτησε την ικανότητα να εκτελεί ‘‘σόλο’’ λαπαροσκοπικές επεμβάσεις . Μετά από έρευνες ανακαλύφθηκε ότι πραγματοποιήθηκαν 24 ‘‘σόλο’’ λαπαροσκοπικές επεμβάσεις με το σύστημα AESOP και πιο συγκεκριμένα λαπαροσκοπική επέμβαση βουβωνοκήλης, χολοκυστεκτομή και θολοπλαστική κατά Nissen , με σταθερότητα και χωρίς καμία καθυστέρηση στον χρόνο της επέμβασης.

1.5.2 Σύστημα Zeus

Το ρομποτικό σύστημα Zeus εισήχθη το 1998 από την εταιρεία Computer Motion και αποτελούσε μια εξελιγμένη μορφή του ρομποτικού συστήματος Aesop. Η δομή του είναι σχετικά απλή καθώς αποτελείται από τρία βασικά μέρη : μια εργονομική κονσόλα ελέγχου του χειρουργού, 3 ρομποτικούς βραχίονες οι οποίοι εκτελούν κινήσεις με βάση την κίνηση του χεριού του χειρουργού και τέλος την βασική μονάδα κεντρικού ελέγχου που είναι ο ελεγκτής ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Κατά την διάρκεια της επέμβασης, ο χειρουργός είναι καθισμένος μπροστά από την χειρουργική κονσόλα και από εκεί ελέγχει τους βραχίονες ως εξής : α) τον κεντρικό βραχίονα ο οποίος λειτουργεί ως ενδοσκόπιο, τον χειρίζεται μέσω φωνητικών εντολών και έχοντας επιπλέον την δυνατότητα δισδιάστατης ή τρισδιάστατης απεικόνισης. β) τους άλλους δύο βραχίονες τους χειρίζεται μέσω ειδικών μοχλών που βρίσκονται στην κονσόλα [6].



Εικόνα 1.12: Ρομποτικό Σύστημα Zeus ([πηγή](#))

Λόγω της ικανότητας του ρομποτικού συστήματος να ψηφιοποιεί τις κινήσεις των χεριών του χειρουργού και επομένως να ελαχιστοποιεί το τρέμουλο , χρησιμοποιήθηκε για επεμβάσεις μικροχειρουργικής με πολύ μεγαλύτερη σταθερότητα και αξιοπιστία. Επιπλέον πήρε την έγκριση από τον FDA το 2001 και είναι πιστοποιημένο κατά CE για την ευρωπαϊκή αγορά.

Η πρώτη εφαρμογή του ήταν το 1998 όταν ο Dr. Frank Damiano πραγματοποίησε την πρώτη αναστόμωση σάλπιγγας στις Η.Π.Α. Στις 24 Σεπτεμβρίου το 1999 ο Dr. Douglas Boyd στον Καναδά ολοκλήρωσε με επιτυχία την πρώτη πλήρη ενδοσκοπική ρομποτική επέμβαση αορτοστεφανιαίας παράκαμψης σε παλλόμενη καρδιά. Στην συνέχεια το Zeus χρησιμοποιήθηκε σε ποικίλες χειρουργικές ειδικότητες όπως η νευροχειρουργική, η καρδιοχειρουργική, η γενική χειρουργική, η ουρολογία, η χειρουργική κατά της νοσογόνου παχυσαρκίας κ.α.

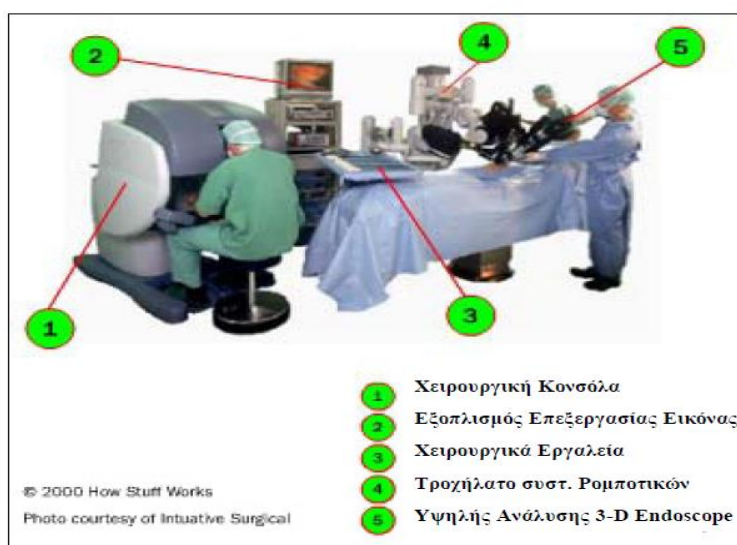
1.5.3 Σύστημα Da Vinci

Το Υπουργείο Άμυνας των Η.Π.Α σε συνδυασμό με ένα πρόγραμμα της NASSA εισήγαγαν στην βιομηχανία των ρομποτικών χειρουργικών μηχανημάτων , το ρομποτικό σύστημα Da Vinci το οποίο αρχικά χρησιμοποιήθηκε στο στρατιωτικό πεδίο της μάχης. Πιο αναλυτικά χρησιμοποιήθηκε με σκοπό να εκτελεί χειρουργικές επεμβάσεις σε στρατιώτες ή αστροναύτες από απόσταση. Το 1995 η εταιρεία Intuitive Surgical αγόρασε τα δικαιώματα από τα εργαστήρια ερευνών του ινστιτούτου του Στάνφορντ και μαζί με εξειδικευμένες ομάδες και χειρουργούς έκαναν το Da Vinci ασφαλή και αξιόπιστο για διάφορες χειρουργικές επεμβάσεις. Παράλληλα είναι το πρώτο σύστημα ρομποτικής χειρουργικής το οποίο το 1997 είχε λάβει έγκριση από τον Αμερικανικό Οργανισμό Φαρμάκων και Υλικών (FDA). [6]

Η δομή του ρομποτικού χειρουργικού συστήματος Da Vinci απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα και περιέχει τα εξής μέρη: [7]

- 1) Μια εργονομικά σχεδιασμένη κονσόλα, μέσω της οποίας ο χειρουργός έχει την δυνατότητα να ελέγχει ολόκληρο το ρομποτικό σύστημα.

- 2) Ένα οπτικό σύστημα υψηλών προδιαγραφών , το οποίο περιλαμβάνει μια οθόνη υψηλής ευκρίνειας ,δύο βιντεοκάμερες, σύστημα αυτόματης ρύθμισης εικόνας και ένα σύνολο από σύγχρονους επεξεργαστές εικόνας τα οποία προσφέρουν στον χειρουργό ένα τρισδιάστατο χειρουργικό πεδίο.
- 3) Ένα μεγάλο εύρος ενδοσκοπικών εργαλείων τα οποία είναι σχεδιασμένα με 7 βαθμούς ελευθερίας κινήσεων , γεγονός που τα κάνει να αναπαράγουν τις κινήσεις του ανθρώπινου καρπού.
- 4) Μία τροχήλατη συσκευή η οποία περιέχει τρεις ή τέσσερις ρομποτικούς βραχίονες (δύο ή τρεις βραχίονες με αντικείμενα και έναν ενδοσκοπικό βραχίονα).
- 5) Ένα σύστημα απεικόνισης το οποίο περιλαμβάνει ένα υψηλής τρισδιάστατης ανάλυσης ενδοσκόπιο.



Εικόνα 1.13: Ρομποτικό Σύστημα Da Vinci (πηγή)

Η εταιρία Intuitive από το 1999-2018 έχει κατορθώσει να κατασκευάσει έξι μοντέλα Da Vinci τα οποία είναι Da Vinci, Da Vinci S, Da Vinci Si, Da Vinci Si-e ,Da Vinci Xi ,Da Vinci Sp. Τα μοντέλα αυτά διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την τεχνολογία που έχουν ενσωματωμένη και φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1: Κατηγορίες Da Vinci

Έτος Κατασκευής	Μοντέλο	Τεχνολογία
1999	Da Vinci	<ul style="list-style-type: none">❖ Τρεις βραχίονες❖ 2003 εγκατάσταση τέταρτου βραχίονα
2006	Da Vinci S	<ul style="list-style-type: none">❖ 3D HD όραση
2009	Da Vinci Si	<ul style="list-style-type: none">❖ Δυνατότητα διπλής χειρουργικής κονσόλας❖ Διαθέτει προσομοιωτή (skills simulator)❖ Υποστηρίζει την τεχνολογία Firefly❖ Απαιτείται μια τομή για την είσοδο χειρουργικών εργαλείων❖ Τεχνολογία EndoWist❖ Επικοινωνία με διαγνωστικά μηχανήματα (Networking)
2009	Da Vinci Si-e	<ul style="list-style-type: none">❖ Ίδια τεχνολογία με τον Da Vinci Si και λειτουργία σε πιο εξειδικευμένες επεμβάσεις
2014	Da Vinci Xi	<ul style="list-style-type: none">❖ Καλύτερη 3D HD όραση❖ Τετραπλή πρόσβαση❖ Διαδραστική οθόνη setup
2018	Da Vinci Sp	<ul style="list-style-type: none">❖ Single Port εύκαμπτα αντικείμενα(snake tools)

1.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ

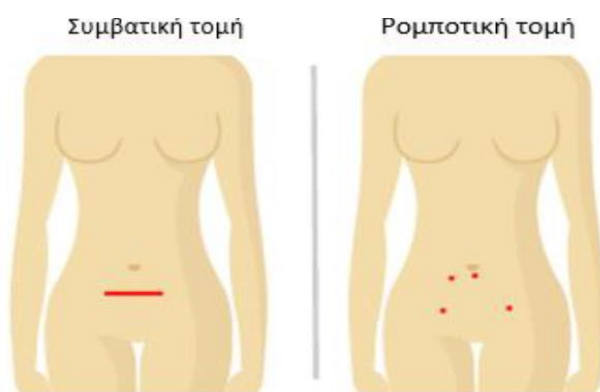
Η ρομποτική διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο και στον τομέα της χειρουργικής όπου υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία ρομποτικών συστημάτων. Οι εφαρμογές οι οποίες θα αναφερθούν στην συνέχεια είναι στην γυναικολογία, παιδιατρική, καρδιοχειρουργική και νευροχειρουργική.

1.6.1 Εφαρμογές στην γυναικολογία

Στον τομέα της γυναικολογίας, ο πρώτος που χρησιμοποίησε την ρομποτική ήταν ο Mettler ο οποίος χρησιμοποιώντας το AESOP πραγματοποίησε 50 γυναικολογικές επεμβάσεις. Γενικά το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο ρομποτικό χειρουργικό σύστημα στην γυναικολογία είναι το Da Vinci το οποίο έλαβε την έγκριση του από την διεύθυνση τροφίμων και φαρμάκων των Η.Π.Α για εφαρμογές στην

γυναικολογία το 2005. Οι πιο συνηθισμένες χειρουργικές επεμβάσεις που γίνονται με το σύστημα Da Vinci είναι η αδενομύωση, μώματα μήτρας, καρκίνος του ενδομήτριου, υπερπλασία του ενδομήτριου και αυχενική ενδοεπιθηλιακή νεοπλασία.

Η πιο συνηθισμένη ρομποτική χειρουργική επέμβαση στην γυναικολογία είναι η υστερεκτομή, η οποία είναι η μερική ή ολική εξαίρεση της μήτρας από την κοιλιακή ή κολπική οδό. Κατά την επέμβαση αυτήν χρειάζονται τέσσερις μικροτομές σε σχέση με την συμβατική επέμβαση κατά την οποία γίνεται μια τομή 25 cm διαμήκους του κατώτατου κοιλιακού χώρου. Οι πρώτες ρομποτικές επεμβάσεις υστερεκτομής πραγματοποιήθηκαν μεταξύ Ιανουαρίου- Σεπτεμβρίου 2001 και πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν 11 ρομποτικές επεμβάσεις με το σύστημα Da Vinci [8].



Εικόνα 1.14 :Επέμβαση υστερεκτομής αριστερά με την συμβατική μέθοδο και δεξιά με την ρομποτική μέθοδο ([πηγή](#))

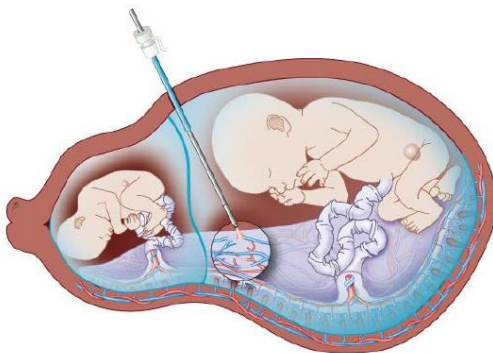
Μία ακόμη επέμβαση η οποία πραγματοποιείται με ρομποτικό χειρουργικό σύστημα είναι η αντιμετώπιση του καρκίνου του μαστού. Σε πρώτο στάδιο δηλαδή πριν αφαιρεθούν οι όγκοι από τον μαστό, τα καρκινικά κύτταρα ακτινοβολούνται χωρίς όμως να καταστρέφονται ή να επηρεάζονται τα υγιή. Η ακτινοβολήση γίνεται μέσω του Cyber Knife σε συνδυασμό με έναν φορητό γραμμικό επιταχυντή η λειτουργία του οποίου είναι να παράγει δέσμες ηλεκτρονίων 3-9 MeV και να στοχεύει με αρκετά μεγάλη ακρίβεια τα καρκινικά κύτταρα του μαστού. Το Cyber Knife σε αυτήν την περίπτωση λειτουργεί σαν βομβαρδιστής καρκινικών κυττάρων με την βοήθεια της ακτινοβολίας.



Εικόνα 1.15 : CyberKnife της εταιρίας Accuracy Inc ([πηγή](#))

1.6.2 Εφαρμογές στην παιδιατρική

Η ρομποτική χειρουργική στον τομέα της παιδιατρικής χρησιμοποιείται πλέον ολοένα και περισσότερο και είναι κατάλληλη διότι στα παιδιά χρειαζόμαστε όσο το δυνατόν μικρότερες τομές. Η αρχή έγινε το 2001 από το νοσοκομείο παιδών της Βοστώνης (BCH) το οποίο χρησιμοποίησε χειρουργικό ρομπότ ώστε να πραγματοποιήσει μια έρευνα πάνω στην εμβρυική ρομποτική χειρουργική, με απώτερο σκοπό την μείωση των εκτρώσεων, των ενδομήτριων θανάτων και των γεννήσεων παιδιών με νοητική αναπηρία. Επιπλέον ένα σημαντικό εργαλείο το οποίο βοηθάει τους χειρουργούς σε τέτοιου είδους επεμβάσεις είναι τα εύκαμπτα μαλακά ρομποτικά ενδοσκόπια τα οποία έχουν την δυνατότητα της ασφαλούς προσέγγισης ενός μικρόσωμου ασθενούς [8].



Εικόνα 1.16: Ρομποτική εμβρυική χειρουργική ([πηγή](#))



Εικόνα 1.17: Ρομποτικό ενδοσκόπιο ([πηγή](#))

Σύμφωνα με μια έρευνα που έγινε στο Νοσοκομείο Chelsea and Westminster στο Λονδίνο και συγκεκριμένα στο τμήμα Παιδιατρικής Χειρουργικής η οποία ήταν βασισμένη σε δεδομένα μέχρι τον Οκτώβριο του 2007 από ρομποτικές επεμβάσεις σε παιδιά εξήχθησαν τα παρακάτω αποτελέσματα. Η έρευνα αφορούσε 566 ασθενείς, όπου οι 53 εγχειρίστηκαν είτε με ανοιχτή είτε με συμβατική λαπαροσκοπική τεχνική, ενώ οι υπόλοιποι 513 εγχειρίστηκαν με την ρομποτική μέθοδο. Οι πιο κοινές επεμβάσεις ήταν η πυελοπλαστική, η θολοπλαστική και η απολίνωση ανοικτού αρτηριακού πόρου. Ενώ παράλληλα τα πιο κοινά ρομποτικά συστήματα ήταν κατά κύριο λόγο το Da Vinci και το Zeus. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι επεμβάσεις ολοκληρώθηκαν με επιτυχία και σε μειωμένο χρόνο, με ένα αρκετά μικρό ποσοστό επιπλοκών[10].

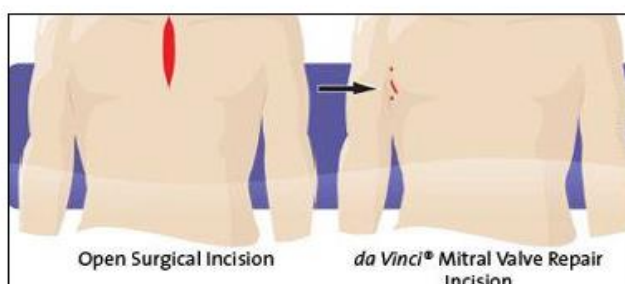
1.6.3 Εφαρμογές στην καρδιοχειρουργική

Τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη της ρομποτικής στον κλάδο της καρδιοχειρουργικής είναι αξιοσημείωτη. Από τις πιο σημαντικές εξελίξεις είναι η ανάπτυξη ελάχιστα επεμβατικών τεχνικών οι οποίες εμπεριέχουν την τεχνική MIDCAB, την στεφανιαία παράκαμψη χωρίς αντλία (OPCAB) και την χειρουργική βαλβίδων ελάχιστης πρόσβασης. Αργότερα αφού βελτιώθηκαν οι τεχνικές αυτές, Η ρομποτική τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε αρχικά για να βελτιστοποιήσει την τεχνολογία των ενδοκαρδιακών δομών με την βοήθεια του συστήματος AESOP το οποίο παρέιχε μια ενδοσκοπική κάμερα η οποία λειτουργούσε με φωνητικές εντολές από τον χειρουργό. Επιπροσθέτως τα ρομποτικά συστήματα Da Vinci και Zeus βοηθούν στον χειρισμό των χειρουργικών εργαλείων αλλά και στο μικρότερο μέγεθος των θωρακικών τομών. Επιπλέον κατασκευάστηκαν ρομποτικά μαγνητικά συστήματα με στόχο την σταθεροποίηση αρτηριακών καθετήρων που καταπραΰνουν αρρυθμίες και την κολπική μαρμαρυγή. Ένα από αυτά ήταν το Stereotaxis Magnetic Navigation System, το οποίο χρησιμοποιείται από το 2004 σε περισσότερες από 27 χώρες για την αντιμετώπιση καρδιακών παθήσεων και παράλληλα βοηθούσε τους ασθενείς στο να μην εκτίθενται σε μεγάλες δόσεις ακτινοβολίας [8].



Εικόνα 1.18 : Ρομποτικό Σύστημα Stereotaxis Magnetic Navigation System ([πηγή](#))

Ένα σημαντικό παράδειγμα είναι η αποκατάσταση της μιτροειδούς βαλβίδας, η οποία παλαιότερα γινόταν μέσω θωρακοτομής με παράλληλη μηχανική οξυγόνωση του ασθενούς. Τέτοιου είδους επεμβάσεις έχουν αρκετές δυσκολίες και αρκετές φορές έχουν ως αποτέλεσμα χειρουργικές ανακρίβειες και μεγάλους εγχειρητικούς χρόνους. Ένα ρομποτικό σύστημα που βοήθησε σε αυτά τα προβλήματα ήταν το Da Vinci το οποίο πραγματοποιούσε τέτοιες επεμβάσεις με μεγάλη χειρουργική ακρίβεια και χωρίς να χρειάζεται να γίνει η θωρακική τομή. Σε μια διαδικασία δοκιμών από τον FDA, τον Μάιο του 2000 μέχρι τον Δεκέμβριο του 2001 πραγματοποιήθηκαν 38 επεμβάσεις αποκατάστασης μιτροειδούς βαλβίδας με το ρομποτικό σύστημα Da Vinci. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρξε 100% αποτελεσματικότητα και 0% θνησιμότητας, εκτός από έναν ασθενή στον οποίο έγινε αντικατάσταση της βαλβίδας λόγω μόλυνσης και ένας ακόμη επανεξετάστηκε για αιμορραγία [10].



Εικόνα 1.19 : Αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας με την χειρουργική μέθοδο στα αριστερά και με το ρομποτικό Da Vinci δεξιά ([πηγή](#))

Μια ακόμη σημαντική συμβολή της ρομποτικής στην καρδιοχειρουργική είναι στον καρδιακό επανασυγχρονισμό. Ο καρδιακός επανασυγχρονισμός έχει ως στόχο την ταυτόχρονη συστολή αριστερής και δεξιάς κοιλίας με την εφαρμογή μικρών ηλεκτρικών ωθήσεων στον καρδιακό μυ, το οποίο επιτυγχάνεται με την εμφύτευση ενός αμφικολιακού βηματοδότη, ο οποίος περιέχει και ένα τρίτο ηλεκτρόδιο το οποίο βοηθάει στην συγχρονισμένη συστολή της καρδιάς. Παρά το γεγονός πως η τοποθέτηση των καλωδίων γίνεται με διαδερματικές τεχνικές, υπάρχει ένα ποσοστό αποτυχίας περίπου 15-20%. Με την χρήση του ρομποτικού συστήματος Da Vinci η εμφύτευση του βηματοδότη έγινε μια ελάχιστα επεμβατική εγχείρηση. Σύμφωνα με μια μελέτη του DeRose στην οποία συμμετείχαν 13 ασθενείς για καρδιακό επανασυγχρονισμό, 6 από τους οποίους είχαν κάνει παλαιότερα επέμβαση Bypass, τα αποτελέσματα ήταν επιτύχει χωρίς καμία επιπλοκή στους ασθενείς και στον τεχνικό εξοπλισμό.

1.6.4 Εφαρμογές στην νευροχειρουργική

Ο τομέας της νευροχειρουργικής ήταν από τους πρώτους όπου είχε εφαρμοστεί η ρομποτική χειρουργική και συγκεκριμένα στο κομμάτι του εγκεφάλου και της σπονδυλικής στήλης. Μια εφαρμογή της στο πεδίο του εγκεφάλου ήταν για την καταπολέμηση της επιληψίας χειρουργικά η οποία επιτυγχάνεται με τον προ- και ενδο-εγχειρητικό εντοπισμό της επιληπτογόνου εστίας αλλά ταυτόχρονα και με την στοχευμένη και έγκαιρη αναγνώριση του κροταφικού κέρατος. Το ρομποτικό σύστημα PathFinder είναι ένα νευροχειρουργικό σύστημα το οποίο εισάγει με ακρίβεια τα ηλεκτρόδια σε βάθος για να εντοπιστεί η εστία της επιληψίας και το κροταφικό κέρατο. Ταυτόχρονα ένα σημαντικό πλεονέκτημά του είναι η μείωση του χρόνου επέμβασης.



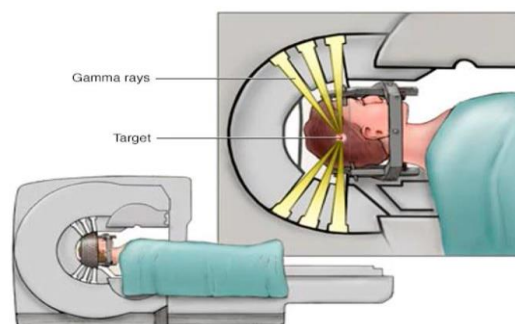
Εικόνα 1.20 : Ρομποτικό σύστημα PathFinder ([πηγή](#))

Επιπλέον μια ακόμη εφαρμογή της ρομποτικής στο πεδίο του εγκεφάλου είναι για την κρανιακή ακτινοθεραπεία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το CyberKnife το οποίο ανήκει στην κατηγορία των στερεοτακτικών ακτινοχειρουργικών μηχανημάτων . Το ρομποτικό αυτό σύστημα επιτρέπει την υψηλή ακτινοβολία των καρκινικών κυττάρων με την ελάχιστη έκθεση των γειτονικών φυσιολογικών ιστών στην ακτινοβολία. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτού του ρομποτικού συστήματος στην συγκεκριμένη θεραπεία είναι ο χρόνος, διότι επιθυμούμε τον λιγότερο δυνατό χρόνο έκθεσης του ασθενούς και των ιατρών στην ακτινοβολία σε συνδυασμό με το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Παράλληλα ένα εξίσου σημαντικό ρομποτικό νευροχειρουργικό μηχάνημα είναι το Gamma Knife το μελετούσε ο Καθηγητής L.Dade Lunsford για περίπου 30 χρόνια. Το Gamma Knife είναι μια μη επεμβατική μέθοδος σύμφωνα με την οποία χορηγείται στον ασθενή υψηλή δόση ακτινοβολία με αρκετά μεγάλη ακρίβεια σε μικρούς ενδοκρανιακούς όγκους χωρίς την αλλοίωση των γειτονικών υγείων κυττάρων σε μόνο μία συνεδρία. Η μέθοδος αυτή δεν αφαιρεί τον όγκο , αλλά καταστρέφει το DNA των κυττάρων του όγκου ώστε αυτά να χάσουν την αναπαραγωγική τους ικανότητα.



Εικόνα 1.21 : Σύστημα Gamma Knife ([πηγή](#))



Εικόνα 1.22 : Απεικόνιση Gamma Knife και όγκου-στόχου([πηγή](#))

Όσο αναφορά τον τομέα της σπονδυλικής στήλης, η ρομποτική χειρουργική είναι αρκετά πρόσφατη σε σύγκριση με τα άλλα πεδία της ιατρικής και έχει αρκετά πλεονεκτήματα τόσο για τον χειρουργό όσο και για τους ασθενείς . Ένα από τα νεότερα ρομποτικά χειρουργικά μηχανήματα σπονδυλικής στήλης είναι το ExcelsiusGPS™ με 6 βαθμούς ελευθερίας και δυνατότητα προεγχειρητικής ή ενδοεγχειρητικής

απεικόνισης το οποίο έλαβε την έγκριση από το FDA το 2017. Μερικές από τις βασικές εφαρμογές του ρομποτικού συστήματος είναι η σπονδυλική στένωση, η δισκοπάθεια-εκφύλιση μεσοσπονδύλιου δίσκου, κύφωση, σκολίωση, σπονδυλολίθηση και όγκοι στην σπονδυλική στήλη. Η λειτουργία του είναι η εξής : αρχικά ο χειρουργός δίνει οδηγίες για την τοποθέτηση των υλικών στην βέλτιστη επιθυμητή θέση μέσω μια οθόνης αφής και στην συνέχεια ο ρομποτικός βραχίονας κατευθύνεται στην κατάλληλη θέση με σκοπό να εκτελεστεί με μεγάλη ακρίβεια η εντολή του χειρουργού καθοδηγώντας τα αντικείμενα του[11].



Εικόνα 1.23 : Σύστημα ExcelsiusGPS™ (πηγή)

Το ρομποτικό σύστημα ExcelsiusGPS™ έχει κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνικές. Αρχικά μειώνει το χρόνο της επέμβασης , ενώ ταυτόχρονα παρέχει σταθερότητα και ακρίβεια. Παράλληλα μειώνει στο ελάχιστο τις νευρολογικές επιπλοκές και τις πιθανές αιμορραγίες που υπήρχαν με τις συμβατικές χειρουργικές τεχνικές. Τέλος ελαχιστοποιεί την παραμονή των ασθενών στο νοσοκομείο και ταυτόχρονα μειώνει το μετεγχειρητικό stress.

2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί ο βασικός εξοπλισμός του κατασκευαστικού μέρους που είναι ο ρομποτικός βραχίονας LewanSoul καθώς και ο επιμέρους εξοπλισμός που είναι ένα Arduino Uno , ένα breadboard και οι πλακέτες για την λειτουργία της τεχνολογίας Radio Frequency Identification (RFID) . Ο ρομποτικός αυτός βραχίονας θα κινείται και θα φτάνει σε μία συγκεκριμένη θέση , στην οποία θα βρίσκεται αρχικά ένα αντικείμενο. Στην συνέχεια μέσω προγραμματισμού σε συνδυασμό με την τεχνολογία RFID ο βραχίονας θα μετακινεί το εργαλείο σε μια συγκεκριμένη θέση. Σε δεύτερο χρόνο ο βραχίονας επιστρέφει πάλι στην αρχική θέση όπου είναι τοποθετημένο ένα δεύτερο αντικείμενο , το οποίο μετακινεί σε μια διαφορετική θέση. Οι θέσεις στις οποίες θα είναι τοποθετημένα τα αντικείμενα καθώς και οι γωνίες με τις οποίες θα πρέπει να στρέφονται οι σερβοκινητήρες για να φθάσουν στις θέσει αυτές θα υπολογιστούν στο επόμενο κεφάλαιο της κινηματικής ανάλυσης.

2.1 ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΣ ΒΡΑΧΙΟΝΑΣ LEARM LEWANSOUL

Το βασικό εργαλείο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο LeArm, ένας προγραμματιζόμενος ρομποτικός βραχίονας που προγραμματίζεται μέσω του Arduino και χρησιμοποιείται κυρίως για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Ο βραχίονας διαθέτει 5 βαθμούς ελευθερίας (DOF) και μια δαγκάνα , γεγονός που τον βοηθάει να κινείται και να μεταφέρει αντικείμενα με ευελιξία. Το ρομπότ έχει βάρος 1.1 kg , διαστάσεις 30 x 57 x 57(cm) και τα μέρη του φαίνονται στην παρακάτω εικόνα [12]:



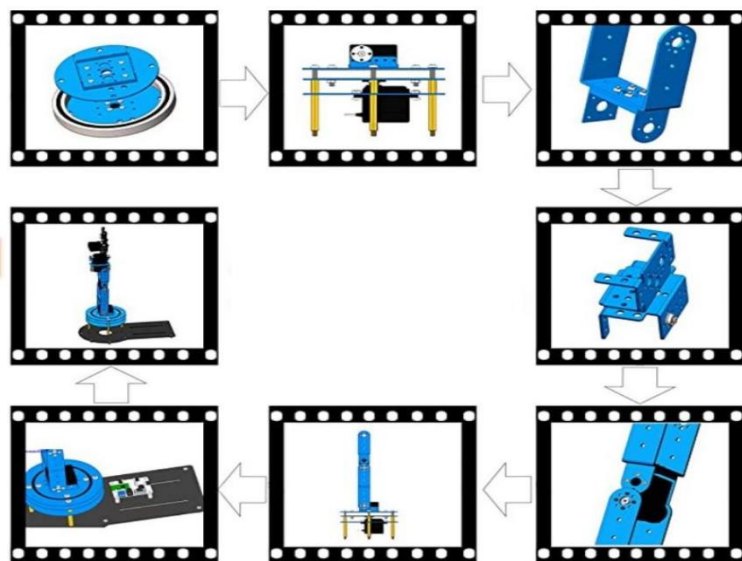
Εικόνα 2.1: Ρομποτικός βραχίονας LeArm (πηγή)

Για την κατασκευή του ρομπότ θα πρέπει αρχικά να αγοραστεί το kit το οποίο περιέχει μέσα όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα για την κατασκευή. Η κατασκευή είναι αρκετά απλή καθώς υπάρχουν αναλυτικές οδηγίες στο κουτί συσκευασίας και η παρακάτω φωτογραφία των εξαρτημάτων :

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

Εικόνα 2.2: Εξαρτήματα Κατασκευής ([πηγή](#))

Επιπλέον στο κουτί συσκευασίας υπάρχει ένας κωδικός (barcode) το οποίο όταν ο χρήστης σαρώνει μέσω του κινητού , μεταβαίνει σε ένα βίντεο το οποίο δείχνει τα βήματα για την κατασκευή :



Εικόνα 2.3: Βήματα Κατασκευής ([πηγή](#))

2.1.1 Μέρη ρομποτικού βραχίονα LeArm LewanSoul

Ο ρομποτικός βραχίονας που κατασκευάστηκε αποτελείται από 6 σερβοκινητήρες οι οποίοι βοηθούν στην περιστροφή του, μια πλακέτα Bluetooth, μια βάση στη οποία στερεώνεται το ρομπότ για μεγαλύτερη σταθερότητα και τέλος ένα handle receiver . Η πλακέτα Bluetooth και το handle receiver βοηθούν στην επικοινωνία του ρομπότ με ένα τηλεχειριστήριο μέσω του οποίου μπορεί να κινηθεί. Ο προγραμματισμός του θα αναλυθεί σε περαιτέρω σε επόμενο κεφάλαιο. Στην παρακάτω εικόνα διακρίνονται τα μέρη τα οποία προαναφέρθηκαν [12]:



Εικόνα 2.4 : Βασικά μέρη του ρομποτικού βραχίονα [\(πηγή\)](#)

Ένα από τα σημαντικότερα μέρη του ρομποτικού βραχίονα είναι ο σερβοκινητήρας. Οι σερβοκινητήρες γενικά είναι κινητήρες οι οποίοι διαθέτουν βελτιωμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά όπως η ισχύς, ο βαθμός απόδοσης και η ροπή αδράνειας. Χρησιμοποιούνται σε κινητήρια συστήματα υψηλών απαιτήσεων και συγκεκριμένα σε συστήματα όπου είναι απαραίτητη η βέλτιστη ακρίβεια και η γρήγορη ταχύτητα απόκρισής του συστήματος σε έλεγχο ταχύτητας, ροπής και θέσης. Στο συγκεκριμένο ρομποτικό σύστημα χρησιμοποιούνται ψηφιακοί σερβοκινητήρες οι οποίοι δεν διαφέρουν σε αρκετά σημεία από τους αναλογικούς, εκτός από τον μικροεπεξεργαστή ο οποίος στους ψηφιακούς σερβοκινητήρες είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να αναλύει τα εισερχόμενα σήματα και να ελέγχει τον κινητήρα. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του είναι ότι στέλνει παλμούς με μεγαλύτερη συχνότητα και πιο

συγκεκριμένα πλέον ο κινητήρα προσλαμβάνει 300 παλμούς/sec, ενώ στην περίπτωση των αναλογικών σερβοκινητήρων προσλάμβανε 50 παλμούς/sec. Έτσι ο ψηφιακός σερβοκινητήρας ανταποκρίνεται πιο γρήγορα έχοντας γρηγορότερη και ομαλότερη επιτάχυνση/ επιβράδυνση , καλύτερη ακρίβεια και πιο άμεση επαναφορά στην αρχική θέση. Επιπλέον το μοναδικό μειονέκτημα του εκτός από το κόστος που μπορεί να είναι λίγο πιο ακριβός , είναι η αυξημένη κατανάλωση ενέργεια που απαιτεί για να εκτελέσει τις παραπάνω λειτουργίες.

Ο LeArm διαθέτει 2 ψηφιακούς σερβοκινητήρες LDX-218, 2 ψηφιακούς σερβοκινητήρες LFD-06, 1 ψηφιακό σερβοκινητήρα LD -1501MG και 1 ψηφιακό σερβοκινητήρα LFD-06 ενσωματωμένο στην δαγκάνα. Οι παραπάνω σερβοκινητήρες έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [12] :

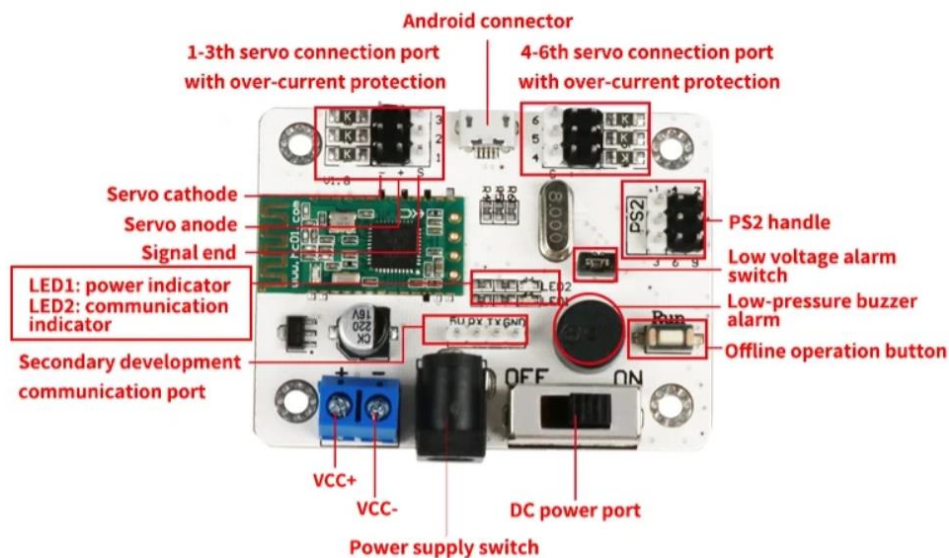
Πίνακας 2 : Χαρακτηριστικά Σερβοκινητήρων

Κοινά Χαρακτηριστικά Σερβοκινητήρων	
Διαστάσεις	40 mm*20 mm*40.5mm
Βάρος	47 - 56 gr
Τάση λειτουργίας	6 - 7.4 V
Τάση περιστροφής	6 V
Ταχύτητα	0.16 sec/ 60°
Ροπή	17 kg*cm
Ακρίβεια	0.3°
Ελάχιστο ρεύμα λειτουργίας	1 A

Ένα ακόμη βασικό μέρος του ρομπότ είναι η πλακέτα Bluetooth. Η πλακέτα αυτή χρησιμοποιεί 6 κανάλια ελέγχου σερβοκινητήρων με μια ενσωματωμένη μονάδα Bluetooth 4.0, η οποία διαθέτει μια δωρεάν εφαρμογή κινητού. Με την εφαρμογή αυτή μπορεί να συνδεθεί ο χρήστης και να κινεί οποιοδήποτε σερβοκινητήρα επιθυμεί. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο έλεγχος των σερβοκινητήρων θα γίνει μέσω προγραμματισμού του Arduino. Παράλληλα όμως πλακέτα διαθέτει και άλλα χαρακτηριστικά όπως [13] :

- Έναν διακόπτη on/off
- Μνήμη χωρητικότητας 16 M
- Μια θύρα VCC+ και μια VCC-. Η τιμή της VCC+ κυμαίνεται από 5V-8.4V. Η τάση τροφοδοσίας εξαρτάται από την τάση του ελεγχόμενου σερβοκινητήρα.
- Λειτουργία συναγερμού χαμηλής τάσης. Όταν η θετική τάση είναι χαμηλότερη από 5,6 V, ο βομβητής θα κάνει έναν χαρακτηριστικό ήχο ώστε να υπενθυμίζει στον χρήστη να φορτίσει την μπαταρία.
- Υποστηρίζει δύο τρόπους λειτουργίας εκτός σύνδεσης
- Υποστηρίζει την σειριακή επικοινωνία.
- Διαθέτει έξι κανάλια προστασίας υπερφόρτωσης, τα οποία προστατεύουν τους σερβοκινητήρες έτσι ώστε να μην καούν.

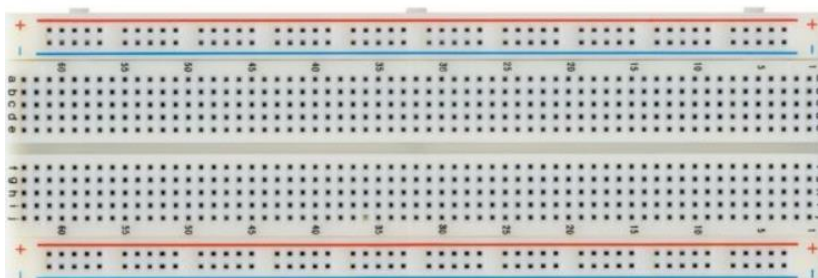
Στην παρακάτω φωτογραφία παρουσιάζεται μια πρόσοψη της πλακέτας Bluetooth , στην οποία φαίνονται τα μέρη από τα οποία αποτελείται [13]:



Εικόνα 2.5: Πρόσοψη πλακέτας Bluetooth ([πηγή](#))

2.2 BREADBOARD

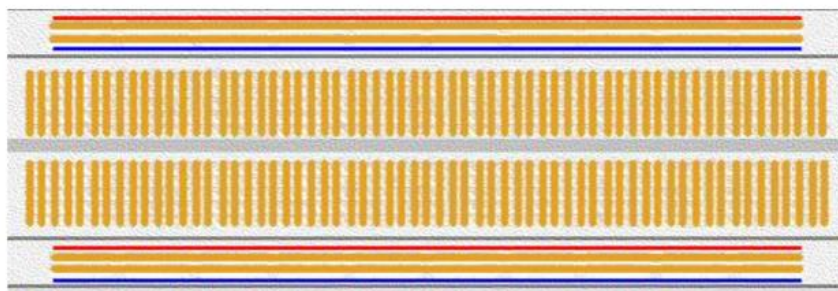
Το Breadboard είναι μια πλακέτα πειραματικής συναρμολόγησης η οποία επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει κάποιο κύκλωμα χωρίς να απαιτείται καμία συγκόλληση. Η πλακέτα αυτή υπάρχει σε διάφορα μεγέθη και περιέχει οπές, πάνω στις οποίες συνδέονται τα καλώδια και τα εξαρτήματα. Η μορφή της πλακέτας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική, φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 2.6: Breadboard ([πηγή](#))

Η συγκεκριμένη πλακέτα έχει διαστάσεις 165x56x8.5 mm , αποτελείται από 630 οπές, χωρισμένη σε 10 στήλες και 63 γραμμές και επιπλέον αποτελείται από 200 οπές τροφοδοσίας (2 σειρές στο επάνω μέρος του breadboard και 2 στο κάτω). Οι οπές απέχουν η καθεμία μεταξύ τους 0.25cm και στο εσωτερικό τους υπάρχουν μικρά ελατήρια για την τέλεια επαφή τους με τα καλώδια. Επιπλέον στην μέση της πλακέτας υπάρχει ένα αυλάκι, έτσι ώστε εκατέρωθεν από αυτό να υπάρχουν οι σειρές των πεντάδων. Το πλάτος που έχει το αυλάκι είναι συγκεκριμένο έτσι ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί στην πλακέτα ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, οι ακίδες του οποίου να είναι τοποθετημένες σε διαφορετική πλευρά του breadboard.

Στο κάτω μέρος της πλακέτας υπάρχουν μεταλλικές γραμμές, συνήθως από χαλκό οι οποίες βραχυκυκλώνουν τις οπές οριζόντια ή κάθετα όπως φαίνεται στην εικόνα 2.7. Οι οπές οι οποίες είναι κάθετα βραχυκυκλωμένες μεταξύ τους, όπως και οι οπές οι οποίες βρίσκονται οριζόντια στις γραμμές τροφοδοσίας [14].



Εικόνα 2.7 : Κάτω όψη του breadboard (πηγή)

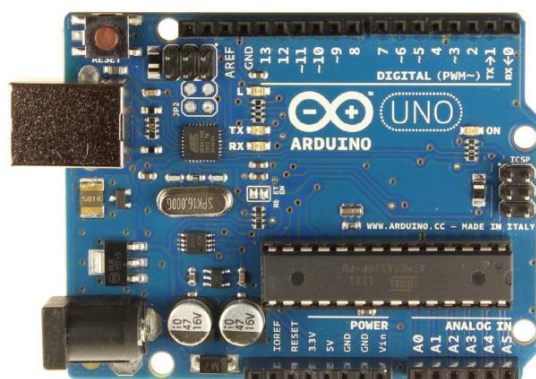
Οι οπές οι οποίες βρίσκονται στην ίδια γραμμή είναι βραχυκυκλωμένες μεταξύ τους , όμως δεν ισχύει το ίδιο για οπές που βρίσκονται σε διαφορετικές γραμμές καθώς δεν υπάρχει επικοινωνία μεταξύ τους . Επιπλέον οι οπές εκείνες που διαχωρίζονται από το αυλάκι δεν επικοινωνούν. Η επικοινωνία των οπών οι οποίες δεν είναι βραχυκυκλωμένες μεταξύ τους, γίνεται με την σύνδεση τους μέσω ενός καλωδίου.

Για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένα breadboard όπως της εικόνας 2.6 . Ορίστηκε ως θετική τροφοδοσία dc η επάνω κόκκινη γραμμή της πλακέτας, αρνητική τροφοδοσία η γραμμή στο κάτω μέρος της πλακέτας χρώματος μπλε, ενώ οι δύο ενδιάμεσες γραμμές μπορούν να ενωθούν με ένα καλώδιο ώστε να υπάρχει επικοινωνία μεταξύ τους και να λειτουργήσουν ως γείωση [14].

2.3 ARDUINO UNO R3

Το Arduino είναι μία δημοφιλής υπολογιστική και ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοιχτού λογισμικού, η οποία βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega της Atmel που είναι ενσωματωμένος μέσα σε μια μητρική πλακέτα. Ο τύπος του Arduino που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική είναι Arduino Uno το οποίο αποτελείται από έναν Μικροελεγκτή Atmel AVR 8-bit, μνήμη RAM, Μνήμη Flash για την αποθήκευση προγραμμάτων, αναλογικούς και ψηφιακούς ακροδέκτες, σειριακή ή/και USB θύρα επικοινωνίας . Η λειτουργία του βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328 που υποστηρίζει την σειριακή επικοινωνία, η οποία προωθείται από τον Arduino μέσω ενός ελεγκτή Serial-over-USB, με άμεσο στόχο την σύνδεση με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω ενός καλωδίου USB. Η συχνότητα λειτουργίας του είναι 16 MHz. Ο σκοπός της σύνδεσης αυτής είναι η ‘φόρτωση’ του κώδικα που έχει προγραμματιστεί

για τον Arduino μέσω του προγράμματος Arduino IDE το οποίο θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο [15].



Εικόνα 2.8 : Arduino Uno ([πληγή](#))

Όσο αναφορά την τροφοδοσία του Arduino, αυτή μπορεί να γίνει είτε με σύνδεση USB σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, είτε με τροφοδοτικό. Η επιλεγόμενη τροφοδοσία είναι 7-12 V, επειδή τροφοδοσίες οι οποίες είναι μικρότερες από 7V δημιουργούν αστάθειες, ενώ τροφοδοσίες μεγαλύτερες από 12 V υπερθερμαίνουν την πλακέτα με αποτέλεσμα την καταστροφή της. Η ιδανική τάση τροφοδοσία είναι συνήθως 9 V DC. Παράλληλα για τους ακροδέκτες τροφοδοσίας ισχύουν τα ακόλουθα :

- **Ακροδέκτης Vin:** Ο ακροδέκτης αυτός χρησιμοποιείται συνήθως σε συνδυασμό με τον ακροδέκτη της γείωσης ώστε να τροφοδοτήσουν το κύκλωμα, στις περιπτώσεις που δεν τροφοδοτείται από εξωτερική τροφοδοσία. Σε περίπτωση που το Arduino δέχεται εξωτερική τροφοδοσία τότε ο ακροδέκτης Vin μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει τάση 7-12 V σε κάποιο άλλο εξάρτημα.
- **Ακροδέκτης 5V:** Ο ακροδέκτης αυτός παρέχει μια σταθερή τάση 5V και με βοήθεια του ενσωματωμένου ρυθμιστή τάσης που διαθέτει η πλακέτα, τροφοδοτούνται τα διάφορα εξαρτήματα. Την τάση αυτή 5V την δίνει η σύνδεση με την θύρα USB ή αλλιώς η εξωτερική τροφοδοσία αλλά με ρυθμιστή τάσης .
- **Ακροδέκτης 3.3V:** Ο ακροδέκτης αυτός παρέχει τάση 3.3V , η οποία παράγεται από το ολοκληρωμένο FTDI. Η μέγιστη κατανάλωση ρεύματος είναι τα 50mA.

- **Ακροδέκτης GND:** Ο ακροδέκτης αυτός παρέχει την γείωση.

2.3.1 Μνήμη Arduino

Ο μικροελεγκτής ATmega ο οποίος βρίσκεται ενσωματωμένος στην πλακέτα του Arduino διαθέτει τις ακόλουθες μνήμες [15, 16] :

- **Μνήμη SRAM (2 KB) :** Η μνήμη αυτή χρησιμοποιείται από τα προγράμματα με σκοπό την αποθήκευση διαφόρων μεταβλητών. Τα δεδομένα τα οποία έχουν αποθηκευτεί στην μνήμη αυτή χάνονται μόλις σταματήσει η τροφοδοσία του Arduino ή μόλις πατηθεί το κουμπί Reset. Η μνήμη αυτή είναι παρόμοια με την μνήμη RAM του υπολογιστή.
- **Μνήμη EEPROM (1 KB) :** Η EEPROM είναι μια μη μεταβλητή μνήμη η οποία χρησιμοποιείται για την εγγραφή ή την ανάγνωση δεδομένων από ένα πρόγραμμα εντολών. Είναι βραδύτερη από την SRAM και διαβάζεται byte προς byte. Είναι μια μνήμη αποθήκευσης μακροπρόθεσμων πληροφοριών, διότι δεν χάνει τα δεδομένα της μετά από διακοπή τροφοδοσίας ή επανεκκίνηση. Τέλος η διάρκεια ζωής της είναι πεπερασμένη περίπου στους 100.000 κύκλους εγγραφής.
- **Μνήμη FLASH (32 KB) :** Η FLASH είναι μια επανεγγράψιμη μνήμη, η οποία δεν χάνει τις πληροφορίες που έχουν αποθηκευτεί σε αυτήν μετά από απώλεια τροφοδοσίας ή επανεκκίνηση. Τα 2 KB της μνήμης καταλαμβάνονται από το firmware του Arduino, το οποίο είναι ήδη εγκατεστημένο από τον κατασκευαστή και όταν γίνεται εγκατάσταση προγραμμάτων στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB. Τα υπολειπόμενα 30 KB είναι για την αποθήκευση των προγραμμάτων αυτών. Η μνήμη αυτή είναι παρόμοια με την ύπαρξη σκληρού δίσκου στην πλακέτα.

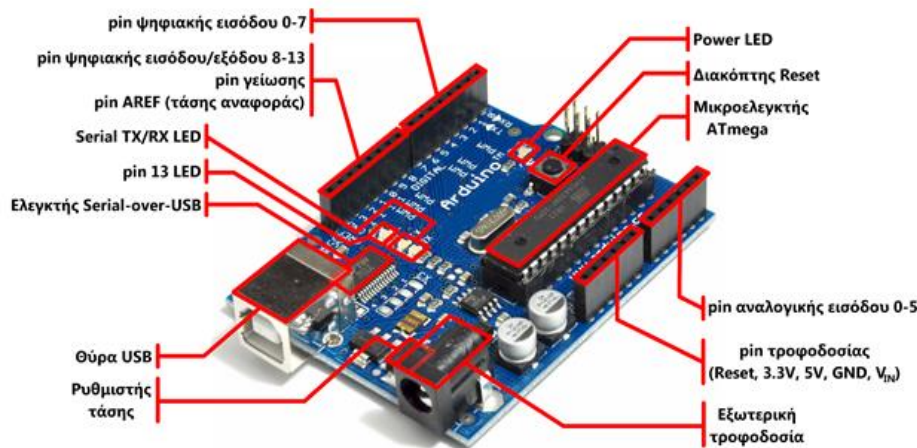
2.3.2 Ακροδέκτες Arduino

Η πλακέτα του Arduino αποτελείται από 14 ψηφιακούς ακροδέκτες, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν είτε σαν είσοδοι είτε σαν έξοδοι. Οι ακροδέκτες αυτοί λειτουργούν στα 5V και έχουν την δυνατότητα να λαμβάνουν μέγιστο ρεύμα 40mA. Καθένας από τους 14 αυτούς ακροδέκτες έχει εσωτερικά μια pull-up αντίσταση με τιμή 20-50 ΚΩ. Όταν κάποιος ακροδέκτης λειτουργεί σαν έξοδος, τότε μέσα από κάποιο πρόγραμμα μπορεί να τεθεί σε λειτουργία HIGH (5V) ή LOW (0V). Όταν κάποιος ακροδέκτης λειτουργεί σαν είσοδος, τότε το Arduino έχει την δυνατότητα να διαβάσει την κατάσταση του ακροδέκτη η οποία μπορεί να αλλάξει αν συνδεθεί στην πλακέτα κάποια εξωτερική συσκευή όπως LED, διακόπτης κ.α. Παράλληλα κάποιοι ακροδέκτες εκτός από την λειτουργία εισόδου/εξόδου, μπορεί να διαθέτουν και κάποιες επιμέρους λειτουργίες οι οποίες είναι οι εξής:

- **Σειριακή λειτουργία (Serial) :** Για την λειτουργία αυτή χρησιμοποιούνται οι ακροδέκτες 0,1 ως RX και RT αντίστοιχα. Ο RX είναι για την λήψη και ο RT για την εκπομπή σειριακών δεδομένων όταν ενεργοποιηθεί η σειριακή λειτουργία. Όταν ξεκινήσει η διαδικασία αυτή τα δεδομένα θα σταλούν στην θύρα USB μέσω του ελεγκτή Serial-Over-USB και στον ακροδέκτη 0, με σκοπό να διαβαστούν από κάποια άλλη συσκευή. Εάν υπάρχουν εισερχόμενα σειριακά δεδομένα, τότε αυτά είναι στον ακροδέκτη 1 και έτσι ο Arduino χρησιμοποιεί 2 ψηφιακές εισόδους/εξόδους λιγότερες.
- **Εξωτερικές διακοπές (External interrupts) :** Για την λειτουργία αυτή χρησιμοποιούνται οι ακροδέκτες 2,3. Οι ακροδέκτες αυτοί ρυθμίζονται ώστε να λειτουργούν μόνο ως ψηφιακοί είσοδοι και να σταματάει η λειτουργία του προγράμματος τους σε περίπτωση κάποιας αρρυθμίας στην τάση της πλακέτας (είτε αύξηση, είτε μείωση). Οι διακοπές αυτές ρυθμίζονται μέσω της συνάρτησης attachInterrupt().
- **Λειτουργία Pulse Width Modulation (PWM) :** Για την λειτουργία αυτή χρησιμοποιούνται οι ακροδέκτες 3,5,6,9,10,11. Οι ακροδέκτες αυτοί με το σύστημα PWM λειτουργούν ως ψευδοαναλογικές έξοδοι. Δηλαδή μπορεί να συνδεθεί ένα led σε κάποιον από αυτούς τους ακροδέκτες και να ελεγχθεί η φωτεινότητα του με ανάλυση 8 bit. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι υπάρχουν 256

καταστάσεις δηλαδή από 0 (σβηστό) μέχρι 255 (μέγιστη φωτεινότητα), ενώ στους υπόλοιπους ακροδέκτες υπάρχει μόνη η λειτουργία σβηστό-αναμμένο. Η συνάρτηση που χρησιμοποιείται στην περίπτωση αυτή είναι η `analogWrite()`.

- **Επικοινωνία SPI :** Για την λειτουργία αυτή χρησιμοποιούνται οι ακροδέκτες 10,11,12,13. Οι ακροδέκτες αυτοί δίνουν την δυνατότητα της επικοινωνίας SPI , η οποία λειτουργεί μέσω αντίστοιχης βιβλιοθήκης SPI. Η επικοινωνία SPI δεν είναι διαθέσιμη προς το παρόν στην γλώσσα προγραμματισμού του Arduino παρά μόνο στο Hardware.
- **LED:** Για την λειτουργία αυτή χρησιμοποιείται ο διακόπτης 13. Στον ακροδέκτη αυτό είναι ενσωματωμένο ένα led και όταν ο ακροδέκτης είναι σε κατάσταση HIGH το led ανάβει, ενώ όταν η κατάστασή του είναι LOW τότε το led σβήνει.



Εικόνα 2.9: Ακροδέκτες του Arduino Uno ([πηγή](#))

Επιπλέον το Arduino διαθέτει 6 ακροδέκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως αναλογικοί είσοδοι. Οι είσοδοι αυτοί αριθμούνται από το A0 έως το A5 και μετράνε τάση από 0-5V. Υπάρχει η δυνατότητα να αλλάξει η τάση αυτή μέσω του ακροδέκτη AREF, ο οποίος δίνει την τάση αναφοράς και της `analogReference()`. Οι 6 αναλογικοί ακροδέκτες διαβάζουν αναλογικά σήματα, αλλά έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν και ως ψηφιακοί. Κάποια γενικά χαρακτηριστικά του Arduino τα οποία αναλύθηκαν και πιο πριν, περιγράφονται στο ακόλουθο πίνακα [14,15,16] :

Πίνακας 3 : Χαρακτηριστικά Arduino Uno [\(πηγή\)](#)

Χαρακτηριστικά Arduino	
Microcontroller	ATmega328
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega338)
SRAM	2 KB (ATmega338)
EEPROM	1 KB (ATmega338)
Clock Speed	16 MHz

2.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ NEAR FIELD COMMUNICATION

Η τεχνολογία NFC ή αλλιώς επικοινωνία κοντινού πεδίου είναι μια τεχνολογία συνδεσιμότητας η οποία δημιουργήθηκε από τις εταιρίες Philips, Sony, Nokia το 2004. Η ανάπτυξη της βασίστηκε στην τεχνολογία Radio Frequency Identification (RFID), ενώ το NFC Forum που είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός με περισσότερα από 170 μέλη παγκοσμίως της παρέχει τα πρότυπα. Το RFID είναι μια ασύρματη επικοινωνία δεδομένων μέσω ραδιοκυμάτων , η οποία επιτρέπει την μετάδοση δεδομένων μεταξύ μιας συσκευής ανάγνωσης και μιας RFID ετικέτας. Η τεχνολογίας

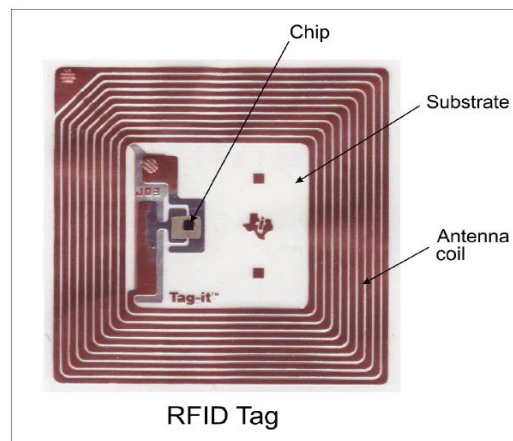
NFC έχει την ικανότητα να μεταφέρει δεδομένα με ρυθμούς 106 , 212 και 424 kbps με ισχύ 13,56 MHz, αλλά σε απόσταση μικρότερη των 10 εκατοστών γεγονός που το διαφοροποιεί από το RFID το οποίο έχει μεγαλύτερη εμβέλεια στην απόσταση . Ένα σύστημα NFC απαρτίζεται από μια ενεργή συσκευή NFC, μια παθητική συσκευή NFC και τέλος έναν κεντρικό υπολογιστή ή μια εφαρμογή[17,18,21].

Οι συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν την τεχνολογία κοντινού πεδίου διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Αρχικά είναι οι ενεργές συσκευές οι οποίες έχουν την δυνατότητα να παράγουν μόνες τους ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ώστε να είναι επιτυχημένη η επικοινωνία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενεργής συσκευής με τεχνολογία NFC είναι το μηχάνημα το οποίο πραγματοποιεί ανέπαφες συναλλαγές με χρεωστικές κάρτες. Επιπλέον υπάρχουν οι παθητικές συναλλαγές οι οποίες δεν έχουν την δυνατότητα να παράγουν ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα παθητική συσκευής αποτελούν τα NFC Tags τα οποία θα χρησιμοποιηθούν και στην παρούσα διπλωματική εργασία.

2.4.1 Τεχνολογία Radio Frequency Identification (RFID)

Η τεχνολογία Radio Frequency Identification (RFID) είναι μια ασύρματη τεχνολογία η οποία επιτρέπει την αυτόματη αναγνώριση αντικειμένων. Η αναγνώριση αυτή γίνεται με την μετάδοση δεδομένων μεταξύ δύο συσκευών και πιο συγκεκριμένα μεταξύ μια συσκευής ανάγνωσης και μιας RFID ετικέτας (tag) μέσω ραδιοκυμάτων. Τα ηλεκτρομαγνητικά αυτά κύματα είναι η “γέφυρα” επικοινωνίας μεταξύ των δύο συσκευών, έτσι ώστε ο reader να μπορεί να γράψει και να διαβάσει δεδομένα από και προς το RFID tag. Η διαδικασία της επικοινωνίας μεταξύ των δύο συσκευών είναι σχετικά απλή και τίθεται σε λειτουργία όταν το tag βρεθεί εντός της εμβέλειας του reader. Την στιγμή αυτή ενεργοποιείται το εσωτερικό κύκλωμα και αρχίζει η μεταφορά των δεδομένων.

Μια ετικέτα RFID αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα και μια κεραία όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Το κύκλωμα είναι αρμόδιο για να αποθηκεύει και να επεξεργάζεται τα δεδομένα, αλλά παράλληλα για να διαμορφώνει και να αποδιαμορφώνει τα ραδιοκύματα. Η αρμοδιότητα της κεραίας είναι η αποστολή και η λήψη του σήματος. [19]



Εικόνα 2.70: RFID Tag (πηγή)

Οι ετικέτες RFID μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την λειτουργία τους :

- **Ενεργά RFID tag:** Στο εσωτερικό μέρος των ενεργών tag υπάρχει ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, μια κεραία και μια πηγή ενέργειας. Η πηγή ενέργειας ενεργοποιεί το κύκλωμα με σκοπό την παραγωγή του σήματος, το οποίο είναι και αυτό που θα αποσταλεί από το RFID tag. Τα ενεργά tag υπερτερούν σε εμβέλεια και σε μνήμη σε σύγκριση με τα παθητικά καθώς και λόγω της ύπαρξης πηγής ενέργειας, το μέγεθος τους είναι και αυτό μεγαλύτερο.
- **Παθητικά RFID tag:** Τα παθητικά tag, έχουν και αυτά στο εσωτερικό τους ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα και μια κεραία , όμως λειτουργούν ως παθητικά διότι δεν διαθέτουν πηγή ενέργειας. Η ενεργοποίηση αυτών των tag γίνεται όταν εντοπιστεί κάποιο ραδιοκύμα, με σκοπό να στείλει και το tag την απάντηση του μέσω της κεραίας. Σε σύγκριση με τα ενεργά tag και λόγω της έλλειψης πηγής ενέργειας είναι μικρότερα σε μέγεθος και έχουν πιο μικρό κόστος. Όμως ένα σημαντικό πλεονέκτημα τους είναι η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους.

2.4.2 RFID- RC522 Module

Ένα μέρος της παρούσας πειραματικής διπλωματικής είναι η πλακέτα RFID-RC522 η οποία αποτελείται από δύο μέρη: το αναγνώστη (reader) και τις ετικέτες (tag). Ο reader αποτελείται από μια πλακέτα ραδιοσυχνότητας και μια κεραία η οποία δημιουργεί υψηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Τα RFID tag είναι συνήθως παθητικές συσκευές, οι οποίες διαθέτουν ένα μικροτσίπ το οποίο έχει την δυνατότητα αποθήκευσης και επεξεργασίας της πληροφορίας και επιπλέον διαθέτουν μια κεραία η οποία λαμβάνει και μεταδίδει το σήμα.

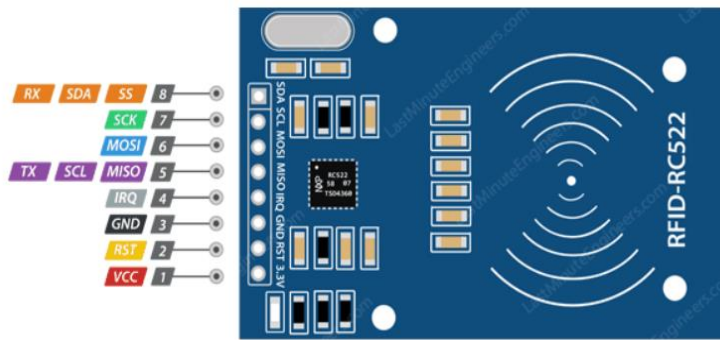
Αρχικά μέσω κατάλληλου κώδικα εγγράφονται οι πληροφορίες που επιθυμεί ο χρήστης στα tag και στην συνέχεια οι πληροφορίες αυτές θα πρέπει να διαβαστούν από τον reader. Για να διαβαστεί κάποια πληροφορία από ένα tag, θα πρέπει αυτό να είναι σε αρκετά κοντινή απόσταση με τον reader ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία της ανάγνωσης η οποία έχει ως εξής [19];

- ✓ Ο reader δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο ωθεί τα ηλεκτρόνια να κινούνται μέσω της κεραίας των tag και έπειτα να δίνουν τροφοδοσία στο τσιπ.
- ✓ Το τσιπ το οποίο είναι ενσωματωμένο μέσα στο tag ανταποκρίνεται αποστέλλοντας τις συγκεκριμένες πληροφορίες πίσω στον reader με την μορφή διαφορετικού ραδιοσήματος.
- ✓ Ανίχνευση του σήματος από τον αναγνώστη και μετατροπή του αντίστοιχου σήματος σε δεδομένα.
- ✓ Ο Arduino διαβάσει τα δεδομένα από τον reader.

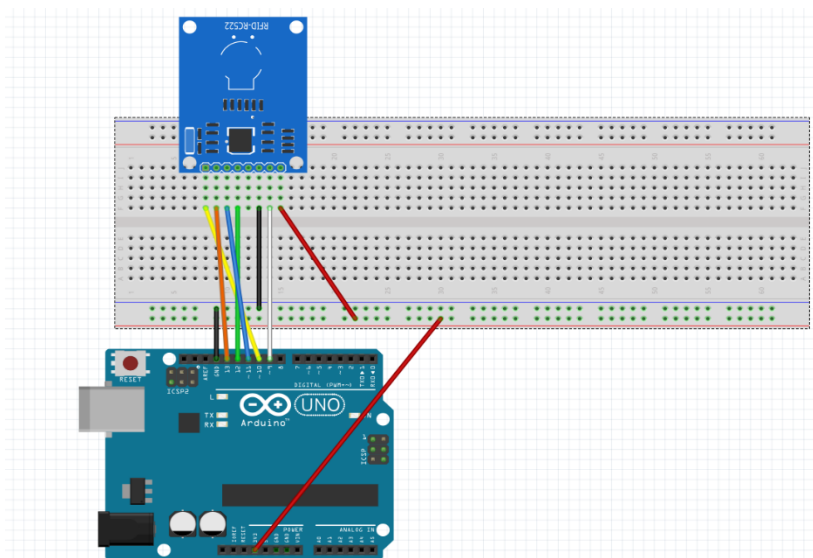
Το RFID-RC522 διαθέτει 8 pins μερικά εκ των οποίων είναι κοινά, ενώ τα υπόλοιπα μοιράζονται τους ακόλουθους τρεις τρόπους επικοινωνίας SPI, I2C, UART, όπου κάθε φορά μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ένας από αυτούς. Η συνδεσμολογία και η λειτουργία των pin είναι η ακόλουθη:

1. **Vcc** : Παρέχει τάση στην πλακέτα η τιμή της οποίας κυμαίνεται από 2.5V-3.3V. Συνδέεται στην έξοδο 3.3 του Arduino.
2. **RST**: είναι μια είσοδος με λειτουργία επαναφοράς και απενεργοποίησης.
3. **GND**: είναι η γείωση και συνδέεται στην ένδειξη GND (0V) του Arduino
4. **IRQ**: ονομάζεται pin διακοπής και έχει την δυνατότητα να ειδοποιεί τον μικροελεγκτή όταν ένα RFID tag βρίσκεται σε κοντινή απόσταση.
5. **Tx /SCL/ MISO**: λειτουργεί ως MISO όταν είναι ενεργοποιημένη η διεπαφή SPI, λειτουργεί ως SCL όταν είναι ενεργοποιημένη η διασύνδεση I2C και λειτουργεί ως Tx όταν είναι ενεργοποιημένη η διεπαφή UART
6. **MOSI (Master Out Slave In)**: λειτουργεί ως Master Out Slave in όταν η διεπαφή SPI είναι ενεργοποιημένη.
7. **SCK (Serial Clock)**: λειτουργεί ως Serial Clock όταν η διεπαφή SPI είναι ενεργοποιημένη .
8. **RX/ SDA/ SS**: λειτουργεί ως SS όταν είναι ενεργοποιημένη η διεπαφή SPI, λειτουργεί ως SDA όταν είναι ενεργοποιημένη η διασύνδεση I2C και λειτουργεί ως RX όταν είναι ενεργοποιημένη η διεπαφή UART [19,22].

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται η πλακέτα RFID-RC522 καθώς και μια ψηφιακή αναπαράσταση των συνδέσεων η οποία έγινε με το πρόγραμμα frizzing, με σκοπό την υλοποίηση του κατασκευαστικού μέρους

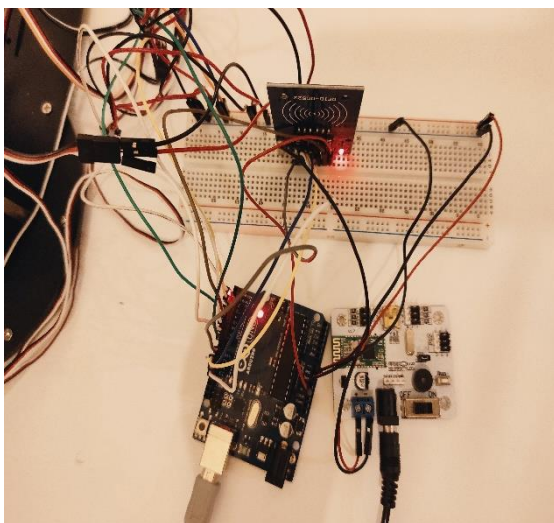


Εικόνα 2.11:RFID-RC522 Module (πηγή)

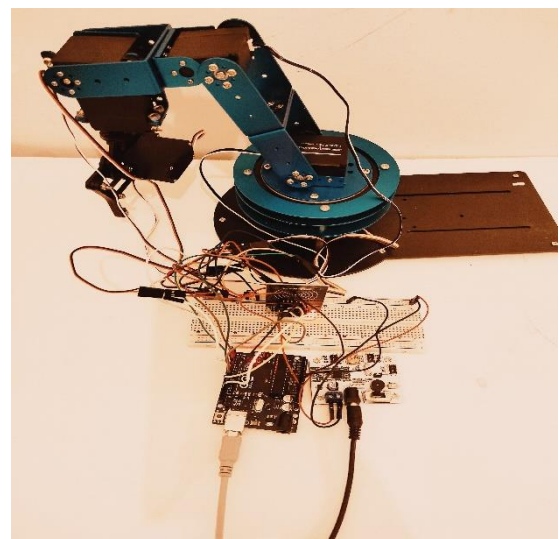


Εικόνα 2.12 : Ψηφιακή αναπαράσταση (Πρόγραμμα Frizing)

Από την υλοποίηση της κατασκευής προέκυψαν οι ακόλουθες φωτογραφίες :



Εικόνα 2.13 : Συνδέσεις πλακέτας RC522



Εικόνα 2.14 : Ολοκληρωμένη κατασκευή

3 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια ανάλυση γύρω από την κινηματική θεωρία του ρομπότ. Πιο αναλυτικά αρχικά θα σχεδιαστεί και θα αναλυθεί το κινηματικό διάγραμμα του ρομπότ που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Στην συνέχεια θα αναφερθούν οι ορισμοί των πινάκων περιστροφής, μετατόπισης, ομογενούς μετασχηματισμού και παράλληλα θα υπολογιστούν οι πίνακες αυτοί με σκοπό την εύρεση των γωνιών (παραμέτρων), σύμφωνα με τις οποίες θα πρέπει να στραφούν οι σερβοκινητήρες ώστε να φτάσει ο τελικός επενεργητής στις θέσεις στις οποίες θα βρίσκονται τα εργαλεία.

3.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

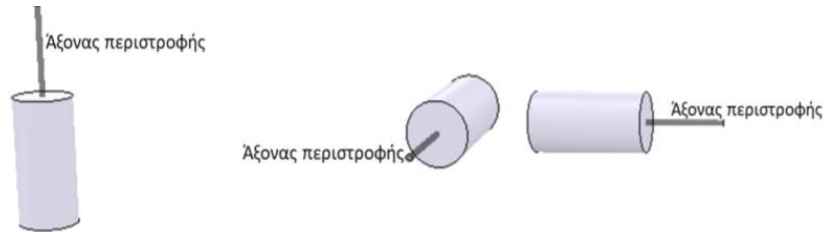
Παρακάτω ακολουθεί η περιγραφή κάποιων ορισμών , οι οποίοι θα είναι απαραίτητοι για την κατανόηση της κινηματικής ανάλυσης και των αποτελεσμάτων της.

- **Βαθμός ελευθερίας**: Με τον όρο βαθμό ελευθερίας ή αλλιώς DOF (Degrees Of Freedom) εννοούμε τον αριθμό των δυνατών κινήσεων που έχει μια άρθρωση [3,23].

Όλοι οι ρομποτικοί βραχίονες χαρακτηρίζονται από τον αριθμό αλλά και από τον τύπο των αρθρώσεων από τις οποίες απαρτίζονται. Διακρίνουμε δύο είδη αρθρώσεων τα ακόλουθα :

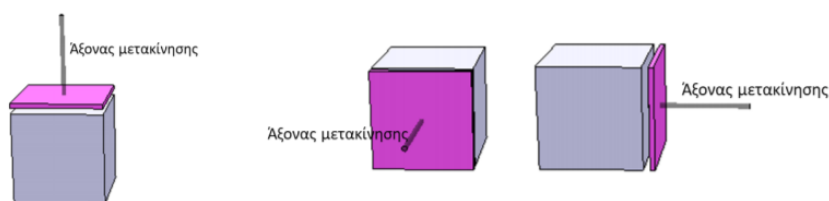
- **Περιστροφικές** : Οι περιστροφικές αρθρώσεις είναι αυτές οι οποίες επιτρέπουν την σχετική περιστροφή μεταξύ δύο συνδέσμων ως προς τον άξονα της άρθρωσης. Οι αρθρώσεις αυτές παρέχουν έναν βαθμό ελευθερίας, δίνοντας έτσι την δυνατότητα στο σώμα να εκτελέσει περιστροφή σε ένα επίπεδο αποκόπτοντας οποιαδήποτε άλλη δυνατότητα κίνησης. Στα κινηματικά διαγράμματα που θα ακολουθήσουν οι περιστροφικές αρθρώσεις θα συμβολίζονται με έναν κύλινδρο και ο άξονας

περιστροφής στις αρθρώσεις αυτές θα ταυτίζεται με τον άξονα περιστροφής της εκάστοτε άρθρωσης.



Εικόνα 3.1: Σχηματική αναπαράσταση περιστροφικής άρθρωσης και του άξονα περιστροφής της (πηγή)

- **Πρισματικές** : Πρισματικές είναι οι αρθρώσεις οι οποίες επιτρέπουν την σχετική μετατόπιση μεταξύ δύο συνδέσμων κατά μήκος του άξονα της άρθρωσης. Και αυτές οι αρθρώσεις παρέχουν έναν βαθμό ελευθερίας και δίνουν την δυνατότητα μετατόπισης του σώματος σε έναν από τους τρεις άξονες. Στα κινηματικά διαγράμματα που θα ακολουθήσουν οι πρισματικές αρθρώσεις θα απεικονίζονται με έναν κύβο , το καπάκι του οποίου θα είναι πιο διακριτό και θα δείχνει την κατεύθυνση της κίνησης [23].



Εικόνα 3.2: Σχηματική αναπαράσταση πρισματικής άρθρωσης και του άξονα μετατόπισής της (πηγή)

3.2 ΒΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η θεωρία της κινηματικής ανάλυσης βασίζεται στην εύρεση των σχέσεων, οι οποίες σχετίζονται με τις συντεταγμένες (x,y,z) του τελικού επενεργητή που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι γνωστές. Το ρομπότ της παρούσας διπλωματικής έχει 5 περιστροφικές αρθρώσεις, άρα και 5 βαθμούς ελευθερίας (DOF). Για τον λόγο αυτό η διαδικασία που θα ακολουθηθεί θα είναι αυτή του σφαιρικού καρπού, όπου οι 3 πρώτες αρθρώσεις θα καθορίζουν την θέση του τελικού επενεργητή και οι επόμενες 2 τον προσανατολισμό του στον χώρο.

Η διαδικασία για τις τρεις πρώτες αρθρώσεις περιγράφεται στα παρακάτω βήματα :

1. Αρχικά σχεδιάστηκε το κινηματικό διάγραμμα του ρομπότ που είναι ανθρωπομορφικού τύπου με 5 βαθμούς ελευθερίας, έπειτα σχεδιάστηκε εκ νέου το κινηματικό διάγραμμα για τις τρεις πρώτες αρθρώσεις και τοποθετήθηκαν πάνω στις αρθρώσεις του οι άξονες (x,y,z) σύμφωνα με τους κανόνες Denavit-Hartenberg.
2. Στην συνέχεια υπολογίστηκαν οι πίνακες περιστροφής, μετατόπισης και ομογενούς μετασχηματισμού για κάθε δύο διαδοχικά συστήματα και εν τέλει βρέθηκε ο συνολικός πίνακα ομογενούς μετασχηματισμού \mathbf{H}_3^0 και από αυτόν βρήκα τον πίνακα \mathbf{R}_3^0 .
3. Στο επόμενο βήμα από τον τελικό πίνακα ομογενούς μετασχηματισμού που προέκυψε βρέθηκαν οι εξισώσεις x, y και z οι οποίες περιγράφουν τις συντεταγμένες του τελικού επενεργητή συναρτήσει των μεταβλητών των αρθρώσεων. Με γνωστές τις συντεταγμένες (x, y, z), θα υπολογιστούν οι γωνίες θ_1 , θ_2 , θ_3 για τις τρεις πρώτες περιστροφικές αρθρώσεις. Για την εύρεση των σχέσεων αυτών γίνεται μια συσχέτιση του ενός συστήματος συντεταγμένων με το αμέσως επόμενο και εν τέλει η συσχέτιση του τελικού επενεργητή με το πρώτο

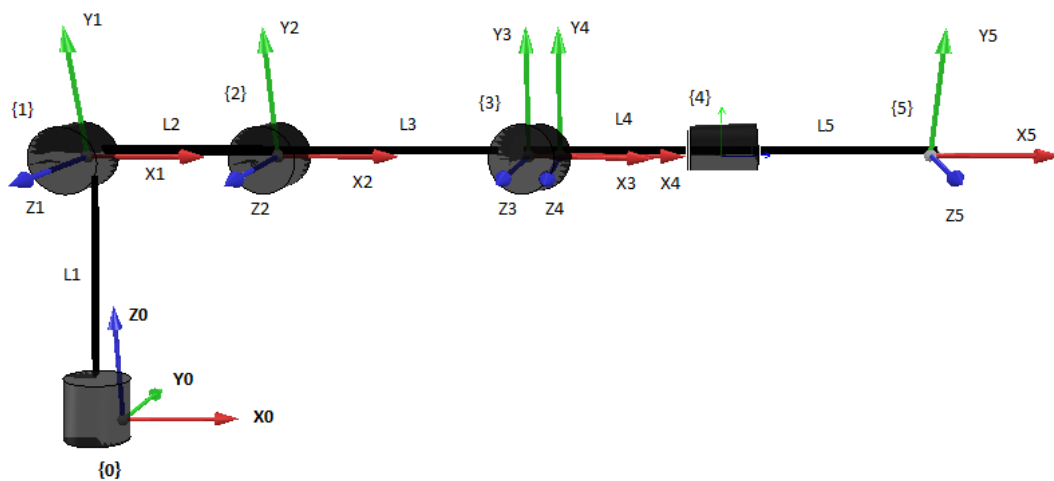
σύστημα ώστε να βρεθεί το πώς κινείται το ένα σύστημα σε σχέση με το άλλο [23,24].

3.3 ΕΥΡΕΣΗ ΘΕΣΗΣ

Με σκοπό την εύρεση της θέσης του τελικού επενεργητή θα αναλυθούν τα πρώτα τρία βήματα από το κεφάλαιο 3.2 με άμεσο στόχο την εύρεση των γωνιών θ_1 , θ_2 , θ_3 . Γενικά η ύπαρξη τριών αρθρώσεων είναι ο ελάχιστος αριθμός αρθρώσεων που απαιτείται ώστε ο τελικός επενεργητής να κινείται σε διάφορες θέσεις στον χώρο.

3.3.1 Σχεδιασμός κινηματικού διαγράμματος

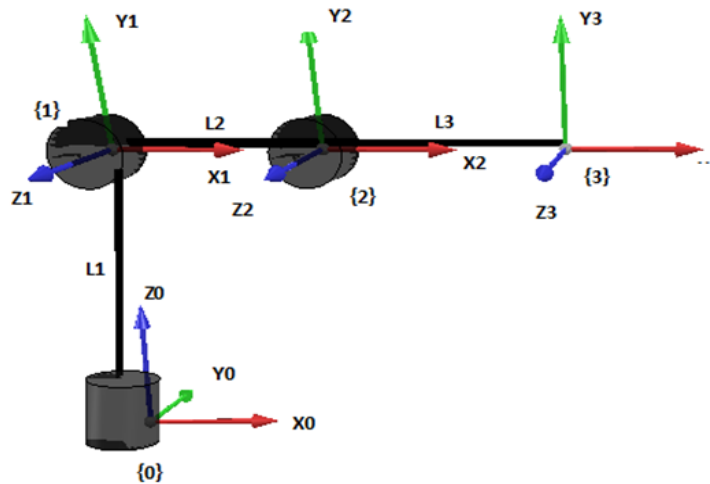
Το πρώτο βήμα της κινηματικής ανάλυσης είναι ο σχεδιασμός του κινηματικού διαγράμματος του ρομπότ. Το ρομπότ που χρησιμοποιήθηκε είναι ανθρωπομορφικού τύπου με πέντε βαθμούς ελευθερίας το οποίο φαίνεται στην εικόνα.



Εικόνα 3.3: Κινηματικό διάγραμμα

Οι άξονες του συστήματος τοποθετήθηκαν σύμφωνα με τους κανόνες Denavit-Hartenberg, τους οποίους θα πρέπει να πληρεί κάθε σύστημα. Το σύστημα 4 πάραυτα δεν τηρεί όλους τους κανόνες με αποτέλεσμα να χρειάζεται η μετακίνηση του συστήματος 4 στο σύστημα συντεταγμένων 3.

Για την εύρεση της θέσης του ρομπότ, δηλαδή των γωνιών θ_1 , θ_2 , θ_3 χρειάζονται μόνο οι τις τρεις πρώτες αρθρώσεις του όπως φαίνονται παρακάτω.



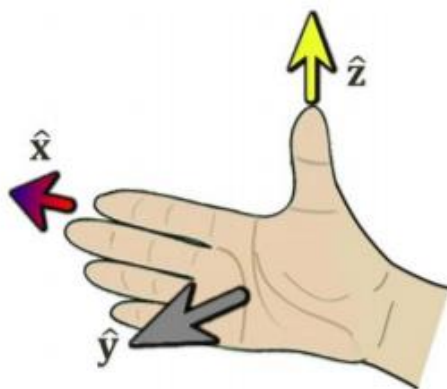
Εικόνα 3.4 : Κινηματικό διάγραμμα θέσης

Αφού σχεδιασθεί το κινηματικό διάγραμμα θα πρέπει να τοποθετηθεί σε αυτό το σύστημα συντεταγμένων. Η τοποθέτηση των αξόνων αυτών γίνεται με βάση κάποιους κανόνες που ονομάζονται κανόνες Denavit-Hartenberg και είναι οι εξής :

1. Ο πρώτος κανόνας αναφέρεται στον άξονα z. Ο άξονας αυτός σε κάθε άρθρωση συμπίπτει με τον άξονα στον οποίο κινείται η άρθρωση. Όσο αναφορά τον τελικό επενεργητή συνήθως ο άξονας z τοποθετείται σε παράλληλη θέση σε σχέση με τον άξονα z της προηγούμενης άρθρωσης.
2. Ο δεύτερος κανόνας αναφέρεται στον άξονα x. Όσο αναφορά την πρώτη άρθρωση ο μόνος περιορισμός είναι ο άξονας x να είναι κάθετος με τον άξονα z της άρθρωσης που εξετάζεται . Για τα υπόλοιπα συστήματα συντεταγμένων θα πρέπει να υπάρχει καθετότητα μεταξύ του άξονα x της άρθρωσης που εξετάζεται και του άξονα z της προηγούμενης άρθρωσης.

3. Ο τρίτος κανόνας αναφέρεται στην προέκταση του άξονα x , εξαιρούμενης της πρώτης άρθρωσης. Η προέκταση αυτή θα πρέπει να τέμνει την προέκταση z της προηγούμενης άρθρωσης. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, θα πρέπει να μετακινηθεί η αρχή των αξόνων της άρθρωσης που εξετάζεται με κατάλληλο τρόπο ώστε να μην ‘‘παραβιάζεται’’ ο κανόνας.
4. Ο τέταρτος κανόνας αναφέρεται στον άξονα y . Ο άξονας αυτός τοποθετείται με βάση τον κανόνα του δεξιού χεριού.

Όσο αναφορά τον κανόνα του δεξιού χεριού και εφόσον σχεδιαστούν οι άξονες z και y ισχύει ότι : Ο αντίχειρας του δεξιού χεριού θα δείχνει την κατεύθυνση του άξονα z , τα δάχτυλα θα δείχνουν την κατεύθυνση του άξονα x και η παλάμη θα δείχνει την κατεύθυνση του άξονα y . Η παραπάνω περιγραφή φαίνεται αναλυτικά στην παρακάτω εικόνα [23,24].



Εικόνα 3.5 : Κανόνας δεξιού χεριού (πηγή)

3.3.2 Υπολογισμών πινάκων περιστροφής, μετατόπισης και ομογενούς μετασχηματισμού

Αρχικά εξετάστηκαν τα δύο πρώτα συστήματα συντεταγμένων και σαν πρώτο βήμα υπολογίστηκε ο πίνακας μετατόπισης, ο οποίος είναι ένας πίνακας 3×3 . Ο πίνακας αυτός προέκυψε από τον πολλαπλασιασμό δύο επιμέρους πινάκων 3×3 , ο πρώτος εκ των οποίων είναι ο πίνακας που προέκυψε από την περιστροφή γύρω από το άξονα Z_0 με γωνία περιστροφής την θ_1 . Ο δεύτερος πίνακας προκύπτει συγκρίνοντας τους άξονες των δύο συστημάτων συντεταγμένων $\{0-1\}$ ως εξής [23] :

- Αν δύο άξονες είναι μεταξύ τους παράλληλοι τότε τοποθετούμε στην αντίστοιχη θέση του πίνακα 1.
- Αν δύο άξονες είναι μεταξύ τους αντιπαράλληλοι τότε τοποθετούμε στην αντίστοιχη θέση του πίνακα -1.
- Αν δύο άξονες είναι μεταξύ τους κάθετοι ή τέμνονται τότε τοποθετούμε στην αντίστοιχη θέση του πίνακα 0.

Από τα παραπάνω προκύπτει ο παρακάτω πίνακας περιστροφής \mathbf{R}_1^0 :

$$\mathbf{R}_1^0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Στην συνέχεια θα πρέπει να υπολογιστεί το διάνυσμα μετατόπισης για τις δύο πρώτες αρθρώσεις. Το διάνυσμα αυτό είναι ουσιαστικά η μετατόπιση που θα έχει το σύστημα συντεταγμένων του συστήματος {1}ως προς το σύστημα {0}. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επειδή το κινηματικό διάγραμμα απαρτίζεται αποκλειστικά από περιστροφικές αρθρώσεις ο πίνακας μετατόπισης θα προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό δύο πινάκων . Ο πρώτος θα είναι ο πίνακας που ελήφθη για την περιστροφή της άρθρωσης και ο δεύτερος θα είναι ο πίνακας ο οποίος προκύπτει από τα μήκη των συνδέσμων των αρθρώσεων . Άρα ο πίνακας \mathbf{d}_1^0 θα είναι :

$$\mathbf{d}_1^0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ l_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ l_1 \end{bmatrix}$$

Τέλος για τα δύο πρώτα συστήματα συντεταγμένων θα πρέπει να υπολογιστεί ο πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού ο οποίος είναι και ο ζητούμενος. Ο πίνακας αυτός είναι 4*4 και έχει ενσωματωμένους τρεις επιμέρους πίνακες. Στο επάνω

αριστερά τμήμα του βρίσκεται ο πίνακας περιστροφής που έχει υπολογιστεί πιο πριν , στην τελευταία στήλη του βρίσκεται το διάνυσμα μετατόπισης που έχει υπολογιστεί πριν και η τελευταία γραμμή του είναι εξορισμού $[0 \ 0 \ 0 \ 1]$. Άρα ο πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού \mathbf{H}_1^0 που προκύπτει θα είναι :

$$\mathbf{H}_1^0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται παρακάτω για την εύρεση του \mathbf{H}_2^1 λαμβάνοντας υπόψη τα συστήματα συντεταγμένων {1-2}.

- Ο πίνακας περιστροφής \mathbf{R}_2^1 που προκύπτει από το σύστημα {1-2} θα είναι :

$$\mathbf{R}_2^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Σημείωση: Ο δεξιά πίνακας πολλαπλασιασμού είναι ο **μοναδιαίος** ο οποίος έχει στην κύρια διαγώνιο του άσσους. Αυτό συμβαίνει διότι το σύστημα συντεταγμένων της πρώτης άρθρωσης είναι το ίδιο με της δεύτερης.

- Το διάνυσμα μετατόπισης \mathbf{d}_2^1 που προκύπτει από το σύστημα {1-2} θα είναι :

$$\mathbf{d}_2^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} l_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 * l_2 \\ \sin\theta_2 * l_2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

- Ο πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού \mathbf{H}_2^1 που προκύπτει από τους δύο παραπάνω πίνακες θα είναι :

$$\mathbf{H}_2^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & \cos\theta_2 * l_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & \sin\theta_2 * l_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ομοίως η ίδια διαδικασία θα πραγματοποιηθεί και για το σύστημα συντεταγμένων δύο σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων τρία :

- Ο πίνακας περιστροφής \mathbf{R}_3^2 που προκύπτει από το σύστημα **{2-3}** θα είναι

$$\mathbf{R}_3^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Το διάνυσμα μετατόπισης \mathbf{d}_3^2 που προκύπτει από το σύστημα **{2-3}** θα είναι :

$$\mathbf{d}_3^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} l_3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 * l_3 \\ \sin\theta_3 * l_3 \\ 0 \end{bmatrix}$$

- Ο πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού \mathbf{H}_3^2 που προκύπτει από τους δύο παραπάνω πίνακες θα είναι :

$$\mathbf{H}_3^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & \cos\theta_3 * l_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & \sin\theta_3 * l_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ο συνολικός πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού θα προκύψει από τον πολλαπλασιασμό των τριών προηγούμενων πινάκων ως εξής :

$$\mathbf{H}_3^0 = \mathbf{H}_1^0 * \mathbf{H}_2^1 * \mathbf{H}_3^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & \cos\theta_2 * l_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & \sin\theta_2 * l_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & \cos\theta_3 * l_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & \sin\theta_3 * l_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_1 * \cos\theta_2 * \cos\theta_3 - \cos\theta_1 * \sin\theta_2 * \sin\theta_3 & -\cos\theta_1 * \cos\theta_2 * \sin\theta_3 - \cos\theta_1 * \cos\theta_3 * \sin\theta_2 & 0 & l_2 * \cos\theta_1 * \cos\theta_2 + l_3 * \cos\theta_1 * \cos\theta_2 * \cos\theta_3 - l_3 * \cos\theta_1 * \sin\theta_2 * \sin\theta_3 \\ \cos\theta_2 * \cos\theta_3 * \sin\theta_1 - \sin\theta_1 * \sin\theta_2 * \sin\theta_3 & -\cos\theta_2 * \sin\theta_1 * \sin\theta_3 - \cos\theta_3 * \sin\theta_1 * \sin\theta_2 & -\cos\theta_1 & l_2 * \cos\theta_2 * \sin\theta_1 + l_3 * \sin\theta_1 * \sin\theta_2 * \sin\theta_3 + l_3 * \cos\theta_2 * \cos\theta_3 * \sin\theta_1 \\ \cos\theta_2 * \sin\theta_3 + \cos\theta_3 * \sin\theta_2 & \cos\theta_2 * \cos\theta_3 - \sin\theta_2 * \sin\theta_3 & 0 & l_1 + l_2 * \sin\theta_3 + l_3 * \cos\theta_2 * \sin\theta_3 + l_3 * \cos\theta_3 * \sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.3.3 Εύρεση σχέσεων

Ο κύριος στόχος της ανάλυσης είναι να βρεθούν οι σχέσεις x,y,z οι οποίες συνδέουν τις συντεταγμένες του τελικού επενεργητή (x,y,z) που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι γνωστές σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων {0}. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο τελικός επενεργητής έχει συντεταγμένες (0,0,0) ως προς το σύστημα συντεταγμένων {0}, οι εξισώσεις θα προκύψουν από τον πολλαπλασιασμό του τελικού πίνακα ομογενούς μετασχηματισμού \mathbf{H}_3^0 με έναν επιμέρους πίνακα όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{H}_3^0 * \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Από τον πολλαπλασιασμό αυτό προκύπτει η τελευταία στήλη του πίνακα του \mathbf{H}_3^0 και άρα οι αντίστοιχες εξισώσεις θα είναι :

$$x = l_2 \cos\theta_1 \cos\theta_2 + l_3 \cos\theta_1 \cos\theta_2 \cos\theta_3 - l_3 \cos\theta_1 \sin\theta_2 \sin\theta_3$$

$$y = l_2 \cos\theta_2 \sin\theta_1 + l_3 \sin\theta_1 \sin\theta_2 \sin\theta_3 + l_3 \cos\theta_2 \cos\theta_3 \sin\theta_1$$

$$z = l_1 + l_2 \sin\theta_3 + l_3 \cos\theta_2 \sin\theta_3 + l_3 \cos\theta_3 \sin\theta_2$$

Κάνοντας πράξεις θα προκύψουν οι παρακάτω απλοποιημένες εξισώσεις :

$$x = \cos\theta_1 [l_2 \cos\theta_2 + l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)] \quad (1)$$

$$y = \sin\theta_1 [l_2 \cos\theta_2 + l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)] \quad (2)$$

$$z = l_1 + l_2 \sin\theta_2 + l_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) \quad (3)$$

Στην συνέχεια το ζητούμενο είναι οι μεταβλητές των συντεταγμένων δηλαδή οι γωνίες θ_1 , θ_2 , θ_3 , άρα θα πρέπει να επιλυθούν οι παραπάνω εξισώσεις ως προς τις γωνίες αυτές. Η επίλυση θα έχει ως εξής :

- Αρχικά διαιρώντας κατά μέλη τις δύο πρώτες σχέσεις θα προκύψει η γωνία θ_1 όπως φαίνεται παρακάτω :

$$\frac{y}{x} = \frac{\sin\theta_1 [l_2 \cos\theta_2 + l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)]}{\cos\theta_1 [l_2 \cos\theta_2 + l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)]} = \frac{\sin\theta_1}{\cos\theta_1} = \tan\theta_1 \Rightarrow \theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

- Έπειτα πολλαπλασιάζοντας τα δύο μέρη της εξίσωσης (1) με $\cos\theta_1$ και τα δύο μέρη της εξίσωσης (2) με $\sin\theta_1$ και παράλληλα προσθέτουμε τις δύο σχέσεις που θα προκύψουν κατά μέλη. Από τους παραπάνω πολλαπλασιασμούς προκύπτουν οι παρακάτω εξισώσεις :

$$x \cos\theta_1 = \cos^2\theta_1 [l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + l_2 \cos\theta_2]$$

$$y \sin\theta_1 = \sin^2\theta_1 [l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + l_2 \cos\theta_2]$$

Ενώ προσθέτοντας τις σχέσεις κατά μέλη και γνωρίζοντας την τριγωνομετρική ταυτότητα $\cos^2 a + \sin^2 a = 1$ προκύπτει η ακόλουθη σχέση :

$$x \cos\theta_1 + y \sin\theta_1 = l_3 * \cos(\theta_2 + \theta_3) + * \cos\theta_2$$

Στην συνέχεια επιλύοντας την εξίσωση z δηλαδή την εξίσωση (3) ως προς $z - l_1$ προκύπτει η σχέση :

$$z - l_1 = l_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + l_2 \sin\theta_2 \quad (4)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τις δύο προηγούμενες σχέσεις και αφού υψωθούν στο τετράγωνο και προστεθούν κατά μέλη προκύπτει η εξής σχέση :

$$(x \cos\theta_1 + y \sin\theta_1)^2 + (z - l_1)^2 = l_2^2 + l_3^2 + 2l_2 l_3 \cos\theta_3$$

$$\text{Άρα } \theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{(x \cos\theta_1 + y \sin\theta_1)^2 + (z - l_1)^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2 l_3} \right)$$

- Απλοποιώντας την εξίσωση (4) και χρησιμοποιώντας την τριγωνομετρική ταυτότητα $\sin(a + b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b$ επακολουθεί η σχέση :

$$z - l_1 = l_3(\cos\theta_2 \sin\theta_3 + \sin\theta_2 \cos\theta_3) + l_2 \sin\theta_2 \Rightarrow$$

$$z - l_1 = l_3 \sin\theta_3 \cos\theta_2 + (l_2 + l_3 \cos\theta_3) \sin\theta_2$$

Έπειτα θέτοντας όπου $(l_2 + l_3 \cos\theta_3) = \kappa \cos\mu$ και $l_3 \sin\theta_3 = \kappa \sin\mu$ όπου οι εξισώσεις των κ και μ θα είναι :

$$\kappa = \sqrt{(l_2 + l_3 \cos\theta_3)^2 + (l_3 \sin\theta_3)^2} \Rightarrow$$

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

$$\mu = \tan^{-1}\left(\frac{l_3 \sin\theta_3}{l_2 + l_3 \cos\theta_3}\right)$$

Τέλος εφαρμόζοντας τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει η γωνία θ_2 ακολούθως:

$$z - l_1 = \kappa \sin\mu * \cos\theta_2 + \kappa \cos\mu * \sin\theta_2 \Rightarrow$$

$$z - l_1 = \kappa \sin(\theta_2 + \mu) \Rightarrow$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{z - l_1}{\kappa}\right) - \mu$$

Μετά την εύρεση των εξισώσεων των γωνιών θ_1 , θ_2 , θ_3 θα πρέπει να υπολογιστούν και οι τιμές των γωνιών αυτών. Στην πειραματική διαδικασία θα χρειαστούν τρία σημεία, όπου το πρώτο σημείο θα είναι η αρχική θέση των δύο εργαλείων και τα δύο επόμενα σημεία θα είναι η τελική θέση του καθενός. Γνωρίζοντας τις συντεταγμένες (x, y, z) των σημείων, αντικαθιστώντας στις παραπάνω εξισώσεις των γωνιών και με πράξεις θα προκύψουν οι τιμές των μεταβλητών. Η τιμή του άξονα z σε κάθε περίπτωση θα είναι z = 0, διότι ο άξονας αυτός είναι κάθετος στο επίπεδο του ρομπότ. Στην θεωρητική αλλά και στην πρακτική ανάλυση έγιναν οι παρακάτω δοκιμές:

- **1^η δοκιμή (16, 9, 0)**

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει ότι :

$$\theta_1 = 29.35^\circ$$

$$\theta_2 = -22.2^\circ$$

$$\theta_3 = 5.9^\circ$$

- **2^ο δοκιμή (12, 10, 0)**

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει ότι :

$$\theta_1 = 39.80^\circ$$

$$\theta_2 = -49.97^\circ$$

$$\theta_3 = 59.83^\circ$$

- **3^ο δοκιμή (-16, 9, 0)**

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει ότι :

$$\theta_1 = 150.64^\circ$$

$$\theta_2 = -22.22^\circ$$

$$\theta_3 = 5.89^\circ$$

3.3.4 Εύρεση Προσανατολισμού

Ο προσανατολισμός του ρομποτικού βραχίονα καθορίζεται από τις δύο τελευταίες αρθρώσεις του, δηλαδή τα συστήματα συντεταγμένων {4} και {5}. Για την εύρεση των γωνιών θ_4 και θ_5 δεν έγινε θεωρητική ανάλυση αλλά προσεγγιστική. Πραγματοποιώντας αρκετές δοκιμές με τον ρομποτικό βραχίονα και με την βοήθεια του κώδικα μέσω του προγράμματος Arduino IDE (θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο) βρέθηκαν ο επιθυμητός προσανατολισμός, Οι εν λόγω γωνίες περιστροφής των σερβοκινητήρων καθώς και ο κώδικας θα αναλυθούν στο κεφάλαιο 4 [24].

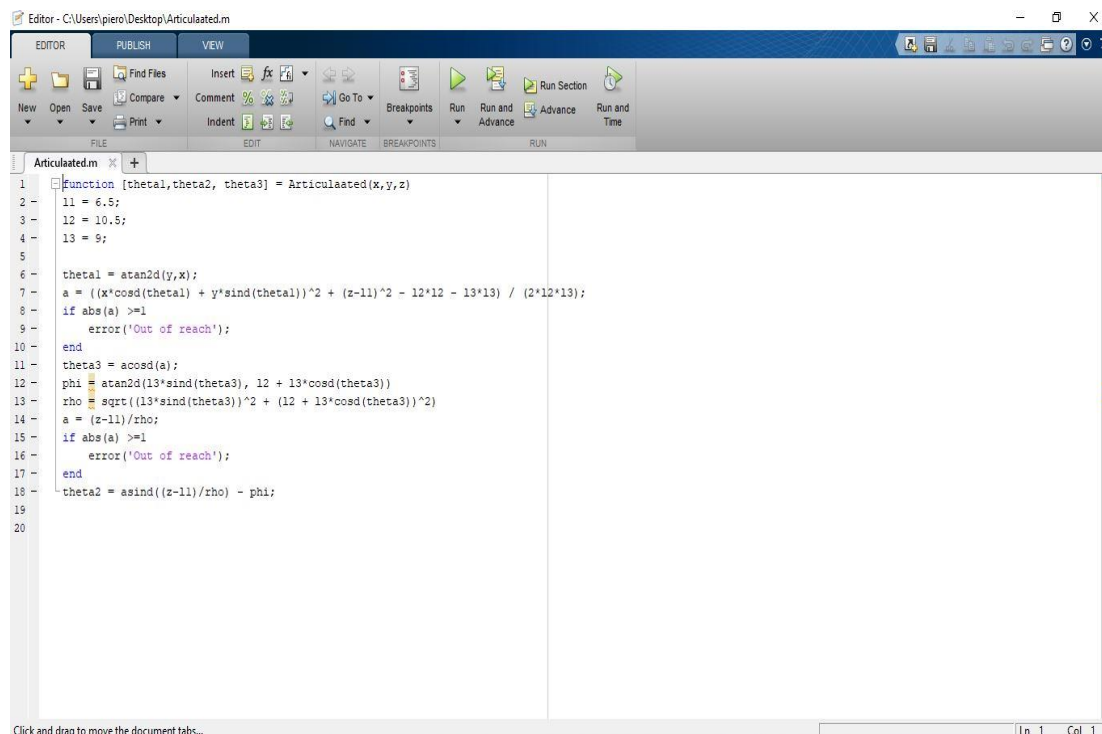
Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα προγράμματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του πειραματικού μέρους. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Matlab για το κεφάλαιο της κινηματικής ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα , χρησιμοποιήθηκε για τον πολλαπλασιασμό πινάκων και την εύρεση των γωνιών. Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα CoppeliaSim Edu με σκοπό την αναπαράσταση του κινηματικού διαγράμματος καθώς και των αξόνων του ρομπότ σε ψηφιακή μορφή. Τέλος αξιοποιήθηκε το πρόγραμμα Arduino IDE για τον προγραμματισμό του Arduino και του ρομπότ , δηλαδή για τον προγραμματισμό των σερβοκινητήρων. Παράλληλα το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε και για τον προγραμματισμό των NFC Tags.

4.1 MATLAB

Το πρόγραμμα Matlab είναι ένα σύγχρονο μαθηματικό λογισμικό πακέτο το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως για εκπαιδευτικούς σκοπούς διότι οι λειτουργίες του και ο προγραμματισμός είναι σχετικά απλές. Επιπλέον διαθέτει την δικιά του γλώσσα προγραμματισμού η οποία δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να το επεκτείνει με δικά του προγράμματα. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα διδάχθηκε και στα πρώτα εξάμηνα του κύκλου σπουδών στο Πανεπιστήμιο καθώς ήταν ένα από τα βασικά εργαλεία.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το εν λόγω πρόγραμμα σε δύο σημεία. Το πρώτο ήταν στον πολλαπλασιασμό πινάκων του κεφαλαίου 3, όπου γίνονταν αρχικά εισαγωγή των μεταβλητών και των τιμών στον Editor και στην συνέχεια στον Command Window γράφονταν η εξίσωση του πολλαπλασιασμού και πατώντας Enter εμφανιζόταν το αποτέλεσμα που ήταν ο ζητούμενος πίνακας, Ο πολλαπλασιασμός αυτός θα μπορούσε να γίνει και χειρόγραφα , αλλά σε περίπτωση που υπάρχουν αρκετές αρθρώσεις και άρα περισσότεροι επιμέρους πίνακες η διαδικασία θα ήταν πιο δύσκολη και χρονοβόρα.

Το δεύτερο σημείο που χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Matlab ήταν για την εύρεση των τιμών των γωνιών, έχοντας προηγήσει βρει τις εξισώσεις των γωνιών. Ο κώδικας παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



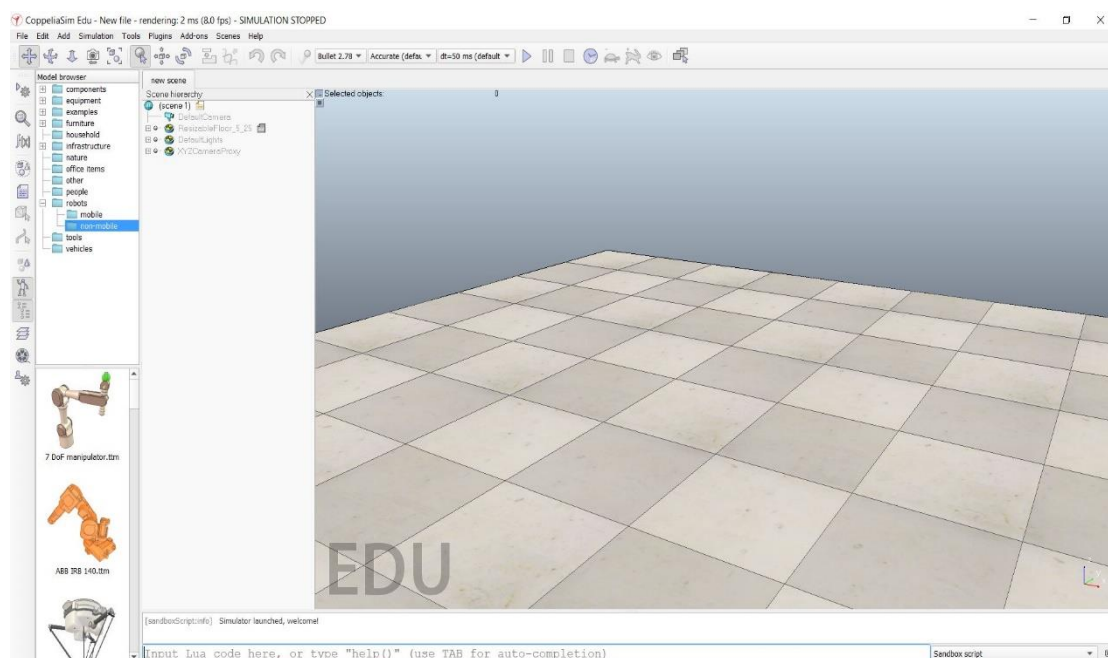
```
1 function [theta1, theta2, theta3] = Articulated(x,y,z)
2     l1 = 6.5;
3     l2 = 10.5;
4     l3 = 9;
5
6     theta1 = atan2d(y,x);
7     a = ((x*cosd(theta1) + y*sind(theta1))^2 + (z-l1)^2 - l2*l2 - l3*l3) / (2*l2*l3);
8     if abs(a) >= 1
9         error('Out of reach');
10    end
11    theta3 = acosd(a);
12    phi = atan2d(l3*sind(theta3), l2 + l3*cosd(theta3));
13    rho = sqrt((l3*sind(theta3))^2 + (l2 + l3*cosd(theta3))^2);
14    a = (z-l1)/rho;
15    if abs(a) >= 1
16        error('Out of reach');
17    end
18    theta2 = asind((z-l1)/rho) - phi;
19
20
```

Εικόνα 4.1: Κώδικας εύρεσης γωνιών

4.2 COPPELIASIM

Το πρόγραμμα CoppeliaSim ή αλλιώς V-REP είναι ένας προσομοιωτής ρομπότ ο οποίος χρησιμοποιείται συνήθως στην βιομηχανία για προσομοιώσεις εργοστασιακού αυτοματισμού, στην εκπαίδευση σχετικά με την ρομποτική, στην απομακρυσμένη παρακολούθηση αλλά και την έρευνα. Το CoppeliaSim διαθέτει μια μεγάλη και καλά τεκμηριωμένη βιβλιοθήκη μοντέλων ρομπότ και αισθητήρων, παραδείγματα κώδικα και δίνει στον χρήστη την δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης. Η εγκατάσταση του προγράμματος είναι δωρεάν και υπάρχουν διάφορες εκδόσεις ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η έκδοση CoppeliaSim Edu (ιδανική για εκπαιδευτικούς σκοπούς) με σκοπό την κατασκευή του κινηματικού διαγράμματος το οποίο ενσωματώθηκε στο

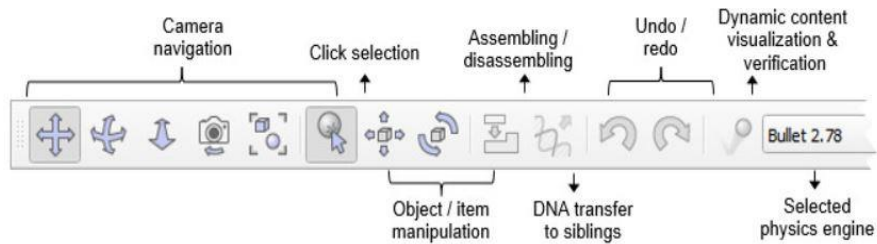
κεφάλαιο 3. Αφού γίνει η εγκατάσταση του προγράμματος και γίνει η εκκίνηση του, εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα [25,26]:



Εικόνα 4.2 : Αρχική οθόνη Coppeliasim Edu [\(πηγή\)](#)

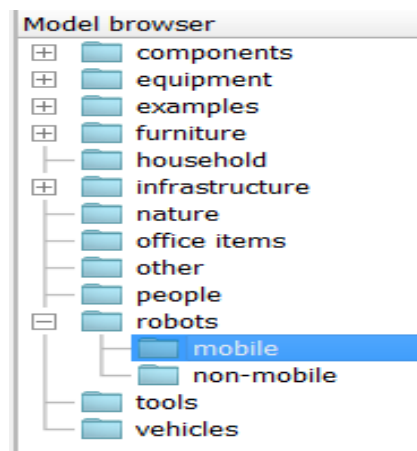
Στην αρχική οθόνη διακρίνονται τα παρακάτω πεδία :

- **Application bar:** Η γραμμή εφαρμογής διακρίνεται στο επάνω μέρος της αρχικής οθόνης. Η γραμμή αυτή υποδεικνύει τον τύπο της άδειας χρήσης του αντιγράφου Coppeliasim, το όνομα του αρχείου, τον χρόνο απόδοσης του συστήματος και τέλος την τρέχουσα κατάσταση της προσομοίωσης (ενεργοποιημένη ή σε παύση).
- **Menu bar:** Η γραμμή μενού βρίσκεται ακριβώς κάτω από την γραμμή εφαρμογής και δίνει την δυνατότητα πρόσβασης σε όλες τις λειτουργίες του προσομοιωτή. Οι λειτουργίες του είναι υπεύθυνες τόσο για την κάμερα προσομοίωσης όσο και για το ίδιο το αντικείμενο και διακρίνονται στην παρακάτω εικόνα.



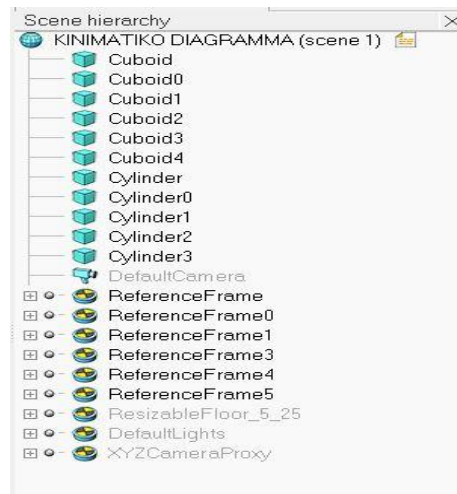
Εικόνα 4.3 : Menu bar (πηγή)

- Toolbars:** Στο πρόγραμμα CoppeliaSim υπάρχουν δύο γραμμές εργαλείων. Η 1^η βρίσκεται ενσωματωμένη στην γραμμή μενού και περιέχει λειτουργίες για την προσομοίωση όπως είναι έναρξη, παύση, διακοπή, επιτάχυνση/ επιβράδυνση και επιλογή σελίδας. Η 2^η βρίσκεται στην αριστερή πλευρά της αρχικής οθόνης η οποία διαθέτει λειτουργίες για την προσομοίωση και το αντικείμενο και ο χρήστης έχει εύκολη πρόσβαση σε αυτήν.
- Model Browser:** Το πρόγραμμα περιήγησης μοντέλου είναι ορατό στην αρχική οθόνη του προγράμματος από προεπιλογή. Στο επάνω μέρος περιέχει κάποιους φακέλους στους οποίους μπορούν να αποθηκευτούν πληροφορίες οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση. Επιπλέον οι κάποιος φάκελος μπορεί να περιέχει μικρογραφίες μοντέλων οι εμφανίζονται στο κάτω μέρος του και έχουν την δυνατότητα αυτόματης φόρτωσης (στην παρούσα διπλωματική δεν χρησιμοποιήθηκε αυτή η λειτουργία).



Εικόνα 4.4 : Model Browser (πηγή)

- scene hierarchy:** Ομοίως το πεδίο αυτό είναι ορατό στην αρχική οθόνη του προγράμματος από προεπιλογή. Στο πεδίο αυτό εμφανίζονται όλα τα αντικείμενα τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό που επιθυμεί ο χρήστης. Επειδή τα αντικείμενα είναι ενσωματωμένα σε δομή τύπου ιεραρχίας, το scene hierarchy εμφανίζει ένα δέντρο αυτής της ιεραρχίας, όπου με διπλό κλικ πάνω σε κάποιο αντικείμενο εμφανίζεται ένα παράθυρο με τις ιδιότητες του αντικειμένου. Επιπλέον αν ο χρήστης επιθυμεί να επεξεργαστεί κάποιο αντικείμενο αρκεί να κάνει ένα διπλό κλικ στην ονομασία του αντικειμένου μέσω του scene hierarchy. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το scene hierarchy που δημιουργήθηκε από την υλοποίηση του κινηματικού διαγράμματος μέσω του προγράμματος CoppeliaSim Edu [26,27].









Εικόνα 4.5: Scene hierarchy (πηγή)

4.3 ARDUINO IDE

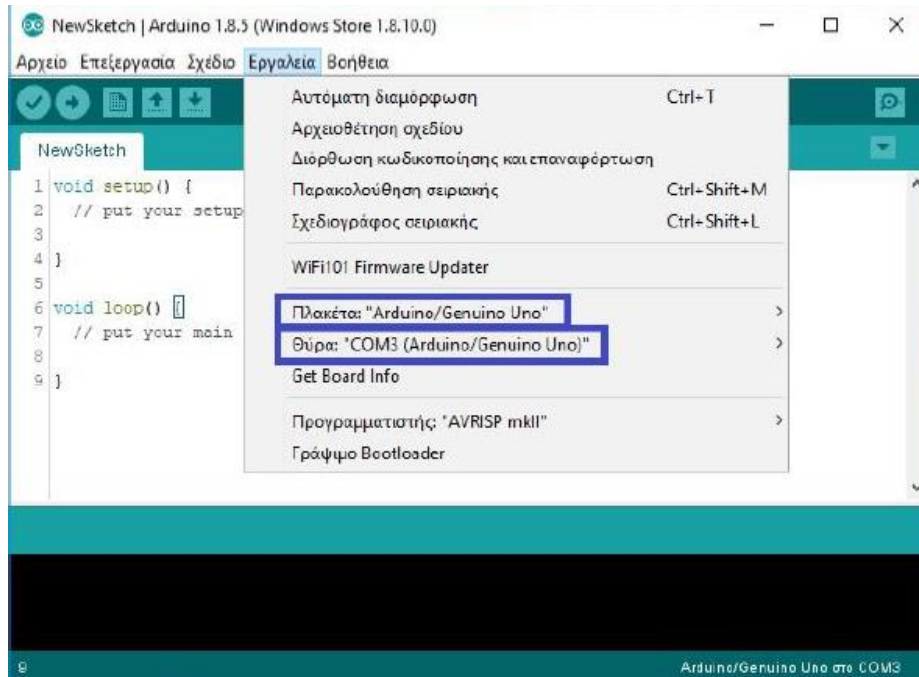
Με σκοπό την υλοποίηση του πειραματικού μέρους της εργασίας, ήταν αναγκαίος ο προγραμματισμός του Arduino. Το πρόγραμμα αυτό ονομάζεται Arduino IDE και περιέχει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου για την εγγραφή του κώδικα, μια περιοχή με μαύρο χρώμα όπου εμφανίζονται τα μηνύματα που αφορούν πληροφορίες για τον κώδικα, μια περιοχή κειμένου όπου γράφεται ο κώδικας και τέλος μια γραμμή εργαλείων.

Πίνακας 2 : Επιλογές γραμμής εργαλείων (πηγή)

Σύμβολο	Ονομασία	Λειτουργία
	Verify	Ελέγχει για συντακτικά λάθη στον κώδικα
	Upload	Φορτώνει τον κώδικα στο Arduino
	New	Δημιουργεί ένα νέο sketch
	Open	Παραθέτει ένα μενού με όλα τα sketch. Κάνοντας κλικ σε ένα από αυτά, θα ανοίξει αυτόματα στο τρέχον παράθυρο
	Save	Αποθηκεύει ένα sketch.
	Serial Monitor	Ανοίγει την σειριακή οθόνη

Το Arduino συνδέεται σε μια από τις θύρες USB του υπολογιστή και μέσω του ελεγκτή Serial over USB, θα πρέπει να αναγνωριστεί από το λειτουργικό σύστημα ως εικονική σειριακή θύρα. Στην συνέχεια αφού ολοκληρωθεί η σύνταξη του κώδικα επιλέγοντας το κουμπί "Verify", το πρόγραμμα κάνει έναν αυτόματο έλεγχο στον κώδικα ώστε να βρει λάθη που προέκυψαν κατά την συγγραφή του. Αφού επαληθευτεί ότι ο κώδικας είναι σωστός τότε επιλέγοντας το κουμπί "Upload" φορτώνεται ο κώδικας στην πλακέτα ώστε να ξεκινήσει η λειτουργία του. Πριν γίνει το Upload θα πρέπει ο χρήστης να επιβεβαιωθεί ότι η πλατφόρμα του Arduino έχει συνδεθεί με τον υπολογιστή. Αυτό επιβεβαιώνεται όταν ο χρήστης κάνει κλικ σε δυο επιλογές :

1. Πηγαίνοντας στην γραμμή εργαλείων και επιλέγοντας αντικείμενα → πλακέτα → Arduino/ Genuino Uno
2. Πηγαίνοντας στην γραμμή εργαλείων και επιλέγοντας αντικείμενα → Σειριακή θύρα → COM3 (Arduino/ Genuino Uno) [29,30]

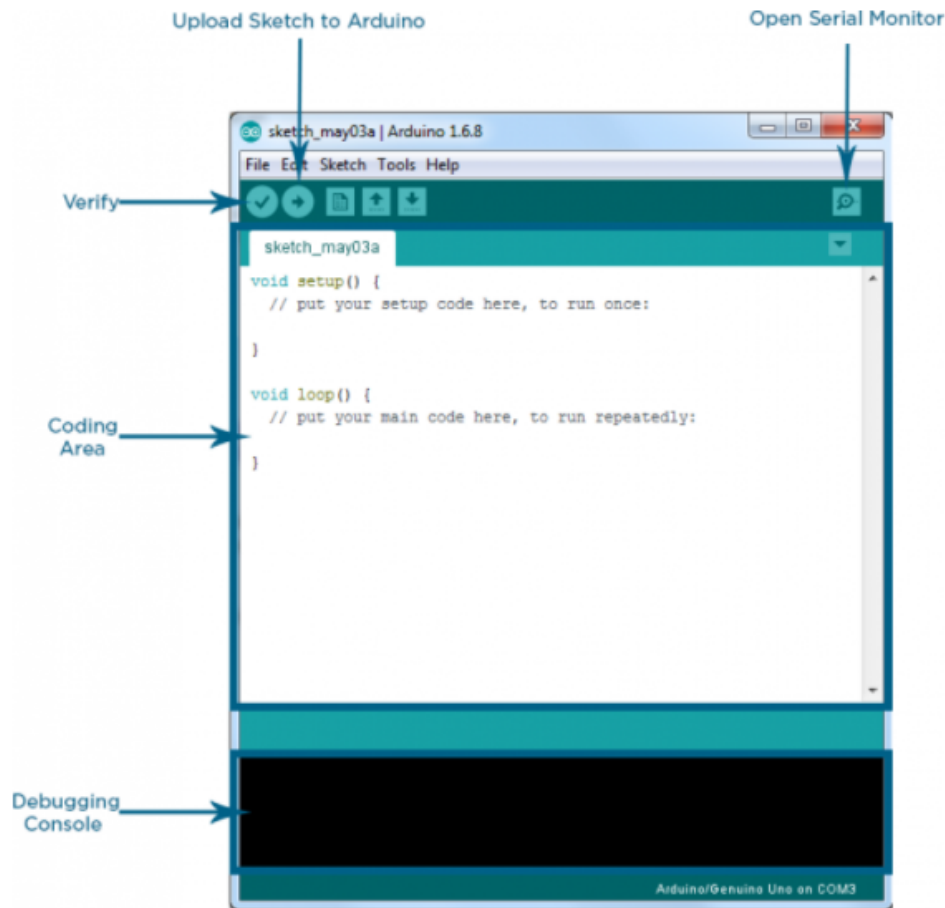


Εικόνα 4.6 : Επιλογή πλακέτας και θύρας για φόρτωση κώδικα ([πηγή](#))

Η γλώσσα η οποία χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό του Arduino είναι βασισμένη στην γλώσσα Wiring μια παραλλαγή της γλώσσας C/C++. Χρησιμοποιείται για μικροελεγκτές με αρχιτεκτονική AVR, όπως είναι ο μικροελεγκτής ATmega που είναι ενσωματωμένος στον Arduino. Η γλώσσα αυτή μπορεί να υποστηρίξει όλες τις βασικές δομές της γλώσσας C και παράλληλα κάποια χαρακτηριστικά της C/C++. Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες βασικές εντολές και συναρτήσεις, με την ίδια σύνταξη, τους ίδιους τελεστές και τους ίδιους τύπους δεδομένων με την γλώσσα C, όμως υπάρχουν και κάποιες ειδικές εντολές και συναρτήσεις στην γλώσσα του προγράμματος Arduino IDE [28].

4.3.1 Βασική Δομή Προγράμματος

Κατά την έναρξη του προγράμματος Arduino IDE, ανοίγει μια καρτέλα sketch όπου υπάρχουν δύο βασικές συναρτήσεις οι void setup και void loop οι οποίες παρουσιάζονται και στην παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 4.7 : Περιβάλλον εργασίας Arduino IDE ([πηγή](#))

Μέσα στην ειδική συνάρτηση set up γράφονται οι εντολές οι οποίες θα τρέξουν μόνο μια φορά όταν ξεκινήσει η μονάδα ή όταν πατηθεί το κουμπί της επανεκκίνησης (reset). Οι εντολές που γράφονται μέσα στην set up σχετίζονται με την αρχικοποίηση τιμών σε μεταβλητές, με την προετοιμασία βιβλιοθηκών αλλά και με τον ορισμό των pin τα οποία χρησιμοποιούνται είτε ως είσοδοι είτε ως έξοδοι.

Μέσα στην ειδική συνάρτηση loop γράφονται οι εντολές του προγράμματος, οι οποίες τρέχουν μέχρι να φθάσει το πρόγραμμα στο τέλος και μετά ξανά από την αρχή. Αυτή είναι μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία η οποία διαρκεί όσο η μονάδα τροφοδοτείται από ρεύμα ή μέχρι να πατηθεί το κουμπί της επανεκκίνησης.

Συνεπώς στην βασική δομή του προγράμματος η συνάρτηση set up τρέχει μια φορά σύμφωνα με τα δεδομένα που αναφέρθηκαν πιο πάνω, ενώ η συνάρτηση loop τρέχει συνεχόμενα. Αρκετά σημαντικό είναι το γεγονός ότι το sketch θα πρέπει υποχρεωτικά να αποτελείται και από τις δύο συναρτήσεις, ακόμη και αν σε κάποια από αυτές δεν υπάρχει γραμμένος κώδικας (κενή) [28].

4.3.2 Συνάρτηση ορισμού θυρών εισόδου –εξόδου και συνάρτηση χρόνου

Μια από τις βασικές λειτουργίες του μικροελεγκτή είναι ο έλεγχος των θυρών του και ο ορισμός τους ως εισοδοί ή εξοδοί ανάλογα με το αν δίνει ή παίρνει ρεύμα από αυτές. Αυτός ο ορισμός όπως προαναφέρθηκε γίνεται στην συνάρτηση `setup` με την συνάρτηση **pinMode (Pin, Mode)**. Στο όρισμα `Pin` τοποθετείται ο αριθμός του `pin` την πλακέτας που χρησιμοποιείται, ενώ στο όρισμα `Mode` τοποθετείται η λέξη `INPUT` αν το `pin` είναι είσοδος και `OUTPUT` αν το `pin` είναι έξοδος .

Στον κώδικα που θα χρησιμοποιηθεί για την παρούσα διπλωματική εργασία θα χρειαστεί σε αρκετά σημεία να υπάρχει καθυστέρηση στον χρόνο. Η συνάρτηση που χρησιμοποιεί τον πρόγραμμα για την λειτουργία αυτή είναι **delay (time)**, όπου στην θέση `time` ορίζεται ο χρόνος της καθυστέρησης που επιθυμεί ο χρήστης σε `ms` (1/100 `sec`) [28,29].

4.3.3 Συναρτήσεις ψηφιακής εισόδου - εξόδου ρεύματος

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως για να οριστεί ένα `Pin` ως είσοδος ή έξοδος χρησιμοποιείται η συνάρτηση `pinMode (Pin, Mode)`, η οποία θα πρέπει να έχει ορισθεί στην `setup` ώστε να ακολουθήσει η παρακάτω διαδικασία. Το `Arduino` διαθέτει 14 `pins` τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ψηφιακοί εξοδοί με την συνάρτηση **digitalWrite (Pin, Value)**. Στην συνάρτηση αυτή το όρισμα `Pin` αναφέρεται στην θύρα η οποία χρησιμοποιήθηκε ως έξοδος, ενώ το `Value` χαρακτηρίζει την τάση εξόδου η οποία λαμβάνει δύο τιμές `0V` ή `5V` ανάλογα με το αν το εάν έχει τεθεί ως `LOW` (`0V`) ή `HIGH` (`5V`).

Για τα 14 ψηφιακά `pin` που διαθέτει ο `Arduino`, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εισοδοί, η συνάρτηση που χρησιμοποιείται είναι η εξής **digitalRead (Pin, Value)**. Στην συνάρτηση αυτή το όρισμα `Pin` αναφέρεται στην θύρα η οποία χρησιμοποιήθηκε ως είσοδος, ενώ το `Value` χαρακτηρίζει την τάση εισόδου η οποία λαμβάνει δύο τιμές `0V` ή `5V` ανάλογα με το αν το εάν έχει τεθεί ως `LOW` (`0V`) ή `HIGH` (`5V`) [28,29,30].

4.3.4 Συναρτήσεις αναλογικής εισόδου - εξόδου ρεύματος

Μερικά από τα 14 Pins του Arduino τα οποία έχουν την ένδειξη PWM, μπορούν να προσομοιωθούν ως αναλογικοί εξοδοί με τις τιμές από 0-255 να αντιστοιχούν στο διάστημα 0-5 V. Η διαδικασία αυτή γίνεται με την συνάρτηση **analogWrite (Pin, Mode)** στην οποία το όρισμα Pin αναφέρεται στην θύρα η οποία χρησιμοποιήθηκε ως έξοδος, ενώ το Value χαρακτηρίζει την τάση εξόδου η οποία μπορεί να λαμβάνει τιμές από 0V έως 5V. Η αντιστοιχία έχει ως εξής : η τιμή 0 δίνει στην έξοδο 0V, ενώ η τιμή 255 δίνει στην έξοδο 5V. Και στην περίπτωση αυτής της συνάρτησης θα πρέπει πρώτα να έχει οριστεί το Pin ως έξοδος μέσα στην συνάρτηση setup.

Όσο αναφορά τις αναλογικές εισόδους , το Arduino διαθέτει 6 αναλογικές εισόδους συμβολισμένες A0 – A5 στις οποίες μπορεί να συνδεθεί κάποιο εξάρτημα και να διαβαστεί ως είσοδος. Η διαδικασία αυτή γίνεται με την συνάρτηση **analogRead (Pin)** όπου το όρισμα Pin αναφέρεται στην αναλογική θύρα εισόδου από όπου θα διαβάζει την τιμή. Η απάντηση η οποία επιστρέφεται από την συνάρτηση αντιστοιχεί στην τιμή εισόδου , η οποία μπορεί να είναι ένας ακέραιος αριθμός από 0- 1023. Τις περισσότερες φορές χρησιμοποιείται μια μεταβλητή ώστε να καταχωρηθεί η τιμή . Για παράδειγμα αν είχε χρησιμοποιηθεί η αναλογική θύρα A1 η σύνταξη της μεταβλητής θα ήταν **int read = analogRead (A1)** . Πρέπει να δοθεί και σε αυτή την περίπτωση προσοχή στο γεγονός ότι θα πρέπει πρώτα να έχει οριστεί το Pin ως είσοδος μέσα στην συνάρτηση setup [28,29,30].

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένας ρομποτικός βραχίονας για την αναγνώριση ιατρικών εργαλείων με την χρήση της τεχνολογίας RFID. Η τεχνολογία αυτή παρέχει την δυνατότητα ανάγνωσης και εγγραφής δεδομένων σε ένα RFID tag, με σκοπό ο χρήστης να σαρώνει τα κατάλληλα tags στο RFID reader, ώστε ο ρομποτικός βραχίονας να εντοπίζει και να διαχωρίζει τα δύο εργαλεία.

Υλοποιώντας την συσκευή προέκυψαν αρκετές παρατηρήσεις και συμπεράσματα μέσα από αυτήν. Αρχικά κατά την συναρμολόγηση τους ρομποτικού βραχίονα παρατηρήθηκε ότι θα πρέπει να γίνει πολύ καλή ευθυγράμμιση στους δακτυλίους που βρίσκονται πάνω από την βάση του, έτσι ώστε να μην υπάρχουν αποκλίσεις στις γωνίες περιστροφής των σερβοκινητήρων. Παράλληλα εξ ορισμού ήταν γνωστό ότι οι σερβοκινητήρες μπορούν να κινηθούν από 0-180°, όμως μετά από δοκιμές καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως η λειτουργία τους στα άκρα δηλαδή στις 0° και στις 180° αντίστοιχα μπορεί να τους κάψει. Στην συνέχεια στο κεφάλαιο της κινηματικής ανάλυσης παρατηρήθηκε ότι για την γωνία θ_2 δηλαδή για τον 2° σερβοκινητήρα ισχύουν κάποιοι περιορισμοί για το πεδίο κίνησης του. Από την κινηματική ανάλυση προέκυψε ότι η τιμή του $\cos^{-1}(\theta_2)$ θα πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα από το -1 και το 1 και άρα προέκυψε το συμπέρασμα ότι ο 2^{ος} σερβοκινητήρας θα έχει περιορισμό στις τιμές των γωνιών περιστροφής. Επιπλέον, επειδή στην περίπτωση του προσανατολισμού έγινε ο υπολογισμός των γωνιών οπτικά και με αρκετές δοκιμές, μπορεί και εδώ να υπάρχει απόκλιση στις γωνίες θ_4 και θ_5 .

Αρχικά προγραμματίζοντας τον ρομποτικό βραχίονα έγιναν αρκετές δοκιμές με την εισαγωγή γωνιών με χειροκίνητο τρόπο, ώστε να βρεθούν οι κατάλληλες γωνίες οι οποίες εισήχθησαν έπειτα στο κύριο μέρος του προγράμματος. Χρησιμοποιώντας την εντολή **Servo.Write (angle)**, ο σερβοκινητήρας πήγαινε στην επιθυμητή γωνία, όμως οι κινήσεις του ήταν γρήγορες και μη ομαλές. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιώντας την συνάρτηση **void moveServo(Servo servo, float angle)**, το σύστημα απέκτησε την δυνατότητα να κάνει πιο ομαλές κινήσεις.

Όσο αναφορά τις μελλοντικές βελτιώσεις που θα μπορέσει να έχει κατασκευή, εξαρτώνται και από απαιτήσεις του χρήστη. Μια από αυτές θα ήταν η χρήση σερβοκινητήρων με δυνατότητα περιστροφής 360°, γεγονός που θα δημιουργούσε μεγαλύτερο πεδίο κίνησης του ρομποτικού βραχίονα. Επιπρόσθετα μια ακόμη βελτίωση θα ήταν η χρήση κάμερας αντί για την χρήση των RFID tags. Η χρήση της κάμερας θα προσφέρει στο ρομπότ ευρύτερο οπτικό πεδίο και ακριβέστερο εντοπισμό της θέσης των εργαλείων, όμως το κόστος της είναι πιθανόν μεγαλύτερο.

Επιπλέον μια ακόμη μελλοντική βελτίωση θα ήταν η εισαγωγή τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence- AI). Με αυτόν τον τρόπο το ρομπότ θα μπορεί να εκπαιδευτεί ώστε να αποφεύγονται κάποια σφάλματα και να αυτοματοποιηθούν κάποιες διαδικασίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Lane, T. (2018) ‘A short history of robotic surgery’, *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 100, pp. 5–7. doi: 10.1308/rcsann.suppl.5.
- [2] JOHN GRAIN, ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ, Μηχανική και Αυτόματος έλεγχος, Εκδόσεις Τζιόλα, 2008
- [3] ΔΟΥΛΓΕΡΗ Ζωή, ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ, κινηματική δυναμική και έλεγχος αρθρωτών βραχιόνων, Εκδόσεις Κριτική, 2007
- [4] Ilias, B. *et al.* (2014) ‘A nurse following robot with high speed kinect sensor’, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(12), pp. 2454–2459.
- [5] Fazekas, G., Horvath, M. and Toth, A. (2006) ‘A novel robot training system designed to supplement upper limb physiotherapy of patients with spastic hemiparesis’, *International Journal of Rehabilitation Research*, 29(3), pp. 251–254. doi: 10.1097/01.mrr.0000230050.16604.d9.
- [6] 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.
- [7] Simon DiMaio, Ph.D. “da Vinci and Beyond”, Intuitive Surgical, 21 July 2014
- [8] Hubens, G., Coveliers, H., Balliu, L., Ruppert, M., & Vaneerdeweg, W. (2003). *A performance study comparing manual and robotically assisted laparoscopic surgery using the da Vinci system. Surgical Endoscopy*, 17(10), 1595 - 1599. doi:10.1007/s00464-002-9248-1
- [9] Hashizume, M. and Tsugawa, K. (2004) ‘Robotic surgery and cancer: The present state, problems and future vision’, *Japanese Journal of Clinical Oncology*, 34(5), pp. 227–237. doi: 10.1093/jjco/hyh053.
- [10] Jaysukh Barot, Dr. D. Y. Patil Institute Of Biotechnology & Bioinformatics, “Medical robotics: History, Applications, Limitations”,

- [11] Ahmed, A. K., Zygourakis, C. C., Kalb, S., Zhu, A. M., Molina, C. A., Jiang, B., ... Theodore, N. (2019). *First spine surgery utilizing real-time image-guided robotic assistance. Computer Assisted Surgery, 1* -5. doi:10.1080/24699322.2018.1542029
- [12] ‘LeArm User Manual Warming tips’ (no date).
- [13] LSC-6 Robotic Arm Bluetooth Controller User Manual
- [14] Π. Ασβεστάς, Διαλέξεις Ιατρικά Ηλεκτρονικά
- [15] Arduino Uno R3. <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.
- [16] Arduino playground, <http://www.arduino.cc/>
- [17] For, M. (2020) ‘Patent Application Publication (10) Pub . No .: US 2020/0097687 A1 (43)’, 2020.
- [18] <http://nfc-forum.org/>
- [19] <https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-rfid-nfc>
- [20] E., Haselsteiner και K., Breitfuß. Security in Near Field Communication (NFC) Strengths and Weaknesses.
https://pdfs.semanticscholar.org/cbe9/0ce9e3b721dc2429a82618bb9ce06cfae283.pdf?_ga=2.193314734.243064402.1525970008-117363381.1525970008.
- [21] Steffen, R., Preißinger, J., Schöllermann, T., Müller, A., & Schnabel, I. (2010). *Near Field Communication (NFC) in an Automotive Environment. 2010 Second International Workshop on Near Field Communication*. doi:10.1109/nfc.2010.11
- [22] <https://grobotronics.com/mfrc-522-nfc-rfid-controller-breakout-board.html>
- [23] Π. Ασβεστάς, Διαλέξεις Εισαγωγή στην Ρομποτική 2019
- [24] Π. Ασβεστάς, Διαλέξεις Προχωρημένα Θέματα Ρομποτικής 2019
- [25] <https://www.coppeliarobotics.com/>
- [26] CoppeliaSim User Manual.
<https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/index.html>

[27] Bogaerts, B., Sels, S., Vanlanduit, S., & Penne, R. (2020). *Connecting the CoppeliaSim robotics simulator to virtual reality*. *SoftwareX*, 11, 100426. doi:10.1016/j.softx.2020.100426

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

[29] Fezari, M. and Al Dahoud, A. (2018) ‘Integrated Development Environment “IDE” For Arduino Integrated Development Environment “IDE” For Arduino Introduction to Arduino IDE’, (October). Available at: <https://www.researchgate.net/publication/328615543> .

[30] Louis, L. (2016) ‘Working Principle of Arduino and Using it as a Tool for Study and Research’, *International Journal of Control, Automation, Communication and Systems*, 1(2), pp. 21–29. doi: 10.5121/ijcacs.2016.1203.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I FUNCTIONS

```
int readBlock(int blockNumber, byte arrayAddress[])
{
    int largestModulo4Number=blockNumber/4*4;

    int trailerBlock=largestModulo4Number+3;//determine trailer block for the sector

    /*******authentication of the desired
    block for
    access******/

    byte status =
    mfrc522.PCD_Authenticate(MFRC522::PICC_CMD_MF_AUTH_KEY_A,
    trailerBlock, &key, &(mfrc522.uid));

    //byte PCD_Authenticate(byte command, byte blockAddr, MIFARE_Key *key, Uid
    *uid);

    //this method is used to authenticate a certain block for writing or reading

    //command: See enumerations above -> PICC_CMD_MF_AUTH_KEY_A      =
    0x60 (=1100000),          // this command performs authentication with Key A

    //blockAddr is the number of the block from 0 to 15.

    //MIFARE_Key *key is a pointer to the MIFARE_Key struct defined above, this
    struct needs to be defined for each block. New cards have all A/B= FF FF FF FF FF
    FF

    //Uid *uid is a pointer to the UID struct that contains the user ID of the card.

    if (status != MFRC522::STATUS_OK) {

        Serial.print("PCD_Authenticate() failed (read): ");

        Serial.println(mfrc522.GetStatusCodeName(status));
    }
}
```

```

        return 3;//return "3" as error message
    }

    //it appears the authentication needs to be made before every block read/write within
    a specific sector.

    //If a different sector is being authenticated access to the previous one is lost.

    /*****reading a
    block*****/

    byte buffersize = 18;//we need to define a variable with the read buffer size, since the
    MIFARE_Read method below needs a pointer to the variable that contains the size...

    status = mfrc522.MIFARE_Read(blockNumber, arrayAddress,
    &buffersize);//&buffersize is a pointer to the buffersize variable; MIFARE_Read
    requires a pointer instead of just a number

    if (status != MFRC522::STATUS_OK) {

        Serial.print("MIFARE_read() failed: ");

        Serial.println(mfrc522.GetStatusCodeName(status));

        return 4;//return "4" as error message

    }

    //Serial.println("block was read");

}

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ ΚΩΔΙΚΑΣ

```
#include <Servo.h>

#include <SPI.h>//include the SPI bus library
#include <MFRC522.h>//include the RFID reader library

#define SS_PIN 10 //slave select pin
#define RST_PIN 5 //reset pin
MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN); // instantiate a MFRC522 reader object.
MFRC522::MIFARE_Key key;//create a MIFARE_Key struct named 'key', which
will hold the card information

Servo servo1, servo2, servo3, servo4, servo5, servo6;
int position;

void setup() {
  servo1.attach(2);
  servo2.attach(3);
  servo3.attach(4);
  servo4.attach(6);
  servo5.attach(7);
  servo6.attach(8);

  moveServo(servo1, 120);
  moveServo(servo2, 100);
  moveServo(servo3, 20);
  moveServo(servo4, 5);
  moveServo(servo5, 90);
  moveServo(servo6, 90);
```



```

Serial.begin(9600);    // Initialize serial communications with the PC

SPI.begin();          // Init SPI bus

mfrc522.PCD_Init();   // Init MFRC522 card (in case you wonder what PCD
means: proximity coupling device)

Serial.println("Scan RFID card");

// Prepare the security key for the read and write functions - all six key bytes are set
to 0xFF at chip delivery from the factory.

// Since the cards in the kit are new and the keys were never defined, they are 0xFF

// if we had a card that was programmed by someone else, we would need to know
the key to be able to access it. This key would then need to be stored in 'key' instead.

for (byte i = 0; i < 6; i++) {
    key.keyByte[i] = 0xFF;//keyByte is defined in the "MIFARE_Key" 'struct'
definition in the .h file of the library
}

}

int block = 2; //this is the block number we will write into and then read. Do not write
into 'sector trailer' block, since this can make the block unusable.

byte readbackblock[18];//This array is used for reading out a block. The
MIFARE_Read method requires a buffer that is at least 18 bytes to hold the 16 bytes
of a block.

void loop()
{

    /*****establishing contact with a
tag/card*****/
    *****/

    // Look for new cards (in case you wonder what PICC means: proximity integrated
circuit card)

```

```
if ( ! mfrc522.PICC_IsNewCardPresent() ) { //if PICC_IsNewCardPresent returns 1, a
new card has been found and we continue
```

```
return; //if it did not find a new card it returns a '0' and we return to the start of the
loop
```

```
}
```

```
// Select one of the cards
```

```
if ( ! mfrc522.PICC_ReadCardSerial() ) { //if PICC_ReadCardSerial returns 1, the
"uid" struct (see MFRC522.h lines 238-45)) contains the ID of the read card.
```

```
return; //if it returns a '0' something went wrong and we return to the start of the
loop
```

```
}
```

```
//Serial.println("card selected");
```

```
/******reading a block on the
card*****
*****/
```

```
readBlock(block, readbackblock); //read the block back
```

```
//Serial.print("read block: ");
```

```
/*for (int j = 0 ; j < 16 ; j++) //print the block contents
```

```
{
```

```
//Serial.write (readbackblock[j]); //Serial.write() transmits the ASCII numbers as
human readable characters to serial monitor
```

```
Serial.print(readbackblock[j]);
```

```
*/
```

```
if (readbackblock[0] == 1) {
```

```
Serial.println("Object 1");
```

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

```
    moveServo(servo2, 100);
    moveServo(servo3, 20);
    moveServo(servo4, 5);
    moveServo(servo6, 168);
    delay(2000);
    moveServo(servo4, 50);
    moveServo(servo2, 70);
    moveServo(servo1, 160);
    moveServo(servo2, 100);
    moveServo(servo4, 5);
    moveServo(servo6, 90);
    delay(2000);
    moveServo(servo1, 120);
}
else if (readbackblock[0] == 2) {
    Serial.println("Object 2");

    moveServo(servo1, 120);
    moveServo(servo2, 100);
    moveServo(servo3, 20);
    moveServo(servo4, 5);
    moveServo(servo6, 160);
    delay(2000);
    moveServo(servo4, 50);
    moveServo(servo2, 70);
    moveServo(servo1, 80);
    moveServo(servo2, 100);
    moveServo(servo4, 5);
    moveServo(servo6, 90);
    delay(2000);
```

```

    moveServo(servo1, 120);
}
Serial.println("");
mfrc522.PICC_HaltA(); // halt PICC
mfrc522.PCD_StopCrypto1();

}

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(25);
        }
    } else {
        for (float a = angle0; a >= angle; a = a - 1) {
            servo.write(a);
            delay(25);
        }
    }
}
}

```