



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

**«Προγραμματισμός ρομποτικού βραχίονα
για την υποστήριξη ατόμων με σωματική
αναπηρία στην διαδικασία της σίτισης»**

Ελένη Νάνου

Αριθμός Μητρώου: 18388051

Επιβλέπων Καθηγητής
Παντελεήμων Ασβεστάς

Αθήνα 14/03/2024

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Ασβεστάς Παντελεήμων

Καθηγητής

Γκλώτσος Δημήτριος

Καθηγητής

Κωστόπουλος Σπυρίδων

Αναπληρωτής Καθηγητής

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η υπογράφουσα Νάνου Ελένη του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 18388051 φοιτήτρια 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 σύνολο τους, με πλήρη αναφορά στου 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 εμένα 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 διπλώματός μου».

Ημερομηνία

14/03/2024

Η Δηλούσα



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Υποστηρικτική Τεχνολογία (Assistive Technology) είναι ένας ευρύς όρος που καλύπτει οποιοδήποτε προσαρμοσμένο ή ειδικά σχεδιασμένο τμήμα εξοπλισμού, προϊόν, λογισμικό, σύστημα ή υπηρεσία το οποίο παρέχει βοήθεια στις καθημερινές δραστηριότητες των ατόμων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μία προσπάθεια χρήσης ενός εμπορικού ρομποτικού βραχίονα ως υποστηρικτικό προϊόν για την αυτόνομη σίτιση ατόμων με κινητικές αναπηρίες. Ο απώτερος σκοπός αυτής της προτεινόμενης διαδικασίας είναι η εξυπηρέτηση ατόμων με κινητικές αναπηρίες, οι οποίοι χρειάζονται βοήθεια κάποιου άλλου προσώπου για να εκτελέσουν την διαδικασία της σίτισης. Για την εκτέλεση της, δημιουργήθηκε πρόγραμμα μέσω του προγραμματιστικού περιβάλλοντος CPRog του ρομποτικού βραχίονα Mover 6 της CommonPlace. Ο προγραμματισμός της συγκεκριμένης διαδικασίας προϋποθέτει καθορισμένα σημεία λήψης των αντικειμένων, δηλαδή της τροφής που πρόκειται να καταναλωθεί και προκαθορισμένη τελική θέση του χρήστη. Η διαδικασία της σίτισης διακρίνεται σε φάσεις, που είναι κοινές για όλα τα αντικείμενα, η φάση προετοιμασίας, προσέγγισης, λήψης και μεταφοράς. Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα σχήματα αντικειμένων σε προσομοίωση διαφορετικών ειδών τροφών, που χρειάστηκαν διαφορετική προσέγγιση από τον βραχίονα ώστε να επιτευχθεί η λήψη και η μεταφορά τους. Η σύνθεση των θέσεων που λαμβάνει ο βραχίονας σε όλες τις φάσεις αποτελούν την τροχιά κίνησης, στην οποία «εκπαιδεύτηκε» για την εκτέλεση της διαδικασίας.

Η διαδικασία που αναπτύχθηκε πέτυχε τον απαιτούμενο στόχο της σίτισης των χρηστών, ωστόσο βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο και μπορεί να αποτελέσει ισχυρή βάση για την ανάπτυξη μιας πιο αυτοματοποιημένης. Θα ήταν χρήσιμος ο αυτόματος εντοπισμός, μέσω της χρήσης καμερών, τόσο των τροφών, όσο και της τελικής θέσης που θα λάβει ο ρομποτικός βραχίονας.

Λέξεις κλειδιά: υποστηρικτική τεχνολογία, ρομποτικός βραχίονας Mover 6, αυτόνομη σίτιση, ανάπηρα άτομα

ABSTRACT

Assistive Technology is an umbrella term for any specially designed instrument, equipment, product, software, system or service that provides assistance in people's daily activities.

This thesis is an attempt to use a commercial robotic arm as an assistive product for self-feeding of disabled people. The main purpose of this process is to assist people with mobility problems, who need the help of another person to perform the feeding task. For the execution of the task, Commonplace's robotic arm Mover 6 was properly programmed using the programming environment CPRog. This process needs predefined positions of the food and a predefined final position of the user. The feeding task is divided into phases, which are similar for all objects, the phase of preparation, approach, reception and transfer. Four object shapes were used to simulate different kinds of food, which were approached differently by the robotic arm to complete their reception and transfer phase. The composition of the robotic arm's positions in all phases constitute the movement trajectory, in which it was trained to perform the task.

The following process achieved the required goal of feeding users, however it is at an early stage and it can be the basis of a completely automatic self-feeding system. For example, it would be useful the automatic detection of both the food and user's final position through the use of cameras.

Keywords: assistive technology, robotic arm Mover 6, self-feeding, disabled people

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (Π.Α.Δ.Α.) και το τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής για την παραχώρηση του κατάλληλου εξοπλισμού και του απαραίτητου χώρου που απαιτήθηκαν για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Παντελεήμων Ασβεστά. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υποστήριξη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	11
2.1 ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	11
2.1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ	11
2.1.2 ΟΦΕΛΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	12
2.2 ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΙΤΙΣΗΣ	13
2.3 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΙΤΙΣΗΣ	14
2.3.1 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΛΑΒΗΣ	15
2.3.2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ	15
2.3.3 ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	16
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	20
3.1 ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΣ ΒΡΑΧΙΟΝΑΣ Mover 6 Commonplace Robotics GmbH	20
3.1.1 ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	20
3.1.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ CPRog	22
3.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATLAB	28
3.3 ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ ΥΛΙΚΑ	31
4. ΜΕΛΕΤΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ MOVER 6	32
4.1 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ	32
4.1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ	32
4.1.2 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ MOVER 6	34
4.2 ΧΩΡΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ MOVER 6	37
5. ΠΕΙΡΑΜΑ	39
5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	39
5.1.1 ΘΕΣΕΙΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	39
5.1.2 ΣΤΑΔΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	43
5.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΒΡΑΧΙΟΝΑ	44
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ / ΣΥΖΗΤΗΣΗ	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	52
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	55

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Ποσοστό των ανάπηρων ατόμων με ηλικία άνω των 15 ετών που χρειάζονται υποστήριξη [3].....	9
Εικόνα 2 : α) Liftware Steady [8], β) Liftware Level [9]	15
Εικόνα 3 : α) Neater Eater [10], β) Nelson [11]	15
Εικόνα 4 : Obi robot [12]	16
Εικόνα 5 : Bestic Feeding Arm [13]	17
Εικόνα 6 : Meal Buddy [14]	17
Εικόνα 7 : Mealttime Partner [15].....	18
Εικόνα 8 : Ρομποτικός βραχίονας Mover 6 της εταιρίας Commonplace Robotics (Με κόκκινο χρώμα επισημαίνονται οι αρθρώσεις του βραχίονα).....	20
Εικόνα 9 : Καλωδίωση του ρομποτικού βραχίονα Mover 6 [19].....	21
Εικόνα 10 : Προγραμματιστικό περιβάλλον CPRog	22
Εικόνα 11 : CPRog (Open project – New project)	23
Εικόνα 12 : CPRog (Βήματα για την σύνδεση προγράμματος CPRog και βραχίονα Mover 6)	23
Εικόνα 13 : CPRog (Σύνδεση προγράμματος CPRog και βραχίονα Mover 6).....	24
Εικόνα 14 : CPRog (Καρτέλα “Motion”)	24
Εικόνα 15 : CPRog (Program Editor).....	26
Εικόνα 16 : CPRog (Καρτέλα “Scene”).....	27
Εικόνα 17 : Επιφάνεια εργασίας Matlab R2022a	29
Εικόνα 18 : Matlab (Figure Window)	29
Εικόνα 19 : Matlab (Editor Window).....	30
Εικόνα 20 : Αναλώσιμα υλικά (α. Πιάτο με τα αντικείμενα από σφουγγάρι , β. Το πιρούνι τοποθετημένο σε μαγνήτη)	31
Εικόνα 21 : Κινηματικό διάγραμμα του ρομποτικού βραχίονα Mover 6.....	34
Εικόνα 22 : Χώρος εργασίας του ρομποτικού βραχίονα Mover 6 ως προς τους άξονες XY ..	38
Εικόνα 23 : Χώρος εργασίας του ρομποτικού βραχίονα Mover 6 ως προς τους άξονες XZ ...	38
Εικόνα 24 : Τοποθέτηση Mover 6 και αντικειμένων στο πιάτο	40
Εικόνα 25: Τροχιά κίνησης του ρομποτικού βραχίονα για κάθε αντικείμενο ξεχωριστά.....	46
Εικόνα 26 : Συνολική τροχιά κίνησης του ρομποτικού βραχίονα κατά την διαδικασία της σίτισης	46
Εικόνα 27 : Το πρόγραμμα στο CPRog editor για την εκτέλεση της διαδικασίας της διπλωματικής εργασίας	47

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: Σχηματική αναπαράσταση πιάτου και αντικειμένων.....	39
Σχήμα 2 : Συντεταγμένες XY του πρώτου ορθογώνιου αντικειμένου	41
Σχήμα 3 : Συντεταγμένες XY του σφαιρικού αντικειμένου	41
Σχήμα 4 : Συντεταγμένες XY του κυβικού αντικειμένου	41
Σχήμα 5 : Συντεταγμένες XY του κυλινδρικού αντικειμένου.....	42
Σχήμα 6 : Συντεταγμένες XY του δεύτερου ορθογώνιου αντικειμένου	42

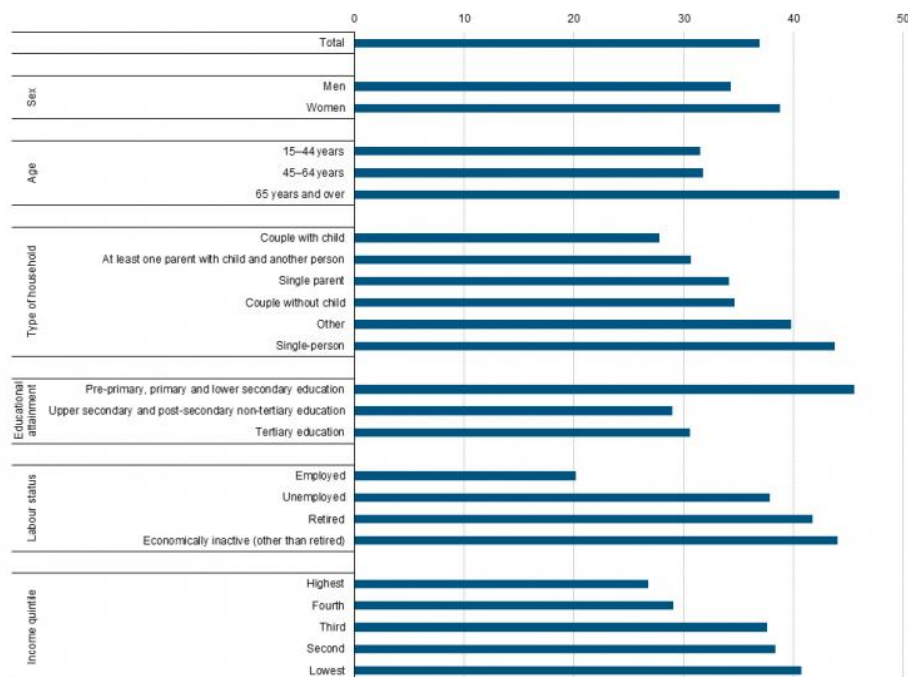
ΠΙΝΑΚΑΣ

Πίνακας 1 : Παράμετροι Denavit – Hartnberg του ρομποτικού βραχίονα Mover 6	35
Πίνακας 2 : Εύρος κίνησης κάθε περιστροφικής άρθρωσης του ρομποτικού βραχίονα Mover 6 (σε deg).....	37

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) εκτιμάται ότι 1,3 δισεκατομμύρια άνθρωποι, δηλαδή περίπου το 16% του παγκόσμιου πληθυσμού αντιμετωπίζει μία σημαντική αναπηρία. Η αναπηρία αποτελεί ένα πολύπλοκο φαινόμενο που υποδεικνύει τις αρνητικές πλευρές της αλληλεπίδρασης μεταξύ ενός ατόμου με κάποια κατάσταση υγείας (όπως εγκεφαλική παράλυση, σύνδρομο Down, κατάθλιψη) και των προσωπικών αλλά και περιβαλλοντικών παραγόντων (όπως άσχημες συμπεριφορές, μη προσβάσιμες συγκοινωνίες και δημόσια κτήρια, περιορισμένη κοινωνική υποστήριξη). Είναι ελλιπής η προσέγγιση της αναπηρίας μόνο ως ένα πρόβλημα υγείας. Υπάρχουν κοινωνικές προεκτάσεις του φαινομένου όπου επιδρούν σημαντικά στην συνολική εμπειρία και στο μέγεθος της αναπηρίας, με καθοριστικό παράγοντα το περιβάλλον του ατόμου. Τα μη προσβάσιμα περιβάλλοντα δημιουργούν εμπόδια/ φραγμούς που επηρεάζουν την συμμετοχή των ανάπηρων ατόμων στην κοινωνία συγκριτικά με αυτή των ατόμων χωρίς αναπηρία. Ο προσδιορισμός αυτών των εμποδίων θα συνεισφέρει στην βελτίωση της κοινωνικής συμμετοχής και στη διευκόλυνση της καθημερινότητας των ανάπηρων ατόμων [1]. Εκτενέστερα, ως εμπόδιο (barrier) ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ορίζει παράγοντες στο περιβάλλον ενός ατόμου, η απουσία ή η παρουσία των οποίων μειώνει την λειτουργικότητα και προκαλεί αναπηρία. Σε αυτούς περιλαμβάνονται πτυχές όπως το μη προσβάσιμο φυσικό περιβάλλον, η απουσία κατάλληλης υποστηρικτικής τεχνολογίας, οι μισαναπηρικές συμπεριφορές, καθώς και υπηρεσίες, συστήματα και πολιτικές που είτε δεν υπάρχουν είτε δυσκολεύουν την συμμετοχή ανθρώπων με κάποια κατάσταση υγείας, σε όλους τους τομείς της ζωής [2].

Ένας τρόπος να ξεπεραστούν ορισμένα εμπόδια και περιορισμοί είναι η παροχή υποστήριξης μέσω ενός προσωπικού βοηθού, κατάλληλου εξοπλισμού και υποστηρικτικής τεχνολογίας. Ενδιαφέρον στατιστικό αποτελεί ότι το 36,9% εκ των 70 εκατομμυρίων ανάπηρων ατόμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση (άνω των 15 ετών) αναφέρει την ανάγκη για παροχή υποστήριξης. Η ανάγκη για υποστήριξη αυξάνεται με την αύξηση της ηλικίας των ανάπηρων ατόμων, καθώς στις ηλικίες 15-44 (31,5%) και 45-64 (31,8%) παρατηρείται παρόμοιο ποσοστό ζήτησης, ενώ σε ανάπηρα άτομα άνω των 65 παρατηρείται σημαντική αύξηση του ποσοστού (44,2%). Μικρή διαφορά παρατηρείται μεταξύ ανάπηρων γυναικών και ανδρών, όπου η ανάγκη υποστήριξης των γυναικών (38,8%) είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή των ανδρών (34,3%) [3]. Τα παραπάνω ποσοστά μαρτυρούν την μεγάλη ανάγκη για την ύπαρξη υποστηρικτικής φροντίδας. Η ανάπτυξη περισσότερων υποστηρικτικών τεχνολογιών μπορεί να αποτελέσει σημείο αναφοράς για την ευημερία τόσο ανάπηρων ατόμων όσο και ηλικιωμένων.



(*) Estimates.
Source: Eurostat (online data codes: hlth_dpeh130, hlth_dpeh160, hlth_dpeh140, hlth_dpeh135 and hlth_dpeh150)

Εικόνα 1: Ποσοστό των ανάπηρων ατόμων με ηλικία άνω των 15 ετών που χρειάζονται υποστήριξη [3]

Η κατανάλωση τροφής, η τουαλέτα και το ντύσιμο αποτελούν από τις σημαντικότερες καθημερινές δραστηριότητες ενός ανθρώπου [4]. Διαδικασίες που καθίστανται δύσκολο να εκτελεστούν, χωρίς την υποστήριξη κάποιου προσωπικού βοηθού, από άτομα με κάποια αναπηρία και πιο συγκεκριμένα από άτομα με απώλεια λειτουργικότητας των άνω άκρων (όπως τετραπληγία, δισχιδής ράχη), άτομα με εγκεφαλική παράλυση, άτομα με ακρωτηριασμένα τα άνω άκρα, ακόμη και από κάποιους ηλικιωμένους. Η διαρκής παρουσία ενός προσωπικού βοηθού μειώνει την ανεξαρτησία του ανάπηρου ατόμου και αυξάνει τα ιατρικά του έξοδα συγκριτικά με τα άτομα χωρίς αναπηρία. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η εύρεση εναλλακτικών τρόπων υποστήριξης, οι οποίοι θα είναι πιο οικονομικοί και αποτελεσματικοί. Ένας τρόπος είναι η χρήση διάφορων τεχνολογιών όπου καλύπτουν τις καθημερινές ανάγκες ενός ανάπηρου, όπως συσκευές ειδικά σχεδιασμένες για να εξυπηρετούν αποκλειστικά μία διαδικασία αλλά και ρομποτικά συστήματα τα οποία ρυθμίζονται και προσαρμόζονται για την εξυπηρέτηση μίας ή περισσότερων δραστηριοτήτων.

Πιο συγκεκριμένα, η κατανάλωση γευμάτων είναι η σημαντικότερη δραστηριότητα στην καθημερινότητα ενός ανθρώπου, καθώς αν εξαιρεθεί η ζωτική σημασία της, είναι μια κοινωνική δραστηριότητα η οποία είναι σημαντική για την ψυχολογία και την κοινωνικοποίηση του. Τα ρομποτικά συστήματα που υποστηρίζουν την κατανάλωση τροφής βοηθούν τον χρήστη να γευματίσει μόνος του, που συνεπάγεται με την αποφόρτιση των προσωπικών βοηθών ή των μελών της οικογένειας και με την ανεξαρτησία και αυτονομία του ίδιου του χρήστη. Έχουν αναπτυχθεί εμπορικά διάφορες υποστηρικτικές συσκευές που αφορούν την ανεξάρτητη κατανάλωση γευμάτων από ανάπηρα άτομα, ωστόσο αντιμετωπίζουν αρκετούς περιορισμούς ως προς την χρήση τους.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται χρήση ενός εμπορικού ρομποτικού βραχίονα ως υποστηρικτικό προϊόν στην διαδικασία της σίτισης ατόμων με μειωμένη κινητικότητα των άνω άκρων. Η διαδικασία ξεκινά από την επιλογή και λήψη του κατάλληλου σκεύους, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το πιρούνι. Στη συνέχεια, ο βραχίονας προσεγγίζει και λαμβάνει την τροφή, την οποία μεταφέρει μπροστά από το στόμα του χρήστη. Τέλος, η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνολικά πέντε φορές, κάθε φορά για διαφορετικά σχήματα αντικειμένων προσομοιάζοντας διαφορετικές τροφές. Για την εκτέλεση της προσομοίωσης, χρησιμοποιούνται προκαθορισμένες θέσεις των αντικειμένων, δηλαδή των τροφών και προκαθορισμένη τελική θέση όπου αντιστοιχεί στο σημείο λήψης της τροφής από τον χρήστη, εξαρτώμενο από το ύψος του. Βασικοί στόχοι της συγκεκριμένης εργασίας είναι η επίτευξη όσο περισσότερο γίνεται της αυτόνομης σίτισης ανάπηρων ατόμων, η προσέγγιση διαφορετικών αντικειμένων για να είναι πιο ρεαλιστικό το σενάριο, η ευχρηστία της διαδικασίας από τους χρήστες, καθώς και η ασφάλεια όλων των κινήσεων, ιδιαίτερα σε αυτές που υπάρχει επαφή του χρήστη με τον βραχίονα.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Υποστηρικτική τεχνολογία είναι ένας όρος που περιλαμβάνει τα υποστηρικτικά προϊόντα και γενικά όλα τα συστήματα και υπηρεσίες που σχετίζονται με αυτά. Τα υποστηρικτικά προϊόντα μπορεί να είναι φυσικά προϊόντα (όπως αμαξίδια, ακουστικά βαρηκοΐας, προσθετικά μέλη) ή ψηφιακά προϊόντα (όπως λογισμικά και εφαρμογές που υποστηρίζουν την επικοινωνία, την αποκατάσταση, εκπαίδευση), τα οποία στοχεύουν στην αύξηση της λειτουργικότητας και της ανεξαρτησίας των ανάπηρων ατόμων.

Υποστηρικτική τεχνολογία είναι πιθανό να χρησιμοποιήσει κάθε άνθρωπος έστω και μία φορά στη ζωή του, ιδιαίτερα όσο μεγαλώνει. Η ανάγκη ενός ανθρώπου για υποστηρικτική τεχνολογία μπορεί να είναι για μικρά διαστήματα (π.χ. για προσωρινές λειτουργικές δυσκολίες μετά από ατύχημα ή από σοβαρή ασθένεια), για μεγάλα διαστήματα ή ακόμη και δια βίου (όπως για ανθρώπους που γεννήθηκαν με αναπηρία, με χρόνιες καταστάσεις υγείας).

Το μεγαλύτερο ποσοστό χρηστών υποστηρικτικής τεχνολογίας είναι ανάπηρα άτομα, ηλικιωμένοι (μειωμένη λειτουργικότητα λόγω ηλικίας), άτομα με χρόνιες καταστάσεις υγείας (όπως διαβήτη, εγκεφαλικό, καρκίνο, νόσο Parkinson, άνοια), οι οποίοι χρειάζονται υποστήριξη στην κινητικότητα, στην επικοινωνία και γενικά σε καθημερινές δραστηριότητες (όπως τουαλέτα, σίτιση, ντύσιμο) [5].

Η υποστηρικτική τεχνολογία στοχεύει στη μείωση των αποκλεισμών και των εμποδίων, καθώς και στην πλήρη συμμετοχή των ατόμων σε βασικές δραστηριότητες της ζωής. Σε αυτό το πλαίσιο, οι υποστηρικτικές συσκευές διακρίνονται σε συσκευές που βελτιώνουν τη δομή και την λειτουργικότητα (π.χ. προσθετικά άκρα, κοχλιακά εμφυτεύματα), συσκευές που ενισχύουν την συμμετοχή στις δραστηριότητες (π.χ. συστήματα φωνητικών εντολών, αναπηρικά αμαξίδια για την ανάβαση σκαλοπατιών). Τέλος, ο εξοπλισμός που συντελεί στην δημιουργία ενός προσβάσιμου περιβάλλοντος θεωρείται τύπος της υποστηρικτικής τεχνολογίας (π.χ. αυτοματισμοί για τις πόρτες, ράμπες, προσβάσιμες τουαλέτες) [6].

2.1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Τα σημεία στα οποία έγκειται η επιτυχία και η εφαρμογή μίας υποστηρικτικής συσκευής περιλαμβάνουν την πραγματική της χρησιμότητα, την εύκολη πρόσβαση από τους χρήστες και την ικανοποίηση σε επίπεδο αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον τους. Οι υποστηρικτικές συσκευές θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις ανάγκες του χρήστη, στις προσιτές τιμές παραγωγής, αγοράς και συντήρησης, στην ευχρηστία και στην αποτελεσματικότητα, κάτι τέτοιο μπορεί να καταστεί δυνατό μέσα από την άμεση συμπερίληψη των χρηστών στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των συσκευών.

1. Κατάλληλες για τον χρήστη και το περιβάλλον του

Οι υποστηρικτικές συσκευές οφείλουν να συμβαδίζουν με τις επιθυμίες των χρηστών, τις συναισθηματικές ανάγκες, τον τρόπο ζωής τους, τον πολιτισμό

και τα έθιμα τους. Η ασφάλεια του χρήστη, η ανθεκτικότητα, η αξιοπιστία και η χρησιμότητα σε διαφορετικές συνθήκες αποτελούν στοιχεία που θα πρέπει να εξασφαλιστούν.

2. Οικονομικά προσιτές στην αγορά

Η τιμή αγοράς των υποστηρικτικών συσκευών θα πρέπει να είναι χαμηλή και προσιτή για κάθε χρήστη, ακόμα και αν αφορά δωρεάν ή επιδοτούμενη παροχή της συσκευής από το κράτος. Συμπληρωματικά, η συναρμολόγηση και η συντήρηση θα πρέπει να πραγματοποιείται με ελάχιστους πόρους, η επισκευή με εύκολα προς την διαθεσιμότητα υλικά και χωρίς την απαίτηση.

3. Εύκολες κατά την χρήση

Οι υποστηρικτικές συσκευές θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με ευκολία από τους χρήστες ακόμη και με περιορισμένες τεχνολογικές γνώσεις, να είναι φορητές και λειτουργικές χωρίς την απαίτηση ειδικής εκπαίδευσης ή σύνθετων δεξιοτήτων. [7]

2.1.2 ΟΦΕΛΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Τα υποστηρικτικά προϊόντα δίνουν την δυνατότητα στους χρήστες να έχουν μία υγιή, παραγωγική, ανεξάρτητη και αξιοπρεπή ζωή, με πρόσβαση στην εκπαίδευση, στην εργασία και γενικότερα στην κοινωνική ζωή. Γίνεται αντιληπτό πως με την απουσία αυτών των προϊόντων, τα ανάπηρα άτομα έχουν περισσότερες πιθανότητες να βιώσουν αποκλεισμό, απομόνωση ακόμη και φτώχεια, καθώς εξαρτώνται άμεσα από τη στήριξη της οικογένειας, της κοινωνίας και της πολιτείας. Συνεπώς, τα υποστηρικτικά προϊόντα μπορούν να εξασφαλίσουν σε μεγάλο βαθμό την ευημερία και την ανεξαρτησία των χρηστών, με σημαντική επίδραση στην αυτοπεποίθηση, αυτοεκτίμηση τους, δίνοντας τους το δικαίωμα να ονειρεύονται και να θέτουν στόχους ζωής όπως τα άτομα χωρίς αναπηρία [5].

Πιο αναλυτικά, η εκτέλεση καθημερινών δραστηριοτήτων όπως η σίτιση, το ντύσιμο, η τουαλέτα και η μετακίνηση απαιτεί συνήθως την παρουσία ενός ακόμη ατόμου, του προσωπικού βοηθού ή μέλους της οικογένειας. Οι υποστηρικτικές συσκευές είναι ειδικά σχεδιασμένες συσκευές που επιτρέπουν στους χρήστες να εκτελούν τις εργασίες όποτε και με όποιο τρόπο επιθυμούν. Επομένως, προσδίδουν την δυνατότητα σε ένα άτομο με αναπηρία να συμμετέχει σε σημαντικές καθημερινές δραστηριότητες, ενισχύοντας την αίσθηση της αυτονομίας και της ανεξαρτησίας.

Ένα ακόμη βασικό πλεονέκτημα της υποστηρικτικής τεχνολογίας είναι η προώθηση της ένταξης των ανάπηρων ατόμων στην κοινωνία. Ένα μεγάλο μέρος της ζωής ενός ανθρώπου είναι η εκπαίδευση, η εργασία και οι κοινωνικές δραστηριότητες (π.χ. αθλητισμός). Για ένα άτομο με αναπηρία θα ήταν δύσκολο ή αδύνατο να συμμετέχει στις παραπάνω δραστηριότητες, χωρίς την ύπαρξη της υποστηρικτικής τεχνολογίας. Για παράδειγμα, ένα εξιδεικευμένο λογισμικό που μετατρέπει κείμενο σε ομιλία μπορεί να επιτρέψει σε ένα παιδί με προβλήματα όρασης να συμμετέχει σε εκπαιδευτικά μαθήματα ή σε έναν ενήλικα να εκτελέσει εργασία που απαιτεί ανάγνωση.

Η συμμετοχή στην εκπαίδευση, στην εργασία και στις υπόλοιπες κοινωνικές δραστηριότητες, καθώς και η ανεξαρτησία που προσδίδουν οι υποστηρικτικές τεχνολογίες, συμβάλουν συνολικά στην βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανάπηρων ατόμων. Τα άτομα επωφελοούνται σωματικά, ψυχολογικά και οικονομικά, μειώνοντας τις πιθανότητες αποκλεισμού και απομόνωσης. Παράλληλα, πραγματοποιείται επίτευξη ευημερίας και ψυχικής υγείας, αφού τα άτομα αυτά αισθάνονται παραγωγικά μέλη της κοινωνίας και είναι ικανά να εξασφαλίσουν μία ισότιμη ζωή με άτομα χωρίς αναπηρία.

Μία ακόμη πληθυσμιακά ομάδα που επωφελεείται από την υποστηρικτική τεχνολογία είναι οι ηλικιωμένοι. Με την συνεχή αύξηση του προσδόκιμου ζωής παγκοσμίως, η ανάγκη για υποστηρικτική τεχνολογία κρίνεται απαραίτητη για την υποστήριξη ηλικιωμένων. Οι πιο συχνές ανάγκες των ηλικιωμένων είναι η προσωπική φροντίδα και υγιεινή, η ακοή και η όραση, η μνήμη, η ψυχική υγεία, η κινητικότητα, η κοινωνική ένταξη (δηλαδή η αποφυγή απομόνωσης και μοναξιάς), η ασφάλεια και γενικότερα οι καθημερινές δραστηριότητες [5]. Η πρόσβαση σε υποστηρικτική τεχνολογία μπορεί να καλύψει τις παραπάνω ανάγκες τους και να εξασφαλίσει την ανεξαρτησία και την ευημερία τους, καθυστερώντας την ανάγκη υποβοηθούμενης διαβίωσης.

Συνεπώς, η υποστηρικτική τεχνολογία περιλαμβάνει μία μεγάλη ποικιλία προϊόντων, τα οποία είναι ευέλικτα στις ανάγκες κάθε ατόμου. Πρόκειται για συσκευές που βελτιώνουν την λειτουργικότητα του χρήστη, συσκευές που υποστηρίζουν καθημερινές δραστηριότητες, ακόμη και για συσκευές που χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή ενός χώρου ώστε να γίνει εύχρηστος και προσβάσιμος. Όλα τα παραπάνω συμβάλλουν στην προσπάθεια επίτευξης της ανεξαρτησίας και ευημερίας, τόσο των ανάπηρων ατόμων όσο και των ηλικιωμένων.

2.2 ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΙΤΙΣΗΣ

Τα υποστηρικτικά προϊόντα καλύπτουν τις περισσότερες ανάγκες ενός ανάπηρου ατόμου, όπως κινητικότητα, όραση, ακοή, επικοινωνία και καθημερινές δραστηριότητες (σίτιση, τουαλέτα, ντύσιμο). Εστιάζοντας στα προϊόντα που υποστηρίζουν την διαδικασία της σίτισης παρατηρείται από αρκετές εταιρίες και επιστημονικές ομάδες η ανάπτυξη ανάλογων τεχνολογιών, βασιζόμενες στην αντιμετώπιση των καθημερινών προκλήσεων που αντιμετωπίζουν τα άτομα με σωματικές αναπηρίες. Οι προκλήσεις που μπορεί να αντιμετωπίζουν κατά την διάρκεια της σίτισης διακρίνονται σε σωματικές/ φυσικές, ψυχολογικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές.

ΦΥΣΙΚΕΣ / ΣΩΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

Τα άτομα με σωματικές αναπηρίες όπως εγκεφαλική παράλυση, η τετραπληγία, η μυϊκή δυστροφία ή τραυματισμοί νωτιαίου μυελού μπορεί να εμφανίζουν σοβαρή μείωση της κινητικότητας, της δύναμης και του συντονισμού των άνω άκρων, με αποτέλεσμα να καθίσταται η χρήση των σκευών ταΐσματος δύσκολη ή αδύνατη. Η κατανάλωση ενός γεύματος απαιτεί ακριβείς κινήσεις, προκειμένου να μην υπάρξει τραυματισμός από το σκεύος στον χρήστη.

Ακόμη και σε περίπτωση που το άτομο έχει μερική κινητικότητα των άνω άκρων, η διαδικασία της σίτισης απαιτεί διατήρηση της συνεχούς κίνησης που μπορεί να προκαλέσει κόπωση. Η κόπωση πιθανότατα να συνοδεύεται με αποτυχημένες

προσπάθειες λήψης του φαγητού, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει την απογοήτευση και τον εκνευρισμό του ατόμου.

Τέλος, η διαδικασία της σίτισης προκαλεί ανησυχίες για την ασφάλεια του ατόμου. Πιθανούς κινδύνους μπορεί να αποτελέσουν ο πνιγμός, η έκχυση ζεστών υγρών, ακόμη και ο τραυματισμός του ατόμου από το σκεύος ταΐσματος λόγω μη ελεγχόμενων κινήσεων. Αυτές οι ανησυχίες κάνουν την κατανάλωση ενός γεύματος μία αγχωτική δραστηριότητα τόσο για τα άτομα με αναπηρία όσο και για τους οικείους τους.

ΨΥΧΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

Η κατανάλωση γευμάτων, εκτός από μία απαραίτητη καθημερινή δραστηριότητα, αποτελεί μία κοινωνική δραστηριότητα, σημαντική για την ψυχολογία και την κοινωνικοποίηση του ατόμου. Η συνεχής υποστήριξη από άλλο άτομο σε μία τόσο βασική ανάγκη, μειώνει σε σημαντικό βαθμό το αίσθημα της ανεξαρτησίας και της αυτονομίας. Δημιουργεί ανασφάλειες στο ανάπηρο άτομο και επηρεάζεται αρκετά η ψυχολογία του. Επίσης, η διαδικασία του φαγητού είναι μία συνηθισμένη κοινωνική συνθήκη, όπου η αδυναμία ανεξάρτητης συμμετοχής οδηγεί στον αποκλεισμό και την απομόνωση του ατόμου. Τα άτομα αυτά λοιπόν ενδεχομένως να έχουν χαμηλή αυτοεκτίμηση και να βιώνουν αρνητικά συναισθήματα.

ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

Άλλη μία παράμετρος που αποτελεί εμπόδιο στη διαδικασία της σίτισης είναι η έλλειψη κατάλληλων κοινωνικών και περιβαλλοντικών συνθηκών. Συνήθως, οι χώροι εστίασης είναι μη προσβάσιμοι και δεν καλύπτουν τις ανάγκες των ανάπηρων ατόμων, με αποτέλεσμα τον αποκλεισμό τους. Ακόμη, οι διαθέσιμες υποστηρικτικές συσκευές εμφανίζουν αρκετούς περιορισμούς (όπως η ακρίβεια του βραχίονα, η φιλικότητα προς τους χρήστες), γεγονός που μειώνει το εύρος των χρηστών που μπορούν να τις χρησιμοποιήσουν και να επωφεληθούν από αυτές. Τέλος, ένα ακόμη εμπόδιο αποτελεί το κόστος και η διαθεσιμότητα τέτοιων συσκευών.

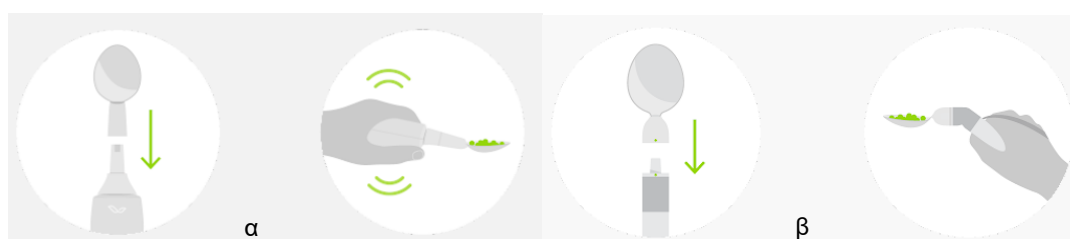
Εν κατακλείδι, γίνεται αντιληπτή η σημασία ύπαρξης και ανάπτυξης υποστηρικτικών τεχνολογιών για την διευκόλυνση κατά τη διαδικασία της καθημερινής κατανάλωσης γευμάτων από άτομα με αναπηρία.

2.3 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΙΤΙΣΗΣ

Η συνεχής αύξηση της ζήτησης υποστηρικτικών προϊόντων για την κάλυψη αναγκών των καθημερινών δραστηριοτήτων, τόσο από ανάπηρα άτομα όσο και από τους ηλικιωμένους, αποτέλεσε το εναρκτήριο έναυσμα για την εντατικότερη και συντονισμένη ανάπτυξη ανάλογων τεχνολογιών. Ειδικότερα στον τομέα υποστηρικτικών τεχνολογιών που αφορούν την κατανάλωση γευμάτων έχουν ήδη σημειωθεί σημαντικά βήματα προόδου από εταιρίες αλλά και από ερευνητικές ομάδες. Ενδεικτικά, θα παρατεθούν οι υπάρχουσες τεχνολογίες σίτισης, οι οποίες διακρίνονται σε συσκευές σταθεροποίησης της λαβής του σκεύους, μηχανικά συστήματα υποστήριξης του βραχίονα και (ηλεκτρικά) ρομποτικά συστήματα.

2.3.1 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΛΑΒΗΣ

Η πρώτη κατηγορία, αφορά συσκευές οι οποίες βοηθούν στην σταθεροποίηση της λαβής του πιρουνιού ή κουταλιού και στην ομαλή μεταφορά της τροφής. Απευθύνονται σε άτομα με Parkinson, σε άτομα με τρόμο (τρέμουλο) ή με περιορισμένη κινητικότητα των άνω άκρων. Οι συσκευές της εταιρείας Liftware αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα. Η Liftware Steady ανιχνεύει και εξουδετερώνει το ανεπιθύμητο τρέμουλο του χρήστη μέσω ενός κυκλώματος αισθητήρων και κινητήρων που κινεί τη λαβή προς την αντίθετη κατεύθυνση [8]. Υπάρχει και η Liftware Level η οποία κρατά το πιρούνι σε σταθερό επίπεδο ανεξάρτητα από το πώς το χέρι του χρήστη γυρνά ή κινείται. Το επιτυγχάνει με αισθητήρες και κινητήρες που κάμπτουν τον εύκαμπτο σύνδεσμο μεταξύ λαβής και πιρουνιού, κρατώντας το πιρούνι στη σωστή γωνία [9].



Εικόνα 2 : α) Liftware Steady [8], β) Liftware Level [9]

2.3.2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Πρόκειται για προϊόντα τα οποία υποστηρίζουν την κίνηση των χεριών. Είναι κατά βάση (ρομποτικοί) βραχίονες που λειτουργούν με μηχανικό τρόπο και στους οποίους συγκρατείται το κουτάλι. Το σύστημα σταθεροποιεί την κίνηση του πιρουνιού και βοηθά τον χρήστη να μεταφέρει την τροφή του με μεγαλύτερη ακρίβεια, μειώνοντας το τρέμουλο και τις μη ελεγχόμενες κινήσεις. Ωστόσο, απαιτεί την κίνηση των άνω άκρων των χρηστών. Ευρέως γνωστές συσκευές της κατηγορίας είναι η Neater Eater και η Nelson. Πιο αναλυτικά, η εταιρία Neater Solutions παρουσιάζει ένα βραχίονα που κινείται μηχανικά και χρησιμοποιεί σύστημα αποσβεστήρων προκειμένου να απορροφά το τρέμουλο και να κρατά το πιρούνι σε σταθερό επίπεδο [10]. Με τον ίδιο τρόπο λειτουργεί και ο βραχίονας Nelson της Focal Meditech [11].



Εικόνα 3 : α) Neater Eater [10], β) Nelson [11]

2.3.3 ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα συγκεκριμένα συστήματα βασίζονται σε ρομποτικούς βραχίονες, οι οποίοι προγραμματίζονται κατάλληλα να εκτελούν όλη την διαδικασία της σίτισης χωρίς να απαιτείται η συμβολή ανθρώπινου παράγοντα. Σε αντίθεση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες προϊόντων, οι ρομποτικοί βραχίονες κινούνται αυτόνομα και δεν απαιτείται κίνηση των άνω άκρων του χρήστη.

Σε εμπορικό επίπεδο, τα ρομποτικά συστήματα για την ανεξάρτητη σίτιση βασίζονται σε έναν ημιαυτόνομο τρόπο λειτουργίας, καθώς τα περισσότερα διαθέσιμα προϊόντα ξεκινούν την διαδικασία μετά από εντολή του χρήστη ή του προσωπικού βοηθού μέσω διακόπτη, κουμπιού ή joystick και ακολουθούν προκαθορισμένη τροχιά κίνησης σε συγκεκριμένες θέσεις (πιάτο/ δοχείο και στόμα χρήστη). Συνήθως, αποτελούνται από βραχίονες λίγων βαθμών ελευθερίας, στους οποίους συνδέεται το πιρούνι ή το κουτάλι και από διάφορα δοχεία όπου τοποθετείται το φαγητό. Μερικά παραδείγματα διαθέσιμων ρομπότ για την κατανάλωση γευμάτων είναι το Obi Robot, το Bestic, το Meal Buddy και το Mealtime.

Το Obi είναι ένας ρομποτικός βραχίονας 6 βαθμών ελευθερίας, στον τελικό επενεργητή συνδέεται ένα κουτάλι και χρησιμοποιεί ως πιάτο ένα μπολ χωρισμένο σε τέσσερις περιοχές, το οποίο δίνει την δυνατότητα επιλογής διαφορετικών τροφών. Η επικοινωνία με τον χρήστη γίνεται μέσω διακόπτων, ένας για την έναρξη της διαδικασίας και ένας για την επιλογή μπολ. Αφού ο χρήστης επιλέξει μπολ, ο βραχίονας λαμβάνει το φαγητό με το κουτάλι και ακολουθώντας την καθορισμένη τροχιά με την οποία έχει προγραμματιστεί, τοποθετεί το κουτάλι στην τελική θέση (στόμα του χρήστη). Η τελική θέση ορίζεται από τον προσωπικό βοηθό του χρήστη ανάλογα με το επιθυμητό ύψος. Για κάθε μπουκιά ο χρήστης πρέπει να επαναλαμβάνει την παραπάνω διαδικασία. Τέλος, υπάρχει δυνατότητα τερματισμού της διαδικασίας σε περίπτωση ανάγκης, πατώντας τον διακόπτη έναρξης όπου ο βραχίονας επιστρέφει την τροφή στο πιάτο και σταματά την διαδικασία [12].



Εικόνα 4 : Obi robot [12]

Το Bestic είναι ένας βραχίονας 4 βαθμών ελευθερίας, με ένα πιάτο και ένα κουτάλι συνδεδεμένο στο άκρο του. Ο βραχίονας ξεκινά την διαδικασία μετά την εντολή του χρήστη μέσω διακόπτη, προσεγγίζει το πιάτο και αναμένει ξανά εντολή ώστε να λάβει την επιθυμητή τροφή. Ακολουθεί προκαθορισμένη τροχιά και όλες οι παράμετροι είναι γνωστές (θέσεις). Υπάρχει η δυνατότητα παύσης της διαδικασίας, πατώντας ξανά τον διακόπτη. Προορίζεται για απλά φαγητά που απαιτούν μόνο τη χρήση κουταλιού [13].



Εικόνα 5 : Bestic Feeding Arm [13]

Το Meal Buddy αποτελείται από ρομποτικό βραχίονα 3 βαθμών ελευθερίας και τρία διαφορετικά μπολ, τα οποία συγκρατούνται μαγνητικά σε βάση. Η αλληλεπίδραση με τον χρήστη γίνεται μέσω διακόπτη ή joystick. Και σε αυτό το προϊόν ο βραχίονας ακολουθεί προκαθορισμένη τροχιά, με συγκεκριμένες τις θέσεις δοχείων και χρήστη. Στην διαδικασία που ακολουθεί ο βραχίονας είναι και η αφαίρεση περίσσειας τροφής από το κουτάλι με τη βοήθεια μίας ράβδου που βρίσκεται τοποθετημένη στα μπολ [14].



Εικόνα 6 : Meal Buddy [14]

Το Mealtime Partner διαφέρει από τα προηγούμενα προϊόντα, καθώς αποτελείται από τρία μπολ που περιστρέφονται και ένα βραχίονα μόνο 2 βαθμών ελευθερίας που συνδέεται ένα κουτάλι. Ο χρήστης επιλέγει κάθε φορά το μπολ που επιθυμεί μέσω ενός διακόπτη. Έπειτα το κουτάλι λαμβάνει το φαγητό και το μετακινεί σε μικρή απόσταση στην προκαθορισμένη θέση, στο στόμα του χρήστη. Το προϊόν θα πρέπει να τοποθετείται μπροστά στο πρόσωπο του χρήστη, συνθήκη που θέτει πολλούς περιορισμούς. Η διαδικασία που ακολουθεί είναι σαφώς απλούστερη από τις προηγούμενες [15].



Εικόνα 7 : Mealtime Partner [15]

Οι συσκευές που παρουσιάστηκαν παραπάνω έχουν κάποιους κοινούς περιορισμούς. Γίνεται αντιληπτό ότι για έναν αποτελεσματικότερο προγραμματισμό των ρομποτικών βραχιόνων για την διαδικασία της σίτισης θα πρέπει να αναπτυχθούν διαδικασίες, βασιζόμενες σε ζητήματα ακρίβειας, ασφάλειας και φιλικότητας προς τον χρήστη. Αναφορικά με την ακρίβεια ενός τέτοιου συστήματος εντοπίζονται περιορισμοί στην τελική θέση που λαμβάνει το σκεύος ταΐσματος, καθώς είναι προκαθορισμένη και αγνοεί τα χαρακτηριστικά του χρήστη, με αποτέλεσμα να απέχει αρκετά από αυτόν και να απαιτείται κίνηση του κορμού του, μία δύσκολη ή αδύνατη κίνηση από άτομα με σοβαρές κινητικές βλάβες. Εν συνεχεία, θέματα ασφάλειας τίθενται στην έγκαιρη ανταπόκριση του συστήματος μετά από εντολή του χρήστη για τερματισμό της διαδικασίας, ωστόσο αναλογιζόμενοι τον αυξανόμενο χρόνο απόκρισης ατόμων με σοβαρές κινητικές δυσκολίες υπάρχει ανάγκη αποδοτικότερων λύσεων (για παράδειγμα τερματισμός διαδικασίας μέσω φωνητικών εντολών). Τέλος, δημιουργώντας ένα φιλικότερο προς τον χρήστη σύστημα σίτισης θα πρέπει να υπολογιστούν υφιστάμενες δυσκολίες που αφορούν την μοναδικότητα κάθε ατόμου στο σύνολο των αναγκών και προτιμήσεων στη λήψη τροφής, απελευθερώνοντας το εύρος επιλογών. Χαρακτηριστικά σε ανάπηρα άτομα που χρησιμοποιούν ήδη άλλες υποστηρικτικές τεχνολογίες θα πρέπει ο εκάστοτε ρομποτικός βραχίονας να προσαρμοστεί στο περιβάλλον του χρήστη.

Σε ερευνητικό επίπεδο, έχουν αρχίσει αναπτύσσονται συστήματα που στοχεύουν στην αντιμετώπιση των περισσότερων αδυναμιών που εμφανίζουν οι υπάρχουσες εμπορικές συσκευές. Βασικός στόχος είναι η σχεδίαση μίας πλήρως αυτόνομης διαδικασίας, η οποία εντοπίζει και αναγνωρίζει τις τροφές καθώς και τη θέση του χρήστη, χωρίς η αλληλεπίδραση τους να απαιτεί κάποια φυσική κίνηση (π.χ. κίνηση άνω ή κάτω άκρων, κίνηση του κορμού). Μέσω της προόδου των συστημάτων αυτόματης ανίχνευσης, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τα συστήματα καμερών, είναι δυνατή η εύρεση της ακριβούς θέσης των αντικειμένων στο πιάτο, αλλά και της τελικής θέσης του χρήστη. Η αναγνώριση και ο εντοπισμός των αντικειμένων βασίζεται στην λήψη εικόνων της κάμερας (συνήθως RGBD) και στη κατάλληλη επεξεργασία τους με την βοήθεια της μηχανικής μάθησης. Αρκετοί είναι οι ερευνητές που προσαρμόζουν τις απαραίτητες λαβές ανάλογα με τα φαγητά της κουλτούρας τους (π.χ. chopsticks για ασιατική κουζίνα). Τέλος, χρησιμοποιούνται ρομποτικοί βραχίονες με περισσότερους

βαθμούς ελευθερίας, ώστε να υπάρχει ακριβέστερη προσέγγιση του φαγητού αλλά και του χρήστη.

Μία αρκετά αυτόνομη διαδικασία έχει δημιουργήσει η ερευνητική ομάδα του Washington University, με τον ρομποτικό βραχίονα Assistive Dexterous Arm [16]. Είναι προσαρμοσμένος σε αναπηρικό αμαξίδιο και προσφέρει την ελευθερία σε ανάπηρα άτομα να γευματίσουν οπουδήποτε χωρίς την βοήθεια κάποιου άλλου ατόμου. Στον βραχίονα έχει ενσωματωθεί κάμερα που εντοπίζει το φαγητό στο πιάτο και αναγνωρίζει το είδος της τροφής, ώστε να το προσεγγίσει με το πιρούνι με την κατάλληλη φορά (κάθετα, υπό γωνία). Επίσης, η κάμερα χρησιμοποιείται για την ακριβή θέση του στόματος του χρήστη, που μπορεί κάθε φορά να διαφέρει. Εφόσον, έχει αναγνωρισθεί το είδος της τροφής, η μεταφορά της και η τελική θέση του πιρουιού επηρεάζονται άμεσα από αυτό, με στόχο το πιρούνι να τοποθετηθεί σε κατάλληλη απόσταση και υπό την κατάλληλη γωνία, ώστε ο χρήστης να μπορεί εύκολα να καταναλώσει την μπουκιά.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία μίας όσο το δυνατόν πιο αυτόνομης διαδικασίας, που θα υποστηρίζει άτομα με κινητικές αναπηρίες στην κατανάλωση ενός γεύματος, και η οποία εκτελείται από εμπορικό ρομποτικό βραχίονα. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι ο ρομποτικός βραχίονας Mover 6 της εταιρίας Commonplace Robotics GmbH, ο προσωπικός υπολογιστής για την σύνδεση και την επικοινωνία με το ρομποτικό σύστημα, το προγραμματιστικό περιβάλλον του βραχίονα CPRog για τον χειρισμό του, το προγραμματιστικό περιβάλλον Matlab (Mathworks) για την κινηματική ανάλυση του βραχίονα και τέλος τα αναλώσιμα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση ενός γεύματος.

3.1 ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΣ ΒΡΑΧΙΟΝΑΣ Mover 6 Commonplace Robotics GmbH

3.1.1 ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το ρομποτικό σύστημα Mover 6 είναι ένας ρομποτικός βραχίονας 6 βαθμών ελευθερίας (Degrees of Freedom – DOF : αναφέρονται στην ελευθερία κίνησης που προσφέρει κάθε άρθρωση στον βραχίονα, μέσω περιστροφικής ή ευθύγραμμης κίνησης. Ένας βαθμός ελευθερίας υπολογίζεται για κάθε γεωμετρικό άξονα που μία άρθρωση μπορεί να περιστραφεί ή να ολισθήσει πάνω σε αυτόν [17]). Έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για εκπαιδευτικούς σκοπούς και είναι ακατάλληλος για χρήση σε μαζική παραγωγή.

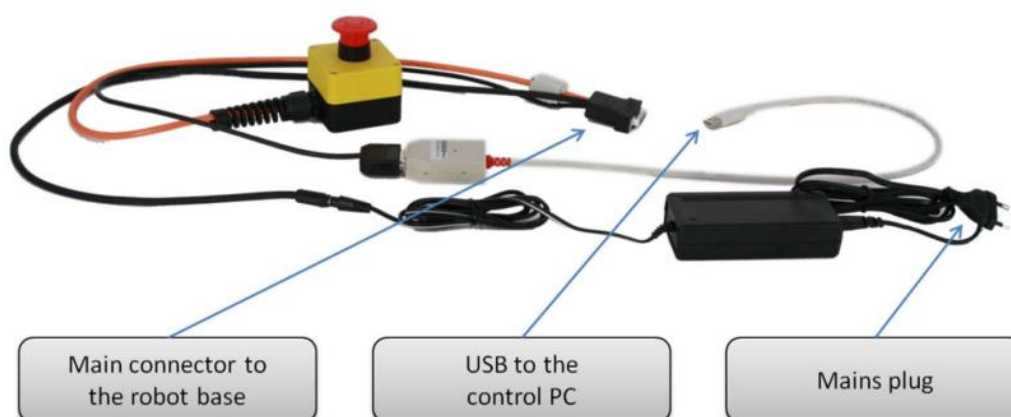


Εικόνα 8 : Ρομποτικός βραχίονας Mover 6 της εταιρίας Commonplace Robotics (Με κόκκινο χρώμα επισημαίνονται οι αρθρώσεις του βραχίονα)

Αποτελείται από 6 περιστροφικές αρθρώσεις, οι οποίες κινούνται με την χρήση servo κινητήρων (Εικόνα 8). Η κίνηση των αρθρώσεων A1 έως A4 βασίζεται σε απλούς κινητήρες servo, ενώ των αρθρώσεων A5 και A6 σε έξυπνους κινητήρες servo (smart servo). Οι έξυπνοι κινητήρες servo μέσω της σειριακής επικοινωνίας με τον υπολογιστή, προσφέρουν την δυνατότητα εντοπισμού της θέσης της μετά από κάθε μεταβολή με μεγάλη ακρίβεια. Αντίθετα είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η ακριβής τελική θέση των απλών κινητήρων servo, καθώς η κίνηση της βασίζεται σε χρήση Παλμών Διαμορφωμένου Πλάτους (Pulse Width Modulated Signal – PWM), δηλαδή στην εφαρμογή τάσης συγκεκριμένης τιμής και για συγκεκριμένο χρόνο ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή θέση [18].

Οι αρθρώσεις A1 με A4 ευθύνονται για την περιστροφή και την απομάκρυνση του βραχίονα από τη βάση που συγκρατείται, ενώ οι A5 και A6 προσδιορίζουν την τελική θέση του τελικού επενεργητή. Ο τελικός επενεργητής του ρομποτικού βραχίονα Mover 6 είναι μία δαγκάνα (gripper), το άνοιγμα της οποίας ρυθμίζεται σε ότι ποσοστό επιθυμεί ο χρήστης (για παράδειγμα το 0% αντιστοιχεί σε τελείως κλειστό gripper, το 100% αντιστοιχεί σε τελείως ανοιχτό). Το μέγιστο επιτρεπτό βάρος που μπορεί να σηκώσει ο βραχίονας με τον gripper είναι 400gr. Τέλος, η μεγαλύτερη απόσταση που μπορεί να φτάσει ο βραχίονας είναι τα 600mm, συμπεριλαμβανομένου του τελικού επενεργητή.

Για την έναρξη της λειτουργίας του ρομποτικού βραχίονα πρέπει να προηγηθεί η απαραίτητη συνδεσμολογία. Στην βάση του ρομπότ υπάρχουν δύο υποδοχές, μία για την σύνδεση παροχής τάσης και του υπολογιστή και μία ψηφιακή I/O υποδοχή. Το βασικό βύσμα συνδέεται στην βάση του βραχίονα, το βύσμα USB στον υπολογιστή για την επικοινωνία ρομποτικού συστήματος, χρήστη και το βύσμα παροχής τάσης στο δίκτυο ρεύματος (Εικόνα 9). Υπάρχει κουμπί έκτακτης ανάγκης που χρησιμοποιείται για την διακοπή της λειτουργίας του ρομποτικού βραχίονα, σε περιπτώσεις που απαιτείται ακαριαία διακοπή της κίνησης για την ασφάλεια του χρήστη ή του ίδιου του βραχίονα.

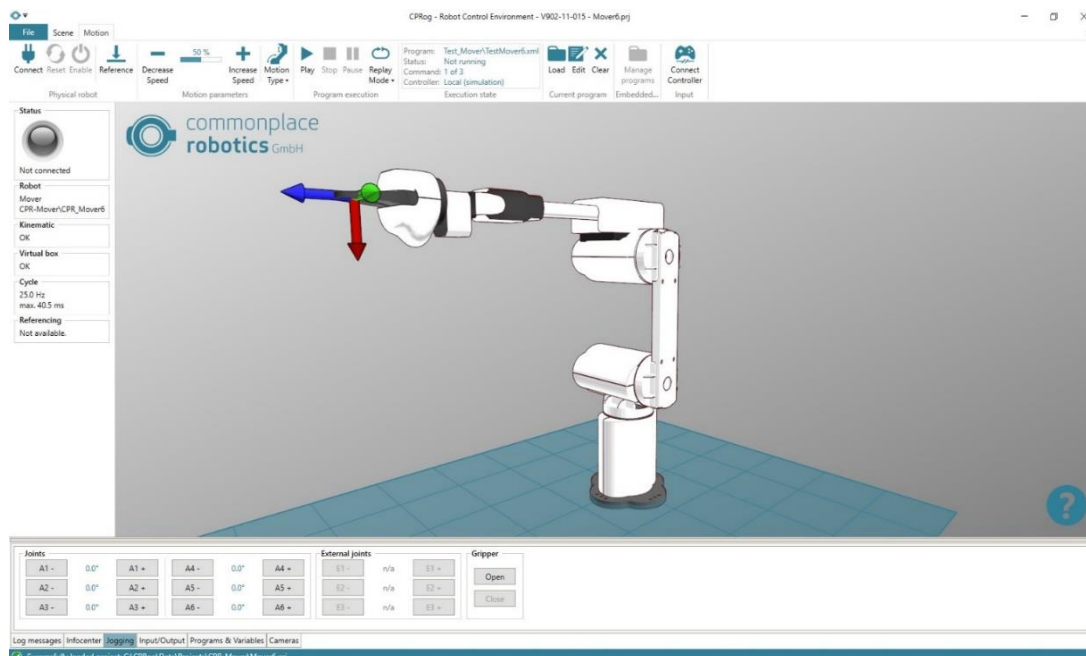


Εικόνα 9 : Καλωδίωση του ρομποτικού βραχίονα Mover 6 [19]

Αφού πραγματοποιηθεί επιτυχώς η σύνδεση του βραχίονα με την παροχή ρεύματος και τον υπολογιστή, η φωτεινή ένδειξη στη βάση αναβοσβήνει και ο βραχίονας είναι έτοιμος να εκτελέσει εντολές και να κινηθεί στο χώρο.

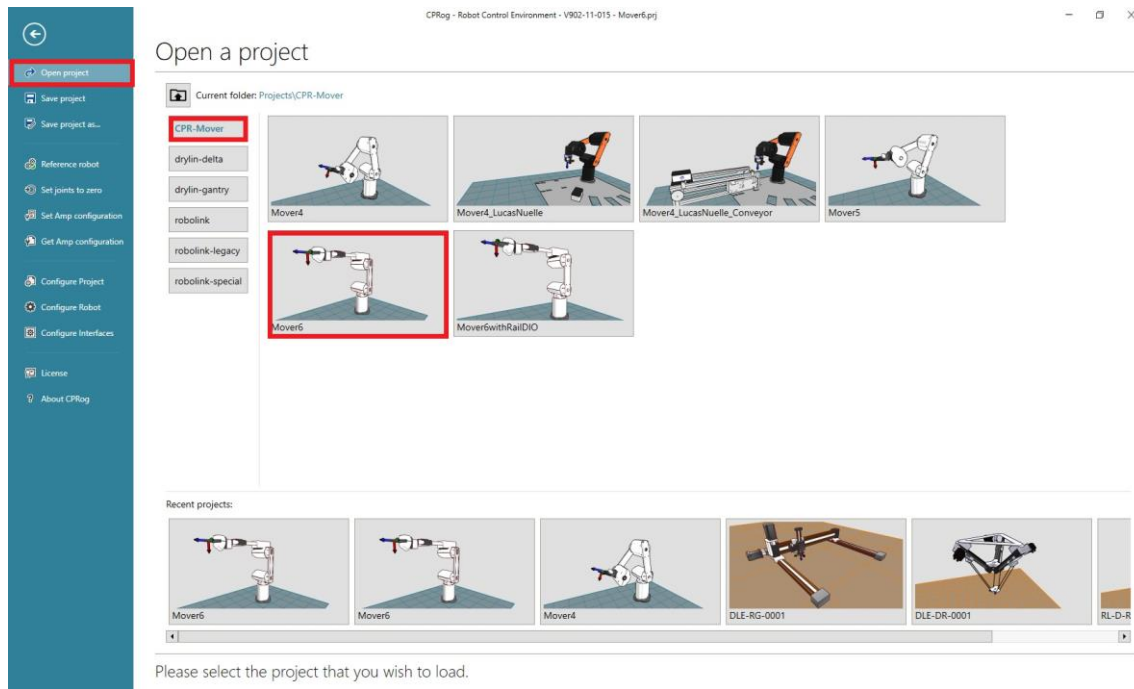
3.1.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ CPRog

Η διαχείριση και η επικοινωνία του ρομποτικού βραχίονα Mover 6 της Commonplace Robotics πραγματοποιείται μέσω ειδικού προγράμματος της εταιρίας, το CPRog Program [19].

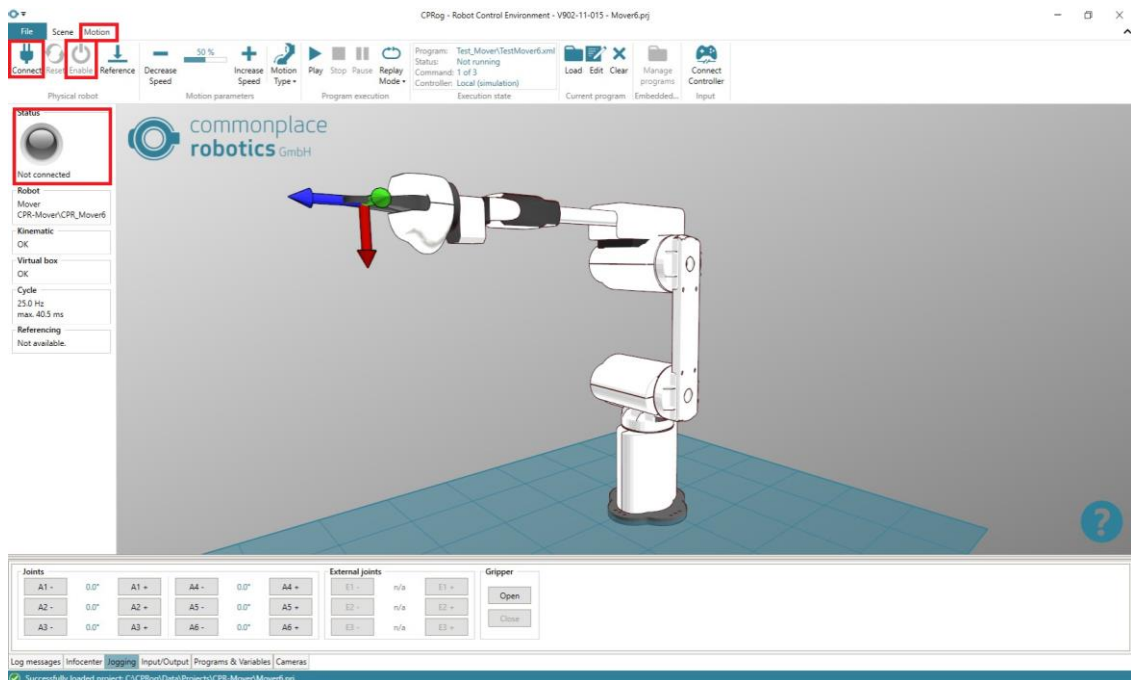


Εικόνα 10 : Προγραμματιστικό περιβάλλον CPRog

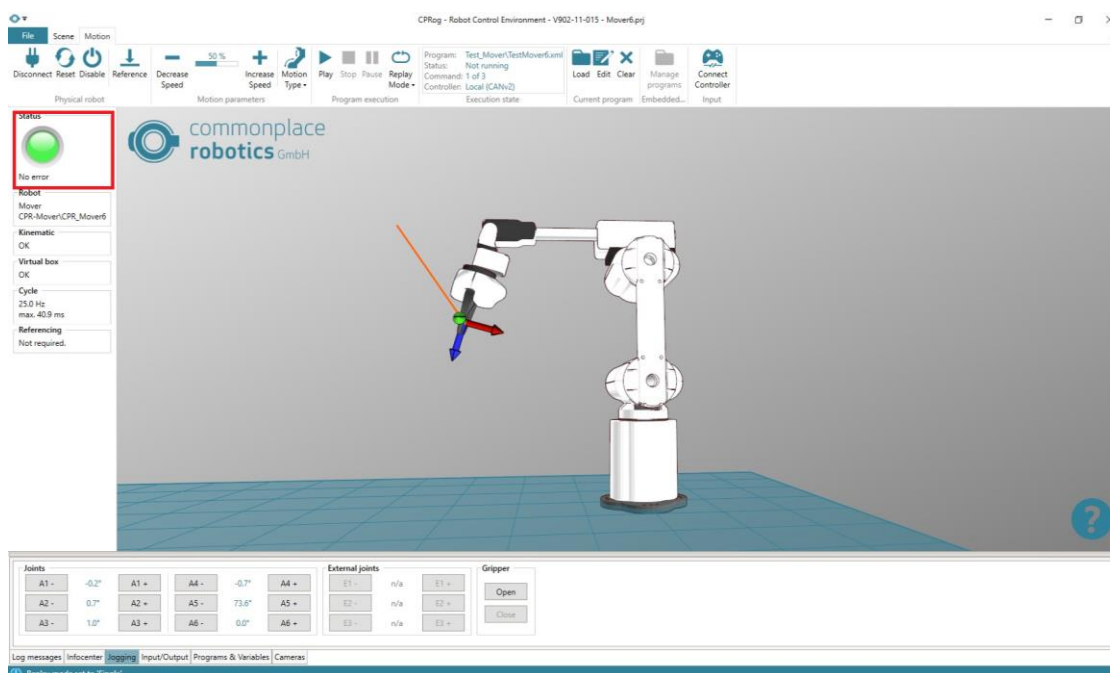
Το πρώτο βήμα για να πραγματοποιηθεί η σύνδεση του βραχίονα με το προγραμματιστικό περιβάλλον, είναι η επιλογή του σωστού βραχίονα (Mover 6) και η δημιουργία ενός νέου project (Στην καρτέλα File). Στην συνέχεια, αφού έχουμε προχωρήσει σε επιτυχή καλωδίωση του βραχίονα με τον υπολογιστή, η ένδειξη που αφορά την σύνδεση του είναι κόκκινη ή γκρι. Πατώντας το κουμπί “Connect” η ένδειξη γίνεται πράσινη και ο βραχίονας είναι συνδεδεμένος. Τέλος, πρέπει να ενεργοποιηθούν και οι κινητήρες των αρθρώσεων, πατώντας το κουμπί “Enable”. Ο ρομποτικός βραχίονας είναι έτοιμος για χρήση.



Εικόνα 11 : CPRog (Open project – New project)



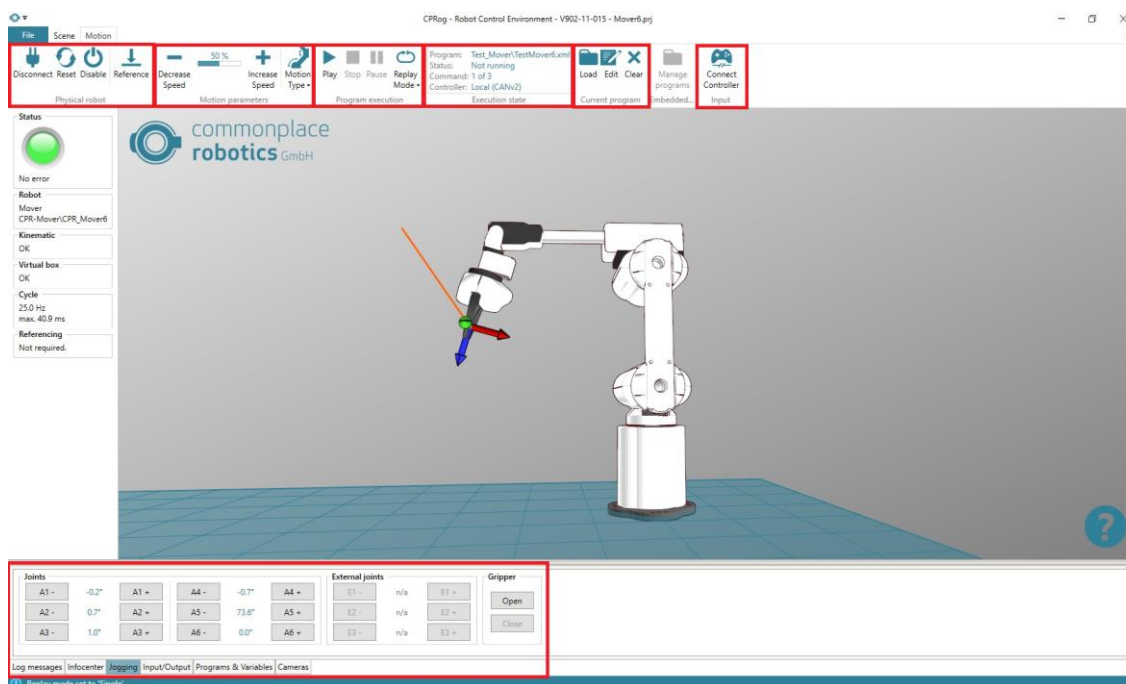
Εικόνα 12 : CPRog (Βήματα για την σύνδεση προγράμματος CPRog και βραχίονα Mover 6)



Εικόνα 13 : CPRog (Σύνδεση προγράμματος CPRog και βραχίονα Mover 6)

Το πρόγραμμα CPRog έχει δύο κύριες καρτέλες, η πρώτη που αφορά τον χειρισμό του ρομποτικού βραχίονα “Motion” και η δεύτερη που αφορά την ρύθμιση της προβολής του βραχίονα στο προγραμματιστικό περιβάλλον “Scene”.

Στην καρτέλα “Motion” υπάρχει δυνατότητα χειρισμού του τελικού επενεργητή, ρύθμιση της ταχύτητα της κίνησης των αρθρώσεων, εκτέλεση ήδη υπαρχόντων προγραμμάτων ή δημιουργία νέων, σύνδεση χειριστηρίων και άλλα.



Εικόνα 14 : CPRog (Καρτέλα “Motion”)

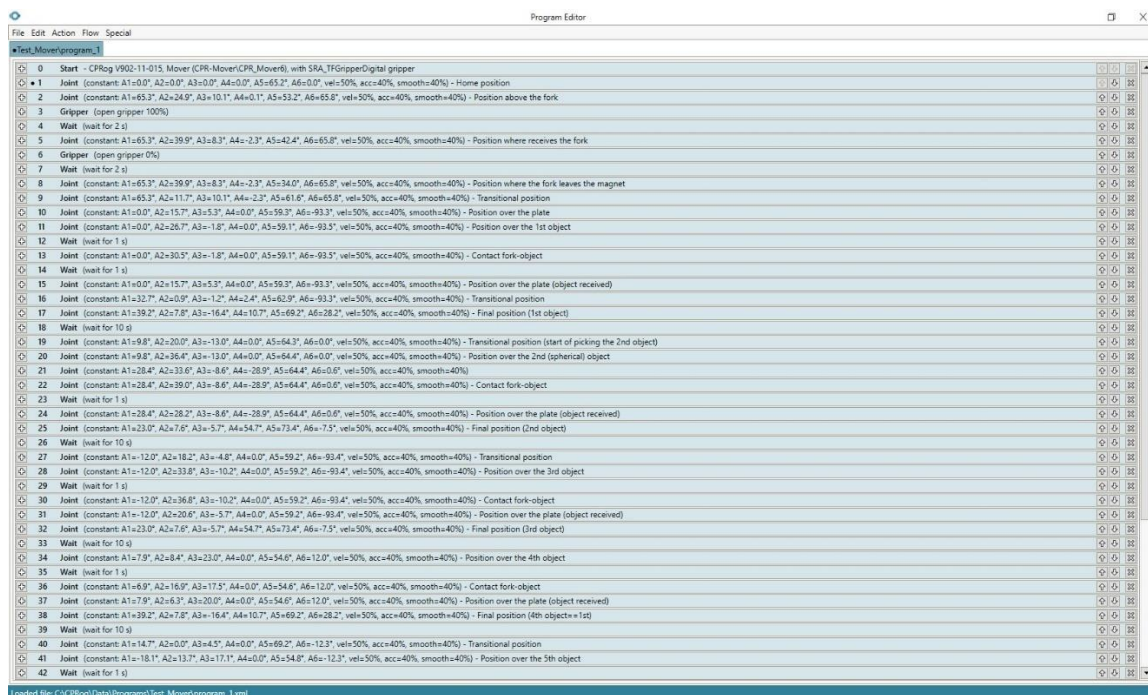
Πιο αναλυτικά, οι λειτουργίες που παρατηρούνται στην συγκεκριμένη καρτέλα είναι:

- **Physical robot:** λειτουργίες που αφορούν την σύνδεση του προγράμματος με τον βραχίονα, όπως νέα σύνδεση/ αποσύνδεση, επαναφορά αρχικών επιλογών, ενεργοποίηση κινητήρων αρθρώσεων και ορισμός σημείων αναφοράς του συστήματος.
- **Motion parameters:** λειτουργίες που αφορούν την κίνηση του βραχίονα, επιλογή της ταχύτητας και του τρόπου χειρισμού της κίνησης του βραχίονα (κίνηση σύμφωνα με τις αρθρώσεις, την βάση του βραχίονα, τον τελικό επενεργητή).
- **Program execution:** επιλογές για την εκτέλεση του προγράμματος όπως έναρξη, παύση, διακοπή του προγράμματος, καθώς και για την επιλογή επαναλήψεων που θα εκτελεστεί.
- **Execution state:** πληροφορίες σχετικά με το πρόγραμμα που εκτελείται όπως για τον φάκελο αποθήκευσης, την εντολή που εκτελείται.
- **Current program:** Επιλογή και φόρτωση έτοιμου προγράμματος από αρχεία του υπολογιστή ή δημιουργία νέου προγράμματος μέσω Editor.

Το προγραμματιστικό περιβάλλον του CPRog περιλαμβάνει εντολές που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία προγράμματος ώστε ο βραχίονας να εκτελεί τις επιθυμητές κινήσεις.

Οι βασικές εντολές είναι :

- **Linear:** ο βραχίονας κινείται γραμμικά δηλαδή πάνω στο ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει την τρέχουσα θέση και την επιθυμητή θέση, λαμβάνει ως είσοδο τις συντεταγμένες του τελικού επενεργητή στην θέση στόχο.
- **Joint:** ο βραχίονας κινείται παρεμβάλλοντας τους άξονες των αρθρώσεων από την τρέχουσα θέση στην επιθυμητή, λαμβάνει ως είσοδο όλες τις μεταβλητές/τιμές των αρθρώσεων.
- **Relative:** μπορεί να είναι Joint ή Linear και σαν τιμή λαμβάνει την απόσταση της επιθυμητής θέσης από την τρέχουσα.
- **Wait:** αναμονή της διαδικασίας για ορισμένο χρονικό διάστημα (σε s).
- **Gripper:** ρύθμιση ανοίγματος της δαγκάνας του τελικού επενεργητή (0% κλειστή, 100% ανοιχτή).
- **Digital out:** αποστολή ψηφιακής εξόδου.
- **Loop:** επανάληψη εντολών μέχρι μία ψηφιακή είσοδος ρυθμιστεί ή μέχρι να ολοκληρωθεί ο προκαθορισμένος αριθμός επαναλήψεων.
- **If -Then – Else:** εκτελεί δύο διαφορετικές εντολές ανάλογα με την τιμή της ψηφιακής εισόδου.

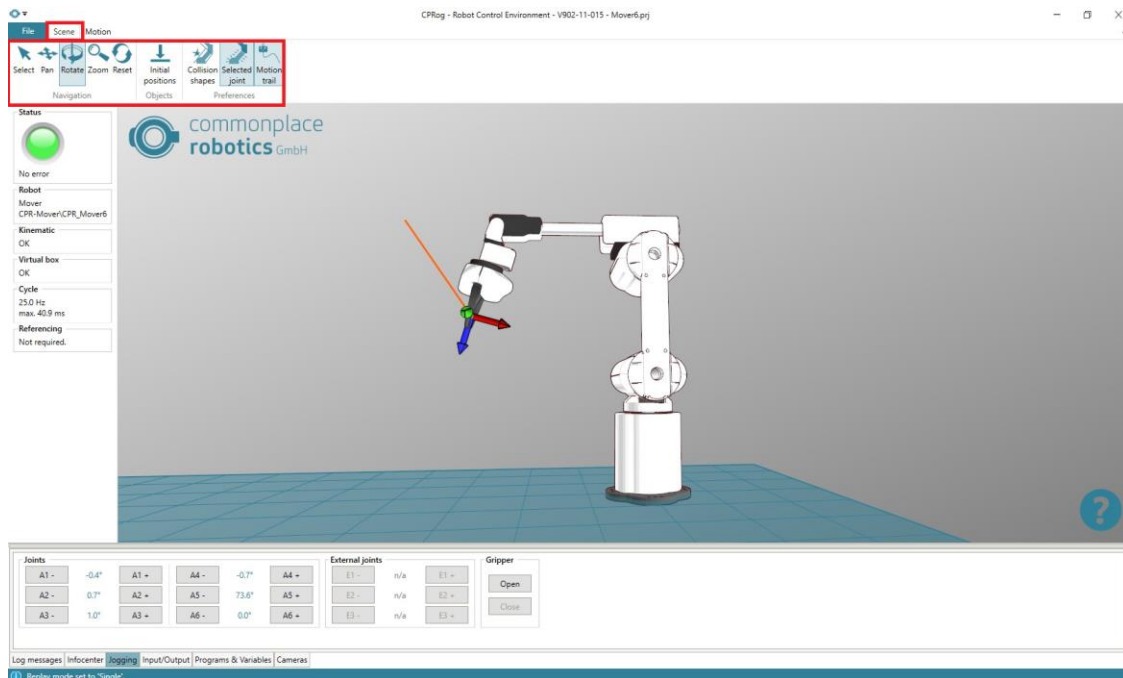


Εικόνα 15 : CPRog (Program Editor)

Στο κάτω μέρος της καρτέλας υπάρχει μία περιοχή που επιτρέπει στον χρήστη να παρακολουθεί την λειτουργία του βραχίονα, τις θέσεις που βρίσκεται ο τελικός επενεργητής ή τις γωνίες κάθε άρθρωσης. Πιο συγκεκριμένα:

- **Log messages:** μηνύματα και ειδοποιήσεις σχετικά με την λειτουργία του βραχίονα κατά την διάρκεια της κίνησης (π.χ. θερμοκρασίες των αρθρώσεων).
- **Infocenter:** δυνατότητα συνεχής παρακολούθησης των τιμών των αρθρώσεων και των συντεταγμένων του τελικού επενεργητή κατά την διάρκεια εκτέλεσης προγραμμάτων.
- **Jogging:** δυνατότητα κίνησης του βραχίονα με το ποντίκι (αλλαγή γωνίας κάθε άρθρωσης, μεταβολή των συντεταγμένων του τελικού επενεργητή)
- **Input / Output:** αφορά ειδικές παραμέτρους του βραχίονα (π.χ. του gripper)
- **Programs & Variables:** πληροφορίες για το πρόγραμμα.
- **Cameras:** σε περίπτωση χρήσης καμερών, αφορά την ρύθμιση τους.

Η δεύτερη καρτέλα του προγράμματος CPRog είναι η “Scene” και αφορά την προβολή του ρομποτικού βραχίονα στο προγραμματιστικό περιβάλλον. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την επιθυμητή γωνία θέασης του ρομποτικού συστήματος, μετακινώντας, στρέφοντας και μεγεθύνοντας το περιβάλλον. Ακόμη υπάρχει επιλογή ορισμού θέσης αντικειμένων. Τέλος, υπάρχει δυνατότητα σχεδιασμού της τροχιάς της κίνησης που ακολουθεί ο βραχίονας καθώς και άλλων ενδιαφερόντων απεικονίσεων.



Εικόνα 16 : CPRog (Καρτέλα “Scene”)

3.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATLAB

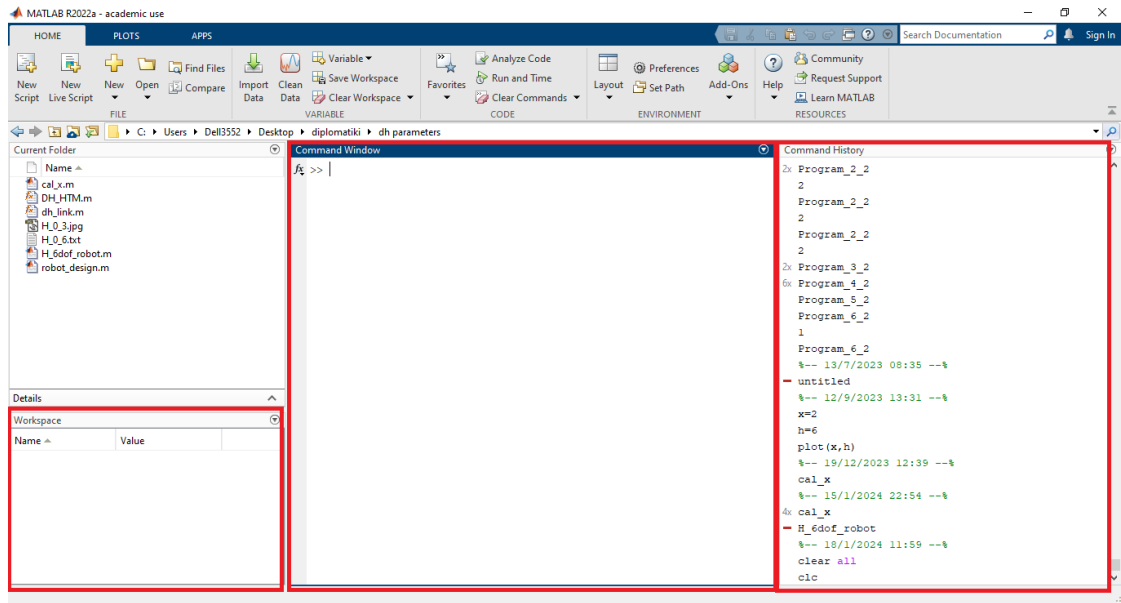
Για να δημιουργηθεί το σενάριο της παρούσας εργασίας, χρειάστηκε η κατανόηση και η ανάλυση του τρόπου λειτουργίας και κίνησης του ρομποτικού βραχίονα. Η κινηματική ανάλυση του ρομποτικού βραχίονα Mover 6 είχε κομβικό ρόλο στην εκτέλεση της εργασίας, καθώς βοήθησε στον θεωρητικό σχεδιασμό της διαδικασίας, στον προσδιορισμό των θέσεων των αντικειμένων και των τιμών που χρησιμοποιήθηκαν στις εντολές του προγραμματιστικού περιβάλλοντος CPRog.

Λόγω της πολυπλοκότητας των σχέσεων που προκύπτουν από την κινηματική ανάλυση ενός ρομποτικού βραχίονα 6 βαθμών ελευθερίας, χρησιμοποιήθηκε το προγραμματιστικό περιβάλλον Matlab της Mathworks για την επίλυση των σχέσεων.

Το Matlab είναι μία γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου. Χρησιμοποιείται από μηχανικούς και επιστήμονες για ανάπτυξη αλγορίθμων, ανάλυση δεδομένων, αναπαράσταση γραφημάτων και αριθμητικούς υπολογισμούς. Παρέχει στους χρήστες ένα διαδραστικό περιβάλλον με πλήθος έτοιμων συναρτήσεων, ειδικών εργαλείων (toolboxes) και βιβλιοθηκών. Έκτος των ενσωματωμένων συναρτήσεων που προσφέρει το λογισμικό, ο χρήστης μπορεί να αναπτύξει δικές του συναρτήσεις μέσω της συγκεκριμένης γλώσσας προγραμματισμού. Η βασική δομική μονάδα του είναι οι πίνακες και ο βασικός τύπος δεδομένων είναι τα διανύσματα [20]. Το λογισμικό υποστηρίζεται από σχεδόν όλα τα λειτουργικά συστήματα, όπως Windows, Linux, MAC OS.

Κατά την εκκίνηση του προγράμματος, εμφανίζεται η επιφάνεια εργασίας η οποία αποτελείται από τρία παράθυρα:

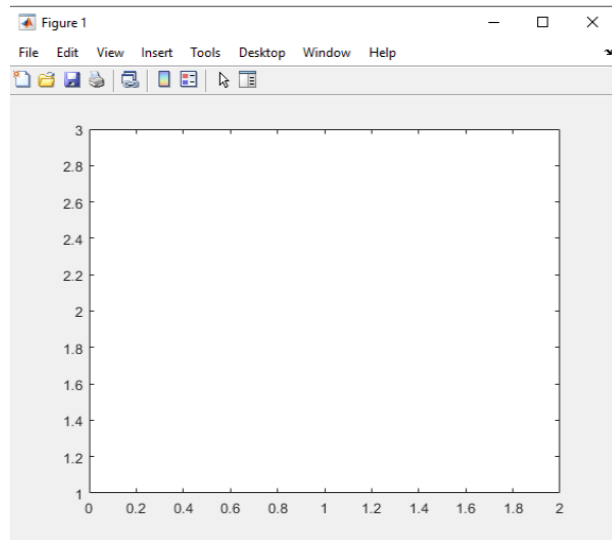
- Παράθυρο εντολών (Command Window): Είναι το βασικό παράθυρο, επιτρέπει την άμεση εισαγωγή εντολών, εισαγωγή δεδομένων καθώς και για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Κάθε εντολή πρέπει να βρίσκεται μετά από το σύμβολο >>.
- Παράθυρο χώρου εργασίας (Workspace): Παρέχει πληροφορίες για τον τύπο και το μέγεθος κάθε χρησιμοποιούμενης μεταβλητής.
- Παράθυρο ιστορικού εντολών (Command History): Καταχωρούνται όλες οι εντολές που χρησιμοποιούνται από το παράθυρο εντολών.



Εικόνα 17 : Επιφάνεια εργασίας Matlab R2022a

Άλλα δύο βασικά παράθυρα τα οποία μπορεί να προσθέσει ο χρήστης είναι:

- Παράθυρο γραφήματος (Figure Window): Απεικονίζει γραφήματα που είναι αποτέλεσμα εντολών από το παράθυρο εντολών. Υπάρχει δυνατότητα επεξεργασίας των γραφημάτων.



Εικόνα 18 : Matlab (Figure Window)

- Παράθυρο σύνταξης (Editor Window): Είναι το παράθυρο που ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει, να επεξεργαστεί και να αποθηκεύσει τα δικά του προγράμματα.



Εικόνα 19 : Matlab (Editor Window)

3.3 ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ ΥΛΙΚΑ

Στόχος της εργασίας είναι η χρήση του ρομποτικού βραχίονα ως υποστηρικτικό προϊόν στην διαδικασία κατανάλωσης ενός γεύματος από άτομα που το χρειάζονται. Για την επίτευξη του συγκεκριμένου σεναρίου εκτός του ρομποτικού βραχίονα Mover 6, χρησιμοποιήθηκαν κάποια αναλώσιμα υλικά. Ως πιάτο χρησιμοποιήθηκε ένα ταψάκι μίας χρήσης διαστάσεων 22,3 x 17,3 x 3,5 cm (οι διαστάσεις του εσωτερικού μέρους διαφέρουν και είναι 19,5 x 14 x 3,5 cm). Το σκεύος που προσαρμόστηκε στον τελικό επενεργητή προκειμένου να λαμβάνει το φαγητό είναι ένα πιρούνι μήκους 14cm. Τέλος, για την προσομοίωση διάφορων τροφών χρησιμοποιήθηκαν κομμάτια από σφουγγάρι ανθοδετικής σε διαφορετικά σχήματα, ώστε να αντιστοιχούν σε διαφορετικό είδος τροφής. Διακρίνουμε δύο ορθογώνια με διαστάσεις 5x2x2 cm, μία σφαίρα με διάμετρο 3cm, έναν κύβο 2x2x2 cm και ένα κύλινδρο με διάμετρο 2,5 cm και ύψος 2cm.



Εικόνα 20 : Αναλώσιμα υλικά (α. Πιάτο με τα αντικείμενα από σφουγγάρι , β. Το πιρούνι τοποθετημένο σε μαγνήτη)

4. ΜΕΛΕΤΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ MOVER 6

Η παρούσα διπλωματική βασίζεται στον χειρισμό ενός ρομποτικού βραχίονα. Η διαδικασία που ακολουθείται απαιτεί προκαθορισμένες θέσεις των τροφών στο πιάτο, του χρήστη καθώς και του πιρουνιού. Για να προγραμματιστεί κατάλληλα ο βραχίονας πρέπει να γνωρίζουμε τις συντεταγμένες του τελικού επενεργητή σε κάθε φάση του πειράματος, ώστε να υπολογιστεί η τροχιά που θα ακολουθήσει. Αυτό είναι εφικτό, αν έχουμε τη σχέση που συνδέει τη θέση και τον προσανατολισμό του τελικού επενεργητή του βραχίονα με την βάση του. Συνεπώς, παρακάτω θα μελετηθεί η κινηματική του ρομποτικού βραχίονα Mover 6.

4.1 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

4.1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ

Ένας ρομποτικός βραχίονας συγκροτείται από συνδέσμους (links) που συνδέονται μεταξύ τους με αρθρώσεις (joints), περιστροφικές ή πρισματικές. Ένας βραχίονας με i αρθρώσεις θα έχει $i+1$ συνδέσμους, καθώς μία άρθρωση συνδέει δύο συνδέσμους. Η αρίθμηση των αρθρώσεων είναι από 1 έως i , ενώ για τους συνδέσμους από 0 έως i ξεκινώντας από τη βάση. Επομένως, με αυτή τη σύμβαση έχουμε ότι η άρθρωση i συνδέει τον σύνδεσμο $i-1$ με τον i .

Κινηματική ονομάζεται η επιστήμη που εξετάζει την κίνηση χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις δυνάμεις που την προκαλούν. Ασχολείται με την θέση, την επιτάχυνση και την ταχύτητα. Η εφαρμογή της κινηματικής στους ρομποτικούς βραχίονες βασίζεται στην μελέτη των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών των αρθρώσεων με την θέση και τον προσανατολισμό του τελικού επενεργητή. Η κινηματική ανάλυση προσδιορίζει τις συντεταγμένες του τελικού επενεργητή, γνωρίζοντας τις τιμές για όλες τις μεταβλητές των αρθρώσεων (γωνία για περιστροφικές αρθρώσεις και μετατόπιση για τις πρισματικές). Υπάρχει και η αντίστροφη κινηματική που προσδιορίζονται οι μεταβλητές όλων των αρθρώσεων για μία συγκεκριμένη θέση του τελικού επενεργητή.

Για να υπολογιστούν οι σχέσεις που συσχετίζουν τη θέση και τον προσανατολισμό του τελικού επενεργητή με τις μεταβλητές των αρθρώσεων πρέπει να μελετηθεί η κίνηση κάθε άρθρωσης. Η μελέτη της κίνησης γίνεται διαδοχικά ανά δύο αρθρώσεις και στο τέλος για την συνολική κίνηση του τελικού επενεργητή γίνεται η σύνθεση των επιμέρους κινήσεων.

Μία προσέγγιση για την εξαγωγή σχέσεων που συνδέουν τις συντεταγμένες του τελικού επενεργητή και τις μεταβλητές των αρθρώσεων είναι οι παράμετροι Denavit – Hartenberg. Είναι 4 παράμετροι που περιγράφουν την σχετική περιστροφή και μετατόπιση μεταξύ δύο διαδοχικών συστημάτων συντεταγμένων (θ , α , d , r). Πιο αναλυτικά, για δύο διαδοχικά συστήματα συντεταγμένων $\{i-1\}$ και $\{i\}$ οι παράμετροι D-H ορίζονται ως:

- Παράμετρος θ_i : είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του άξονα x_{i-1} και του x_i γύρω από τον άξονα z_{i-1} , ώστε ο άξονας x_{i-1} να γίνει παράλληλος με τον άξονα x_i . Σε περίπτωση περιστροφική άρθρωσης του συστήματος $\{i-1\}$, λαμβάνεται υπόψη αθροιστικά η γωνία περιστροφής.

- Παράμετρος α_i : είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του άξονα z_{i-1} και του z_i γύρω από τον άξονα x_i , ώστε ο άξονας z_{i-1} να γίνει παράλληλος με τον άξονα z_i .
- Παράμετρος r_i : είναι η μετατόπιση του συστήματος συντεταγμένων $\{i-1\}$ προς το σύστημα συντεταγμένων $\{i\}$ στην κατεύθυνση του άξονα x_i .
- Παράμετρος d_i : είναι η μετατόπιση του συστήματος συντεταγμένων $\{i-1\}$ προς το σύστημα συντεταγμένων $\{i\}$ στην κατεύθυνση του άξονα z_{i-1} . Λαμβάνεται υπόψη αθροιστικά η μετατόπιση εάν είναι πρισματική άρθρωση του συστήματος $\{i-1\}$.

Με την χρήση των παραπάνω παραμέτρων, η εύρεση του πίνακα ομογενούς μετασχηματισμού, H_i^{i-1} , μεταξύ δύο διαδοχικών συστημάτων συντεταγμένων $\{i-1\}$ και $\{i\}$ προκύπτει ως εξής:

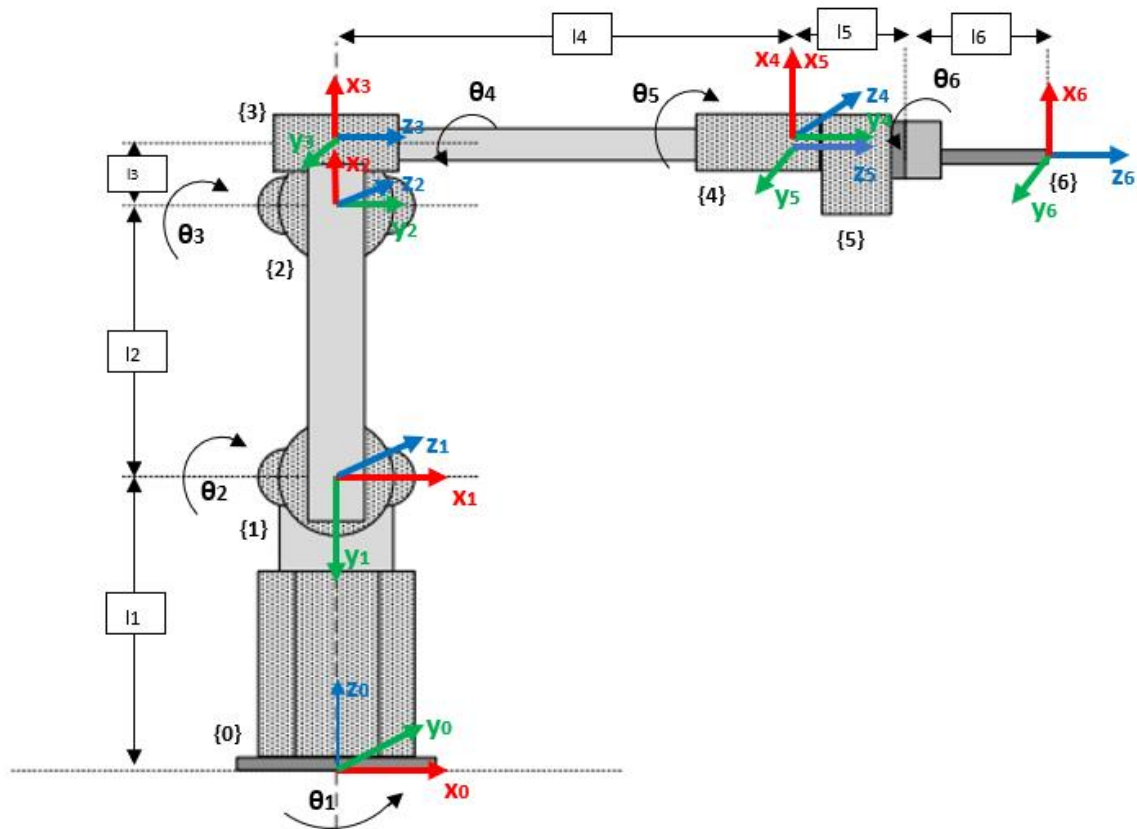
$$H_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta * \cos\alpha & \sin\theta * \sin\alpha & r * \cos\theta \\ \sin\theta & \cos\theta * \cos\alpha & -\cos\theta * \sin\alpha & r * \sin\theta \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Για να εξαγάγουμε τελικά τις επιθυμητές σχέσεις τόσο για την τελική θέση του τελικού επενεργητή, όσο και για τις μεταβλητές των αρθρώσεων θα πρέπει να ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:

1. Δημιουργία κινηματικού διαγράμματος.
2. Ορισμός συστημάτων συντεταγμένων.
3. Εύρεση παραμέτρων D-H
4. Εύρεση πινάκων ομοιογενούς μετασχηματισμού H.
5. Εξαγωγή σχέσεων που εκφράζουν τις συντεταγμένες του τελικού επενεργητή συναρτήσει των μεταβλητών των αρθρώσεων.
6. Εξαγωγή αντίστροφων σχέσεων που εκφράζουν τις μεταβλητές των αρθρώσεων συναρτήσει των συντεταγμένων του τελικού επενεργητή [21].

4.1.2 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ MOVER 6

Ο ρομποτικός βραχίονας Mover 6 αποτελείται από έξι συνδέσμους και τη βάση, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με έξι περιστροφικές αρθρώσεις, συνεπώς θα υπάρχουν και 7 συστήματα συντεταγμένων. Οι περιστροφικές αρθρώσεις προσδίδουν στον βραχίονα έξι βαθμούς ελευθερίας, που οι τρεις πρώτες ευθύνονται για την θέση του τελικού επενεργητή και οι τρεις τελευταίες για τον προσανατολισμό του. Στην παρακάτω εικόνα, απεικονίζεται το κινηματικό διάγραμμα του βραχίονα με τοποθετημένα τα συστήματα συντεταγμένων.



Εικόνα 21 : Κινηματικό διάγραμμα του ρομποτικού βραχίονα Mover 6

Στον Πίνακα 1, παρουσιάζονται οι παράμετροι DH που αντιστοιχούν στα 7 συστήματα συντεταγμένων που σημειώθηκαν στο κινηματικό διάγραμμα του Mover 6. Οι διαστάσεις των συνδέσμων και οι γωνίες των αρθρώσεων παρουσιάζονται σε χιλιοστά (mm) και μοίρες (deg °) αντίστοιχα.

Πίνακας 1 : Παράμετροι Denavit – Hartnberg του ρομποτικού βραχίονα Mover 6

	θ	α	r	d
1	θ_1	-90°	0	$l_1 = 193\text{mm}$
2	$-90^\circ + \theta_2$	0°	$l_2 = 190\text{mm}$	0
3	θ_3	-90°	$l_3 = 64\text{mm}$	0
4	θ_4	90°	0	$l_4 = 250.6\text{mm}$
5	θ_5	-90°	0	0
6	θ_6	0°	0	$l_5+l_6 = 75 + 85\text{mm}$

Χρησιμοποιώντας την σχέση (1) και τις παραπάνω τιμές των παραμέτρων DH μπορεί να υπολογιστεί ο πίνακας μετασχηματισμού για κάθε άρθρωση. Πιο αναλυτικά,

$$H_1^0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & -\sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & 0 & \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 193 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_2^1 = \begin{bmatrix} \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & 190 * \sin\theta_2 \\ -\cos\theta_2 & \sin\theta_2 & 0 & -190 * \cos\theta_2 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_3^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & 0 & -\sin\theta_3 & 64 * \cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & 0 & \cos\theta_3 & 64 * \sin\theta_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_4^3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & 0 & \sin\theta_4 & 0 \\ \sin\theta_4 & 0 & -\cos\theta_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 250,6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_5^4 = \begin{bmatrix} \cos\theta_5 & 0 & -\sin\theta_5 & 0 \\ \sin\theta_5 & 0 & \cos\theta_5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_6^5 = \begin{bmatrix} \cos\theta_6 & -\sin\theta_6 & 0 & 0 \\ \sin\theta_6 & \cos\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 160 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Οι σχέσεις που δίνουν τελικά τις συντεταγμένες του τελικού επενεργητή συναρτήσει των γωνιών των αρθρώσεων είναι ο συνολικός πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού, που προκύπτει :

$$H_6^0 = H_1^0 * H_2^1 * H_3^2 * H_4^3 * H_5^4 * H_6^5$$

$$H_6^0 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

όπου,

$$\begin{aligned} n_x &= c_1 [s_{23}(c_4c_5c_6 - s_4s_6) + c_{23}s_5c_6] + s_1 [s_4c_5c_6 + c_4s_6] \\ o_x &= c_1 [-s_{23}(c_4c_5s_6 + s_4c_6) - c_{23}s_5s_6] + s_1 [c_4c_6 - s_4c_5s_6] \\ a_x &= c_1 [-s_{23}c_4s_5 + c_{23}c_5] - s_1s_4s_5 \\ p_x &= (l_5 + l_6)a_x + l_4c_1c_{23} + l_3c_1s_{23} + l_2c_1s_2 \\ n_y &= s_1 [s_{23}(c_4c_5c_6 - s_4s_6) + c_{23}s_5c_6] - c_1 [s_4c_5c_6 + c_4s_6] \\ o_y &= -s_1 [s_{23}(c_4c_5s_6 + s_4c_6) + c_{23}s_5s_6] + c_1 [-c_4c_6 + s_4c_5s_6] \\ a_y &= s_1 [-s_{23}c_4s_5 + c_{23}c_5] + c_1s_4s_5 \\ p_y &= (l_5 + l_6)a_y + l_4s_1c_{23} + l_3s_1s_{23} + l_2s_1s_2 \\ n_z &= c_2c_3c_4c_5c_6 - s_1s_2c_4c_5c_6 - s_{23}s_5c_6 - c_{23}s_4s_6 \\ o_z &= -c_2c_3c_4c_5s_6 + s_1s_3c_4c_5s_6 + s_{23}s_5s_6 - c_{23}s_4c_6 \\ a_z &= -c_{23}c_4s_5 - s_{23}c_5 \\ p_z &= (l_5 + l_6)a_z + l_1 + l_2c_2 + l_3c_{23} - l_4s_{23} \end{aligned}$$

Στις παραπάνω σχέσεις χρησιμοποιούνται οι εξής συμβολισμοί $c_i = \cos\theta_i$, $s_i = \sin\theta_i$, $c_{23} = \cos(\theta_2 + \theta_3)$ και $s_{23} = \sin(\theta_2 + \theta_3)$.

Οι μεταβλητές p_x , p_y , p_z προσδιορίζουν την θέση του τελικού επενεργητή και οι υπόλοιπες τον προσανατολισμό του.

4.2 ΧΩΡΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ MOVER 6

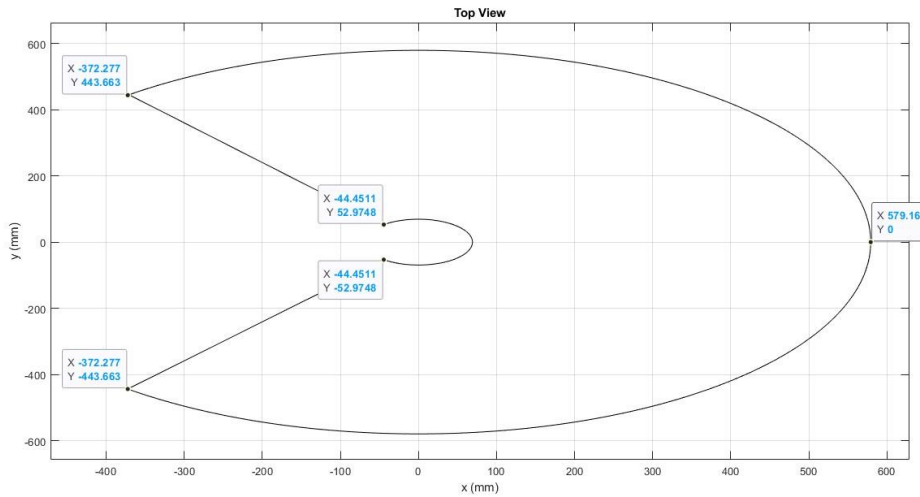
Ο χώρος εργασίας (workspace) ενός ρομποτικού βραχίονα εκφράζει όλες τις θέσεις που μπορεί να προσεγγίσει ο τελικός επενεργητής του. Εξαρτάται από τις διαστάσεις των συνδέσμων και το εύρος γωνιών κάθε άρθρωσης του βραχίονα. Ο χώρος εργασίας το ρομποτικού βραχίονα Mover 6 υπολογίζεται με χρήση των σχέσεων που προέκυψαν από την κινηματική ανάλυση, εφόσον είναι γνωστό το εύρος των γωνιών και τα μήκη των συνδέσμων. Ο χώρος εργασίας θα μελετηθεί ως προς τους άξονες κίνησης ΧΥ και ΧΖ .

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται το εύρος κίνησης κάθε περιστροφικής άρθρωσης του ρομποτικού βραχίονα Mover 6, που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του χώρου εργασίας.

Πίνακας 2 : Εύρος κίνησης κάθε περιστροφικής άρθρωσης του ρομποτικού βραχίονα Mover 6 (σε deg)

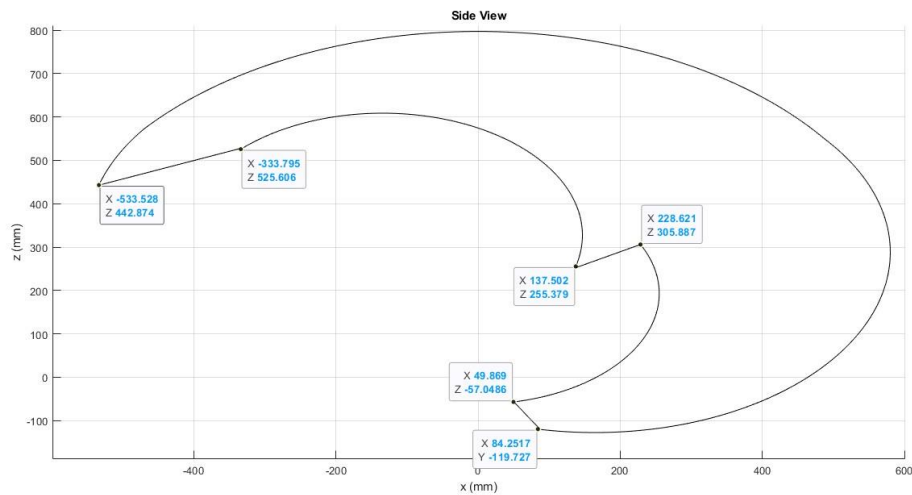
ΑΡΘΡΩΣΕΙΣ	ΕΥΡΟΣ ΓΩΝΙΩΝ	
	MIN	MAX
A1	-130	130
A2	-45	60
A3	-110	75
A4	-140	140
A5	-85	85
A6	-120	120

Σχετικά με την εύρεση του χώρου εργασίας ως προς ΧΥ, οι γωνίες των αρθρώσεων λαμβάνουν τιμές έτσι ώστε ο τελικός επενεργητής να απομακρυνθεί όσο περισσότερο γίνεται από την βάση και περιστρέφεται γύρω από αυτή, σε όλο το εύρος της γωνίας της Α1. Έπειτα, ο τελικός επενεργητής πλησιάζει όσο περισσότερο γίνεται την βάση και πάλι περιστρέφεται γύρω από αυτή. Η περιστροφή έγινε κατά μία μοίρα ως προς την θ1 της άρθρωσης Α1. Το διάγραμμα δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας συντεταγμένες που υπολογίστηκαν μέσω των σχέσεων που προέκυψαν από την κινηματική ανάλυση του βραχίονα.



Εικόνα 22 : Χώρος εργασίας του ρομποτικού βραχίονα Mover 6 ως προς τους άξονες XY

Για την εύρεση του χώρου εργασίας XZ ακολουθείται παρόμοια διαδικασία, με τη διαφορά ότι μεταβάλλονται/ περιστρέφονται στο εύρος τους, οι γωνίες των αρθρώσεων A2 και A3.



Εικόνα 23 : Χώρος εργασίας του ρομποτικού βραχίονα Mover 6 ως προς τους άξονες XZ

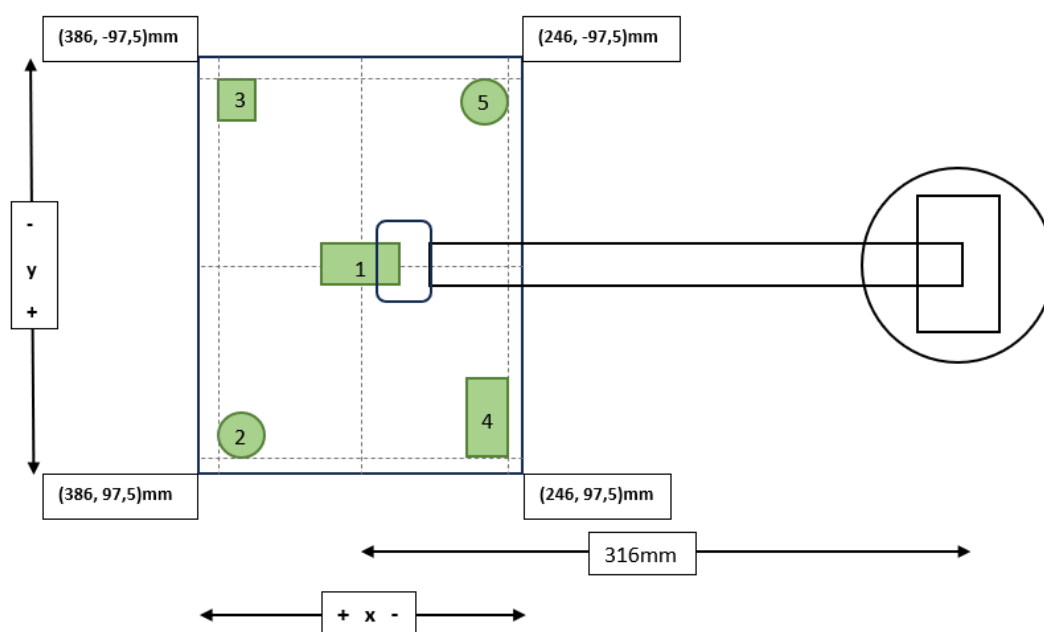
Η εύρεση του χώρου εργασίας του ρομποτικού βραχίονα έχει σημασία στην εξέλιξη του πειράματος, καθώς ορίζει τον επιτρεπτό χώρο για την τοποθέτηση του πιάτου, των τροφών καθώς και του χρήστη.

5. ΠΕΙΡΑΜΑ

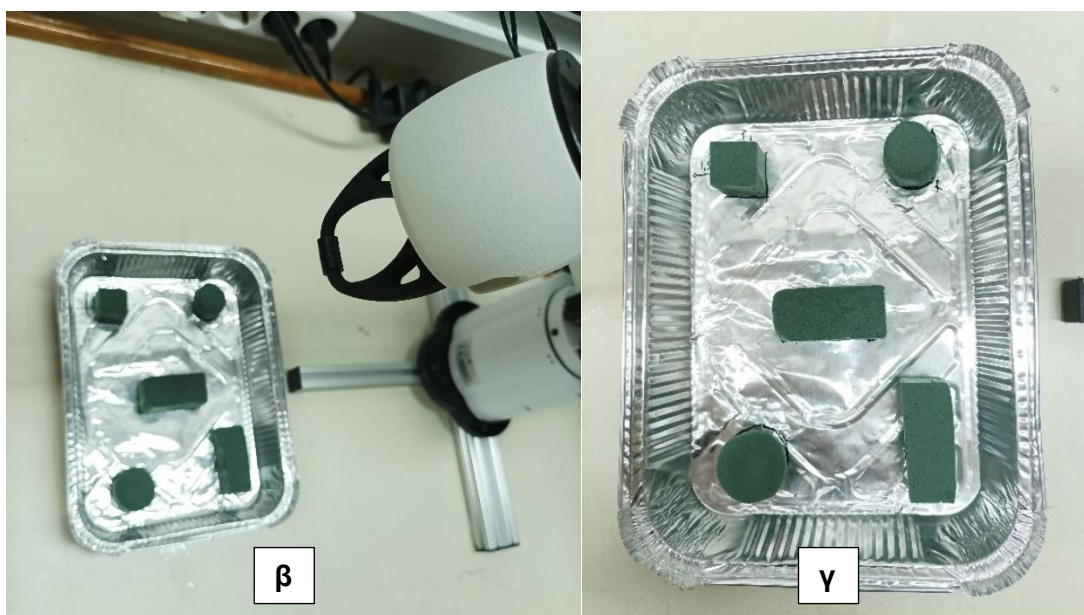
5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

5.1.1 ΘΕΣΕΙΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Στον προγραμματισμό του ρομποτικού βραχίονα για την εκτέλεση της διαδικασίας της αυτόνομης σίτισης απαιτούνται οι θέσεις του πιάτου, των τροφίμων και του χρήστη. Ξεκινώντας με τις θέσεις του πιάτου και των τροφών είναι εφικτό να υπολογιστούν, καθώς είναι γνωστές οι διαστάσεις τόσο του πιάτου που χρησιμοποιήθηκε αλλά και των πέντε αντικειμένων που αναπαριστούν τις τροφές. Το κέντρο του πιάτου τοποθετείται σε γνωστή απόσταση από τη βάση του ρομποτικού βραχίονα (316mm) και με τη βοήθεια γραφήματος υπολογίζονται τα κέντρα των αντικειμένων ως προς τους άξονες ΧΥ. Το παρακάτω διάγραμμα είναι τοποθετημένο όπως είναι στην πραγματικότητα τοποθετημένος ο βραχίονας και το πιάτο στο τραπέζι. Οι άξονες ΧΥ ακολουθούν την φορά κίνηση του βραχίονα.



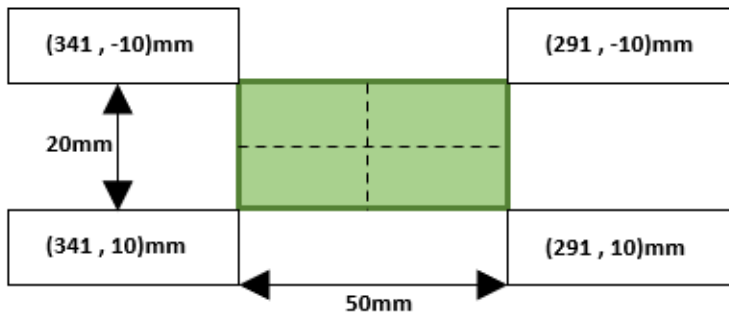
Σχήμα 1: Σχηματική αναπαράσταση πιάτου και αντικειμένων



Εικόνα 24 : Τοποθέτηση Mover 6 και αντικειμένων στο πιάτο

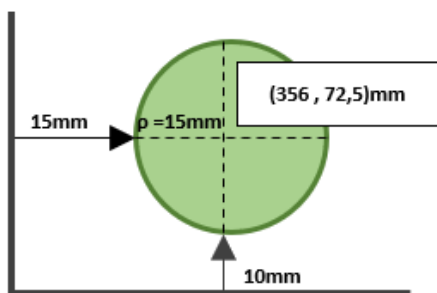
Οι συντεταγμένες του πιάτου και των αντικειμένων υπολογίζονται θεωρώντας σημείο αναφοράς O , το κέντρο της βάσης του βραχίονα. Το κέντρο του πιάτου τοποθετείται σε απόσταση 316mm ως προς X και 0mm ως προς Y από το κέντρο της βάσης του βραχίονα. Οι συντεταγμένες των άκρων του πιάτου υπολογίζονται από τις εσωτερικές διαστάσεις του (195 x 140 mm).

Το πρώτο αντικείμενο είναι ένα ορθογώνιο με διαστάσεις 50x20x20 mm και βρίσκεται στο κέντρο του πιάτου οπότε οι συντεταγμένες του κέντρου του ως προς ΧΥ είναι (316,0)mm. Με την βοήθεια των διαστάσεων του οι συντεταγμένες των άκρων υπολογίζονται:



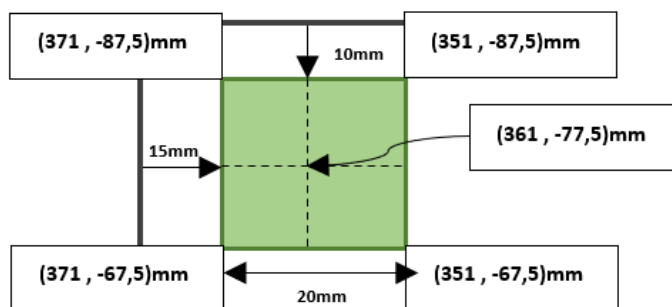
Σχήμα 2 : Συντεταγμένες ΧΥ του πρώτου ορθογώνιου αντικειμένου

Το δεύτερο αντικείμενο είναι μία σφαίρα με διάμετρο 30mm και βρίσκεται στο επάνω αριστερό άκρο του πιάτου. Έχει τοποθετηθεί σε συγκεκριμένες αποστάσεις από τα τοιχώματα του πιάτου (10 και 15 mm) και με την βοήθεια των διαστάσεων του οι συντεταγμένες του κέντρου που προκύπτουν είναι :



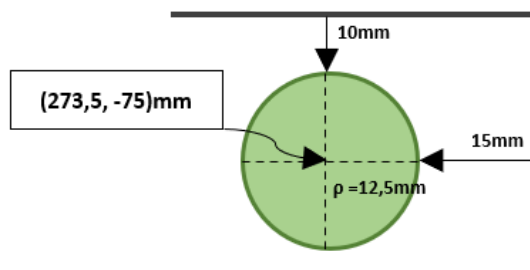
Σχήμα 3 : Συντεταγμένες ΧΥ του σφαιρικού αντικειμένου

Το τρίτο αντικείμενο είναι ένας κύβος με διαστάσεις 20x20x20mm και έχει τοποθετηθεί στο επάνω δεξιό άκρο του πιάτου, σε αποστάσεις από τα τοιχώματα του ίδιες με το προηγούμενο αντικείμενο. Οι συντεταγμένες του κέντρου και των άκρων του κύβου είναι:



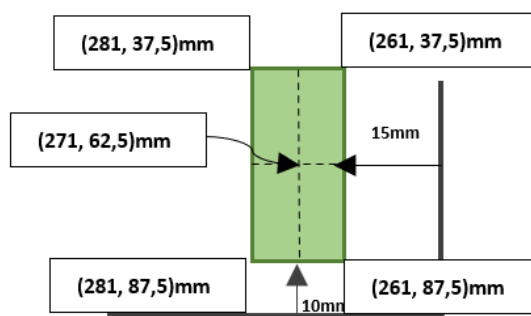
Σχήμα 4 : Συντεταγμένες ΧΥ του κυβικού αντικειμένου

Το τέταρτο αντικείμενο είναι ένας κύλινδρος με διάμετρο 25mm και ύψος 20mm, έχει τοποθετηθεί στο κάτω δεξί άκρο του πιάτου, σε αποστάσεις από τα τοιχώματα του ίδιες με τα προηγούμενα αντικείμενα. Οι συντεταγμένες του κέντρου του κυλίνδρου είναι:



Σχήμα 5 : Συντεταγμένες XY του κυλινδρικού αντικειμένου

Το πέμπτο και τελευταίο αντικείμενο είναι ένα ορθογώνιο ίδιο με το πρώτο. Έχει τοποθετηθεί στο κάτω αριστερό άκρο του πιάτου, σε αποστάσεις από τα τοιχώματα του ίδιες με τα προηγούμενα αντικείμενα. Οι συντεταγμένες του κέντρου και των άκρων του ορθογωνίου είναι:



Σχήμα 6 : Συντεταγμένες XY του δεύτερου ορθογωνίου αντικειμένου

Οι παραπάνω συντεταγμένες θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση των τελικών θέσεων που θα λάβει ο βραχίονας κατά την διάρκεια της λήψης των τροφών από το πιάτο.

5.1.2 ΣΤΑΔΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Η διαδικασία της σίτισης μπορεί να διακριθεί σε φάσεις όπως η φάση προσέγγισης της τροφής με το πιρούνι, η φάση της λήψης της τροφής από το πιάτο και η φάση μεταφοράς της προς τον χρήστη. Για κάθε φάση αντιστοιχούν συγκεκριμένες κινήσεις του βραχίονα σε καθορισμένες θέσεις. Η σύνθεση των επιμέρους κινήσεων και θέσεων που λαμβάνει ο βραχίονας αποτελούν την τροχιά που θα ακολουθήσει για την εκτέλεση μίας ολοκληρωμένης διαδικασίας σίτισης του χρήστη. Πιο αναλυτικά, στο συγκεκριμένο πείραμα η διαδικασία χωρίζεται σε τέσσερις κύριες φάσεις:

A) ΦΑΣΗ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ

Είναι το πρώτο στάδιο, που ο βραχίονας προετοιμάζεται κατάλληλα για την λήψη τροφής από το πιάτο. Ξεκινά λαμβάνοντας το πιρούνι από την άκρη του τραπεζιού όπου συγκρατείται με μαγνήτη. Αφού ο gripper του βραχίονα έχει λάβει σωστά το πιρούνι, μετακινείται σε θέση έναρξης της διαδικασίας πάνω από το πιάτο. Για την αποφυγή σύγκρουσης του πιρουνιού στο τραπεζί κατά την μετακίνηση του προς το πιάτο, παρεμβάλλεται ενδιάμεση θέση του βραχίονα. Ο βραχίονας είναι έτοιμος να ξεκινήσει την διαδικασία σίτισης του χρήστη.

B) ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΤΗΣ ΤΡΟΦΗΣ

Ο τρόπος προσέγγισης και λήψης των τροφών εξαρτάται από το σχήμα, το μέγεθος και τις φυσικές ιδιότητες τους. Στο συγκεκριμένο πείραμα, οι τροφές που παρομοιάζονται είναι στερεές (αντικείμενα από σφουγγάρι) και επιλέχθηκαν τέσσερα διαφορετικά σχήματα. Χρησιμοποιήθηκε ορθογώνιο αντικείμενο ως λαχανικό (καρότο, αγγούρι). Το σφαιρικό αντικείμενο ως φρούτο (φράουλες, σταφύλια, τοματίνια). Το κυβικό αντικείμενο ως κομμάτι κρέας ή τυριού. Το κυλινδρικό αντικείμενο ως κομμάτι λαχανικών και φρούτων (όπως μπανάνες). Σε αυτό το στάδιο ανάλογα το σχήμα του αντικειμένου, ο βραχίονας μετακινείται στη θέση πάνω από αυτό και ο τελικός επενεργητής περιστρέφεται αν είναι απαραίτητο υπό κατάλληλη γωνία (π.χ. στο σφαιρικό αντικείμενο) και είναι έτοιμος να λάβει την τροφή.

Γ) ΦΑΣΗ ΛΗΨΗΣ ΤΡΟΦΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΙΑΤΟ

Είναι το στάδιο, που ο ρομποτικός βραχίονας μετακινείται και περιστρέφεται κατάλληλα, ώστε να έρθει το πιρούνι σε επαφή με τα αντικείμενα και τελικά να καταφέρει να τα σηκώσει από το πιάτο.

Δ) ΦΑΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Περιλαμβάνει την κίνηση από το πιάτο στην τελική θέση του χρήστη, στο ύψος του στόματος. Από τη στιγμή που το πιρούνι λαμβάνει την τροφή, ο ρομποτικός βραχίονας ξεκινά να μετακινείται και να περιστρέφεται, ώστε να προσεγγίσει τον χρήστη όσο το δυνατόν πιο κοντά, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος τραυματισμού. Η τελική θέση που λαμβάνει ο τελικός επενεργητής και κατ' επέκταση το πιρούνι με την τροφή διαφέρει για κάθε είδος τροφής (δηλαδή για κάθε διαφορετικό σχήμα αντικειμένου). Πιο

αναλυτικά, οι συντεταγμένες XYZ παραμένουν ίδιες καθώς αποτελούν την θέση του χρήστη, αλλά διαφέρει ο προσανατολισμός του τελικού επενεργητή. Αυτό συμβαίνει για την καλύτερη εξυπηρέτηση του χρήστη, καθώς κάθε τροφή θέλει διαφορετική προσέγγιση για την κατανάλωση της.

Οι τρεις φάσεις επαναλαμβάνονται πέντε φορές στο συγκεκριμένο πείραμα, καθώς έχουν οριστεί πέντε διαφορετικά αντικείμενα (δηλαδή τροφές). Μεταξύ κάθε επανάληψης υπάρχει μία αναμονή 10sec προκειμένου ο χρήστης να προλαβαίνει να καταναλώσει την μπουκιά και να προετοιμάζεται για την επόμενη. Μόλις ολοκληρωθούν οι πέντε ορισμένες επαναλήψεις, επιστρέφει το πιρούνι στην αρχική του θέση στο πλάι του τραπεζιού και ο βραχίονας μεταβαίνει στην αρχική του θέση πάνω από το πιάτο.

5.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Ο χειρισμός του βραχίονα πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος CPRog του ρομποτικού βραχίονα Mover 6. Για την κίνηση του χρησιμοποιήθηκε η εντολή Joint, που μετακινεί τον βραχίονα από ένα σημείο A σε ένα σημείο B μέσω αλλαγών στις γωνίες των αρθρώσεων (κινητήρων) του. Η εντολή Joint προσδίδει μία κίνηση ακριβής και προβλέψιμη, αφού για κάθε στιγμή είναι γνωστές οι γωνίες όλων των αρθρώσεων, αποφεύγοντας ο βραχίονας να βρεθεί σε ανεπιθύμητες θέσεις. Οι γωνίες των αρθρώσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην εντολή Joint βρέθηκαν χειροκίνητα και ο ρομποτικός βραχίονας «εκπαιδεύτηκε» στην επιθυμητή τροχιά που τελικά ακολουθεί.

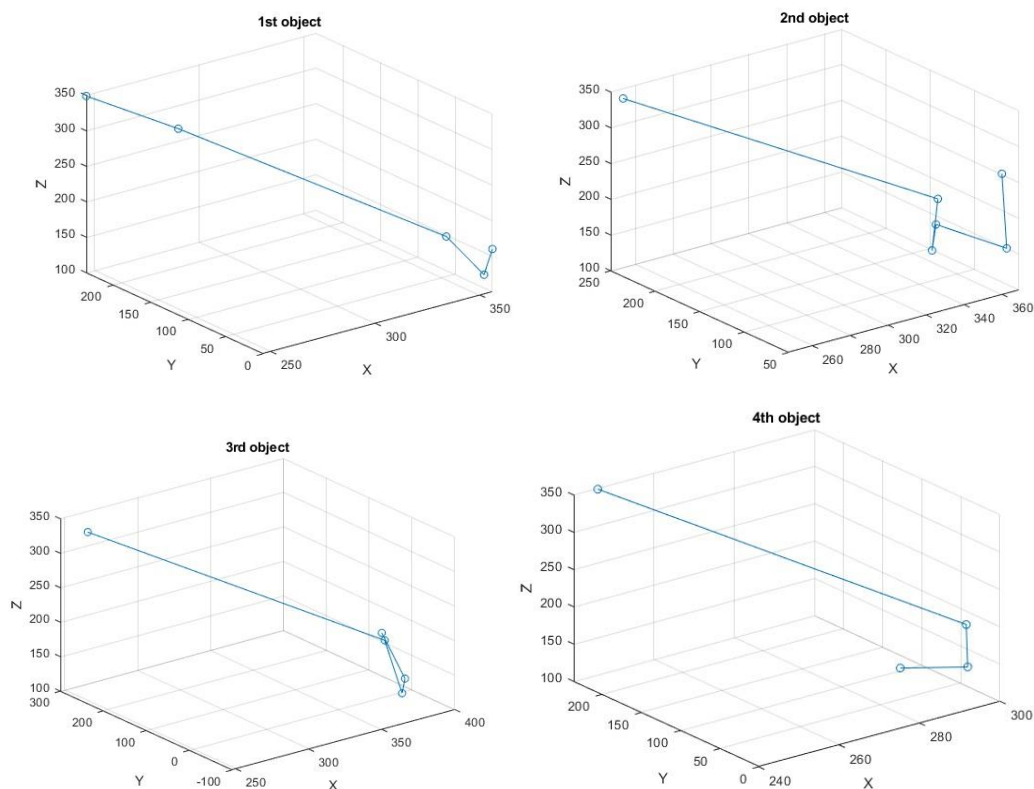
Πιο συγκεκριμένα, ο βραχίονας μετακινήθηκε μέσω της περιοχής Jogging του περιβάλλοντος εργασίας στις συντεταγμένες XY των αντικειμένων που υπολογίστηκαν παραπάνω. Αποθηκεύτηκαν οι γωνίες των αρθρώσεων σε κάθε επιθυμητή θέση και χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι στην εντολή Joint. Ακολουθώντας τα στάδια που ορίστηκαν, ο ρομποτικός βραχίονας λαμβάνει κοινές θέσεις για όλα τα αντικείμενα.

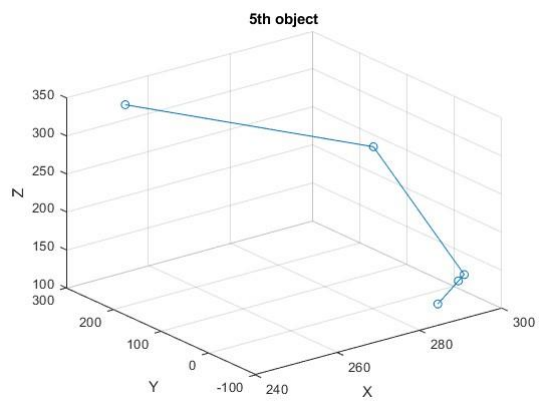
Στην φάση προσέγγισης των αντικειμένων, ο βραχίονας λαμβάνει μία θέση πάνω από το αντικείμενο και μία θέση επαφής του πιρουιού με το αντικείμενο. Στο επόμενο στάδιο της λήψης των αντικειμένων, ο βραχίονας μετακινείται σε θέση πάνω από το πιάτο με το αντικείμενο δεσμευμένο στο πιρούνι. Τέλος, ο βραχίονας μεταφέρει το αντικείμενο (δηλαδή την τροφή) στον χρήστη σε κοινή θέση για όλα τα αντικείμενα, μόνο που διαφέρει η γωνία του τελικού επενεργητή ώστε να είναι καλύτερη η προσέγγιση της τροφής από τον χρήστη και να μην απαιτείται επιπλέον προσπάθεια για την λήψη της. Ακολουθώντας όλες τις θέσεις που ορίστηκαν, ο βραχίονας δημιουργεί την τροχιά για την διαδικασία της σίτισης και μπορεί να την αναπαράγει ακριβώς. Αυτό επιτρέπει μία φυσική και προβλέψιμη κίνηση, καθώς οι θέσεις είναι προκαθορισμένες. Οι συντεταγμένες που λαμβάνει τελικά ο gripper του βραχίονα διαφέρουν από τις συντεταγμένες που υπολογίστηκαν θεωρητικά, λόγω της προσαρμογής του πιρουιού. Το πιρούνι δημιουργεί μία απόκλιση περίπου 10mm μεταξύ θεωρητικών και πραγματικών συντεταγμένων. Σχετικά με το ύψος που λαμβάνει ο τελικός επενεργητής, δηλαδή την Z μεταβλητή επηρεάζεται από το μέγεθος των αντικειμένων και από την απόσταση του πιρουιού από το gripper. Το πιρούνι προεξέχει κατά 75mm από το gripper και τα αντικείμενα έχουν ύψος 20mm.

Ο προσανατολισμός του τελικού επενεργητή για κάθε αντικείμενο διαφέρει, τόσο κατά την λήψη τους από το πιάτο αλλά και στην τελική θέση μπροστά από τον χρήστη. Η προσέγγιση του σφαιρικού αντικειμένου γίνεται υπό γωνία περίπου 30 μοιρών ενώ των υπολοίπων γίνεται κάθετα. Η λήψη του σφαιρικού αντικειμένου απέτυχε όταν το πιρούνι το προσέγγιζε κάθετα, για αυτό και δοκιμάστηκαν αρκετές γωνίες. Όταν το πιρούνι σχηματίζει γωνία 30° με το σφαιρικό αντικείμενο, η λήψη του είχε επιτυχία σε όλες τις προσπάθειες. Σχετικά με τα υπόλοιπα αντικείμενα, το πιρούνι τα προσεγγίζει κάθετα και η λήψη τους από το πιάτο πραγματοποιείται με επιτυχία.

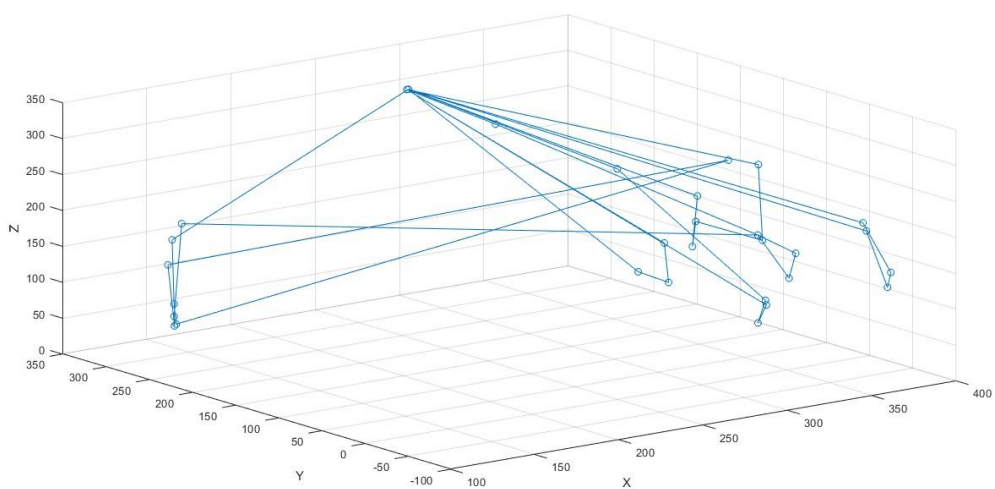
Τα αντικείμενα λαμβάνονται σε διαφορετικά σημεία, ώστε να διευκολύνουν τον χρήστη κατά την λήψη τους. Τα ορθογώνια αντικείμενα λαμβάνονται στα άκρα τους, ενώ ο κύβος και ο κύλινδρος προσεγγίζονται στο κέντρο τους. Το σφαιρικό αντικείμενο προσεγγίζεται πλάγια και στο κέντρο. Τέλος, ο προσανατολισμός του τελικού επενεργητή και του πιρουνιού με το αντικείμενο στην τελική θέση που βρίσκεται ο χρήστης διαφέρει για κάθε αντικείμενο. Αυτό συμβαίνει για να προσεγγίζει το πιρούνι με την τροφή, όσο το δυνατόν πιο κοντά τον χρήστη και να μπορεί να λαμβάνει την τροφή χωρίς να απαιτείται κάποια επιπλέον κίνηση. Ακόμη, είναι απαραίτητο για λόγους ασφαλείας καθώς το πιρούνι πλησιάζει κοντά στο πρόσωπο του χρήστη.

Μεταξύ κάθε επανάληψης υπάρχει μία εντολή αναμονής (Wait) για 10s, ώστε ο χρήστης να προλαβαίνει να λαμβάνει, να επεξεργάζεται τη μπουκιά και να προετοιμάζεται για την επόμενη. Ολόκληρη η διαδικασία, δηλαδή η λήψη του πιρουνιού από την βάση του, η λήψη και η μεταφορά όλων των αντικειμένων καθώς και η επιστροφή του πιρουνιού στην αρχική του θέση διαρκεί 2.30 min.





Εικόνα 25: Τροχιά κίνησης του ρομποτικού βραχίονα για κάθε αντικείμενο ξεχωριστά



Εικόνα 26 : Συνολική τροχιά κίνησης του ρομποτικού βραχίονα κατά την διαδικασία της σίτισης

Παρακάτω παρατίθεται το σύνολο εντολών που χρησιμοποιήθηκαν στο προγραμματιστικό περιβάλλον CPRog για τον χειρισμό του βραχίονα στην εκτέλεση της απαιτούμενης διαδικασίας.

		Program Editor
File Edit Action Flow Special		
•Test_Mover\program_1		
0	Start	- CPRog V902-11-015, Mover (CPR-Mover\CPR_Mover6), with SRA_TFGripperDigital gripper
1	Joint	(constant: A1=0.0°, A2=0.0°, A3=0.0°, A4=0.0°, A5=65.2°, A6=0.0°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Home position
2	Joint	(constant: A1=65.3°, A2=24.9°, A3=10.1°, A4=0.1°, A5=53.2°, A6=65.8°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position above the fork
3	Gripper	(open gripper 100%)
4	Wait	(wait for 2 s)
5	Joint	(constant: A1=65.3°, A2=39.9°, A3=8.3°, A4=-2.3°, A5=42.4°, A6=65.8°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position where receives the fork
6	Gripper	(open gripper 0%)
7	Wait	(wait for 2 s)
8	Joint	(constant: A1=65.3°, A2=39.9°, A3=8.3°, A4=-2.3°, A5=34.0°, A6=65.8°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position where the fork leaves the magnet
9	Joint	(constant: A1=65.3°, A2=11.7°, A3=10.1°, A4=-2.3°, A5=61.6°, A6=65.8°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Transitional position
10	Joint	(constant: A1=0.0°, A2=15.7°, A3=5.3°, A4=0.0°, A5=59.3°, A6=-93.3°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position over the plate
11	Joint	(constant: A1=0.0°, A2=26.7°, A3=-1.8°, A4=0.0°, A5=59.1°, A6=-93.5°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position over the 1st object
12	Wait	(wait for 1 s)
13	Joint	(constant: A1=0.0°, A2=30.5°, A3=-1.8°, A4=0.0°, A5=59.1°, A6=-93.5°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Contact fork-object
14	Wait	(wait for 1 s)
15	Joint	(constant: A1=0.0°, A2=15.7°, A3=5.3°, A4=0.0°, A5=59.3°, A6=-93.3°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position over the plate (object received)
16	Joint	(constant: A1=32.7°, A2=0.9°, A3=-1.2°, A4=2.4°, A5=62.9°, A6=-93.3°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Transitional position
17	Joint	(constant: A1=39.2°, A2=7.8°, A3=-16.4°, A4=10.7°, A5=69.2°, A6=28.2°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Final position (1st object)
18	Wait	(wait for 10 s)
19	Joint	(constant: A1=9.8°, A2=20.0°, A3=-13.0°, A4=0.0°, A5=64.3°, A6=0.0°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Transitional position (start of picking the 2nd object)
20	Joint	(constant: A1=9.8°, A2=36.4°, A3=-13.0°, A4=0.0°, A5=64.4°, A6=0.0°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position over the 2nd (spherical) object
21	Joint	(constant: A1=28.4°, A2=33.6°, A3=-8.6°, A4=-28.9°, A5=64.4°, A6=0.6°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%)
22	Joint	(constant: A1=28.4°, A2=39.0°, A3=-8.6°, A4=-28.9°, A5=64.4°, A6=0.6°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Contact fork-object
23	Wait	(wait for 1 s)
24	Joint	(constant: A1=28.4°, A2=28.2°, A3=-8.6°, A4=-28.9°, A5=64.4°, A6=0.6°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position over the plate (object received)
25	Joint	(constant: A1=23.0°, A2=7.6°, A3=-5.7°, A4=54.7°, A5=73.4°, A6=-7.5°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Final position (2nd object)
26	Wait	(wait for 10 s)
27	Joint	(constant: A1=-12.0°, A2=18.2°, A3=-4.8°, A4=0.0°, A5=59.2°, A6=-93.4°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Transitional position
28	Joint	(constant: A1=-12.0°, A2=33.8°, A3=-10.2°, A4=0.0°, A5=59.2°, A6=-93.4°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position over the 3rd object
29	Wait	(wait for 1 s)
30	Joint	(constant: A1=-12.0°, A2=36.8°, A3=-10.2°, A4=0.0°, A5=59.2°, A6=-93.4°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Contact fork-object
31	Joint	(constant: A1=-12.0°, A2=20.6°, A3=-5.7°, A4=0.0°, A5=59.2°, A6=-93.4°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position over the plate (object received)
32	Joint	(constant: A1=23.0°, A2=7.6°, A3=-5.7°, A4=54.7°, A5=73.4°, A6=-7.5°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Final position (3rd object)
33	Wait	(wait for 10 s)
34	Joint	(constant: A1=7.9°, A2=8.4°, A3=23.0°, A4=0.0°, A5=54.6°, A6=12.0°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position over the 4th object
35	Wait	(wait for 1 s)
36	Joint	(constant: A1=6.9°, A2=16.9°, A3=17.5°, A4=0.0°, A5=54.6°, A6=12.0°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Contact fork-object
37	Joint	(constant: A1=7.9°, A2=6.3°, A3=20.0°, A4=0.0°, A5=54.6°, A6=12.0°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position over the plate (object received)
38	Joint	(constant: A1=39.2°, A2=7.8°, A3=-16.4°, A4=10.7°, A5=69.2°, A6=28.2°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Final position (4th object=1st)
39	Wait	(wait for 10 s)
40	Joint	(constant: A1=14.7°, A2=0.0°, A3=4.5°, A4=0.0°, A5=69.2°, A6=-12.3°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Transitional position
41	Joint	(constant: A1=-18.1°, A2=13.7°, A3=17.1°, A4=0.0°, A5=54.8°, A6=-12.3°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position over the 5th object
42	Wait	(wait for 1 s)
43	Joint	(constant: A1=-18.5°, A2=17.9°, A3=17.2°, A4=0.0°, A5=54.8°, A6=-12.3°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Contact fork-object
44	Joint	(constant: A1=-17.0°, A2=13.0°, A3=17.1°, A4=0.0°, A5=54.8°, A6=-12.3°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Position over the plate (object received)
45	Joint	(constant: A1=14.7°, A2=0.0°, A3=4.5°, A4=0.0°, A5=69.2°, A6=-12.3°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Transitional position
46	Joint	(constant: A1=23.0°, A2=7.6°, A3=-5.7°, A4=54.7°, A5=73.4°, A6=-7.5°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Final position (5th object=2nd)
47	Wait	(wait for 10 s)
48	Joint	(constant: A1=65.3°, A2=24.4°, A3=8.1°, A4=-2.3°, A5=38.3°, A6=65.8°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Transitional position for approaching magnet with fork
49	Joint	(constant: A1=65.3°, A2=37.6°, A3=8.1°, A4=-2.3°, A5=34.7°, A6=65.8°, vel=30%, acc=40%, smooth=40%)
50	Wait	(wait for 1 s)
51	Joint	(constant: A1=65.3°, A2=37.6°, A3=11.5°, A4=-2.3°, A5=38.2°, A6=65.8°, vel=30%, acc=40%, smooth=40%) - Fork back to magnet base
52	Wait	(wait for 1 s)
53	Gripper	(open gripper 100%)
54	Wait	(wait for 2 s)
55	Joint	(constant: A1=0.0°, A2=0.0°, A3=0.0°, A4=0.0°, A5=65.2°, A6=0.0°, vel=50%, acc=40%, smooth=40%) - Robotic arm returns to "Home position"
56	Gripper	(open gripper 0%)

Εικόνα 27 : Το πρόγραμμα στο CPRog editor για την εκτέλεση της διαδικασίας της διπλωματικής εργασίας

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ / ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Συνολικά, ο στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ήταν η επίτευξη της ανεξάρτητης σίτισης ατόμων με κινητικές αναπηρίες και ηλικιωμένων, μέσω του χειρισμού ενός εμπορικού ρομποτικού βραχίονα. Χρησιμοποιήθηκε ο ρομποτικός βραχίονας Mover 6 της Commonplace και προγραμματίστηκε μέσω του περιβάλλοντος του CPRog. Η διαδικασία που αναπτύχθηκε είναι ικανή να εκτελέσει την μεταφορά της τροφής από το πιάτο μπροστά από το στόμα του χρήστη, χωρίς να απαιτείται κάποια επιπλέον κίνηση από αυτόν. Επομένως, ο χρήστης χρειάζεται να έχει κινητικότητα από τον λαιμό και πάνω, γεγονός που αυξάνει το εύρος των ατόμων που μπορούν να χρησιμοποιήσουν το συγκεκριμένο σύστημα. Προϋπόθεση για την δημιουργία της διαδικασίας είναι η εύρεση των θέσεων των τροφίμων, αλλά και της τελικής θέσης του χρήστη. Με χρήση των συντεταγμένων που ορίστηκαν εξαρχής, δημιουργήθηκε η τροχιά στην οποία εκπαιδεύτηκε ο βραχίονας να εκτελεί ομαλά και με ακρίβεια τις απαιτούμενες κινήσεις. Στο πείραμα, ο ρομποτικός βραχίονας δοκιμάστηκε στην ικανότητα να λαμβάνει τροφές διαφορετικού σχήματος, προκειμένου να εξεταστεί η προσέγγιση σε κάθε περίπτωση. Όλη η διαδικασία εκτελέστηκε 30 φορές, εκ των οποίων όλες ήταν επιτυχημένες. Εντοπίστηκαν μικρές αποκλίσεις (της τάξης των 10^{-1} mm) στα σημεία που το πιρούνι τρυπά τις τροφές, που οφείλονται στην χειροκίνητη τοποθέτηση των τροφίμων και του πιρουιού στο μαγνήτη.

Συνεπώς, η διαδικασία που δημιουργήθηκε και εκτελέστηκε από τον ρομποτικό βραχίονα δύναται να υποστηρίξει τους χρήστες στην κατανάλωση ενός γεύματος. Ωστόσο, βρίσκεται σε αρχικό στάδιο και μπορεί να βελτιωθεί αρκετά προκειμένου να αποτελεί μία εντελώς αυτόνομη διαδικασία και να είναι πιο λειτουργική από μεγαλύτερο εύρος χρηστών.

Η πρώτη βελτίωση που μπορεί να εφαρμοστεί στο παρόν σύστημα είναι η τοποθέτηση καμερών. Η εύρεση των θέσεων των τροφίμων στο πιάτο θα γίνεται αυτόματα, χωρίς να απαιτούνται προκαθορισμένες συντεταγμένες, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που προκύπτουν από τις κάμερες. Θα είναι δυνατή και η εύρεση της ακριβούς θέσης του στόματος του χρήστη, που σε περίπτωση μετακίνησης του θα προσδιορίζεται και θα μεταβάλλεται αυτόματα. Η διαδικασία αμέσως γίνεται πιο αυτοματοποιημένη και η ακρίβεια της δεν εξαρτάται από τον χρήστη. Επιπλέον, τα δεδομένα που προκύπτουν από τις κάμερες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κατάλληλα προγράμματα που θα μπορούν να αναγνωρίζουν το είδος της τροφής προκειμένου ο τελικός επενεργητής του βραχίονα να λαμβάνει τον απαραίτητο προσανατολισμό.

Μία ακόμη πρόταση για την πρόοδο του συστήματος είναι η τοποθέτηση συστήματος φωνητικών εντολών, ώστε να υπάρχει συνεχής επικοινωνία με τον χρήστη. Το συγκεκριμένο σύστημα θα δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να ξεκινά και να διακόπτει την διαδικασία όποτε επιθυμεί, προσδίδοντας του μεγαλύτερη ανεξαρτησία και ασφάλεια.

Σκοπός των παραπάνω προτάσεων βελτίωσης είναι η δημιουργία ενός εντελώς αυτόνομου συστήματος, το οποίο θα είναι ικανό να εξυπηρετεί το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού των ανάπηρων ατόμων αλλά και των ηλικιωμένων. Είναι σημαντική η δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος καθώς οι λύσεις που είναι διαθέσιμες προς το παρόν είναι αρκετά δαπανηρές και για περιορισμένο κοινό.

Ωστόσο, σε ερευνητικό επίπεδο υπάρχουν εφαρμογές που επιχειρούν να δημιουργήσουν ένα εντελώς αυτοματοποιημένο σύστημα ώστε να είναι προσβάσιμο από τα περισσότερα ανάπηρα άτομα. Για παράδειγμα, ένα σύστημα που υποστηρίζει την αυτόνομη σίτιση ατόμων που αντιμετωπίζουν αδυναμία κινητικότητας των άνω άκρων είναι το σύστημα που έχουν αναπτύξει οι ερευνητές Mashgur et al. . Το συγκεκριμένο υποστηρικτικό σύστημα αποτελείται από έναν ρομποτικό βραχίονα έξι βαθμών ελευθερίας, δύο κάμερες και έναν gripper. Το σύστημα δύναται να προσεγγίσει διαφορετικές τροφές, καθώς χρησιμοποιεί πιρούνι, κουτάλι και δαγκάνα. Η διαδικασία που ακολουθεί το σύστημα διακρίνεται σε τρεις βασικές φάσεις: την φάση αναγνώρισης τροφίμων, την φάση λήψης και μεταφοράς της τροφής. Πιο συγκεκριμένα, κατά την φάση αναγνώρισης με τη χρήση αλγορίθμου αναγνώρισης αντικειμένων, το σύστημα εντοπίζει τα τρόφιμα στο πιάτο και καθορίζει εάν έχουν προστεθεί ή αφαιρεθεί από αυτό. Στη συνέχεια, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το είδος της τροφής που επιθυμεί μέσω ενός κλικ στην επιφάνεια επικοινωνίας. Έπειτα, σαρώνεται το πιάτο και προσδιορίζεται το απόθεμα, το είδος και η θέση της τροφής σε αυτό. Κατά τη φάση της λήψης της τροφής από το πιάτο, το σύστημα καθορίζει ποιο σκεύος ταΐσματος χρειάζεται ανάλογα με το είδος της ζητούμενης τροφής. Τέλος, κατά την φάση της μεταφοράς και παράδοσης, η τροφή που έχει ληφθεί από το κατάλληλο σκεύος ταΐσματος μεταφέρεται μπροστά από το στόμα του χρήστη και απαιτείται μία ελαφριά κίνηση του κεφαλιού προς τα εμπρός. Η εύρεση της τελικής θέσης του χρήστη προσδιορίζεται με την χρήση ενός αλγορίθμου αναγνώρισης προσώπου, που με την βοήθεια συντεταγμένων για τα βασικά σημεία του προσώπου εντοπίζεται το κέντρο του στόματος του χρήστη, που αντιστοιχεί την τελική θέση που μεταφέρει ο βραχίονας την τροφή. [22]

Μία ακόμη ενδιαφέρουσα εφαρμογή για την υποστήριξη της διαδικασίας της σίτισης ανάπηρων ατόμων είναι ένα σύστημα που έχει αναπτυχθεί με την χρήση ενός ανθρωπόμορφου ρομπότ το PR2, το οποίο αποτελείται από δύο βραχίονες επτά βαθμών ελευθερίας και δύο κάμερες. Με τον έναν βραχίονα συγκρατεί το δοχείο που περιέχει την τροφή και με τον άλλον εκτελεί την αυτόνομη σίτιση του χρήστη. Ο χρήστης επικοινωνεί με το σύστημα μέσω ενός tablet που καθ' όλη την διάρκεια της διαδικασίας επιλέγει ποια φάση θέλει να εκτελεστεί. Οι φάσεις που ακολουθεί η συγκεκριμένη διαδικασία είναι η φάση λήψης (Scooping), η φάση που απομακρύνει την περιττή τροφή από το κουτάλι και τέλος η φάση της μεταφοράς. Σε αυτό το σύστημα, η μεταφορά της τροφής γίνεται μέσα στο στόμα του χρήστη. Το ρομπότ διαθέτει μία κάμερα RGB-D τοποθετημένη στον βραχίονα που εκτελεί την διαδικασία της σίτισης, η οποία επιτρέπει την εύρεση του προσώπου και ειδικότερα τις συντεταγμένες του στόματος του χρήστη. Το κουτάλι μετακινείται στη θέση του στόματος και στη συνέχεια μετατοπίζεται σε θέση μέσα στο στόμα σε καθορισμένη τιμή μετατόπισης. [23]

Μια αρκετά αυτοματοποιημένη διαδικασία αναπτύχθηκε από τους ερευνητές Schultz et al., στην οποία ένα ρομπότ με δύο βραχίονες υποστηρίζει την αυτόνομη σίτιση ανάπηρων ατόμων. Το σύστημα έχει την δυνατότητα αναγνώρισης των ειδών τροφής μέσω των δεδομένων που παρέχει μία κάμερα RGB-D. Αναγνωρίζοντας τα τρόφιμα, ο τελικός επενεργητής του βραχίονα μετακινείται και περιστρέφεται ανάλογα ώστε να είναι σε θέση η δαγκάνα να λάβει την τροφή. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέγει την τροφή που επιθυμεί μέσω μίας οθόνης που αναπαράγει την εικόνα του πιάτου από την RGB-D κάμερα και ενός ανιχνευτή κίνησης ματιών. Τέλος, για να ξεκινήσει ο βραχίονας την μεταφορά της τροφής προς τον χρήστη, αναμένει την εντολή του ανοίγοντας το στόμα, όπου ο βραχίονας πλησιάζει τον χρήστη και αποδεσμεύει την τροφή από την δαγκάνα. [24]

Όπως έχει αναφερθεί η διαδικασία κατανάλωσης ενός γεύματος αποτελεί μία σημαντική κοινωνική δραστηριότητα. Με γνώμονα το παραπάνω έχουν αναπτυχθεί διάφορες έρευνες με τις απαιτήσεις που χρειάζεται να πληροί ένα υποστηρικτικό προϊόν για την σίτιση, προκειμένου να είναι λειτουργικό και εύχρηστο σε συνθήκες κατανάλωσης γεύματος σε εξωτερικούς χώρους μαζί με άλλους ανθρώπους. Στην έρευνα των Nanavati et al. με χρήση ενός ρομποτικού βραχίονα με έξι βαθμούς ελευθερίας προσαρμοσμένο σε αναπηρικό αμαξίδιο, μίας κάμερας RGB-D για την εύρεση της τροφής και του προσώπου του χρήστη, καθώς και ενός ειδικά κατασκευασμένου πιρουινιού σε 3D εκτυπωτή με αισθητήρα δύναμης για να γνωρίζει αν έχει λάβει τροφή, έγινε προσομοίωση κατανάλωσης ενός γεύματος σε διάφορες κοινωνικές συνθήκες (π.χ. οικογενειακό γεύμα, πρωινό με φίλους). Μέσω της χρήσης του συγκεκριμένου υποστηρικτικού προϊόντος πραγματοποιήθηκε η έρευνα για τα πλεονεκτήματα των υποστηρικτικών τεχνολογιών στην αυτόνομη σίτιση αλλά και για τις προτιμήσεις των χρηστών για την συμπεριφορά των συστημάτων, οι οποίες χρειάζεται να υπολογίζονται κατά τον σχεδιασμό τους. Για παράδειγμα, η εντολή για την έναρξη της διαδικασίας για μία μπουκιά μπορεί να γίνεται με το πάτημα ενός κουμπιού, με το άνοιγμα του στόματος, με την φωνητική εντολή ή εντελώς αυτόματα. Η επιλογή των περισσότερων συμμετεχόντων στην έρευνα είναι η εντολή μέσω του κουμπιού διότι νιώθουν ότι έχουν περισσότερο έλεγχο, ενώ με την φωνητική εντολή ή το άνοιγμα του στόματος το σύστημα έχει περισσότερες πιθανότητες να μπερδευτεί λόγω εξωτερικών συνθηκών. Άλλες προτιμήσεις των χρηστών αφορούν την ικανότητα του συστήματος να μοιράζεται το φαγητού με άλλους αλλά και τις θέσεις που λαμβάνει ο βραχίονας όταν δεν εκτελεί κάποια διαδικασία, που τις περισσότερες φορές εμποδίζει τον χρήστη ή τους υπόλοιπους στο τραπέζι. Τελικά, οι αρχές που είναι επιθυμητές να ακολουθούν τα υποστηρικτικά προϊόντα της σίτισης ώστε να επιτρέπουν την συμμετοχή σε κοινωνικές δραστηριότητες αφορούν την προσβασιμότητα, την διακριτικότητα, την αξιοπιστία, τον έλεγχο, την προσαρμογή, την ενσωμάτωση και την διαδραστικότητα. [25]

Μία προσπάθεια προσέγγισης του ζητήματος της χρήσης των υποστηρικτικών τεχνολογιών σίτισης σε κοινωνικές περιστάσεις πραγματοποιήθηκε από τους ερευνητές Ondras et al. Η έρευνα αφορά τον χρόνο που πρέπει ο βραχίονας να τροφοδοτεί τους χρήστες κατά την διάρκεια διάφορων σεναρίων κοινωνικών αλληλεπιδράσεων. Βασικός στόχος της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι να μην γίνεται αντιληπτή η παρουσία ενός ρομπότ σίτισης σε μία κοινωνική αλληλεπίδραση ενός ανάπηρου ατόμου με μη ανάπηρα άτομα. Η προσέγγιση του θέματος ξεκινά με την συλλογή δεδομένων από τριάντα ομάδες των τριών ατόμων (άτομα χωρίς καμία κινητική δυσκολία) που γευματίζουν μαζί. Το σύνολο των δεδομένων που συλλέχθηκαν, χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των συμπεριφορών που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια ενός γεύματος και καταλήγουν στην ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης του χρόνου πρόσληψης της τροφής από το άτομο σε σενάρια κοινωνικών περιστάσεων. Τέλος, μεταφέρονται και προσαρμόζονται αυτά τα μοντέλα σε σενάρια που η σίτιση υποστηρίζεται από ρομποτικούς βραχίονες. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα συλλέγονται από βίντεο που καταγράφονται από κάμερες τοποθετημένες στο κέντρο του τραπεζιού, κατά την διάρκεια ενός γεύματος. Τα βασικά σημεία που παρατηρούνται είναι οι αλληλεπιδράσεις των συμμετεχόντων με το φαγητό, τα ποτά και τις πετσέτες (π.χ. άνοιγμα στόματος, το φαγητό στο στόμα, το φαγητό στο πιρούνι, λήψη του φαγητού και αντίστοιχα για το ποτό). Έπειτα, τα παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης του χρόνου που θα πρέπει ο βραχίονας να τροφοδοτεί τον χρήστη. Τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν είναι ο χρονισμός εκμάθησης, ο χρονισμός σταθερού διαστήματος και ο χρονισμός μετά

από εντολή ανοίγματος του στόματος. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι ένας ρομποτικός βραχίονας έξι βαθμών ελευθερίας, τοποθετημένος σε αναπηρικό αμαξίδιο, μία κάμερα RGB-D και ένα πιρούνι με αισθητήρα δύναμης. Συνολικά, το μοντέλο που προτιμήθηκε από τους συμμετέχοντες (χρήστες και συμμετέχοντες γεύματος) ήταν ο χρονισμός εκμάθησης. [26]

Μία ενδιαφέρουσα προσέγγιση είναι αυτή των ερευνητών Xu et al. όπου χρησιμοποίησαν την εικονική πραγματικότητα (VR) με σκοπό να αξιολογήσουν την εμπειρία του χρήστη κατά την διαδικασία της σίτισης από έναν ρομποτικό βραχίονα ανάλογα με τα επίπεδα αυτονομίας. Έτσι χρησιμοποιώντας VR και βιομετρικούς αισθητήρες προσπάθησαν να αξιολογήσουν την αλληλεπίδραση των χρηστών με την υποστηρικτική τεχνολογία. Πιο αναλυτικά, η έρευνα εστιάζει στην συμπεριφορά των χρηστών μεταξύ μίας εντελώς αυτόνομης και μία μερικώς αυτόνομης διαδικασίας σίτισης. Προσομοιάζεται ένας ρομποτικός βραχίονας έξι βαθμών ελευθερίας και τρεις τύποι τροφίμων. Κατά την μερικώς αυτόνομη διαδικασία ο χρήστης πρέπει να αποφασίζει για την επιλογή της τροφής, τον τρόπο λήψης, τον τρόπο μεταφοράς/παράδοσης και τον χρόνο τροφοδότησης μέσω χειριστηρίου. Ενώ κατά την αυτόματη διαδικασία ο βραχίονας αποφασίζει για όλα τα παραπάνω. Ακόμη, τοποθετούνται αισθητήρες EEG που τα δεδομένα τους χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του φόρτου εργασίας και κόπωσης κατά την εκτέλεση των διαδικασιών. Συνεπώς, η τεχνολογία VR μπορεί να αποτελέσει τεράστιο πλεονέκτημα στις έρευνες, καθώς μπορεί να απομονωθούν και να προσαρμοστούν οι περιβαλλοντικές παράμετροι με τρόπο που δεν θα ήταν εφικτό στην πραγματικότητα. [27]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] World Health Organization, 2024. *Disability*. Διαθέσιμο από: https://www.who.int/health-topics/disability#tab=tab_1
- [2] World Health Organization, 2001. *International Classification of Functioning, Disability and Health*. pp.185 & 222. Διαθέσιμο από : <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/42407/9241545429-eng.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- [3] Eurostat - Statistics Explained, 2019. *Disability statistics – need for assistance*. Διαθέσιμο από: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Disability_statistics_-_need_for_assistance&oldid=411113
- [4] Edemekong, P.F., Bomgaars, D.L., Sukumaran, S. and Schoo, C., 2023. *Activities of Daily Living*. StatPearls Publishing. Διαθέσιμο από: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470404/>
- [5] World Health Organization and the United Nations Children’s Fund (UNICEF), 2022. *Global report on assistive technology*. Διαθέσιμο από: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/354357/9789240049451-eng.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- [6] Gray, D.B. and Cook, A.M., 2024. ‘Assistive technology’, *Britannica*. Διαθέσιμο από: <https://www.britannica.com/science/assistive-technology#ref311204>
- [7] Ahmad F.K., 2015. ‘*Use of Assistive Technology in Inclusive Education : Making Room for Diverse Learning Needs*’. Transcience. Διαθέσιμο από: https://www2.hu-berlin.de/transcience/Vol6_No2_62_77.pdf
- [8] LIFTWARE by verily. *Liftware Steady*. Διαθέσιμο από : <https://www.liftware.com/steady/>
- [9] LIFTWARE by verily. *Liftware Level*. Διαθέσιμο από : <https://www.liftware.com/level/>
- [10] Neater Solutions. *Neater Eater (NEM)*. Διαθέσιμο από : <https://www.neater.co.uk/neater-eater>
- [11] Focal Meditech. *Eating aid Nelson*. Διαθέσιμο από : <https://www.focalmeditech.com/nelson/>
- [12] Obi Robot. *Meet Obi : the Adaptive Eating Device*. Διαθέσιμο από : <https://meetobi.com/meet-obi/#whatisobi>
- [13] Camanio Care. *Bestic Feeding Arm*. Διαθέσιμο από : <https://www.camanio.com/en/about-us/>
- [14] Patterson Medical. *Meal buddy*. Διαθέσιμο από : <https://www.performancehealth.ca/meal-buddy-systems>
- [15] Mealtime Partners. *The Mealtime Partner Dining System*. Διαθέσιμο από : <https://www.mealtimepartners.com/>

- [16] Irving M., 2019. 'Food-focused autonomous robot arm knows how to use the forks.', New Atlas. Διαθέσιμο από : <https://newatlas.com/autonomous-robot-arm-feeding/58844/>
- [17] Reach Robotics, 2021. 'Degrees of Freedom' vs 'Functions' of a robotic arm. Διαθέσιμο από : <https://reachrobotics.com/blog/degrees-of-freedom-vs-functions-of-a-robotic-arm/>
- [18] Slatour, 2016. 'Smart Servo : The Difference Between Smart and Regular Servos'. RobotShop. Διαθέσιμο από : <https://community.robotshop.com/blog/show/smart-servo-the-difference-between-smart-and-regular-servos>
- [19] Commonplace Robotics GmbH, 2017. *User Guide Robot Arm Mover 6*.
- [20] MathWorks. *Matlab*. Διαθέσιμο από : <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- [21] Ασβεστάς, Π. ,2019. *Προχωρημένα θέματα ρομποτικής : Κεφάλαιο 1*. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
- [22] Mashrur, T., Ghulam, Z., French, G. και Abdullah H. A., 2023. 'Assistive feeding robot for upper limb impairment—Testing and validation'. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. Διαθέσιμο από : <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/17298806231183571#bibr10-17298806231183571>
- [23] Daehyung P., Yuuna H., Harshal P. M., Ho Keun K., Zackory E., Wendy A. R., Charles C. K.. 2020. Active robot-assisted feeding with a general-purpose mobile manipulator: Design, evaluation, and lessons learned. *Robotics and Autonomous Systems*. Volume 124. Διαθέσιμο από : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889018307061>
- [24] Schultz, J. R., Slifkin, A. B., Yu, H. and Scheerer, E. M., 2022. "Proof-of-Concept: A Hands-Free Interface for Robot-Assisted Self-Feeding," *2022 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, Rotterdam, Netherlands, pp. 1-6. Διαθέσιμο από : <https://ieeexplore.ieee.org/document/9896535>
- [25] Nanavati, A., Alves-Oliveira, P., Schrenk, T., Gordon, E.K., Cakmak, M. and Srinivasa, S.S., 2023. Design Principles for Robot-Assisted Feeding in Social Contexts. *In Proceedings of the 2023 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI '23)*. NY, USA, pp.24–33. Διαθέσιμο από : <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3568162.3576988#sec-cit>
- [26] Ondras, J., Anwar, A., Wu, T., Bu, F., Jung, M., Ortiz J.J. and Bhattacharjee, T., 2022. Human-Robot Commensality: Bite Timing Prediction for Robot-Assisted Feeding in Groups. *6th Conference on Robot Learning (CoRL)*. Διαθέσιμο από: https://www.researchgate.net/publication/361831845_Human-Robot_Commensality_Bite_Timing_Prediction_for_Robot-Assisted_Feeding_in_Groups
- [27] Xu, T., Zhao, T., Cruz-Garza, J.G., Bhattacharjee, T. and Kalantari, S. , 2022. Evaluating Human-in-the-Loop Assistive Feeding Robots Under Different Levels of Autonomy with VR Simulation and Physiological Sensors. In: Cavallo, F., et al. *Social Robotics. ICSR 2022. Lecture Notes in Computer Science()*, vol 13818.

Springer, Cham. Διαθέσιμο από : https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-24670-8_28

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρατίθενται οι κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Αναπτύχθηκαν στο προγραμματιστικό περιβάλλον Matlab R2022a.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ D-H

```

1 function [DH_HTM] = DH_HTM(Matrix,angtype)
2
3 if size(Matrix,2) ~= 4
4     error("matrix must have 4 columns");
5 end
6
7 output = eye(4);
8
9 len = size(Matrix,1);
10
11 for i = 1 : len
12     params = Matrix(i,:);
13     theta = params(1);
14     alpha = params(2);
15     rx = params(3);
16     dz = params(4);
17     next = dh_link(theta, alpha, rx, dz, angtype);
18     output = output * next;
19 end
20
21 output = simplify(output);
22 DH_HTM = output;

```

Move here to reveal tool:

(Πηγή : https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/103050-dh-table-solver?s_tid=FX_rc3_behav)

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΧΥΖ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

```

1 clc; clear all;
2
3 t1 = 65.3;
4 t2 = 37.6;
5 t3 = 11.5;
6 t4 = -2.3;
7 t5 = 38.2;
8 t6 = 65.8;
9 l1 = 193;
10 l2 = 190;
11 l3 = 64;
12 l4 = 250.6;
13 l5 = 75;
14 l6 = 85;
15
16
17 X = l4*cos((pi*(t2 + t3))/180)*cos((pi*t1)/180) - (sin((pi*t5)/180)*(sin((pi*t1)/180)*sin((pi*t4)/180) + cos((pi*t1)/180)*cos((pi*t2)/180)*cos((pi*t4)/180)*sin((pi*t3)/180) ...
18 + cos((pi*t1)/180)*cos((pi*t3)/180)*cos((pi*t4)/180)*sin((pi*t2)/180)) - cos((pi*(t2 + t3))/180)*cos((pi*t1)/180)*cos((pi*t5)/180)*(l5 + l6) + l2*cos((pi*t1)/180)*sin((pi*t2)/180) ...
19 + l3*cos((pi*t1)/180)*cos((pi*t2)/180)*sin((pi*t3)/180) + l3*cos((pi*t1)/180)*cos((pi*t3)/180)*sin((pi*t2)/180)
20
21
22 Y = l4*cos((pi*(t2 + t3))/180)*sin((pi*t1)/180) - (l5 + l6)*(sin((pi*t5)/180)*cos((pi*t2)/180)*cos((pi*t4)/180)*sin((pi*t1)/180)*sin((pi*t3)/180) - cos((pi*t1)/180)*sin((pi*t4)/180) ...
23 + cos((pi*t3)/180)*cos((pi*t4)/180)*sin((pi*t1)/180)*sin((pi*t2)/180)) - cos((pi*(t2 + t3))/180)*cos((pi*t5)/180)*sin((pi*t1)/180)) + l2*sin((pi*t1)/180)*sin((pi*t2)/180) ...
24 + l3*cos((pi*t2)/180)*sin((pi*t1)/180)*sin((pi*t3)/180) + l3*cos((pi*t3)/180)*sin((pi*t1)/180)*sin((pi*t2)/180)
25
26
27 Z = l1 - (l5 + l6)*sin((pi*(t2 + t3))/180)*cos((pi*t5)/180) + cos((pi*(t2 + t3))/180)*cos((pi*t4)/180)*sin((pi*t5)/180) ...
28 - l4*sin((pi*(t2 + t3))/180) - l2*sin((pi*(t2 - 90))/180) + l3*cos((pi*t2)/180)*cos((pi*t3)/180) - l3*sin((pi*t2)/180)*sin((pi*t3)/180)
29

```


ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΟΧΙΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

```

1  clc; clear all;
2
3  % φάση προετοιμασίας
4  X0 = [316, 136, 143, 153, 136, 335];
5  Y0 = [0, 298, 304, 324, 282, 3];
6  Z0 = [306, 128, 38, 40, 191, 193];
7
8  % 1ο αντικείμενο
9  X1 = [356 352 335 270 246];
10 Y1 = [0 0 3 180 236];
11 Z1 = [160 127 193 311 349];
12
13 % 2ο αντικείμενο
14 X2 = [366 369 356 353 357 247];
15 Y2 = [63 64 116 114 116 236];
16 Z2 = [257 150 163 130 198 349];
17
18 % 3ο αντικείμενο
19 X3 = [357 372 370 359 247];
20 Y3 = [-76 -79 -79 -76 236];
21 Z3 = [229 155 135 217 349];
22
23 % 4ο αντικείμενο
24 X4 = [283 299 300 246];
25 Y4 = [40 36 43 236];
26 Z4 = [150 130 182 349];
27
28 % 5ο αντικείμενο
29 X5 = [290 285 292 289 247];
30 Y5 = [-95 -95 -90 76 236];
31 Z5 = [149 126 153 278 349];
32
33 % Επιστροφή σε αρχικές θέσεις
34
35 X6 = [160 155 144 316];
36 Y6 = [340 328 304 0];
37 Z6 = [138 55 40 306];
38
39 % Συνολική τροχιά
40 X = [X0 X1 X2 X3 X4 X5 X6];
41 Y = [Y0 Y1 Y2 Y3 Y4 Y5 Y6];
42 Z = [Z0 Z1 Z2 Z3 Z4 Z5 Z6];
43
44
45 figure(1);
46 plot3(X,Y,Z,'-o');
47 xlabel('X');
48 ylabel('Y');
49 zlabel('Z');
50 grid on;
51
52 figure(2);
53 plot3(X1,Y1,Z1,'-o');
54 xlabel('X');
55 ylabel('Y');
56 zlabel('Z');
57 title('1st object');
58 grid on;
59

```

ΧΩΡΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ TOP VIEW

```

1  clc; clear all; close all;
2
3  l1=193;
4  l2=190;
5  l3=64;
6  l4=250.6;
7  l5=75;
8  l6=85;
9  T1 = [-130;130];
10 T2 = 60;
11 T3_1 = -55;
12 T3_2 = 30;
13 T4 = 0;
14 T5_1 = 0;
15 T5_2 = 85;
16 T6 = 0;
17
18 %Υπολογισμός μέγιστης ακτίνας που μπορεί να προσεγγίσει ο βραχίονας
19 X1 = 14*cos((pi*(T2 + T3_1))/180)*cos((pi*T1)/180) - (15 + 16)*sin((pi*T5_1)/180)*sin((pi*T4)/180) ...
20 + cos((pi*T1)/180)*cos((pi*T2)/180)*cos((pi*T4)/180)*sin((pi*T3_1)/180) + cos((pi*T1)/180)*cos((pi*T3_1)/180)*cos((pi*T4)/180)*sin((pi*T2)/180) ...
21 - cos((pi*(T2 + T3_1))/180)*cos((pi*T1)/180)*cos((pi*T5_1)/180) + 12*cos((pi*T1)/180)*sin((pi*T2)/180) ...
22 + 13*cos((pi*T1)/180)*cos((pi*T2)/180)*sin((pi*T3_1)/180) + 13*cos((pi*T1)/180)*cos((pi*T3_1)/180)*sin((pi*T2)/180);
23
24
25 Y1 = 14*cos((pi*(T2 + T3_1))/180)*sin((pi*T1)/180) - (15 + 16)*sin((pi*T5_1)/180)*cos((pi*T4)/180)*sin((pi*T1)/180)*sin((pi*T3_1)/180) ...
26 - cos((pi*T1)/180)*sin((pi*T4)/180) + cos((pi*T3_1)/180)*cos((pi*T4)/180)*sin((pi*T1)/180)*sin((pi*T2)/180) ...
27 - cos((pi*(T2 + T3_1))/180)*cos((pi*T5_1)/180)*sin((pi*T1)/180) + 12*sin((pi*T1)/180)*sin((pi*T2)/180) ...
28 + 13*cos((pi*T2)/180)*sin((pi*T1)/180)*sin((pi*T3_1)/180) + 13*cos((pi*T3_1)/180)*sin((pi*T1)/180)*sin((pi*T2)/180);
29
30
31 Z1 = l1 - (15 + 16)*sin((pi*(T2 + T3_1))/180)*cos((pi*T5_1)/180) + cos((pi*(T2 + T3_1))/180)*cos((pi*T4)/180)*sin((pi*T5_1)/180) ...
32 - 12*sin((pi*(T2 - 90))/180) - 14*sin((pi*(T2 + T3_1))/180) + 13*cos((pi*T2)/180)*cos((pi*T3_1)/180) - 13*sin((pi*T2)/180)*sin((pi*T3_1)/180);
33
34
35 %Υπολογισμός ελάχιστης ακτίνας που μπορεί να προσεγγίσει ο βραχίονας
36 X2 = 14*cos((pi*(T2 + T3_2))/180)*cos((pi*T1)/180) - (15 + 16)*sin((pi*T5_2)/180)*sin((pi*T4)/180) ...
37 + cos((pi*T1)/180)*cos((pi*T2)/180)*cos((pi*T4)/180)*sin((pi*T3_2)/180) + cos((pi*T1)/180)*cos((pi*T3_2)/180)*cos((pi*T4)/180)*sin((pi*T2)/180) ...
38 - cos((pi*(T2 + T3_2))/180)*cos((pi*T1)/180)*cos((pi*T5_2)/180) + 12*cos((pi*T1)/180)*sin((pi*T2)/180) ...
39 + 13*cos((pi*T1)/180)*cos((pi*T2)/180)*sin((pi*T3_2)/180) + 13*cos((pi*T1)/180)*cos((pi*T3_2)/180)*sin((pi*T2)/180);
40
41
42 Y2 = 14*cos((pi*(T2 + T3_2))/180)*sin((pi*T1)/180) - (15 + 16)*sin((pi*T5_2)/180)*cos((pi*T4)/180)*sin((pi*T1)/180)*sin((pi*T3_2)/180) ...
43 - cos((pi*T1)/180)*sin((pi*T4)/180) + cos((pi*T3_2)/180)*cos((pi*T4)/180)*sin((pi*T1)/180)*sin((pi*T2)/180) ...
44 - cos((pi*(T2 + T3_2))/180)*cos((pi*T5_2)/180)*sin((pi*T1)/180) + 12*sin((pi*T1)/180)*sin((pi*T2)/180) ...
45 + 13*cos((pi*T2)/180)*sin((pi*T1)/180)*sin((pi*T3_2)/180) + 13*cos((pi*T3_2)/180)*sin((pi*T1)/180)*sin((pi*T2)/180);
46
47
48 Z2 = l1 - (15 + 16)*sin((pi*(T2 + T3_2))/180)*cos((pi*T5_2)/180) + cos((pi*(T2 + T3_2))/180)*cos((pi*T4)/180)*sin((pi*T5_2)/180) ...
49 - 12*sin((pi*(T2 - 90))/180) - 14*sin((pi*(T2 + T3_2))/180) + 13*cos((pi*T2)/180)*cos((pi*T3_2)/180) - 13*sin((pi*T2)/180)*sin((pi*T3_2)/180);
50
51 plot(X1,Y1,'k');
52 hold on;
53 plot(X2,Y2,'k');
54 title('Top View');
55 xlabel('x (mm)');
56 ylabel('y (mm)');
57 grid on;

```

ΧΩΡΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ SIDE VIEW

```

1  clc; clear all; close all;
2
3  l1=193;
4  l2=190;
5  l3=64;
6  l4=250.6;
7  l5=75;
8  l6=85;
9
10 T1 = 0 ;
11 T2 = [-45:60];
12 T2_MIN = -45;
13 T2_MAX = 60;
14 T3 = [-18:40];
15 T3_1 = [-18:30];
16 T3_2 = [-90:50];
17 T3_MIN = -90;
18 T3_MAX = 40;
19 T4 = 0;
20 T5=0;
21 T5_MIN = 47;
22 T5_MAX = 85;
23
24 X = 14*cos((pi*(T2 + T3_MAX))/180)*cos(pi*T1/180) - (15 + 16)*sin(pi*T5_MIN/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T4/180) ...
25 + cos(pi*T1/180)*cos(pi*T2/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T3_MAX/180) + cos(pi*T1/180)*cos(pi*T3_MAX/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T2/180) ...
26 - cos(pi*(T2 + T3_MAX)/180)*cos(pi*T1/180)*cos(pi*T5_MIN/180) + 12*cos(pi*T1/180)*sin(pi*T2/180) + 13*cos(pi*T1/180)*cos(pi*T2/180)*sin(pi*T3_MAX/180)...
27 + 13*cos(pi*T1/180)*cos(pi*T3_MAX/180)*sin(pi*T2/180);
28
29
30 Y = 14*cos((pi*(T2 + T3_MAX))/180)*sin(pi*T1/180) - (15 + 16)*sin(pi*T5_MIN/180)*cos(pi*T2/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T3_MAX/180) ...
31 - cos(pi*T1/180)*sin(pi*T4/180) + cos(pi*T3_MAX/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T2/180) ...
32 - cos(pi*(T2 + T3_MAX)/180)*cos(pi*T5_MIN/180)*sin(pi*T1/180) + 12*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T2/180)...
33 + 13*cos(pi*T2/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T3_MAX/180) + 13*cos(pi*T3_MAX/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T2/180);
34
35
36 Z = 11 - (15 + 16)*sin(pi*(T2 + T3_MAX))/180)*cos(pi*T5_MIN/180) + cos(pi*(T2 + T3_MAX))/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T5_MIN/180)...
37 - 12*sin(pi*(T2 - 90))/180) - 14*sin(pi*(T2 + T3_MAX))/180) + 13*cos(pi*T2/180)*cos(pi*T3_MAX/180) - 13*sin(pi*T2/180)*sin(pi*T3_MAX/180);
38
39
40 X1 = 14*cos((pi*(T2_MIN + T3))/180)*cos(pi*T1/180) - (15 + 16)*sin(pi*T5_MAX/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T4/180) ...
41 + cos(pi*T1/180)*cos(pi*T2_MIN/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T3/180) ...
42 + cos(pi*T1/180)*sin(pi*T4/180) + cos(pi*T3/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T2_MIN/180) - cos(pi*(T2_MIN + T3))/180)*cos(pi*T1/180)*cos(pi*T5_MAX/180)...
43 + 12*cos(pi*T1/180)*sin(pi*T2_MIN/180) + 13*cos(pi*T1/180)*cos(pi*T2_MIN/180)*sin(pi*T3/180) + 13*cos(pi*T1/180)*cos(pi*T3/180)*sin(pi*T2_MIN/180);
44
45
46 Y1 = 14*cos((pi*(T2_MIN + T3))/180)*sin(pi*T1/180) - (15 + 16)*sin(pi*T5_MAX/180)*cos(pi*T2_MIN/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T3/180) ...
47 + cos(pi*T1/180)*sin(pi*T4/180) + cos(pi*T3/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T2_MIN/180) ...
48 - cos(pi*(T2_MIN + T3))/180)*cos(pi*T5_MAX/180)*sin(pi*T1/180) + 12*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T2_MIN/180)...
49 + 13*cos(pi*T2_MIN/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T3/180) + 13*cos(pi*T3/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T2_MIN/180);
50
51
52 Z1 = 11 - (15 + 16)*sin(pi*(T2_MIN + T3))/180)*cos(pi*T5_MAX/180) + cos(pi*(T2_MIN + T3))/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T5_MAX/180)...
53 - 12*sin(pi*(T2_MIN - 90))/180) - 14*sin(pi*(T2_MIN + T3))/180) + 13*cos(pi*T2_MIN/180)*cos(pi*T3/180) - 13*sin(pi*T2_MIN/180)*sin(pi*T3/180);
54
55
56
57 X2 = 14*cos((pi*(T2_MIN + T3_1))/180)*cos(pi*T1/180) - (15 + 16)*sin(pi*T5/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T4/180) ...
58 - cos(pi*T1/180)*cos(pi*T2_MIN/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T3_1/180) ...
59 - cos(pi*(T2_MIN + T3_1))/180)*cos(pi*T5/180) + 12*cos(pi*T1/180)*sin(pi*T2_MIN/180) + 13*cos(pi*T1/180)*cos(pi*T2_MIN/180)*sin(pi*T3_1/180)...
60 + 13*cos(pi*T1/180)*cos(pi*T3_1/180)*sin(pi*T2_MIN/180);
61
62
63 Y2 = 14*cos((pi*(T2_MIN + T3_1))/180)*sin(pi*T1/180) - (15 + 16)*sin(pi*T5/180)*cos(pi*T2_MIN/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T3_1/180) ...
64 - cos(pi*T1/180)*sin(pi*T4/180) + cos(pi*T3_1/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T2_MIN/180) - cos(pi*(T2_MIN + T3_1))/180)*cos(pi*T5/180)*sin(pi*T1/180)...
65 + 12*cos(pi*T1/180)*sin(pi*T2_MIN/180) + 13*cos(pi*T2_MIN/180)*sin(pi*T1/180) + 13*cos(pi*T3_1/180)*sin(pi*T2_MIN/180);
66
67
68 Z2 = 11 - (15 + 16)*sin(pi*(T2_MIN + T3_1))/180)*cos(pi*T5/180) + cos(pi*(T2_MIN + T3_1))/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T5/180)...
69 - 12*sin(pi*(T2_MIN - 90))/180) - 14*sin(pi*(T2_MIN + T3_1))/180) + 13*cos(pi*T2_MIN/180)*cos(pi*T3_1/180) - 13*sin(pi*T2_MIN/180)*sin(pi*T3_1/180);
70
71
72
73 X3 = 14*cos((pi*(T2 + T3_MIN))/180)*cos(pi*T1/180) - (15 + 16)*sin(pi*T5/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T4/180) ...
74 + cos(pi*T1/180)*cos(pi*T3_MIN/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T2/180) - cos(pi*(T2 + T3_MIN))/180)*cos(pi*T1/180)*cos(pi*T5/180) + 12*cos(pi*T1/180)*sin(pi*T2/180)...
75 + 13*cos(pi*T1/180)*cos(pi*T2/180)*sin(pi*T3_MIN/180) + 13*cos(pi*T1/180)*cos(pi*T3_MIN/180)*sin(pi*T2/180);
76
77
78 Y3 = 14*cos((pi*(T2 + T3_MIN))/180)*sin(pi*T1/180) - (15 + 16)*sin(pi*T5/180)*cos(pi*T2/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T3_MIN/180) ...
79 + cos(pi*T1/180)*sin(pi*T4/180) + cos(pi*T3_MIN/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T2/180) ...
80 - cos(pi*(T2 + T3_MIN))/180)*cos(pi*T5/180)*sin(pi*T1/180) + 12*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T2/180)...
81 + 13*cos(pi*T2/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T3_MIN/180) + 13*cos(pi*T3_MIN/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T2/180);
82
83
84 Z3 = 11 - (15 + 16)*sin(pi*(T2 + T3_MIN))/180)*cos(pi*T5/180) + cos(pi*(T2 + T3_MIN))/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T5/180)...
85 - 12*sin(pi*(T2 - 90))/180) - 14*sin(pi*(T2 + T3_MIN))/180) + 13*cos(pi*T2/180)*cos(pi*T3_MIN/180) - 13*sin(pi*T2/180)*sin(pi*T3_MIN/180);
86
87
88 X4 = 14*cos((pi*(T2_MAX + T3_2))/180)*cos(pi*T1/180) - (15 + 16)*sin(pi*T5/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T4/180) ...
89 + cos(pi*T1/180)*cos(pi*T2_MAX/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T3_2/180) + cos(pi*T1/180)*cos(pi*T3_2/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T2_MAX/180) ...
90 - cos(pi*(T2_MAX + T3_2))/180)*cos(pi*T5/180) + 12*cos(pi*T1/180)*sin(pi*T2_MAX/180) + 13*cos(pi*T1/180)*cos(pi*T2_MAX/180)*sin(pi*T3_2/180)...
91 + 13*cos(pi*T1/180)*cos(pi*T3_2/180)*sin(pi*T2_MAX/180);
92
93
94 Y4 = 14*cos((pi*(T2_MAX + T3_2))/180)*sin(pi*T1/180) - (15 + 16)*sin(pi*T5/180)*cos(pi*T2_MAX/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T1/180)*sin(pi*T3_2/180) ...
95 - cos(pi*T1/180)*sin(pi*T4/180) + cos(pi*T3_2/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T2_MAX/180) - cos(pi*(T2_MAX + T3_2))/180)*cos(pi*T5/180)*sin(pi*T1/180)...
96 + 12*cos(pi*T1/180)*sin(pi*T2_MAX/180) + 13*cos(pi*T2_MAX/180)*sin(pi*T1/180) + 13*cos(pi*T3_2/180)*sin(pi*T2_MAX/180);
97
98
99 Z4 = 11 - (15 + 16)*sin(pi*(T2_MAX + T3_2))/180)*cos(pi*T5/180) + cos(pi*(T2_MAX + T3_2))/180)*cos(pi*T4/180)*sin(pi*T5/180)...
100 - 12*sin(pi*(T2_MAX - 90))/180) - 14*sin(pi*(T2_MAX + T3_2))/180) + 13*cos(pi*T2_MAX/180)*cos(pi*T3_2/180) - 13*sin(pi*T2_MAX/180)*sin(pi*T3_2/180);
101
102
103 hold on;
104 title('side view');
105 xlabel('x (mm)');
106 ylabel('z (mm)');
107 plot(X,Z,'k');
108 plot(X1,Z1,'k');
109 plot(X2,Z2,'k');
110 plot(X3,Z3,'k');
111 plot(X4,Z4,'k');
112 grid on;

```