



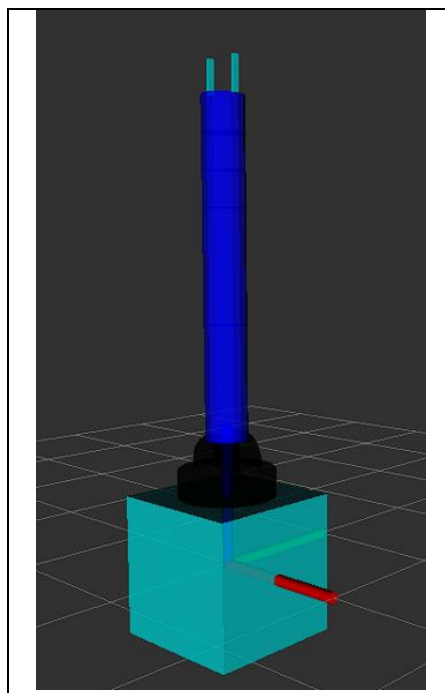
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MoveIt



Φοιτητής: Σταύρος Αυγερινός

ΑΜ: 47183

**Επιβλέπων
Διονύσης Κανδρής,
Καθηγητής**

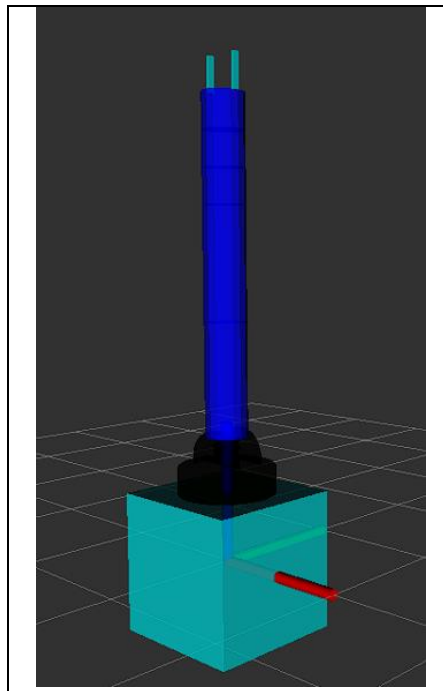
ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, Μάρτιος 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Design and Simulation of an Articulated Robotic Arm using ROS and MoveIt



Student: Stavros Avgerinos
Registration Number: 47183

Supervisor
Dionisis Kandris,
Professor

ATHENS-EGALEO, March 2023

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Διονύσης Κανδρής, Καθηγητής	Γρηγόρης Κουλούρας, Αναπληρωτής Καθηγητής	Ηλίας Ζώης, Αναπληρωτής Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Σταύρος Αυγερινός,
Μάρτιος, 2023**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

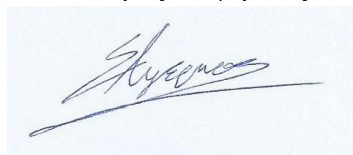
Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σταύρος Αυγερινός του Ανδρέα με αριθμό μητρώου 47183 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών
Σταύρος Αυγερινός



Περίληψη

Στη σύγχρονη κοινωνία τα ρομπότ αποτελούν μέρος της ζωής των ανθρώπων. Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στα ρομπότ σταθερής βάσης και ειδικότερα στους ρομποτικούς βραχίονες. Η αρχιτεκτονική, τα επιμέρους δομικά στοιχεία και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των ρομποτικών βραχιόνων περιγράφονται αναλυτικά. Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για τη προσομοίωση ενός αρθρωτού ρομποτικού βραχίονα, του πιο γνωστού τύπου ρομποτικού βραχίονα, με τη χρήση του ROS το οποίο χρησιμοποιείται εκτενώς για τον προγραμματισμό οποιουδήποτε ρομπότ και όχι μόνο. Στα κεφάλαια αυτά παρουσιάζεται πως δημιουργείται ένα ρομπότ στο περιβάλλον του ROS και τι χρειάζεται για να λειτουργήσει. Για αυτό γίνεται χρήση του URDF μέσω του οποίου δομείται το ρομπότ και είναι ένας οδηγός για άλλες λειτουργίες του ROS. Επιπρόσθετα επεξηγείται η χρήση του λογισμικού MoveIt για τον έλεγχο και την εποπτεία της κίνησης του ρομποτικού βραχίονα. Σε αυτό το πλαίσιο πραγματοποιείται η κινηματική ανάλυση του ρομποτικού βραχίονα που είναι αναγκαία προκειμένου το ρομπότ να ρυθμίζει τις αρθρώσεις του ώστε να προσεγγίζει με το άκρο του την επιθυμητή θέση στην οποία βρίσκεται ένα στοιχείο με το οποίο το ρομπότ πρέπει να αλληλεπιδράσει.

Λέξεις – κλειδιά

Ρομποτικοί Βραχίονες, Εφαρμογές των Ρομπότ, Τεχνητή Νοημοσύνη (T.N.), Robot Operating System (ROS), RViz, MoveIt Motion Planning Framework, PID Ελεγκτής, Κινηματική του Ρομποτικού Βραχίονα.

Abstract

In modern society robots are part of people's lives. This thesis focuses on fixed base robots and in particular on robotic arms. The architecture, the individual structural elements and the functional characteristics of the robotic arms are described in detail. The following describes the procedure carried out to simulate an articulated robotic arm, the most well-known type of robotic arm, using ROS which is extensively used for programming any robot and not only. These chapters show how a robot is created in the ROS environment and what it needs to work. This uses the URDF through which the robot is built and is a guide for other ROS functions. In addition, the use of the MoveIt software to control and supervise the movement of the robotic arm is explained. In this context, the kinematic analysis of the robotic arm is carried out, which is necessary for the robot to adjust its joints in order to approach with its end the desired position in which there is an element with which the robot must interact.

Keywords

Robotic Arms/Manipulators, Robot Applications, Artificial Intelligence (A.I.), Robot Operating System (ROS), RViz, MoveIt Motion Planning Framework, PID Controller, Robot Arm Kinematics.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	9
Κατάλογος Εικόνων	9
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	17
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγή Εργασίας	18
1.1 Σύνοψη Κεφαλαίου.....	18
1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	18
1.3 Σκοπός και στόχοι.....	18
1.4 Μεθοδολογία	18
1.5 Ερευνητικά Ερωτήματα.....	19
1.6 Καινοτομία	19
1.7 Δομή	19
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Ρομποτικά Συστήματα.....	20
2.1 Σύνοψη Κεφαλαίου.....	20
2.2 Εισαγωγικοί Όροι	20
2.3 Δομή Ρομποτικού Συστήματος	21
2.4 Είδη Ρομποτικών Συστημάτων	22
2.5 Εφαρμογές Ρομποτικών Συστημάτων.....	28
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Ανάλυση Ρομποτικού Βραχίονα.....	33
3.1 Σύνοψη Κεφαλαίου.....	33
3.2 Το Σώμα του Ρομπότ	33
3.3 Η κίνηση του Ρομπότ.....	34
3.3.1 Βαθμοί Ελευθερίας (Degrees of Freedom).....	34
3.3.2 Είδη και Χαρακτηριστικά Κινητήρων.....	35
3.4 Το Τελικό Στοιχείο Δράσης (End – Effector).....	36
3.4.1 Αρπάγη (Gripper)	36
3.4.2 Εργαλεία (Tools).....	37
3.5 Αισθητήρια Συστήματα του Ρομπότ.....	37
3.6 Η Μονάδα Ελέγχου του Ρομπότ	39
3.6.1 Σύστημα Διδασκαλίας	40
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Ικανότητες και Χαρακτηριστικά Ρομποτικού Βραχίονα.....	41
4.1 Σύνοψη Κεφαλαίου.....	41
4.2 Χώρος Εργασίας (Work Envelope)	41
4.3 Ειδική Χωρική Ανάλυση (Resolution).....	42
4.4 Ακρίβεια (Accuracy).....	42
4.5 Επαναληψιμότητα (Repeatability)	43
4.6 Ταχύτητα (Speed).....	44
4.7 Επιτάχυνση (Acceleration).....	44
4.8 Μέγιστο Φορτίο και Χωρητικότητα (Max Load and Capacity).....	44
4.9 Ενδοτικότητα (Compliance)	45
4.10 Ασφάλεια (Safety)	46
4.11 Ανάπτυξη	46
5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Αρθρώσεις.....	47
5.1 Σύνοψη Κεφαλαίου.....	47
5.2 Βασικά Χαρακτηριστικά των Αρθρώσεων.....	47
5.3 Τύποι Αρθρώσεων	48
5.4 Συστήματα Κίνησης	50
6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : Ρομποτικοί Βραχίονες.....	52
6.1 Σύνοψη Κεφαλαίου.....	52
6.2 Τύποι Ρομποτικού Βραχίονα.....	52
7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : Τελικό Στοιχείο Δράσης (End-Effector)	66

7.1	Σύνοψη Κεφαλαίου.....	66
7.2	Τύποι Τελικού Στοιχείου Δράσης.....	66
7.3	Αρπάγες (Grippers)	66
7.4	Εργαλεία (Tools)	72
8	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο : Αισθητήρια Συστήματα.....	75
8.1	Σύνοψη Κεφαλαίου.....	75
8.2	Εισαγωγική στα Αισθητήρια Συστήματα.....	75
8.3	Τύποι Αισθητήριων Συστημάτων για Ρομπότ	75
9	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο : Ελεγκτής (Controller).....	80
9.1	Σύνοψη Κεφαλαίου.....	80
9.2	Εισαγωγή στον Ελεγκτή του Ρομπότ	80
9.3	Τρόποι Ελέγχου του Ρομπότ	81
9.4	Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)	83
9.4.1	Εφαρμογές Ρομπότ με Τεχνητή Νοημοσύνη (A.I.)	84
10	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο : Robot Operating System.....	87
10.1	Σύνοψη Κεφαλαίου.....	87
10.2	Εισαγωγή στο ROS.....	87
10.3	Επεξήγηση CMakeLists.txt.....	88
10.4	Επεξήγηση Package.xml.....	90
10.5	Επεξήγηση URDF	91
10.6	Επεξήγηση των αρχείων Launch.....	106
10.7	Προσθήκη Αρπάγης στο Ρομπότ	116
10.8	Επεξήγηση Πακέτου MoveIt.....	118
10.9	Επεξήγηση Αρχείου “execute_trajectory.py”	132
11	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο : Αρθρωτός Ρομποτικός Βραχίονας με 6 DoF.....	136
11.1	Σύνοψη Κεφαλαίου.....	136
11.2	Σχεδίαση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα.....	136
11.3	Denavit-Hartenberg Convention (DH Parameters).....	138
11.3.1	Τρόπος Εύρεσης DH Παραμέτρων	139
11.3.2	DH Matrix.....	139
11.3.3	Κανόνας Δεξιού Χεριού (Right Hand Rule).....	140
11.3.4	Κανόνες των παραμέτρων DH για την ανάθεση των Frame	140
11.4	Κινηματική του Ρομπότ (Robot Kinematics).....	142
11.5	Υπολογισμός της Ευθείας Κινηματικής του Ρομπότ (Forward Kinematics Solution).....	143
11.6	Υπολογισμός της Αντίστροφης Κινηματικής του Ρομπότ (Inverse Kinematics Solution).....	148
11.7	Ρύθμιση του Πακέτου MoveIt	156
12	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12^ο : Επίλογος	168
12.1	Σύνοψη Κεφαλαίου.....	168
12.2	Σύνοψη Εργασίας.....	168
12.3	Προβλήματα – Επίλυση.....	168
12.4	Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα	169
12.5	Προτάσεις Μελλοντικής Εξέλιξης.....	170
	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές.	171

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 10.1: Απεικόνιση μηνύματος “sensor_msgs/JointState”	107
---	-----

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Καρτεσιανός Ρομποτικός Βραχίονας	22
Εικόνα 2.2:Ρομποτικός Βραχίονας GANTRY	23
Εικόνα 2.3:Κυλινδρικός Ρομποτικός Βραχίονας	23
Εικόνα 2.4:Σφαιρικός Ρομποτικός Βραχίονας	23
Εικόνα 2.5: Αρθρωτός Ρομποτικός Βραχίονας 6-DoF	24
Εικόνα 2.6: Ρομποτικός Βραχίονας SCARA 4-DoF	24
Εικόνα 2.7:Ρομποτικός Βραχίονας DELTA	25
Εικόνα 2.8:Αυτόματα Καθοδηγούμενα Οχήματα της INDEVA	25
Εικόνα 2.9:Αυτόνομο Έντροχο Ρομπότ της AMAZON για παράδοση δεμάτων	26
Εικόνα 2.10:Βαδίζον Ρομπότ ASIMO	26
Εικόνα 2.11:Τηλεκατευθυνόμενο Υποβρύχιο Όχημα	26
Εικόνα 2.12:Αυτόνομο Υποβρύχιο Όχημα	27
Εικόνα 2.13:Ελικοειδές Εναέριο Ρομπότ - Ρομποτικό Ελικόπτερο Εξοπλισμένο με Αρθρωτό Ρομποτικό Βραχίονα	27
Εικόνα 2.14:Ρομποτικό Φίδι για χρήση στις Ισραηλινές Δυνάμεις με την ικανότητα να μπορεί να λειτουργεί ακόμα και αν καταστραφούν μερικά κομμάτια του	28
Εικόνα 2.15:Voyager - The Interstellar Mission - Curiosity - Paving the way for human footprints on Mars	28
Εικόνα 2.16:Γραμμή Παραγωγής Σκελετών Αυτοκινήτου	29
Εικόνα 2.17:Da Vinci S	29
Εικόνα 2.18:NeuroMate	30
Εικόνα 2.19:RoboDoc	30
Εικόνα 2.20:EndoAssist	30
Εικόνα 2.21:Σύστημα Εξωσκελετού για παράλυτους	31
Εικόνα 2.22:Ρομποτικό Άρμα για Φύλαξη των Ισραηλινών Συνόρων	31
Εικόνα 2.23:Ρομποτικά Οχήματα για συγκομιδή - Drones για ψεκασμό	32
Εικόνα 2.24: Σύστημα Διάσωσης από Πνιγμό - Όχημα Μεταφοράς Τραυματισμένων	32
Εικόνα 3.1:Απεικόνιση Ρομποτικού Βραχίονα 6-DoF	35

<i>Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT</i>	
Εικόνα 3.2:Απεικόνιση Αρπάγης τύπου Διπλής Αρπάγης	37
Εικόνα 3.3:Ενσωματωμένο Κατσαβίδι	37
Εικόνα 3.4:Αισθητήρες Αφής, Φωτός, Ήχου και Υπεριώδης	39
Εικόνα 3.5:Μονάδα Ελέγχου KUKA για Ρομποτικό Βραχίονα 8 αξόνων	40
Εικόνα 3.6:Απεικόνιση ενός SmartPad Teach Pendant της KUKA	40
Εικόνα 4.1:Απεικόνιση του Επιδέξιου Χώρου Εργασίας ενός Αρθρωτού και ενός Σφαιρικού Ρομποτικού Βραχίονα	42
Εικόνα 4.2:Επίδειξη Συνδυασμών Ακρίβεια και Επαναληψιμότητας	43
Εικόνα 4.3:Απόδοση της ταχύτητας του ρομπότ σε μικρές και μεγάλες αποστάσεις	44
Εικόνα 5.1:Σύγκριση Ανθρώπινου Βραχίονα με Ρομποτικό Βραχίονα	47
Εικόνα 5.2:Απεικόνιση των Αξόνων X, Y ,Z και των περιστροφών τους αντίστοιχα με τη Στρέψη (X), Κάμψη (Y) και Παρεκτροπή (Z)	47
Εικόνα 5.3:Τρόπος Λειτουργίας Γραμμικής Άρθρωσης. Ο Σύνδεσμος Εξόδου (Output Link) μεταφέρεται στον ίδιο άξονα του Συνδέσμου Εισόδου (Input Link)	48
Εικόνα 5.4:Τρόπος Λειτουργίας Ορθογώνιας Άρθρωσης. Ο Σύνδεσμος Εξόδου (Output Link) ολισθαίνει πάνω στο Σύνδεσμο Εισόδου (Input Link)	48
Εικόνα 5.5:Τρόπος Λειτουργίας Περιστροφικής Άρθρωσης. Ο Σύνδεσμος Εξόδου (Output Link) περιστρέφεται κατά τον άξονα του Συνδέσμου Εισόδου (Input Link)	49
Εικόνα 5.6: Τρόπος Λειτουργίας Στρεπτικής Άρθρωσης. Ο Σύνδεσμος Εξόδου (Output Link) περιστρέφεται γύρο από τον άξονα του Συνδέσμου Εισόδου (Input Link)	49
Εικόνα 5.7: Τρόπος Λειτουργίας Περιστρεφόμενης Άρθρωσης. Ο Σύνδεσμος Εξόδου (Output Link) περιστρέφεται γύρο από τον άξονα του Συνδέσμου Εισόδου (Input Link) ο οποίος είναι κάθετος σε αυτόν	50
Εικόνα 5.8: Ηλεκτρικός κινητήρας ευρείας χρήσης τύπου Servo Motor 110 Series. Παράδειγμα εφαρμογής σερβοκινητήρων σε ένα ρομποτικό βραχίονα	50
Εικόνα 5.9: Υδραυλικός Βραχίονας Kosmos Hydraulik Arm	51
Εικόνα 5.10: Μαλακό Πνευματικό Ρομπότ με Πνευματική Αρπάγη για λήψη εύθραυστων υλικών και προστασία του ανθρώπου	51
Εικόνα 6.1: Σχέδιο Ανάπτυξης Ρομποτικού Βραχίονα	53
Εικόνα 6.2: Βιομηχανικός Ρομποτικός Βραχίονας	53
Εικόνα 6.3: Βάση με στρεπτική άρθρωση για Παρεκτροπή 360ο του Ρομποτικού Βραχίονα	53
Εικόνα 6.4: Ώμος με Περιστροφική Άρθρωση για Κάμψη του Μπράτσου	54
Εικόνα 6.5: Αγκώνας με Περιστροφική Άρθρωση για Κάμψη του Βραχίονα	54
Εικόνα 6.6: Ανάλυση Καρπού του ρομπότ με 3 Αρθρώσεις με Περιστροφική Κίνηση	55

<i>Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT</i>	
Εικόνα 6.7: Απεικόνιση Χώρου Εργασίας. Περιορισμένου Χώρου Εργασίας με Οριοθέτηση για Ασφάλεια. Χώρος Λειτουργίας του Βραχίονα	55
Εικόνα 6.8: Απεικόνιση των Αρθρώσεων του Καρπού του Ρομποτικού Βραχίονα	56
Εικόνα 6.9: Απεικόνιση Τυπικού Σχεδιασμού του Συστήματος του Καρπού	56
Εικόνα 6.10: Καρτεσιανός Ρομποτικός Βραχίονας	57
Εικόνα 6.11: Απεικόνιση Χώρου εργασίας Καρτεσιανού Ρομποτικού Βραχίονα	58
Εικόνα 6.12: Ρομποτικός Βραχίονας Gantry. Απεικόνιση Χώρου Εργασίας Ρομπότ Gantry	58
Εικόνα 6.13: Κυλινδρικός Ρομποτικός Βραχίονας	59
Εικόνα 6.14: Χώρος Εργασίας Κυλινδρικού Ρομποτικού Βραχίονα	60
Εικόνα 6.15: Πολικός/Σφαιρικός Ρομποτικός Βραχίονας	61
Εικόνα 6.16: Χώρος Εργασίας Πολικού/Σφαιρικού Ρομποτικού Βραχίονα	61
Εικόνα 6.17: Ρομποτικός Βραχίονας SCARA	62
Εικόνα 6.18: Χώρος Εργασίας Ρομποτικού Βραχίονα SCARA	63
Εικόνα 6.19: Ρομποτικός Βραχίονα DELTA	64
Εικόνα 6.20: Χώρος Εργασίας Ρομποτικού Βραχίονα DELTA	64
Εικόνα 7.1: Μηχανική Αρπάγη	67
Εικόνα 7.2: Αρπάγη Κενού με 4 Βεντούζες	67
Εικόνα 7.3: Μαγνητική Αρπάγη	67
Εικόνα 7.4: Διπλή Αρπάγη	68
Εικόνα 7.5: Αρπάγες με δυνατότητα Αλλαγής Δακτύλων	68
Εικόνα 7.6: Αρπάγη Κέντρου με 4 Μαλακά Δάκτυλα	69
Εικόνα 7.7: Πνευματική Αρπάγη Παράλληλης Κίνησης με 2 Σιαγόνες	69
Εικόνα 7.8: Αρπάγη 3 Σιαγόνων	70
Εικόνα 7.9: Φυσητή Αρπάγη με Κύστη. Με τη πίεση του πάνω μέρους η Κύστη Φουσκώνει. Με την απελευθέρωση του πάνω μέρους η Κύστη Ξεφουσκώνει.	70
Εικόνα 7.10: Αρπάγη με Επέκταση	70
Εικόνα 7.11: Αρπάγη Δακτυλιδιού	71
Εικόνα 7.12: Αρπάγη 3 Δακτύλων με Προσαρμογή τους γύρω από το αντικείμενο	71
Εικόνα 7.13: Αρπάγη Βελόνας	71
Εικόνα 7.14: Αρπάγη με Ηλεκτρομαγνήτη. Αρπάγη με Ηλεκτροστατική Έλξη	72
Εικόνα 7.15: Πιστόλι Σημειακής Συγκόλλησης	72

<i>Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT</i>	
Εικόνα 7.16: Εργαλείο Συγκόλλησης Τόξου	72
Εικόνα 7.17: Αυτόματο Πιστόλι Ψεκασμού Βαφής	73
Εικόνα 7.18: Περιστερόμενη Άτρακτος με ενσωματωμένο Τρυπάνι	73
Εικόνα 7.19: Τελικό Στοιχείο ενσωματωμένο με Κατσαβίδι	73
Εικόνα 7.20: Τρόπος Λειτουργίας Εργαλείου Κοπής Πίδακα Νερού	74
Εικόνα 8.1: Αισθητήρας Κατεύθυνσης	76
Εικόνα 8.2: Ταχύμετρο με DC κινητήρες	76
Εικόνα 8.3: Αισθητήρας Όρασης 3D	76
Εικόνα 8.4: Έξυπνη Αρπάγη με την αίσθηση της Αφής	77
Εικόνα 8.5: Αισθητήρας Εγγύτητας με Τερματικό Διακόπτη	77
Εικόνα 8.6: Επαγωγικός Αισθητήρας Εγγύτητας	78
Εικόνα 8.7: Επιταχυνσιόμετρο και Γυροσκόπιο 6 Αξόνων	78
Εικόνα 8.8: Αρπάγη με Αισθητήρες Αφής. Απεικόνιση 3D Γραφήματος με τη πίεση της αρπάγης	79
Εικόνα 8.9: Αισθητήρας Δινορευμάτων	79
Εικόνα 9.1: Σύστημα Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου	80
Εικόνα 9.2: Σύστημα Ελέγχου Ανοικτού Βρόγχου	80
Εικόνα 9.3: Μετακίνηση του Ρομποτικού Βραχίονα από το σημείο Α στο σημείο Β	81
Εικόνα 9.4: Απεικόνιση Κίνησης από Σημείο σε Σημείο	82
Εικόνα 9.5: Προγραμματιζόμενα σημεία Συνεχούς Ελέγχου	83
Εικόνα 9.6: Ταξινόμηση Εξαρτημάτων με τη βοήθεια της Υπολογιστικής Όρασης και Αναγνώρισης Μοτίβων	84
Εικόνα 9.7: Βοηθητικός Ρομποτικός Βραχίονας JACO	85
Εικόνα 9.8: Ρομποτικοί Βοηθοί ενάντια στον COVID - 19	86
Εικόνα 9.9: Ρομπότ HUENIT με AI, 3D Printing, Laser Cutting	86
Εικόνα 10.1: Δομή της επιφάνειας εργασίας του λογισμικού ROS	88
Εικόνα 10.2: Σχέδιο Ρομποτικού Μοντέλου για την ανάπτυξη του σε URDF	89
Εικόνα 10.3: CMakeList.txt find_package	89
Εικόνα 10.4: CMakeList.txt Generate_Messages	90
Εικόνα 10.5: CMakeList.txt Generate_Messages/Services/Actions	90
Εικόνα 10.6: Package.xml Dependencies	91
Εικόνα 10.7: "inertia_calculation.py"	92

<i>Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT</i>	
Εικόνα 10.8:"robot_parameters.xacro"	92
Εικόνα 10.9:"link_joints.xacro"-“m_joint”	93
Εικόνα 10.10: Απεικόνιση λειτουργίας Αρθρώσεων	94
Εικόνα 10.11: Αναπαράσταση δημιουργίας μιας άρθρωσης	95
Εικόνα 10.12:"link_joints.xacro"-“m_link_cylinder”	96
Εικόνα 10.13: Απεικόνιση του στοιχείου Visual	96
Εικόνα 10.14: Απεικόνιση του στοιχείου Collision	97
Εικόνα 10.15: Απεικόνιση του στοιχείου Inertial	97
Εικόνα 10.16:"link_joints.xacro"-“m_link_box”	98
Εικόνα 10.17:"link_joints.xacro"-“m_link_mesh”	98
Εικόνα 10.18:"mrm.xacro"-“include”	99
Εικόνα 10.19:"mrm.xacro"-“m_link_box”	100
Εικόνα 10.20:"mrm.xacro"-“m_joint(1)”	101
Εικόνα 10.21:"mrm.xacro"-“m_link_mesh”	101
Εικόνα 10.22:"mrm.xacro"-“m_joint(2)”	102
Εικόνα 10.23:"mrm.xacro"-“m_link_cylinder(1)”	102
Εικόνα 10.24:"mrm.xacro"-“m_joint(3)”	103
Εικόνα 10.25:"mrm.xacro"-“m_link_cylinder(2)”	104
Εικόνα 10.26:"mrm.xacro"-“m_joint(4)”	104
Εικόνα 10.27:"mrm.xacro"-“m_link_cylinder(3)”	105
Εικόνα 10.28:"mrm.xacro"-:m_joint(5)”	105
Εικόνα 10.29:"mrm.xacro"-“m_link_cylinder(4)”	106
Εικόνα 10.30:"mrm.xacro"-“gazebo”	107
Εικόνα 10.31: Ρυθμίσεις RViz	108
Εικόνα 10.32: Επιλογή Base_Link	108
Εικόνα 10.33: Επιλογές του "Add"	108
Εικόνα 10.34: GUI (Graphics User interface)	109
Εικόνα 10.35:"rviz.launch"	109
Εικόνα 10.36: Τρόπος λειτουργίας Publisher και Subscriber	109
Εικόνα 10.37: Απεικόνιση του ρομπότ στο RViz	110

<i>Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT</i>	
Εικόνα 10.38: Δοκιμή των ορίων του ρομπότ μέσω του GUI	110
Εικόνα 10.39:"spawn.launch"	111
Εικόνα 10.40: RQT Publisher – Message Publisher	111
Εικόνα 10.41: Dynamic Reconfigure	112
Εικόνα 10.42:"joints.yaml"	112
Εικόνα 10.43: Σύστημα Ελέγχου Άρθρωσης Κλειστού Βρόγχου	114
Εικόνα 10.44: RQT_GUI	115
Εικόνα 10.45: Επιλογή τιμής Kp	115
Εικόνα 10.46: Επιλογή τιμής Ki	115
Εικόνα 10.47: Επιλογή τιμή Kd	116
Εικόνα 10.48: Προσομοίωση Gazebo με την αρχική στάση του ρομπότ	116
Εικόνα 10.49: Τροποποίηση μέσω RQT	116
Εικόνα 10.50: Απεικόνιση τροποποίησης των θέσεων των αρθρώσεων joint2, joint3 και joint4	117
Εικόνα 10.51:Προσθήκες "robots_parameters.xacro"	117
Εικόνα 10.52:Προσθήκες "mrm.xacro"-“gripper”	118
Εικόνα 10.53:Προσθήκες"spawn.launch"	118
Εικόνα 10.54:Προσθήκες στο"joints_yaml"	118
Εικόνα 10.55: Απεικόνιση Ρομπότ με Αρπάγη	119
Εικόνα 10.56: Διαμόρφωση MOVE_IT	119
Εικόνα 10.57: Επιλογή αρχείου “mrm.xacro”	119
Εικόνα 10.58: Φόρτωση του ρομπότ	120
Εικόνα 10.59: Self-Collisions	120
Εικόνα 10.60: Virtual Joints	121
Εικόνα 10.61: arm_body Group	121
Εικόνα 10.62: Προσθήκη Αρθρώσεων	121
Εικόνα 10.63: Ολοκλήρωση arm_body Group	122
Εικόνα 10.64: Ολοκλήρωση των ομαδοποιήσεων	122
Εικόνα 10.65: “arm_zero”	123
Εικόνα 10.66: “arm_p1”	123
Εικόνα 10.67: “arm_p2”	123

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT	
Εικόνα 10.68: “gripper_open”	124
Εικόνα 10.69: “gripper_close”	124
Εικόνα 10.70: Ολοκλήρωση στάσεων του ρομπότ	124
Εικόνα 10.71: Ορισμός Gripper	125
Εικόνα 10.72: Διαμόρφωση Ελεγκτών	125
Εικόνα 10.73: Νέο URDF	125
Εικόνα 10.74: Πληροφορίες Συγγραφέα	126
Εικόνα 10.75: Ολοκλήρωση Πακέτου	126
Εικόνα 10.76: “ros_controllers.launch”	126
Εικόνα 10.77: Ρομπότ σε αρχική στάση	127
Εικόνα 10.78: Επιλογή Motion Planning	127
Εικόνα 10.79: Motion Planning	128
Εικόνα 10.80: Select “arm_zero” state	128
Εικόνα 10.81: Select “arm_p1” state	128
Εικόνα 10.82: Απεικόνιση τροχιάς του Plan	129
Εικόνα 10.83: Εκτέλεση Υπολογισμένης Τροχιάς	129
Εικόνα 10.84: Τελική Στάση από την όψη του Y άξονα	129
Εικόνα 10.85: Επιλογή του group Gripper	130
Εικόνα 10.86: Select gripper_close state	130
Εικόνα 10.87: Τελική Στάση από την όψη του Y άξονα	130
Εικόνα 10.88: Select arm_p2 state	131
Εικόνα 10.89: Απεικόνιση τροχιάς του Plan	131
Εικόνα 10.90: Εκτέλεση Υπολογισμένης Τροχιάς	131
Εικόνα 10.91: Τελική Στάση από την όψη του Y άξονα	132
Εικόνα 10.92: Select gripper_open state	132
Εικόνα 10.93: Τελική Στάση από την όψη του Y άξονα	132
Εικόνα 10.94: “move_group” node	133
Εικόνα 10.95: “execute_trajectory.py” - “import”	133
Εικόνα 10.96: “execute_trajectory.py” - “initialize”	133
Εικόνα 10.97: “execute_trajectory.py” - “moveit_commander”	134

<i>Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT</i>	
Εικόνα 10.98:"execute_trajectory.py"-“group”	134
Εικόνα 10.99:"execute_trajectory.py"-“custom_pose”	134
Εικόνα 10.100:"execute_trajectory.py"-“plan1”	135
Εικόνα 10.101:"execute_trajectory.py"-“plan2”	135
Εικόνα 10.102:"execute_trajectory.py"-“grp-p2”-“grripper_open”	135
Εικόνα 11.1:Σχεδίαση Ρομποτικού Βραχίονα	136
Εικόνα 11.2:Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων	137
Εικόνα 11.3:Απεικόνιση του Ρομπότ και του joint_state_publisher στο Rviz	138
Εικόνα 11.4:Απεικόνιση του Ρομπότ στο Gazebo	138
Εικόνα 11.5:Εύρεση των Παραμέτρων	139
Εικόνα 11.6:Απεικόνιση των Αξόνων ανάλογα το δάκτυλο	140
Εικόνα 11.7:Περίπτωση 1	141
Εικόνα 11.8:Περίπτωση 2	141
Εικόνα 11.9:Περίπτωση 3	141
Εικόνα 11.10:Σύστημα Ευθείας Κινηματικής	142
Εικόνα 11.11:Σύστημα Αντίστροφης Κινηματικής	143
Εικόνα 11.12:Κινηματικό Διάγραμμα του ρομπότ	143
Εικόνα 11.13: Frames των Αρθρώσεων	144
Εικόνα 11.14:Απεικόνιση της θέσης του “Wrist_link3” στο Rviz	147
Εικόνα 11.15:Κινηματικό Διάγραμμα του Σώματος του Ρομπότ	148
Εικόνα 11.16:Top View	149
Εικόνα 11.17:Side View	149
Εικόνα 11.18:Κινηματικό Διάγραμμα του Καρπού του Ρομπότ	151
Εικόνα 11.19:Απεικόνιση Επιθυμητού Προσανατολισμού του Άκρου	152
Εικόνα 11.20:Εφαρμογή των Τιμών στο Rviz	153
Εικόνα 11.21:Απεικόνιση Προσανατολισμού του Άκρου	155
Εικόνα 11.22:Απεικόνιση του Σωστού Προσανατολισμού	155
Εικόνα 11.23:"Ik.py"-υπολογισμός $\theta_1, \theta_2, \theta_3$	156
Εικόνα 11.24:"Ik.py"-υπολογισμός $\theta_4, \theta_5, \theta_6$	156
Εικόνα 11.25:Αποτελέσματα της Εκτέλεσης του "Ik.py"	157

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT	
Εικόνα 11.26:Planning Groups	157
Εικόνα 11.27:Home_pos	158
Εικόνα 11.28:Αποτέλεσμα του "Ik.py" για τις συντεταγμένες	158
Εικόνα 11.29:Pick_pos1	158
Εικόνα 11.30: Απεικόνιση Επιθυμητού Προσανατολισμού του Άκρου	159
Εικόνα 11.31:Αποτέλεσμα του "Ik.py" για τις συντεταγμένες	159
Εικόνα 11.32:"Pick_pos2"	159
Εικόνα 11.33: Αποτέλεσμα του "Ik.py" για τις συντεταγμένες	160
Εικόνα 11.34:Place_pos	160
Εικόνα 11.35:Opened_pos	160
Εικόνα 11.36:Closed_pos	161
Εικόνα 11.37:End-Effector	161
Εικόνα 11.38:Απεικόνιση του Ρομπότ στο Gazebo	162
Εικόνα 11.39:Gazebo και Rviz σε λειτουργία	162
Εικόνα 11.40:"pick_place.py"-1	163
Εικόνα 11.41:"pick_place.py"-2	163
Εικόνα 11.42:"pick_place.py"-3	164
Εικόνα 11.43:"default_pos" > "home_pos"	164
Εικόνα 11.44:"home_pos" > "pick_pos1"	165
Εικόνα 11.45:"opened_pos" > "closed_pos"	165
Εικόνα 11.46:"pick_pos1" > "home_pos"	165
Εικόνα 11.47:"home_pos" > "place_pos"	166
Εικόνα 11.48:"closed_pos" > "opened_pos"	166
Εικόνα 11.49:"place_pos" > "home_pos"	166

Αλφαβητικό Ευρετήριο

D.o.F.: Degrees of Freedom

RIA: Robotic Industries Association

A.I.: Artificial Intelligence

ROS: Robot Operating System

URDF: Unified Robotics Description Format

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγή Εργασίας

1.1 Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο 1^ο κεφάλαιο καταγράφονται όλα τα εισαγωγικά στοιχεία που αναφέρονται στο αντικείμενο, τους σκοπούς και στόχους, τη μεθοδολογία, τα ερευνητικά ερωτήματα, την καινοτομία και τη δομή αυτής της διπλωματικής διατριβής.

1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Σύντομη Ανάλυση της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην ανάλυση των ρομπότ και συγκεκριμένα στους ρομποτικούς βραχίονες. Ο ρομποτικός βραχίονας κυριαρχεί στο χώρο της βιομηχανίας σε κάθε γραμμή παραγωγής με την ικανότητα του να μεταφέρει γρήγορα αντικείμενα, να επεξεργάζεται υλικά με ακρίβεια, να συνεργάζεται με ασφάλεια με το ανθρώπινο δυναμικό κ.α. με αποτέλεσμα να αυξάνει ασύγκριτα το ρυθμό παραγωγής. Στη συνέχεια της εργασίας γίνεται χρήση του Robot Operating System (ROS) το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στο χώρο της ανάπτυξης ρομποτικών εφαρμογών όπως σε ρομποτικά συστήματα της NASA, της ABB και άλλες. Μέσω του ROS θα δημιουργηθεί ένας εικονικός ρομποτικός βραχίονας στο περιβάλλον προσομοίωσης του ο οποίος θα μπορεί να λειτουργεί όπως θα λειτουργούσε και στο πραγματικό κόσμο χάρη στο γεγονός ότι μπορούν να εισαχθούν οι πραγματικές συνθήκες του ρομπότ, του κόσμου και του χώρου της εφαρμογής του.

Συσχέτιση με την Επικαιρότητα

Όπως είναι προφανές τα ρομπότ έχουν ενταχθεί στη ζωή μας και αυτό μαίνεται να συνεχίσει με περισσότερες ρομποτικές συσκευές οι οποίες θα είναι διαθέσιμες και για οικιακές χρήσεις. Καθώς ο κλάδος συνεχίζει την ανοδική πορεία του το ενδιαφέρον διεγείρεται για το ποια θα είναι η τελική μορφή εξέλιξης του. Τα ρομπότ έχουν διευκολύνει ήδη τις ζωές των ανθρώπων, και έχουν βελτιώσει τον τρόπο ζωής της ανθρωπότητας, με τη προσφορά τους σε διάφορους τομείς όπως η ιατρική, η βιομηχανία κ.α..

1.3 Σκοπός και στόχοι

Η εργασία έχει ως σκοπό την ανάλυση του ρομποτικού βραχίονα με εστίαση στην εξήγηση της δομής κάθε τύπου ρομποτικού βραχίονα, αναφέροντας όλα τα σημαντικά μέρη αυτών των ρομποτικών συστημάτων. Παράλληλα θα γίνει αναφορά στα είδη ρομποτικών συστημάτων που υπάρχουν σήμερα και λειτουργούν σε διάφορες εφαρμογές. Έτσι θα γίνει ταξινόμηση των ρομπότ και κατανοητό το πώς βοηθούν τους ανθρώπους.

Ο δεύτερος και κύριος σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία ενός ρομποτικού μοντέλου με τη προσομοίωση της κίνησης τους ρομπότ για την εκτέλεση μια επιθυμητής τροχιάς. Για αυτό το σκέλος της εργασίας θα χρειαστεί η βοήθεια του Robot Operating System (ROS) το οποίο είναι ελεύθερο λογισμικό για τον προγραμματισμό ρομποτικών συστημάτων όλων των ειδών. Το ROS ενσωματώνει διάφορα πακέτα για την δημιουργία του μοντέλου του ρομπότ, και έπειτα για την κίνηση του. Η δυνατότητα μιας τέτοιας προσομοίωσης είναι αρκετά χρήσιμη και εφαρμόζεται σε πολλές εφαρμογές για τον έλεγχο του κώδικα και της λειτουργίας του με το ρομπότ πριν την εγκατάσταση του στη πραγματική κατασκευή.

1.4 Μεθοδολογία

Σε αυτήν τη εργασία η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε σχετίζεται με την έρευνα για τη κατάλληλη βιβλιογραφία και τις κατάλληλες γνώσεις ώστε να αποτυπωθεί με απλότητα, ο τρόπος λειτουργίας του ρομποτικού βραχίονα και στη συνέχεια με τη βοήθεια προσομοίωσης να δημιουργηθεί ένα παράδειγμα

1.5 Ερευνητικά Ερωτήματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσαφηνίζει τα παρακάτω ερωτήματα:

- Ποια είναι η σκοπιμότητα των διάφορων τύπων των ρομποτικών συστημάτων και ιδιαίτερα των ρομποτικών βραχιόνων.
- Ποιες είναι οι δυνατότητες των ρομποτικών βραχιόνων που τους βοηθάνε να εκτελούν περίπλοκες, επικίνδυνες για τον άνθρωπο και επαναλαμβανόμενες εργασίες.
- Πόσο χρήσιμη είναι η δυνατότητα προσομοίωσης ενός ρομποτικού βραχίονα και τι ανατροφοδότηση προσφέρει στον χειριστή, πριν την ανάπτυξη του στο εργοστασιακό ή άλλο χώρο.
- Πως καταφέρνουν οι ρομποτικοί βραχίονες να ρυθμίζουν αυτόματα τις αρθρώσεις τους με στόχο τη μεταφορά του άκρου τους σε διάφορα σημεία μέσα στο χώρο εργασίας τους.

1.6 Καινοτομία

Η καινοτομία αυτή της εργασίας σχετίζεται με τους υπολογισμούς τη κινηματικής του ρομπότ. Αφού βρεθεί η λύση της, θα επιδιωχθεί να εξακριβωθεί πόσο ακριβής μπορεί να είναι ο υπολογισμός των τιμών των αρθρώσεων του προσομοιωμένου ρομποτικού βραχίονα. Αυτό θα γίνει όσο αφορά την επιθυμητή θέση και τον επιθυμητό προσανατολισμό που θα του τεθούν και το πώς θα αντιδράσει σε αυτές.

1.7 Δομή

Η εργασία αποτελείται από 12 κεφάλαια. Τα αρχικά κεφάλαια χρησιμοποιούνται για την αναφορά και την επεξήγηση διάφορων ρομποτικών συστημάτων τα οποία υπάρχουν σήμερα. Στα κεφάλαια που ακολουθούν γίνεται ανάλυση των ρομποτικών βραχιόνων οι οποίοι αποτελούν το κύριο θέμα αυτή της εργασίας. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο τρόπο λειτουργίας του κάθε τύπου ρομποτικού βραχίονα, της δομής του, της κίνησης του, των πλεονεκτημάτων του και τη χρήση του σήμερα. Σε αυτά τα κεφάλαια επίσης αναλύεται το κάθε εξωτερικό ή εσωτερικό στοιχείο των ρομπότ τα οποία βοηθάνε στην αναβάθμιση της λειτουργίας του όταν αυτό χρειάζεται. Τα τελευταία κεφάλαια αποτελούν το κομμάτι της προσομοίωσης όπου δύο ρομπότ, ένα δοκιμαστικό και ένα πρακτικό ρομπότ προσομοιώνονται. Το δοκιμαστικό ρομπότ εξυπηρετεί στην ανάδειξη της διαδικασίας της δημιουργίας ενός ρομπότ για προσομοίωση καθώς είναι πιο απλό σε μορφή και δομή. Το πρακτικό ρομπότ σχεδιάζεται για να μοιάζει όσο καλύτερα γίνεται με ένα πραγματικό αρθρωτό ρομποτικό βραχίονα ο οποίος θα υπήρχε στο περιβάλλον μιας βιομηχανίας. Για αυτό γίνονται υπολογισμοί κινηματικής του ρομπότ ώστε να μπορεί να ρυθμιστεί σε επιθυμητές θέσης μέσω του εργαλείου MoveIt. Τα εργαλεία MoveIt και Rviz χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς κατά αυτή τη διαδικασία κίνησης του ρομπότ, το οποίο μετά από τις ρυθμίσεις που έγιναν είναι ικανό να χρησιμοποιηθεί σε μια διαδικασία Pick and Place.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Ρομποτικά Συστήματα

2.1 Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο 2^ο κεφάλαιο πραγματοποιείται η εισαγωγή του αναγνώστη στα Ρομποτικά Συστήματα και ειδικότερα στα δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, τους διάφορους τύπους τους και τις εφαρμογές του.

2.2 Εισαγωγικοί Όροι

Ρομποτική

Η ρομποτική έχει ξεκινήσει να διαμορφώνεται από τους καιρούς που αρχαίοι έλληνες οραματιζόντουσαν μηχανές οι οποίες θα είχαν τη δυνατότητα να σκέφτονται και να αντιδρούν όπως ένα ανθρώπινο όν. Επίσημα όμως το έναυσμα της ρομποτικής σηματοδοτήθηκε έπειτα της ανάπτυξης των υπολογιστών. Όπως είναι προφανές ακολούθησε μια σημαντική ανάπτυξη του τομέα της ρομποτικής στα επόμενα χρόνια μέχρι και σήμερα, ενώ ακόμα δεν έχει φτάσει στο ζενίθ της. Η ρομποτική είναι κλάδος της μηχανικής η οποία συνδυάζει πεδία της ηλεκτρονικής, της μηχανολογίας και της πληροφορικής, με στόχο τη μελέτη των μηχανών, γνωστών ως ρομπότ. Εστιάζει στο σχεδιασμό, τη κατασκευή και τη χρήση των ρομπότ αλλά επίσης συνδυάζει τη επιστήμη των υπολογιστών, το προγραμματισμό και τη τεχνητή νοημοσύνη.

Ρομποτικό Σύστημα

Ένα ρομποτικό σύστημα μπορεί να οριστεί ως ένα σύνολο εξαρτημάτων κατάλληλα συνδεδεμένων μεταξύ τους ώστε μέσω ανάλογων προγραμματισμένων κινήσεων να μεταφέρει ή να επεξεργαστεί ένα αντικείμενο. Ένας πιο εξειδικευμένος ορισμός ο οποίος έχει δοθεί από το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Ρομποτικής (Robot Institute of America) περιγράφει ένα ρομποτικό σύστημα ως έναν μηχανισμό κατάλληλα σχεδιασμένο, ώστε μέσω προγραμματιζόμενων κινήσεων, να μεταφέρει υλικά, τεμάχια, εργαλεία ή ειδικευμένες συσκευές με σκοπό την επιτέλεση ποικιλίας εργασιών.

Ο όρος ρομπότ υπάρχει για αρκετά χρόνια και προέρχεται από τη σλαβική λέξη “robot” η οποία σημαίνει εργασία ή αλλιώς καταναγκαστική εργασία. Στο παράδειγμα ενός ρομπότ ο όρος της λέξης αναφέρεται στο σύστημα ως ένα μηχανικό εργάτη.

Στη ιστορία αν και υπάρχουν πολλές αναφορές σχετικά με ρομποτικά συστήματα στα αρχαία χρόνια όπως στη αρχαία ελληνική μυθολογία όπου βρίσκονται κατασκευές και εφευρέσεις όπως πτητικές μηχανές, λαβύρινθοι και το μυθικό ρομπότ της αρχαιότητας του Τάλω, η εισαγωγή της έννοιας των ρομπότ έγινε από τον Τσέχο θεατρικό συγγραφέα Karel Capek στο έργο του Rossum’s Universal Robots (R.U.R.). Εκεί σατιρίζει το γεγονός της εξάρτησης της κοινωνίας από τους μηχανικούς εργάτες, δηλαδή τα ρομπότ, τα οποία στο τέλος εξοντώνουν τους ίδιους δημιουργούς τους.

Μια σημαντική και αξιοσημείωτη στιγμή στην ιστορία των ρομπότ αποτελεί η διατύπωση των περίφημων τριών νόμων της ρομποτικής από τον ρώσο επιστήμονα και συγγραφέα Ισαάκ Ασίμοφ . Οι νόμοι αναφέρουν τα εξής:

1. Το ρομπότ δε θα κάνει κακό σε άνθρωπο, ούτε με την αδράνεια του θα επιτρέψει να βλαφτεί ανθρώπινο όν.
2. Το ρομπότ πρέπει να υπακούει τις διαταγές που του δίνουν οι άνθρωποι, εκτός αν αυτές οι διαταγές έρχονται σε αντίθεση με το πρώτο νόμο.
3. Το ρομπότ οφείλει να προστατεύει την ύπαρξη του, εφόσον αυτό δεν παραβαίνει τον πρώτο και το δεύτερο νόμο.

Η πρώτη κατασκευή ενός ρομποτικού συστήματος πραγματοποιείται έπειτα της ανάπτυξης των υπολογιστών τη δεκαετία του 1940. Σε διάφορα πανεπιστημιακά εργαστήρια γίνονται έρευνες και

προσπάθειες με νέες ιδέες οι οποίες προσφέρονται για τη εξέλιξη αυτού του κλάδου. Ως αποτέλεσμα το 1960 παρουσιάζεται το πρώτο ρομποτικό σύστημα από το Ερευνητικό Ινστιτούτο του Στάνφορντ με την ονομασία Σέικι. Το ρομπότ αυτό είχε την ικανότητα να τοποθετεί τουβλάκια σε μια κατακόρυφη στήλη με τη βοήθεια μια βιντεοκάμερας ως οπτικό αισθητήρα και ενός Η/Υ ως μονάδα κεντρικού ελέγχου για την επεξεργασία των πληροφοριών και την εκτέλεση προγραμμάτων. Την ίδια εποχή έγινε και η παρουσίαση των πρώτων βιομηχανικών ρομποτικών συστημάτων από τις εταιρείες Unimation και Fuji τα οποία όμως είχαν περιορισμένες λειτουργίες και χρησιμοποιούνταν κυρίως για τη τοποθέτηση παλετών. Ακολούθησε η εμφάνιση πιο σύνθετων ρομποτικών συστημάτων τα οποία μοιάζουν αρκετά με τα σημερινά βιομηχανικά ρομποτικά συστήματα.

Πρόοδος των Ρομπότ

Η μελέτη των ρομπότ αφοσιώθηκε σε δύο μέρη, με το πρώτο μέρος να εστιάζει στην ανάπτυξη νοημόνων ρομποτικών συστημάτων, ενώ το δεύτερο μέρος αφορά την ανάπτυξη βιομηχανικών ρομποτικών συστημάτων με έμφαση στην κίνηση των ρομπότ και τον καλύτερο τρόπο διασύνδεσης και επικοινωνίας με τον χειριστή τους. Όμως με τον καιρό η μελέτη της κίνησης των ρομπότ πέρασε σε δεύτερη μοίρα, με τους ερευνητές να επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους στην ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης των ρομπότ. Ένα παράδειγμα τέτοιας ανάπτυξης είναι το ρομποτικό σύστημα της IBM με ονομασία Deep Blue το οποίο κατάφερε να κερδίσει σε έναν αγώνα σκάκι τον παγκόσμιο πρωταθλητή Γκάρυ Κασπάροφ το 1997.

Έπειτα η ανάπτυξη των ρομποτικών συστημάτων με τα χρόνια είναι αλματώδης. Τα ρομπότ πλέον προσφέρουν τις υπηρεσίες τους σε διάφορους τομείς. Το μέλλον είναι πολλά υποσχόμενο για τις επόμενες γενιές των ρομποτικών συστημάτων συνδυάζοντας και τα δύο πεδία μελέτης των ρομπότ τα οποία σχετίζονται με τη κίνηση και τη νοημοσύνη τους. Μέχρι στιγμής έχει περάσει η πρώτη γενιά των ρομπότ η οποία χρονολογείται το 2010 όπου τα ρομπότ ήταν στο αρχικό στάδιο των μαθησιακών τους δυνατοτήτων. Οδεύοντας στη δεύτερη γενιά των ρομπότ η οποία χρονολογείται το 2020, θα έχει αναπτυγμένη νοημοσύνη συγκρίσιμη με αυτή ενός ποντικού. Οι επόμενες γενιές των ρομπότ χρονολογούνται το 2040 και 2050 αντίστοιχα με τη τρίτη γενιά να αναφέρεται επίσης ως επαναστατική γενιά όπου η νοημοσύνη των ρομπότ θα φτάσει αυτή του πιθήκου ενώ στη τέταρτη γενιά τα ρομπότ θα έχουν νοηματικό επίπεδο ίσο με του ανθρώπου.

Όποιο και να είναι το μέλλον των ρομπότ σίγουρα θα μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά τομείς οι οποίοι θα μπορούν να εκμεταλλευτούν τη δύναμη τους για την διευκόλυνση και την ανάπτυξη τους. Το μόνο που πρέπει να επιτευχθεί για το μέλλον των ρομπότ είναι η υπακοή στους νόμους των ρομπότ και η συνέχεια ανάπτυξης ρομποτικών συστημάτων ανοικτού κώδικα με την προσφορά νέων ιδεών χωρίς να γίνεται μονόπλευρη έρευνα από εταιρείες που αποσκοπούν στο κέρδος τους. [1]

Ένα ρομπότ αποτελείται από ένα σύνολο εξαρτημάτων τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους με σκοπό την επιτυχία τη προγραμματισμένης λειτουργίας του. Έτσι μπορεί να οριστεί η έννοια ενός συστήματος, αλλά η χρήση αυτής της έννοιας επεκτείνεται σε άλλες επιστήμες και κλάδους. Οπότε ένας επιστημονικός ορισμός της έννοιας του συστήματος αφορά μια ομάδα οντοτήτων ή αντικειμένων τα οποία αποτελούν ένα σύνολο και αλληλεπιδρούν με τουλάχιστον ένα ακόμα στοιχείο του συνόλου. Ενώ ένα υποσύστημα αφορά μια ομάδα στοιχείων που αποτελούν ένα σύστημα μόνα τους ενώ παράλληλα αποτελούν υποσύνολο όλου του συστήματος.

2.3 Δομή Ρομποτικού Συστήματος

Γενικά ένα ρομποτικό σύστημα αποτελείται από τρία υποσυστήματα τα οποία είναι τα εξής:

- ⊗ Το Κινητήριο ή Μηχανολογικό Υποσύστημα, το οποίο αποτελείται από μηχανισμούς που επιτρέπουν στο ρομπότ να κινείται και είναι πολύ σημαντικό για τη δυνατότητα εκτέλεσης έργου του ρομπότ. Τέτοιοι μηχανισμοί είναι οι αρθρώσεις όπου υπάρχουν συστήματα μετάδοσης κίνησης όπως κινητήρες κτλ.
- ⊗ Το Υποσύστημα Αίσθησης, που είναι υπεύθυνο για τη συγκέντρωση πληροφοριών σχετικά με τη κατάσταση του ρομπότ και του περιβάλλοντος του. Δέχεται εξωτερικές εντολές ώστε να τις επεξεργάζεται και να τις μεταφράζει σε ανάλογες ηλεκτρικές ισχύς για την τροφοδοσία τους στους

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

κινητήρες, στις αρθρώσεις του ρομπότ. Επίσης παράγει σήματα εξόδου τα οποία σχετίζονται με τη κατάσταση του συστήματος. Τέτοια υποσυστήματα αίσθησης περιλαμβάνουν όργανα μετρήσεως, αισθητήρες, ηλεκτρονικά στοιχεία κτλ.

- ⊗ Το Υποσύστημα Ελέγχου, είναι πολύ κρίσιμο καθώς συνδυάζει την αίσθηση και τη κίνηση του ρομπότ μέσω προγραμματιζόμενου ελέγχου με σκοπό την επιθυμητή λειτουργία. Είναι υπεύθυνο για την επίβλεψη και το συντονισμό ολόκληρου του ρομποτικού συστήματος. Για την σχεδίαση και την υλοποίηση ενός συστήματος ελέγχου συνδυάζονται πρακτικές αυτόματου ελέγχου, τεχνητής νοημοσύνης, επιστήμης υπολογιστών κτλ. [1]

2.4 Είδη Ρομποτικών Συστημάτων

Στη σύγχρονη εποχή υπάρχουν αρκετά ρομποτικά συστήματα τα οποία έχουν αναπτυχθεί με τον καιρό και χρησιμοποιούνται σήμερα σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών. Κάθε ένα διαφέρει σε σχεδιασμό αλλά αποτελείται από τα ίδια στοιχεία που διαμορφώνουν ένα ρομποτικό σύστημα. Τα πιο γνωστά είδη ρομποτικών συστημάτων είναι τα εξής:

ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΒΑΣΗΣ

Το σώμα αυτών των ρομπότ σχηματίζει μια κινηματική αλυσίδα με το ένα άκρο της να είναι η βάση τους η οποία συνδέεται σταθερά σε ένα σημείο στο περιβάλλοντα χώρο. Το κύριο σώμα του ρομπότ περιλαμβάνει στιβαρά στοιχεία που ονομάζονται σύνδεσμοι (links) οι οποίοι ενώνονται μεταξύ τους μέσω των αρθρώσεων (joints). Στο τέλος της αλυσίδας αυτής βρίσκεται ο καρπός στο άκρο του ρομπότ στο οποίο προσαρμόζεται το τελικό στοιχείο δράσης (end effector) και μπορεί να είναι ένας τύπος αρπάγης (gripper) ή εργαλείου (tool). Αυτά τα ρομπότ είναι η τυπική μορφή ενός βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα στον οποίο θα γίνει περαιτέρω ανάλυση σε παρακάτω κεφάλαια.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ρομπότ σταθερής βάσης όπου ο καθένας από αυτούς διαθέτει χαρακτηριστικά επιθυμητά για διάφορες εργασίες. Για παράδειγμα ένας τύπος πλεονεκτεί σε ταχύτητα ή σε ακρίβεια ή μπορεί να έχει μεγαλύτερο εύρος κίνησης αλλά κ.α.. Οι διαμορφώσεις ρομπότ σταθερής βάσης είναι οι εξής:

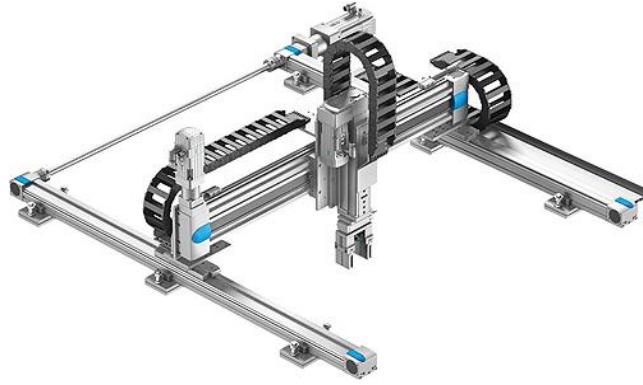
✚ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΑ ΡΟΜΠΟΤ

Τα καρτεσιανά ρομποτικά συστήματα έχουν την δυνατότητα να κινούνται στους τρεις καρτεσιανούς άξονες x, y και z όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.1. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να κινηθούν μέσα σε ένα τετραγωνικό ή παράλληλο χώρο.



Εικόνα 2.1: Καρτεσιανός Ρομποτικός Βραχίονας

Τα GANTRY ρομποτικά συστήματα είναι μια παραλλαγή των καρτεσιανών ρομποτικών συστημάτων όπου η προσέγγιση του άκρου του ρομπότ στο χώρο εργασίας γίνεται από πάνω και ο άξονας y του ρομπότ μεταφέρεται πάνω σε δύο άξονες x.



Εικόνα 2.2:Ρομποτικός Βραχίονας GANTRY

✚ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΑ ΡΟΜΠΟΤ

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των κυλινδρικών ρομποτικών συστημάτων είναι το γεγονός ότι έχουν την δυνατότητα χάρη του σχεδιασμού τους να κινηθούν σε ένα κυλινδρικό χώρο.



Εικόνα 2.3:Κυλινδρικός Ρομποτικός Βραχίονας

✚ΣΦΑΙΡΙΚΑ ΡΟΜΠΟΤ

Τα σφαιρικά ρομποτικά συστήματα μοιάζουν με τα αρθρωτά ρομπότ καθώς μπορούν κινηθούν σε σφαιρικό χώρο με τη διαφορά ότι έχουν μικρότερο βαθμό ελευθερίας.



Εικόνα 2.4:Σφαιρικός Ρομποτικός Βραχίονας

✚ ΑΡΘΡΩΤΑ ΡΟΜΠΟΤ

Τα αρθρωτά ρομποτικά συστήματα αποτελούν τα πιο γνωστά από σχεδιαστική άποψη ρομπότ. Η δομή τους μοιάζει με αυτή ενός ανθρώπινου βραχίονα, με σκοπό την προσομοίωση παρόμοιων κινήσεων για μεταφορά προϊόντων και χειρισμό εργαλείων.



Εικόνα 2.5: Αρθρωτός Ρομποτικός Βραχίονας 6-DoF

✚ ΡΟΜΠΟΤ SCARA

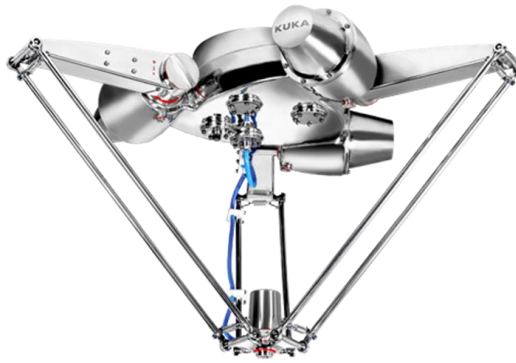
Τα ρομποτικά συστήματα SCARA διαθέτουν την ικανότητα να ενδίδουν ως προς το z άξονα τους για λόγους ασφάλειας και καλής συνεργασίας μεταξύ ρομπότ και χειριστή. Είναι γρήγορα στις κινήσεις τους και προτιμούνται σε εφαρμογές συναρμολόγησης.



Εικόνα 2.6: Ρομποτικός Βραχίονας SCARA 4-DoF

✚ ΡΟΜΠΟΤ DELTA

Έχουν μοναδικό σχεδιασμό και συχνά παρομοιάζονται σαν ρομπότ αράχνες. Όπως και οι αράχνες τα ρομπότ αυτά είναι πολύ γρήγορα στις κινήσεις τους και είναι ένας σχετικά καινούργιος τύπος ρομποτικού βραχίονα.



Εικόνα 2.7:Ρομποτικός Βραχίονας DELTA

KINOYMENA POMΠOT

Ως κινούμενα ρομπότ αναγνωρίζονται τα ρομπότ τα οποία μπορούν να μετακινήσουν όλα τα σημεία του μηχανισμού τους με τη βοήθεια ειδικών συστημάτων προώθησης όπως σε απλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται τροχοί ενώ πιο πολύπλοκα συστήματα αποτελούν τα jet, οι προπέλες και τα μηχανικά πόδια. Ο βαθμός αυτονομίας των ρομπότ διακρίνει αυτή τη κατηγορία στις εξής διαμορφώσεις:

→ Automatic Guided Vehicles (AGV's)

Τα αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα προγραμματίζονται ώστε να ακολουθούν μια προκαθορισμένη διαδρομή μέσω κατάλληλων αισθητήρων εγκατεστημένων στη άτρακτο του ή το περιβάλλον τους. Αυτό περιορίζει την αυτονομία κίνησης του ρομπότ.



Εικόνα 2.8:Αυτόματα Καθοδηγούμενα Οχήματα της INDEVA

→ Autonomous Wheeled Robots

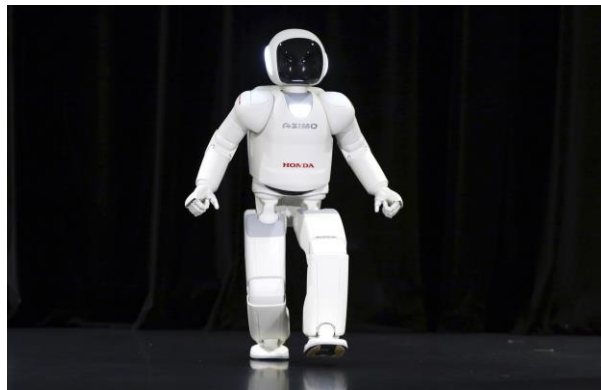
Τα αυτόνομα έντροχα ρομπότ όπως είναι προφανές χρησιμοποιούν τροχούς για τη κίνηση του και προγραμματίζονται με ορισμένες υψηλού επιπέδου εντολές για να λειτουργούν χωρίς συνεχή εξωτερική επίβλεψη. Ως αποτέλεσμα τα ρομπότ έχουν υψηλό βαθμό αυτονομίας.



Εικόνα 2.9:Αυτόνομο Έντροχο Ρομπότ της AMAZON για παράδοση δεμάτων

→ Walking Robots

Τα βαδίζοντα ρομπότ χρησιμοποιούν μηχανικά πόδια για τη κίνηση τους προσφέροντας τη δυνατότητα της αποφυγής εμποδίων και την ικανότητα αναρρίχησης σε ανώμαλα εδάφη και μη επίπεδες επιφάνειες. Συνήθως τέτοια ρομπότ έχουν δύο πόδια αλλά φυσικά υπάρχουν ρομπότ με περισσότερα πόδια των οποίων η μορφή και η κίνηση τους μοιάζει με αυτή των θηλαστικών ή ακόμα και σε αυτή των εντόμων.



Εικόνα 2.10:Βαδίζον Ρομπότ ASIMO

→ Remotely Operated underwater Vehicles (ROV's)

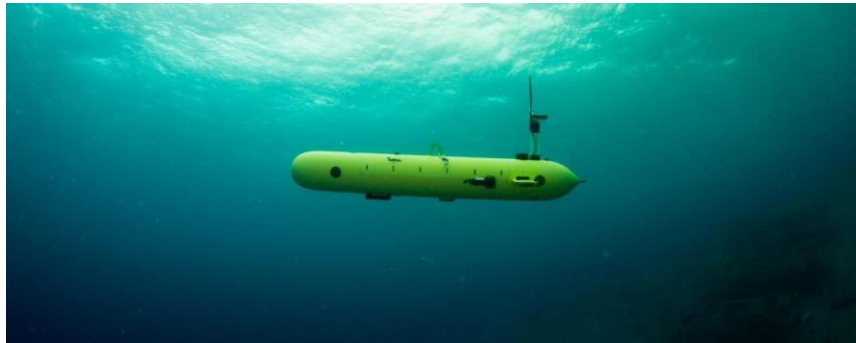
Αυτά τα ρομπότ χρησιμοποιούνται ως τηλεκατευθυνόμενα υποβρύχια οχήματα. Είναι μη επανδρωμένα οχήματα. Έχουν χαμηλό βαθμό αυτονομίας καθώς εξαρτώνται από τη σύνδεση τους με το μητρικό πλοίο για την ανάγκη ενέργειας και επικοινωνίας. Έχουν σχήμα κουτιού ενώ η ταχύτητα τους είναι αρκετά χαμηλή.



Εικόνα 2.11:Τηλεκατευθυνόμενο Υποβρύχιο Όχημα

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT
→ **Autonomous Underwater Vehicles (AUV's)**

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα ρομπότ τα αυτόνομα υποβρύχια οχήματα, όπως αναφέρει και το όνομα τους είναι πλήρως αυτόνομα. Οπότε δεν χρειάζεται μέσω επικοινωνίας αλλά ούτε τροφοδοσίας ενέργειας από το μητρικό πλοίο καθώς είναι εξοπλισμένο με ειδικές μπαταρίες το οποίο όμως περιορίζει μερικώς τη λειτουργία των ρομπότ. Έχουν σχήμα τορπίλης και μπορούν να κινούνται με μεγάλη ταχύτητα.



Εικόνα 2.12: Αυτόνομο Υποβρύχιο Όχημα

→ **Flying Robots**

Τα εναέρια ρομπότ είναι μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα όπως είναι τα drones, αεροπλάνα και ελικόπτερα. Η ανάπτυξη αυτών των ρομποτικών συστημάτων ξεκίνησε λόγω στρατιωτικού ενδιαφέροντος για διάφορες στρατιωτικές εφαρμογές. Βέβαια σύντομα επεκτάθηκε σε μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής όπως η μεταφορά, η χαρτογράφηση, η ψυχαγωγία κ.α.



Εικόνα 2.13: Ελικοειδές Εναέριο Ρομπότ - Ρομποτικό Ελικόπτερο Εξοπλισμένο με Αρθρωτό Ρομποτικό Βραχίονα

→ **Reptile Robots**

Τα έρποντα ρομπότ όπως αναφέρει και το όνομα τους κινούνται έρποντας στο έδαφος ή και σε νερό αντιγράφοντας τη κίνηση των φιδιών. Έχουν την ικανότητα να διεισδύουν σε κλειστά και περιορισμένα σημεία το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές ανίχνευσης παγιδευμένων ανθρώπων σε συντρίμια και ερείπια. [2],[3],[4],[5],[6].



Εικόνα 2.14:Ρομποτικό Φίδι για χρήση στις Ισραηλινές Δυνάμεις με την ικανότητα να μπορεί να λειτουργεί ακόμα και αν καταστραφούν μερικά κομμάτια του

2.5 Εφαρμογές Ρομποτικών Συστημάτων

Στη σύγχρονη κοινωνία τα ρομπότ έχουν αναπτύξει ένα σημαντικό ρόλο σε διάφορους τομείς. Σε αυτούς συμπεριλαμβάνονται οι παρακάτω:

Εκπαίδευση και Ψυχαγωγία

Διοργανώνονται ρομποτικοί διαγωνισμοί με σκοπό τη μάθηση και την ενθάρρυνση της δημιουργικότητας και της φαντασίας αλλά και την εισαγωγή του STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics).

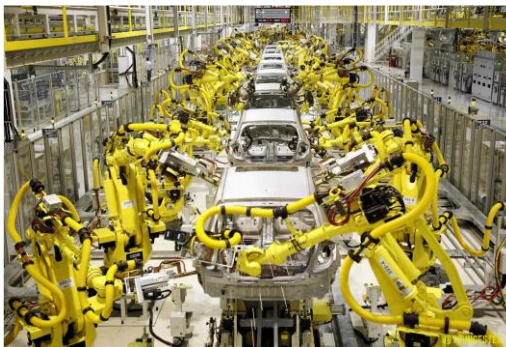
Διαστημικές Εφαρμογές

Αποτελούν τους τέλειους υποψήφιους για διαστημικά ταξίδια καθώς τα ρομπότ είναι ανθεκτικά στις ακραίες συνθήκες του διαστήματος. Τα μη επανδρωμένα οχήματα αποτελούν οικονομικότερες λύσεις σε αντίθεση με επανδρωμένες αποστολές. Τέλος είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε διαστημικά προγράμματα όπου η ανθρώπινη παρουσία είναι αδύνατη. Κάποια παραδείγματα διαστημικών προγραμμάτων είναι το πρόγραμμα Voyager όπου δύο μη επανδρωμένες "δίδυμες" διαστημικές συσκευές τέθηκαν να εξερευνήσουν μερικούς από τους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος. Ένα άλλο ενδιαφέρον πρόγραμμα είναι το Curiosity της NASA το οποίο είναι ένα ρομποτικό όχημα που εξερευνά τον Άρη εξοπλισμένο με επιστημονικό εξοπλισμό ώστε να αναλύει τη χημική σύσταση των δειγμάτων που λαμβάνει.



Εικόνα 2.15:Voyager - The Interstellar Mission - Curiosity - Paving the way for human footprints on Mars

Στις βιομηχανίες σήμερα κυριαρχούν τα ρομπότ σταθερής βάσης ή αλλιώς οι ρομποτικοί βραχίονες κάθε είδους όπως οι καρτεσιανοί, οι αρθρωτοί, οι SCARA κτλ. αλλά υπάρχουν και άλλα είδη ρομπότ όπως τα αυτόματα καθοδηγούμενα οχήματα που μπορούν να εξυπηρετούν περιφέροντας μέσα στο χώρο της βιομηχανίας όπως απεικονίζεται στην παραπάνω Εικόνα 2.8. Με τη προσθήκη τους στους χώρους της βιομηχανίας προκάλεσε πέρα από τη θετική συνεισφορά τους και κάποια προβλήματα. Επιταχύνει τη παραγωγή, βελτιώνει τη ποιότητα με τη βοήθεια της λειτουργικής του ακρίβειας η οποία διατηρείται σε όλους τους κύκλους εργασίας και τέλος μειώνει το κόστος για μισθούς υπαλλήλων. Ταυτόχρονα όμως οδηγεί πολλούς εργάτες σε ανεργία με τη αντικατάσταση τους. Για την αγορά ενός ρομπότ και τη συντήρησης του απαιτείται μεγάλο οικονομικό κόστος. Όσο αφορά τη συνεισφορά του για το περιβάλλον δεν είναι τόσο καλή αφού αυξάνει τους ρύπους.



Εικόνα 2.16:Γραμμή Παραγωγής Σκελετών Αυτοκινήτου

Ιατρικές Εφαρμογές

Τα ρομποτικά συστήματα χρησιμοποιούνται στη ιατρική για τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν. Έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια κινήσεων και μπορούν να προσεγγίζουν σημεία που προηγουμένως ήταν αδύνατο να προσεγγιστούν. Προγραμματίζεται μικρότερη διάρκεια αναισθησίας του ασθενή καθώς η επέμβαση απαιτεί λιγότερο χρόνο, ελαττώνεται ο κίνδυνος μόλυνσης και ελαχιστοποιείται το μετεγχειρητικό. Μειώνεται η περίοδος της νοσηλείας του ασθενούς και γίνεται πιο γρήγορα η ανάρρωσή του. Κάποια σημαντικά παραδείγματα ρομποτικών συστημάτων στη ιατρική είναι τα εξής:

- ο *Da Vinci S*

Χρησιμοποιείται για λαπαροσκοπίσεις και μεγάλο πλήθος ανοιχτών επεμβάσεων. Προσφέρει μεγέθυνση του χειρουργικού πεδίου έως και δεκαπέντε (15) φορές. Μέχρι στιγμής λειτουργούν παγκοσμίως οκτακόσιες πενήντα (850) συσκευές *Da Vinci S* με εκατόν πενήντα (150) από αυτές να βρίσκονται στην Ευρώπη και μόλις μια (1) στην Ελλάδα.



Εικόνα 2.17:Da Vinci S

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT
ο *NeuroMate*

Αξιοποιούνται σε νευροχειρουργικές επεμβάσεις με τη βοήθεια εικόνων που λαμβάνονται από τον ασθενή με αξονική τομογραφία. Είναι το πρώτο ρομποτικό σύστημα που έλαβε την έγκριση της FDA.



Εικόνα 2.18:NeuroMate

ο *Robodoc*

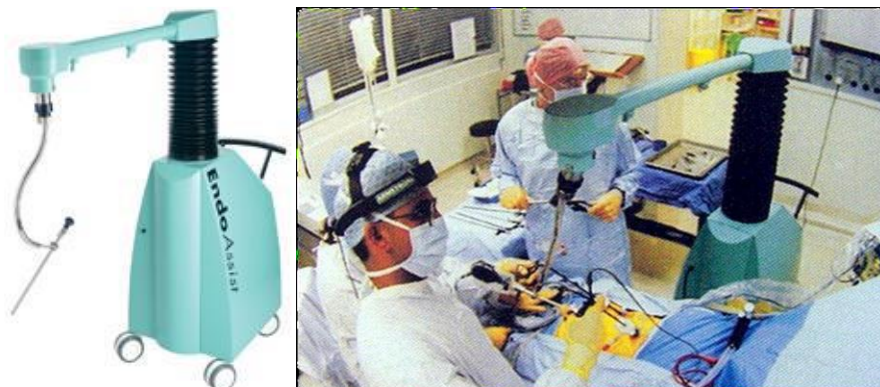
Η ειδικότητα αυτού του ρομπότ αφοσιώνεται στις ορθοπεδικές επεμβάσεις. Αρχικά σχεδιάζει την επέμβαση σε τρισδιάστατο περιβάλλον (3D) και έπειτα εκτελείται.



Εικόνα 2.19:RoboDoc

ο *EndoAssist*

Χρησιμοποιείται σε λαπαροσκοπικές επεμβάσεις ελέγχοντας τη λαπαροσκοπική κάμερα ανιχνεύοντας τις κινήσεις του κεφαλιού του χειρουργού.



Εικόνα 2.20:EndoAssist

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT
Βΐοιατρικές Εφαρμογές

Τα ρομπότ βρίσκουν λύσεις και για άτομα με αναπηρίες προσφέροντας τη δυνατότητα της τροχήλατης μετακίνησης τέτοιων ατόμων, συστήματα εξωσκελετών για υποβοήθηση της κίνησης των άκρων και τη δυνατότητα πρόσθετων βιονικών άκρων με προσομοίωση πραγματικών άκρων.



Εικόνα 2.21:Σύστημα Εξωσκελετού για παράλυτους

Στρατιωτικές Εφαρμογές

Η ρομποτική έχει βρει τη θέση της σε πολλά σώματα του στρατού όπως της ξηράς, του ναυτικού της αεροπορίας αλλά κ.α. Χρησιμοποιούνται για συλλογή δεδομένων με τη βοήθεια εναέριων drones. Εξυπηρετούν ως άψογοι φρουροί ακούραστοι και διαρκώς σε εγρήγορση. Υποβρύχια ρομπότ προσφέρουν τις υπηρεσίες τους στη ναρκαλλίευση και τέλος κάθε είδους κινητήριων ρομπότ στρατολογούνται για να συμμετέχουν σε ένοπλες συμπλοκές.



Εικόνα 2.22:Ρομποτικό Άρμα για Φύλαξη των Ισραηλινών Συνόρων

Γεωργικές και Κτηνοτροφικές Εφαρμογές

Σε πολλές αγροτικές περιοχές εναέρια ρομπότ όπως drones αλλά και κινούμενα ρομπότ βοηθάνε στο ψεκασμό, τη συγκομιδή, τη μεταφορά, τη διαλογή και τη συσκευασία των γεωργικών προϊόντων. Υπάρχουν επίσης ρομποτικά συστήματα τα οποία είναι υπεύθυνα για το άρμεγμα των ζώων.



Εικόνα 2.23:Ρομποτικά Οχήματα για συγκομιδή - Drones για ψεκασμό

Εφαρμογές Διάσωσης

Τα ρομπότ είναι ικανά να αντέξουν σε υψηλές θερμοκρασίες, μπορούν να σηκώσουν μεγαλύτερο βάρος από τους ανθρώπου και μπορούν να εντοπίσουν αντικείμενα αλλά και ανθρώπους ή ζώα μέσα σε δύσκολες καταστάσεις. Έτσι βρίσκουν εφαρμογή σε πυροσβεστικές αποστολές, για τη διάσωση εγκλωβισμένων ανθρώπων και ζώων αλλά μπορούν επίσης να χειριστούν την εξουδετέρωση εκρηκτικών χωρίς να θέτονται ανθρώπινες ζωές σε κίνδυνο.



Εικόνα 2.24: Σύστημα Διάσωσης από Πνιγμό - Όχημα Μεταφοράς Τραυματισμένων

Οικιακές Εφαρμογές

Έχουν αναπτυχθεί συσκευές όπως η αυτόνομη ηλεκτρική σκούπα η οποία βοηθάει στο καθαρισμό του σπιτιού, των χαλιών κα τοίχων. Ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν συσκευές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποφράξεις και για καθαρισμούς δεξαμενών.

Εφαρμογές Δημόσιων Σχέσεων

Τα ρομπότ μπορούν να συναντηθούν και σε χώρους όπου μπορούν να εξυπηρετήσουν τους ανθρώπους στην περιήγηση του ή ως υποδοχή προσφέροντας κύρος. Ενώ σε άλλη περίπτωση προσφέρουν τις υπηρεσίες τους για τη σαγήνη των θεατών, συμμετέχοντας σε διαφημιστικές καμπάνιες.

Δομικές Εφαρμογές

Τα ρομπότ είναι ικανά για τη μεταφορά υλικών, για τη ακριβής δόμηση μια κατασκευής και για την ασφαλή κατεδάφιση.

Είναι πολύ πιθανό στο κοντινό αλλά και μακροπρόθεσμο μέλλον τα ρομπότ να έχουν επεκτείνει τις υπηρεσίες τους σε εφαρμογές που αυτή τη στιγμή φαντάζει αδύνατο να γίνει. Καθώς η επιστήμη των ρομπότ συνεχίζει να αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς το επίπεδο τους σύντομα θα ανέβει σε καινούργιους ορίζοντες με ένα νέο πλήθος δυνατοτήτων.[7].

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Ανάλυση Ρομποτικού Βραχίονα

3.1 Σύνοψη Κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην ανάλυση των στοιχείων που αποτελούν μια κατασκευή ενός ρομποτικού βραχίονα. Παρόλο που υπάρχουν αρκετά είδη τα βασικά "συστατικά" που χρειάζονται για την ανάπτυξη του παραμένουν σταθερά. Η ανάλυση ενός ρομποτικού βραχίονα ξεκινάει από το σώμα του όπου διάφορα στιβαρά στοιχεία τα οποία ονομάζονται σύνδεσμοι ενώνονται μεταξύ τους μέσω των αρθρώσεων οι οποίες έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν ή περιστρέφουν του συνδέσμους του ρομπότ. Στο άκρο του ρομπότ θα υπάρχει το τελικό στοιχείο δράσης το οποίο θα εξυπηρετεί την ανάλογη εργασία που πρέπει να ολοκληρωθεί, είτε χρειάζεται να αρπάξει κάποιο τεμάχιο ή να επεξεργαστεί με κάποιο εργαλείο ένα υλικό. Το ρομπότ για να μπορεί να φέρνει ακόμα και πιο δύσκολες εργασίες εις πέρας χρησιμοποιεί διάφορους αισθητήρες για να ενημερώνεται με χρήσιμες πληροφορίες οι οποίες αφορούν το περιβάλλον του αλλά και τη κατάσταση λειτουργίας του ίδιου του ρομπότ. Βέβαια όλα αυτά τα εξαρτήματα του ρομπότ χρειάζονται ένα κέντρο επικοινωνίας ώστε να μπορούν να συνεργάζονται με σκοπό την εκτέλεση μιας προγραμματισμένης εργασίας. Ο ελεγκτής έχει αυτόν τον ρόλο και συχνά ορίζεται ως ο εγκέφαλος του ρομπότ καθώς είναι ο υπεύθυνος για την εκτέλεση της εργασίας με τη παράλληλη προσαρμογή των διάφορων παραμέτρων του σύμφωνα με πληροφορίες που ανατροφοδοτούνται σε αυτόν. Όπως αναφέρει και το όνομα του ο εγκέφαλος λαμβάνει κάθε σήμα από τους αισθητήρες και μπορεί να χειριστεί το σώμα του ρομπότ αναλόγως, όπως ο ανθρώπινος εγκέφαλος ο οποίος δέχεται οπτικές, ακουστικές, απτικές κ.α. πληροφορίες και μπορεί να εκπέμπει σήματα για την σχετική κίνηση των χεριών, των ποδιών και γενικά του σώματος.

Αν και παρουσιάστηκε παραπάνω μια αναφορική ανάλυση του ρομπότ είναι σίγουρο ότι χρειάζονται επιπλέον πληροφορίες και λεπτομέρειες για κάθε βήμα ώστε να γίνει επιτυχής η κατανόηση του κάθε στοιχείου. Για αυτό παρακάτω αναπτύσσονται τα πέντε θέματα που αφορούν την προηγούμενη ανάλυση ενώ σε παρακάτω κεφάλαια θα γίνει μεγαλύτερη εστίαση τους.

3.2 Το Σώμα του Ρομπότ

Πολύ σημαντικό κριτήριο για το σχεδιασμό του σώματος του ρομπότ αποτελεί ο χώρος εργασίας του καθώς και το βάρος του φορτίου με το οποίο θα αλληλεπιδράσει. Ο όγκος του σώματος του και η δύναμη που πρέπει να κατέχει το ρομπότ υπολογίζεται ανάλογα με αυτά τα κριτήρια. Ένας χώρος εργασίας του ρομπότ μπορεί να είναι τετραγωνικός, σφαιρικός, κυλινδρικός μέσα στους οποίους πρέπει να μεταφέρουν φορτία από μια γραμμή μεταφοράς σε μια άλλη ή να επεξεργαστούν κάποιο υλικό. Έτσι προκύπτουν διάφοροι τύποι ρομποτικού βραχίονα οι οποίοι εξυπηρετούν στους διάφορους χώρους με ανάλογες κινήσεις. Κάθε ένας από αυτούς χρειάζεται κατάλληλες αρθρώσεις ώστε να εκτελεί κινήσεις με σκοπό την ολοκλήρωση της εργασίας μέσα στον χώρο. Στο κεφάλαιο «Τύποι Ρομποτικού Βραχίονα» αναλύεται ο σχεδιασμός των βασικών τύπων ρομποτικού βραχίονα που χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες.

Σε κάθε περίπτωση το ρομπότ στηρίζεται σε μια σταθερή βάση η οποία προσαρμόζεται στο έδαφος ή σε έναν πάγκο εργασίας μιας κυψέλης. Μπορεί επίσης να αποτελεί μέρος ενός μεγαλύτερου ρομποτικού συστήματος. Η βάση συνδέεται με το υπόλοιπο σώμα, με τη βοήθεια διάφορων τύπων αρθρώσεων, το οποίο ανάλογα το σκοπό του διαφέρει σε σχεδιασμό και λειτουργικότητα. Η βάση του ρομπότ σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να περιέχει τη πρώτη άρθρωση η οποία βοηθά στη στρέψη του σώματος του ρομπότ κατά 360°. Δηλαδή τη πλήρης στρέψη του σώματος. Αυτή η άρθρωση ονομάζεται στρεπτική άρθρωση και προσφέρει περιστροφική κίνηση. Θα δοθεί παραπάνω εξήγηση των αρθρώσεων στο θέμα «Η κίνηση του Ρομπότ». Μέσα στη βάση του ρομπότ τοποθετείται ο ελεγκτής ο οποίος χειρίζεται όλη τη λειτουργία του ρομπότ οδηγώντας κάθε άρθρωση και επίσης το τελικό στοιχείο δράσης. Ο ελεγκτής ακολουθεί συγκεκριμένες μεθόδους ώστε να ελέγχει τις κινήσεις του ρομπότ οι οποίες θα εξηγηθούν στο θέμα «Η μονάδα ελέγχου του Ρομπότ».

Σχετικά με τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του σώματος του ρομπότ συνήθως λύνουν προβλήματα μόνωσης, διαχείρισης του βάρους του φορτίου, ανοχής στο χρόνο, στην κόπωση (φθορά) κ.α. Πάλι διακρίνεται ότι τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτιούνται από το περιβάλλον ή το χώρο στο οποίο βρίσκεται το ρομπότ παράλληλα με το φορτίο που θα αλληλεπιδράσει αλλά και την επιθυμητή λειτουργία του. Για παράδειγμα στη βιομηχανία αυτοκινήτων το ρομπότ χρειάζεται να χειρίζονται μέρη των αυτοκινήτων που κατέχουν μεγάλο βάρος και να μπορούν να εκτείνονται σε ένα σημείο για τη λήψη τους και σε ένα άλλο σημείο για την εγκατάστασή τους στο αυτοκίνητο. Αυτές οι κινήσεις εκτελούνται μέσα σε ένα διαμορφωμένο χώρο τον οποίο απαιτείται το ρομπότ να τον καλύπτει πλήρως ή εν μέρει.

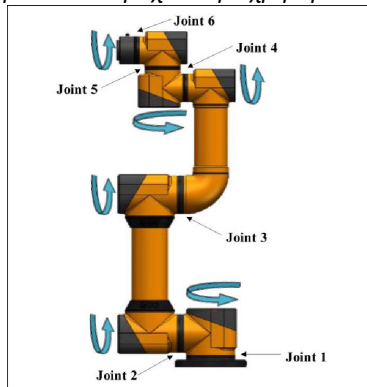
3.3 Η κίνηση του Ρομπότ

Το ρομπότ επιτυγχάνει την προσομοίωση των κινήσεων του βραχίονα με τη βοήθεια των αρθρώσεων του. Όπως ο άνθρωπος μπορεί να ελέγξει τη κίνηση του χεριού του μέσω του ώμου, του αγκώνα και του καρπού, έτσι και το ρομπότ αποτελείται από διάφορους τύπους αρθρώσεων για να μπορεί να εκτελεί παρόμοιες κινήσεις. Οι αρθρώσεις του ρομπότ μπορούν να κάνουν κινήσεις μεταφορικές και περιστροφικές καθοδηγώντας τα στιβαρά μέλη του σώματος του ρομπότ, τα οποία ονομάζονται σύνδεσμοι. Η κάθε άρθρωση ενώνει δύο συνδέσμους με το πρώτο να είναι ο σύνδεσμος εισόδου και ο δεύτερος ο σύνδεσμος εξόδου. Για καλύτερη κατανόηση η άρθρωση του αγκώνα ενός ανθρώπου ενώνει το σύνδεσμο εισόδου που αντιστοιχεί στο μπράτσο με το σύνδεσμο εξόδου που αντιστοιχεί με τον βραχίονα προσφέροντας περιστροφική κίνηση με τη περιορισμένη κάμψη 180° του συνδέσμου εξόδου πάνω και κάτω. Η διαφορά είναι ότι σε ένα ρομπότ το εύρος περιστροφής δεν περιορίζεται τόσο και μπορεί να κάμψει σχεδόν πλήρως το σύνδεσμο εξόδου, εκτός αν πρέπει να τεθεί κάποιο όριο για λόγους ασφάλειας. Στο κεφάλαιο «Τύποι Αρθρώσεων» ταξινομούνται και εξηγούνται οι διαθέσιμες αρθρώσεις των ρομπότ.

3.3.1 Βαθμοί Ελευθερίας (Degrees of Freedom)

Οι αρθρώσεις προσφέρουν στο ρομπότ βαθμούς ελευθερίας οι οποίοι αποδίδουν την ελευθερία κινήσεων του ρομπότ στο χώρο. Για να μπορεί να ανταπεξέλθει στο χώρο εργασίας του ένα ρομπότ συνήθως έχει τρεις (3) και πάνω βαθμούς ελευθερίας. Τα ρομπότ χρειάζεται να έχουν τουλάχιστον τρεις (3) βαθμούς ώστε να είναι δυνατή η μετακίνηση του άκρου εργασίας στις κατευθύνσεις Z με κατακόρυφες κινήσεις (πάνω - κάτω), X με γραμμικές κινήσεις (δεξιά - αριστερά) και Y με επίσης γραμμικές κινήσεις (μέσα - έξω). Επιπλέον στο καρπό του ρομπότ συνηθίζεται να υπάρχουν άλλοι τρεις (3) βαθμοί ελευθερίας οι οποίοι βοηθούν στον έλεγχο του προσανατολισμού του άκρου. Έτσι μπορεί το ρομπότ να κάμψει, να παρεκτρέψει και να στρέψει το καρπό του. Αυτές οι τρεις κινήσεις επιτυγχάνονται με τη χρήση αρθρώσεων περιστροφικής κίνησης και αναλογούν στη περιστροφή των αξόνων X , Y και Z αντίστοιχα.

Ο ορισμός της έννοιας του βαθμού ελευθερίας αποδίδεται ως εξής: « Ο αριθμός των ανεξάρτητων παραμέτρων, που προσδιορίζουν τη θέση ενός σώματος στο χώρο, ονομάζεται Βαθμός ελευθερίας». Ενώ ο ορισμός που έχει δοθεί για τον εντοπισμό του βαθμού ελευθερίας ενός ρομποτικού συστήματος είναι ο εξής: «Ένα ρομπότ με n βαθμούς ελευθερίας περιέχει n αρθρώσεις ή γενικά n άξονες κίνησης.»



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση Ρομποτικού Βραχίονα 6-DoF

3.3.2 Είδη και Χαρακτηριστικά Κινητήρων

Διάφοροι τύποι κινητήρων χρησιμοποιούνται για να προσφέρουν την κατάλληλη κίνηση σε κάθε άρθρωση. Στην επιλογή των αρθρώσεων οι κινητήρες έχουν σημαντικό ρόλο καθώς η επιλογή των χαρακτηριστικών του κινητήρα ορίζει τη ταχύτητα, την ακρίβεια, τη δύναμη κ.α.. Αρχικά μπορεί να επιλεγεί ο τύπος του κινητήριου συστήματος που θα τροφοδοτεί τους κινητήρες καθώς μπορεί να είναι ηλεκτρικό όπως συνηθίζεται αλλά υπάρχει επίσης το υδραυλικό αλλά και το πνευματικό κινητήριο σύστημα. Άλλο κριτήριο είναι ο τρόπος κατασκευής του αφού υπάρχουν “brushed”, “brushless”, “geared”, “servo”, “stepper” και “linear” κινητήρες όπου κάθε ένας προσφέρει διαφορετικές ικανότητες όπως τη ροπή, την ταχύτητα, την ακρίβεια, την αντοχή κ.α. Τελευταίο αλλά βασικό κριτήριο είναι η επιλογή της κίνησης που θα προσφέρει η άρθρωση η οποία όπως έχει αναφερθεί μπορεί να είναι είτε μεταφορική ή περιστροφική.

Οι κινητήρες που συναντώνται κατά κύριο λόγο στο εμπόριο είναι οι εξής:

- Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος (DC Motors) ή Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC Motors)

Κυρίως στις περισσότερες κατασκευές ρομποτικού βραχίονα χρησιμοποιούνται τα κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC Motors) ως πηγή τροφοδοσίας. Η χρήση κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (AC Motor) είναι πιο σπάνια. Σημαντικό χαρακτηριστικό το οποίο είναι βασικό κριτήριο σε μια κατασκευή ρομποτικού βραχίονα είναι η ικανότητα του κινητήρα να κινείται και στις δύο κατευθύνσεις, δηλαδή δεξιόστροφα και αριστερόστροφα. Αυτό το χαρακτηριστικό δηλώνει ότι ο κινητήρας είναι αναστρεφόμενος ενώ στη περίπτωση που μπορεί να κινηθεί μόνο σε μια από τις δύο κατευθύνσεις σημαίνει ότι το κινητήρες είναι μονόδρομο.

- Κινητήρες Συνεχούς Κίνησης (Continuous Motors) ή Βηματικά Μοτέρ (Stepping Motors)

Οι κινητήρες συνεχούς κίνησης και οι βηματικοί κινητήρες αποτελούν κατηγορίες κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Η διαφορά είναι ότι οι κινητήρες συνεχούς κίνησης θα περιστρέφονται συνεχώς μέχρι η παροχή ενέργειας να διακοπεί ή ο κινητήρας να φτάσει σε σημείο που δεν μπορεί να περιστραφεί άλλο. Οι βηματικοί κινητήρες περιστρέφονται μερικές μοίρες ανάλογα το βήμα τους και μετά σταματάνε.

- Σερβοκινητήρες (Servomotors)

Οι σερβοκινητήρες είναι υποκατηγορία των κινητήρων συνεχούς κίνησης η οποία είναι συνδυασμός κινητήρων συνεχούς ρεύματος και συνεχούς κίνησης. Είναι εξοπλισμένοι με ένα μηχανισμό ανάδρασης ώστε να εξασφαλιστεί μεγάλη ακρίβεια περιστροφής του κινητήρα.

Όσο αφορά τα χαρακτηριστικά των κινητήρων, τα κυριότερα είναι τα εξής:

- Η τάση λειτουργίας (Operating Voltage)

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Οι κινητήρες ταξινομούνται ανάλογα με τη τάση λειτουργίας τους. Υπάρχουν μικροί κινητήρες συνεχούς ρεύματος με τιμή τάσης 1.5 έως 6 Volt. Κάποιοι άλλοι κινητήρες έχουν τάση 12 με 24 Volt αλλά για μια κατασκευή ενός ρομπότ κυμαίνεται από 1.5 έως 12 Volt. Οι κινητήρες μπορούν να προσαρμοστούν και σε άλλες τάσεις λειτουργίας με τιμή λιγότερη από την ονομαστική τους αλλά και σε περιπτώσεις που την ξεπερνούν ελάχιστα.

- ο Η ένταση ρεύματος

Η ένταση του ρεύματος σχετίζεται με τη ποσότητα του ρεύματος που χρειάζεται ο κινητήρας για να περιστρέψει μια άρθρωση ή ένα σετ τροχών. Όσο μεγαλύτερο βάρος προσπαθεί ένας κινητήρας να περιστρέψει, τόσο μεγαλύτερη και η ποσότητα του ρεύματος που χρειάζεται να χρησιμοποιήσει.

- ο Η ταχύτητα

Η ταχύτητα περιστροφής του ρομπότ μετρείται σε στροφές ανά λεπτό (rpm – revolutions per minute). Συνήθως οι DC συνεχούς κίνησης φτάνουν στροφές τάξης των 4000 με 7000 rpm. Για ρομποτικές εφαρμογές η ταχύτητα που χρειάζεται είναι πολύ μικρότερη από τη παραπάνω. Χρειάζεται κινητήρας ταχύτητας τάξης 150 rpm. Ωστόσο η ταχύτητα αυτή είναι πολύ μικρή τάξη και για γίνει εφικτή αυτή η ταχύτητα χρησιμοποιούνται συστήματα μείωσης μετάδοσης της κίνησης ή γίνεται μέσω ηλεκτρονικού ελέγχου.

- ο Η ροπή στρέψης

Η ροπή στρέψης αναφέρεται στη δύναμη περιστροφής που παράγεται στον άξονα του κινητήρα. Όσο αυξάνεται η ροπή τόσο αυξάνεται η ικανότητα του κινητήρα δέχεται μεγαλύτερο φορτίο αλλά και τόσο περισσότερο μπορεί να περιστρέψει τον άξονα του κάτω από αυτό το φορτίο.

3.4 Το Τελικό Στοιχείο Δράσης (End – Effector)

Έπειτα υπάρχει το τελικό στοιχείο δράσης (end effector) του ρομπότ το οποίο εφάπτεται στο καρπό του και μπορεί να πάρει αρκετές μορφές ανάλογα τον σκοπό του. Ουσιαστικά είναι το μέλος του ρομπότ που θα αλληλεπιδράσει με το αντικείμενο ώστε να εκτελέσει τη διαδικασία που έχει προγραμματιστεί είτε είναι απλή μεταφορά ή επεξεργασία. Υπάρχουν δύο κατηγορίες τελικών στοιχείων δράσης, οι αρπάγες (grippers) και τα εργαλεία (process tools).

3.4.1 Αρπάγη (Gripper)

Τα ρομπότ πρέπει να μπορούν να "αρπάζουν" αντικείμενα και να τα μεταφέρουν από ένα σημείο σε ένα άλλο, ή να γίνεται συγκράτηση ενός κομματιού ή υλικού για την επεξεργασία του και αυτά επιτυγχάνονται με τη χρήση αρπάγης. Ανάλογα με το τεμάχιο ή αντικείμενο που πρέπει να χειριστεί χρησιμοποιούνται διάφορες παραλλαγές αρπάγης. Όσο αφορά τις αρπάγες ένας πολύ συνηθισμένος σχεδιασμός είναι στη μορφή δαγκάνας με τα δάχτυλα να ποικίλουν από δύο (2) ή τρία (3) και παραπάνω. Τα δάχτυλα της μπορεί να είναι εύκαμπτα ή συμπαγές για την ανάλογη πίεση. Αυτό το είδος αρπάγης μπορεί να έχει ηλεκτρικές, πνευματικές και υδραυλικές εκδόσεις, κατασκευάζεται σε πολλά μεγέθη εξυπηρετώντας σε δύναμη και εύρος κινήσεων, μπορεί να αρπάζει το αντικείμενο με εσωτερικές (κλείσιμο) αλλά και εξωτερικές (άνοιγμα) κινήσεις και είναι ικανό να χειρίζεται ακόμα και πολύ εύθραυστα προϊόντα. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου διάφορα εργαλεία που χρειάζονται για την εκτέλεση εργασιών μέσα σε ένα κύκλο λειτουργίας κρατιούνται από την αρπάγη αντί να εφάπτονται στη θέση της. Άλλοι τύποι αρπάγης διαφέρουν από το παραπάνω σχεδιασμό καθώς χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις για τον χειρισμό συγκεκριμένων υλικών ή αντικειμένων. Για παράδειγμα μπορεί να έχουν βεντούζες, μαγνήτες ή ακόμα και ειδικές κολλητικές ουσίες για να μπορούν να αλληλεπιδρούν με το ενδιαφερόμενο στοιχείο.



Εικόνα 3.2:Απεικόνιση Αρπάγης τύπου Διπλής Αρπάγης

3.4.2 Εργαλεία (Tools)

Τα ρομπότ εκτός από τις αρπάγες χρησιμοποιούν συχνά εργαλεία για να εκτελούν διαφορετικές εργασίες. Πολύ συχνά στο άκρο του ρομπότ εφάπτονται πιστόλια συγκόλλησης, πιστόλια ψεκασμού, κατσαβίδια, τρυπάνια, εργαλεία κοπής, ακόμα και βούρτσες. Συνδέονται επίσης συσκευές απορρόφησης αέρα οι οποίες μπορούν να πιάνουν μεγάλα φορτία σαν βεντούζα αλλά και εφαρμογές ύδρευσης όπου το νερό ψεκάζεται με μεγάλη πίεση ικανό να χαράξει ή και να κόψει διάφορα υλικά. Το κεφάλαιο «Τύποι Τελικού Στοιχείου Δράσης» ασχολείται με την ανάλυση των ειδών των διάφορων τελικών στοιχείων δράσης όσο αφορά τις αρπάγες αλλά και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία.



Εικόνα 3.3:Ενσωματωμένο Κατσαβίδι

Τα τελικά στοιχεία συνδυάζονται με αισθητήρες όρασης όπως κάμερες, απόστασης για την αποφυγή σύγκρουσης, θέσης ώστε να μπορεί το ρομπότ να κατευθύνει το σώμα του σωστά για την εξασφάλιση της ασφάλειας μέσα στο χώρο του ρομπότ αλλά επίσης εξυπηρετεί και άλλες λειτουργίες κατά το προγραμματισμό. Στο θέμα «Αισθητήρια Συστήματα του Ρομπότ» θα αναφερθούν διάφορα είδη αισθητήρων.

3.5 Αισθητήρια Συστήματα του Ρομπότ

Οι αισθητήρες είναι συστήματα τα οποία μετρούν μια φυσική ποσότητα όπως το βάρος, η θερμοκρασία, το φως κ.α. και την μεταφράζουν αυτή τη πληροφορία σε ένα ηλεκτρικό σήμα για την κατανόηση του από τον επεξεργαστή του ρομπότ. Τα αισθητήρια συστήματα αναβαθμίζουν τη συνολική λειτουργία του ρομπότ. Προσφέρουν αισθήσεις όπως η όραση, η αφή, η προσέγγιση κ.α. ώστε να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους και τη κατάσταση λειτουργίας τους το οποίο αφορά τη θέση του ρομπότ, τις κινήσεις του βραχίονα του κ.α. αλλά και να προστατεύουν τον εαυτό τους και τους γύρω τους. Οι

αισθητήρες είναι συσκευές οι οποίες μπορούν να λειτουργούν με μηχανικά μέρη, με χημικές τροποποιήσεις ή με ηλεκτρική ενέργεια. Ο τρόπος λειτουργίας των αισθητήριων συστημάτων βασίζεται στην αρχή της μεταγωγής κατά την οποία όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε μια άλλη. Οι αισθητήρες χαρίζουν την ικανότητα στο ρομπότ να αισθάνεται διάφορες καταστάσεις γύρω του ώστε να είναι σε θέση να αντιδρά σε αυτές. Στέλνουν ειδικά σήματα στον ελεγκτή για την επεξεργασία τους στα οποία τα ρομπότ ανταποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο και διαμορφώνουν τις δράσεις τους ανάλογα με τις συνθήκες του ρομπότ, του περιβάλλοντος του αλλά και τυχόν σφάλματα που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης. Τα ρομπότ πρέπει να γνωρίζουν τέτοιες πληροφορίες για να εκτελούν περίπλοκες εργασίες όπως είναι η συναρμολόγηση όπου το ρομπότ αναγνωρίζει κάθε κομμάτι που χρειάζεται για την .

Στη ρομποτική υπάρχουν πολλοί τύποι αισθητήρων οι οποίοι χρησιμοποιούνται τακτικά σε πολλές εφαρμογές. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι οι εσωτερικοί αισθητήρες και οι εξωτερικοί αισθητήρες.

- × Οι εσωτερικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της θέσης και της ταχύτητας των αρθρώσεων του ρομπότ και ποτενσιόμετρα με οπτικούς κωδικοποιητές αποτελούν τυπικές επιλογές για τον έλεγχο της θέσης, ενώ ταχύμετρα ελέγχουν τη ταχύτητα.
- × Οι εξωτερικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη καθοδήγηση του ρομπότ σε σχέση με άλλα εξαρτήματα ή εμπόδια μέσα στο χώρο εργασίας. Ενημερώνουν το ρομπότ ότι το αντικείμενο που πρέπει να αρπάξει έχει φτάσει στη θέση του ή ότι έχει τοποθετηθεί καταλλήλως για τη λήψη του. Τέτοια αισθητήρια συστήματα μπορεί να είναι απλά ένας τερματικός διακόπτης ή κάτι πιο περίπλοκο ανάλογα το αντικείμενο και τον τρόπο που είναι επιθυμητή η λήψη του.

Κάποια παραδείγματα αισθητήριων συστημάτων συμπεριλαμβάνουν τα εξής:

➤ Απτικοί Αισθητήρες (Tactile Sensor)

Εντοπίζουν οποιαδήποτε επαφή γίνεται ανάμεσα στον αισθητήρα και κάποιο άλλο αντικείμενο. Οι απτικοί αισθητήρες χωρίζονται σε δύο τύπους επαφών. Τους Αισθητήρες Επαφής (Touch Sensor) οι οποίοι ενεργοποιούνται απλά όταν γίνει επαφή με ένα αντικείμενο και τους Αισθητήρες Δύναμης (Force Sensor) που υποδεικνύουν εκτός από την ύπαρξη επαφής με ένα αντικείμενο και το μέγεθος της δύναμης με την οποία γίνεται η επαφή.

➤ Αισθητήρας Εγγύτητας (Proximity Sensor)

Ειδοποιεί τον ελεγκτή όταν ένα αντικείμενο είναι κοντά στον αισθητήρα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσει την απόσταση μεταξύ τους. Σε αυτή τη περίπτωση ένα τέτοιος αισθητήρας ονομάζεται εμβέλειας.

➤ Οπτικοί Αισθητήρες (Optical Sensor)

Περιλαμβάνουν τη χρήση φωτοκύτταρων ή άλλων φωτομετρικών συσκευών οι οποίες εντοπίζουν αν υπάρχουν ή όχι κοντινά αντικείμενα.

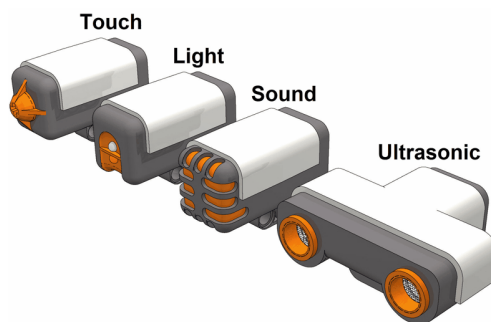
➤ Μηχανική Όραση (Machine Vision)

Πολύ σημαντική λειτουργία η οποία χρησιμοποιείται για επιθεώρηση, αναγνώριση κομματιών, καθοδήγηση του ρομπότ κ.α.

- Άλλοι αισθητήρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη ρομποτική έχουν να κάνουν με τη μέτρηση της θερμότητας, της πίεσης υγρών, της ροής υγρών, της τάσης, του ρεύματος κ.α.

Οι αισθητήρες συμπληρώνουν ένα κύκλωμα ανατροφοδότησης με τον ελεγκτή του ρομπότ για τη συνεχή επιτήρηση των παραμέτρων τους με σκοπό τη ανάλογη ρύθμιση κάποιων μεταβλητών. Αυτό που εννοείται εδώ είναι ότι σε μια ρομποτική εφαρμογή το ρομπότ ίσως χρειάζεται να μπορεί να αναγνωρίζει εμπόδια στο δρόμο του ώστε σε μια συγκεκριμένη απόσταση από αυτά να αλλάζει τις μεταβλητές κατεύθυνσης ή ταχύτητας κτλ. μέχρι να ικανοποιούνται οι επιθυμητές απαιτήσεις.

Η επιλογή των κατάλληλων αισθητήρων είναι όπως φαίνεται πολύ σημαντική. Διαμορφώνει την επίγνωση διάφορων καταστάσεων και αλλαγών στο χώρο εργασίας ενός ρομπότ αλλά ενημερώνει και για τη λειτουργική κατάσταση του ίδιου του ρομπότ. Κατά το προγραμματισμό του οι μετρήσεις που αναφέρονται από τους αισθητήρες βοηθούν στη προσαρμογή του κώδικα σύμφωνα με επιθυμητές λειτουργίες του ρομπότ. Αυτό που διευκρινίζεται εδώ είναι ότι με τη βοήθεια σύγκρισης διάφορων μετρήσεων με επιθυμητές τιμές μέσα στο κώδικα ενός ρομπότ μπορεί να γίνει εφικτή για παράδειγμα μια επιθυμητή τροχιά, μια επιθυμητή αναγνώριση αλλά και άλλες παρόμοιες δυνατότητες.



Εικόνα 3.4: Αισθητήρες Αφής, Φωτός, Ήχου και Υπεριώδης

Ο ελεγκτής του ρομπότ στον οποίο θα αναφερθούν παραπάνω πληροφορίες στο θέμα «Η μονάδα ελέγχου του Ρομπότ» είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση εντολών ώστε να οδηγήσει το ρομπότ στη προγραμματισμένη λειτουργία. Κατά την εκτέλεση είναι επίσης παρόν καθώς παρατηρεί κάθε αλλαγή στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον του ρομπότ και περιμένει τις κατάλληλες μετρήσεις για να πραγματοποιήσει τις αντίστοιχες τροποποιήσεις στη λειτουργία του.

3.6 Η Μονάδα Ελέγχου του Ρομπότ

Ο ελεγκτής ενός ρομποτικού συστήματος αποκαλείται συχνά ως ο εγκέφαλος του ρομπότ. Η μονάδα ελέγχου είναι ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο συνδέεται με το ρομπότ ώστε να ελέγχει τις κινήσεις του και ο έλεγχος της μονάδας εκτείνεται μέχρι και τα τελικό στοιχείο δράσης. Αυτό σημαίνει ότι έχει τον έλεγχο της λειτουργίας της αρπάγης ή του εργαλείου που εφάπτεται στο άκρο του ρομπότ και μπορεί να ενεργοποιήσει και να απενεργοποιήσει το στοιχείο δράσης αλλά και να το ρυθμίσει ανάλογα εφόσον αυτό είναι εφικτό. Οι αισθητήρες που είτε ενσωματώνονται στο ρομπότ ή εφαρμόζονται στο περιβάλλον του μπορούν να επικοινωνήσουν με τον ελεγκτή μέσω τις διασυνδέσεις που διαθέτει η μονάδα ελέγχου και ο οποίος είναι ικανός να μεταφράζει τα σήματα τους. Ως αποτέλεσμα ο ελεγκτής μπορεί να επιβλέπει τις κινήσεις του ρομπότ με το τι συμβαίνει στο χώρο του σε σχέση με τη θέση των αξόνων του. Μέσω του ελεγκτή γίνεται δυνατός ο προγραμματισμός του ρομπότ. Ο κώδικας του προγράμματος αποκωδικοποιείτε από τον ελεγκτή και μεταφράζεται σε οδηγίες για τους κινητήρες του βραχίονα ώστε να ρυθμίσει τις αρθρώσεις του με τον επιθυμητό τρόπο. Ο ελεγκτής μπορεί να έχει έτοιμες προκαθορισμένες λειτουργίες για το ρομπότ τα οποία προγράμματα μπορούν εύκολα να κωδικοποιηθούν μέσω μιας συσκευής διδασκαλίας (teach pendant). Όμως έχουν και τη δυνατότητα του προγραμματισμού νέων λειτουργιών.



Εικόνα 3.5: Μονάδα Ελέγχου KUKA για Ρομποτικό Βραχίονα 8 αξόνων

3.6.1 Σύστημα Διδασκαλίας

Η συσκευή διδασκαλίας είναι σημαντικό σύστημα του ελεγκτή καθώς χρησιμοποιείται ως κύρια μέθοδος προγραμματισμού του ρομπότ. Μπορεί να είναι μια συσκευή η οποία αποτελείται από κουμπιά και διακόπτες ή να είναι μια οθόνη επαφής όπου η επιφάνεια εργασίας επιτρέπει την εισαγωγή προγραμματιστικών εντολών. Ο χειριστής του ρομπότ αλληλεπιδρά με αυτή τη συσκευή προγραμματίζοντας το ρομπότ κωδικοποιώντας τις εντολές. Η συσκευή διδασκαλίας είναι αρκετά απλοποιημένη ώστε να είναι φιλική απέναντι και σε χρήστες που δεν έχουν τις πιο εξειδικευμένες γνώσεις που χρειάζεται για τον κύριο προγραμματισμό του ρομπότ. Η επιφάνεια εργασίας της συσκευής αναπαριστά το σχέδιο του ρομπότ, πιθανόν διάφορες ήδη προγραμματισμένες τροχιές και επιτρέπει στη ρύθμιση των παραμέτρων των αρθρώσεων του ρομπότ. Μπορεί επίσης ο χειριστής της συσκευής να επηρεάσει και άλλες παραμέτρους όπως η ταχύτητα του ρομπότ και σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να διαθέτει τη λειτουργία καταγραφής μιας επιθυμητής τροχιάς κατά τη χειροκίνητη καθοδήγηση του ρομπότ. Σε αυτή τη λειτουργία ο χειριστής του ρομπότ μπορεί εύκολα να προγραμματίσει μια νέα τροχιά οδηγώντας ο ίδιος χειροκίνητα το βραχίονα στις θέσεις που επιθυμεί, ενώ ο ελεγκτής του ταυτόχρονα τις αποθηκεύει στις αντίστοιχες παραμέτρους του για να μπορέσει να αναπαραστήσει αυτή την κίνηση. Έπειτα ο ελεγκτής επεξεργάζεται τις κωδικοποιημένες εντολές του προγράμματος και εκτελεί τη λειτουργία του ρομπότ σύμφωνα με το πρόγραμμα.



Εικόνα 3.6: Απεικόνιση ενός SmartPad Teach Pendant της KUKA

Ο τρόπος λειτουργίας του συγκεκριμένου μοντέλου δεν διαφέρει αρκετά από άλλα συστήματα διδασκαλίας. Υπάρχουν κουμπιά που αφορούν τα προγράμματα του ρομπότ πάνω αριστερά, κουμπιά ρύθμισης του καρπού κάτω αριστερά και κουμπιά αυξομείωσης των αξόνων κ.α. στη δεξιά πλευρά. Επίσης διακρίνεται το κόκκινο κουμπί άμεσης παύσης λειτουργίας του ρομπότ.

Ο τρόπος που συνεργάζονται όλα τα μέρη του ρομπότ μέσω του προγραμματισμού του καθορίζουν την ποιότητα και την απόδοση του ρομποτικού συστήματος. Σε επόμενα κεφάλαια θα δοθεί μεγαλύτερη εμβάθυνση στο τρόπο λειτουργίας των διάφορων εκδοχών ενός ρομποτικού βραχίονα, στα χαρακτηριστικά και τις ικανότητες του και πως βοηθάνε στην αύξηση του ρυθμού παραγωγής σε κάθε εγκατάστασή τους. Σε αυτό το κεφάλαιο έγινε μια εισαγωγή στην λειτουργία του ρομποτικού βραχίονα. Ο σχεδιασμός και η επιλογή των εξαρτημάτων που ολοκληρώνουν το ρομπότ βασίζονται όπως αναφέρθηκε στο χώρο στον οποίο το ρομπότ θα εργάζεται και θα μπορεί να κινηθεί αλλά και την επιθυμητή λειτουργία που θα πρέπει να ακολουθεί. Στα επόμενα κεφάλαια θα γίνει κατανοητός ο λόγος που τα κριτήρια αυτά καθορίζουν πολλές παραμέτρους όπως το μέγεθος του ρομπότ, τον αριθμό και τον τύπο των αρθρώσεων, τη μορφή του τελικού στοιχείου δράσης, τα είδη αισθητήρων κτλ. [8],[9].

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Ικανότητες και Χαρακτηριστικά Ρομποτικού Βραχίονα

4.1 Σύνοψη Κεφαλαίου

Το κεφάλαιο αυτό ασχολείται με τις ικανότητες και τα χαρακτηριστικά του ρομποτικού βραχίονα. Έχει ήδη γίνει αναφορά σε κάποια από αυτά σε προηγούμενο κεφάλαιο όπως ο χώρος εργασίας του ρομπότ, η ταχύτητα και η ακρίβεια. Παρακάτω θα αποκαλυφθούν και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των ρομπότ.

Τα ρομπότ διακρίνονται για την απόδοση τους στο χώρο παραγωγής. Έχουν την δυνατότητα να επαναπρογραμματίζονται κάθε φορά ώστε να μπορούν να εξυπηρετούν το αντίστοιχο επιθυμητό αποτέλεσμα. Είναι ιδανικά για την εκτέλεση πολλών δύσκολων και αδύνατων για τον άνθρωπο εργασιών αλλά και για πιο εύκολες εργασίες οι οποίες είναι πολύ επαναλαμβανόμενες και καταλήγουν κουραστικές για τον άνθρωπο. Υπερισχύουν σε ταχύτητα και ακρίβεια τα οποία οδηγούν σε μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Αυτό βασίζεται επίσης σε διάφορες ικανότητες και λειτουργικά χαρακτηριστικά που κατέχουν τα ρομπότ. Παρακάτω θα γίνει επεξήγηση αυτών ξεκινώντας με το χώρο εργασίας στον οποίο έχει γίνει αναφορά για την σημαντικότητα του.

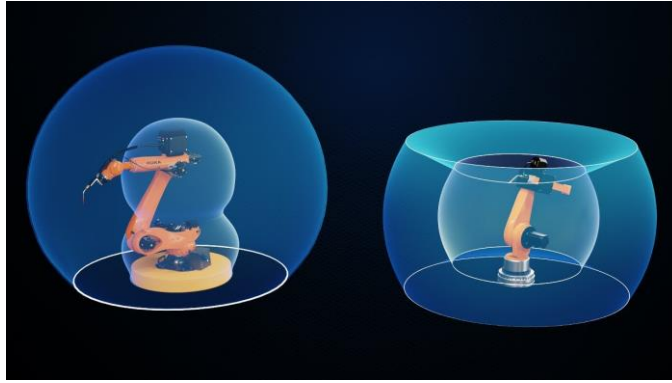
4.2 Χώρος Εργασίας (Work Envelope)

Αρχικά θα ήταν χρήσιμο να διαχωριστεί η έννοια του χώρου εργασίας με το χώρο εργασίας του ρομπότ αν και οι δύο αυτές έννοιες συνδέονται μεταξύ τους.

Ως χώρος εργασίας ορίζεται η περιοχή μέσα στην οποία πρέπει να γίνει μια μεταφορά ή κάποια άλλη κίνηση. Σε αυτό το χώρο μπορεί να υπάρχει το τέλος ενός ταινιόδρομου και η αρχή ενός άλλου ή περισσότερων γραμμών που οδηγούν σε επεξεργασία ή για ταξινόμηση των τεμαχίων. Αλλιώς μπορεί να υπάρχει οτιδήποτε άλλο που είναι επιθυμητό για την ολοκλήρωση μιας εργασίας. Συνήθως το σχήμα αυτού του χώρου και η τοποθεσία των επιθυμητών σημείων που χρειάζεται το ρομπότ να φτάσει με το άκρο του υποδεικνύει τις απαιτούμενες κινήσεις που πρέπει να εκτελούνται από το ρομποτικό σύστημα το οποίο βοηθάει στην επιλογή τύπου του ρομποτικού βραχίονα.

Ο χώρος εργασίας του ρομπότ αναφέρεται ως επιδέξιος χώρος εργασίας του ρομπότ. Τα ρομπότ ορίζουν τη περιοχή που μπορούν να καλύψουν μέσα στο χώρο εργασίας από το εύρος στο οποίο μπορούν να κατευθύνουν και να προσανατολίσουν το άκρο τους. Το εύρος αυτό επηρεάζεται από παραμέτρους όπως το μέγεθος του σώματος του ρομπότ, το μέγεθος, τον αριθμό και τις κινήσεις που παρέχουν οι άξονες του. Όπως έχει επισημανθεί ο χώρος εργασίας είναι πολύ σημαντικός για την επιλογή του κατάλληλου ρομπότ. Οπότε για τη καλύτερη κατανόηση του ακολουθεί μια επεξήγηση των παραπάνω παραμέτρων.

1. Συγκεκριμένα το μέγεθος του ρομπότ και των στοιχείων που αποτελούν τους συνδέσμους του ρομπότ αποτυπώνουν την κλίμακα του χώρου. Για παράδειγμα ένα κυλινδρικό ρομπότ το οποίο αποτελεί έναν τύπο ρομποτικού βραχίονα μπορεί να διαμορφώσει ένα κυλινδρικό χώρο εργασίας. Το μέγεθος του ρομπότ και των συνδέσμων του θα μεγεθύνει ή θα σμικρύνει αυτό το χώρο.
2. Ο αριθμός και η ανάλογη παροχή κίνησης των αρθρώσεων του ρομπότ διαμορφώνουν το γεωμετρικό σχήμα του χώρου εργασίας. Ρομπότ με πολλές αρθρώσεις όπως τα αρθρωτά ρομπότ αποτελούνται συνήθως από έξι (6) και πάνω με περιστροφική κίνηση όπου σχηματίζουν ένα κυκλικό χώρο εργασίας. Ενώ ένα καρτεσιανού τύπου ρομπότ που αποτελείται από αρθρώσεις με μεταφορική κίνηση μπορούν να σχηματίζουν ένα τετραγωνικό ή παραλληλόγραμμο χώρο εργασίας. Όπως φαίνεται η επιλογή άρθρωσης με μεταφορική ή περιστροφική κίνηση μπορεί να οδηγήσει σε διάφορα σχήματα για το χώρο εργασίας του ρομπότ.



Εικόνα 4.1: Απεικόνιση του Επιπέξιου Χώρου Εργασίας ενός Αρθρωτού και ενός Σφαιρικού Ρομποτικού Βραχίονα

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1 ο επιπέξιος χώρος ενός ρομποτικού βραχίονα εξαρτάται από το σχεδιασμό του ενώ παρατηρείται επίσης ότι υπάρχει ένα ποσοστό του χώρου που ρομπότ δεν θα μπορεί να φτάσει λόγω κατασκευαστικών περιορισμών, ο οποίος φαίνεται στην Εικόνα 4.1 με το πιο ανοικτό μπλε χρώμα.

4.3 Ειδική Χωρική Ανάλυση (Resolution)

Η ειδική χωρική ανάλυση του ρομπότ διαμορφώνεται από το σχεδιασμό της μονάδας ελέγχου σε συνεργασία με τους αισθητήρες θέσης και τον επιλεγμένο κινητήρα. Αυτή η λειτουργία επιτρέπει τη διαίρεση του χώρου εργασίας του ρομπότ σε ένα πλέγμα. Η μονάδα ελέγχου ρυθμίζει τις αρθρώσεις των ρομπότ να εκτελούν βηματικές κινήσεις για την ολοκλήρωση μια περιστροφής ή επιμήκυνσης του συνδέσμου εξόδου μέσω προγραμματιστικών εντολών. Αυτός ο τρόπος οδηγεί στη προγραμματισμένη ειδική χωρική ανάλυση. Η προγραμματισμένη ειδική χωρική ανάλυση ενός ρομπότ αντιστοιχεί στο μικρότερο επιτρεπόμενο βήμα το οποίο μπορεί η μονάδα ελέγχου να διαιρέσει μια επιθυμητή κίνηση ή αλλιώς το πλέγμα των αρθρώσεων του.

4.4 Ακρίβεια (Accuracy)

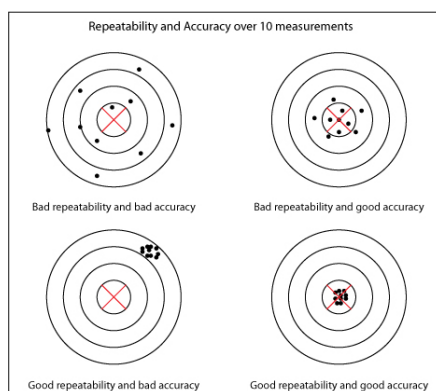
Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό το οποίο σε πολλές περιπτώσεις απαιτείτε σε μεγάλο ποσοστό αποτελεί η ακρίβεια. Το ρομπότ θα πρέπει να τοποθετεί το άκρο του σε μια επιθυμητή θέση. Όμως στη πραγματικότητα το ρομπότ θα προσπαθήσει να φτάσει αυτή τη θέση όσο καλύτερα μπορεί καθώς σε μια αληθινή εφαρμογή υπάρχουν παράγοντες όπως οι αδράνεις που προκαλούνται οι οποίες οδηγούν σε σφάλματα. Ρομπότ με μεγάλη ακρίβεια είναι ικανά να φτάσουν την επιθυμητή θέση με ανεπαίσθητο σφάλμα ενώ άλλα ρομπότ με μικρή ακρίβεια έχουν μεγαλύτερο σφάλμα μεταξύ της πραγματικής θέσης του άκρου τους με αυτή της επιθυμητής. Συγκεκριμένα με τη πραγματική θέση εννοείτε η θέση που φτάνει το ρομπότ στη πραγματικότητα ενώ η επιθυμητή θέση εννοεί τη θέση που είναι επιθυμητό θεωρητικά να φτάσει το ρομπότ.

Οπότε η μεγάλη ακρίβεια ενός ρομπότ μπορεί να οριστεί η ικανότητα του να τοποθετήσει το άκρο του σε μια θέση η οποία απέχει από την επιθυμητή με όσο μικρότερο σφάλμα είναι εφικτό.

4.5 Επαναληψιμότητα (Repeatability)

Η επαναληψιμότητα είναι ο όρος στη ρομποτική ο οποίος ορίζει την ικανότητα του ρομπότ να επαναλαμβάνει με συνοχή την μετακίνηση του άκρου του σε ένα σημείο και να επιστρέφει σε αυτό ξανά και ξανά. Το ρομπότ στη πραγματικότητα θα εκτελέσει μια μεταφορά του άκρου του σε ένα σημείο στο χώρο εργασίας και θα επιστρέψει σε αυτό ξανά και ξανά με σφάλμα τάξης χιλιοστού (± 0.2 με 0.4 mm). Η απόκλιση οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη λειτουργία του, ο βραχίονας χάνει λίγο από τη μέτρηση της θέσης με αποτέλεσμα να μη μπορεί να επιστρέψει στη συγκεκριμένη θέση μετά από ορισμένους κύκλους λειτουργίας. Αυτή η ικανότητα του ρομπότ είναι επίσης πολύ χρήσιμη και σε πολλές περιπτώσεις είναι ιδανικό να συνδυάζεται με μεγάλη ακρίβεια.

Οι δύο αυτές έννοιες μπορεί να ακούγονται παρόμοιες αλλά δεν είναι αλληλένδετες. Ένα ρομπότ με μεγάλη επαναληψιμότητα δεν είναι σίγουρο ότι έχει μεγάλη ακρίβεια αλλά και το αντίστροφο. Αυτό σημαίνει ότι το ρομπότ μπορεί να μεταφέρεται από και προς ένα σημείο με μεγάλη επαναληψιμότητα αλλά το σημείο αυτό να απέχει από την επιθυμητή θέση. Ενώ στην αντίθετη περίπτωση το ρομπότ μπορεί να πετυχαίνει με μεγάλη ακρίβεια την επιθυμητή θέση αλλά την επόμενη φορά που θα επιχειρήσει να την φτάσει θα τη προσεγγίσει με μικρό σχετικό σφάλμα αλλά σε διαφορετικό σημείο από το προηγούμενο. Φυσικά σε μια εφαρμογή όπου αυτό το σφάλμα είναι ανεκτό μπορεί να εκτιμηθεί ότι δεν προκαλεί μεγάλο πρόβλημα και αυτό βέβαια ισχύει αλλά όχι σε όλες τις εφαρμογές.



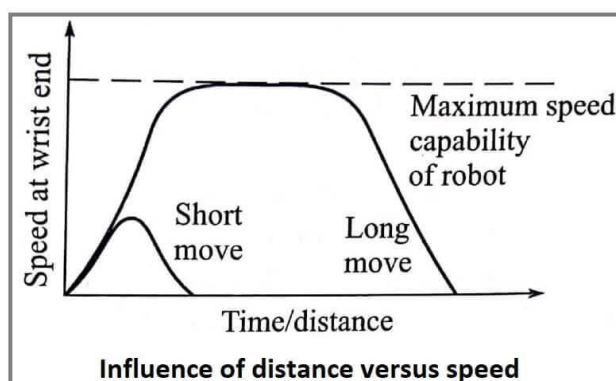
Εικόνα 4.2:Επίδειξη Συνδυασμών Ακρίβεια και Επαναληψιμότητας

Όπως φαίνεται στη Εικόνα 4.2 υπάρχουν τέσσερις (4) πιθανοί συνδυασμοί. Στη πρώτη περίπτωση, πρώτη γραμμή και στήλη, αντιπροσωπεύεται ένα σύστημα με κακή ακρίβεια και επαναληψιμότητα καθώς τα σημεία που προσεγγίζει το άκρο του ρομπότ απέχουν από το επιθυμητό σημείο αλλά και μεταξύ τους. Στη δεύτερη περίπτωση, πρώτη γραμμή και δεύτερη στήλη, αντιπροσωπεύεται ένα σύστημα με καλή ακρίβεια αλλά κακή επαναληψιμότητα, καθώς τα σημεία που προσεγγίζει το άκρο του ρομπότ είναι πάνω ή πολύ κοντά στο επιθυμητό σημείο αλλά συνεχίζουν να έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Στη τρίτη περίπτωση, δεύτερη γραμμή και πρώτη στήλη, αντιπροσωπεύεται ένα σύστημα με κακή ακρίβεια αλλά καλή επαναληψιμότητα καθώς τα σημεία που προσεγγίζει το άκρο του ρομπότ είναι πολύ μακριά από το επιθυμητό σημείο αλλά τα σημεία απέχουν ελάχιστα το ένα από το άλλο. Στη τελευταία περίπτωση, δεύτερη γραμμή και στήλη, αντιπροσωπεύει ένα ιδανικό σύστημα με καλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα καθώς τα σημεία που προσεγγίζει το ρομπότ είναι πάν στο επιθυμητό σημείο ενώ ταυτόχρονα τα σημεία αυτά απέχουν ελάχιστα μεταξύ τους.

4.6 Ταχύτητα (Speed)

Η ταχύτητα ενός ρομπότ καθορίζει το χρόνο που χρειάζεται για να τοποθετήσει το άκρο του στη θέση που του έχει προσδιοριστεί. Πιο συγκεκριμένα η ταχύτητα του ρομπότ εξαρτάται από τη γραμμική ή περιστροφική ταχύτητα του κάθε άξονα ή αλλιώς τη σύνθετη ταχύτητα κατά την οποία όλοι οι άξονες του ρομπότ κινούνται με σκοπό να τοποθετήσουν το άκρο του στην επιθυμητή θέση.

Υπάρχουν όμως κι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη ταχύτητα του ρομπότ. Το βάρος του φορτίου προσθέτει αδράνεια στο ρομπότ και για την ασφάλεια του ρομπότ η ταχύτητα του ρυθμίζεται ανάλογα. Η απόσταση που πρέπει να διανύσει είναι επίσης ένα παράγοντας που επηρεάζει τη ταχύτητα ενώ σε περίπτωση που χρειάζεται να κάνει μικρές αποστάσεις πρέπει να λειτουργεί με ένα μικρό ποσοστό της μέγιστης ταχύτητας του όπως δείχνει η Εικόνα 4.3. Η επιθυμητή ακρίβεια του ρομπότ επηρεάζει τη προγραμματιζόμενη μέγιστη ταχύτητα καθώς είναι δύο αντιστρόφως ανάλογοι παράγοντες. Οπότε σε ένα ρομπότ που πρέπει να υπάρχει μεγάλη ακρίβεια, η ταχύτητα ρυθμίζεται για το αντίστοιχο αποτέλεσμα.



Εικόνα 4.3: Απόδοση της ταχύτητας του ρομπότ σε μικρές και μεγάλες αποστάσεις

4.7 Επιτάχυνση (Acceleration)

Αρχικά ως γενικός ορισμός της επιτάχυνσης μπορεί να ορίζεται η ικανότητα ενός σώματος να αυξάνει τη ταχύτητα του στη πάροδο του χρόνου. Σε ένα ρομπότ η επιτάχυνση του εξαρτάται από την ικανότητα των αρθρώσεων σε συνδυασμό με τους συνδέσμους του να επιταχύνουν τις κινήσεις τους μέσα σε χιλιοστά του δευτερολέπτου. Η κατάλληλη τιμή αυτού του χαρακτηριστικού προκύπτει μέσα από δοκιμές και πιθανόν κάποιων προτιμήσεων.

4.8 Μέγιστο Φορτίο και Χωρητικότητα (Max Load and Capacity)

Η ικανότητα των ρομπότ να μεταφέρουν βαριά αντικείμενα είναι ξεχωριστή και πολύ χρήσιμη ιδιαίτερα στα βιομηχανικά ρομπότ. Έτσι το όριο του μέγιστου φορτίου που μπορούν να κουβαλήσουν είναι κρίσιμο σε τέτοιες εφαρμογές. Το φορτίο ισοδυναμεί με το μέγιστο βάρος που μπορεί ο ρομποτικός βραχίονας να μεταφέρει το οποίο συμπεριλαμβάνει και οποιοδήποτε εργαλείο χρειάζεται να προσαρμοστεί στο άκρο του. Εξαρτάται από τη δύναμη των συνδέσμων και των αρθρώσεων του ρομπότ που προσδιορίζουν το όριο αντοχής, δύναμης. Το προδιαγραφόμενο φορτίο δεν είναι σταθερό και εξαρτάται από τη ταχύτητα με τη οποία πρόκειται να κινηθεί ο καρπός.

Υπάρχει επίσης και η μέγιστη χωρητικότητα φορτίου του ρομπότ. Η χωρητικότητα αναφέρεται στη ποσότητα της μάζας ή αλλιώς τον όγκο τον οποίο μπορεί να χειριστεί ο καρπός.

4.9 Ενδοτικότητα (Compliance)

Ο όρος ενδοτικότητα στα ρομπότ χρησιμοποιείται για την περιγραφή της ευλυγισίας και ευκαμψίας τους. Σε διάφορες εφαρμογές στις οποίες τα ρομπότ χειρίζονται εύθραυστα αντικείμενα ή συνεργάζονται με ανθρώπους, χρειάζονται να ενδίδουν προς κάποιες κατευθύνσεις. Ο λόγος φυσικά είναι για την εξασφάλιση της βέλτιστης εκτέλεσης της εργασίας αλλά και της ανθρώπινης ασφάλειας.

Σε ένα ρομπότ χωρίς ενδοτικότητα σε καμία κατεύθυνση, προγραμματίζεται να ακολουθήσει μια καθορισμένη τροχιά, διασχίζοντας θέσεις οι οποίες μπορεί είναι επίσης συγκεκριμένες. Το ίδιο βέβαια γίνεται και στα ρομπότ με κάποια ενδοτικότητα. Σε περίπτωση που προκύψει μια εξωτερική δύναμη στο ρομπότ, στο πρώτο παράδειγμα το ρομπότ δεν θα υποκύψει ή πιο σωστά ενδώσει κατά ένα ποσοστό για την αποφυγή ίσως ζημιάς κατά του ίδιου ή του εξωτερικού παράγοντα καθώς σκοπός του είναι να ολοκληρώσει τη συγκεκριμένη τροχιά. Το δεύτερο ρομπότ αν και έχει τον ίδιο σκοπό θα ενδώσει προς μια δυνατή κατεύθυνση για την εξασφάλιση της ασφάλειας. Έτσι λογικό είναι για την ασφάλεια των ανθρώπων οι οποίοι συνεργάζονται με το ρομπότ στον ίδιο χώρο, τα ρομπότ να αποφεύγουν και να υποχωρούν από τυχόν συγκρούσεις που μπορεί να τραυματίσει ανθρώπους ή και τα ίδια τα ρομπότ.

Όσο αφορά τη λειτουργικότητα αυτού του χαρακτηριστικού ένα χρήσιμο παράδειγμα είναι η περίπτωση όπου ένα ρομπότ πρέπει να μεταφέρει ένα αυγό και να το τοποθετήσει στη θήκη του. Το αυγό φυσικά αν πιεστεί αρκετά με το τελικό στοιχείο δράσεις που στη προκειμένη περίπτωση μπορεί να είναι μια αρπάγη θα σπάσει. Σε μια τέτοια περίπτωση θα πρέπει το ρομπότ να μπορεί να ρυθμίσει τη δύναμη της αρπάγης του ώστε να ενδώσει σε ένα όριο δύναμης. Αυτό γίνεται δυνατό με τη βοήθεια αισθητήρων δύναμης όπου κατά το προγραμματισμό του ρομπότ θα μπορεί να γίνει επιτήρηση της δύναμης που ασκεί το ρομπότ στο αυγό για να το αρπάξει χωρίς να το σπάσει.

Παρόλα αυτά η ενδοτικότητα προκαλεί προβλήματα στην ακρίβεια του ρομπότ. Όπως αναφέρθηκε ένα ενδοτικό ρομπότ θα αλλάξει τη κίνηση του ανάλογα με οποιοδήποτε εξωτερικό παράγοντα. Ο τρόπος που βοηθά στην δημιουργία μιας ενδοτικότητας προκαλεί αστάθειες στο τρόπο που το ρομπότ θα φτάσει στο τελικό σημείο. Αφού κατά τη διάρκεια τη διαδρομής του προκύπτουν διάφορες αλλαγές στην αρχικό προγραμματισμό.

Ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να ρυθμιστεί η ενδοτικότητα του ρομπότ είναι μέσω προγραμματισμού. Υπάρχουν δύο είδη ενδοτικότητας με σκοπό την προσαρμόσιμη λειτουργικότητα και την ασφάλεια.

1. Η ενεργή ενδοτικότητα ρυθμίζεται από το χειριστή του ρομπότ για κάθε εφαρμογή διαφορετικά για την προσαρμογή του στο αντίστοιχο σκοπό. Με τη χρήση διάφορων αισθητήρων όπως όρασης, δύναμης, ροπής κ.α. μπορεί να γίνει η κατάλληλη προσαρμογή των τιμών θέσης των αρθρώσεων μέσω του προγραμματισμού του ρομπότ.
2. Η παθητική ενδοτικότητα στοχεύει στην ασφάλεια και εγκαθίσταται σε ρομπότ που εργάζονται σε κυψέλες όπου συνεργάζεται με ανθρώπους. Για την αποφυγή σύγκρουσης και τραυματισμών χρησιμοποιούνται και εδώ αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να ανιχνεύσουν επικείμενα εμπόδια για την αποφυγή τους. Επίσης εγκαθίστανται στα μηχανικά μέρη του ρομπότ όπως στις αρθρώσεις ή την αρπάγη του, συσκευές περιορισμού ροπής για την αποφυγή κινδύνου.

4.10 Ασφάλεια (Safety)

Τα ρομπότ σχεδιάζονται για την γρήγορη εκτέλεση με ακρίβεια και σταθερή απόδοση η οποία διαρκεί σε επαναλαμβανόμενες και βαριές εργασίες. Αποτελεί βασικό στοιχείο στη λειτουργία πολλών βιομηχανιών, εργοστασίων κατασκευής προϊόντων, στη μηχανική κατεργασία, στις γραμμές συναρμολόγησης εξαρτημάτων, προϊόντων και όχι μόνο. Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρθηκε έντονα η τήρηση διάφορων μέσων για την εξασφάλιση της ασφάλειας κατά τη λειτουργία του ρομπότ. Ιδιαίτερα όταν χρειάζεται η συνεργασία των ρομπότ με ανθρώπους λαμβάνονται κατάλληλα πρωτόκολλα για την αποφυγή του παραμικρού τραυματισμού και από τις δύο πλευρές. Αφού η δύναμη αυτών των βιομηχανικών μηχανημάτων μπορεί να δημιουργήσει καταστάσεις κινδύνου τόσο για το εργατικό προσωπικό όσο και για τον υπόλοιπο εξοπλισμό που μπορεί να υπάρχει στο χώρο εργασίας του. Για αυτό χρειάζεται μεγάλη προσοχή στο προγραμματισμό τους για τον τρόπο που θα αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους. Υπάρχουν όπως ειπώθηκε πρωτόκολλα ασφαλείας όπως της RIA το οποίο δίνει τις κατάλληλες οδηγίες για τη κατασκευή και εγκατάσταση του ρομπότ σε μια βιομηχανία και τη λειτουργία των συστημάτων του. Με τη τήρηση όλων των μέτρων ασφαλείας η προσφορά των ρομπότ στο ρυθμό παραγωγής είναι τεράστια αφού μπορούν να χειρίζονται φορτία μεγάλου όγκου γρήγορα και αποτελεσματικά και εφόσον μια τέτοια ενέργεια δεν θα ήταν εφικτή ακόμα και από μια μεγάλη ομάδα εργατικού δυναμικού. Η ασφαλής λειτουργία του ρομπότ είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που μπορεί να κατέχει και συνήθως είναι ο πρώτος σκοπός ενός ρομποτικού συστήματος.

4.11 Ανάπτυξη

Στο παρελθόν η ικανότητα εκμάθησης των ρομπότ ήταν περιορισμένη με τη δυνατότητα για να εκτελούν μόνο πολύ απλές λειτουργίες. Δεν είχαν την προσφορά των σύγχρονων αισθητήριων συστημάτων η οποία συνεισφέρει σημαντικά στη λειτουργία των ρομπότ. Αλλά και τα υπόλοιπα εξαρτήματα δεν είχαν την ανάπτυξη που συναντάται τώρα σε διάφορες εφαρμογές. Σήμερα η τεχνολογία των εξαρτημάτων και πρόσθετων εξοπλισμών όπως είναι οι αισθητήρες, οι κινητήρες, μονάδες ελέγχου κτλ. έχει αναπτυχθεί εξαιρετικά, ενώ το κόστος τους έχει μειωθεί με αποτέλεσμα ακόμα και μικρότερες επιχειρήσεις να έχουν πρόσβαση στα ρομπότ αλλά και να χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρότερης κλίμακας.

Η ανάπτυξη στην αρχιτεκτονική των CPU και GPU που ενσωματώνονται στο ρομπότ επιτρέπει μεγαλύτερη ταχύτητα επεξεργασίας και ικανότητα διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας κινήσεων του ρομπότ με μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά και ταχύτερη ανταπόκριση στις πληροφορίες που λαμβάνει από τους αισθητήρες του. Η τεχνολογία της Τεχνητής Νοημοσύνης χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο δίνοντας στα ρομπότ νέα επίπεδα επίγνωσης.[4],[5],[6],[9].

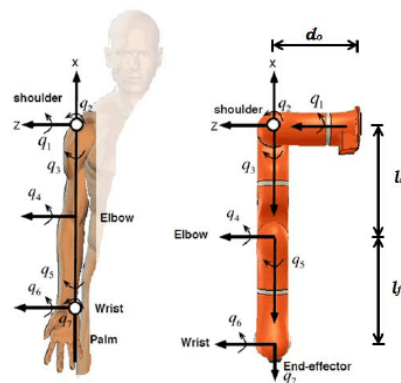
5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Αρθρώσεις

5.1 Σύνοψη Κεφαλαίου

Το κεφάλαιο αυτό εστιάζει στις αρθρώσεις που χρησιμοποιούνται στους διάφορους τύπους ρομποτικού βραχίονα. Οι αρθρώσεις αποτελούν τα κινούμενα μέρη του ρομπότ τα οποία προσφέρουν κίνηση στους συνδέσμους εξόδου σχετικά με τους άξονες των συνδέσμων εισόδου. Παρακάτω επεξηγούνται οι τρόποι που μπορεί μια άρθρωση να κινήσει το σύνδεσμο εξόδου σε σχέση πάντα με τον άξονα του συνδέσμου εισόδου οι οποίοι έχουν αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια.

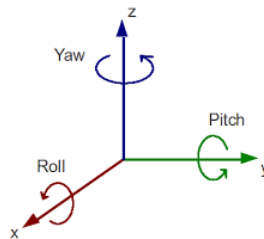
5.2 Βασικά Χαρακτηριστικά των Αρθρώσεων

Όπως και στο ανθρώπινο χέρι οι αρθρώσεις του ρομπότ συντελούν στον έλεγχο των κινήσεων του, προσθέτουν την ευλυγισία για τη δυνατή προσέγγιση διάφορων σημείων με το άκρο του.



Εικόνα 5.1: Σύγκριση Ανθρώπινου Βραχίονα με Ρομποτικό Βραχίονα

Στις αρθρώσεις χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι κινητήρων για την κίνηση των συνδέσμων. Ανάλογα το είδος του κινητήρα που θα περιλαμβάνει η άρθρωση μπορεί να πλεονεκτεί στη ταχύτητα ή στη ροπή, η οποία σηματοδοτεί στο βάρος του φορτίου που θα μπορεί να αντέξει το ρομπότ, ή στην ακρίβεια των κινήσεων του αλλά και σε άλλα χαρακτηριστικά. Κάποιες αρθρώσεις υπερτερούν στην δύναμη, έχοντας μεγάλη ροπή, η οποία τις καθιστά ικανές να αντέξουν την πίεση φορτίων μεγάλου βάρους, με μεγάλη ακρίβεια αλλά δεν μπορούν να κινούνται τόσο γρήγορα όσο μια άρθρωση η οποία αλληλεπιδρά με ελαφριά φορτία. Συνήθως η επιλογή κινητήρα γίνεται αντίστοιχα με τις απαιτήσεις των χαρακτηριστικών που πρέπει το ρομπότ να κατέχει για την ικανοποίηση των απαιτήσεων της εργασίας. Για παράδειγμα αν θα χειρίζεται ελαφριά ή φορτία μεγάλου βάρους, αν χρειάζεται ταχύτητα ή μεγάλη ακρίβεια κινήσεων ή αν χρειάζεται κάποια ενδοτικότητα.



Εικόνα 5.2: Απεικόνιση των Αξόνων X, Y, Z και των περιστροφών τους αντίστοιχα με τη Στρέψη (X), Κάμψη (Y) και Παρεκτροπή (Z)

Ο αριθμός των αρθρώσεων του ρομπότ ισοδυναμεί με τους άξονες του. Οι άξονες του ρομπότ αντιστοιχούν στο βαθμό ελευθερίας. Όσο μεγαλώνει ο βαθμός ελευθερίας σε ένα ρομπότ τόσο αυξάνεται η ευλυγισία του μεγαλώνοντας το εύρος των κινήσεων του, αλλά ταυτόχρονα περιπλέκει τη κίνηση του ρομπότ και επίσης μειώνει τη ταχύτητα του προσθέτοντας μεγαλύτερη αδράνεια. Ο βαθμός ελευθερίας ενός

ρομπότ περιέχει τη πληροφορία η οποία αφορά την ικανότητα του ρομπότ να κινηθεί μέσα σε ένα τρισδιάστατο χώρο. Μέσα σε έναν τέτοιο χώρο το ρομπότ προσδιορίζει τη θέση του με κίνηση στους τρεις καρτεσιανούς άξονες x, y και z και τον προσανατολισμό του με περιστροφή γύρω από τον x άξονα η οποία ονομάζεται στρέψη (roll), τον y άξονα που ονομάζεται κάμψη (pitch) και τον z άξονα που ονομάζεται παρεκτροπή (yaw).

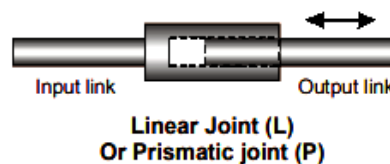
5.3 Τύποι Αρθρώσεων

Όπως έχει ήδη ειπωθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο οι αρθρώσεις ενός ρομπότ μπορεί να προσφέρουν μεταφορική και περιστροφική κίνηση. Συγκεκριμένα μια μεταφορική κίνηση μετακινεί το σύνδεσμο εξόδου στον άξονα του συνδέσμου εισόδου ενώ μια περιστροφική κίνηση περιστρέφει το σύνδεσμο εξόδου στον άξονα του συνδέσμου εισόδου. Στη κατασκευή των ρομπότ χρησιμοποιούνται πέντε (5) βασικοί τύποι μηχανικών αρθρώσεων. Δύο (2) από αυτούς είναι γραμμικοί, των οποίων η κίνηση ανάμεσα στους συνδέσμους θα είναι μεταφορική. Οι υπόλοιποι τρεις τύποι αφορούν την περιστροφή όπου σε αυτή τη περίπτωση η κίνηση ανάμεσα στους συνδέσμους θα είναι περιστροφική.

ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΡΘΡΩΣΕΙΣ

Συγγραμμικές/Γραμμικές ή L-Αρθρώσεις (Linear Joints)

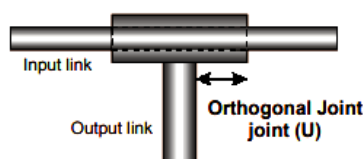
Οι γραμμικές αρθρώσεις όπως είναι προφανές προσφέρουν μεταφορική κίνηση. Στις γραμμικές αρθρώσεις οι δύο σύνδεσμοι ενώνονται συγγραμμικά όπου η σχετική κίνηση των συνδέσμων είναι παράλληλη. Δηλαδή ο σύνδεσμος εξόδου γλιστράει με μια γραμμική κίνηση από τον άξονα του συνδέσμου εισόδου. Συνήθως για τη κίνηση αυτή χρησιμοποιούνται πιστόνια ή τηλεσκοπικοί μηχανισμοί όπου ο σύνδεσμος εξόδου ολισθαίνει έξω από το σύνδεσμο εισόδου μέχρι να φτάσει στη πλήρη έκταση του ή ολισθαίνει μέσα στο σύνδεσμο εισόδου στην αρχική του θέση.



Εικόνα 5.3: Τρόπος Λειτουργίας Γραμμικής Αρθρώσεως. Ο Σύνδεσμος Εξόδου (Output Link) μεταφέρεται στον ίδιο άξονα του Συνδέσμου Εισόδου (Input Link)

Ορθογώνιες ή O-Αρθρώσεις (Orthogonal Joints)

Οι ορθογώνιες αποτελούν το δεύτερο τύπο αρθρώσεων που προσφέρουν μεταφορική κίνηση. Στις ορθογώνιες αρθρώσεις οι δύο σύνδεσμοι ενώνονται ορθογώνια, δηλαδή ο σύνδεσμος εξόδου δεν βρίσκεται πλέον στο ίδιο άξονα αλλά κάθετα στον σύνδεσμο εισόδου διαμορφώνοντας ένα T. Ο σύνδεσμος εξόδου λειτουργεί σαν ολισθητήρας γλιστρώντας πάνω στον άξονα του συνδέσμου εισόδου. Για την πιο εύκολη κατανόηση μπορεί να γίνει εστίαση στο παράδειγμα του T. Το οριζόντιο κομμάτι του T είναι ο σύνδεσμος εισόδου ενώ το κάθετο είναι ο σύνδεσμος εξόδου. Οπότε η λειτουργία της ορθογώνιας άρθρωσης αναπαριστάται όταν το κάθετο κομμάτι (σύνδεσμος εξόδου) μεταφέρεται δεξιά και αριστερά στον άξονα του οριζόντιου κομματιού (σύνδεσμος εισόδου) όπως στην Εικόνα 5.4.



Εικόνα 5.4: Τρόπος Λειτουργίας Ορθογώνιας Αρθρώσεως. Ο Σύνδεσμος Εξόδου (Output Link) ολισθαίνει πάνω στο Σύνδεσμο Εισόδου (Input Link)

Περιστροφικές ή R-Αρθρώσεις (Rotational Joints)

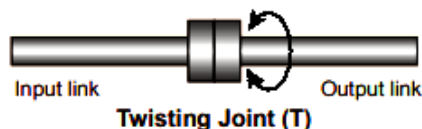
Οι περιστροφικές αποτελούν το πρώτο τύπο αρθρώσεων που προσφέρουν όπως αναφέρει και το όνομα τους περιστροφική κίνηση. Οι περιστροφικές αρθρώσεις ενώνουν τους δύο συνδέσμους συγγραμμικά και μπορούν να περιστρέφουν τον σύνδεσμο εξόδου στον άξονα του συνδέσμου εισόδου. Ανάλογα με τον τρόπο που συνδέεται η άρθρωση στο σύνδεσμο εισόδου θα παρουσιάσει στρέψη ή κάμψη ή παρεκτροπή αν βρίσκεται στο x ή y ή z άξονα αντίστοιχα.



Εικόνα 5.5: Τρόπος Λειτουργίας Περιστροφικής Αρθρώσης. Ο Σύνδεσμος Εξόδου (Output Link) περιστρέφεται κατά τον άξονα του Συνδέσμου Εισόδου (Input Link)

Στρεπτικές ή T-Αρθρώσεις (Twisting Joints)

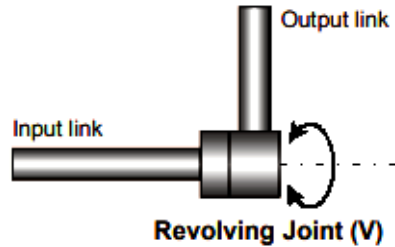
Οι στρεπτικές αρθρώσεις προσφέρουν επίσης περιστροφική κίνηση. Στις στρεπτικές αρθρώσεις οι δύο σύνδεσμοι ενώνονται συγγραμμικά και μπορούν περιστρέφουν το σύνδεσμο εξόδου στρέφοντας τον γύρω από τον άξονα του συνδέσμου εισόδου. Ανάλογα με τον τρόπο που συνδέεται η άρθρωση στο σύνδεσμο εισόδου θα παρουσιάσει στρέψη ή κάμψη ή παρεκτροπή αν βρίσκεται στο x ή y ή z άξονα αντίστοιχα.



Εικόνα 5.6: Τρόπος Λειτουργίας Στρεπτικής Αρθρώσης. Ο Σύνδεσμος Εξόδου (Output Link) περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του Συνδέσμου Εισόδου (Input Link)

Περιστρεφόμενες ή V-Αρθρώσεις (Revolving Joints)

Ο τελευταίος τύπος περιστροφικών αρθρώσεων είναι οι περιστρεφόμενες αρθρώσεις. Οι περιστρεφόμενες αρθρώσεις ενώνουν του συνδέσμους τους με τον ίδιο τρόπο όπως αναφέρθηκε πριν στις ορθογώνιες αρθρώσεις. Ο άξονας του συνδέσμου εξόδου είναι κάθετος προς τον άξονα του συνδέσμου εισόδου. Η άρθρωση μπορεί να περιστρέφει το σύνδεσμο εξόδου γύρω από τον άξονα του συνδέσμου εισόδου όπως και οι στρεπτικές αρθρώσεις. Ανάλογα με τον τρόπο που συνδέεται η άρθρωση στο σύνδεσμο εισόδου θα παρουσιάσει στρέψη ή κάμψη ή παρεκτροπή αν βρίσκεται στο x ή y ή z άξονα αντίστοιχα.



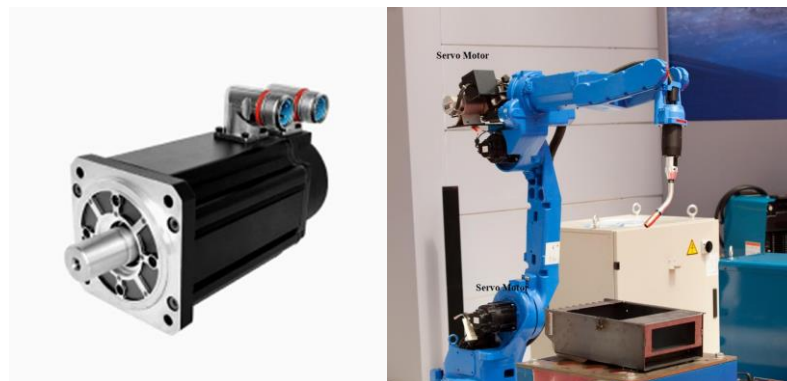
Εικόνα 5.7: Τρόπος Λειτουργίας Περιστρεφόμενης Αρθρώσεως. Ο Σύνδεσμος Εξόδου (Output Link) περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του Συνδέσμου Εισόδου (Input Link) ο οποίος είναι κάθετος σε αυτόν

Αυτοί οι τύποι αρθρώσεων χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές στη ρομποτική. Επιλέγονται αντίστοιχα με τη κατασκευή του ρομπότ όπως για παράδειγμα τα αρθρωτά ρομπότ χρησιμοποιούν αρθρώσεις οι οποίες αποδίδουν περιστροφή μεταξύ των γειτονικών συνδέσμων ενώ τα καρτεσιανά ρομπότ χρησιμοποιούν μόνο γραμμικές αρθρώσεις στους κύριους άξονες τους ώστε να κινούνται στις τρεις (3) καρτεσιανές κατευθύνσεις xyz.

5.4 Συστήματα Κίνησης

Ηλεκτρική Κίνηση

Στα ρομπότ που υπάρχουν σήμερα στις διάφορες βιομηχανίες όπου κυρίως προσφέρουν τις υπηρεσίες τους αλλά και σε άλλες εγκαταστάσεις, οι αρθρώσεις περιλαμβάνουν συστήματα ηλεκτρικής κίνησης. Είναι φυσικό καθώς είναι απόλυτα ικανά να παρέχουν περιστροφική κίνηση μέσω μειωτήρων ή μάντων αλλά και μεταφορική κίνηση με τη βοήθεια γραναζιών. Παρόλο που η ηλεκτρική ενέργεια προτιμάτε ιδιαίτερα στα ρομπότ καθώς προσφέρουν χαρακτηριστικά όπως μεγάλη ακρίβεια σε συνδυασμό με επαναληψιμότητα και μεγάλη ροπή, υπάρχουν άλλα συστήματα που μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να εξυπηρετούν περισσότερους παράγοντες.



Εικόνα 5.8: Ηλεκτρικός κινητήρας ευρείας χρήσης τύπου Servo Motor 110 Series. Παράδειγμα εφαρμογής σερβοκινητήρων σε ένα ρομποτικό βραχίονα

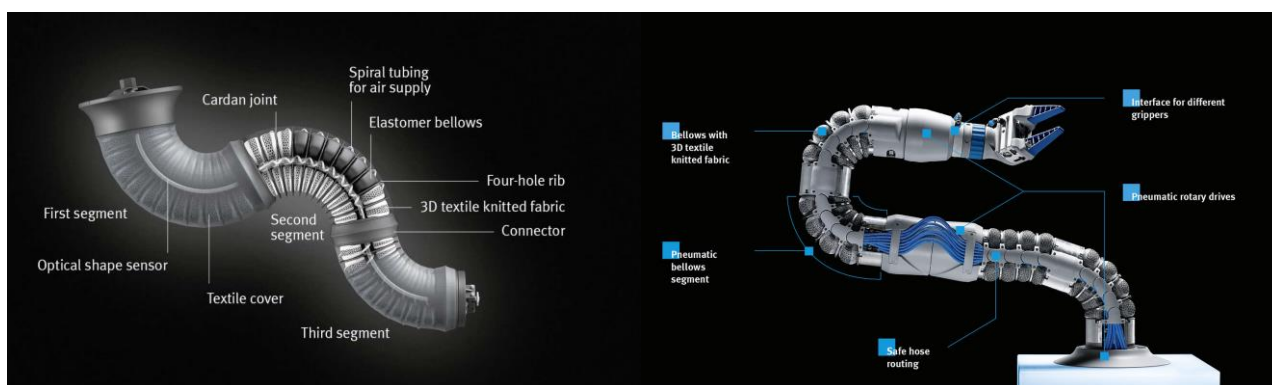
Τα συστήματα υδραυλικής κίνησης είναι μια εναλλακτική, η οποία μπορεί επίσης να προσφέρει περιστροφική κίνηση μέσω υδραυλικών κινητήρων και μεταφορική κίνηση μέσω υδραυλικών πιστονιών και χρησιμοποιείται σε μεγάλα ρομπότ κυρίως χάρη στη βελτίωση της ταχύτητας και την αύξηση της αντοχής του, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται ο παράγοντας της αδράνειας. Παράλληλα προσφέρει απλούστερο σχεδιασμό το οποίο παρέχει μια στιβαρότητα στη δομή του ρομπότ. Όμως υστερεί στην ακρίβεια και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα καθώς είναι πιθανό να υπάρξει διαρροή υγρού. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που τα συνοδεύουν, αυτά τα συστήματα αποτελούν μια οικονομικότερη λύση σε μεγάλες κατασκευές ρομπότ τα οποία θα πρέπει να μεταφέρουν αντικείμενα μεγαλύτερου βάρους.



Εικόνα 5.9: Υδραυλικός Βραχίονας Kosmos Hydraulic Arm

Πνευματική Κίνηση

Υπάρχουν επίσης συστήματα πνευματικής κίνησης τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μικρές κατασκευές ρομπότ τα οποία έχουν μικρό βαθμό ελευθερίας, συνήθως μέχρι τέσσερις (4) βαθμούς. Τα ρομπότ αυτά δεν έχουν μεγάλη ακρίβεια αλλά εξυπηρετούν σε αρκετές εφαρμογές και κυρίως σε εφαρμογές μετατόπισης κομματιών.[10],



Εικόνα 5.10: Μαλακό Πνευματικό Ρομπότ με Πνευματική Αρπάγη για λήψη εθθραυστων υλικών και προστασία του ανθρώπου

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : Ρομποτικοί Βραχίονες

6.1 Σύνοψη Κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των διάφορων τύπων ρομποτικού βραχίονα που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες βιομηχανίες. Περιγράφονται οι αρθρώσεις που περιλαμβάνονται σε κάθε ρομπότ καθώς και οι κινήσεις που προσφέρουν σε κάθε σημείο τους ώστε να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο τα ρομπότ καθορίζουν και προσεγγίζουν το χώρο τους. Για την κατάλληλη επιλογή του τύπου ρομπότ λαμβάνονται υπόψη κριτήρια τα οποία έχουν αναφερθεί και είναι ο χώρος εργασίας, το βάρος του φορτίου και άλλα επιθυμητά χαρακτηριστικά που αντιστοιχούν στο ποσοστό της ακρίβειας, της ταχύτητας κ.α. Ανάλογα με την εφαρμογή κάποια από αυτά χρειάζονται, ενώ άλλα όχι.

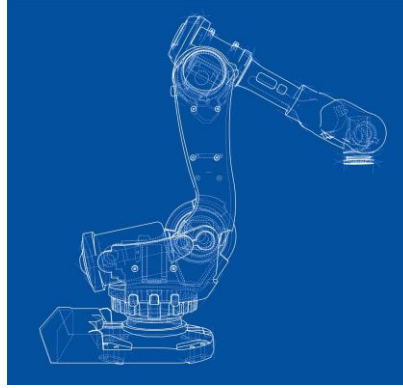
6.2 Τύποι Ρομποτικού Βραχίονα

Στο χώρο της βιομηχανίας μπορεί να συναντηθούν διάφορα είδη ρομποτικού βραχίονα. Το κάθε ρομπότ διαφέρει σε σχεδιασμό αν και μερικά μοιάζουν μεταξύ τους. Παρόλα αυτά ο σχεδιασμός του ρομπότ θα αποδώσει πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Για αυτό σε μια εφαρμογή θα προτιμηθεί το ρομπότ που ανταπεξέρχεται στις προτιμήσεις της. Κάποια ρομπότ έχουν αρκετή δύναμη και στιβαρή δομή ώστε να καταφέρνουν να χειρίζονται πολύ βαριά φορτία με καλή ακρίβεια αλλά με κόστος την ταχύτητα, ενώ άλλα ρομπότ είναι ικανά να μεταφέρουν ελαφριά αντικείμενα με μεγάλη ταχύτητα και σχετικά καλή ακρίβεια. Παρακάτω αναλύονται οι έξι (6) βασικοί τύποι ρομποτικού βραχίονα που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες βιομηχανίες.

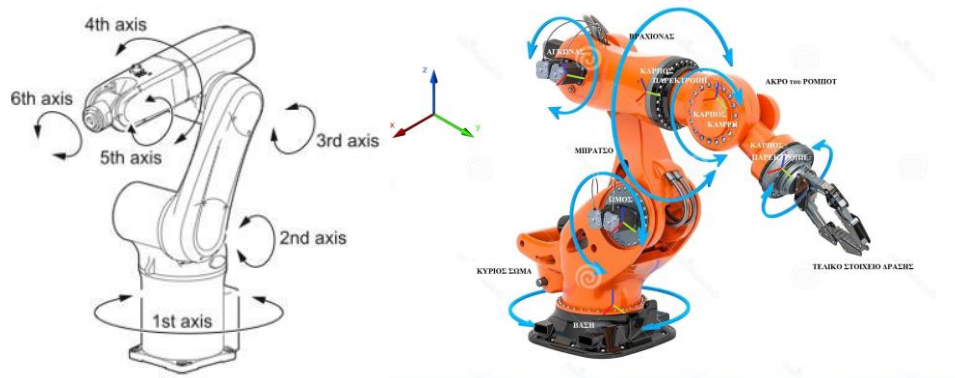
Αρθρωτά Ρομπότ (Articulated Robots)

Τα πιο γνωστά ρομπότ τα οποία έχουν γίνει ένα με την εικόνα της βιομηχανίας είναι τα αρθρωτά ρομπότ. Ο σχεδιασμός τους είναι ξεχωριστός καθώς αποτυπώνει τη δομή ενός ανθρώπινου βραχίονα στην οποία περιέχεται ο ώμος, το μπράτσο, ο αγκώνας, ο βραχίονας και ο καρπός. Καταφέρνει να προσομοιώνει κινήσεις που μπορεί να πραγματοποιήσει ο άνθρωπος αλλά και παραπάνω. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελείται από αρθρώσεις που παρέχουν περιστροφική κίνηση. Ο αριθμός τους μπορεί να διαφέρει, αλλά συνήθως αποτελούνται από έξι αρθρώσεις που ισοδυναμούν με έξι βαθμούς ελευθερίας οι οποίοι δίνουν στο ρομπότ την απόλυτη ευλυγισία που χρειάζεται για να μεταφέρει το άκρο του σε οποιοδήποτε σημείο μέσα σε ένα σφαιρικό χώρο εργασίας του ρομπότ.

Το ρομπότ μπορεί να χωριστεί σε δύο συστήματα. Το σύστημα του σώματος και το σύστημα του καρπού. Σε ρομπότ με βαθμό ελευθερίας έξι (6) κάθε σύστημα θα διαθέτει τρεις (3) αρθρώσεις. Φυσικά υπάρχουν και ρομπότ τα οποία έχουν παραπάνω αριθμό αρθρώσεων το οποίο περιπλέκει τη κατασκευή και τη κίνηση τους. Ξεκινώντας με το σύστημα του σώματος αναφορικά θα υπάρχει η βάση του ρομπότ, το κυρίως σώμα, ο βραχίονας και ο πήχης τα οποία θα συνδέονται μέσω τριών αρθρώσεων παρέχοντας τους πρώτους τρεις (3) βαθμούς ελευθερίας. Το σύστημα του καρπού θα περιέχει επίσης τρεις (3) αρθρώσεις οι οποίες θα συνδέουν τα κομμάτια που ολοκληρώνουν το καρπό.



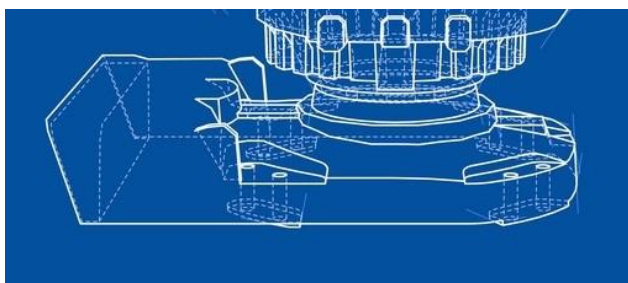
Εικόνα 6.1: Σχέδιο Ανάπτυξης Ρομποτικού Βραχίονα



Εικόνα 6.2: Βιομηχανικός Ρομποτικός Βραχίονας

ΒΑΣΗ

Με μια πιο αναλυτική ματιά αρχικά θα υπάρχει η βάση του ρομπότ η οποία προσαρμόζεται στο έδαφος ή σε κάποιο άλλο σταθερό σημείο. Περιέχει μια στρεπτική άρθρωση που αντιστοιχεί με τη μέση του ρομπότ, η οποία έχει σαν σύνδεσμο εξόδου το σώμα του ρομπότ με αποτέλεσμα να μπορεί να το στρέψει γύρω από το άξονα της βάσης. Με αυτή τη κίνηση το ρομπότ μπορεί να παρεκτραπεί 360° γύρω από τη βάση του καθώς βρίσκεται σε άξονα z, δηλαδή κάθετα. Το εύρος περιστροφής ορίζεται πάντα από το εύρος περιστροφής του κινητήρα ο οποίος επιλέγεται ανάλογα με το εύρος που είναι επιθυμητό να εκτελείτε.



Εικόνα 6.3: Βάση με στρεπτική άρθρωση για Παρεκτροπή 360° του Ρομποτικού Βραχίονα

ΚΥΡΙΟΣ ΣΩΜΑ - ΜΠΡΑΤΣΟ

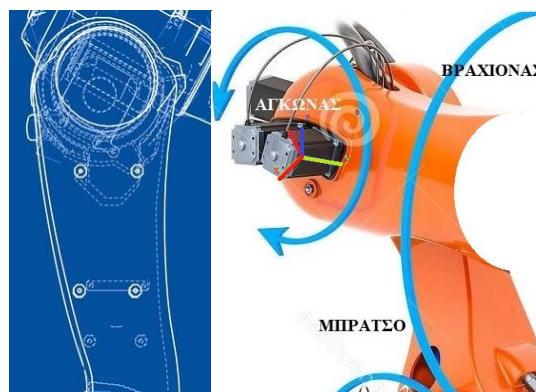
Το σώμα του ρομπότ αποτελείται από το κυρίως σώμα το οποίο περιλαμβάνει μια περιστροφική άρθρωση που αντιστοιχεί με τον ώμο του ρομπότ, με σύνδεσμο εξόδου το μπράτσο το οποίο περιστρέφεται στον άξονα του συνδέσμου εισόδου. Σε αυτό το σημείο ο σύνδεσμος εξόδου συνδέεται με άξονα y στον σύνδεσμο εισόδου με αποτέλεσμα η άρθρωση να κάμπτε το μπράτσο. Με τη προσθήκη αυτή της άρθρωσης έχει γίνει επιτυχής μια κίνηση η οποία μοιάζει με τη κίνηση του ανθρώπινου ώμου αφού μπορεί να στρέφεται και να κάμπτεται. Αυτό σημαίνει ότι το ρομπότ μπορεί να κινηθεί σε ένα χώρο που μοιάζει με σφαίρα.



Εικόνα 6.4: Ώμος με Περιστροφική Αρθρωση για Κάμψη του Μπράτσου

ΜΠΡΑΤΣΟ - ΒΡΑΧΙΟΝΑΣ

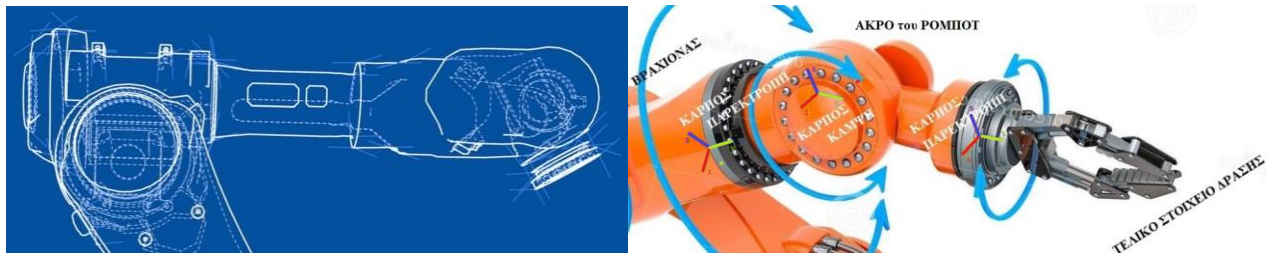
Ως δεύτερο κομμάτι το μπράτσο περιέχει επίσης μια περιστροφική άρθρωση που ισοδυναμεί με τον αγκώνα του οποίου σύνδεσμος εξόδου θα είναι ο βραχίονας όπου παρουσιάζεται ίδια περιστροφική κίνηση όπως πριν. Δηλαδή ο σύνδεσμος εξόδου συνδέεται με άξονα y στον σύνδεσμο εισόδου με αποτέλεσμα να κάμπτε το βραχίονα. Εδώ ο χώρος στον οποίο μπορεί να κινηθεί το ρομπότ παραμένει σφαιρικός αλλά φυσικά αυξάνεται η κλίμακα του. Εδώ τελειώνει το σύστημα του σώματος και εισάγεται στο επόμενο βήμα το σύστημα του καρπού.



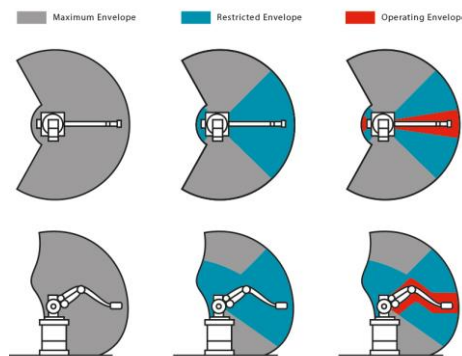
Εικόνα 6.5: Αγκώνας με Περιστροφική Αρθρωση για Κάμψη του Βραχίονα

ΒΡΑΧΙΟΝΑΣ - ΑΚΡΟ

Ο βραχίονας συνδέεται με τον πήχη επίσης με τη βοήθεια μιας περιστροφικής άρθρωσης η οποία ισοδυναμεί με τα καρπό. Ο καρπός ανάλογα τη περιστροφική άρθρωση θα μπορεί να στρέφει, να κάμπτει ή να παρεκτρέπει το άκρο. Στο παράδειγμα της αριστερά Εικόνας 6.6, η πρώτη άρθρωση του καρπού είναι στρεπτική, ενώ η άλλες δύο είναι περιστροφικές αρθρώσεις, με τη πρώτη να κάμπτει και τη δεύτερη να στρέφει το άκρο σύμφωνα με το άξονα σύνδεσης του με τον προηγούμενο σύνδεσμο. Ενώ στο παράδειγμα της δεξιάς Εικόνας 6.6 η πρώτη άρθρωση του καρπού παρεκτρέπει το άκρο, όπως και η τρίτη αφού ο σύνδεσμος εξόδου βρίσκεται στον z άξονα του συνδέσμου εισόδου ενώ η δεύτερη κάμπτει το άκρο με τον σύνδεσμο εξόδου να βρίσκεται στον y άξονα του συνδέσμου εισόδου.



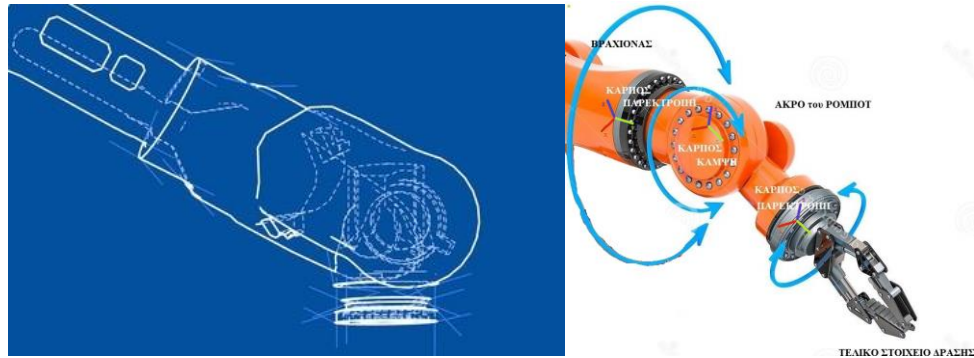
Εικόνα 6.6: Ανάλυση Καρπού του ρομπότ με 3 Αρθρώσεις με Περιστροφική Κίνηση



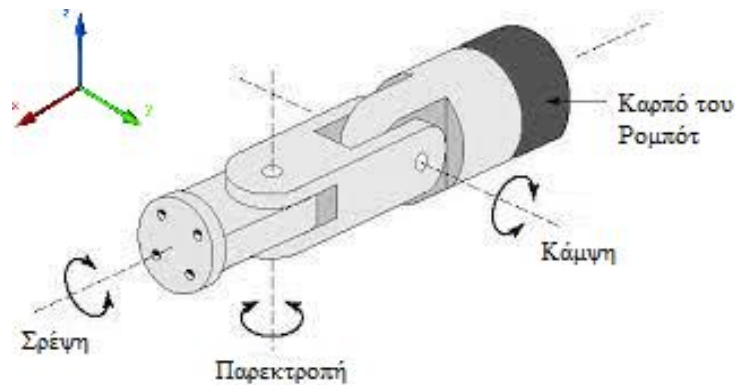
Εικόνα 6.7: Απεικόνιση Χώρου Εργασίας. Περιορισμένου Χώρου Εργασίας με Οριοθέτηση για Ασφάλεια. Χώρος Λειτουργίας του Βραχίονα

ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΡΠΟΥ

Όπως αναφέρθηκε το σύστημα του καρπού έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας. Οπότε ο καρπός χωρίζεται σε τρεις αρθρώσεις όπου η πρώτη στρέφει το άκρο, η δεύτερη κάμπτει το άκρο και η τρίτη παρεκτρέπει το άκρο. Αυτές οι τρεις αρθρώσεις βοηθούν στο προσανατολισμό του άκρου. Έτσι συμπληρώνεται η ανάλυση του σχεδιασμού ενός αρθρωτού ρομπότ με έξι (6) βαθμούς ελευθερίας.



Εικόνα 6.8: Απεικόνιση των Αρθρώσεων του Καρπού του Ρομποτικού Βραχίονα



Εικόνα 6.9: Απεικόνιση Τυπικού Σχεδιασμού του Συστήματος του Καρπού

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

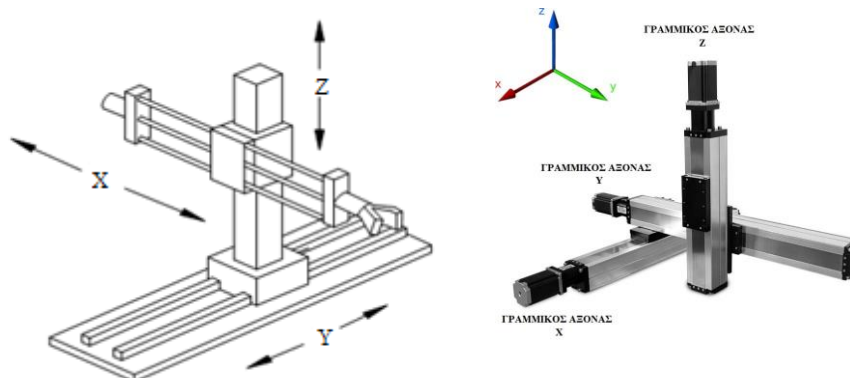
→ Η ταχύτητα είναι ένα χαρακτηριστικό στο οποίο αυτά τα ρομπότ δεν έχουν την καλύτερη σχετική απόδοση. Αν και υπερέχουν στην ευλυγισία και έχουν την ικανότητα να οδηγήσουν το τελικό στοιχείο δράσης σε ένα σφαιρικό χώρο, η ταχύτητα τους περιορίζεται εξαιτίας της πολύπλοκης σχεδίασης του σε σχέση με ρομπότ απλούστερου σχεδιασμού. Ο μεγάλος αριθμός αρθρώσεων που κατέχει απαιτεί πιο περίπλοκους υπολογισμούς για τις κινήσεις τους ώστε να οδηγήσουν το άκρο του και εξαιτίας του όγκου των εξαρτημάτων του σε κάθε κίνηση που πρέπει να ακολουθήσει, το ρομπότ αντιμετωπίζει μεγαλύτερο ποσοστό αδράνειας. Όσο ο βαθμός ελευθερίας του ρομπότ αυξάνεται η ταχύτητα του μειώνεται αντίστοιχα.

Εφαρμογές

Η ευλυγισία που προσφέρουν τα κάνει ιδανικά:

1. να χειρίζονται υλικά για συγκόλληση
2. για συναρμολόγηση
3. για μεταφορά προϊόντων
4. για πακετάρισμα προϊόντων
5. για φόρτωμα και παλετοποίηση προϊόντων.

Ένα άλλο είδος ρομπότ το οποίο επίσης αποτελεί βασικό στοιχείο στη βιομηχανία είναι τα καρτεσιανά ρομπότ. Αντιθέτως με το αρθρωτό ρομπότ, ένα καρτεσιανό ρομπότ αποτελείται μόνο από αρθρώσεις με μεταφορική κίνηση. Όπως αναφέρει και η ονομασία του ο σχεδιασμός του ρομπότ επιτρέπει μεταφορικές κινήσεις στους τρεις καρτεσιανούς άξονες x, y και z.



Εικόνα 6.10: Καρτεσιανός Ρομποτικός Βραχίονας

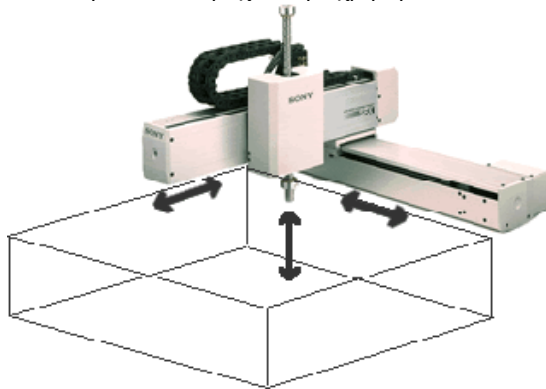
ΒΑΣΗ

Η βάση ενός καρτεσιανού ρομπότ μπορεί να βρίσκεται σε οποιοδήποτε άξονα του, όπως για παράδειγμα αναπαριστάται στην αριστερά εικόνα της Εικόνα 6.10 από ένα σύνδεσμο στον άξονα z, συνδεδεμένο στο έδαφος ή πάγκο εργασίας. Θα μπορούσε όμως να βρίσκεται στο x ή y άξονα πάνω από το έδαφος. Σε αντίθεση με τη βάση του αρθρωτού ρομπότ το καρτεσιανό δεν διαθέτει άρθρωση για τη παρεκτροπή του αλλά μπορεί σε κάποια εφαρμογή αυτή η προσθήκη να είναι επιθυμητή. Αυτή η διαφορά απλοποιεί το σχεδιασμό του ρομπότ και προσθέτει μια στιβαρότητα και ακαμψία η οποία αποδίδει πλεονεκτήματα δύναμης και χειρισμού φορτίων μεγαλύτερου βάρους.

ΣΩΜΑ

ΣΥΛΔΕΣΜΟΣ A - B - Γ

Το σώμα του καρτεσιανού ρομποτικού συστήματος είναι σχετικά απλό σε αντίθεση με το αρθρωτό ρομπότ. Αρχικά όπως αναφέρθηκε έχει ένα σύνδεσμο A κάθετο προς το έδαφος που αντιπροσωπεύει το z άξονα ο οποίος θα είναι άκαμπτος. Ο σύνδεσμος αυτός συνδέεται μέσω μια γραμμικής άρθρωσης με το σύνδεσμο B ο οποίος βρίσκεται στο x άξονα και παρουσιάζει επίσης ακαμψία. Παρομοίως ο σύνδεσμος B συνδέεται με μια γραμμική άρθρωση με το τελευταίο σύνδεσμο Γ ο οποίος θα βρίσκεται στο y άξονα. Οι τρεις βασικοί άξονες ελέγχου βρίσκονται σε γωνία 90° ο ένας με τον άλλο. Τα καρτεσιανά ρομπότ έχουν στιβαρή και σταθερή δομή ενώ ο χώρος εργασίας τους αναπαριστά ένα κύβο ή παραλληλόγραμμο στον οποίο έχει πλήρης πρόσβαση και μπορεί εύκολα να υπολογιστεί για την εγκατάσταση του σε μια υπάρχουσα παραγωγή. Έτσι το ρομπότ μπορεί να μεταφέρει το άκρο του σε οποιοδήποτε σημείο μέσα σε αυτόν το τετραγωνικό χώρο που δημιουργείται από τους άξονες του. Το τελικό στοιχείο δράσης μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιοδήποτε άκρο των συνδέσμων του ρομπότ ανάλογα τον επιθυμητό τρόπο προσέγγισης του χώρου εργασίας. Το άκρο του ρομπότ μπορεί να περιέχει περιστροφικές αρθρώσεις για το έλεγχο του προσανατολισμού του όπως και στο αρθρωτό ρομπότ.



Εικόνα 6.11: Απεικόνιση Χώρου εργασίας Καρτεσιανού Ρομποτικού Βραχίονα

GANTRY

Τα καρτεσιανά ρομπότ αναφέρονται και σαν ρομπότ Gantry ή ευθύγραμμα ρομπότ. Ο χώρος των ρομπότ είναι ανοικτός και τετραγωνικός. Οι κινήσεις τους στους άξονες x και y ρυθμίζονται παράλληλα σε σχέση με το χώρο, ενώ η κίνηση στον z άξονα γίνεται κάθετα προς το χώρο. Τα ρομπότ Gantry μοιάζουν αρκετά στα καρτεσιανά ρομπότ. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι τα Gantry έχουν δύο άξονες στη συντεταγμένη x και έναν άξονα στη συντεταγμένη y . Έτσι μπορούν να προσεγγίζουν το αντικείμενο από πάνω και όχι από το πλάι. Με αυτή τη τροποποίηση τα Gantry ρομπότ μπορούν να μεταφέρουν ακόμα πιο βαριά αντικείμενα σε μεγαλύτερες αποστάσεις.



Εικόνα 6.12: Ρομποτικός Βραχίονας Gantry. Απεικόνιση Χώρου Εργασίας Ρομπότ Gantry

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

→ Χάρη στον απλό και γερό σχεδιασμό τους μπορούν να χειρίζονται βαριά φορτία σε μεγάλες αποστάσεις με μεγάλη ικανότητα ακρίβειας και επαναληψιμότητας. Όμως η ακρίβεια τους μπορεί να μειωθεί καθώς διάφορα εξαρτήματα του ρομπότ τα οποία βοηθούν στη μεταφορά των φορτίων έχουν την τάση να φθείρονται. Με αποτέλεσμα να χρειάζεται συνεχής έλεγχος της κατάστασης του ρομπότ ώστε να διατηρείται στη βέλτιστη λειτουργία του.

Εφαρμογές

Χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις καθώς μπορεί:

1. να χειρίζεται εργαλεία

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

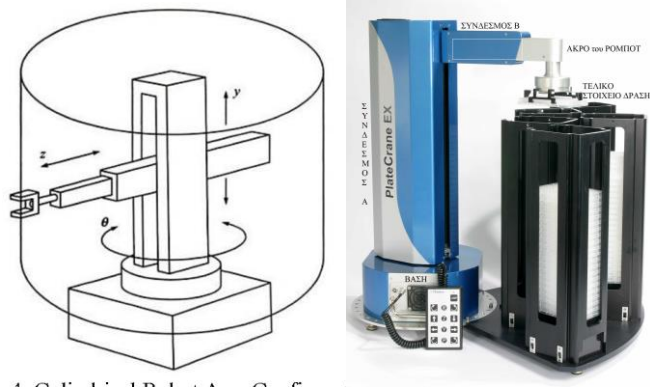
2. να μεταφέρει αντικείμενα
3. να φορτώνει και να ξεφορτώνει
4. να συναρμολογεί εξαρτήματα
5. να πακετάρει.

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές που χρειάζεται ακρίβεια. Άλλα ρομπότ που ανήκουν στην κατηγορία των καρτεσιανών ρομποτικών συστημάτων και GANTRY συστημάτων είναι:

1. οι 3D-εκτυπωτές
2. κόφτες laser
3. μηχανές CNC οι οποίες χρησιμοποιούνται για λειτουργίες μηχανικής κατεργασίας.

Κυλινδρικά Ρομπότ (Cylindrical Robots)

Η ονομασία του αναφέρεται στο χώρο που μπορεί να κινηθεί το ρομπότ ο οποίος μοιάζει με κύλινδρο. Αποτελούνται από μια άρθρωση με περιστροφική κίνηση και μια ή παραπάνω αρθρώσεις με μεταφορική κίνηση.



Εικόνα 6.13: Κυλινδρικός Ρομποτικός Βραχίονας

ΒΑΣΗ

Η βάση του ρομπότ συνδέεται με το σώμα του με μια στρεπτική άρθρωση η οποία περιστρέφει το σώμα του γύρω από τη βάση στον άξονα z. Άρα αυτό σημαίνει ότι παρεκτρέπει το σώμα του ρομπότ όπως γίνεται και στο αρθρωτό ρομπότ.

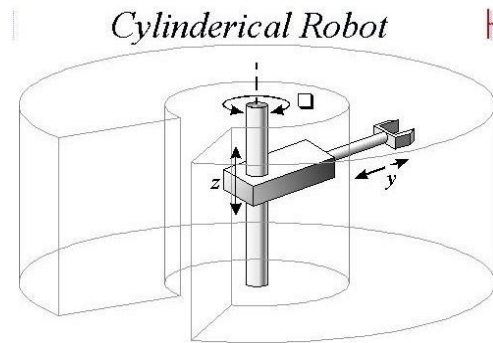
ΣΩΜΑ

ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ Α - Β

Το κυρίως σώμα του ρομπότ μπορεί να περιέχει δύο ή και τρεις αρθρώσεις οι οποίες μεταφέρουν το σύνδεσμο εξόδου, δηλαδή θα υπάρχει είτε γραμμική ή ορθογώνια άρθρωση. Μια ορθογώνια άρθρωση συνδέει ορθογώνια το σύνδεσμο Α της βάσης ο οποίος βρίσκεται στον άξονα z, με το σύνδεσμο Β. Ως αποτέλεσμα ο σύνδεσμος Α μπορεί να μεταφέρεται πάνω στο σύνδεσμο της βάσης, πάνω και κάτω στον άξονα z.

ΑΚΡΟ του ΡΟΜΠΟΤ

Έπειτα μπορεί να υπάρξει μια γραμμική άρθρωση της οποίας ο σύνδεσμος εξόδου αντιστοιχεί με το άκρο του ρομπότ στο οποίο προσαρμόζεται το τελικό στοιχείο δράσης. Όπως και στα προηγούμενα ρομπότ ο καρπός μπορεί να αποτελείται από τον συνδυασμό τριών αρθρώσεων για το έλεγχο του προσανατολισμού του. Έτσι αν γίνει η πρόσθεση των κινήσεων που προσφέρουν οι αρθρώσεις του ρομπότ μπορεί να διαπιστωθεί ότι όντως ο χώρος στον οποίο μπορεί να κινηθεί το ρομπότ μοιάζει με κύλινδρο.



Εικόνα 6.14: Χώρος Εργασίας Κυλινδρικού Ρομποτικού Βραχίονα

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

→ Τα κυλινδρικά ρομπότ εργάζονται με μεγάλη ακρίβεια και είναι επίσης κατάλληλα για το χειρισμό αντικειμένων μεγάλου βάρους λόγω της απλής και στιβαρής σχεδίασης τους.

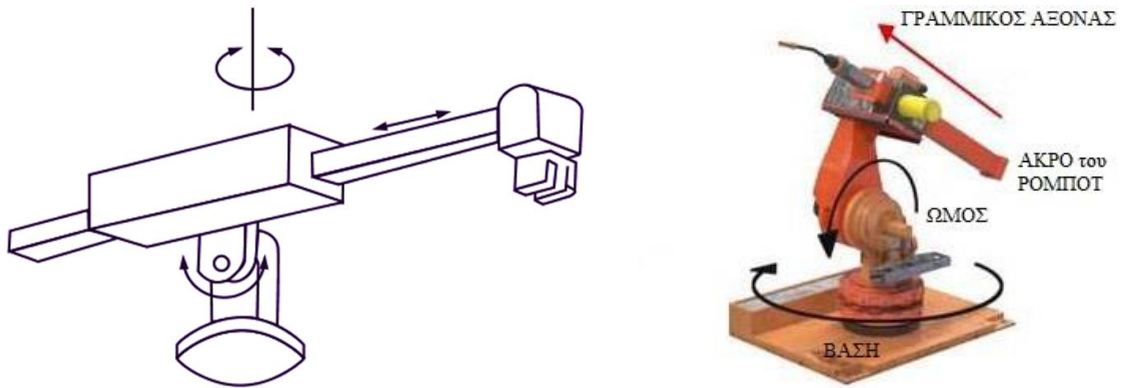
Εφαρμογές

Λόγω των του σχεδιασμού του χρησιμοποιείται:

1. για συναρμολογήσεις
2. για το χειρισμό μηχανικών εργαλείων
3. για συγκόλληση
4. αλλά και άλλες εφαρμογές όπου η ακρίβεια είναι επιθυμητή.

Πολικά ή Σφαιρικά Ρομπότ (Polar or Spherical Robots)

Παρομοίως και σε αυτό το ρομπότ η ονομασία του παραπέμπει στο χώρο που μπορεί να κινηθεί. Σε αυτό το ρομπότ υπάρχουν παραπάνω από μια αρθρώσεις με περιστροφική κίνηση σε συνδυασμό με μια άρθρωση με μεταφορική κίνηση.



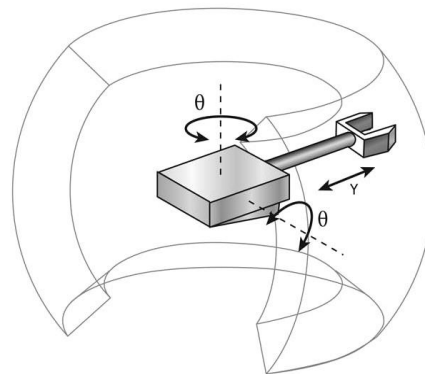
Εικόνα 6.15: Πολικός/Σφαιρικός Ρομποτικός Βραχίονας

ΒΑΣΗ

Στη βάση του ρομπότ προσαρμόζεται μια στρεπτική άρθρωση για την περιστροφή του σώματος του στο άξονα z. Δηλαδή όπως και στο σχεδιασμό ενός αρθρωτού ρομποτικού βραχίονα η άρθρωση παρεκτρέπει το σύνδεσμο της βάσης.

ΣΩΜΑ

Το σώμα του ρομπότ θα αποτελείται από μια περιστροφική άρθρωση που αντιστοιχεί στον ώμο, η οποία συνδέει όπως και στο αρθρωτό ρομπότ το κύριο σώμα με το μπράτσο το οποίο θα περιστρέφεται το y άξονα δηλαδή θα κάμπτεται. Τέλος μια γραμμική άρθρωση σαν αγκώνας συνδέει το μπράτσο με το βραχίονα του ρομπότ, ο οποίος αντιστοιχεί στο καρπό του και η οποία μαζεύει ή επεκτείνει το άκρο του ρομπότ ολοκληρώνοντας μαζί με τους υπόλοιπους άξονες του το πολικό σύστημα συντεταγμένων καθώς μπορούν να κινούνται σε ένα χώρο που μοιάζει με σφαίρα.



Εικόνα 6.16: Χώρος Εργασίας Πολικού/Σφαιρικού Ρομποτικού Βραχίονα

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

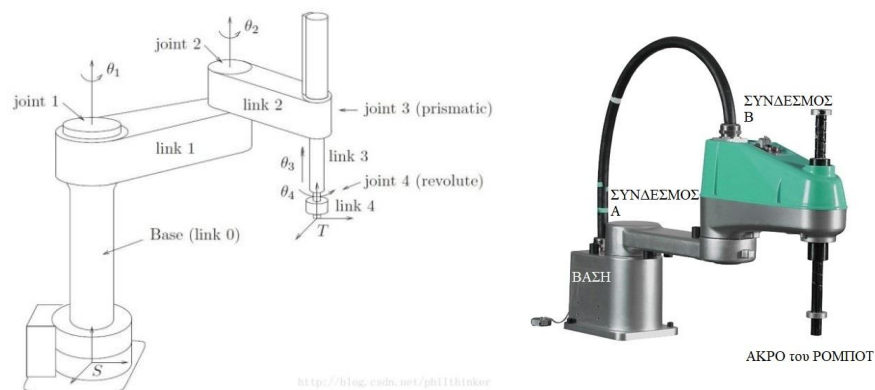
- Κατέχουν αρκετή ευλυγισία ώστε να μετακινούνται μέσα σε ένα σχεδόν σφαιρικό χώρο όπως και τα αρθρωτά ρομπότ. Όμως έχουν απλούστερο σχεδιασμό το οποίο απλοποιεί τη κίνηση του.

Τα πολικά ρομπότ χρησιμοποιούνται με τον ίδιο τρόπο όπως τα κυλινδρικά και τα αρθρωτά ρομπότ καθώς συνδυάζουν και τους δύο τρόπους σχεδιασμού ενός ρομποτικού βραχίονα. Χρησιμοποιείται:

1. για συναρμολογήσεις
2. για το χειρισμό μηχανικών εργαλείων
3. για συγκόλληση
4. για να χειρίζονται υλικά για συγκόλληση
5. για μεταφορά προϊόντων
6. για πακετάρισμα προϊόντων
7. για φόρτωμα και παλετοποίηση προϊόντων.

Ρομπότ SCARA (SELECTIVE COMPLIANCE ASSEMBLY of ARTICULATED ROBOT ARM)

Αρχικά ο ορισμός του ρομπότ είναι «Αρθρωτός Ρομποτικός Βραχίονας Συναρμολόγησης με Επιλεκτική Συμμόρφωση». Ο όρος selective compliance ή επιλεκτική συμμόρφωση αναφέρεται στην ικανότητα του ρομπότ να ανέχεται κάποια συγκεκριμένη πίεση στους άξονες του χάρη στη μηχανική ικανότητα των αρθρώσεων του ή την δομή του, χωρίς να αντιστέκεται και να προκαλείται ζημιά ή τραυματισμός. Τα ρομπότ SCARA μπορούν να δεχτούν τέτοια πίεση στους άξονες X, Y ενώ στον άξονα Z παρουσιάζεται ακαμψία. Ο βαθμός ελευθερίας των ρομπότ SCARA μπορεί να είναι από τέσσερις (4) μέχρι και έξι (6). Ο σχεδιασμός του ρομπότ περιλαμβάνει αρθρώσεις με περιστροφικές και γραμμικές κινήσεις.



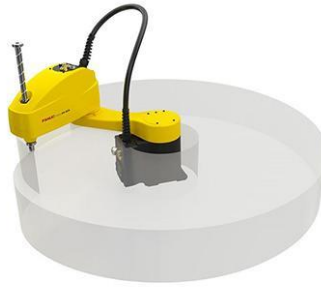
Εικόνα 6.17: Ρομποτικός Βραχίονας SCARA

ΒΑΣΗ

Στη βάση του ρομπότ υπάρχει μια στρεπτική άρθρωση η οποία περιστρέφει το σώμα του στον άξονα z όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα ρομπότ.

ΣΩΜΑ

Το σώμα του ρομπότ χωρίζεται σε συνδέσμους οι οποίοι ενώνονται με περιστρεφόμενες αρθρώσεις. Μια περιστρεφόμενη άρθρωση περιστρέφει στον άξονα z το σύνδεσμο A του ρομπότ. Στη συνέχεια μπορεί να υπάρχουν δύο ή παραπάνω περιστροφικές αρθρώσεις οι οποίες περιστρέφουν τους συνδέσμους B και Γ επίσης στον άξονα z. Στο άκρο του ρομπότ θα υπάρχει μια άρθρωση γραμμικής κίνησης, συνήθως γραμμική άρθρωση όπως φαίνεται στην δεξιά Εικόνα 6.17. Όμως θα μπορεί το άκρο να περιέχει επιπλέον αρθρώσει για τον προσανατολισμό του άκρου, όπως δείχνει η αριστερή Εικόνα 6.17. Σύμφωνα με αυτό το σχεδιασμό τα ρομπότ SCARA μπορούν κινηθούν σε ένα κυλινδρικό χώρο καθώς μπορούν να περιστραφούν και να κινηθούν πάνω και κάτω στον άξονα z.



Εικόνα 6.18: Χώρος Εργασίας Ρομποτικού Βραχίονα SCARA

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

- Σημαντικό πλεονέκτημα των ρομπότ SCARA αποτελεί η ταχύτητα τους σε συνδυασμό με την ακρίβεια. Είναι από τα πιο γρήγορα ρομπότ χάρη στην ενδοτικότητα του ρομπότ που προσφέρεται στους άξονες x και y όπου το ρομπότ μπορεί να ενδώσει σε κάποια πίεση ενώ παράλληλα ο άξονας z είναι άκαμπτος. Αυτό όμως επηρεάζει το βάρος του φορτίου που μπορεί να κουβαλήσει, περιορίζοντας το στο χειρισμό ελαφρών φορτίων. Επίσης ο κυλινδρικός του χώρος περιορίζει το πεδίο εφαρμογής του καθώς δεν διαθέτει την επιδεξιότητα και την ευλυγισία των αρθρωτών ή παρόμοιου είδους ρομπότ

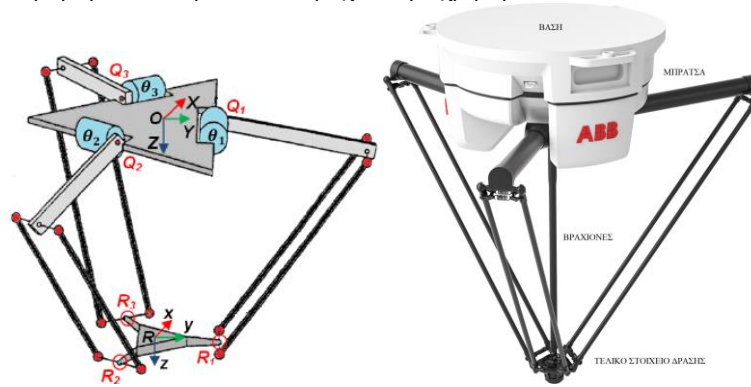
Εφαρμογές

Είναι μια ιδανική επιλογή σε βιομηχανίες όπου ο χρόνος παραγωγικότητας είναι προτεραιότητα. Προτιμούνται κυρίως:

1. σε γραμμές συναρμολόγησης
2. σε εφαρμογές pick & place όπου η ταχύτητα και η ακρίβεια είναι επιθυμητά

Ρομπότ ΔΕΛΤΑ (DELTA Robots)

Επίσης γνωστά και ως ρομπότ αράχνη ή παράλληλα ρομπότ. Η ονομασία του ρομπότ ΔΕΛΤΑ οφείλεται στο γεγονός ότι μπορεί να κινηθεί σε χώρο παρόμοιο με τρίγωνο ή έναν κώνο.



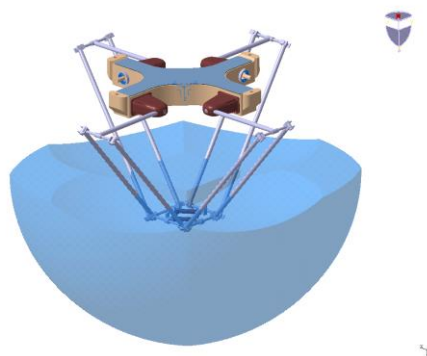
Εικόνα 6.19: Ρομποτικός Βραχίονα DELTA

ΒΑΣΗ

Η βάση του ρομπότ ΔΕΛΤΑ συνδέεται διαφορετικά σε σχέση με τα υπόλοιπα ρομπότ. Η βάση του ΔΕΛΤΑ βρίσκεται από πάνω από το χώρο στον οποίο το ρομπότ κινεί το σώμα του. Πάνω στη βάση του συνδέονται τρεις βραχίονες, τους οποίους το ρομπότ χρησιμοποιεί κατά τη λειτουργία του και οι οποίοι αντιστοιχούν στο σώμα του ρομπότ.

ΣΩΜΑ

Το σώμα του ρομπότ αποτελούνται από δάκτυλα το καθένα από τα οποία ενώνεται με τη βάση του μέσω περιστροφικών αρθρώσεων και διασπώνται σε δύο κομμάτια ενωμένα μεταξύ τους, τα οποία αντιστοιχούν στο μπράτσο και το βραχίονα. Τα δάκτυλα ή βραχίονες του ρομπότ μπορούν να κινούνται όπως αναφέρει και όνομα του σε ένα χώρο που μοιάζει με κώνο. Στο τέλος του ρομπότ αυτοί οι τρεις βραχίονες ενώνονται μεταξύ τους και στο σημείο αυτό εφαρμόζεται το τελικό στοιχείο δράσης. Η βάση του κώνου βρίσκεται στη τοποθεσία που τα δάκτυλα του ρομπότ είναι μαζεμένα ενώ η κορυφή του κώνου βρίσκεται στις πλήρεις εκτάσεις των δακτύλων του ρομπότ. Έτσι τα ρομπότ με το κατάλληλο συνδυασμό κινήσεων μπορούν να κινηθούν στον X, Y και Z άξονα μέσα στο χώρο εργασίας τους



Εικόνα 6.20: Χώρος Εργασίας Ρομποτικού Βραχίονα DELTA

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

- Σημαντικό τους πλεονέκτημα είναι η ισχυρή τους δομή με μεγάλο επίπεδο ακαμψίας και ακρίβειας σε συνδυασμό με τη μεγάλη ταχύτητα. Είναι τα πιο γρήγορα ρομπότ χάρη στον ελαφρύ σχεδιασμό τους και όταν αλληλεπιδρούν με ελαφριά αντικείμενα.

Εφαρμογές

Χρησιμοποιούνται:

1. σε αγροτικές βιομηχανίες
2. σε βιομηχανίες παραγωγής φαγητού
3. σε βιομηχανίες ηλεκτρονικών συσκευών.

Είναι ιδανικά:

1. για να πακετάρουν προϊόντα
2. να χειρίζονται μικρά και ελαφριά αντικείμενα σε μεγάλες ταχύτητες.

Οι βιομηχανίες συνεχίζουν να επενδύουν στην εγκατάσταση ρομποτικών συστημάτων στους χώρους παραγωγής τους, είτε ασχολούνται με τη παραγωγή φαγητού ή ηλεκτρονικών συσκευών ή αυτοκινήτων κ.α. Αυτή η κίνηση έχει εξοπλίσει τη κάθε βιομηχανία με εφόδια για να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν στους ρυθμούς της καθημερινότητας.[5],[6],[11],[12],[13],[14],[15].

7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : Τελικό Στοιχείο Δράσης (End-Effector)

7.1 Σύνοψη Κεφαλαίου

Το 7^ο κεφάλαιο εστιάζει στο τελικό στοιχείο δράσης του ρομποτικού βραχίονα, τους τύπους του και τα χαρακτηριστικά των διάφορων υποκατηγοριών τους.

7.2 Τύποι Τελικού Στοιχείου Δράσης

Το τελικό στοιχείο δράσης είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση των διάφορων εργασιών που έχει τεθεί το ρομπότ να φέρει εις πέρας. Το κάθε στοιχείο δράσης μπορεί να έχει διάφορες παραλλαγές με στόχο τη προσαρμογή του ως προς στο ανάλογο αντικείμενο. Τα βιομηχανικά ρομπότ πρέπει να μπορούν να ανταπεξέρχονται σε πολλές δουλειές και για αυτό το λόγο διάφοροι τύποι τελικών στοιχείων δράσης σχεδιάζονται και κατασκευάζονται ειδικά για κάθε εργασία.

Τα τελικά στοιχεία δράσης μπορεί να είναι είτε τύπος αρπάγης ή τύπος εργαλείου. Η επιλογή του τελικού στοιχείου δράσης εξαρτάται ξεκάθαρα από το είδος του αντικειμένου ή τεμαχίου προς επεξεργασία. Για παράδειγμα σε μια εφαρμογή όπου το ρομπότ πρέπει να πιάσει και μεταφέρει τεμάχια από μια θέση σε μια άλλη, η αρπάγη είναι η κατάλληλη επιλογή. Βέβαια ανάλογα τον τρόπο που είναι επιθυμητός το ρομπότ να χειριστεί το κάθε τεμάχιο μπορεί να χρειάζεται διαφορετικό είδος αρπάγης. Όσο αφορά τα τελικά στοιχεία δράσης τύπου εργαλείου είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν είναι επιθυμητή η επεξεργασία ενός υλικού ή συναρμολόγηση κτλ. Παρομοίως με τις αρπάγες υπάρχουν αρκετά είδη εργαλείων με διαφορετικές λειτουργίες.

7.3 Αρπάγες (Grippers)

Οι αρπάγες στα ρομπότ χρησιμοποιούνται για να αρπάζουν και να χειρίζονται αντικείμενα τα οποία είναι κομμάτια που πρέπει να μετακινηθούν από ένα σημείο σε ένα άλλο, ειδικά για το φόρτωμα και ξεφόρτωμα. Χάρη στη ποικιλία που υπάρχει στο σχεδιασμό, το μέγεθος και το βάρος των κομματιών που διαχειρίζονται οι αρπάγες των ρομπότ συνήθως σχεδιάζονται αποκλειστικά για το αντίστοιχο κομμάτι.

Τρόπος Λειτουργίας Αρπάγης

Η αρπάγη μπορεί να ανοίξει και να κλείσει τα δάκτυλα της ώστε να αρπάζει το αντικείμενο. Σε μια εφαρμογή η αρπάγη μπορεί αρπάζει το κομμάτι ανάλογα το σχήμα του με το κλείσιμο των δακτύλων αλλά και με το άνοιγμα τους. Η αρπάγη με αρχική κατάσταση τη πλήρη έκταση των δακτύλων της εκτελεί εσωτερική κίνηση κλείνοντας τα δάκτυλα της για να πιάσει το αντικείμενο από το περίβλημα του. Αυτό γίνεται στις περισσότερες περιπτώσεις. Η αρπάγη με αρχική κατάσταση τη πλήρης σύμπτυξη των δακτύλων της εκτελεί εξωτερική κίνηση ανοίγοντας τα δάκτυλα της κρατώντας το κομμάτι από κάποια εσοχή. Αυτό εξυπηρετεί ιδιαίτερα για την επεξεργασία του κομματιού χωρίς να εμποδίζεται αυτή η διαδικασία από την αρπάγη.

Οι διάφοροι τύποι αρπάγης που χρησιμοποιούνται εκτελούν διάφορα είδη κίνησης ανάλογα με τη θέση των δακτύλων τους. Οι τρεις βασικοί τρόποι είναι η παράλληλη κίνηση, η γωνιακή κίνηση και μπορεί να υπάρξει και μια μεταβολική κίνηση.

- Η παράλληλη κίνηση (Parallel) αναφέρεται στο γεγονός ότι τα δάκτυλα της αρπάγης παραμένουν σε απόλυτη παραλληλία μεταξύ τους κατά τις εσωτερικές (κλείσιμο δακτύλων) ή εξωτερικές (άνοιγμα δακτύλων) κινήσεις.
- Η γωνιακή κίνηση (Angular) προσφέρει την ικανότητα της λήψης ενός αντικείμενου εκτός κέντρου και την ικανότητα να δημιουργήσει ένα ευρύτερο άνοιγμα με την γωνιακή του εμβέλεια.
- Η μεταβολική κίνηση (Toggle) επιτρέπει στην αρπάγη να μεταβάλλει τη τοποθεσία των δακτύλων της σε συγκεκριμένες θέσεις ή γωνίες.

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT
Ο τρόπος λειτουργίας της αρπάγης μπορεί να έχει τις εξής μορφές:

Μηχανική Αρπάγη (Mechanical Gripper)

Διαθέτουν δύο (2) ή παραπάνω δάκτυλα τα οποία έχουν τη δυνατότητα της λήψης του αντικειμένου κατά το κλείσιμο ή το άνοιγμα του και ελέγχονται από την μονάδα ελέγχου του ρομπότ. Αποτελούν το πιο συνηθισμένο είδος αρπάγης. Έτσι πολλές βελτιώσεις και αναπτύξεις της τεχνολογίας αυτής της αρπάγης έχουν γίνει με το χρόνο αναβαθμίζοντας τον τρόπο λειτουργίας.



Εικόνα 7.1: Μηχανική Αρπάγη

Αρπάγη Κενού (Vacuum Gripper)

Χρησιμοποιούν βεντούζες για την συγκράτηση επίπεδων αντικειμένων. Ο αριθμός τους μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το φορτίο που πρέπει να πιάσουν ως προς το βάρος και την επιφάνεια.



Εικόνα 7.2: Αρπάγη Κενού με 4 Βεντούζες

Μαγνητική Αρπάγη (Magnetic Gripper)

Οι μαγνήτες αυτών των συσκευών συγκρατούν σιδηρούχα υλικά ακόμα και πολύ μεγάλου βάρους. Είναι κατανεμημένοι με τρόπο ώστε να μπορούν να συγκρατούν ισορροπημένα το βάρος του υλικού.



Εικόνα 7.3: Μαγνητική Αρπάγη

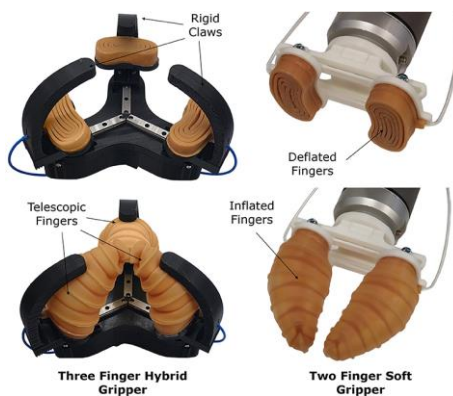
Με δύο αρπάγες στην άκρη ενός ρομποτικού βραχίονα το ρομπότ καταφέρνει να χειρίζεται τα αντικείμενα που πρέπει να μετακινήσει με πιο γρήγορο ρυθμό. Σε μια εφαρμογή όπου το ρομπότ πρέπει να μετακινεί αρχικά ένα αντικείμενο στο χώρο επεξεργασίας και στο τέλος της να το μετακινεί σε μια τελική θέση και να την επαναλάβει για τα υπόλοιπα αντικείμενα που πρέπει να επεξεργαστούν, οι διπλές αρπάγες μπορούν να χειρίζονται δύο αντικείμενα κάθε φορά. Έτσι η φόρτωση και η εκφόρτωση του αντικειμένου προς επεξεργασία και του επεξεργασμένου αντικειμένου γίνεται ταυτόχρονα μειώνοντας τον κύκλο μεταφοράς του κάθε κομματιού.



Εικόνα 7.4: Διπλή Αρπάγη

Αρπάγες με Εναλλάξιμα Δάκτυλα (Grippers with Interchangeable Fingers)

Τέτοια δάκτυλα προσαρμόζονται σε ένα μηχανισμό αρπάγης. Για να μπορεί μια αρπάγη να πιάνει διάφορα αντικείμενα τα δάκτυλα της μπορούν να αντικατασταθούν με τα κατάλληλα. Αισθητήρια συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν στα δάκτυλα όπως οι αισθητήρες αφής ή απόστασης οι οποίοι θα ενημερώνουν το ρομπότ για κοντινά αντικείμενα αλλά και την ικανότητα να ρυθμίζουν την δύναμη της πίεσης τους πάνω σε πιθανόν εύθραυστα κομμάτια.



Εικόνα 7.5: Αρπάγες με δυνατότητα Αλλαγής Δακτύλων

Αρπάγες με Πολλαπλά Δάκτυλα (Multiple Fingers Gripper)

Ο σχεδιασμός αυτής της αρπάγης μοιάζει σαν ένα ανθρώπινο χέρι. Μπορεί όμως να διαθέτει μεγαλύτερο αριθμό δακτύλων εξοπλισμένα με αισθητήρες αφής προσομοιώνοντας τη λειτουργία του ανθρώπινου χεριού.



Εικόνα 7.6: Αρπάγη Κέντρου με 4 Μαλακά Δάκτυλα

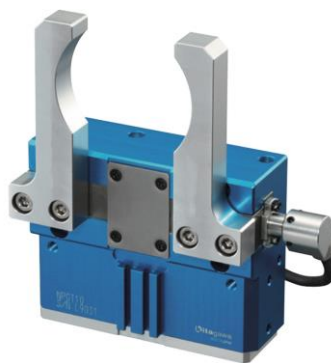
Τυπικές Μορφές Αρπάγης (Standard Grippers)

Τυπικός σχεδιασμός αρπάγων οι οποίες υπάρχουν στο εμπόριο. Σχεδιασμένες με βάση της αρπάγες που χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία όπως τα παραπάνω παραδείγματα και όχι μόνο. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η ανάγκη για εξατομικευμένες αρπάγες.

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι αρπάγων είναι οι εξής:

Αρπάγη Δύο-Σιαγόνων Παράλληλης Κίνησης (Parallel Motion Two-Jaw Gripper)

Πολύ βασικός τύπος αρπάγης ο οποίος κατασκευάζεται σε πολλά μεγέθη, εύρη δυνάμεων, βάρη και εύρη έκτασης. Υπάρχει επίσης και γωνιακή αρπάγη όπου τα δάκτυλα της μπορούν να περιστρέφονται κατά 90° σιγουρεύοντας την λήψη αλλά παρέχοντας επίσης ευκολότερη απελευθέρωση του αντικειμένου. Έχουν εκδόσεις πνευματικές, υδραυλικές και ηλεκτρικές και είναι ικανά να αρπάζουν αντικείμενα από δύο παράλληλες επίπεδες επιφάνειες. Έχουν τη δυνατότητα να πιάσουν ένα κομμάτι με εσωτερικές και εξωτερικές κινήσεις των δακτύλων.



Εικόνα 7.7: Πνευματική Αρπάγη Παράλληλης Κίνησης με 2 Σιαγόνες

Αρπάγη Τριών-Σιαγόνων (Three-Jaw Gripper)

Συνήθως χρησιμοποιούνται για να πιάνουν κομμάτια στο χώρο τους από μια κυλινδρική επιφάνεια. Αυτό το καταφέρνουν καθώς έχει τρία δάκτυλα τοποθετημένα σε απόσταση 120° μεταξύ τους. Οι κινήσεις των δακτύλων είναι αρμονικές και καταφέρνει να κεντράρει το κομμάτι προσφέροντας ασφαλές κράτημα. Μπορεί να υπάρξει σε παράλληλες αλλά και σε γωνιακές εκδόσεις, αλλάζοντας τον τρόπο προσέγγισης του κομματιού. Έχει τη δυνατότητα να κρατήσει ένα κομμάτι με εσωτερικές αλλά και εξωτερικές κινήσεις των δακτύλων.



Εικόνα 7.8: Αρπάγη 3 Σιαγόνων

Φυσητή Αρπάγη (Bellows Gripper)

Μπορεί να πιάσει κομμάτια τα οποία έχουν κάποια εσοχή φουσκώνοντας την ελαστομερής κύστη τους. Η αρπάγη αυτού του τύπου τροφοδοτεί αέρα ώστε να φουσκώσει την κύστη με αποτέλεσμα να σφηνώνει στην εσοχή του κομματιού. Έπειτα όταν πρέπει να απελευθερώσει το κομμάτι, αφήνει τον αέρα ώστε να ξεφουσκώσει τη κύστη επαναφέροντας την στην αρχική της μορφή.



Εικόνα 7.9: Φυσητή Αρπάγη με Κύστη. Με τη πίεση του πάνω μέρους η Κύστη Φουσκώνει. Με την απελευθέρωση του πάνω μέρους η Κύστη Ξεφουσκώνει.

Collet and Expanding Mandrel Gripper

Αυτή η αρπάγη είναι μια συσκευή η οποία μπορεί να χειρίζεται κομμάτια με κυλινδρικές επιφάνειες. Αυτό μπορεί να το καταφέρει χάρη στο σχήμα του το οποίο μοιάζει με σφήνα όπου εκτελώντας μια γραμμική κίνηση συσφίγγει το κομμάτι από την εσωτερική (Internal Diameter ID) ή την εξωτερική διάμετρο (Outside Diameter OD) του.



Εικόνα 7.10: Αρπάγη με Επέκταση

Αρπάγη Δακτύλιος – O (O-Ring Gripper)

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Είναι ειδικές συσκευές σχεδιασμένες να χειρίζονται σφραγίδες σε σχήμα δακτυλιδιού – Ο. Ο τρόπος που λειτουργούν τα δάκτυλα αυτής της αρπάγης ακολουθεί αυτόν της αρπάγης τριών σιαγόνων. Ο αριθμός όμως των δακτύλων είναι παραπάνω από τρεις, συνήθως έχουν έξι (6) ή οκτώ (8) δάκτυλα τα οποία εκτείνονται ακτινικά από μέσα προς τα έξω (εξωτερική κίνηση) για να πιάσουν την εσωτερική διάμετρο του δακτυλιδιού.



Εικόνα 7.11: Αρπάγη Δακτυλιδιού

Πολυδάκτυλη και Προσαρμοστική Αρπάγη (Multi-finger and Adaptive Gripper)

Είναι μια σχετικά νέα εφαρμογή αρπάγης. Ο σχεδιασμός της επιτρέπει να συνεργάζεται με πολλά προϊόντα τα οποία ήταν απίθανό να χειριστούν σωστά με άλλα είδη αρπάγης. Μπορούν να περιέχουν αισθητήρες δύναμης ώστε να ενημερώνουν τον ελεγκτή για την πίεση που ασκούν και είναι επίσης ικανή για την αρπαγή προϊόντων με ακανόνιστο σχήμα ή με απαλή υφή.



Εικόνα 7.12: Αρπάγη 3 Δακτύλων με Προσαρμογή τους γύρω από το αντικείμενο

Αρπάγη Βελόνας (Needle Gripper)

Αποτελεί μια λιγότερο συνηθισμένη εφαρμογή αρπάγης η οποία είναι σχεδιασμένη για να χειρίζεται υλικά στα οποία μπορούν να τρυπώσουν οι βελόνες της. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στο χειρισμό κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων όπως πορώδες ή υφαντικά σεντόνια.



Εικόνα 7.13: Αρπάγη Βελόνας

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Άλλοι τύποι αρπάγης που μπορούν να εφαρμοστούν στο άκρο ενός ρομπότ είναι αρπάγη ηλεκτρομαγνήτη και αρπάγη ηλεκτροστατικής δύναμης. Μπορούν έμπιστα να χειριστούν κομμάτια με επίπεδες ή κυλινδρικές επιφάνειες.[5],[17],[18].



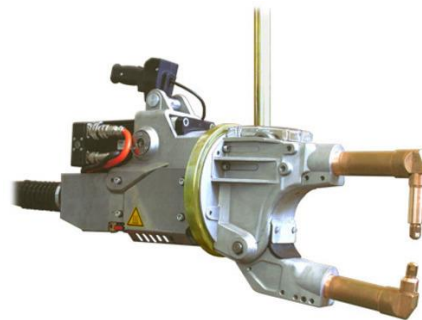
Εικόνα 7.14: Αρπάγη με Ηλεκτρομαγνήτη. Αρπάγη με Ηλεκτροστατική Έλξη

7.4 Εργαλεία (Tools)

Τα ρομπότ χρησιμοποιούν διάφορα εργαλεία για την επεξεργασία των κομματιών. Σε αυτή τη περίπτωση το κομμάτι είτε μένει σταθερό σε μια θέση ή ρυθμίζεται να κινείται μέσω ενός άλλου ρομπότ, σε ορισμένες θέσεις για τη διευκόλυνση της επεξεργασίας. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση διάφορων επεξεργασιών μπορεί να είναι τα εξής:

Πιστόλι Σημειακής Συγκόλλησης (Spot Welding Gun)

Τα πιστόλια σημειακής συγκόλλησης χρησιμοποιούνται για την ένωση δύο φύλλων μετάλλων σε ένα σημείο. Είναι ιδιαίτερα συνηθισμένο να εφαρμόζονται σε αρθρωτά ρομπότ σε βιομηχανίες αυτοκινήτων για τη κατασκευή του σκελετού των αυτοκινήτων.



Εικόνα 7.15: Πιστόλι Σημειακής Συγκόλλησης

Εργαλείο Συγκόλλησης Τόξου (Arc Welding Tool)

Το εργαλείο καταφέρνει να λιώσει και να ενώσει καταναλώσιμα μέταλλα με βασικά μέταλλα. Χρησιμοποιούνται έντονα σε κατασκευές βιομηχανικού εξοπλισμού.



Εικόνα 7.16: Εργαλείο Συγκόλλησης Τόξου

*Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT
Πιστόλι Ψεκασμού Βαφής (Paint Spray Gun)*

Τα ρομπότ εξοπλισμένα με πιστόλι ψεκασμού βαφής, χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία οχημάτων, όπου βάφουν λεπτομερώς τα οχήματα και τα εξαρτήματά τους.



Εικόνα 7.17: Αυτόματο Πιστόλι Ψεκασμού Βαφής

Περιστρεφόμενη Άτρακτος για Γεώτρηση, Δρομολόγηση, Λείανση κτλ. (Rotating Spindle)

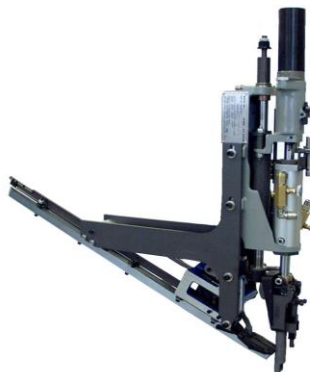
Οι περιστρεφόμενοι άτρακτοι κατασκευάζονται με τρόπο ώστε να είναι όσο ελαφριότεροι γίνεται για να μην ζορίζεται ο ρομποτικός βραχίονας, ενώ ταυτόχρονα διατηρούν το φορτίο του εργαλείου στο ελάχιστο βάρος. Έτσι το ρομπότ μπορεί να πραγματοποιεί γρήγορες κινήσεις και να προσεγγίσει το κομμάτι από διάφορες γωνίες.



Εικόνα 7.18: Περιστρεφόμενη Άτρακτος με ενσωματωμένο Τρυπάνι

Εργαλείο Συναρμολόγησης (Assembly Tools)

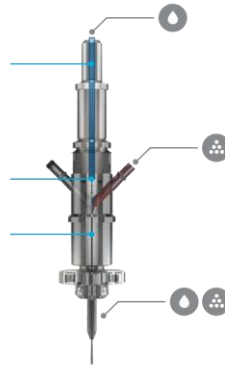
Τα εργαλεία συναρμολόγησης βοηθάνε στην σύνδεση, την ένωση ή την συναρμολόγηση διάφορων εξαρτημάτων για την συμπλήρωση μια κατασκευής. Συνήθως χρησιμοποιούνται κατσαβίδια, κόπτες καλωδίων, συστήματα αντλιών κενού, γραφείς διαμαντιών κ.α.



Εικόνα 7.19: Τελικό Στοιχείο ενσωματωμένο με Κατσαβίδι

Εργαλείο Κοπής Πίδακα Νερού (Water Jet Cutting Tool)

Τα εργαλεία κοπής πίδακα νερού ψεκάζουν παγωμένο νερό για τη κοπή, το οποίο είναι ιδανικό για τη αυτοκινητοβιομηχανία, τις ιατρικές και αεροδιαστημικές εφαρμογές. Μπορούν να εκτελέσουν οποιαδήποτε κοπή, να εφαρμοστεί κάποια ακολουθία τρυπημάτων, να χαράξουν μια λεπτομερή διαδρομή σε οχήματα κ.α.



Εικόνα 7.20: Τρόπος Λειτουργίας Εργαλείου Κοπής Πίδακα Νερού

Το ρομπότ κατά την επεξεργασία ενός κομματιού σε πολλές περιπτώσεις συνεργάζεται με άλλο ρομπότ ώστε να καταφέρει να μετακινήσει το τελικό εργαλείο στις θέσεις που χρειάζεται να βρίσκεται. Έχει πρόσβαση στην λειτουργία του ίδιου του εργαλείου για να το ενεργοποιεί και να το απενεργοποιεί όταν πρέπει. Αυτό το καταφέρει μέσω του ελεγκτή ο οποίος ανάλογα τη θέση του κομματιού θα δώσει το κατάλληλο σήμα για να ρυθμίσει την ανάλογη λειτουργία, είτε πρέπει να ενεργοποιήσει το εργαλείο, να αυξήσει ή να μειώσει την ένταση του ή να το απενεργοποιήσει αλλά και να κινήσει το κομμάτι στη επόμενη θέση. Σε πολλές εφαρμογές τα ρομπότ χρειάζονται διάφορα εργαλεία για την ολοκλήρωση μιας επεξεργασίας. Σε αυτή τη περίπτωση τα ρομπότ εφοπλίζονται με μια θήκη γρήγορης αλλαγής εργαλείων για να συνδέουν και να αποσυνδέουν τα εργαλεία που χρειάζονται για τη εκτέλεση του κύκλου εργασίας.[16], [19].

8 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο : Αισθητήρια Συστήματα

8.1 Σύνοψη Κεφαλαίου

Το 8^ο κεφάλαιο εστιάζει στα αισθητήρια συστήματα που συμπεριλαμβάνονται στα ρομποτικά συστήματα και περιγράφονται οι διαφορετικοί τύποι τους και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

8.2 Εισαγωγική στα Αισθητήρια Συστήματα

Με τη βοήθεια των αισθητήρων τα ρομπότ καταφέρνουν να εντοπίζουν διάφορες παραμέτρους οι οποίες σηματοδοτούν ανάλογα με την επιθυμητή τιμή τους την έναρξη ή διακοπή διάφορων ενεργειών από μέρους του ρομπότ.

Τα ρομπότ με τη βοήθεια των αισθητήρων μπορούν να αισθάνονται:

- Την κατεύθυνση του φωτός
- Τις συχνότητες του ήχου
- Τη θερμοκρασία
- Την εγγύτητα ενός αντικειμένου
- Την φυσική θέση και το προσανατολισμό τους
- Τα μαγνητικά και ηλεκτρικά πεδία
- Την αντίσταση

Οι αισθητήρες των ρομπότ θα πρέπει να διαθέτουν κάποια απαραίτητα επιθυμητά χαρακτηριστικά όπως:

- Αξιόπιστη εκτίμηση μέτρησης
- Το κατάλληλο εύρος λειτουργίας
- Την γρήγορη ανταπόκριση
- Την κατάλληλη βαθμονόμηση
- Την αξιοπιστία καλής λειτουργίας
- Χαμηλό κόστος και μεγάλη ευκολία χρήσης

8.3 Τύποι Αισθητήριων Συστημάτων για Ρομπότ

Οι αισθητήρες τοποθετούνται είτε εσωτερικά στο σώμα του ρομπότ αποδίδοντας σχετικές πληροφορίες για τη κατάσταση του ή εξωτερικά ενημερώνοντας για τη κατάσταση του περιβάλλοντος και του χώρου εργασίας του.

Αισθητήρες Θέσης (Position Sensor)

Οι αισθητήρες θέσης επιβλέπουν τις κινήσεις και εντοπίζουν τη θέση των αρθρώσεων του ρομπότ κάθε στιγμή ώστε να ενημερώνουν τον ελεγκτή του για τις θέσεις του βραχίονα και του άκρου του.

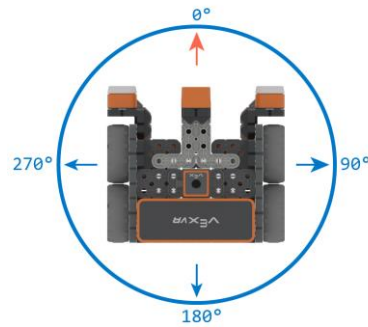
Αισθητήρας Εμβέλειας (Range Sensor)

Οι αισθητήρες εμβέλειας υπολογίζουν την απόσταση μεταξύ ενός σημείου του ρομπότ στο οποίο έχουν εγκατασταθεί και κάποιου σημείου στο περιβάλλον του. Συνήθως εφαρμόζονται στο άκρο του ρομπότ ώστε να υπολογίζεται η απόσταση του άκρου με το αντικείμενο. Συχνά χρησιμοποιούνται κάμερες, λέιζερ ή ραντάρ σόναρ.

Πιο κοινά αισθητήρια συστήματα τα οποία εφαρμόζονται συνήθως σε πολλές μορφές ρομποτικών συστημάτων αποτελούν οι:

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT
Αισθητήρες Κατεύθυνσης (Heading Sensor)

Οι αισθητήρες κατεύθυνσης εντοπίζουν την κατεύθυνση και τον προσανατολισμό του ρομπότ σύμφωνα με μια αναφορική τιμή εισόδου. Λειτουργούν σαν πυξίδα ή γυροσκόπιο για το ρομπότ.



Εικόνα 8.1: Αισθητήρας Κατεύθυνσης

Αισθητήρες Ταχύτητας (Velocity Sensor)

Οι αισθητήρες ταχύτητας υπολογίζει τη ταχύτητα του ρομπότ. Με αυτή τη πληροφορία ο ελεγκτής μπορεί να υπολογίσει χάρη σε μεταβλητές όπως τη βαρύτητα και τη μηχανική δύναμη των αρθρώσεων, τις ρυθμίσεις που χρειάζονται για να επιτευχθεί μια επιθυμητή ταχύτητα.



Εικόνα 8.2: Ταχύμετρο με DC κινητήρες

Αισθητήρες Όρασης (Vision Sensor)

Οι αισθητήρες όρασης βοηθάνε τα ρομπότ σε εργασίες που χρειάζεται να πιάσουν συγκεκριμένα αντικείμενα, παρέχοντας πληροφορίες όπως η τοποθεσία και ο προσανατολισμός του αντικειμένου και να χειρίζονται έναν χώρο εργασίας ο οποίος μπορεί να είναι ανακατεμένος. Επίσης μπορούν να εκτιμήσουν τη θέση και το προσανατολισμό του ίδιου του ρομπότ ανάλογα τη ρύθμιση του σημείου εγκατάστασης τους.



Εικόνα 8.3: Αισθητήρας Όρασης 3D

Αισθητήρες Δύναμης (Force Sensor)

Οι αισθητήρες δύναμης ειδοποιούν τον ελεγκτή για την πίεση που ασκείται σε κάποιο ή από κάποιο κομμάτι του. Συνήθως το τελικό στοιχείο δράσης χρειάζεται να ενημερώνει τον ελεγκτή σχετικά με τη δύναμη που ασκεί στο αντικείμενο ειδικά αν πρέπει να χειριστεί εύθραυστα αντικείμενα ή προϊόντα.



Εικόνα 8.4: Έξυπνη Αρπάγη με την αίσθηση της Αφής

Αισθητήρες Εγγύτητας (Proximity Sensor)

Οι αισθητήρες εγγύτητας μπορούν να εντοπίζουν την παρουσία ενός αντικειμένου ή εμποδίου μέσα σε μια συγκεκριμένη απόσταση και να το αναφέρουν μέσω μιας ανατροφοδότησης στον ελεγκτή του ρομπότ. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο εντοπισμός μπορεί να είναι είτε με τη μέθοδο επαφής ή μη επαφής.

▪ Αισθητήρες Εγγύτητας Επαφής (Contact Proximity Sensor)

Είναι συσκευές οι οποίες αξιοποιούν μια ράβδο η οποία εκτείνεται από ένα σημείο του ρομπότ, στην άκρη της οποίας βρίσκεται ένας τερματικός διακόπτης. Έτσι ο αισθητήρας θα σηματοδοτήσει την παρουσία ενός αντικειμένου αν ο διακόπτης έρθει σε επαφή με αυτό.



Εικόνα 8.5: Αισθητήρας Εγγύτητας με Τερματικό Διακόπτη

- Αισθητήρες Εγγύτητας Χωρίς Επαφή (Non-Contact Proximity Sensor)

Βασίζεται σε διάφορες αρχές λειτουργίας οι οποίες μπορούν να εντοπίσουν τη παρουσία ενός αντικειμένου ή εμποδίου μέσω κάποιας συχνότητας ή ανάκλασης. Όπως είναι ο υπέρηχος, η ανάκλαση φωτός κ.α.



Εικόνα 8.6: Επαγωγικός Αισθητήρας Εγγύτητας

Επιταχυνσιόμετρα ή Γυροσκόπια (Accelerometers or Gyroscopes)

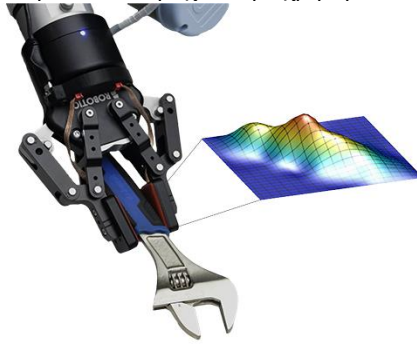
Τα επιταχυνσιόμετρα χρησιμοποιούν τις δονήσεις για τον υπολογισμό της γραμμικής επιτάχυνσης ενώ τα γυροσκόπια μπορούν να ορίσουν τον προσανατολισμό βάσει της στροφορμής.



Εικόνα 8.7: Επιταχυνσιόμετρο και Γυροσκόπιο 6 Αξόνων

Αισθητήρες Αφής ή Απτικοί (Tactile Sensor)

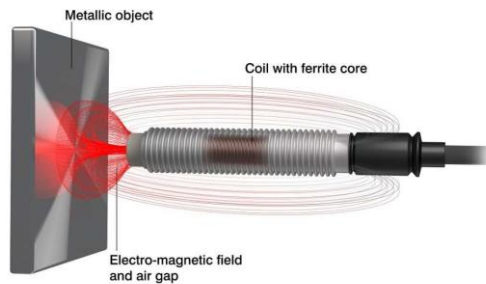
Προσφέρουν απτικές δυνατότητες στα ρομπότ όπως το άγγιγμα. Προσαρμόζονται στις άκρες των δακτύλων μιας αρπάγης προσομοιώνοντας την αίσθηση του αγγίγματος. Είναι ικανοί να υπολογίσουν το μέγεθος αλλά και την ακαμψία ενός αντικειμένου. Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτές τις πληροφορίες ώστε να ρυθμίσει τη δύναμη αλλά και τη θέση των δακτύλων για τον κατάλληλο χειρισμό του αντικειμένου είτε είναι εύθραυστο ή γλιστερό.



Εικόνα 8.8: Αρπάγη με Αισθητήρες Αφής. Απεικόνιση 3D Γραφήματος με τη πίεση της αρπάγης

Αισθητήρες Δινορευμάτων (Eddy Current Sensor)

Οι αισθητήρες δινορευμάτων χρησιμοποιούνται για την μέτρηση απόστασης μεταξύ μιας μεταλλικής επιφάνειας και του άκρου του ρομπότ. Με τη βοήθεια ενός αισθητήριου πηνίου στέλνουν ένα σήμα υψηλής συχνότητας στην επιφάνεια του αντικειμένου. Το πλάτος του σήματος που θα προκύψει πάνω στην επιφάνεια εξαρτάται από την απόσταση. Έτσι επιβλέποντας τη τιμή του πλάτους πάνω στην επιφάνεια μπορεί να διευκρινιστεί η απόσταση μεταξύ τους.



Εικόνα 8.9: Αισθητήρας Δινορευμάτων

Όλοι οι παραπάνω αλλά και άλλοι τύποι αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη ρομποτική. Η εφαρμογή των αισθητήρων συμβάλλουν στη ανάπτυξη της επικοινωνίας των ρομπότ με το περιβάλλον τους. Επιπλέον εξυπηρετούν στην επίβλεψη της κατάστασης του ρομπότ κάνοντας εύκολο τον εντοπισμό σφαλμάτων για τη γρήγορη επισκευή τους. Έτσι συμπεραίνεται ότι η κατάλληλη επιλογή των τύπων αισθητήρων συστημάτων αλλά και ο τρόπος με τον οποίο ο ελεγκτής του ρομπότ θα μπορεί να αξιοποιήσει τις πληροφορίες αυτές μπορούν να καθορίσουν την απόδοση του ρομποτικού συστήματος.[20],[21].

9 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο : Ελεγκτής (Controller)

9.1 Σύνοψη Κεφαλαίου

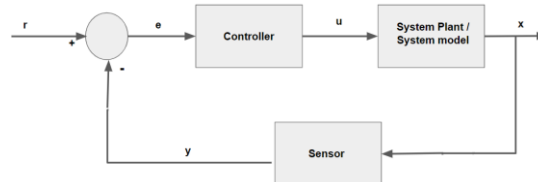
Το 9^ο κεφάλαιο εστιάζει στις βαθμίδες ελέγχου των ρομποτικών συστημάτων.

9.2 Εισαγωγή στον Ελεγκτή του Ρομπότ

Ο ελεγκτής είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία του ρομπότ το οποίο φυσικά περιλαμβάνει την κίνηση των αρθρώσεων του αλλά και το τελικό στοιχείο δράσης για τη τοποθέτηση του άκρου του στο επιθυμητό σημείο. Επιπλέον λαμβάνει όλα τα σήματα που προέρχονται από τους αισθητήρες του ρομπότ ώστε να δίνει τις εντολές για να προσαρμόσει ανάλογα είτε τη θέση του ρομπότ ή τη πίεση της αρπάγης του άκρου του ή να αναφέρει διάφορα προβλήματα της λειτουργία του ρομπότ σε περίπτωση βλάβης. Στη πραγματικότητα ένα τέτοιο ρομπότ θα χρησιμοποιεί εσωτερικούς και εξωτερικούς αισθητήρες για τη βέλτιστη λειτουργία του σε συνεργασία με το περιβάλλον εργασίας του, των αντικειμένων που βρίσκονται μέσα σε αυτό αλλά και για την ασφάλεια του ρομπότ, του χειριστή του και άλλων ρομπότ σε κοντινή απόσταση.

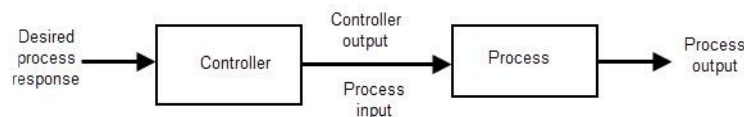
Συστήματα Ελέγχου των Ρομπότ

Τα ρομποτικά συστήματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ελέγχου, τον έλεγχο ανοικτού βρόγχου και έλεγχο κλειστού βρόγχου.



Εικόνα 9.1: Σύστημα Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου

Στα συστήματα ελέγχου κλειστού βρόγχου η έξοδος του συστήματος ανατροφοδοτείται στη είσοδο του. Σε αυτά τα ρομποτικά συστήματα ελέγχου διάφοροι παράμετροι όπως η θέση, η ταχύτητα κτλ. μετράται με κατάλληλα αισθητήρια όργανα ανατροφοδότησης όπως είναι ο ψηφιακός κωδικοποιητής, η ταχογεννήτρια κ.α. Έτσι στο παράδειγμα του συστήματος ενός ηλεκτρικού κινητήρα αν παρατηρηθεί αύξηση ή μείωση της ταχύτητας περιστροφής του, μπορεί να ρυθμιστεί η τάση εισόδου κατάλληλα ώστε να διατηρηθεί επιθυμητή τιμή.



Εικόνα 9.2: Σύστημα Ελέγχου Ανοικτού Βρόγχου

Στα συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόγχου η έξοδος του συστήματος δεν έχει καμία επίδραση στη είσοδο του που σημαίνει ότι δεν υπάρχει το κομμάτι της ανατροφοδότησης. Σε ένα παράδειγμα ενός συστήματος ηλεκτρικού κινητήρα δέχεται στην είσοδο μια σταθερή τάσης τροφοδοσίας, με αποτέλεσμα να περιστρέφεται με μια ταχύτητα στον άξονα του. Η είσοδος ισοδυναμεί με τη τάση ενώ η έξοδος αντιστοιχεί με τη ταχύτητα περιστροφής. Εάν εφαρμοστεί ένα φορτίο στη έξοδο του κινητήρα η ταχύτητα του θα επηρεαστεί, το οποίο δεν είναι επιθυμητό καθώς μπορεί να οδηγήσει σε διάφορα προβλήματα. Όμως με το παρόν σύστημα αυτό δεν είναι δυνατό να προσαρμοστεί ώστε η τάση στην είσοδο του συστήματος να ανταπεξέλθει στο φορτίο.

9.3 Τρόποι Ελέγχου του Ρομπότ

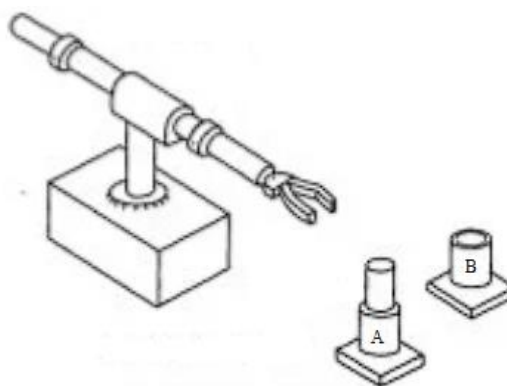
Η καθοδήγηση του ρομπότ από τη μονάδα ελέγχου μπορεί να γίνει:

1. με χειροκίνητο έλεγχο όπου η χειροκίνητη καθοδήγηση είναι σημαντική για την εκμάθηση μιας ακολουθίας κινήσεων του ρομπότ,
2. με ασύρματο έλεγχο όπου η μονάδα ελέγχου επικοινωνεί με το ρομπότ μέσω του Internet, του Bluetooth ή κάποιας άλλης συχνότητας και
3. με πλήρως αυτόματο έλεγχο υπό τη χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) κατά την οποία το ρομπότ αποκτά ένα νέο επίπεδο γνώσης της λειτουργίας του ώστε να αποφασίζει μόνο του σε διάφορες καταστάσεις.

Οι τρόποι ελέγχου του ρομπότ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

Περιορισμένος Έλεγχος Ακολουθίας (Limited Sequence Control)

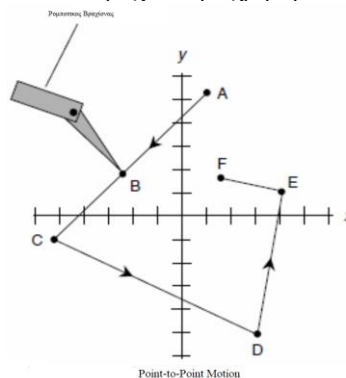
Αυτός ο τρόπος αποτελεί το πιο στοιχειώδη τρόπο ελέγχου ο οποίος χρησιμοποιείται μόνο για απλές εργασίες μετακίνησης και τοποθεσίας ενός αντικειμένου από ένα σημείο σε ένα άλλο. Ορίζει όρια στις κινήσεις της κάθε άρθρωσης ώστε να συμπληρώσει μια αλληλουχία κινήσεων των αρθρώσεων από ένα σημείο έναρξης A μέχρι ένα σημείο τέλους B.



Εικόνα 9.3: Μετακίνηση του Ρομποτικού Βραχίονα από το σημείο A στο σημείο B

Αναπαραγωγή με Έλεγχο από Σημείο σε Σημείο (Playback with Point to Point Control)

Σε αντίθεση με τον περιορισμένο έλεγχο αυτός ο τρόπος ελέγχου είναι πιο ανεπτυγμένος και χρησιμοποιείται από πολλά ρομποτικά συστήματα σήμερα. Όπως αναφέρει και η ονομασία του το ρομπότ καταφέρνει να αναπαραγάγει μια ακολουθία κινήσεων κατά την εκτέλεση του προγράμματος μέσα σε ένα κύκλο κίνησης, την οποία έχει καταγράψει μαζί με συγκεκριμένες λεπτομέρειες τοποθεσίας, ταχύτητας κτλ. τις κάθε κίνησης με τη βοήθεια της μνήμης που διαθέτει. Έτσι αποθηκεύει τις συντεταγμένες κάθε άρθρωσης σημείο προς σημείο των οποίων οι κινήσεις δεν περιορίζονται αλλά αποτελούνται από μια ομάδα τιμών οι οποίες αναπαριστούν το εύρος κινήσεων τους. Η μονάδα ελέγχου περιλαμβάνει ένα σύστημα ανατροφοδότησης το οποίο αναφέρει τις συντεταγμένες κάθε άρθρωσης ξεχωριστά ώστε να επιβεβαιώνει την επιτυχία της άφιξης της κάθε άρθρωσης στα προκαθορισμένα σημεία στη διάρκεια ενός κύκλου κατά την εκτέλεση του προγράμματος.



Εικόνα 9.4: Απεικόνιση Κίνησης από Σημείο σε Σημείο

Τα ρομπότ με έλεγχο σημείο σε σημείο (PTP) δεν μπορεί να ελέγξει τη διαδρομή του από το ένα σημείο στο επόμενο. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές όπως στην εισαγωγή εξαρτημάτων, σημειακή συγκόλληση, χειρισμό τρυπανιών, φόρτωση και εκφόρτωση μηχανών και συναρμολόγηση κομματιών.

Αναπαραγωγή με Συνεχής Έλεγχο της Διαδρομής (Playback with Continuous Path Control)

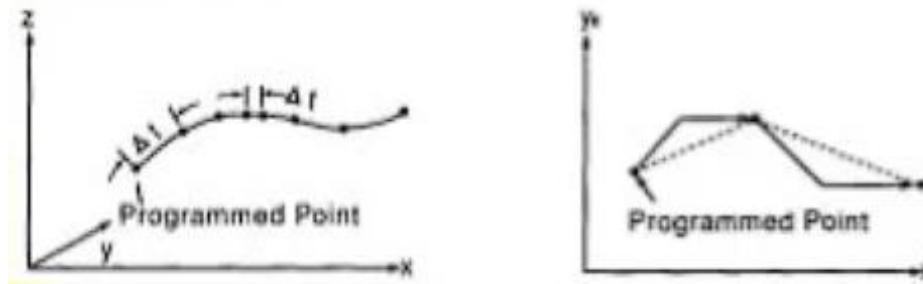
Ο ελεγκτής συνεχούς ελέγχου διαδρομής (CP) έχει την ικανότητα προσομοίωσης ενός ελεγκτή PTP. Κύρια διαφορά ανάμεσα σε αυτούς τους ελεγκτές είναι ότι ο ελεγκτής CP μπορεί να ρυθμίζει συνέχεια με τη βοήθεια σερβο-ελεγκτή πέρα από τη θέση του βραχίονα και τη ταχύτητα του. Υπάρχουν όμως δύο (2) χαρακτηριστικά που διαθέτει αυτός ο ελεγκτής που τον ανεβάζουν σε επίπεδο τα οποία είναι:

Ομαλή Χωρητικότητα Αποθήκευσης (Cremor Storage Capacity)

Ο ελεγκτής συνεχούς ελέγχου διαδρομής διαθέτει σημαντικά μεγαλύτερη χωρητικότητα μνήμης το οποίο του επιτρέπει να καταγράφει περισσότερες θέσεις των αρθρώσεων σε ένα κύκλο. Αυτό σημαίνει ότι τα σημεία που έχουν καταγραφεί στη μνήμη θα βρίσκονται σε μια πιο κοντινή απόσταση μεταξύ τους το οποίο έχει ως αποτέλεσμα μια πιο ομαλή ακολουθία κινήσεων του βραχίονα προς τη τελική θέση. Τα ρομπότ μπορούν εύκολα να εκτελέσουν μια ευθύγραμμη κίνηση αλλά είναι επίσης ικανά να ακολουθήσουν διαδρομές με καμπύλη με ομαλό τρόπο. Σε αντίθεση με τον PTP ελεγκτή, ο ελεγκτής CP χάρη σε αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να ελέγξει τις κινήσεις του βραχίονα και του καρπού του ρομπότ στη τελευταία διαδρομή.

Υπολογισμός Παρεμβολής (Interpolation Calculation)

Ο ελεγκτής έχει την ικανότητα να υπολογίσει το μονοπάτι που θα ακολουθήσει δημιουργώντας διαδρομές είτε ευθύγραμμες ή καμπυλωτές ανάμεσα στα σημεία που έχει αποθηκεύσει χρησιμοποιώντας αλγόριθμους παρεμβολής. Συνήθως ακολουθούν είτε γραμμική ή κυκλική παρεμβολή αναγνωρίζοντας το μοτίβο κίνησης του ρομπότ από σημείο σε σημείο. Διατηρούν μεγάλη ακρίβεια στη διαδρομή σε οποιοδήποτε σημείο της με τη βοήθεια σερβο-ελεγκτή ο οποίος επιτρέπει την ρύθμιση της κάθε κίνησης σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον τα σημεία για τον υπολογισμό δεν χρειάζεται να είναι πολλά, αλλά τα μόνα που χρειάζονται είναι το αρχικό σημείο, το τελικό σημείο και η επιθυμητή τροχιά η οποία αντιστοιχεί σε μια συνάρτηση ορισμού της επιθυμητής διαδρομής. Χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές βαψίματος με σπρέι, για φινίρισμα, για κόλληση και λειτουργίες συγκόλλησης τόξου.



Εικόνα 9.5: Προγραμματιζόμενα σημεία Συνεχούς Ελέγχου

Ευφυής Έλεγχος (Intelligent Control)

Οι ευφυείς ελεγκτές μπορούν να προσομοιώσουν τους ελεγκτές PTP και CP. Στα σημερινά ρομπότ οι ευφυείς ελεγκτές με την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών αναπτύσσουν το επίπεδο νοημοσύνης των ρομπότ. Διαθέτουν υψηλό υπολογιστικό επίπεδο και λειτουργούν με μια προχωρημένη γλώσσα προγραμματισμού για την αποθήκευση περίπλοκων δεδομένων όπως της λογικής της λήψης αποφάσεων και της νοημοσύνης. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να ανταποκρίνονται σε αλλαγές γύρω τους εκθέτοντας συμπεριφορές οι οποίες αποδίδουν στοιχεία επίγνωσης. Συγκεκριμένα τα ρομπότ αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους, παίρνουν αποφάσεις όταν υπάρχει κάποιο πρόβλημα κατά τον κύκλο εργασίας, επικοινωνούν με τους ανθρώπους, κάνουν υπολογισμούς κατά τη διάρκεια των κινήσεων του ρομπότ και ανταποκρίνονται σε προηγμένες μορφές εισόδου αισθητήρων όπως είναι η μηχανική όραση.[22],[23],[24],[25].

9.4 Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)

Η τεχνολογία της τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιείται ήδη σε πολλές εφαρμογές της ρομποτικής και όχι μόνο. Στο τομέα της ρομποτικής η τεχνητή νοημοσύνη αξιοποιείται για τη εκτέλεση περίπλοκων εργασιών. Η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης επεκτείνει τη χρησιμότητα των ρομποτικών συστημάτων σε διάφορα πεδία εφαρμογών, ενώ έχει αποδειχθεί ότι μειώνει το κόστος παραγωγής των ρομποτικών βραχιόνων. Ως αποτέλεσμα τα ρομποτικά συστήματα γίνονται πιο ικανά και πιο προσιτά από οικονομική όψη ώστε μεγάλοι οργανισμοί όπως η Amazon έχουν αρχίσει να επενδύουν σημαντικά στη ρομποτική τεχνολογία.

Τρόπος Λειτουργίας Τεχνητής Νοημοσύνης (A.I.)

Η τεχνητή νοημοσύνη σχετίζεται στην ικανότητα ενός υπολογιστικού συστήματος ή ρομποτικού συστήματος να λαμβάνει έξυπνες αποφάσεις ή να χρησιμοποιεί αλγόριθμους για τη λύση προβλημάτων ώστε να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του και να προσαρμόζεται σε αυτό με αποτέλεσμα να εκτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία. Το ευφυές στοιχείο στη τεχνητή νοημοσύνη προέρχεται από τη τεχνική που χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της απόδοσης σε μια δεδομένη εργασία, με το σύστημα να μαθαίνει από τις ομάδες δεδομένων που προκύπτουν από προηγούμενες προσπάθειες εκτέλεσης. Οι αλγόριθμοι της τεχνητής νοημοσύνης συνήθως αντιγράφουν τις διαδικασίες λύσης προβλημάτων που χρησιμοποιούνται από τους ανθρώπους. Είναι αλγόριθμοι νευρωνικών δικτύων που χρησιμοποιούν μια συλλογή από δυναμικούς κόμβους με την ικανότητα να παίρνουν αποφάσεις και οι οποίοι προσομοιώνουν κατά κάποιο τρόπο τους νευρώνες και τα νευρωνικά μονοπάτια στον ανθρώπινο εγκέφαλο.

Χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης (A.I)

Παρόλο που η τεχνολογία της τεχνητής νοημοσύνης υπάρχει και προσφέρει νέες δυνατότητες, πολλοί ρομποτικοί βραχίονες δεν την χρησιμοποιούν ή δεν την χρειάζονται καθώς ο σκοπός τους δεν είναι να λύσουν κάποιο πρόβλημα ή να μάθουν από τις προσπάθειες του. Σε αυτές τις περιπτώσεις το ρομπότ μπορεί να χρησιμοποιήσει το ίδιο πρόγραμμα για μια ίδια εργασία ξανά και ξανά. Σε αντίθετη περίπτωση όμως σε πιο εκλεπτυσμένες εργασίες η τεχνητή νοημοσύνη έχει την ικανότητα να εκτελεί πιο περίπλοκες ανάγκες και

συχνά με υπερβολικά μεγάλη ακρίβεια. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε εφαρμογές όπου είναι επιθυμητό το ρομπότ να διαθέτει δυνατότητες όπως την υπολογιστική όραση (Computer Vision) και την αναγνώριση μοτίβων (Pattern Recognition). Υπάρχουν αλγόριθμοι αναγνώρισης εικόνας βασισμένοι στη τεχνητή νοημοσύνη οι οποίοι έχουν εξαιρετική ακρίβεια και είναι ικανοί να βοηθήσουν τον βραχίονα να εκτελέσει εργασίες στις οποίες θα εντοπίζει ένα συγκεκριμένο αντικείμενο ή είδος αντικειμένου και θα το μεταφέρει σε συγκεκριμένες τοποθεσίες. Σε άλλο παράδειγμα όπου ένας ρομποτικός βραχίονας χρησιμοποιείται για συγκόλληση και κοπή υλικών για την συναρμολόγηση προϊόντων, η τεχνητή νοημοσύνη βοηθάει το σύστημα να προσαρμόζεται στις ελάχιστες μικρής κλίμακας αντοχές του κάθε εξαρτήματος. Αυτό συμβαίνει καθώς το κάθε υλικό ή εξάρτημα χρειάζεται ελάχιστα διαφορετικό τρόπο διαχείρισης ως προς τη κοπή ή συγκόλληση του και η τεχνητή νοημοσύνη συνεισφέρει στην αλλαγή του τρόπου προσέγγισης του ρομπότ κάθε φορά στην εκτέλεση μιας εργασίας με σκοπό να παράγει το καλύτερο αποτέλεσμα. Για την επίδειξη αλλά και απόδειξη όλων των δυνατοτήτων της τεχνητής νοημοσύνης σε συνδυασμό με τη ρομποτική, μια ομάδα μηχανικών ανέπτυξε το σύστημα Ai – da, το οποίο είναι ένα υπερρεαλιστικό ανθρωπόμορφο ρομποτικό σύστημα που χρησιμοποιεί κάμερες (αισθητήρα όρασης), τεχνητή νοημοσύνη και ένα ρομποτικό βραχίονα ώστε να μπορεί να ζωγραφίζει και να σχεδιάζει περίπλοκες εικόνες. Το αποτέλεσμα του ρομπότ δείχνει ότι η δύναμη της τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να εκτελέσει πέρα από παραγωγικές εργασίες και καλλιτεχνικές.

9.4.1 Εφαρμογές Ρομπότ με Τεχνητή Νοημοσύνη (A.I.)

Με τη προσθήκη της τεχνητής νοημοσύνης στα ρομπότ εισάγεται μια νέα γενιά, η οποία σαφώς θα βοηθήσει περαιτέρω τους κλάδους τους οποίους ήδη προσφέρει τις υπηρεσίες αλλά όπως θα φανεί παρακάτω ενισχύει το πεδίο εφαρμογών όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Βιομηχανικός Αυτοματισμός

Πολλές βιομηχανίες έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν ρομποτικούς βραχίονες με τεχνητή νοημοσύνη για εργασίες όπως το πακετάρισμα και τη διανομή προϊόντων. Πιο συγκεκριμένα τα ρομπότ αυτά μπορούν να πιάνουν αντικείμενα από ένα κουβά να αναγνωρίζουν το είδος του και να το ταξινομούν σε κάποιο πακέτο ή κάποιο άλλο δοχείο. Μια πραγματική εφαρμογή ενός ρομποτικού βραχίονα με τις παραπάνω δυνατότητες αναπτύχθηκε από την Nimble Robotics Inc., και πακετάρει με ακρίβεια 99% η οποία ισοδυναμεί με την ικανότητα ακρίβεια ενός εργάτη αλλά με τη διαφορά ότι το ρομπότ θα δουλεύει περισσότερες βάρδιες χωρίς σταματημό. Ως αποτέλεσμα έχει υπολογιστεί ότι η αγορά των αυτόματων αποθηκών άξιζε περίπου \$36 δις το 2020, ενώ εκτιμάται ότι η αγορά των ρομποτικών συστημάτων στοίβαξης θα φτάσει τα \$1.34 δις μέχρι το 2025.



Εικόνα 9.6: Ταξινόμηση Εξαρτημάτων με τη βοήθεια της Υπολογιστικής Όρασης και Αναγνώρισης Μοτίβων

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Σήμερα ρομπότ με τεχνητή νοημοσύνη προφέρουν τις υπηρεσίες τους σε αρκετές αποθήκες και εργοστάσια, πακετάροντας ψωμί για την Bimbo Bakeries Inc., καθώς επίσης ταξινομούν παραγγελίες για εταιρείες όπως η Best Buy και Victoria's Secret. Όμως παρόλα αυτά ο ρομποτικός αυτοματισμός έχει μόλις ξεκινήσει. Πολλές βιομηχανίες που επενδύουν στα ρομπότ, συγκεντρώνουν τις δυνάμεις τους για την ανάπτυξη και καινοτομία της τεχνολογίας ρομποτικών βραχιόνων με τη δύναμη της τεχνητής νοημοσύνης. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η ανάπτυξη του ARAS το οποίο χρησιμοποιεί υπολογιστική όραση και μια ποικιλία αισθητήριων συστημάτων με σκοπό να μαθαίνει από τους ανθρώπους πώς να εκτελούν μια εργασία και να την επαναλαμβάνουν μόνα τους.

Προσθετικά Άκρα

Το υγειονομικό σύστημα ενσωματώνει τη τεχνητή νοημοσύνη σε διάφορες εφαρμογές και υπηρεσίες για τη παροχή καλύτερης φροντίδας, ενώ ήδη έχει αρχίσει η έρευνα για το πώς θα μπορούσε η τεχνητή νοημοσύνη να προσφέρει βοήθεια σε ανθρώπους με ειδικές ανάγκες. Μια ομάδα στο πανεπιστήμιο του Pittsburgh κάνει προσπάθειες ανάπτυξης ενός ρομποτικού βραχίονα ο οποίος θα μπορεί να διαβάζει σήματα από ηλεκτρόδια εγκαταστημένα στον εγκέφαλο του χειριστή για να μπορεί να γίνει έλεγχος του ρομπότ μέσω του μυαλού του. Επιπρόσθετα το ρομπότ στέλνει προσομοιωμένα σήματα πίσω στο μυαλό του χειριστή ώστε να νοιώθει την αίσθηση της αφής μέσω της απτικής ανατροφοδότησης του ρομποτικού βραχίονα. Ενώ το προαναφερόμενο ρομπότ είναι σε πειραματικό στάδιο, υπάρχουν προσθετικά άκρα τα οποία είναι διαθέσιμα και χρησιμοποιούνται από πολλούς ανθρώπους. Ένα παράδειγμα είναι ο βοηθητικός ρομποτικός βραχίονας JACO ο οποίος ελέγχεται από έναν ελεγκτή πηγουινιού.



Εικόνα 9.7: Βοηθητικός Ρομποτικός Βραχίονας JACO

Νοσοκόμοι Βοηθοί

Στο πολύ πρόσφατο και όχι ακόμα ξεπερασμένο πρόβλημα, η πανδημία του COVID – 19 οδήγησε στη ραγδαία αύξηση των ασθενών σε νοσοκομεία. Για αυτό ο λόγο νοσοκομεία σε όλο τον κόσμο στράφηκαν στην χρήση των ρομπότ για την εξυπηρέτηση των ασθενών. Μερικά ρομπότ χρησιμοποιούνταν για την εξέταση της θετικότητας των ασθενών σε COVID ή διένεμαν φάρμακα και φαγητό στους αρρώστους. Τα ρομπότ παρείχαν την ασφάλεια της εξυπηρέτησης από απόσταση ενός από τους πιο σημαντικούς κανόνες κατά τις πανδημίες, μειώνοντας τη φυσική επαφή ανάμεσα στους ασθενείς και του προσωπικού ενώ παράλληλα προγραμματίζονταν για κάποιες αυτοματοποιημένες εργασίες επιτρέποντας τους ιατρούς και τις νοσοκόμες να εστιάζουν σε άλλες σημαντικότερης προτεραιότητας εργασίες.



Εικόνα 9.8: Ρομποτικοί Βοηθοί ενάντια στον COVID - 19

Προσωπικός Βοηθός στο Σπίτι

Ένα παράδειγμα ρομποτικού βραχίονα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οικιακούς χώρους αποτελεί το Huenit, ένας προσωπικός ρομποτικός βραχίονας ο οποίος ενεργεί σαν βοηθός μέσα στο σπίτι. Μπορεί να βοηθήσει στις διάφορες δουλειές ή αγγαρείες που χρειάζεται ένα σπίτι και να εκτελεί επίσης δημιουργικές εργασίες. Έχει τη δυνατότητα αλλαγής του τελικού στοιχείου δράσης με άλλες ποικιλίες του, ώστε να μπορεί το σύστημα να εκτυπώνει 3D μοντέλα, να σκαλίζει ξύλα ή αλουμίνιο, να ζωγραφίζει εικόνες και επίσης να μεταφέρει ένα μπολ σούπας ή μια κούπα καφέ.[26].



Εικόνα 9.9: Ρομπότ HUENIT με AI, 3D Printing, Laser Cutting

10 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο : Robot Operating System

10.1 Σύνοψη Κεφαλαίου

Το 10^ο κεφάλαιο περιγράφει τις λειτουργίες του ROS και όσα χρειάζονται για τη δημιουργία και τη προσομοίωση ενός αρθρωτού ρομποτικού βραχίονα. Επίσης περιγράφονται τα εργαλεία Rviz και MoveIt για την απεικόνιση και τον έλεγχο του ρομπότ

10.2 Εισαγωγή στο ROS

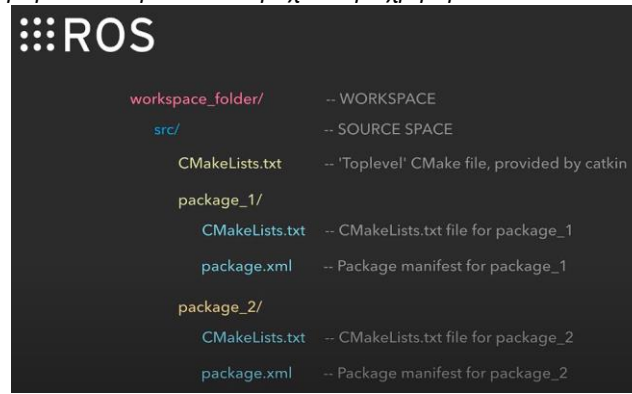
Το ROS είναι ένα πλαίσιο ανοικτού κώδικα το οποίο βοηθάει ερευνητές και προγραμματιστές να αναπτύξουν κώδικες για ρομποτικές εφαρμογές οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά σε άλλες ρομποτικές εφαρμογές. Είναι επίσης μια παγκόσμια κοινότητα ανοικτού κώδικα για μηχανικούς, προγραμματιστές και ενδιαφερόμενους οι οποίοι συνεισφέρουν στην βελτίωση των ρομπότ, στην διευκόλυνση της διαθεσιμότητας και της προσβασιμότητας τους. Πλέον χρησιμοποιείται η δεύτερη έκδοση του ROS με όνομα ROS 2. Το ROS 2 αποτελεί έναν πλήρη επανασχεδιασμό του πλαισίου, γεμίζοντας διάφορα κενά της πρώτης γενιάς, λειτουργώντας αποτελεσματικά στις ανάγκες και τα στάνταρ της βιομηχανίας. Το ROS 2 διαθέτει νέα πακέτα τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν μαζί με το ROS 1 για τη διευκόλυνση της μετάβασης σε μια πιο ασφαλή πλατφόρμα. Το ROS 2 εκμεταλλεύεται τις νέες τεχνολογίες και τις νέες αναπτυγμένες Διεπαφές Προγραμματισμού Εφαρμογών (Application Programming Interface – API) τα οποία χρειάζεται η κοινότητα.

Το Λειτουργικό Σύστημα για Ρομπότ (ROS) τροφοδοτεί το μέλλον της ρομποτικής στις βιομηχανίες, στις επιχειρήσεις και για τους προγραμματιστές. Η κύρια πλατφόρμα εφαρμογής του ROS υπήρξε και παραμένει η Ubuntu, χάρη στην ευκαμψία της και τη φιλικότητα της προς τον χρήστη της. Υπεύθυνη για το ROS είναι η Open Robotics, όπως η Canonical υποστηρίζει την Ubuntu. Το ROS δημιουργήθηκε από την Open Robotics αλλά αναπτύσσεται από τη κοινότητα του. Όπως αναφέρθηκε η ρομποτική βιομηχανία αναπτύσσεται ολοένα και περισσότερο σήμερα, και διάφορες εταιρείες και προγραμματιστές καταλήγουν στο ROS για τη πραγματοποίηση των ιδεών τους.

Τρόπος Λειτουργίας του ROS

Η επιφάνεια εργασίας του ROS βασίζεται στο τρόπο λειτουργίας της πλατφόρμας Ubuntu. Ως βασικό λειτουργικό σύστημα χρησιμοποιείται το λογισμικό ανοικτού κώδικα Linux καθώς συνεργάζεται άψογα με τη πλατφόρμα Ubuntu. Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί μια έκδοση Ubuntu σε λειτουργικό σύστημα των Windows. Το γεγονός ότι το Linux είναι το βασικό λειτουργικό σύστημα σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθούν όλες οι βασικές εντολές περιήγησης στην επιφάνεια εργασίας όπως φαίνονται στην Εικόνα 10.1 . Ο χρήστης μπορεί να εμφανίσει αρχεία των φακέλων, να δημιουργήσει, να αντιγράψει, να μετακινήσει αρχεία ή φακέλους, να ρυθμίσει τα δικαιώματα πρόσβασης τους, να επικοινωνήσει με διακομιστές, να ζητήσει πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του συστήματος όπως τη CPU και τη μνήμη κτλ.

Πέρα όμως από τις εντολές του Linux μπορούν να χρησιμοποιηθούν εντολές σχετικές με το ROS. Η δομή του ROS βασίζεται σε πακέτα τα οποία μπορούν να παρομοιαστούν σαν ειδικοί φάκελοι. Τα πακέτα αυτά δημιουργούνται μέσα σε έναν φάκελο που αναπαριστά τη κύρια επιφάνεια εργασίας του χρήστη και ονομάζεται “catkin workspace”, αλλά μπορούν να δημιουργηθούν και άλλες τέτοιες επιφάνειες εργασίας από το χρήστη. Μέσα σε αυτό το “workspace” υπάρχει ένας φάκελος με όνομα “src” ο οποίος αναπαριστά το “source space” και χρησιμοποιείται για την αποθήκευση όλων των νέων πακέτων που θα δημιουργήσει ο χρήστης. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 10.1 θα υπάρχει το κύριο “workspace” με τον φάκελο “src” όπου μέσα θα δημιουργηθούν όλα τα επιθυμητά ρομποτικά και μη project σε πακέτα, όπως το “package_1” και το “package_2”.

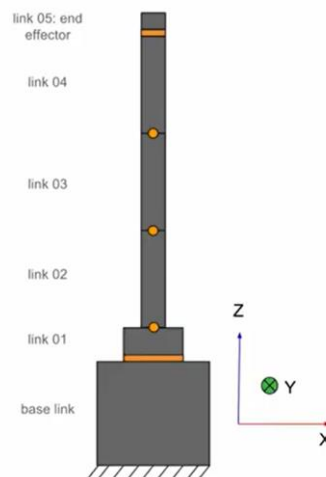


Εικόνα 10.1: Δομή της επιφάνειας εργασίας του λογισμικού ROS

Τα πακέτα θα περιέχουν όλα όσα χρειάζεται για τη λειτουργία ενός ρομποτικού project. Αρχικά για τη δημιουργία ενός πακέτου χρειάζεται η εντολή:

- `catkin_create_pkg <όνομα πακέτου> <dependencies>` πχ. `rospy` (για χρήση *python scripts*), `roscpp` (για χρήση *C++ scripts*), `std_msgs` κ.α. (για χρήση μηνυμάτων που είτε υπάρχουν ήδη ή μπορεί να δημιουργηθούν από το χρήστη)>.

Σε κάθε πακέτο που δημιουργείται, θα υπάρχουν αυτά τα δύο αρχεία τα οποία διακρίνονται στα πακέτα στην Εικόνα 10.2., και είναι το αρχείο “CMakeLists.txt” και το “package.xml” αρχείο. Ενώ στο κύριο “workspace” θα δημιουργηθεί μόνο το “CMakeLists.txt”. Το αρχείο “CMakeLists.txt” περιέχει πληροφορίες και οδηγίες για την δημιουργία και την εγκατάσταση του πακέτου. Σε περίπτωση που δεν περιέχονται μέσα σε αυτό το αρχείο όλα τα απαραίτητα στοιχεία με την συγκεκριμένη σειρά, δεν θα δημιουργηθεί σωστά το πακέτο. Παρακάτω ακολουθεί επεξήγηση των παραπάνω αρχείων βάση ενός project κατασκευής του ακόλουθου σχεδίου ενός ρομποτικού μοντέλου.[27],[28].



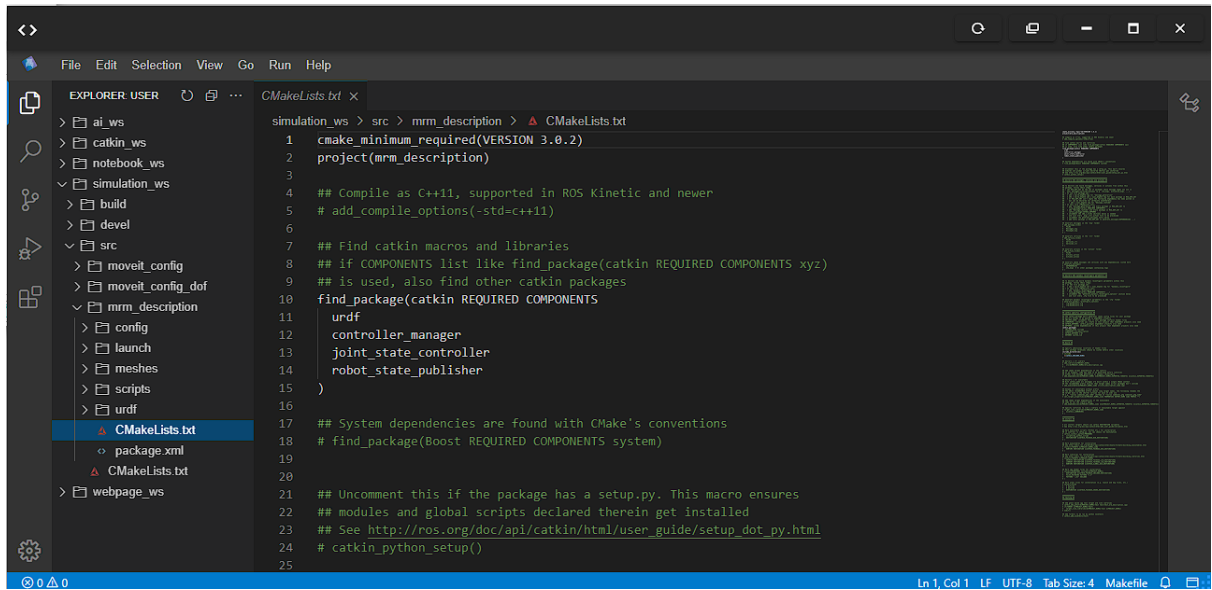
Εικόνα 10.2: Σχέδιο Ρομποτικού Μοντέλου για την ανάπτυξη του σε URDF

10.3 Επεξήγηση CMakeLists.txt

Το “CMakeLists.txt” σε ένα πακέτο δημιουργείται με τις ακόλουθες επικεφαλίδες, όπου θα πρέπει ο χρήστης να συμπεριλάβει μέσα σε κάποιες από αυτές τα στοιχεία που χρειάζεται για το πακέτο του. Στο “CMake” αρχείο του “workspace” δεν χρειάζεται συνήθως να γίνει κάποια αλλαγή. Στα “CMake” αρχεία των πακέτων που δημιουργεί ο χρήστης μπορεί να χρειαστεί να αλλάξει κάποια δεδομένα στις επικεφαλίδες `find_package`, `add_message_files`, `add_service_files`, `add_action_files` και `generate_messages`. Ενώ στις υπόλοιπες δεν χρειάζεται κάποια πρόσθεση ή αλλαγή καθώς συμπληρώνονται αυτόματα.

Το αρχείο αυτό είναι αρκετά μεγάλο και όπως ειπώθηκε δημιουργείται αυτόματα. Τα σημεία που ίσως χρειαστούν κάποια την παρέμβαση του χρήστη, άρα και τα πιο σημαντικά είναι τα εξής.

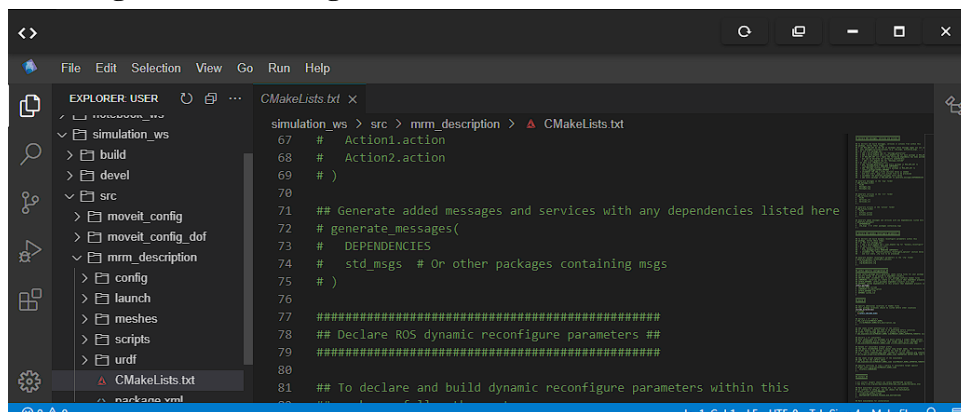
1. Find other CMake/Catkin packages needed for build



Εικόνα 10.3:CMakeList.txt find_package

➤ Σε αυτό το τμήμα συμπεριλαμβάνονται όσα έτοιμα πακέτα χρειάζεται το project. Υπάρχουν αρκετά και διάφορα αλλά σε αυτή τη περίπτωση έχει το “**urdf**” το οποίο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του μοντέλου του ρομπότ, με την εισαγωγή διάφορων παραμέτρων. Το “**controller_manager**” βοηθάει στην δημιουργία των αρθρώσεων στο μοντέλο του ρομπότ, με την εισαγωγή των χαρακτηριστικών τους. Έπειτα το “**joint_state_publisher**” έχει να κάνει με τον έλεγχο των ορίων των controllers στην βοηθητική απεικόνιση του ρομπότ “RViz”. Τέλος το “**robot_state_publisher**” χρησιμοποιείται για να διαβάσει τα δεδομένα από το “urdf” αρχείο για την κατασκευή του ρομπότ στον εικονικό χώρο, αλλά και να τροποποιήσει τη προσομοίωση του ανάλογα με τις αλλαγές που γίνονται στις αρθρώσεις τους μέσω του “joint_state_publisher”.

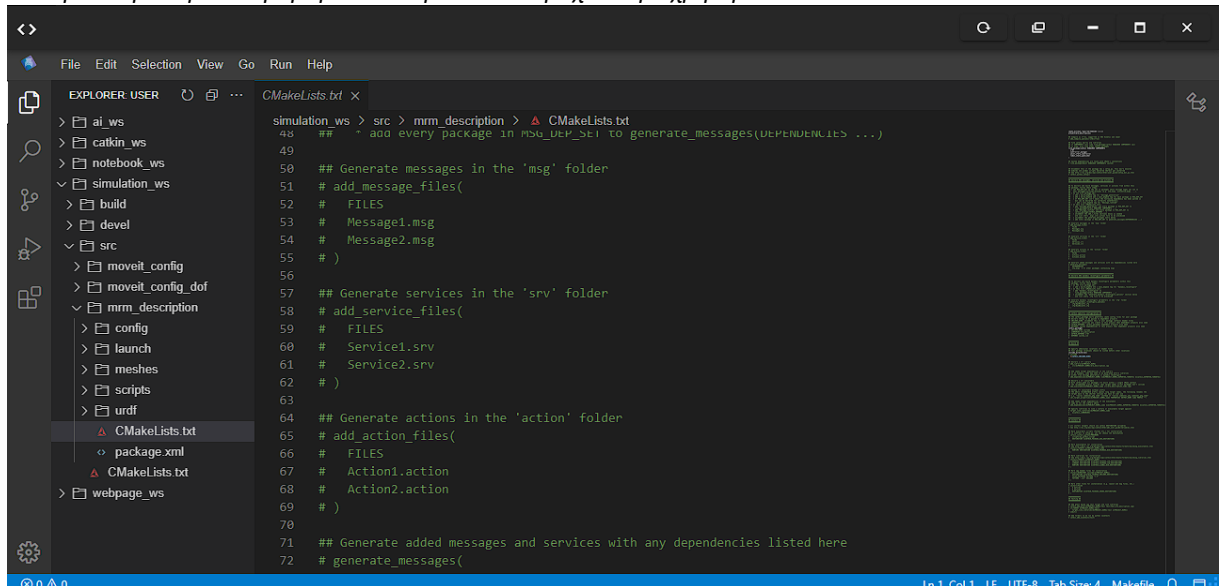
2. Invoke message/service/action generation



Εικόνα 10.4:CMakeList.txt Generate_Messages

➤ Σε αυτό το τμήμα εισάγονται μηνύματα, υπηρεσίες και δράσεις τα οποία υπάρχουν ήδη στο λογισμικό του ROS 2. Όπως το “std_msgs” με το οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηνύματα τύπου Bool, Byte, Char, Empty, Float, Int32, String, Time, UInt κ.α.

3. Message/Service/Action Generators

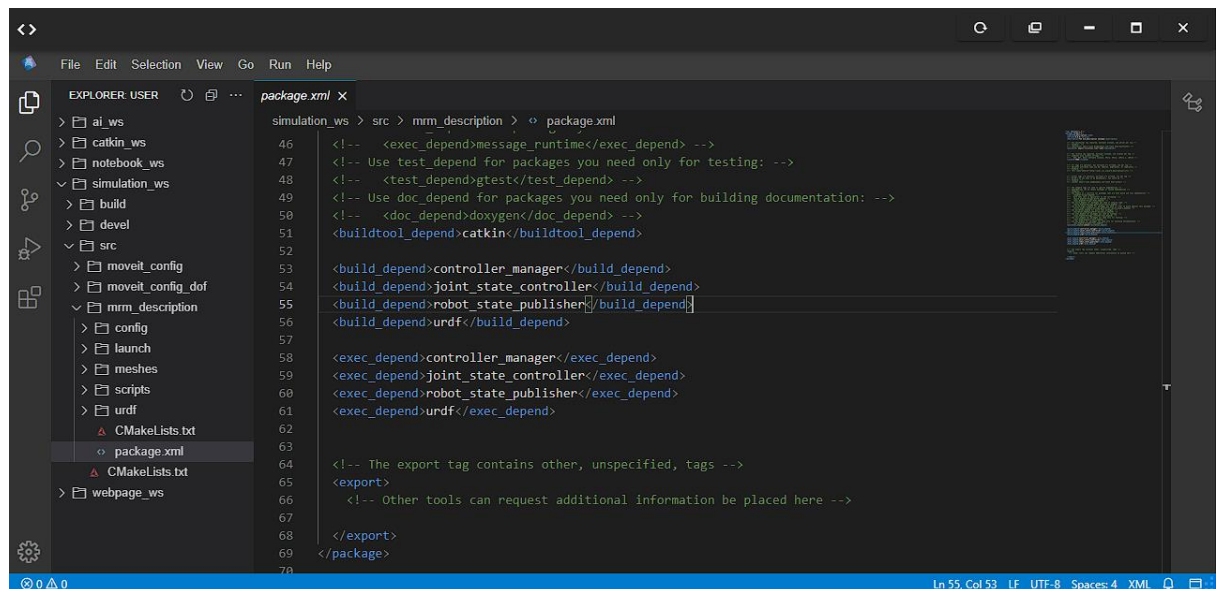


Εικόνα 10.5:CMakeList.txt Generate_Messages/Services/Actions

- Με τη βοήθεια αυτών των γραμμών μπορούν να προστεθούν μηνύματα (msgs), υπηρεσίες (srv) και δράσεις (actions) τα οποία έχει δημιουργήσει ο χρήστης. Αρκεί να διαγραφούν οι διέσεις που ορίζουν τις γραμμές ως σχόλια. Σε αυτό το παράδειγμα δεν χρειάζεται η δημιουργία νέων.

10.4 Επεξήγηση Package.xml

Αυτό το αρχείο λειτουργεί σαν μανιφέστο, παρέχοντας πληροφορίες για το πακέτο σχετικά με το όνομα του, την έκδοσή του, το συγγραφέα του το συντηρητή του και τις εξαρτήσεις του. Το πιο σημαντικό κομμάτι σε αυτό το αρχείο, το οποίο πρέπει ο χρήστης να επεξεργαστεί προσθέτοντας κάποια στοιχεία είναι οι εξαρτήσεις του πακέτου.



Εικόνα 10.6:Package.xml Dependencies

Όπως φαίνεται παραπάνω απλώς προσθέτονται τα dependencies τα οποία χρησιμοποιεί το πακέτο, με την ετικέτα `<build_depend>` η οποία δηλώνει ότι η κατασκευή αυτού του πακέτου εξαρτάται από το ακόλουθο πακέτο, όπως το “controller_manager”, “joint_state_controller” κτλ. Επίσης προσθέτονται με την ετικέτα `<exec_depend>` η οποία δηλώνει ότι το πακέτο αυτό εξαρτάται από την εκτέλεση του ακόλουθου πακέτου.

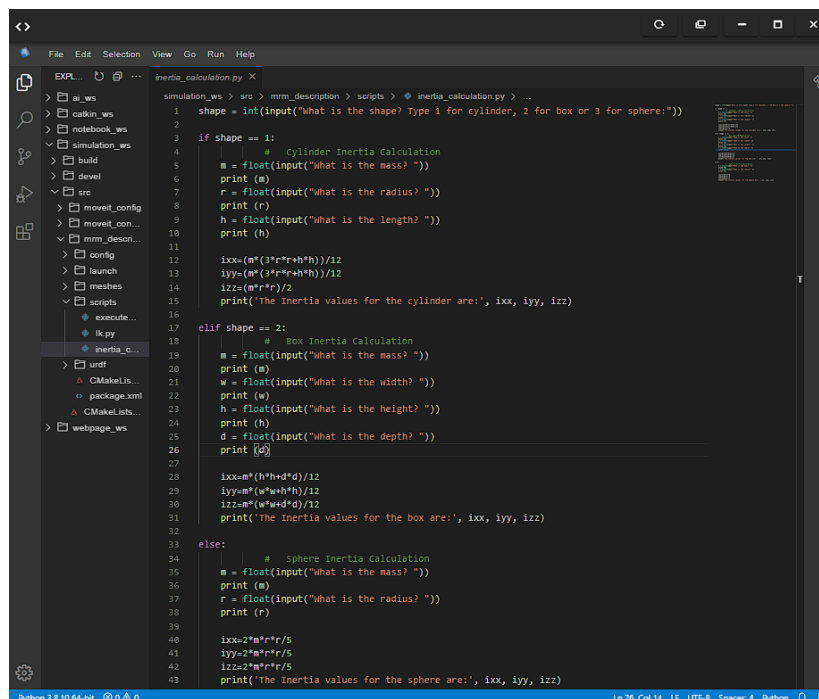
10.5 Επεξήγηση URDF

Το “URDF” αποτελεί τα αρχικά του Unified Robot Description Format και δημιουργείται σε επέκταση “xml” για την αναπαράσταση ενός ρομποτικού μοντέλου. Για τη δημιουργία ενός ρομποτικού μοντέλου σε “URDF” θα χρειαστεί αρχικά να δημιουργηθεί ένας φάκελος με όνομα “urdf” μέσα στο πακέτο το οποίο είναι ονομασμένο “mrm_description”. Στη συνέχεια για το συγκεκριμένο παράδειγμα θα δημιουργηθούν τρία (3) αρχεία, τα οποία θα είναι το κύριο αρχείο, ένα αρχείο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για απλοποίηση του κύριου κώδικα στο κύριο αρχείο και το τελευταίο αποσκοπεί επίσης για την απλοποίηση του κώδικα. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να δημιουργηθούν τρία αρχεία με επέκταση .xacro το οποίο είναι μια μορφή γλώσσας XML macro για την κατασκευή καθαρότερων αρχείων. Τα αρχεία θα ονομάζονται “mrm.xacro”, “links_joints.xacro” και “robot_parameters.xacro”.

Ξεκινώντας από τα βοηθητικά αρχεία. Πρώτα το αρχείο:

“inertia_calculation.py”

Το αρχείο αυτό είναι επέκταση python και εξυπηρετεί στον υπολογισμό της αδράνειας των σχημάτων όπως ο κύβος, κύλινδρος και η σφαίρα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω. Αρχικά το πρόγραμμα ζητάει το σχήμα που επιθυμεί ο χρήστης να υπολογίσει την αδράνεια του. Μπορεί να εισάγει 1 για κύλινδρο, 2 για κύβο και 3 ή άλλο νούμερο για σφαίρα και στη συνέχεια ανάλογα τι έχει εισάγει ο χρήστης υπολογίζει τις αντίστοιχες τιμές αδράνειας.



```

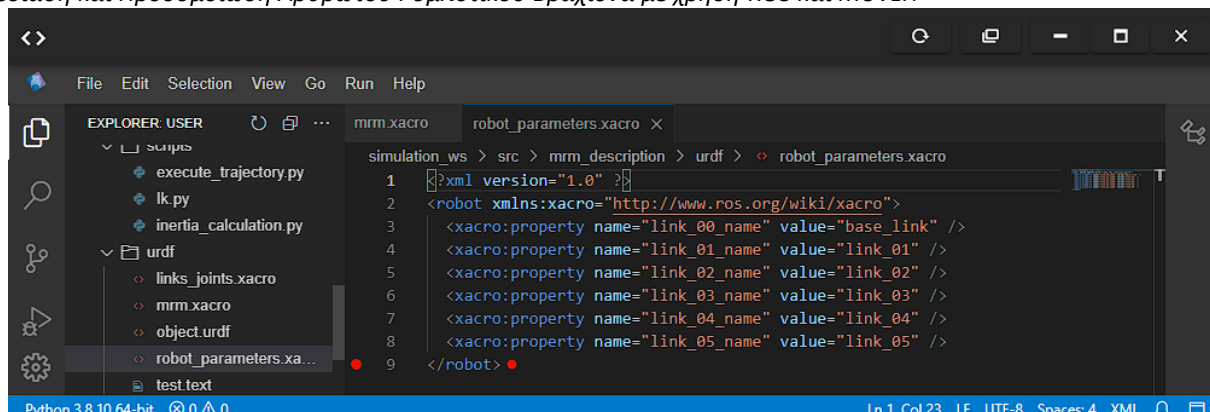
1 shape = int(input("what is the shape? Type 1 for cylinder, 2 for box or 3 for sphere:"))
2
3 if shape == 1:
4     # Cylinder Inertia Calculation
5     m = float(input("What is the mass? "))
6     print (m)
7     r = float(input("What is the radius? "))
8     print (r)
9     h = float(input("What is the length? "))
10    print (h)
11
12    ixx=(m*(3*r*r+h*h))/12
13    iyy=(m*(3*r*r+h*h))/12
14    izz=(m*r*r)/2
15    print('The inertia values for the cylinder are:', ixx, iyy, izz)
16
17 elif shape == 2:
18    # Box Inertia Calculation
19    m = float(input("What is the mass? "))
20    print (m)
21    w = float(input("What is the width? "))
22    print (w)
23    h = float(input("What is the height? "))
24    print (h)
25    d = float(input("What is the depth? "))
26    print (d)
27
28    ixx=(w*h*d*d)/12
29    iyy=(w*d*h*h)/12
30    izz=(w*w*d*d)/12
31    print('The inertia values for the box are:', ixx, iyy, izz)
32
33 else:
34    # Sphere Inertia Calculation
35    m = float(input("What is the mass? "))
36    print (m)
37    r = float(input("What is the radius? "))
38    print (r)
39
40    ixx=2*m*r*r/5
41    iyy=2*m*r*r/5
42    izz=2*m*r*r/5
43    print('The inertia values for the sphere are:', ixx, iyy, izz)

```

Εικόνα 10.7: "inertia_calculation.py"

“robot_parameters.xacro”

Σε αυτό το αρχείο απλά αντιστοιχούνται τα πραγματικά ονόματα των συνδέσμων με μεταβλητές οι οποίες εισάγονται στο βασικό κώδικα. Με αυτό τον τρόπο η οποιαδήποτε αλλαγή στο όνομα ενός συνδέσμου γίνεται εδώ άμεσα χωρίς να χρειάζεται κάποια αλλαγή στο αρχείο “mrm.xacro”.

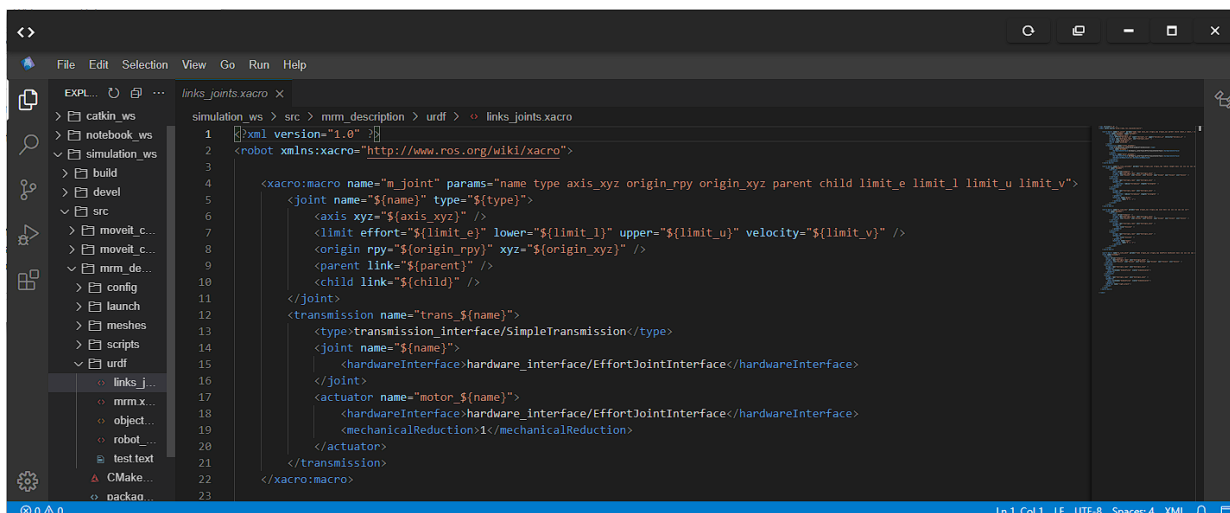


Εικόνα 10.8: "robot_parameters.xacro"

Σημαντικό θα ήταν να επισημανθεί ότι η εντολή στη δεύτερη γραμμή πρέπει να συμπεριληφθεί καθώς δηλώνει ότι συνδέεται με άλλα αρχεία "xacro". Δηλώνεται ότι αυτό το αρχείο είναι ένα XML ns (namespace) με επέκταση xacro. Στις γραμμές από (3) μέχρι (10) ορίζονται οι μεταβλητές με τα ονόματα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στο κώδικα του αρχείου mrm.xacro και αντιστοιχούνται με τις πραγματικές τιμές τους.

"links_joints.xacro"

Σε αυτό το αρχείο θα οριστούν τα χαρακτηριστικά των συνδέσμων και των αρθρώσεων μια φορά ώστε να μην χρειάζεται να γεμίζει το κύριο αρχείο με επαναλαμβανόμενες γραμμές κώδικα τα οποία ορίζουν είτε συνδέσμους ή αρθρώσεις.



Εικόνα 10.9: "link_joints.xacro"- "m_joint"

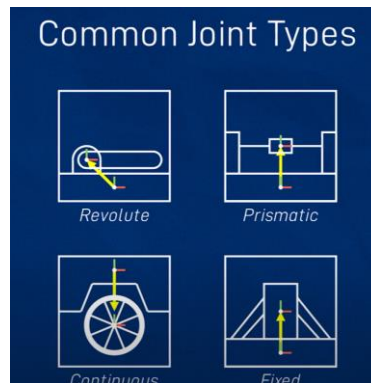
Όπως και στο προηγούμενο αρχείο, αρχίζει η περιγραφή του ρομπότ και δηλώνεται η επέκταση του αρχείου ως xacro με σύνδεση στα υπόλοιπα αρχεία.

A. Αρχικά ορίζονται οι πληροφορίες που χρειάζεται η κάθε άρθρωση. Προσθέτοντας την ετικέτα "xacro:macro" μπορούν να ακολουθήσουν όλα τα απαραίτητα γνωρίσματα που χρειάζονται. Αρχικά δηλώνεται το όνομα το οποίο θα αντιστοιχεί στην λειτουργία του συγκεκριμένου xacro, το οποίο είναι "m_joint" και θα εισάγεται στο κύριο κώδικα για τη δημιουργία μιας άρθρωσης. Έπειτα χρειάζονται να δηλωθούν οι παράμετροι που ολοκληρώνουν τη δημιουργία της άρθρωσης.

1. Η παράμετρος "name" δηλώνει το όνομα της άρθρωσης και μπορεί να είναι οτιδήποτε θέλει ο χρήστης.

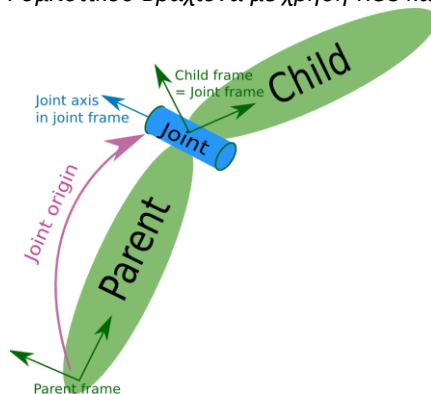
2. Η παράμετρος “type” δηλώνει το τύπο της άρθρωσης και μπορεί να είναι:

- a) «*revolute*» με την οποία επιτυγχάνεται μια περιστροφή κατά ενός επιθυμητού άξονα (x, y, z) και μπορούν να οριστούν το πάνω και κάτω όριο περιστροφής της.
- b) «*continuous*» με την οποία επιτυγχάνεται μια περιστροφή κατά ενός επιθυμητού άξονα χωρίς όρια περιστροφής.
- c) «*prismatic*» με την οποία επιτυγχάνεται μια γραμμική κίνηση (ολίσθηση) κατά έναν επιθυμητό άξονα και μπορούν να οριστούν τα πάνω και κάτω όρια ολίσθησης.
- d) «*fixed*» η οποία αντιπροσωπεύει μια ακίνητη άρθρωση με κανέναν βαθμό ελευθερίας. Χρησιμοποιείται συνήθως για την ένωση δύο συνδέσμων στο οποίους δεν είναι επιθυμητή κάποια σχετική κίνηση.
- e) «*floating*» με την οποία επιτυγχάνεται κίνηση σε όλους τους έξι (6) βαθμούς ελευθερίας (x, y ,z και r, p ,y)
- f) «*planar*» με την οποία επιτυγχάνεται κίνηση σε επίπεδο κάθετο προς έναν επιθυμητό άξονα.



Εικόνα 10.10: Απεικόνιση λειτουργίας Αρθρώσεων

3. Η παράμετρος “axis_xyz” δηλώνει τον επιθυμητό άξονα κατά τον οποίο θέλει ο χρήστης να περιστρέφεται ή να ολισθαίνει η άρθρωση. Σε περίπτωση χρήσης μια ς άρθρωσης τύπου planar δηλώνεται η κανονική επιφάνεια της. Οι αρθρώσεις «fixed» και «floating» δεν χρειάζονται αυτή τη πληροφορία.
4. Οι παράμετροι “origin_xyz” και “origin_ryz” χρησιμοποιούνται για να δηλωθεί η τοποθεσία και ο προσανατολισμός της άρθρωσης. Η άρθρωση τοποθετείται στην αρχή του συνδέσμου εξόδου (Child Frame) ή αλλιώς «Child Link». Η πληροφορία του xyz προσφέρει την τοποθεσία της άρθρωσης σε σχέση με το κέντρο του συνδέσμου εισόδου (parent frame) ή «Parent Link» και δηλώνεται σε μέτρα. Η πληροφορία του ryz προσφέρει το προσανατολισμό της άρθρωσης σε σχέση με τον «Parent Link» και δηλώνεται σε ακτίνια.



Εικόνα 10.11: Αναπαράσταση δημιουργίας μιας άρθρωσης

5. Οι παράμετροι “Parent” και “Child” δηλώνουν τους συνδέσμους στους οποίους θα συνδεθεί η άρθρωση. Δηλώνονται τα ονόματα αντίστοιχα του «Parent Link» και του «Child Link» τα οποία επιθυμεί ο χρήστης να ενωθούν μέσω αυτής της άρθρωσης.
6. Οι παράμετροι με “limit_e”, “limit_l”, “limit_u” και “limit_v” ορίζουν διάφορα στοιχεία της άρθρωσης .
 - a) Το “limit_e” δηλώνει τη μέγιστη προσπάθεια περιστροφής, ολίσθησης κτλ. η οποία αποδίδεται σε μονάδες Νιούτον ανά Μέτρο (Nm) και την οποία ο ελεγκτής του ρομπότ μπορεί διαχειριστεί. Σε περίπτωση που ο ελεγκτής προσπαθήσει να δώσει μεγαλύτερη προσπάθεια από το όριο του, το μέγεθος της προσπάθειας αυτής περικόπτεται.
 - b) Το “limit_v” δηλώνει τα όρια του μεγέθους της ταχύτητας των αρθρώσεων σε μονάδες μέτρων ανά δευτερόλεπτο (m/s) για τις γραμμικές αρθρώσεις και ακτίνιο ανά δευτερόλεπτο (rad/s) για τις περιστροφικές αρθρώσεις. Έτσι οριοθετείται η διαταγμένη προσπάθεια ώστε να μην γίνει προσπάθεια η οποία θα έσπρωχνε τη ταχύτητα της άρθρωσης πάνω από τα όρια της. Αν η άρθρωση κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα από το δηλωμένο όριο, γίνεται αυτόματα προσπάθεια μείωσης της προσπάθειας. Ο υπολογισμός του ορίου ταχύτητας εξαρτάται από τα φυσικά όρια της προσπάθειας που μπορεί να αποδώσει η άρθρωση.
 - c) Τα “limit_l” και “limit_u” δηλώνουν αντίστοιχα το κάτω (lower limit) και το πάνω (upper limit) όριο περιστροφής ή ολίσθησης της άρθρωσης και μετριέται σε μονάδες μέτρων ανά δευτερόλεπτο (m/s) για τις γραμμικές αρθρώσεις και ακτίνιο ανά δευτερόλεπτο (rad/s) για τις περιστροφικές αρθρώσεις

Στη συνέχεια δηλώνονται οι τιμές της κάθε παραμέτρου ακολουθώντας τις ανάλογες ετικέτες για κάθε παράμετρο. Ο τρόπος που ολοκληρώνεται η τιμή της κάθε παραμέτρου γίνεται ώστε κάθε παράμετρος σε αυτό το αρχείο να «ακούει» τις αντίστοιχες τιμές του οι οποίες θα δηλώνονται στο κύριο κώδικα.

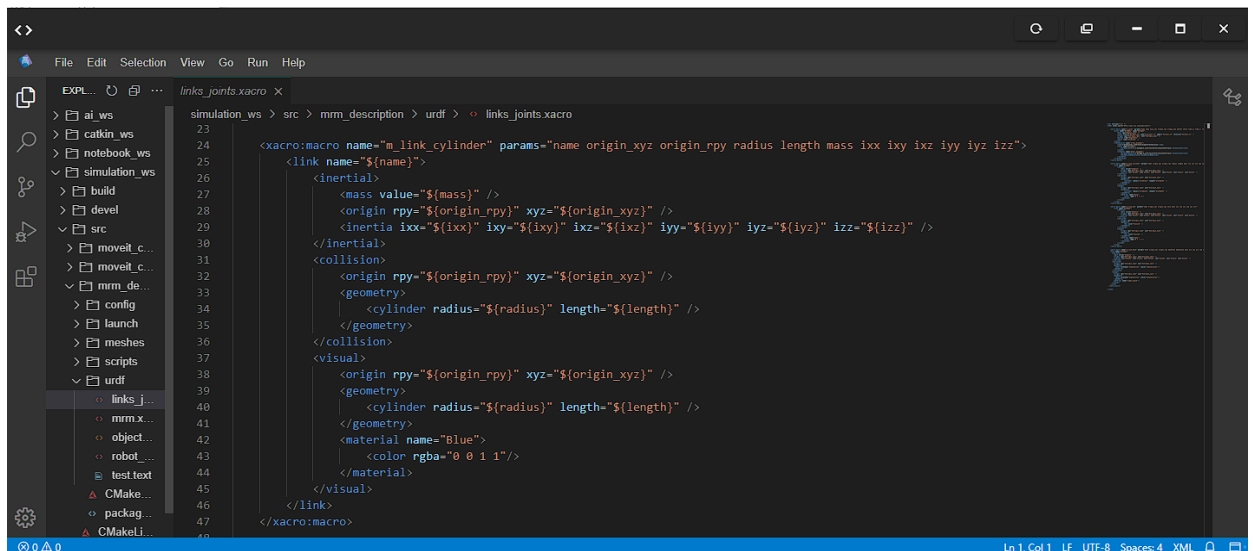
Για την ολοκλήρωση της περιγραφής της άρθρωσης χρειάζεται η εισαγωγή της λειτουργίας “transmission”. Το στοιχείο αυτό περιγράφει τη σχέση της άρθρωσης με τον ενεργοποιητή της. Ο σκοπός της “transmission” είναι να μετασχηματίζει τις προσπάθειες της άρθρωσης έτσι ώστε να παράγουν σταθερή ισχύ εξόδου. Η ετικέτα της “transmission” χρειάζεται ένα γνώρισμα και είναι το μοναδικό όνομα της, δηλαδή “name”. Τα στοιχεία που χρειάζεται αντιστοιχούν στα παρακάτω:

1. Στοιχείο “type” που δηλώνει το τύπο της μετάδοσης. Για τη προσομοίωση ενός ρομπότ στο Gazebo (εργαλείο προσομοίωσης), μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ο τύπος «SimpleTransmission».
2. Στοιχείο “joint” στο οποίο χρειάζεται να δηλωθεί το όνομα της άρθρωσης στην οποία συνδέεται. Επίσης χρειάζεται το στοιχείο «hardwareinterface» όπου δηλώνεται μια υποστηριζόμενη διεπαφή υλικού (hardware interface) στο χώρο προσομοίωσης. Οι διεπαφές υλικού χρησιμοποιούνται από το

ROS control σε συνδυασμό με τον ROS controller για να στέλνει και να λαμβάνει εντολές στο υλικό.

3. Τέλος πρέπει να δηλωθεί το όνομα του ενεργοποιητή με τον οποίο συνδέεται η μετάδοση, με ετικέτα “actuator”. Ο ενεργοποιητής δηλώνεται με το όνομα του με γνώρισμα “name”. Δεύτερον μπορεί να οριστεί η μηχανική μείωση της μετάδοσης της άρθρωσης. Τελευταίο στοιχείο που μπορεί να δηλωθεί είναι όπως και στο στοιχείο “joint” η διεπαφή υλικού με ετικέτα «hardwareinterface».

B. Στη συνέχεια θα χρειαστεί να γίνει περιγραφή των συνδέσμων. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 10.3 οι σύνδεσμοι του ρομπότ μπορούν να δημιουργηθούν με απλά σχήματα. Οπότε παρακάτω θα δημιουργηθούν τα κατάλληλα σχήματα για χρήση στο κύριο κώδικα του ρομπότ, τα οποία αντιστοιχούν σε σχήμα κυλίνδρου για του συνδέσμου του σώματος του ρομπότ και σχήμα κουτιού για τη βάση του. Πρώτα θα δημιουργηθεί το κυλινδρικό σχήμα. Όπως και στη περιγραφή των αρθρώσεων στην αρχή πρέπει να συμπεριληφθεί η ετικέτα “xacro:macro” ώστε να ακολουθήσει ο ορισμός των γνωρισμάτων που χρειάζονται. Όπως και πριν αρχικά θα χρειαστεί να δηλωθεί το όνομα το οποίο θα αντιστοιχεί στην λειτουργία του συγκεκριμένου xacro, το οποίο θα είναι “m_link_cylinder” και θα εισάγεται στο κύριο κώδικα για τη δημιουργία του συνδέσμου. Έπειτα χρειάζονται να δηλωθούν οι παράμετροι που ολοκληρώνουν τη δημιουργία του.



```
<xacro:macro name="m_link_cylinder" params="name origin_xyz origin_rpy radius length mass ixx ixy ixz iyy izy izz">
  <link name="${name}">
    <inertial>
      <mass value="${mass}" />
      <origin rpy="${origin_rpy}" xyz="${origin_xyz}" />
      <inertia ixx="${ixx}" ixy="${ixy}" ixz="${ixz}" iyy="${iyy}" izy="${izy}" izz="${izz}" />
    </inertial>
    <collision>
      <origin rpy="${origin_rpy}" xyz="${origin_xyz}" />
      <geometry>
        <cylinder radius="${radius}" length="${length}" />
      </geometry>
    </collision>
    <visual>
      <origin rpy="${origin_rpy}" xyz="${origin_xyz}" />
      <geometry>
        <cylinder radius="${radius}" length="${length}" />
      </geometry>
      <material name="Blue">
        <color rgba="0 0 1 1"/>
      </material>
    </visual>
  </link>
</xacro:macro>
```

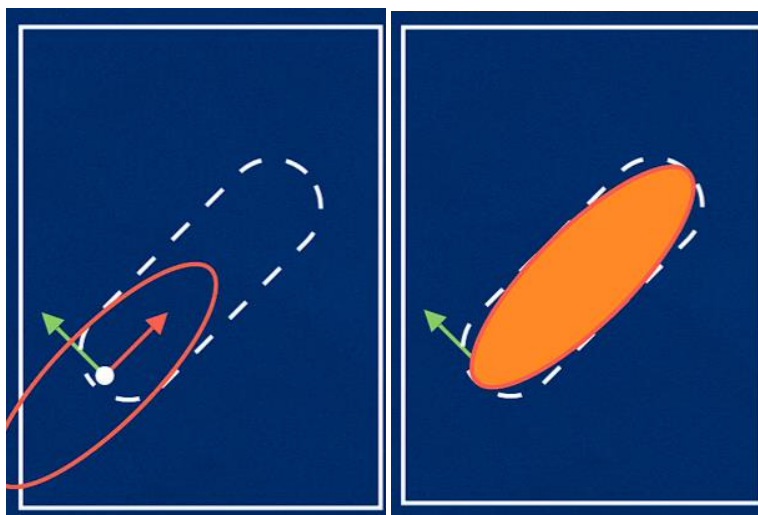
Εικόνα 10.12: "link_joints.xacro"- "m_link_cylinder"

1. Η παράμετρος “name” δηλώνει το όνομα του συνδέσμου και μπορεί να είναι οτιδήποτε θέλει ο χρήστης.
2. Οι παράμετροι “origin_xyz” και “origin_rpy” χρησιμοποιούνται σε τρεις (3) διαφορετικές ετικέτες οι οποίες ολοκληρώνουν τα φυσικά χαρακτηριστικά του συνδέσμου.
 - a) Στην ετικέτα «visual» οι τιμές των παραμέτρων “origin_xyz” και “origin_rpy” ορίζουν την τοποθεσία και το προσανατολισμό του κέντρου του σχήματος. Το σχήμα του συνδέσμου μπορεί να είναι:
 - i. <box>: Το κουτί χρειάζεται μόνο τη πληροφορία του μήκους των τριών (3) πλευρών του η οποία εισάγεται στο «size» γνώρισμα. Το origin του κουτιού τοποθετείται αυτόματα στο κέντρο του.
 - ii. <cylinder>: Ο κύλινδρος χρειάζεται τις πληροφορίες της ακτίνας του και του μήκους του. Το origin του κυλίνδρου τοποθετείται αυτόματα στο κέντρο του.
 - iii. <sphere>: Η σφαίρα χρειάζεται μόνο τη πληροφορία της ακτίνας της. Το origin της σφαίρας τοποθετείται αυτόματα στο κέντρο του.

- iv. `<mesh>`: Το πλέγμα δηλώνεται με ένα όνομα αρχείου (filename) και μια κλίμακα (scale) για την κλιμάκωση του πλέγματος. Πρέπει το αρχείο του πλέγματος να βρίσκεται στην ίδια μηχανή με το ρομπότ, δηλαδή να είναι ένα τοπικό αρχείο.

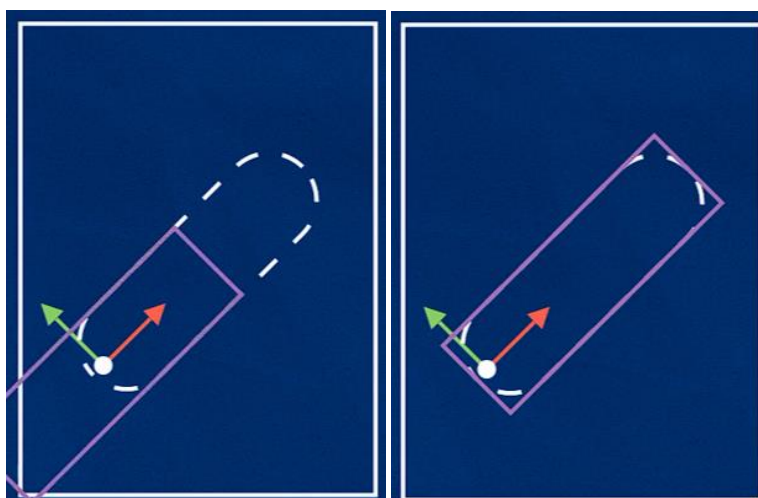
Σε αυτό το σύνδεσμο περιγράφεται ένας κυλινδρικός σύνδεσμος, οπότε δηλώνονται η ακτίνα και το μήκος του. Τέλος με την ετικέτα «material» μπορεί να δημιουργηθεί ένα ή παραπάνω χρώματα για το υλικό του ρομπότ. Αυτό το στοιχείο θα περιέχει ως γνώρισμα “name” το όνομα του χρώματος του υλικού. Θα χρειαστεί επίσης τα στοιχεία:

- × “color” όπου απλά εισάγονται τιμές με εύρος [0, 1] στο rgba, δηλαδή, red – green – blue – alpha.



Εικόνα 10.13: Απεικόνιση του στοιχείου Visual

- b) Στο στοιχείο “collision” δηλώνονται η τοποθεσία και ο προσανατολισμός (origin_xyz & origin_gry) της φυσικής «σύγκρουσης» του συνδέσμου στο κόσμο. Επίσης δηλώνεται στην ετικέτα «geometry» το σχήμα του συνδέσμου που σε αυτή τη περίπτωση είναι κύλινδρος, μαζί με τις απαραίτητες πληροφορίες οι οποίες αφορούν την ακτίνα (radius) και το μήκος (length) του. Συχνά χρησιμοποιούνται οι ίδιες τιμές με αυτές της ετικέτας «visual». Σε περίπτωση ενός «visual» με περίπλοκο σχήμα οι τιμές σε αυτήν την ετικέτα απλοποιούνται για υπολογιστικούς λόγους.

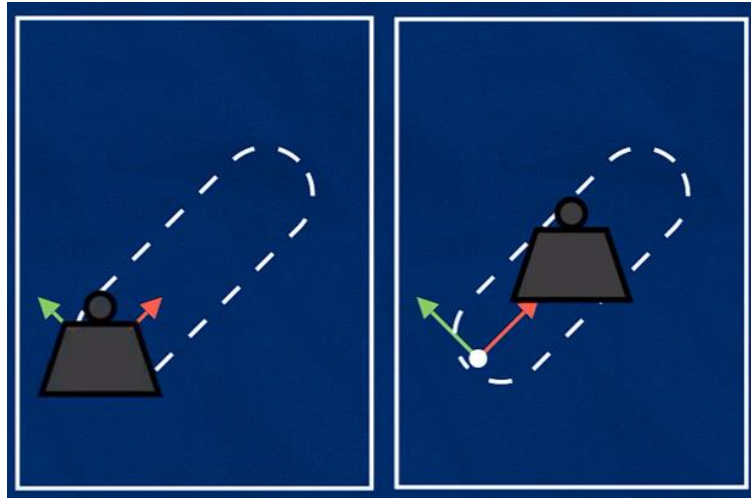


Εικόνα 10.14: Απεικόνιση του στοιχείου Collision

- c) Στην ετικέτα «inertial» οι τιμές των παραμέτρων ορίζουν το κέντρο του βάρους του συνδέσμου. Δηλώνονται η μάζα (mass) του συνδέσμου, η τοποθεσία με το προσανατολισμό

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

του κέντρου βάρους του συνδέσμου (`origin_xyz` & `origin_rpy`) και ο πίνακας κεντρικής αδράνειας (“`ixx`”, “`iyg`”, “`izz`”, “`ixy`”, “`ixz`” και “`iyz`”). Στην Εικόνα 10.16 παρακάτω φαίνεται πως επηρεάζεται το κέντρο βάρους του συνδέσμου. Στην αριστερή αναπαράσταση φαίνεται το αρχικό κέντρο βάρους σε σχέση με τον κόσμο κατά τη δημιουργία του ενώ στην δεξιά φαίνεται το κανονικό κέντρο βάρους μετά την εισαγωγή των ανάλογων τιμών.



Εικόνα 10.15: Απεικόνιση του στοιχείου Inertial

3. Οι παράμετροι “radius” και “length” δηλώνουν την ακτίνα και το μήκος του κυλίνδρου αντίστοιχα σε μονάδες μέτρησης μέτρων (m) στην ετικέτα «visual».
 4. Η παράμετρος “mass” δηλώνει τη μάζα ή βάρος του συνδέσμου σε μονάδες μέτρησης κιλών (kg) στην ετικέτα «inertial».
 5. Οι παράμετροι “ixx”, “iyg”, και “izz” αναπαριστούν τις στιγμές αδράνειας του συνδέσμου, ενώ οι παράμετροι “ixy”, “ixz” και “iyz” είναι τα παράγωγα της αδράνειας σχετικά με το κέντρο βάρους του συνδέσμου. Αποτελούν μια μορφή πίνακα όπου η κύρια διαγώνιος αντιστοιχεί στα “ixx”, “iyg”, και “izz” τα οποία ανάλογα το σχήμα που δηλώνεται στην ετικέτα της «inertial» προκύπτει από συγκεκριμένους υπολογιστικούς τύπους. Όσο πιο απλό το σχήμα τόσο πιο απλή οι υπολογισμοί. Το URDF αναγνωρίζει τα παράγωγα της αδράνειας ως ένα αρνητικό γινόμενο σύμβασης. Έτσι για την αποφυγή προβλημάτων συμβατότητας με τη σχετική σύμβαση αρνητικού πρόσημου των παραγώγων της αδράνειας είναι να οριστούν με μηδενικές τιμές.
- C. Αφού δημιουργήθηκε ο κυλινδρικός σύνδεσμος για το σώμα του ρομπότ, επόμενο σχήμα είναι ο κύβος ή κουτί για την αναπαράσταση της βάσης του ρομπότ.

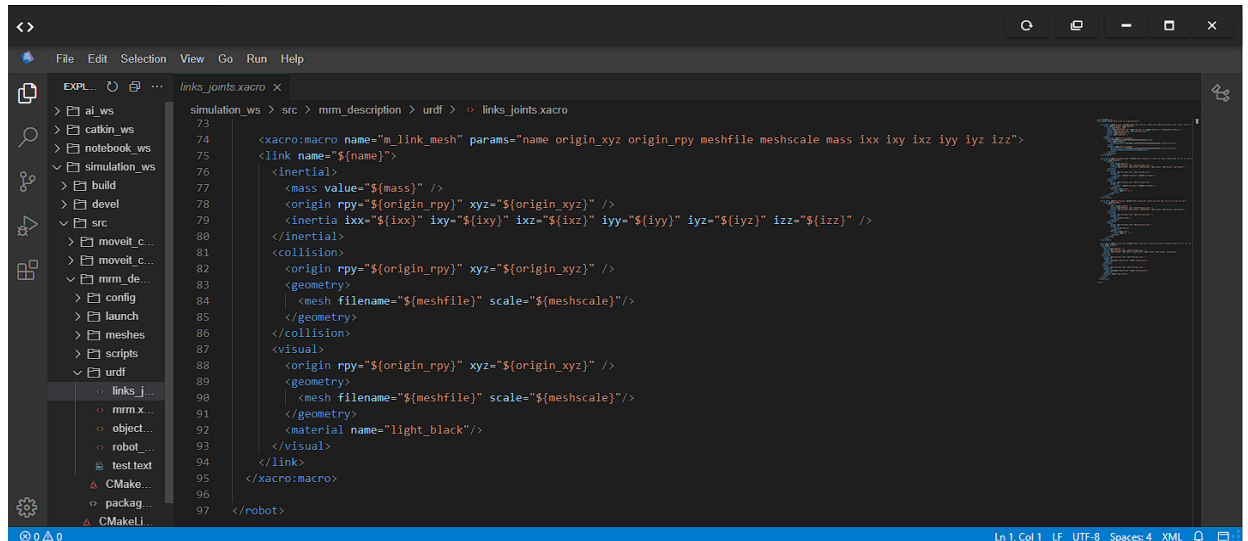
```
49 <xacro:macro name="m_link_box" params="name origin_xyz origin_rpy size mass ixx ixy ixz iyy iyz izz">
50   <link name="${name}">
51     <inertial>
52       <mass value="${mass}" />
53       <origin rpy="${origin_rpy}" xyz="${origin_xyz}" />
54       <inertia ixx="${ixx}" ixy="${ixy}" ixz="${ixz}" iyy="${iyy}" iyz="${iyz}" izz="${izz}" />
55     </inertial>
56     <collision>
57       <origin rpy="${origin_rpy}" xyz="${origin_xyz}" />
58     </collision>
59     <geometry>
60       <box size="${size}" />
61     </geometry>
62     </collision>
63     <visual>
64       <origin rpy="${origin_rpy}" xyz="${origin_xyz}" />
65     </visual>
66     <material name="Cyan">
67       <color rgba="0 1 1 1"/>
68     </material>
69   </link>
70 </xacro:macro>
```

Εικόνα 10.16: "link_joints.xacro"-“m_link_box”

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Θα ακολουθηθούν τα ίδια βήματα. Με αρχικό βήμα την εισαγωγή της ετικέτας “xacro:macro”. Έπειτα εισάγονται το όνομα και οι παράμετροι με μόνη διαφορά ότι σε αυτό το σύνδεσμο κουτιού χρειάζεται η παράμετρος “size” η οποία θα χρησιμοποιηθεί στην ετικέτα «geometry». Όπως και πριν τα στοιχεία συμπληρώνονται με το παρακάτω τρόπο ώστε να μπορούν να «ακούσουν» τις πραγματικές τιμές από το κύριο κώδικα. Έτσι σε περίπτωση που πρέπει να γίνει κάποια αλλαγή θα γίνει μόνο από το κύριο κώδικα.

D. Τέλος θα δημιουργηθεί ένας τελευταίος τύπος συνδέσμου για το πρώτο σύνδεσμο του σώματος του ρομπότ σε μορφή πλέγματος. Για τη δημιουργία ενός συνδέσμου με μορφή πλέγματος αρκεί να συμπεριληφθούν στις παραμέτρους του τα “meshfile” και “meshscale” στα οποία έγινε αναφορά στα σχήματα των συνδέσμων στην ετικέτα «visual». Θα χρειαστούν στην ετικέτα «geometry».



Εικόνα 10.17: "link_joints.xacro"-“m_link_mesh”

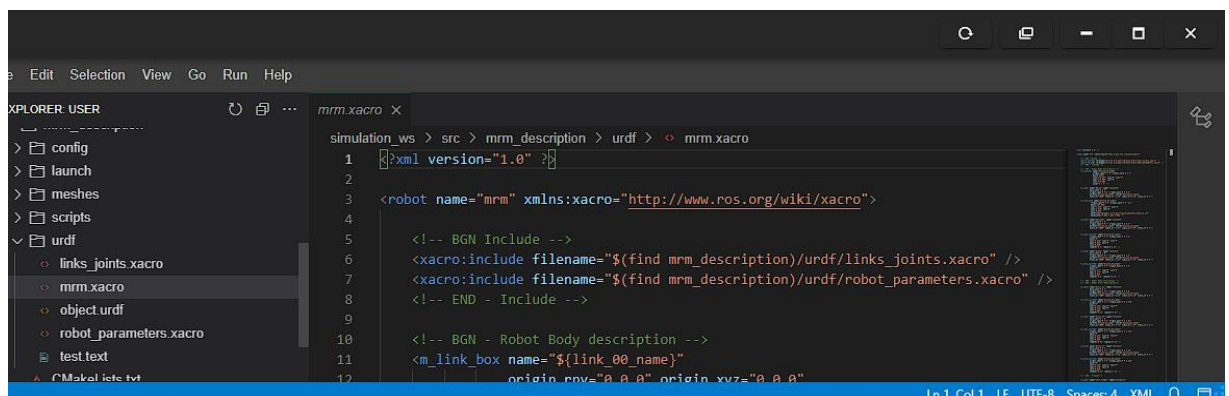
Αφού έχουν εξηγηθεί τα βοηθητικά αρχεία μπορεί να γίνει η επεξήγηση του κύριου αρχείου όπως φαίνεται παρακάτω:

“mrm.xacro”

Σε αυτό το αρχείο θα χρησιμοποιηθούν τα βοηθητικά αρχεία για την ολοκλήρωση του ρομποτικού μοντέλου της Εικόνας 10.2.

Βήμα 1^ο

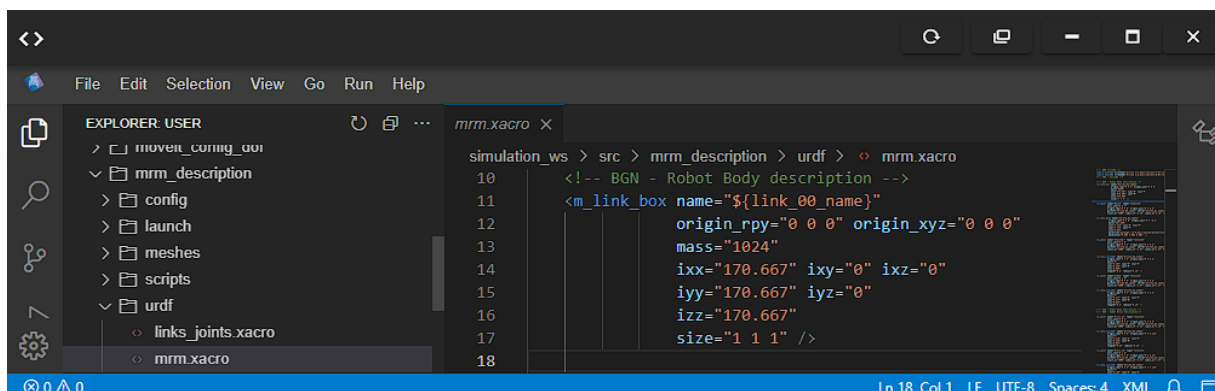
Χρειάζεται να γίνει η εισαγωγή των παρακάτω εντολών για να συμπεριληφθούν οι βοηθητικοί κώδικες των αρχείων “links_joints.xacro” και “robot_parameters.xacro”, τα οποία διαθέτουν χρήσιμες πληροφορίες για τη περιγραφή του ρομπότ.



Εικόνα 10.18: "mrm.xacro"-“include”

Σε αυτό το βήμα αρχίζει η κύρια περιγραφή του ρομποτικού μοντέλου. Πολύ απλά ξεκινάει η περιγραφή του συνδέσμου της βάσης ο οποίος όπως φαίνεται ορίζεται σαν ένα κουτί το οποίο έχει οριστεί στο αρχείο "links_joints.xacro". Για τη χρήση του συγκεκριμένου μπλοκ του αρχείου xacro που ορίζει έναν σύνδεσμο σε σχήμα κουτιού, αρκεί να δηλωθεί το όνομα που έχει οριστεί στο γνώρισμα "name" και είναι "m_link_box". Το μόνο που χρειάζεται να γίνει τώρα είναι εισαγωγή των επιθυμητών τιμών των παραμέτρων του συνδέσμου όπως έγινε η επεξήγηση τους παραπάνω.

- Όσο αφορά τη παράμετρο "name" συμπληρώνεται με το παρακάτω τρόπο ώστε να «ακούσει» τη τιμή της μεταβλητής "link_00_name", η οποία όπως αναφέρθηκε βρίσκεται στο βοηθητικό αρχείο "robot_parameters.xacro".
- Επόμενη παράμετρος θέτει το κέντρο του γραφικού στοιχείου του συνδέσμου, της φυσικής σύγκρουσης του και το κέντρο βάρους του στη τοποθεσία (x=0, y=0, z=0) και το προσανατολισμό (r=0, p=0, y=0) σε σχέση με το κέντρο του κόσμου (World Frame), όπως φαίνεται και στις Εικόνες 10.14, 10.15 και 10.16.
- Έπειτα εισάγεται η μάζα του συνδέσμου.
- Επίσης εισάγονται οι υπολογισμένες τιμές της αδράνειας ixx , iyy , izz , ixy , ixz και iyz ενός κύβου, οι οποίες υπολογίζονται από το βοηθητικό αρχείο `python, inertia calculation.py`.
- Τέλος εισάγεται το μέγεθος του κύβου με το πλάτος το ύψος και το βάθος.



```
simulation_ws > src > mrm_description > urdf > mrm.xacro
10 <!-- BGN - Robot Body description -->
11 <m_link_box name="{link_00_name}"
12 origin_rpy="0 0 0" origin_xyz="0 0 0"
13 mass="1024"
14 ixx="170.667" ixy="0" ixz="0"
15 iyy="170.667" iyz="0"
16 izz="170.667"
17 size="1 1 1" />
```

Εικόνα 10.19: "mrm.xacro"-"m_link_box"

Βήμα 3^ο

Η περιγραφή του ρομπότ συνεχίζει με την είσοδο της πρώτης άρθρωσης. Προσθέτοντας το γνώρισμα της άρθρωσης που ορίστηκε στο βοηθητικό αρχείο links_joints.xacro το οποίος είναι "m_joint" δηλώνεται η πρώτη άρθρωση.

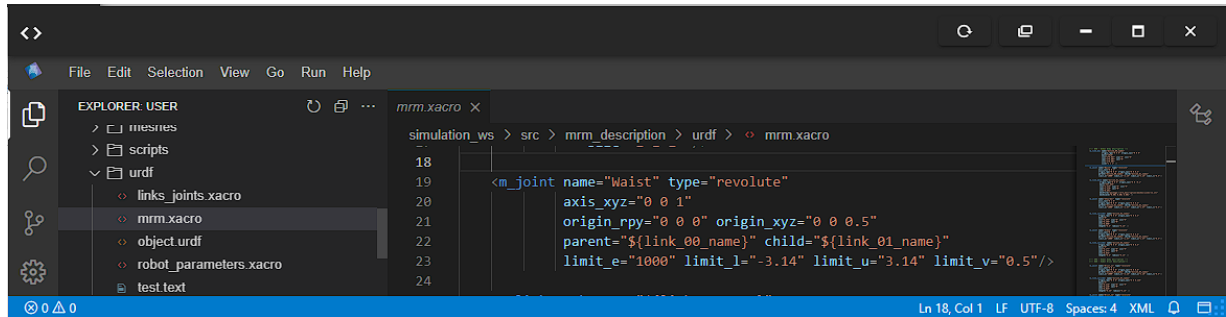
- Δίνεται το όνομα της άρθρωσης ως ο συνδυασμός του συνδέσμου της βάσης και του πρώτου συνδέσμου του σώματος του ρομπότ. Δηλαδή θα έχει το όνομα "base_link__link_01".
- Δηλώνεται ο τύπος της άρθρωσης ως περιστροφική (revolute).
- Ορίζεται ο επιθυμητός άξονας περιστροφής ο z άξονας, δηλαδή ο σύνδεσμος "link_01" θα παρεκτρέπεται (yaw), πάνω στο σύνδεσμο "base_link".
- Ρυθμίζεται η τοποθεσία και ο προσανατολισμός της άρθρωσης. Προστίθεται 0,5 απόσταση στο z άξονα της άρθρωσης ώστε να τοποθετηθεί ακριβώς στο άκρο του κύβου (σύνδεσμο βάσης), δηλαδή εκεί που θα αρχίζει ο σύνδεσμος "link_01". Όπως εξηγήθηκε, κατά τη δημιουργία της η

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

άρθρωση αρχικοποιείται στο κέντρο του συνδέσμου “Parent” που σε αυτή τη περίπτωση είναι ο κύβος με διαστάσεις 1m·1m·1m. Άρα το κέντρο του κύβου είναι στα 0,5m (x, y, z), που σημαίνει ότι η άρθρωση πρέπει να ανέβει στο z άξονα 0,5m.

- Αναγνωρίζονται οι σύνδεσμοι “Parent” και “Child” της άρθρωσης.
- Τέλος θέτονται το όριο προσπάθειας, πάνω και κάτω όρια περιστροφής αντίστοιχα και όριο ταχύτητας. Όπως έχει αναφερθεί τα όρια αντιπροσωπεύουν τις φυσικές δυνατότητες της άρθρωσης.

Εφόσον δεν υπάρχει κάποιο πραγματικό σύστημα τα όρια προσπάθειας και ταχύτητας μπορούν να οριστούν σε συνηθισμένα πλαίσια. Το πάνω και κάτω όριο περιστροφής δίνεται σε ακτίνια όπως έχει αναφερθεί, το οποίο σημαίνει ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση η άρθρωση μπορεί να κινηθεί μεταξύ $-\pi$ και $+\pi$, ή αλλιώς -180° και $+180^\circ$.

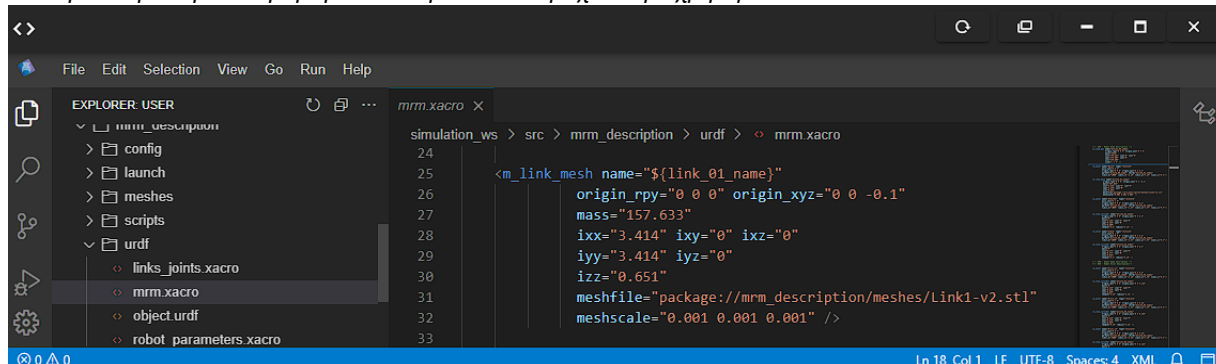


Εικόνα 10.20: "mrm.xacro"-“m_joint(1)”

Βήμα 4^ο

Επόμενο μέρος του ρομπότ είναι ο πρώτος σύνδεσμος του σώματος του ρομπότ “link_01”, ο οποίος θα αναπαρασταθεί με ένα πλέγμα. Το πλέγμα δημιουργείται ή προμηθεύεται από κάποια ιστοσελίδα και αποθηκεύεται στο φάκελο “meshes” όπως και κάθε άλλο πλέγμα που μπορεί να δημιουργηθεί. Οπότε για να αρχίσει η περιγραφή του συνδέσμου αρκεί να εισαχθεί το γνώρισμα “m_link_mesh”.

- Το όνομα του συνδέσμου θα είναι “link_01”.
- Σε αυτό το σύνδεσμο χρειάζεται να μετακινηθεί ο άξονας z προς τα κάτω κατά 0,1cm ώστε να εφαρμόζεται στο σύνδεσμο της βάσης. Σε αυτή τη περίπτωση όπως και σε άλλες που χρησιμοποιούνται πλέγματα, χρειάζονται διάφορες δοκιμές για την εύρεση της επιθυμητής θέσης.
- Εισάγεται η μάζα του συνδέσμου.
- Υπολογίζονται και προσθέτονται οι τιμές αδράνειας του συνδέσμου.
- Όπως αναφέρθηκε οι σύνδεσμοι τύπου πλέγματος χρειάζεται την εισαγωγή του πακέτου όπου βρίσκεται το αρχείο .stl στο σύστημα το οποίο περιέχει το πλέγμα στη μεταβλητή “meshfile”.
- Επίσης χρειάζεται να προσαρμοστεί η κλίμακα του πλέγματος, η οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση πρέπει να σμικρυνθεί κατά 1000%



Εικόνα 10.21: "mrm.xacro"-“m_link_mesh”

Βήμα 5^ο

Δημιουργείται η άρθρωση μεταξύ του συνδέσμου “link_01” και του συνδέσμου “link_02”. Ακολουθούνται τα ίδια βήματα όπως και πριν. Πρώτα αρχίζει η περιγραφή με το γνώρισμα “m_joint”.

- Το όνομα της άρθρωσης προκύπτει από τον συνδυασμό των συνδέσμων του. Δηλαδή “link_01_link_02”.
- Δηλώνεται ο τύπος της άρθρωσης ως περιστροφική (revolute).
- Ορίζεται ο επιθυμητός άξονας περιστροφής ο y άξονας, δηλαδή ο σύνδεσμος “link_02” θα κάμπτεται (pitch), πάνω στο σύνδεσμο “link_01”.
- Ρυθμίζεται η τοποθεσία και ο προσανατολισμός της άρθρωσης. Προστίθεται 0,4m απόσταση στο z άξονα της άρθρωσης ώστε να τοποθετηθεί ακριβώς στο άκρο του “link_01”, δηλαδή εκεί που θα είναι η αρχή του “link_02”. Όπως και πριν χρειάζονται διάφορες δοκιμές για την εύρεση της επιθυμητής θέσης.
- Αναγνωρίζονται οι σύνδεσμοι “Parent” και “Child” της άρθρωσης.
- Τέλος θέτονται τα πάνω και κάτω όρια περιστροφής αντίστοιχα. Η άρθρωση μπορεί να κινηθεί μεταξύ 0° και +28,6°.



Εικόνα 10.22: "mrm.xacro"-“m_joint(2)”

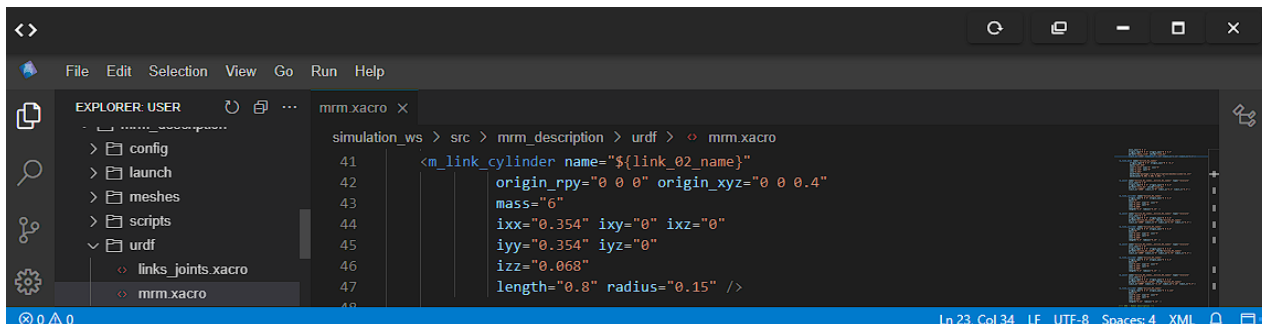
Βήμα 6^ο

Για το δεύτερο σύνδεσμο “link_02” θα χρειαστεί η περιγραφή ενός κυλίνδρου. Εισάγεται το γνώρισμα “m_link_cylinder” για τη περιγραφή του κυλίνδρου.

- Το όνομα θα είναι “link_02”.

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

- Θέτονται η τοποθεσία και ο προσανατολισμός του γραφικού στοιχείου, της φυσική σύγκρουσης και του κέντρου βάρους του συνδέσμου. Εδώ αυξάνεται η θέση του στον άξονα z κατά 0,4m για την τοποθέτηση του, στο τέλος του “link_01”, καθώς το μήκος του κυλίνδρου είναι 0,8m.
- Εισάγεται η μάζα του συνδέσμου.
- Υπολογίζονται και εισάγονται οι τιμές αδράνειας του.
- Δηλώνονται το μήκος και η ακτίνα του κυλίνδρου.

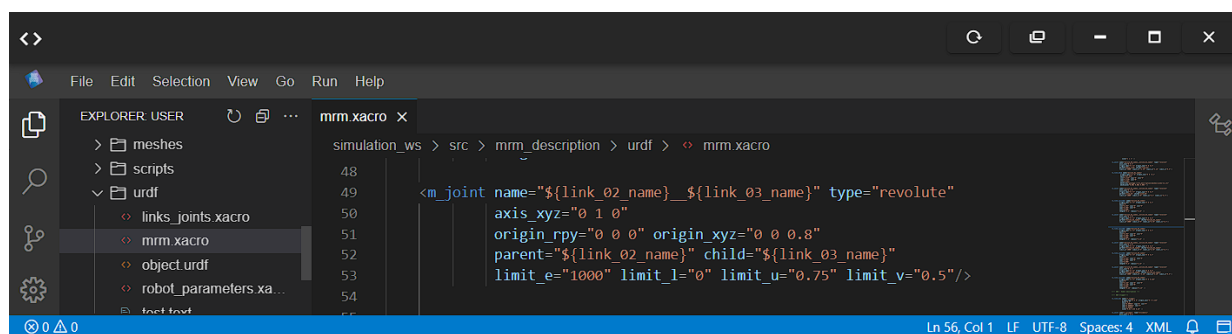


Εικόνα 10.23: "mrm.xacro" - "m_link_cylinder(1)"

Βήμα 7^ο

Δημιουργείται η άρθρωση μεταξύ του συνδέσμου “link_02” και του συνδέσμου “link_03”. Ακολουθούνται τα ίδια βήματα όπως και πριν. Πρώτα αρχίζει η περιγραφή με το γνώρισμα “m_joint”.

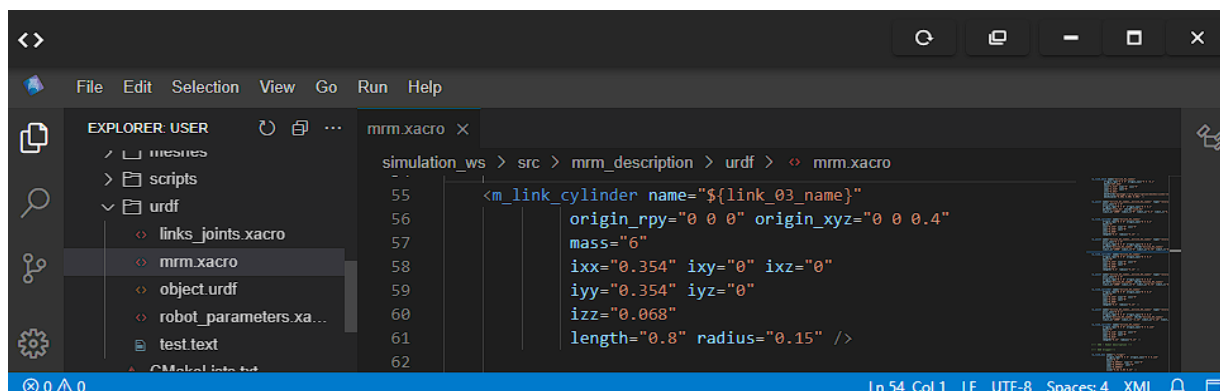
- Το όνομα της άρθρωσης προκύπτει από τον συνδυασμό των συνδέσμων του, άρα “link_02__link_03”.
- Δηλώνεται ο τύπος της άρθρωσης ως περιστροφική (revolute).
- Ορίζεται ο επιθυμητός άξονας περιστροφής ο y άξονας, δηλαδή ο σύνδεσμος “link_03” θα κάμπτεται (pitch), πάνω στο σύνδεσμο “link_02”.
- Ρυθμίζεται η τοποθεσία και ο προσανατολισμός της άρθρωσης. Προστίθεται 0,8m απόσταση στο z άξονα της άρθρωσης ώστε να τοποθετηθεί ακριβώς στο άκρο του “link_02”, εκεί που θα ξεκινάει ο σύνδεσμος “link_03”.
- Αναγνωρίζονται οι σύνδεσμοι “Parent” και “Child” της άρθρωσης.
- Τέλος θέτονται τα πάνω και κάτω όρια περιστροφής αντίστοιχα. Η άρθρωση μπορεί να κινηθεί μεταξύ 0° και +43°.



Εικόνα 10.24: "mrm.xacro" - "m_joint(3)"

Για το τρίτο σύνδεσμο “link_03” θα χρειαστεί επίσης η περιγραφή ενός κυλίνδρου. Εισάγεται το γνώρισμα “m_link_cylinder” για τη περιγραφή του κυλίνδρου.

- Το όνομα θα είναι “link_03”.
- Θέτονται η τοποθεσία και ο προσανατολισμός του γραφικού στοιχείου, της φυσική σύγκρουσης και του κέντρου βάρους του συνδέσμου. Εδώ αυξάνεται η θέση του στον άξονα z κατά 0,4m για την τοποθέτηση του, στο τέλος του “link_02”, καθώς το μήκος του κυλίνδρου είναι 0,8m.
- Εισάγεται η μάζα του.
- Υπολογίζονται και εισάγονται οι τιμές αδράνειας του.
- Δηλώνονται το μήκος και η ακτίνα του κυλίνδρου.

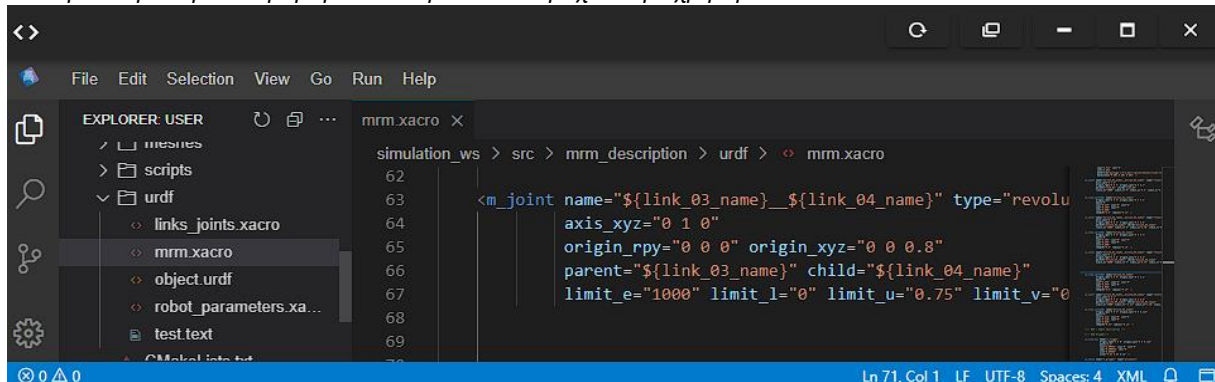


Εικόνα 10.25: “mrm.xacro”-“m_link_cylinder(2)”

Βήμα 9^ο

Δημιουργείται η άρθρωση μεταξύ του συνδέσμου “link_03” και του συνδέσμου “link_04”. Ακολουθούνται ακριβώς τα ίδια βήματα όπως και πριν. Πρώτα αρχίζει η περιγραφή με το γνώρισμα “m_joint”.

- Το όνομα της άρθρωσης προκύπτει από τον συνδυασμό των συνδέσμων του, άρα “link_03__link_04”.
- Δηλώνεται ο τύπος της άρθρωσης ως περιστροφική (revolute).
- Ορίζεται ο επιθυμητός άξονας περιστροφής ο y άξονας, δηλαδή ο σύνδεσμος “link_04” θα κάμπτεται (pitch), πάνω στο σύνδεσμο “link_03”.
- Ρυθμίζεται η τοποθεσία και ο προσανατολισμός της άρθρωσης. Προστίθεται 0,8m απόσταση στο z άξονα της άρθρωσης ώστε να τοποθετηθεί ακριβώς στο άκρο του “link_03”, στην αρχή του συνδέσμου “link_04”.
- Αναγνωρίζονται οι σύνδεσμοι “Parent” και “Child” της άρθρωσης.
- Τέλος θέτονται τα πάνω και κάτω όρια περιστροφής αντίστοιχα. Η άρθρωση μπορεί να κινηθεί μεταξύ 0° και +43°.

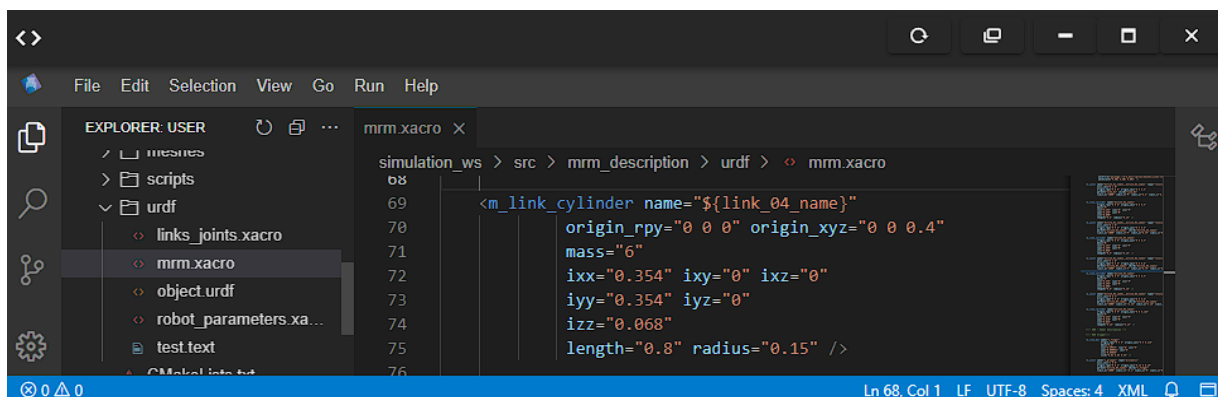


Εικόνα 10.26: "mrm.xacro"- "m_joint(4)"

Βήμα 10^ο

Για το τέταρτο σύνδεσμο "link_04" θα χρειαστεί όπως και πριν η περιγραφή ενός κυλίνδρου. Εισάγεται το γνώρισμα "m_link_cylinder" για τη περιγραφή του κυλίνδρου.

- Το όνομα θα είναι "link_04".
- Θέτονται η τοποθεσία και ο προσανατολισμός του γραφικού στοιχείου, της φυσική σύγκρουσης και του κέντρου βάρους του συνδέσμου. Εδώ αυξάνεται η θέση του στον άξονα z κατά 0,4m για την τοποθέτηση του, στο τέλος του "link_03", καθώς το μήκος του κυλίνδρου είναι 0,8m.
- Εισάγεται η μάζα του.
- Υπολογίζονται και εισάγονται οι τιμές αδράνειας του.
- Δηλώνονται το μήκος και η ακτίνα του κυλίνδρου.



Εικόνα 10.27: "mrm.xacro"- "m_link_cylinder(3)"

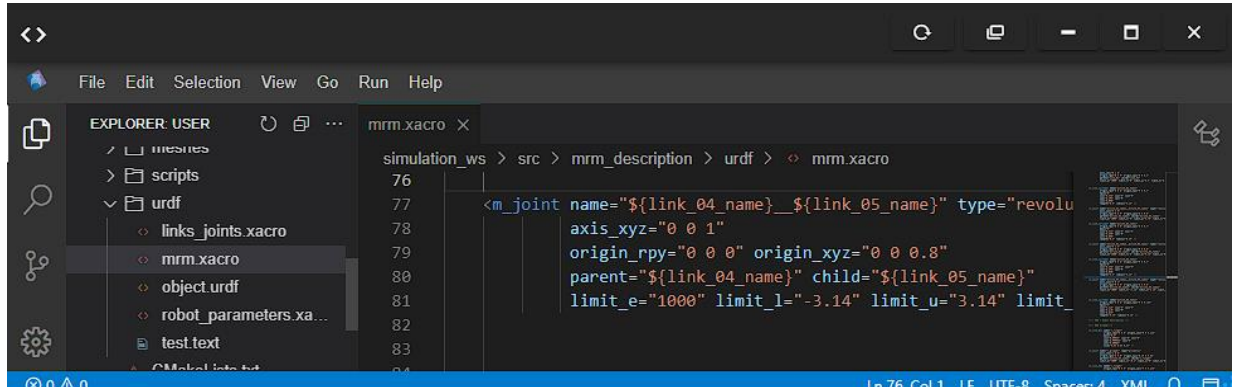
Βήμα 11^ο

Δημιουργείται η άρθρωση μεταξύ του συνδέσμου "link_04" και του συνδέσμου "link_05". Ακολουθούνται ακριβώς τα ίδια βήματα όπως και πριν. Πρώτα αρχίζει η περιγραφή με το γνώρισμα "m_joint".

- Το όνομα της άρθρωσης προκύπτει από τον συνδυασμό των συνδέσμων του, άρα "link_04__link_05".
- Δηλώνεται ο τύπος της άρθρωσης ως περιστροφική (revolute).
- Ορίζεται ο επιθυμητός άξονας περιστροφής ο y άξονας, δηλαδή ο σύνδεσμος "link_05" θα κάμπτεται (pitch), πάνω στο σύνδεσμο "link_04".

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

- Ρυθμίζεται η τοποθεσία και ο προσανατολισμός της άρθρωσης. Προστίθεται 0,8m απόσταση στο z άξονα της άρθρωσης ώστε να τοποθετηθεί ακριβώς στο άκρο του “link_04”, στην αρχή του συνδέσμου “link_05”.
- Αναγνωρίζονται οι σύνδεσμοι “Parent” και “Child” της άρθρωσης.
- Τέλος θέτονται τα πάνω και κάτω όρια περιστροφής αντίστοιχα. Η άρθρωση μπορεί να κινηθεί μεταξύ 0° και +43°.

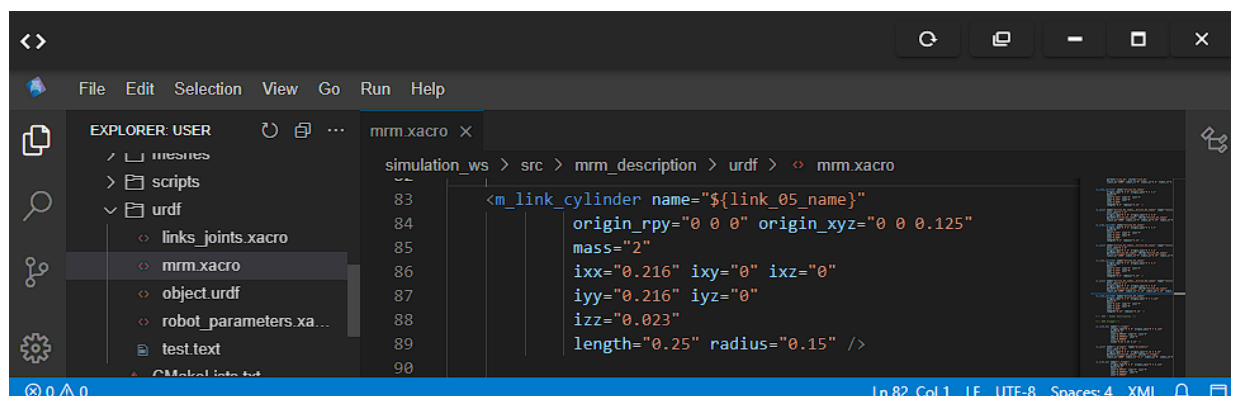


Εικόνα 10.28: “mrm.xacro”-:“m_joint(5)”

Βήμα 12°

Για το πέμπτο σύνδεσμο “link_05” θα χρειαστεί όπως και πριν η περιγραφή ενός κυλίνδρου. Εισάγεται το γνώρισμα “m_link_cylinder” για τη περιγραφή του κυλίνδρου.

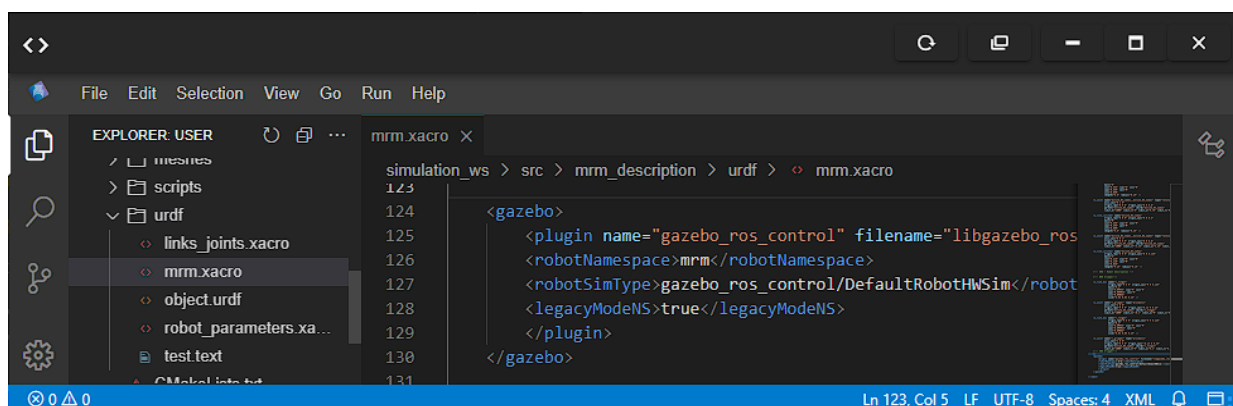
- Το όνομα θα είναι “link_05”.
- Θέτονται η τοποθεσία και ο προσανατολισμός του γραφικού στοιχείου, της φυσική σύγκρουσης και του κέντρου βάρους του συνδέσμου. Εδώ αυξάνεται η θέση του στον άξονα z κατά 0,125m για την τοποθέτηση του, στο τέλος του “link_04”, καθώς το μήκος του κυλίνδρου είναι 0,25m.
- Εισάγεται η μάζα του.
- Υπολογίζονται και εισάγονται οι τιμές αδράνειας του.
- Δηλώνονται το μήκος και η ακτίνα του κυλίνδρου.



Εικόνα 10.29: “mrm.xacro”-“m_link_cylinder(4)”

Τέλος για την δυνατότητα της δημιουργίας του ρομπότ στο περιβάλλον προσομοίωσης θα πρέπει να προστεθούν τα παρακάτω στοιχεία τύπου «plugin» στην ετικέτα του “gazebo”.

- Το μόνο που χρειάζεται να εισαχθεί είναι το «plugin» για το ros_control στο gazebo το οποίο ενεργοποιεί τη βιβλιοθήκη του που εξυπηρετεί όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στη περιγραφή ενός ρομπότ.
 - Δεύτερον δηλώνεται το όνομα του ρομπότ μέσω του «plugin» NameSpace. Αυτό μπορεί σε άλλες περιπτώσεις να αγνοηθεί καθώς δηλώνεται αυτόματα.
 - Τρίτον δηλώνεται ο τύπος προσομοίωσης μέσω του «plugin» SimType. Αυτό μπορεί σε άλλες περιπτώσεις να αγνοηθεί καθώς δηλώνεται αυτόματα.
- Για λόγους λειτουργικότητας του πακέτου πρέπει να εισαχθεί το «plugin» <legacyModeNS> ως “TRUE”. [29],[30],[31],[32],[33],[34],[35],[36],[37].



Εικόνα 10.30: "mrm.xacro"-“gazebo”

10.6 Επεξήγηση των αρχείων Launch

Μέχρι στιγμής έχει ολοκληρωθεί η περιγραφή του ρομπότ. Αλλά για να γίνει δυνατή η προσομοίωση του θα χρειαστεί να δημιουργηθούν τα αντίστοιχα αρχεία “launch”.

“rviz.launch”

Για την απεικόνιση του ρομποτικού μοντέλου στο RViz αρκεί να δημιουργηθεί ένα αρχείο “launch”. Το αρχείο θα ονομαστεί rviz.launch για προφανείς λόγους. Το αρχείο θα περιέχει μια παράμετρο με γνώρισμα το όνομα της “name” το οποίο μπορεί να είναι ότι θέλει ο χρήστης και το γνώρισμα “command” όπου γράφεται η τοποθεσία του αρχείου περιγραφής του ρομπότ mrm.xacro.

Για τη διαχείριση της κατάστασης των αρθρώσεων θα γίνει η χρήση του “robot_state_publisher” όπως φαίνεται στη γραμμή 6. Με τη χρήση της ετικέτας “node” θα μπορεί λειτουργήσει ως κόμβος καθώς θα έχει τη δυνατότητα να «διαβάζει» (subscribe) και να «γράφει»(publish) πληροφορίες σε κάποια “topic” μέσω μηνυμάτων “messages”. Ο μηχανισμός των “node” είναι ο κύριος τρόπος που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με άλλα “node”, στέλλοντας ή λαμβάνοντας σχετικές πληροφορίες. Τα μηνύματα αυτά δηλώνονται με ένα συγκεκριμένο τύπο και οργανώνονται μέσα στα “topics”. Τα “node” μπορούν κάνουν “publish” ένα μήνυμα σε ένα συγκεκριμένο “topic” ή να κάνουν “subscribe” σε ένα “topic” για να λαμβάνουν τη πληροφορία που περιέχει. Στο παράδειγμα το “node” του “robot_state”publisher κάνει “subscribe” στο “topic” του “joint_states” το οποίο παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις θέσεις των αρθρώσεων. Συγκεκριμένα το “topic” αυτό διαθέτει μηνύματα τύπου “sensor_msgs/JointState” το οποίο παρέχει τις εξής πληροφορίες:

```
std_msgs/Header header # Η επικεφαλίδα χρησιμοποιείται για το χρόνο έναρξης της
καταγραφής της κατάστασης των αρθρώσεων μέσω των παρακάτω παραμέτρων.

- uint32 seq

- time stamp

- string frame_id

string[] name # Σε αυτό το πίνακα αποθηκεύονται τα μοναδικά ονόματα των αρθρώσεων.

float64[] position # Σε αυτό το πίνακα αποθηκεύονται οι θέσεις των αρθρώσεων.

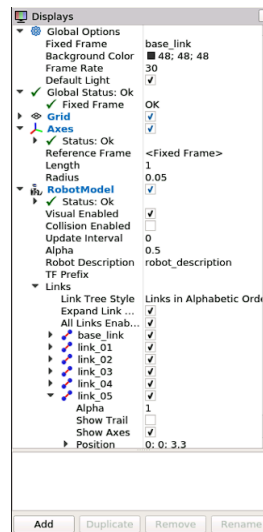
float64[] velocity # Σε αυτό το πίνακα αποθηκεύονται οι ταχύτητες των αρθρώσεων.

float64[] effort # Σε αυτό το πίνακα αποθηκεύονται οι προσπάθειες των αρθρώσεων.
```

Πίνακας 10.1: Απεικόνιση μηνύματος “sensor_msgs/JointState”

Τα πεδία των παραπάνω πινάκων αντιστοιχούνται με τρόπο ώστε κάθε άρθρωση να είναι αυτόνομη με αποτέλεσμα να διαθέτουν διαφορετικές τιμές.

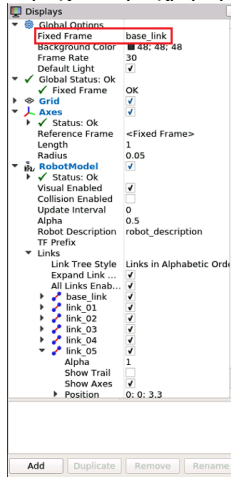
Η γραμμή 9 αφορά στη ρύθμιση της απεικόνισης του ρομπότ μέσω του RViz. Προσθέτοντας τη παράμετρο “args” μπορεί να συμπεριληφθεί μια επιθυμητή ρύθμιση για την απεικόνιση του ρομπότ στο RViz. Αυτή η ρύθμιση δημιουργείται στον φάκελο “launch” ο οποίος θα περιέχει το αρχείο “config.rviz”. Αυτό το αρχείο φτιάχνεται αυτόματα μέσω του RViz αφού ο χρήστης έχει ρυθμίσει τον τρόπο που θέλει να απεικονίζεται το ρομπότ. Τέλος απλά αποθηκεύονται οι προτιμήσεις μέσω του file>Save Config As στην επιθυμητή τοποθεσία μέσα στον φάκελο “launch” με το ανάλογο όνομα.



Εικόνα 10.31: Ρυθμίσεις RViz

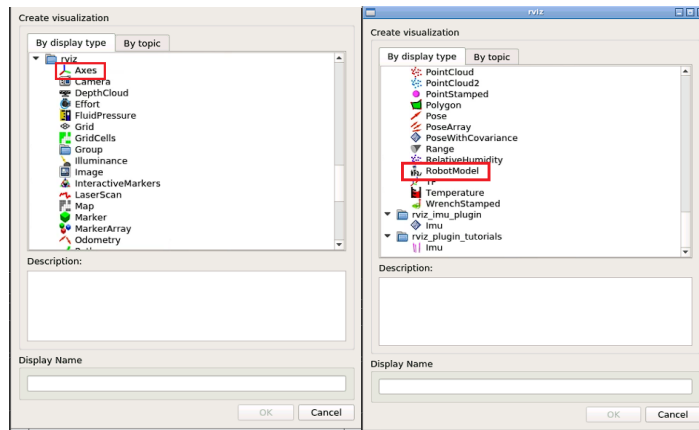
Στην Εικόνα 10.32 έχουν γίνει τα εξής βήματα:

1. Αρχικά δηλώνεται ως “Fixed Frame” ο σύνδεσμος “base_link” ως αναφορά για τον κόσμο.



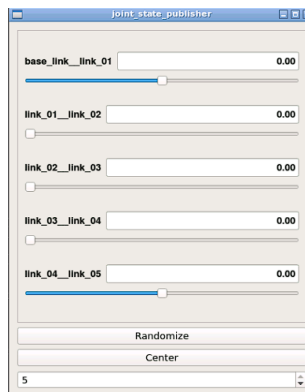
Εικόνα 10.32: Επιλογή Base_Link

2. Με το κουμπί “Add” προσθέτονται τα “Axes” για τους άξονες των αρθρώσεων των συνδέσμων και “RobotModel” για τη εισαγωγή του μοντέλου του ρομπότ.



Εικόνα 10.33: Επιλογές του "Add"

Τέλος στις γραμμές 12 με 14 χρειάζεται να προστεθεί ως “node” το “joint_state_publisher”. Το “node” του “joint_state_publisher” έχει τη δυνατότητα να κάνει “publish” στο “topic” “joint_states”. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 10.1 το συγκεκριμένο “topic” μπορεί να αποθηκεύσει πληροφορίες σχετικά με τις αρθρώσεις και αυτό ακριβώς είναι ο σκοπός του “ node” “joint_state_publisher”, δηλαδή να δηλώνει τη κατάσταση των αρθρώσεων. Ο τρόπος που ενημερώνεται η κατάσταση των αρθρώσεων είναι μέσω slides όπως φαίνεται στην Εικόνα 10.35 εφόσον ενεργοποιηθεί το GUI μέσω τις παραμέτρου του. Απεικονίζονται όλες οι αρθρώσεις του ρομπότ με τις ονομασίες που τους δόθηκαν. Τα νούμερα της κάθε άρθρωσης είναι η δυνατή περιστροφή που εξαρτάται από τα όρια που τέθηκαν στη περιγραφή του ρομπότ.



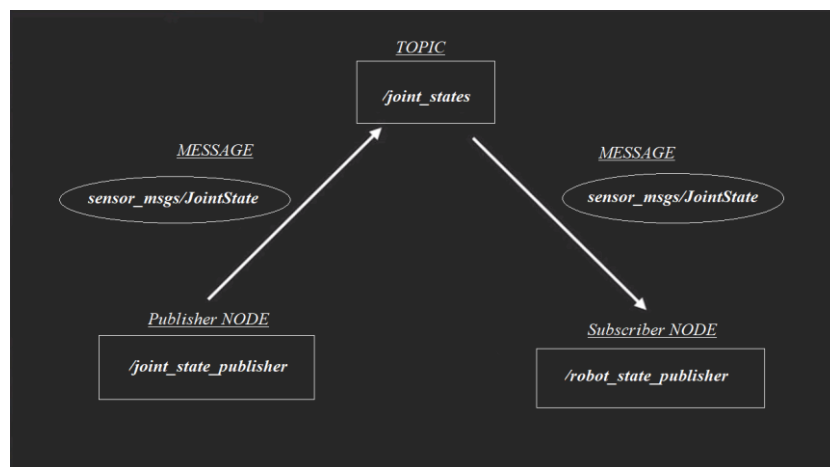
Εικόνα 10.34: GUI (Graphics User interface)

```

1 [launch]
2
3 <param name="robot_description" command="$(find xacro)/xacro --inorder "$(find mrm_description)/urdf/mrm.xacro"/>
4
5 <!-- Combine joint values -->
6 <node name="robot_state_publisher" pkg="robot_state_publisher" type="state_publisher"/>
7
8 <!-- Show in Rviz -->
9 <node name="rviz" pkg="rviz" type="rviz" args="-d $(find mrm_description)/launch/config.rviz" />
10
11 <!-- Send joint values -->
12 <node name="joint_state_publisher" pkg="joint_state_publisher" type="joint_state_publisher">
13   <param name="use_gui" value="True"/>
14 </node>
15
16 </launch>
    
```

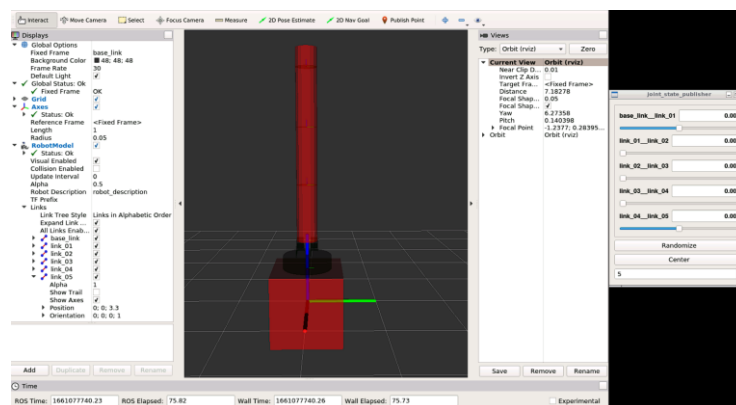
Εικόνα 10.35: "rviz.launch"

Με την πρόσθεση του "joint_state_publisher" γίνεται εφικτό το παρακάτω σύστημα "nodes", "topic" και "messages":



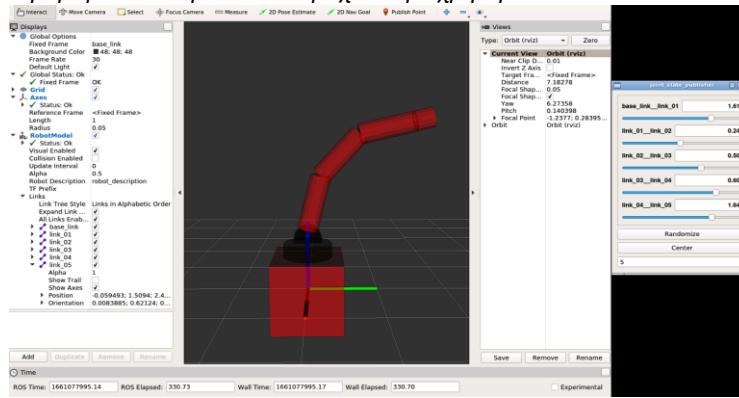
Εικόνα 10.36: Τρόπος λειτουργίας Publisher και Subscriber

Με την ολοκλήρωση του παραπάνω αρχείου "launch" μπορεί να γίνει εφικτή απεικόνιση του ρομπότ μέσω του RViz. Αρκεί να δοθεί η εντολή "roslaunch mrm_description rviz.launch" στο τερματικό, με την οποία καλείται το αρχείο "rviz.launch" του πακέτου "mrm_description". Εκτελώντας την παραπάνω εντολή λαμβάνεται το παρακάτω αποτέλεσμα:



Εικόνα 10.37: Απεικόνιση του ρομπότ στο RViz

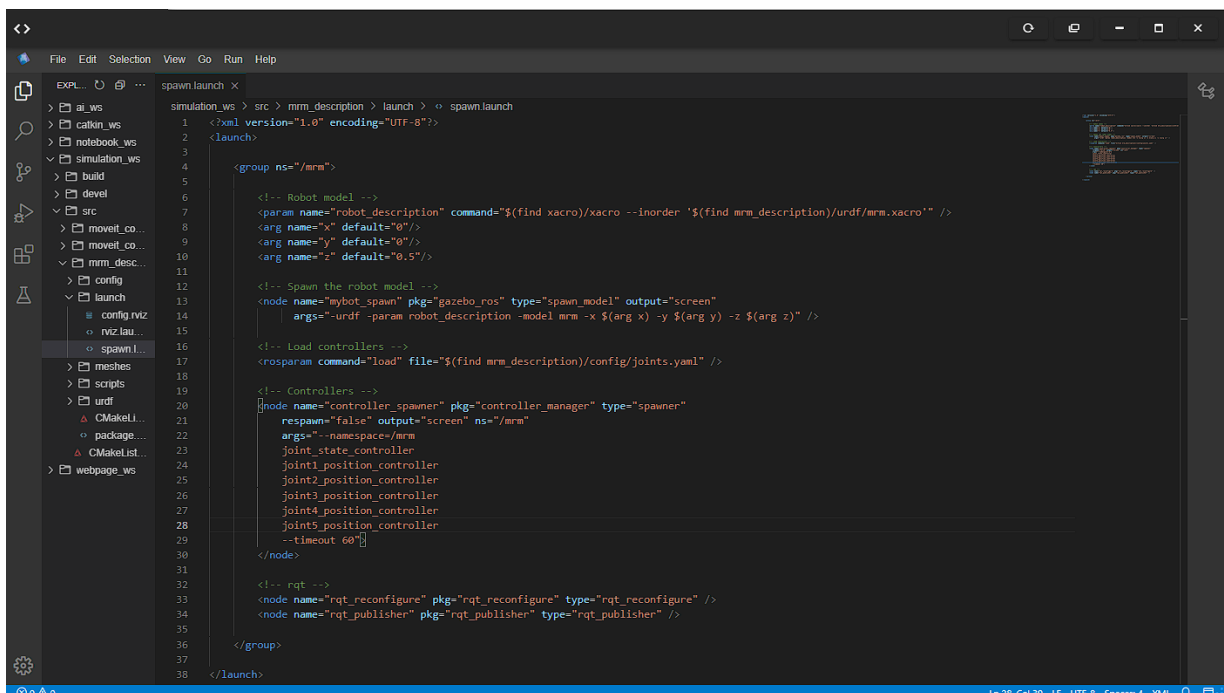
Μέσω των slides μπορεί να γίνει εφικτός η αλλαγή της θέσης του ρομπότ, όπως φαίνεται παρακάτω ώστε να δοκιμαστούν τα όρια του ρομπότ:



Εικόνα 10.38: Δοκιμή των ορίων του ρομπότ μέσω του GUI

“spawn.launch”

Για τη προσομοίωση του ρομπότ στο περιβάλλον του “Gazebo” θα χρειαστεί ένα ακόμα αρχείο τύπου “launch”. Το όνομα θα οριστεί ως “spawn.launch” το οποίο συνηθίζεται σε αυτού του τύπου αρχεία τα οποία βοηθάνε στην έναρξη του ρομποτικού μοντέλου στο “Gazebo”. Η ετικέτα “launch” θα περιέχει όλα όσα χρειάζεται ώστε στο τέλος να μπορεί να γίνει μια προσομοίωση στο κόσμο του “Gazebo”. Αρχικά είναι βασικό να δηλωθεί ένα “group” όπου θα περιέχεται το “namespace” του ρομπότ ώστε να εφαρμοστούν όλες οι ρυθμίσεις στο συγκεκριμένο “group”. Όπως και στο αρχείο rviz.launch εισάγεται η τοποθεσία του αρχείου “urdf” με τη περιγραφή του ρομπότ. Επιπρόσθετα γίνεται μια αλλαγή στην αρχική τιμή του άξονα z μέσω της ετικέτας “arg” του ρομπότ ώστε να η βάση του να τοποθετείται πάνω στο «πάτωμα» του κόσμου του “Gazebo”. Αυτό συμβαίνει γιατί στη περιγραφή του ρομπότ η παράμετρος “origin_xyz και gry” ορίστηκε ως «0» με αποτέλεσμα να τοποθετηθεί ο κύβος στο κέντρο του συστήματος συντεταγμένων, εξέχοντας πάνω και κάτω από αυτό 0,5m. Για την εφαρμογή της παραπάνω ρύθμισης της θέσης του ρομπότ δημιουργείται το “node” στις γραμμές 13 με 14. Στο περιβάλλον του “Gazebo” θα μπορούσε να προσομοιωθεί το ρομπότ μέχρι στιγμής όπως φαίνεται και στο παράδειγμα του RViz πιο πάνω. Αφού δημιουργηθούν οι ελεγκτές το επόμενο βήμα είναι εισαχθεί η λειτουργία “controller_manager” η οποία παρέχει όλα όσα χρειάζεται για την αλληλεπίδραση με τους ελεγκτές. Έτσι καταφέρνει να φορτώσει και να ενεργοποιήσει τους ελεγκτές, με τη χρήση του εργαλείου “spawner”. Τέλος προστίθενται τα εργαλεία “rqt_reconfigure” και “rqt_publisher”.



Εικόνα 10.39: "spawn.launch"

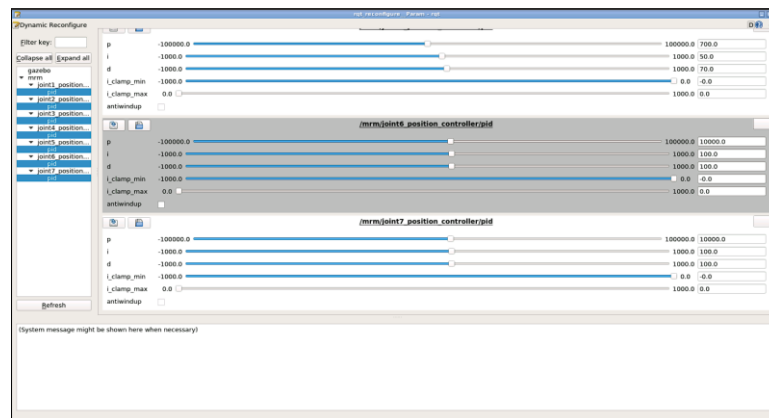
Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Το εργαλείο “rqt_publisher” χρησιμοποιείται για να γίνεται “publish” στο “topic” “command” για την αλλαγή της θέσης οποιαδήποτε άρθρωσης του ρομπότ. Πρέπει πρώτα να βρεθεί το σωστό “topic” το οποίο θα είναι όπως φαίνεται από κάτω το “/mrm/joint(x)_position_controller/command” με το “x” να αντικατασταθεί από τον αριθμό της αντίστοιχης άρθρωσης και το αντίστοιχο τύπο μηνύματος το οποίο θα είναι “std_msgs/Float64”. Για τη τροποποίηση της τιμής της άρθρωσης αρκεί να γίνει η αντίστοιχη αλλαγή στη μεταβλητή “expression” της παραμέτρου “data”, μέσα στα όρια της κάθε άρθρωσης.



Εικόνα 10.40: RQT Publisher – Message Publisher

Το εργαλείο “rqt_reconfigure” επιτρέπει τη ζωντανή ρύθμιση των στοιχείων των PID ελεγκτών της κάθε άρθρωσης και τη ρύθμιση των παραμέτρων του “Gazebo”. Με την εντολή στο τερματικό “roslaunch rqt_gui rqt_gui” θα ανοίξει ένα παρόμοιο παράθυρο με το παραπάνω. Εκεί γίνεται μέσω της λειτουργίας “plugin” να ενεργοποιηθούν τα “Message Publisher”, “Dynamic Reconfigure” αλλά και η λειτουργία “Plot” στην οποία είναι δυνατή η εμφάνιση της απόκρισης της πραγματικής κατάστασης της άρθρωσης, της επιθυμητής κ.α.



Εικόνα 10.41: Dynamic Reconfigure

Για να μπορεί όμως να σταθεί όρθιο και να κινήσει τις αρθρώσεις του θα πρέπει να αντιστοιχηθούν οι ελεγκτές της κάθε άρθρωσης. Όπως εξηγήθηκε στο αρχείο του η ετικέτα του “transmission” περιέχει τις πληροφορίες για τη μετάδοση της κίνησης της κάθε άρθρωσης περιγράφοντας τον “actuator” τους. Οπότε ανάλογα τον αριθμό των αρθρώσεων στις οποίες έχει περιγραφεί η ετικέτα της “transmission” θα πρέπει να δημιουργηθεί ένας ελεγκτής ο οποίος θα ελέγχει τη θέση, τη ταχύτητα και τη προσπάθεια της άρθρωσης. Στη γραμμή 17 του αρχείου “spawn.launch” φαίνεται η εντολή για συμπερίληψη του αρχείου το οποίο περιέχει τους ελεγκτές της κάθε άρθρωσης. Το αρχείο που θα περιγράφει του ελεγκτές των αρθρώσεων θα είναι το “joints.yaml”, θα βρίσκεται στο φάκελο “config” του πακέτου και παρουσιάζεται από κάτω. Αρχικά εισάγονται οι εντολές ώστε να μπορεί να γίνεται “publish” η κατάσταση της άρθρωσης. Ο τρόπος που λειτουργεί είναι όπως παραπάνω, δηλαδή γίνεται “publish” από το “node” “joint_state_controller” στο “topic” “joint_states” μέσω σχετικών μηνυμάτων. Το “joint_state” controller κάνει “publish” όλες τις τιμές των αρθρώσεων οι οποίες είναι καταχωρημένες στο “hardware_interface”, κάτι το οποίο δηλώνεται μέσω των “transmission”.

```

simulation_ws > src > mrm_description > config > joints.yaml
2 joint_state_controller:
3   type: joint_state_controller/JointStateController
4   publish_rate: 50
5
6 # Position Controllers -----
7 joint1_position_controller:
8   type: effort_controllers/JointPositionController
9   joint: base_link_link_01
10  pid: {p: 2000.0, i: 100, d: 500.0}
11 joint2_position_controller:
12   type: effort_controllers/JointPositionController
13   joint: link_01_link_02
14   pid: {p: 50000.0, i: 100, d: 2000.0}
15 joint3_position_controller:
16   type: effort_controllers/JointPositionController
17   joint: link_02_link_03
18   pid: {p: 20000.0, i: 50, d: 1000.0}
19 joint4_position_controller:
20   type: effort_controllers/JointPositionController
21   joint: link_03_link_04
22   pid: {p: 2000.0, i: 50, d: 200.0}
23 joint5_position_controller:
24   type: effort_controllers/JointPositionController
25   joint: link_04_link_05
26   pid: {p: 70.0, i: 30, d: 5.0}
    
```

Εικόνα 10.42: "joints.yaml"

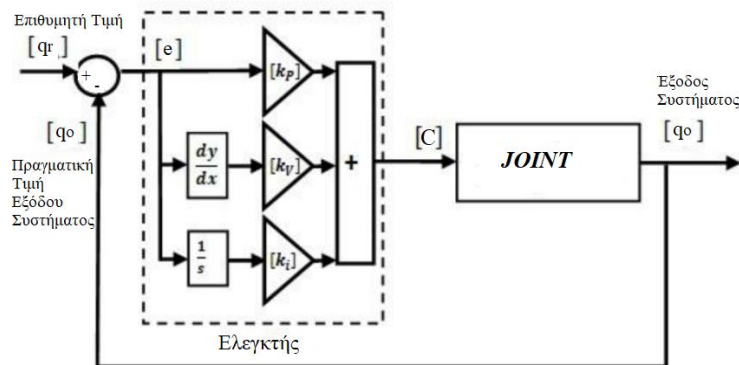
Όπως φαίνεται χρησιμοποιείται ο τύπος “joint_position_controller” ο οποίος δίνει την εντολή για μια επιθυμητή θέση της άρθρωσης. Η θέση ελέγχεται από PID ελεγκτή για να προσδιορίσει τη προσπάθεια της άρθρωσης. Ο “joint_state_controller” κάνει “subscribe” στο “topic” “command” το οποίο περιέχει μηνύματα τύπου “std_msgs/Float64”, δηλαδή δεκαδικές τιμές οι οποίες θα αναπαριστούν θέσεις των αρθρώσεων του ρομπότ που είναι επιθυμητό να επιτευχθούν, όπως έγινε κατά την δοκιμή στο RViz με τη χρήση του GUI. Επίσης κάνει “publish” στο “topic” “state” μέσω μηνυμάτων τύπου “control_msgs/JointControllerState” και το οποίο θα περιέχει πληροφορίες για τωρινή κατάσταση των ελεγκτών, μαζί με το σφάλμα και τα κέρδη των ελεγκτών PID.

Ο κάθε PID ελεγκτής χρειάζεται τα γνωρίσματα:

- Γνώρισμα “joint”: στο οποίο δηλώνεται το όνομα της άρθρωσης στην οποία αντιστοιχίζεται ο ελεγκτής.
- Γνώρισμα “pid”: στο οποίο ρυθμίζονται οι τιμές του ελεγκτή ως προς το p (proportional gain – αναλογικό κέρδος), d (derivative gain – παραγωγικό κέρδος) και i (integral gain – ολοκληρωτικό κέρδος).

PID TUNING

Οι τιμές που εισάγονται στις μεταβλητές του PID ελεγκτή μπορεί να διαφέρουν σε κάθε άρθρωση ανάλογα τη θέση της και το βάρος της. Η εξίσωση του PID ελεγκτή φαίνεται από κάτω:



Εικόνα 10.43: Σύστημα Ελέγχου Αρθρωσης Κλειστού Βρόχου

$$C = K_P \cdot e + K_I \cdot \int e + K_D \cdot e \cdot (dy/dt)$$

C: Αντιστοιχεί στην έξοδο του ελεγκτή (C) (Controller)

K_P: Αντιστοιχεί στο κέρδος του Αναλογικού μέρους (Proportional Gain)

K_I: Αντιστοιχεί στο κέρδος του Ολοκληρωτικού μέρους (Integral Gain)

K_D: Αντιστοιχεί στο κέρδος του Διαφορικού Μέρους (Derivative Gain)

e: Αντιστοιχεί στο σφάλμα (e) ανάμεσα στην επιθυμητή τιμή (q_r) και την πραγματική τιμή (q_o) της άρθρωσης

Αναλογικό Κέρδος (Proportional Gain – K_P)

Ο αναλογικός ελεγκτής δημιουργείται από τον πολλαπλασιασμό του σφάλματος με το κέρδος του. Δηλαδή από το τύπο: $e \cdot K_P$. Με αυτό τον τρόπο ο ελεγκτής ενισχύει το βήμα που πρέπει να κάνει για να φτάσει την επιθυμητή τιμή, καθώς η πληροφορία αυτή κρύβεται στο σφάλμα e. Οπότε αν υπάρχει σφάλμα $e = 2$ τότε σημαίνει ότι η άρθρωση απέχει δύο βήματα για την επιτυχία της επιθυμητής τιμής. Με τον πολλαπλασιασμό με το αναλογικό κέρδος θα προκύψει μια ενίσχυση στη προσπάθεια της άρθρωσης για να φτάσει τη τιμή. Ρυθμίζοντας το κέρδος K_P θα προκύψουν τα εξής:

- ⊗ Για πολύ μικρές τιμές θα παρατηρηθεί ότι η άρθρωση δεν θα μπορέσει ποτέ να φτάσει την επιθυμητή τιμή. Η αντίδραση του συστήματος θα είναι αρκετά αργό στην τιμή εισόδου.
- ⊗ Για πολύ μεγάλες τιμές θα παρατηρηθεί μεγάλο υπερύψωση (overshoot) με ταλαντώσεις, το οποίο ισοδυναμεί με την υπερπροσπάθεια που θα κάνει η άρθρωση για να φτάσει τη τιμή η οποία όμως ξεφεύγει σε ανεπιθύμητα και επικίνδυνα όρια. Η ταλάντωση οδηγεί σε πιο γρήγορο χρόνο απόκρισης του συστήματος στην είσοδο αλλά είναι ένα αθέμιτο γεγονός το οποίο όμως μπορεί να είναι ανεκτό σε συγκεκριμένα επίπεδα. Θα παρατηρηθεί μείωση του σφάλματος αλλά θα είναι αδύνατο να φτάσει κοντά στο απόλυτο μηδέν (0). Τέλος υπάρχει η περίπτωση σε πολύ μεγάλες τιμές να προκύψει αστάθεια στο σύστημα με αποτέλεσμα να ανεβοκατεβαίνει ανάμεσα στην επιθυμητή τιμή με κίνδυνο να διαλυθεί καθώς η προσπάθεια της άρθρωσης θα ξεπεράσει τα όρια της.

Ολοκληρωτής (Integral Gain – K_I)

Ο ολοκληρωτής δημιουργείται από το πολλαπλασιασμό του ολοκληρώματος του σφάλματος με το κέρδος του. Δηλαδή από το τύπο: $\int e \cdot K_I$. Με αυτό τον τρόπο ο ελεγκτής καταφέρνει «βλέπει» την προηγούμενη τιμή άρθρωσης κατά την απόκριση ώστε να προσφέρει μια επιπλέον ενίσχυση όταν χρειάζεται με σκοπό η άρθρωση να πλησιάσει πολύ καλύτερα την επιθυμητή τιμή. Όμως ούτε πάλι θα είναι εφικτό το απόλυτο μηδέν (0). Ρυθμίζοντας το κέρδος K_I θα προκύψουν τα εξής:

- ⊗ Για πολύ μικρές τιμές ή και μηδενική τιμή η επιρροή του ολοκληρωτή στο σύστημα είναι αμελητέα.
- ⊗ Για πολύ μεγάλες τιμές ο ολοκληρωτής επηρεάζει την απόκριση του αναλογικού ελεγκτή ενισχύοντας τη προσπάθεια της άρθρωσης να φτάσει την επιθυμητή τιμή και την απόκριση του συστήματος αλλά ταυτόχρονα ενισχύει το υπερύψωση και τις ταλαντώσεις που μπορεί να υπάρχουν. Αυτό γίνεται καθώς όπως αναφέρθηκε ο ολοκληρωτής αντιδρά ανάλογα την προηγούμενη κατάσταση της απόκρισης του συστήματος, έτσι σε περίπτωση αύξησης ο ολοκληρωτής θα την ενισχύσει όπως και σε περίπτωση καθόδου. Θα παρατηρηθεί καλύτερη ακρίβεια σε σχέση με το παράδειγμα με μόνο τον αναλογικό ελεγκτή.

Διαφορικό Κέρδος (Derivative Gain – K_D)

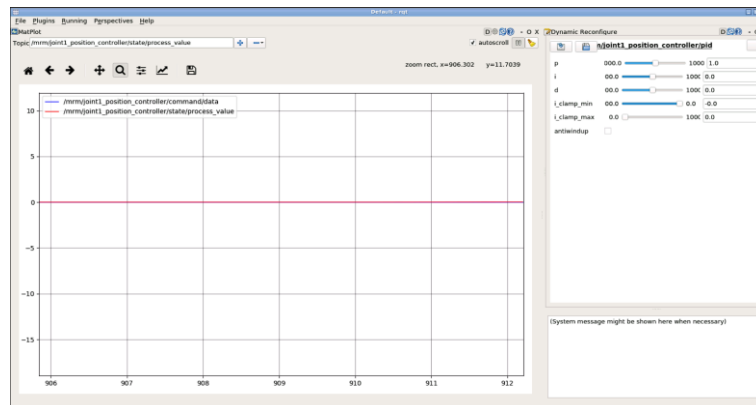
Ο διαφορικός ελεγκτής δημιουργείται από το πολλαπλασιασμό της παραγώγου του σφάλματος με το κέρδος του. Δηλαδή από το τύπο: $e \cdot (dy/dt) \cdot K_D$. Έτσι ο ελεγκτής μπορεί να υπολογίζει την επόμενη τιμή της

απόκρισης του συστήματος με σκοπό να μειώσει τις επιρροές των ελεγκτών του K_P και του K_I . Ρυθμίζοντας το κέρδος K_D θα προκύψουν τα εξής:

- ⊗ Για πολύ μικρές τιμές ή μηδενική ο διαφορικός ελεγκτής δεν μπορεί να μειώσει τα αρνητικά αποτελέσματα στην απόκριση του συστήματος, τα οποία είναι το overshoot και οι ταλαντώσεις.
- ⊗ Για πολύ μεγάλες τιμές ο διαφορικός ελεγκτής μπορεί να προλάβει την υπερβολική προσπάθεια της άρθρωσης με σκοπό να μειώσει το υπερύψωση και τις ταλαντώσεις, κάνοντας παράλληλα την απόκριση του συστήματος πιο αργή.

Υπολογισμός PID μέσω δοκιμών

Ο τρόπος υπολογισμού αυτών των τιμών είναι μέσω δοκιμών κατά τις οποίες εισάγετε μια αρχική τιμή στο κέρδος K_P (1) με τα K_I (0), K_D (0) και τροποποιούνται μέχρι η απόκριση να είναι ικανοποιητική σύμφωνα με τα παραπάνω σχόλια. Έπειτα θα γίνει η ίδια διαδικασία για το K_I και τέλος για το K_D . Παρακάτω θα γίνει υπολογισμός των τιμών των κερδών με το παραπάνω τρόπο για την άρθρωση 1 (joint1). Αρχικά δηλώνονται οι αρχικές τιμές στο αρχείο “joints.yaml” στο πεδίο του PID. Δίνεται η εντολή για την έναρξη της προσομοίωσης όπως γίνεται παρακάτω. Αρκεί να ανοιχτεί το παράθυρο “rqt_gui” με την εντολή “roslaunch rqt_gui rqt_gui” το οποίο θα ενεργοποιήσει ένα κενό παράθυρο στο οποίο πρέπει μέσω την λειτουργίας “plugin>configuration” να προστεθεί η λειτουργία “plot”. Για την απεικόνιση της επιθυμητής τιμής προστίθεται το “topic” “/mrm/joint1_position_controller/command/data” το οποίο λαμβάνει την επιθυμητή τιμή μέσω του “Message Publisher” το οποίο θα αναφέρεται και στη συνέχεια. Για την απεικόνιση της πραγματικής τιμής προστίθεται το “topic” “/mrm/joint1_position_controller/state/process_value” το οποίο περιέχει τη πραγματική τιμή της θέσης της άρθρωσης.

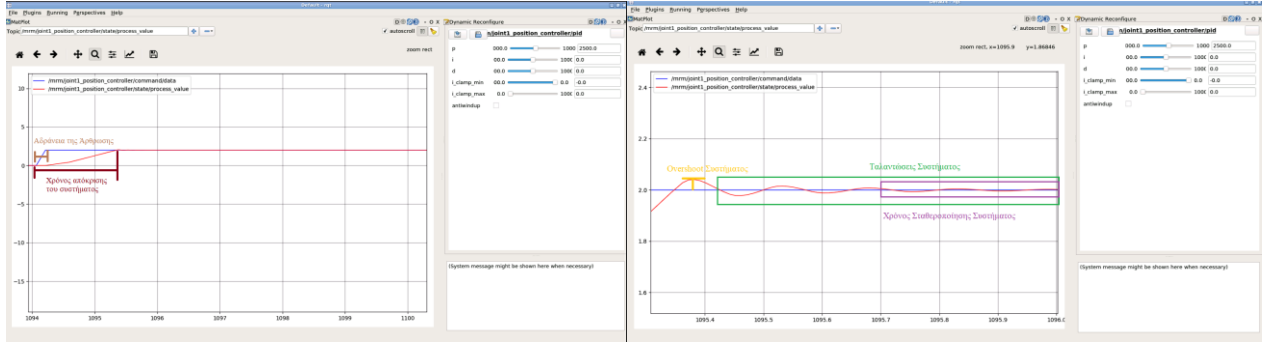


Εικόνα 10.44: RQT_GUI

Στη συνέχεια αρχίζουν οι δοκιμές:

Όπως ειπώθηκε αρχικά γίνεται έρευνα για μια κατάλληλη τιμή K_P . Αυξάνοντας τη τιμή του κέρδους παρατηρείται ότι η τιμή 2500 είναι αρκετά καλή σχετικά με την ακρίβεια, την απόκριση του συστήματος, το overshoot και τις ταλαντώσεις. Όπως φαίνεται στην Εικόνα Ταλάντωσης στο Χρόνο Σταθεροποίησης εξακολουθεί να υπάρχει ταλάντωση αλλά είναι αρκετά μικρού πλάτους ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει σταθεροποιηθεί. Θεωρητικά χρειάζεται άπειρο χρόνο για την πραγματική σταθεροποίηση του αλλά μια τόσο μικρή ταλάντωση είναι ανεκτή. Το ίδιο θα παρατηρηθεί και στις επόμενες δοκιμές.

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

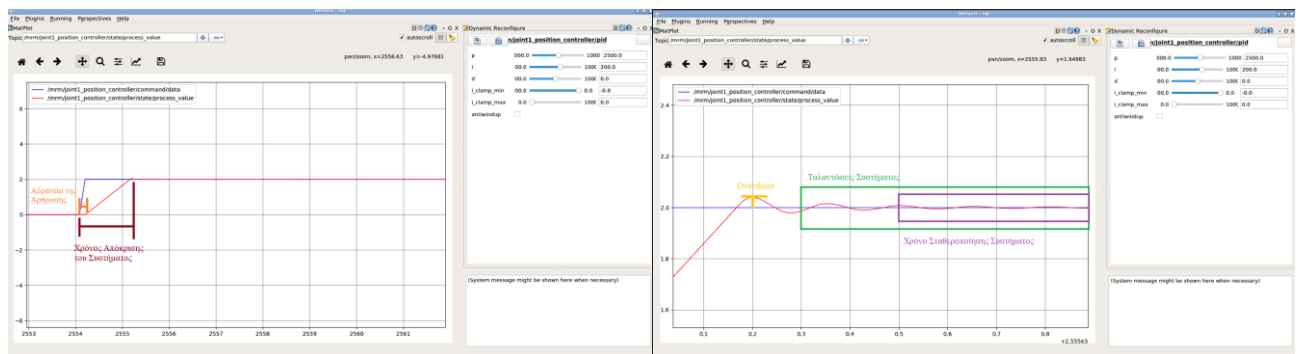


Εικόνα Απόκρισης

Εικόνα Ταλάντωσης

Εικόνα 10.45: Επιλογή τιμής K_p

Για τον ολοκληρωτή επιλέγεται η τιμή 200. Έτσι η απόκριση του συστήματος είναι πιο γρήγορη και η ακρίβεια είναι σε καλύτερο επίπεδο.

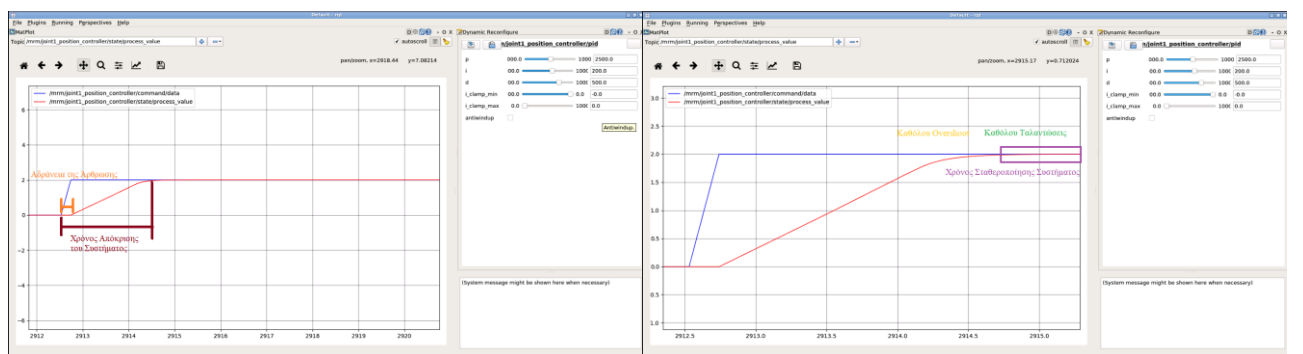


Εικόνα Απόκρισης

Εικόνα Ταλάντωσης

Εικόνα 10.46: Επιλογή τιμής K_i

Για το διαφορικό κέρδος επιλέγεται τιμή 500. Με αυτό τον τρόπο καταφέρνουμε να μετακινείται η άρθρωση πιο ομαλά χωρίς ταλαντώσεις με κόστος μια πιο αργή απόκριση.

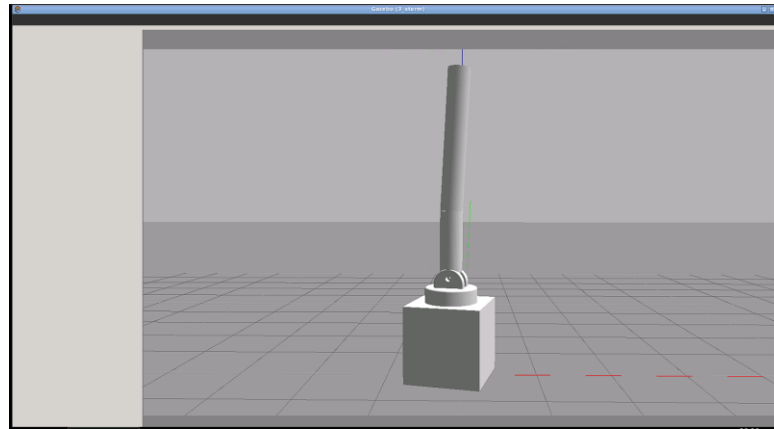


Εικόνα 10.47: Επιλογή τιμή K_d

Εδώ τελειώνει ο υπολογισμός των τιμών του PID ελεγκτή για την πρώτη άρθρωση. Οι τιμές εισάγονται στο αρχείο "joint.yaml" για την εφαρμογή τους στη προσομοίωση του ρομπότ. Για τον υπολογισμό των τιμών και για τις άλλες αρθρώσεις ακολουθεί το ίδιο μοτίβο έρευνας. Αφού γίνει το ίδιο και για τις υπόλοιπες αρθρώσεις μένει να εισαχθούν στο αρχείο "joint.yaml" όπως γίνεται παρακάτω.

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Με την ολοκλήρωση του αρχείου “spawn.launch” μπορεί να γίνει εφικτή η προσομοίωση του ρομπότ, αρκεί να δοθεί η εντολή “roslaunch mrm_description spawn.launch” στο τερματικό με την οποία καλείται το αρχείο “spawn.launch” του πακέτου “ mrm_description”. Συνήθως θα χρειαστεί να τρέχει και μια προσομοίωση του “Gazebo” το οποίο μπορεί εύκολα να γίνει με την εντολή “roslaunch gazebo_ros gazebo” σε ένα άλλο τερματικό. Εκτελώντας την παραπάνω εντολή λαμβάνεται το παρακάτω αποτέλεσμα:

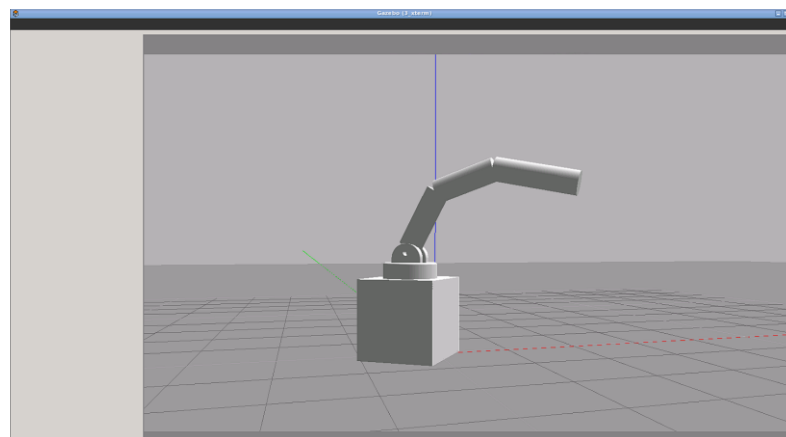


Εικόνα 10.48: Προσομοίωση Gazebo με την αρχική στάση του ρομπότ

Όπως αναφέρθηκε μπορεί να γίνει τροποποίηση στις θέσεις των αρθρώσεων μέσω του “rqt_publisher”, οπότε γίνονται οι παρακάτω αλλαγές διαμορφώνεται ως αποτέλεσμα το εξής:[38],[39],[40],[41],[42],[43],[44].



Εικόνα 10.49: Τροποποίηση μέσω RQT



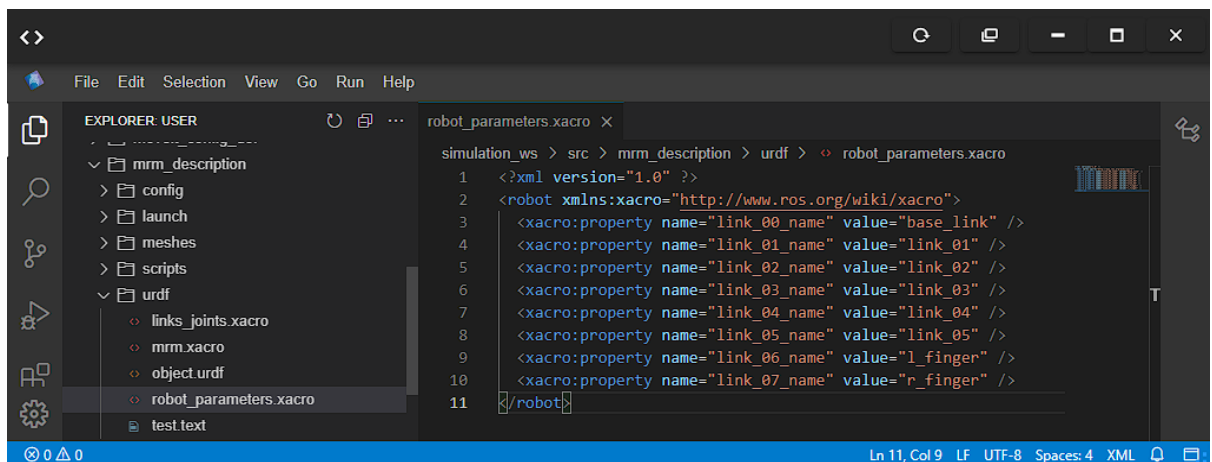
Εικόνα 10.50: Απεικόνιση τροποποίησης των θέσεων των αρθρώσεων joint2, joint3 και joint4

10.7 Προσθήκη Αρπάγης στο Ρομπότ

Για τη δημιουργία της αρπάγης θα γίνει αρχικά η παρακάτω προσθήκη στη περιγραφή του ρομπότ, στο αρχείο “mrm.xacro”. Η αρπάγη θα αποτελείται από δύο δάκτυλα/σιαγόνες, το αριστερό δάκτυλο (“l_finger”) και το δεξί δάκτυλο (“r_finger”). Το κάθε δάκτυλο θα δημιουργηθεί ώστε να μοιάζει σαν μια πλάκα και γι αυτό θα χρησιμοποιηθεί ο σύνδεσμος “box”.

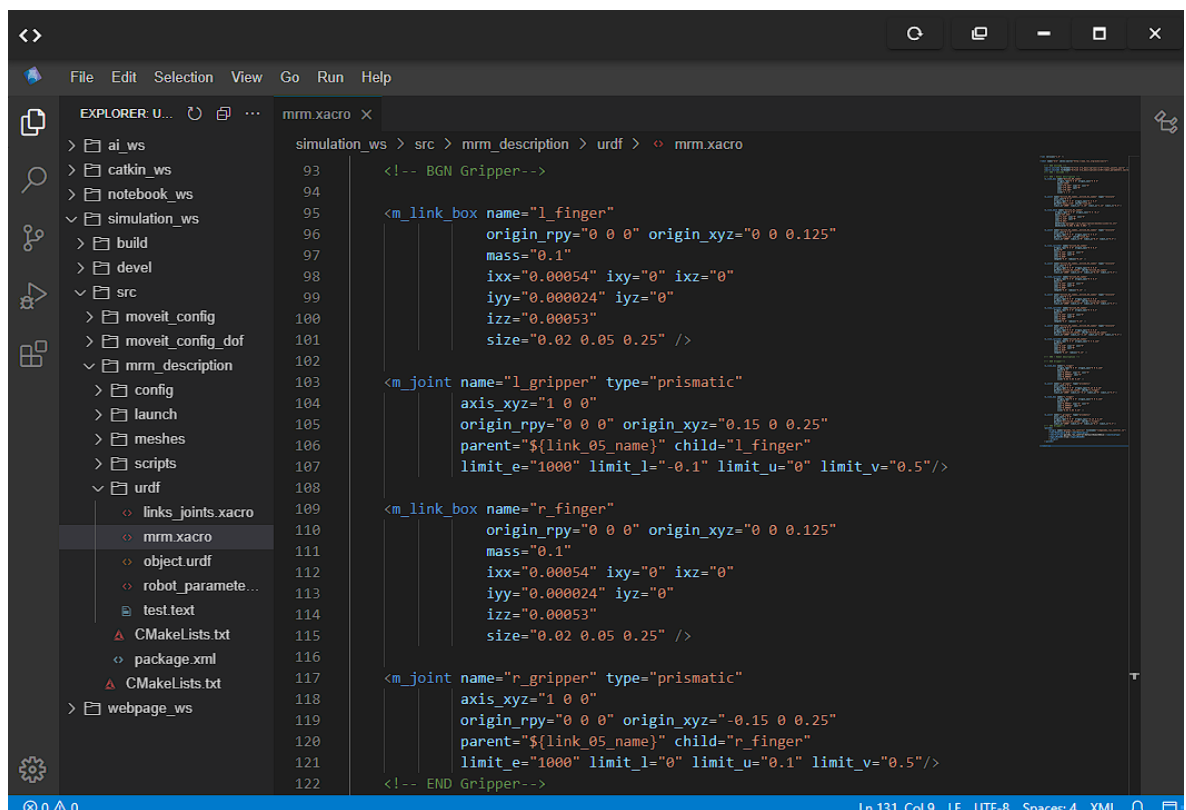
Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

- Το μόνο που χρειάζεται να επεξηγηθεί στους συνδέσμους είναι ότι στη παράμετρο “origin” θα χρειαστεί να τοποθετηθεί 0,125m πάνω από το κέντρο του συνδέσμου 5, ο οποίος είναι κύλινδρος με μήκος 0,25m.
- Για τις αρθρώσεις χρειάζεται να οριστεί ως τύπος η λειτουργία “prismatic” που σημαίνει ότι οι αρθρώσεις θα είναι γραμμικές και θα μπορούν να κινηθούν όπως δηλώνεται στη παράμετρο “axis” στο x άξονα. Επειδή τα δύο δάκτυλα θα είναι απέναντι το ένα στο άλλο θα χρειαστεί να δηλωθεί :
 1. Στην δεξιά άρθρωση (“r_gripper”) στη παράμετρο “origin” να βρίσκεται στον άξονα z 0.25m πάνω και στον άξονα x 0.15m δεξιά. Έτσι για το κλείσιμο του δακτύλου πρέπει να δηλωθεί το κάτω όριο “-0.1” και για το άνοιγμα το πάνω όριο “0”.
 2. Στην αριστερά άρθρωση (“l_gripper”) στη παράμετρο “origin” να βρίσκεται στον άξονα z 0.25m πάνω και στον x άξονα 0,15m αριστερά, δηλαδή -0,15m. Εδώ για το κλείσιμο του δακτύλου πρέπει να δηλωθεί το πάνω όριο “0,1” και για το άνοιγμα κάτω όριο “0”.



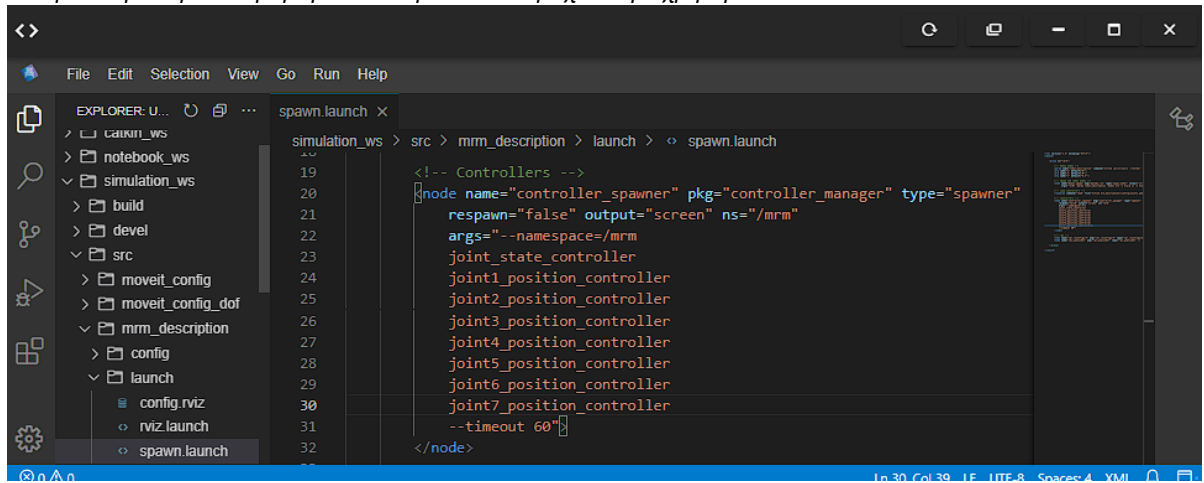
```
<?xml version="1.0" ?>
<robot xmlns:xacro="http://www.ros.org/wiki/xacro">
  <xacro:property name="link_00_name" value="base_link" />
  <xacro:property name="link_01_name" value="link_01" />
  <xacro:property name="link_02_name" value="link_02" />
  <xacro:property name="link_03_name" value="link_03" />
  <xacro:property name="link_04_name" value="link_04" />
  <xacro:property name="link_05_name" value="link_05" />
  <xacro:property name="link_06_name" value="l_finger" />
  <xacro:property name="link_07_name" value="r_finger" />
</robot>
```

Εικόνα 10.51: Προσθήκες "robot_parameters.xacro"

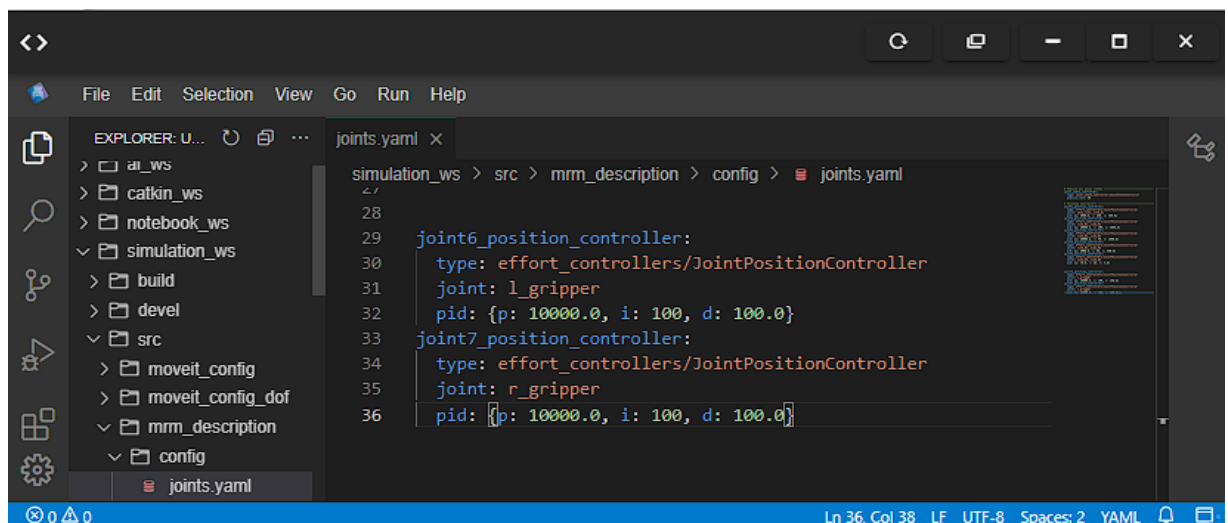


```
<!-- BGN Gripper-->
<m_link_box name="l_finger"
  origin_rpy="0 0 0" origin_xyz="0 0 0.125"
  mass="0.1"
  ixx="0.00054" ixy="0" ixz="0"
  iyy="0.00024" iyz="0"
  izz="0.00053"
  size="0.02 0.05 0.25" />
<m_joint name="l_gripper" type="prismatic"
  axis_xyz="1 0 0"
  origin_rpy="0 0 0" origin_xyz="0.15 0 0.25"
  parent="{link_05_name}" child="l_finger"
  limit_e="1000" limit_l="-0.1" limit_u="0" limit_v="0.5"/>
<m_link_box name="r_finger"
  origin_rpy="0 0 0" origin_xyz="0 0 0.125"
  mass="0.1"
  ixx="0.00054" ixy="0" ixz="0"
  iyy="0.00024" iyz="0"
  izz="0.00053"
  size="0.02 0.05 0.25" />
<m_joint name="r_gripper" type="prismatic"
  axis_xyz="1 0 0"
  origin_rpy="0 0 0" origin_xyz="-0.15 0 0.25"
  parent="{link_05_name}" child="r_finger"
  limit_e="1000" limit_l="0" limit_u="0.1" limit_v="0.5"/>
<!-- END Gripper-->
```

Εικόνα 10.52: Προσθήκες "mrm.xacro"-“gripper”

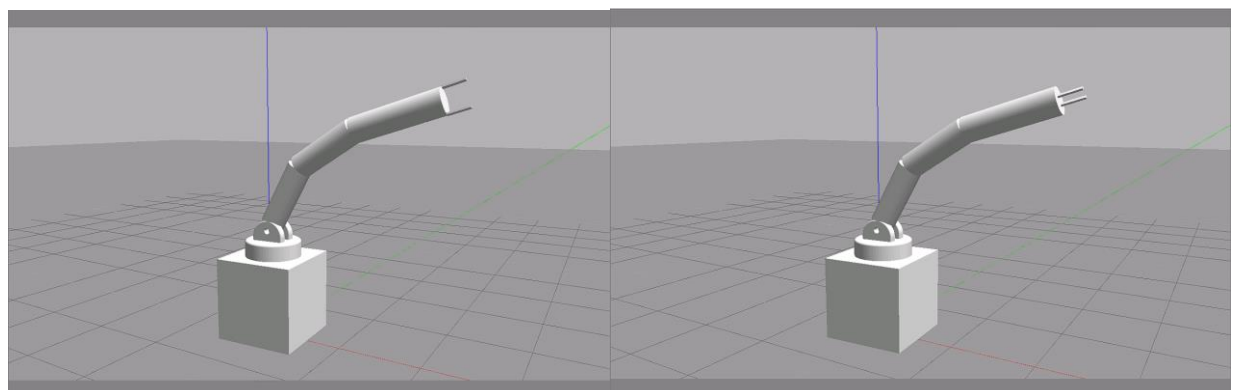


Εικόνα 10.53: Προσθήκες "spawn.launch"



Εικόνα 10.54: Προσθήκες στο "joints.yaml"

Αν ενεργοποιηθεί η προσομοίωση θα ληφθεί το παρακάτω αποτέλεσμα:



Ανοικτή Αρπάγη (0, 0)

Κλειστή Αρπάγη (-0.1, 0.1)

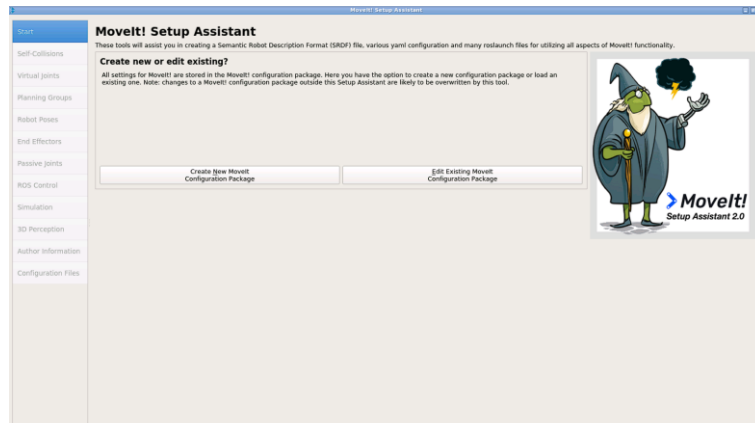
Εικόνα 10.55: Απεικόνιση Ρομπότ με Αρπάγη

10.8 Επεξήγηση Πακέτου MoveIt

Το πακέτο Move_It είναι μια λειτουργία που επιτρέπει σε ένα ρομποτικό μοντέλο να σχεδιαστούν διάφορες πόζες, κατά τις οποίες ρυθμίζονται οι τιμές θέσεις των αρθρώσεων των ρομπότ μέσω του RViz ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Σταύρος Αυγερινός

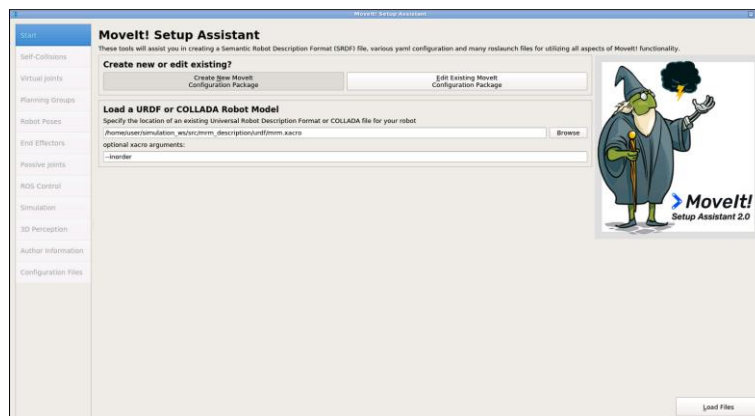
Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

ώστε να γίνει η εκτέλεση τους στο περιβάλλον του Gazebo ή ακόμα και σε μια πραγματική εφαρμογή ρομποτικού συστήματος. Για την διαμόρφωση του πακέτου MOVE_IT θα χρειαστεί αρχικά η εκτέλεση της εντολής “`roslaunch moveit_setup_assistant moveit_setup_assistant`” η οποία θα ανοίξει το παρακάτω παράθυρο.

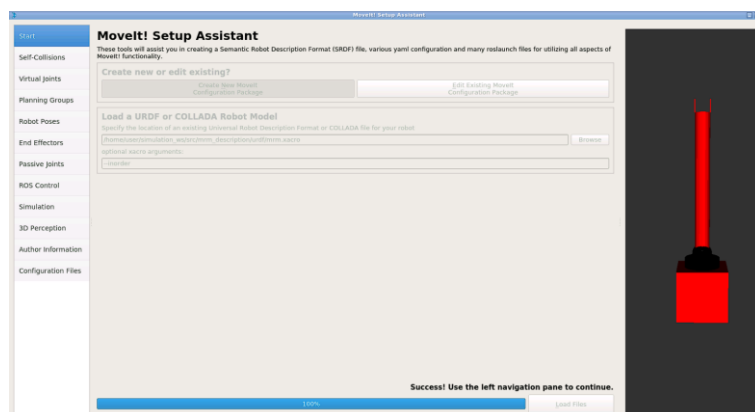


Εικόνα 10.56: Διαμόρφωση MOVE_IT

Για τη δημιουργία του πακέτου πρέπει να πατηθεί το κουμπί “Create New MoveIt Configuration Package” να συμπληρωθεί η τοποθεσία του “urdf” αρχείου περιγραφής του ρομπότ και τέλος να πατηθεί το κουμπί “Load Files”.



Εικόνα 10.57: Επιλογή αρχείου “mrm.xacro”

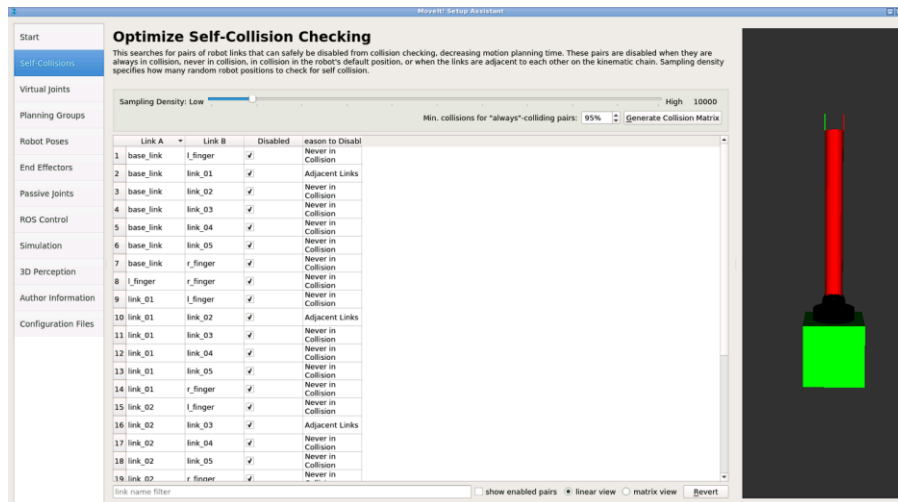


Εικόνα 10.58: Φόρτωση του ρομπότ

Για τη δημιουργία του πακέτου θα χρειαστούν να ολοκληρωθούν οι παρακάτω ρυθμίσεις.

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομπωτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT SELF - COLLISIONS

Αυτή η λειτουργία αποτρέπει τους συνδέσμους του ρομπότ από το να συγκρούονται μεταξύ τους. Σε αυτό το παράθυρο αρκεί να πατηθεί το κουμπί “Generate Collision Matrix”.



Εικόνα 10.59: Self-Collisions

VIRTUAL JOINTS

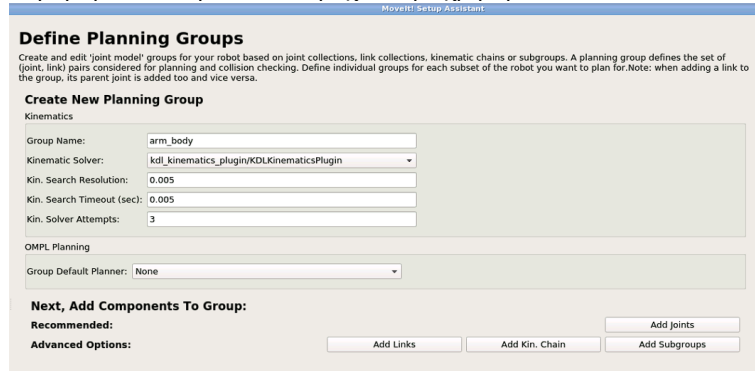
Η λειτουργία αυτή θα χρησιμοποιηθεί για να ενώσει το ρομπότ με τον κόσμο. Για να γίνει αυτό αρκεί να πατηθεί το κουμπί “Add Virtual Joint” και να οριστεί με όνομα ότι θέλει ο χρήστης η εικονική άρθρωση, με το Child Link το σύνδεσμο “base_link”. Parent Link το σύνδεσμο “world” (κόσμος του Gazebo) και τέλος ο τύπος της άρθρωσης ως “fixed” ώστε να είναι μια σταθερή σύνδεση.



Εικόνα 10.60: Virtual Joints

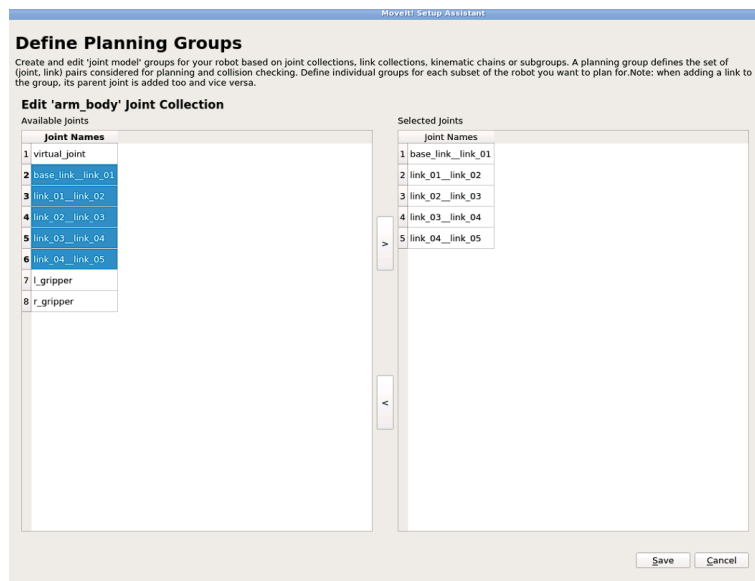
PLANNING GROUPS

Με αυτή τη λειτουργία θα γίνει ομαδοποίηση αρχικά των συνδέσμων που αποτελούν το σώμα του ρομπότ με όνομα “arm_body” με τον kinematic solver που φαίνεται παρακάτω ο οποίο υπολογίζει τη κίνηση του ρομπότ από στάση σε στάση.

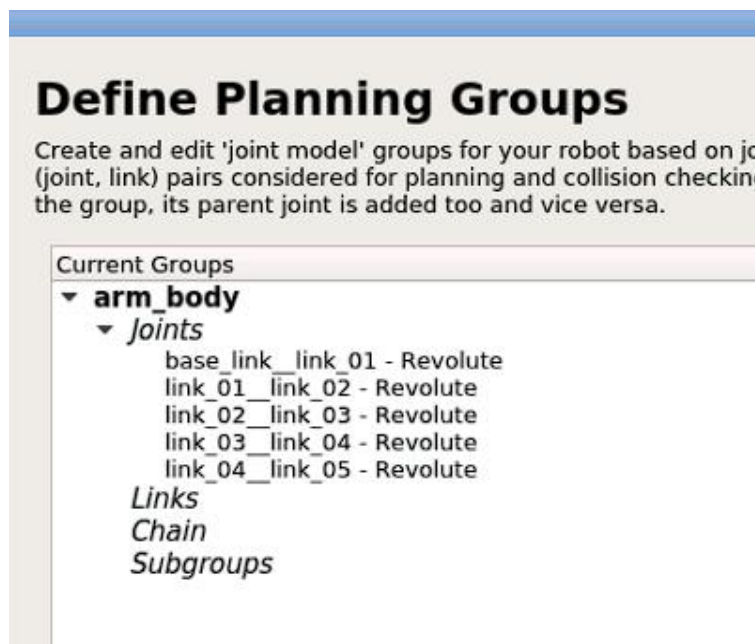


Εικόνα 10.61: arm_body Group

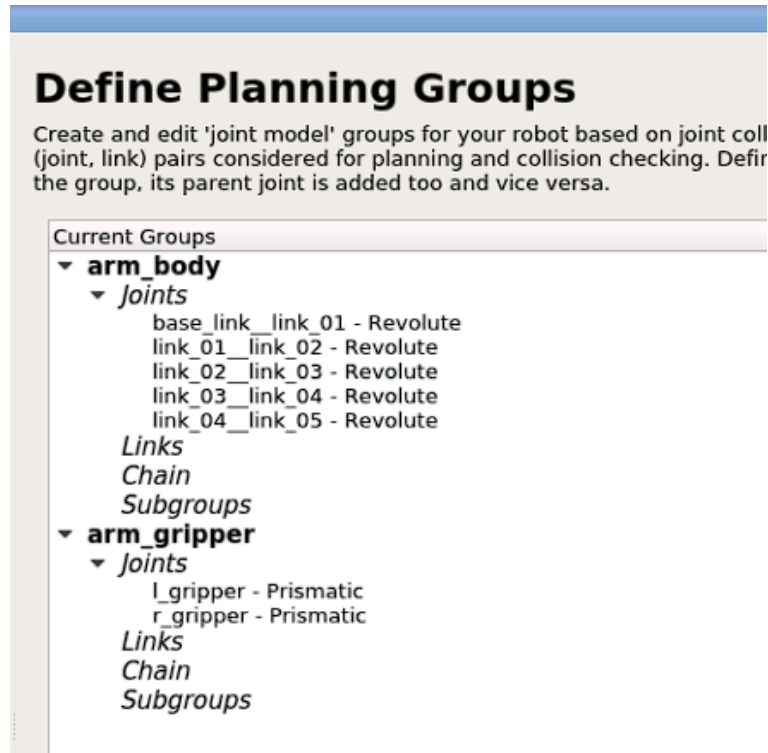
Στη συνέχεια πατώντας το κουμπι "Add Joints" προσθέτονται οι αρθρώσεις που αποτελούν το σώμα όπως φαίνονται παρακάτω.



Εικόνα 10.62: Προσθήκη Αρθρώσεων



Εικόνα 10.63: Ολοκλήρωση arm_body Group

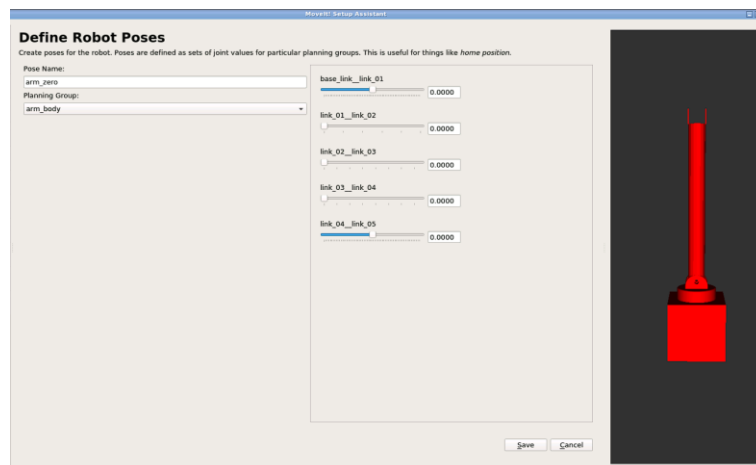


Εικόνα 10.64: Ολοκλήρωση των ομαδοποιήσεων

ROBOT POSES

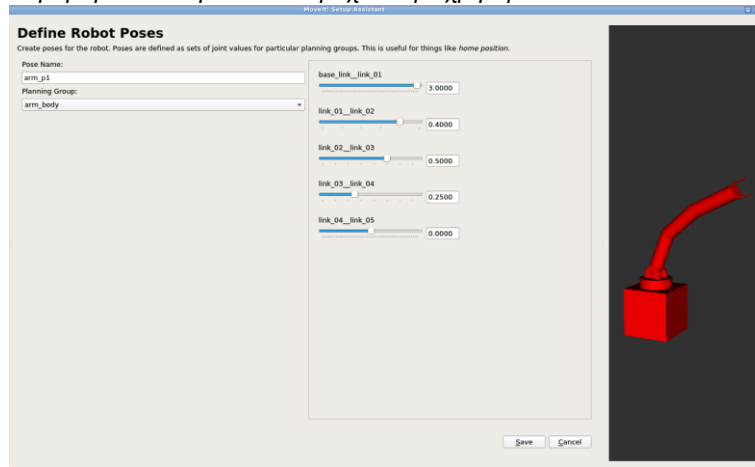
Η λειτουργία αυτή επιτρέπει τη δημιουργία διάφορων στάσεων του ρομπότ από το χρήστη οι οποίες μπορεί να είναι ιδανικές για μια εργασία. Παρακάτω δημιουργούνται οι εξής στάσεις πατώντας το κουμπί “Add Pose”:

- Θέση μηδέν (arm_zero) όπου όλες οι τιμές είναι ορισμένες ως μηδέν.



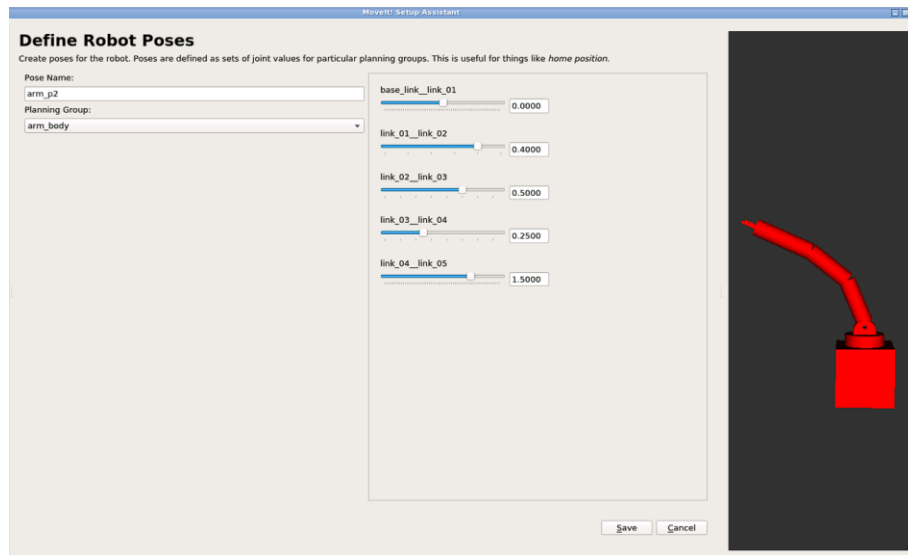
Εικόνα 10.65: “arm_zero”

- Θέση πρώτη (arm_p1) όπου οι τιμές ορίζονται έτσι ώστε το ρομπότ να είναι σε θέση αρπάγης σε σημείο A.



Εικόνα 10.66: “arm_p1”

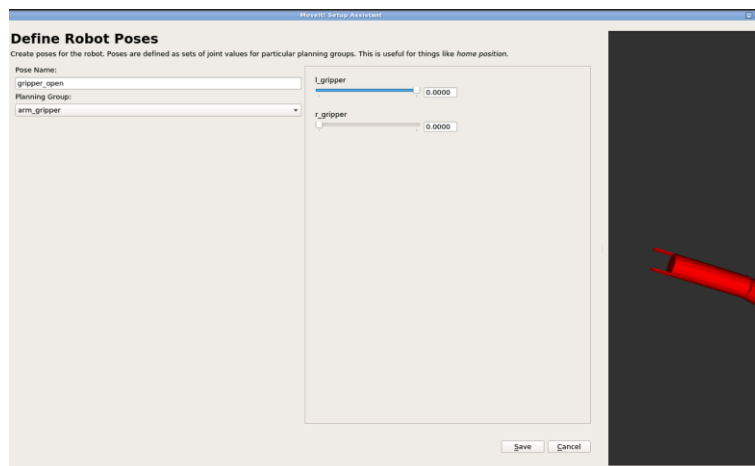
- Θέση δεύτερη (arm_p2) όπου οι τιμές ορίζονται έτσι ώστε να γίνει μεταφορά της αρπάγης σε σημείο Β.



Εικόνα 10.67: “arm_p2”

Θα δημιουργηθούν επίσης και δύο στάσεις για την αρπάγη όπως φαίνεται παρακάτω:

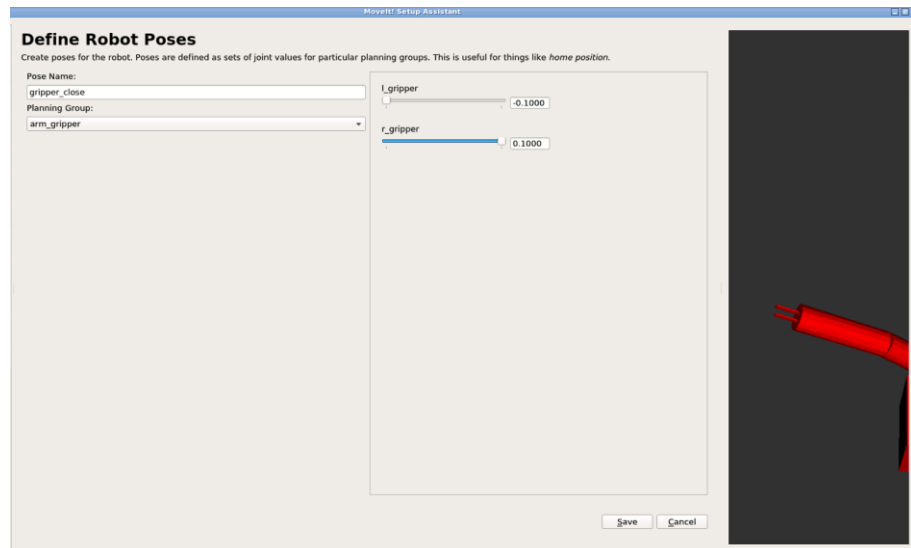
- Ανοικτή αρπάγη (gripper_open) όπου οι τιμές είναι σε μηδενική θέση.



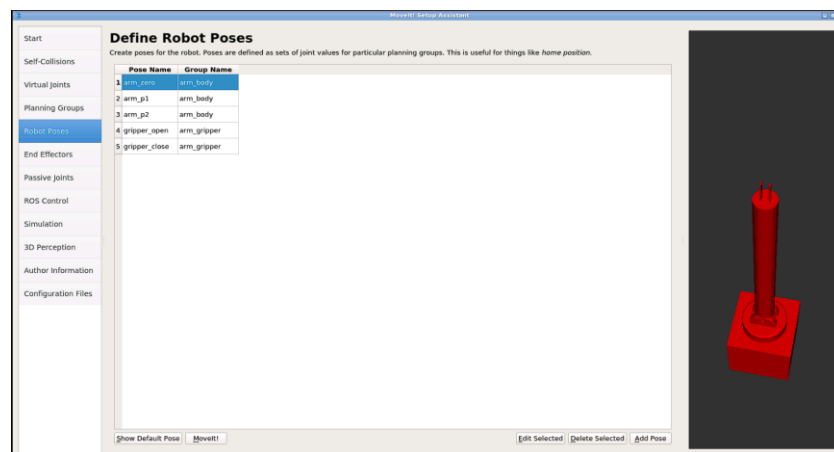
Εικόνα 10.68: “gripper_open”

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

- Κλειστή αρπάγη (gripper_close) όπου οι τιμές είναι στη μέγιστη του θέση.



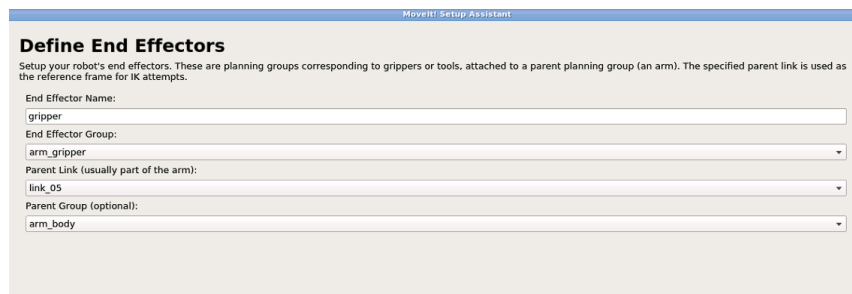
Εικόνα 10.69: “gripper_close”



Εικόνα 10.70: Ολοκλήρωση στάσεων του ρομπότ

END EFFECTORS

Η λειτουργία αυτή επιτρέπει τον ορισμό της αρπάγης του ρομπότ όπως φαίνεται παρακάτω αφού πατηθεί το κουμπί “Add End Effector”:

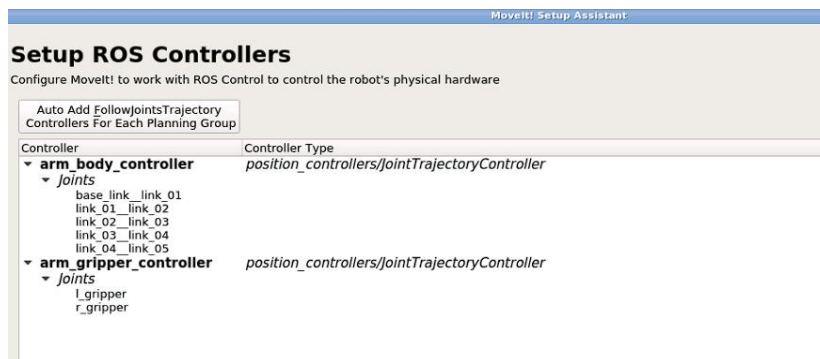


Εικόνα 10.71: Ορισμός Gripper

ROS CONTROL

Εδώ αρχικά πρέπει να πατηθεί το κουμπί “Auto Add FollowJointTrajectory Controllers For Each Planning Group”. Έτσι δημιουργούνται αυτόματα οι ελεγκτές των ομαδοποιημένων συνδέσμων “arm_body” και

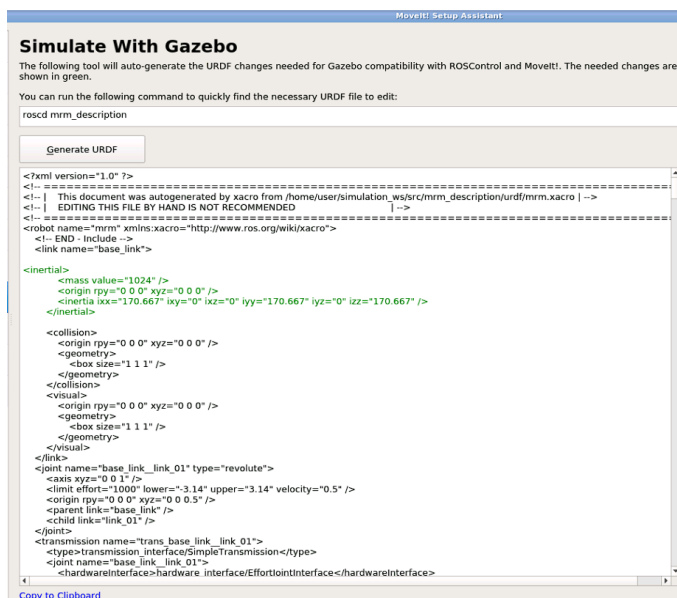
Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT “arm_gripper”. Επιπρόσθετα πρέπει να ρυθμιστούν οι τύποι των ελεγκτών ως “position/JointTrajectoryController”.



Εικόνα 10.72: Διαμόρφωση Ελεγκτών

SIMULATION

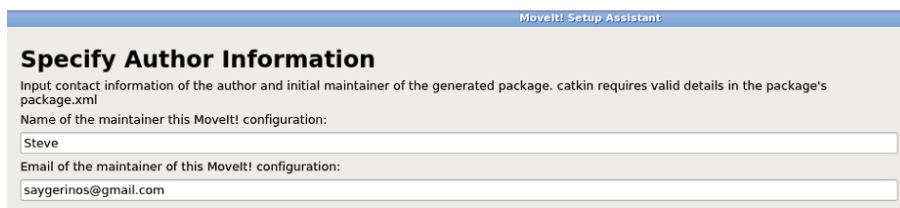
Εδώ θα πατηθεί το κουμπί “Generate URDF” το οποίο θα δημιουργήσει αυτόματα το νέο urdf αρχείο που χρειάζεται για τη συμβατότητα του ρομπότ με το πακέτο. Αφού δημιουργηθεί αντιγράφεται και αντικαταστεί το αρχείο “mrm.xacro”.



Εικόνα 10.73: Νέο URDF

AUTHOR INFORMATION

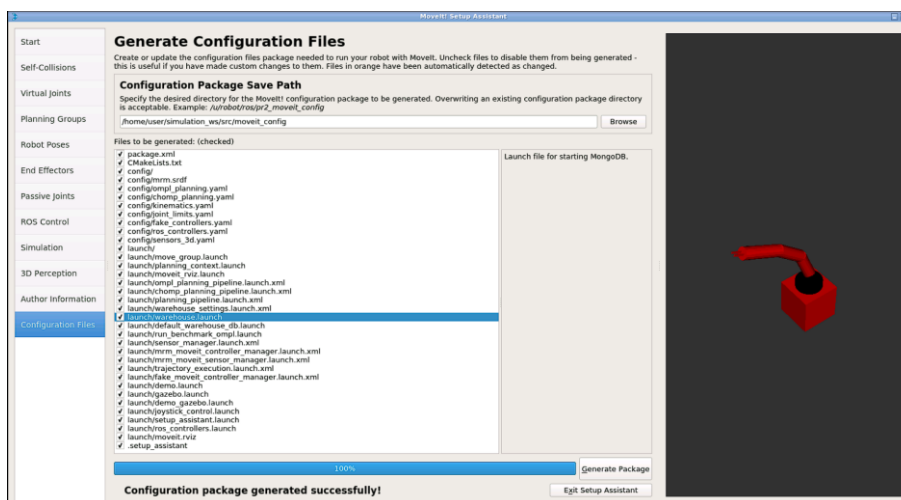
Εδώ απλώς προστίθενται οι πληροφορίες του συγγραφέα του πακέτου.



Εικόνα 10.74: Πληροφορίες Συγγραφέα

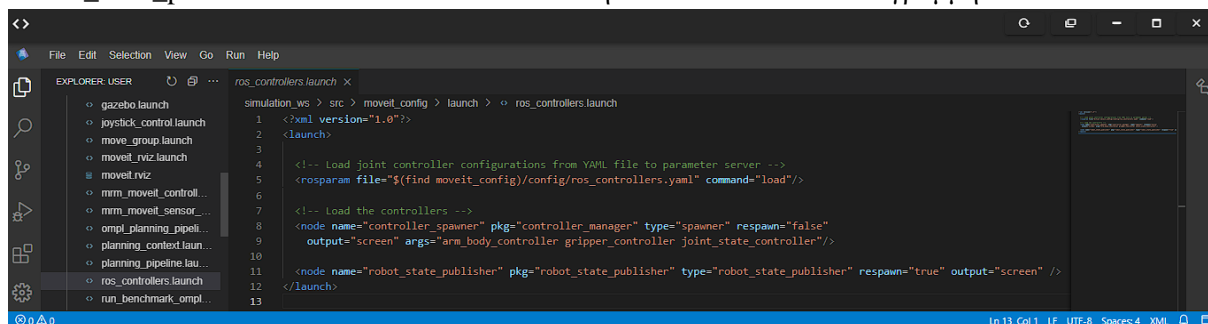
Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT CONFIGURATION FILES

Τέλος πριν δημιουργηθεί το πακέτο ορίζεται οι τοποθεσία του η οποία φαίνεται παρακάτω και πατιέται το κουμπί “Generate Package”:



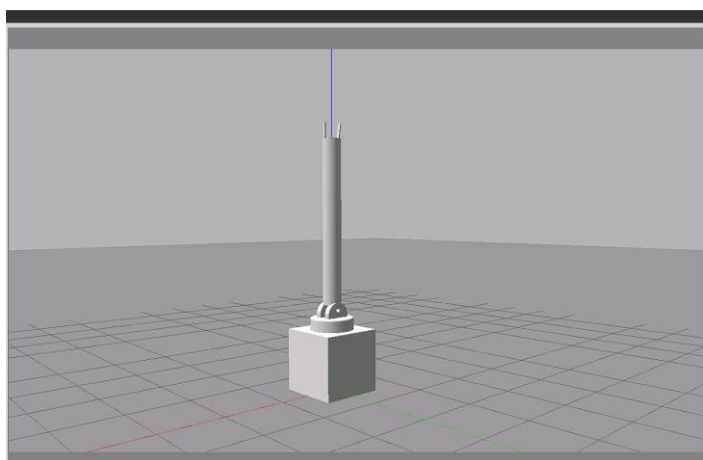
Εικόνα 10.75: Ολοκλήρωση Πακέτου

Πριν γίνει η μετάβαση στο RViz για τη ρύθμιση των στάσεων του ρομπότ πρέπει να γίνουν οι παρακάτω προσθήκες στο αρχείο “ros_controllers.launch” του πακέτου “moveit_config” που μόλις δημιουργήθηκε. Συγκεκριμένα προστίθενται τα “node” των “joint_state_publisher” στη γραμμή 9 και “robot_state_publisher” στη γραμμή 11.



Εικόνα 10.76: "ros_controllers.launch"

Για την προσομοίωση του ρομπότ θα χρειαστεί η εντολή “roslaunch moveit_config gazebo.launch”



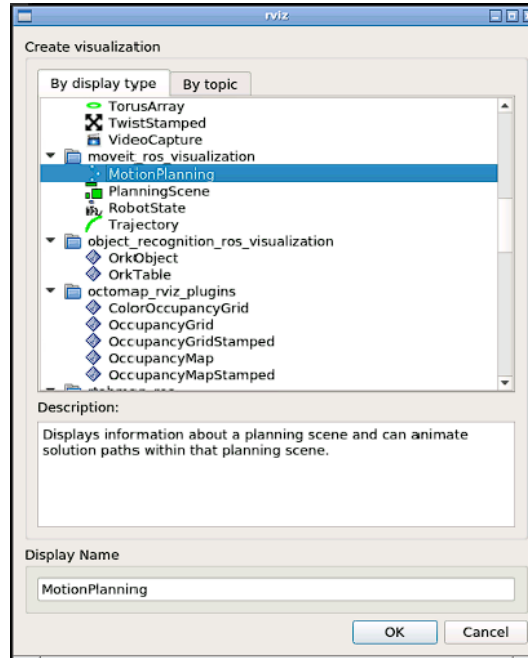
Εικόνα 10.77: Ρομπότ σε αρχική στάση

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

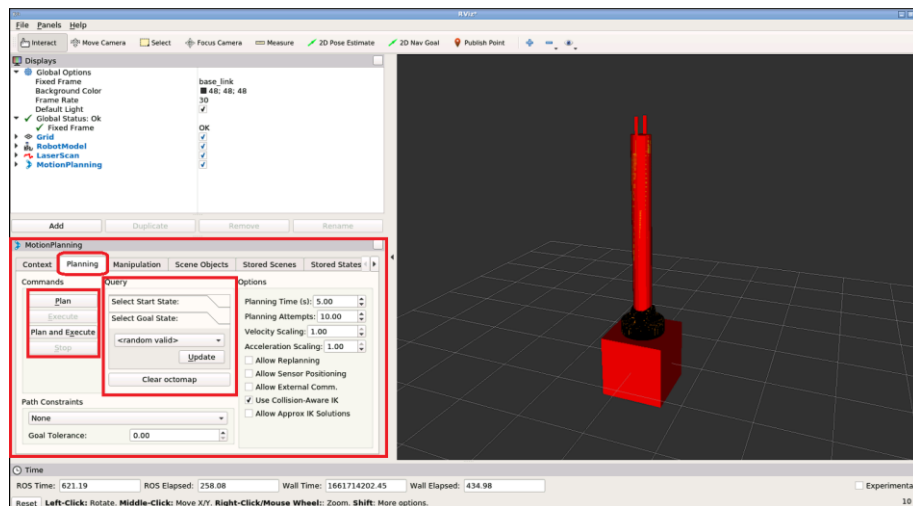
Δεύτερον για την εκτέλεση των ομαδοποιημένων συνδέσμων θα χρειαστεί η εντολή “roslaunch moveit_config move_group.launch”. Στο τέλος το αποτέλεσμα της εντολής θα σχολιαστεί το εξής:

You can start planning now!

Τέλος θα χρειαστεί η εντολή “roslaunch moveit_config moveit_rviz.launch” η οποία ανοίγει το παράθυρο του RViz. Σε αυτό το παράθυρο τώρα θα πρέπει να εισαχθεί μέσω του “Add” η λειτουργία “Motion Planning”.



Εικόνα 10.78: Επιλογή Motion Planning

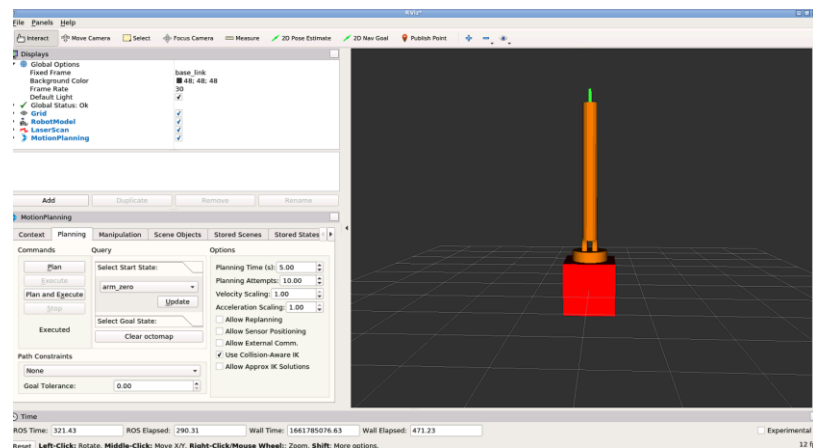


Εικόνα 10.79: Motion Planning

Μέσω του “Query” μπορεί να επιλεγεί η αρχική θέση (Select Start State) η οποία σε αυτή τη περίπτωση είναι η “arm_zero” και η τελική θέση (Select Goal State) η οποία μπορεί να είναι οποιαδήποτε από τις πόζες που ορίστηκαν κατά τη δημιουργία του πακέτου. Αφού οριστεί η επιθυμητή αρχική και τελική θέση, πατιέται το κουμπί “update” για την εφαρμογή της θέσης. Με το κουμπί “Plan” μέσω του “commands” υπολογίζεται η διαδρομή του ρομπότ. Τέλος με το κουμπί “Execute” εκτελείται η κίνηση στο RViz και τη προσομοίωση Gazebo.

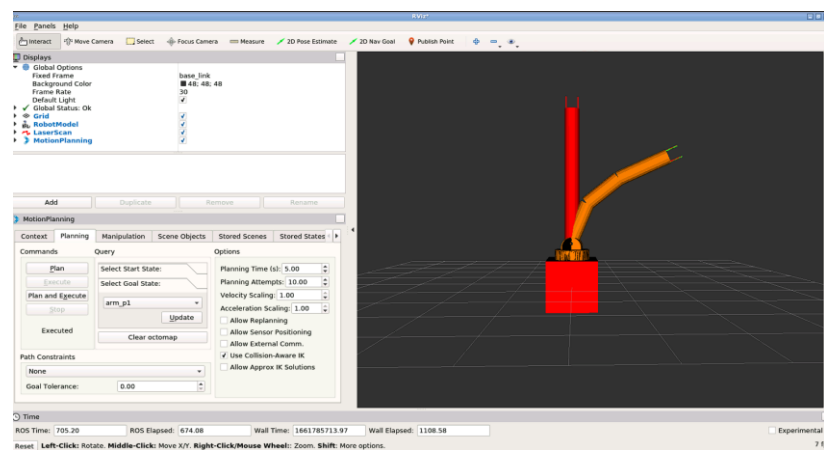
Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT Εκτέλεση τροχιάς από στάση “arm_zero” σε στάση “arm_p1”

Αρχικά επιλέγεται ως αρχική κατάσταση (Select Start State) η στάση “arm_zero” η οποία μόλις πατηθεί το κουμπί “update” θα φανεί με πορτοκαλί χρώμα πάνω στο ρομπότ.



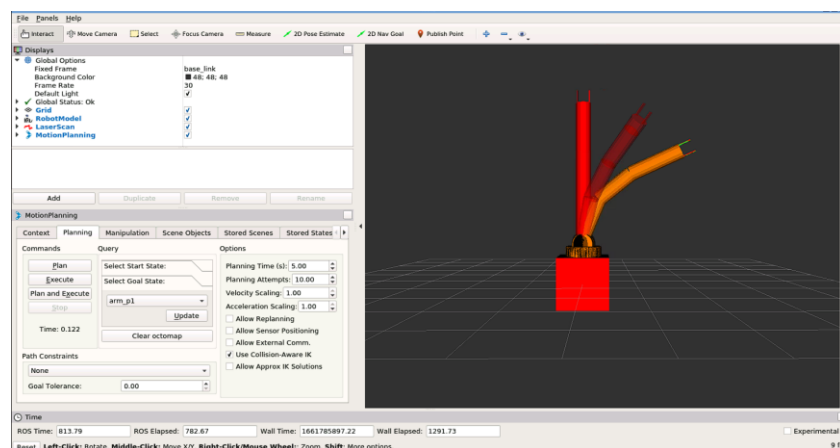
Εικόνα 10.80: Select “arm_zero” state

Στη συνέχεια επιλέγεται η τελική κατάσταση (Select Goal State) η στάση “arm_p1” η οποία όπως και πριν θα εμφανιστεί με πορτοκαλί χρώμα η νέα θέση του ρομπότ.



Εικόνα 10.81: Select “arm_p1” state

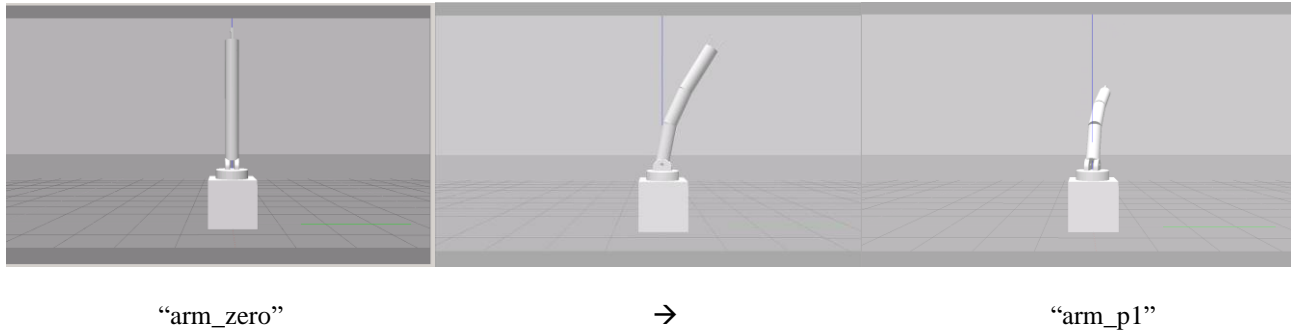
Τώρα πρέπει να πατηθεί το κουμπί “Plan” το οποίο θα υπολογίσει την πιο καλή τροχιά που μπορεί να κάνει το ρομπότ για να φτάσει στη θέση “arm_p1”. Αυτή θα φανεί με διάφανο κόκκινο χρώμα με τον τρόπο που οδηγείται στο σημείο A.



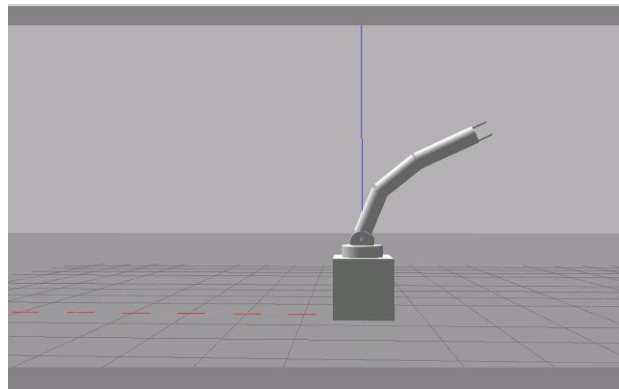
Εικόνα 10.82: Απεικόνιση τροχιάς του Plan

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Τέλος μένει να γίνει εκτέλεση μέσω του κουμπιού “Execute” ώστε να εφαρμοστεί στη προσομοίωση του Gazebo.

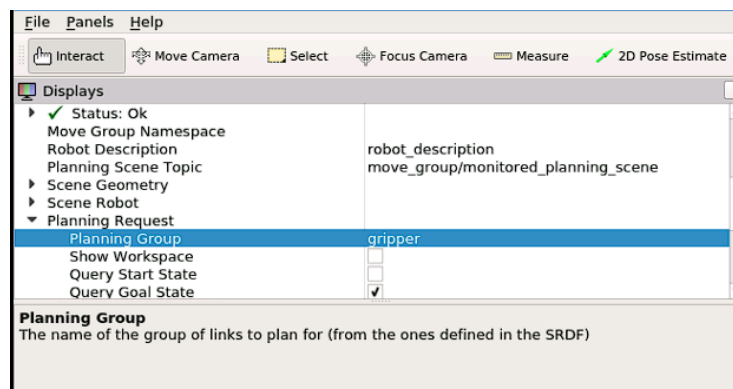


Εικόνα 10.83: Εκτέλεση Υπολογισμένης Τροχιάς



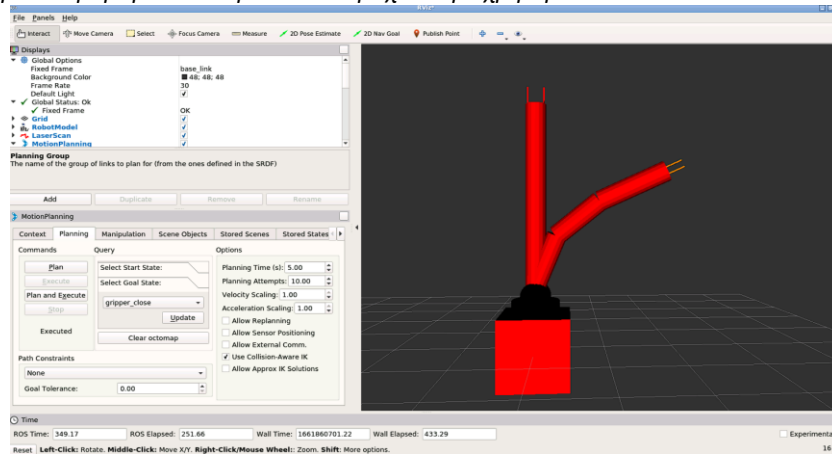
Εικόνα 10.84: Τελική Στάση από την όψη του Y άξονα

Μόλις ολοκληρωθεί η τροχιά μπορεί να γίνει η τροποποίηση της αρπάγης. Η αρχική στάση της αρπάγης είναι ανοικτή (gripper_open) οπότε μπορεί να τεθεί η τελική στάση ως κλειστή (gripper_close). Για να γίνει αυτό πρέπει να γίνει αλλαγή του “Planning Group” στην επιλογή “Planning Request” από “arm_body” στο group “gripper”.

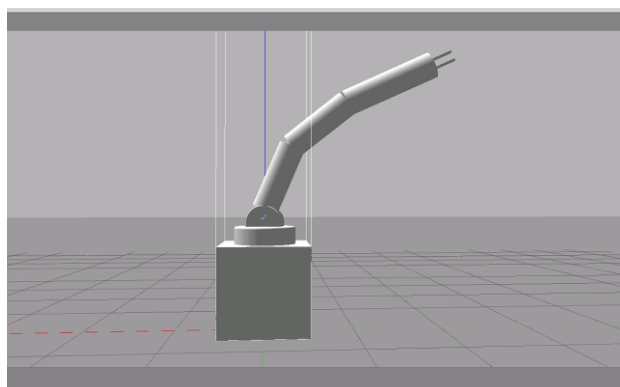


Εικόνα 10.85: Επιλογή του group Gripper

Τώρα μπορεί να γίνει η αλλαγή από την αρχική στάση στην κλειστή στάση της αρπάγης όπως έγινε και πριν για το group “arm_body”.



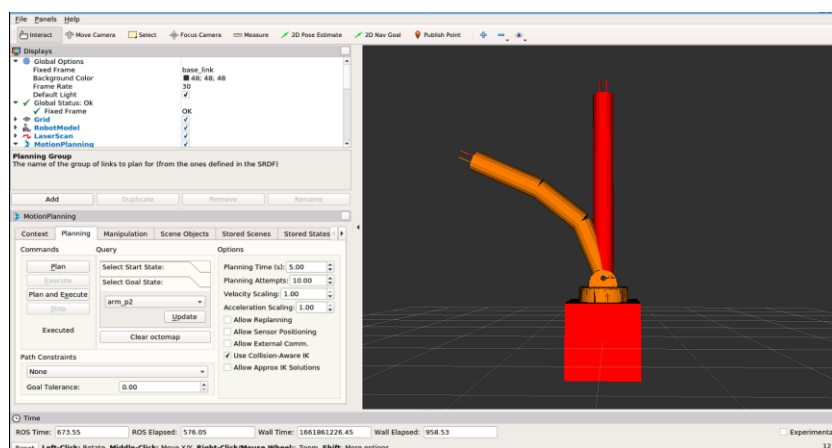
Εικόνα 10.86: Select gripper_close state



Εικόνα 10.87: Τελική Στάση από την όψη του Y άξονα

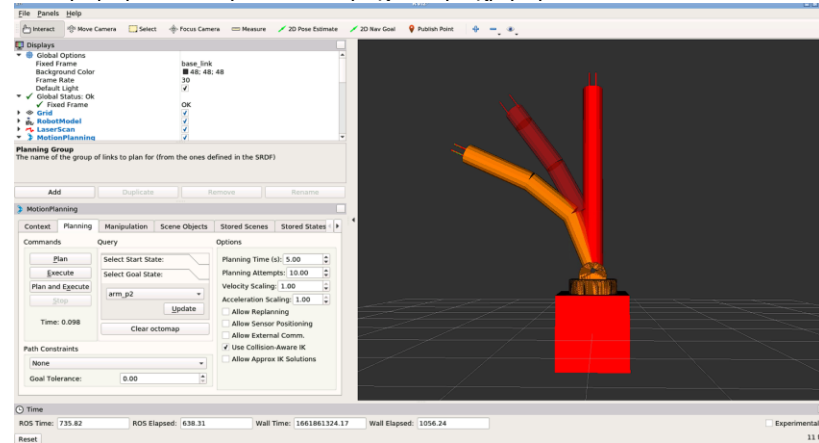
Εκτέλεση τροχιάς από στάση “arm_p1” σε στάση “arm_p2”

Σε αυτή τη περίπτωση η τρέχουσα κατάσταση του ρομπότ είναι στη στάση “arm_p1”, όπως φαίνεται στη προσομοίωση. Όμως αυτό δεν συμβαίνει το παράθυρο του rviz για άγνωστους λόγους. Όταν πατηθεί το κουμπί “Plan” θα γίνει ο υπολογισμός της τροχιάς από το σημείο A στο σημείο B αλλά μέσω της στάσης “arm_zero”.



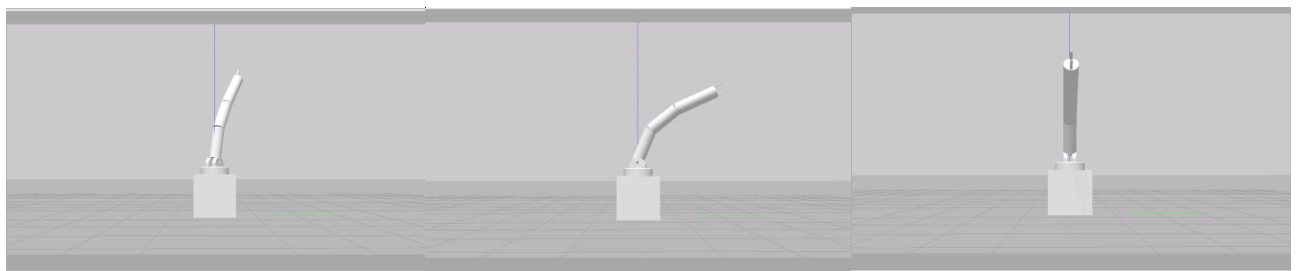
Εικόνα 10.88: Select arm_p2 state

Με το κουμπί “Plan” ξεκινάει η αναπαράσταση της τροχιάς όπως πριν. Αλλά όπως αναφέρθηκε στο RViz θα αναπαρασταθεί η τροχιά από τη στάση “arm_zero” στη στάση “arm_p2”, το οποίο θα οδηγήσει τη προσομοίωση να εκτελέσει τη τροχιά από το σημείο A στο σημείο B μέσω της στάσης “arm_zero”.



Εικόνα 10.89: Απεικόνιση τροχιάς του Plan

Πατώντας το “Execute” ξεκινάει η μεταφορά της αρπάγης στο σημείο B.

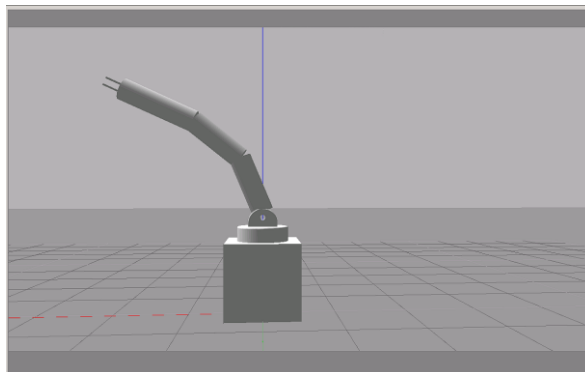


“arm_p1”



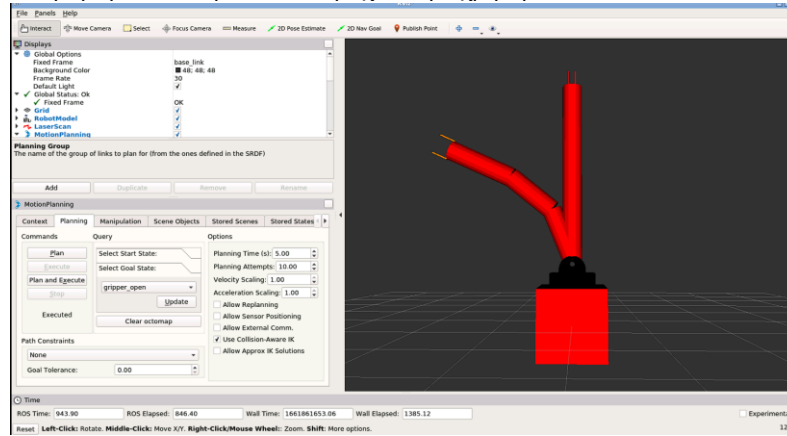
“arm_p2”

Εικόνα 10.90: Εκτέλεση Υπολογισμένης Τροχιάς

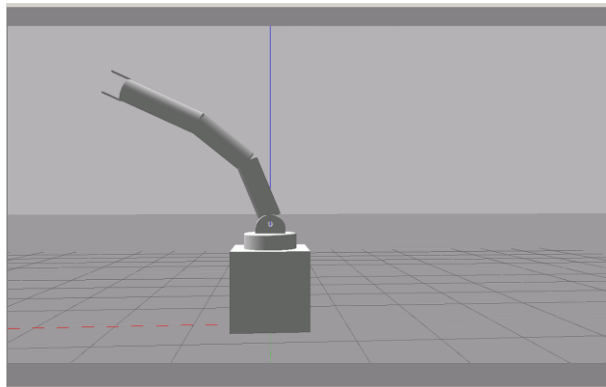


Εικόνα 10.91: Τελική Στάση από την όψη του Y άξονα

Τέλος θα γίνει άλλη μια τροποποίηση της αρπάγης ώστε να επανέλθει αρπάγη στην αρχική τη θέση δηλαδή τη στάση “grripper_open”. [45], [46], [47].



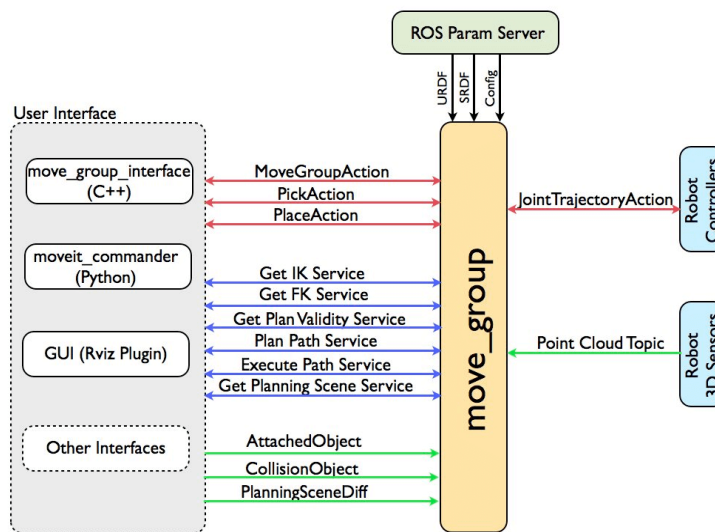
Εικόνα 10.92: Select gripper_open state



Εικόνα 10.93: Τελική Στάση από την όψη του Y άξονα

10.9 Επεξήγηση Αρχείου “execute_trajectory.py”

Με το αρχείο “execute_trajectory.py” γίνεται δυνατός ο χειρισμός των θέσεων του ρομπότ μέσω του πακέτου του “moveit_commander” με Python. Έτσι μπορεί να γίνει εισαγωγή νέων τιμών στις αρθρώσεις του ρομπότ ή να οριστεί νέα θέση.



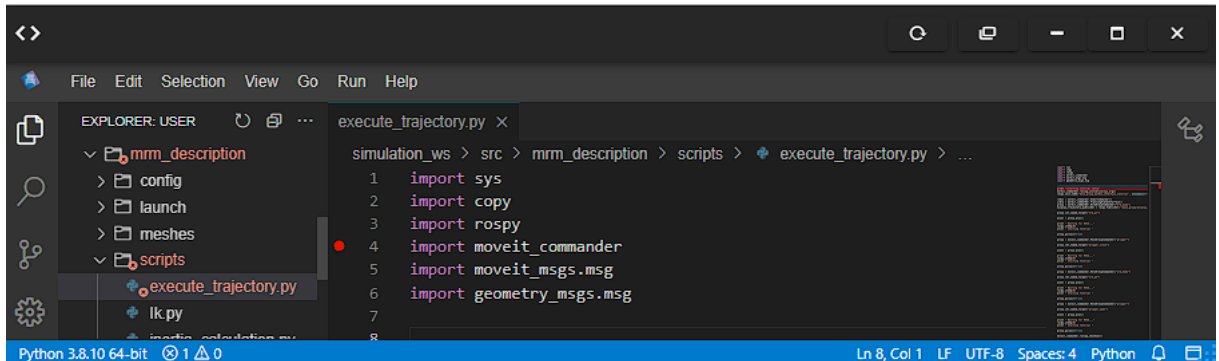
Εικόνα 10.94: “move_group” node

Όπως φαίνεται στο παραπάνω “node” διάγραμμα υπάρχει η επικοινωνία της επιφάνειας του “moveit_commander” με το “node” του “move_group”. Το “move_group” είναι υπεύθυνο, όπως και στην

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

προηγούμενη περίπτωση που ο χειρισμός του ρομπότ γινόταν μέσω του Rviz, για την ανάλυση του urdf αρχείου, την ανάλυση του srdf αρχείου, το οποίο είναι το αρχείο που δημιουργείται από το πακέτο του Moveit Setup Assistant, και την ανάλυση της διαμόρφωσης του ρομπότ όσο αφορά τα όρια των αρθρώσεων, την κινηματική του κ.α.

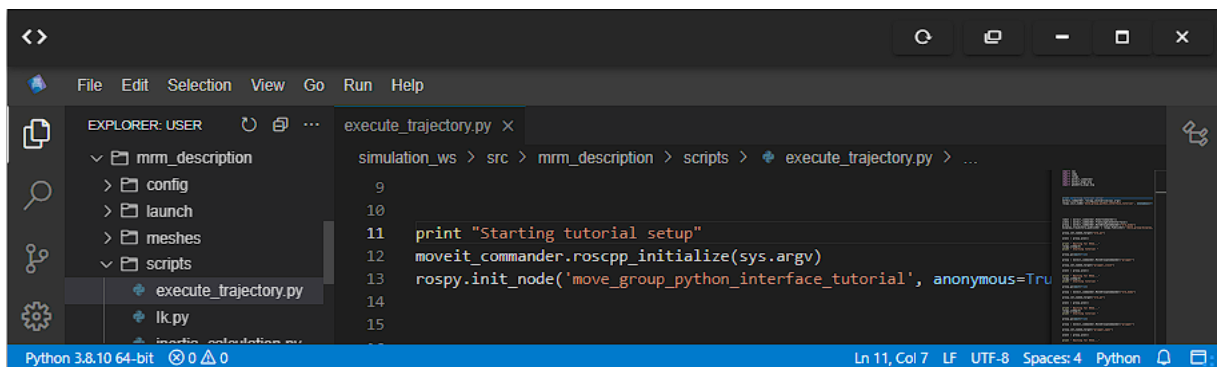
Για τις ανάγκες του αρχείου θα πρέπει να εισαχθούν (import) τα παρακάτω στοιχεία και μηνύματα:



```
1 import sys
2 import copy
3 import rospy
4 import moveit_commander
5 import moveit_msgs.msg
6 import geometry_msgs.msg
```

Εικόνα 10.95:"execute_trajectory.py"-“import”

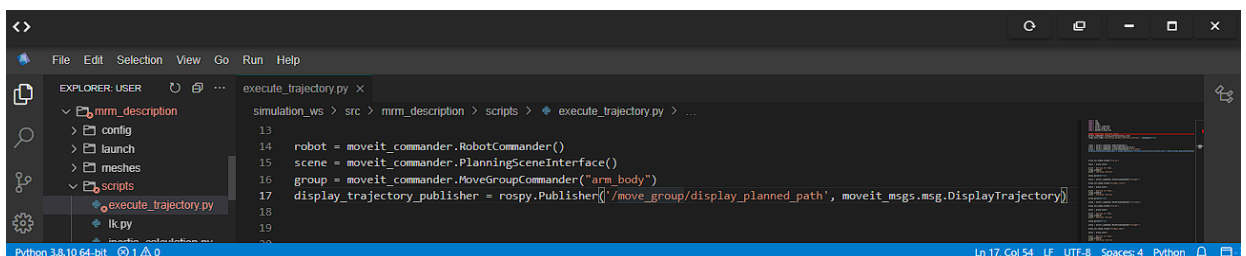
Έπειτα χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εντολές για την αρχικοποίηση των “moveit_commander” και “rospy”.



```
9
10
11 print "Starting tutorial setup"
12 moveit_commander.roscpp_initialize(sys.argv)
13 rospy.init_node('move_group_python_interface_tutorial', anonymous=True)
```

Εικόνα 10.96:"execute_trajectory.py"-“initialize”

Από τις παρακάτω εντολές πιο σημαντικό ρόλο έχει το αντικείμενο group στο οποίο δηλώνεται η διεπαφή της ομάδας των αρθρώσεων που είναι επιθυμητό να γίνει κάποια κίνηση και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό(plan) και την εκτέλεση(execute) κινήσεων. Στη περίπτωση αυτή δηλώνεται η μετακίνηση της ομάδας αρθρώσεων arm_body. Μπορεί επίσης να εισαχθεί η ομάδα αρθρώσεων gripper για την μετακίνηση της αρπάγης.

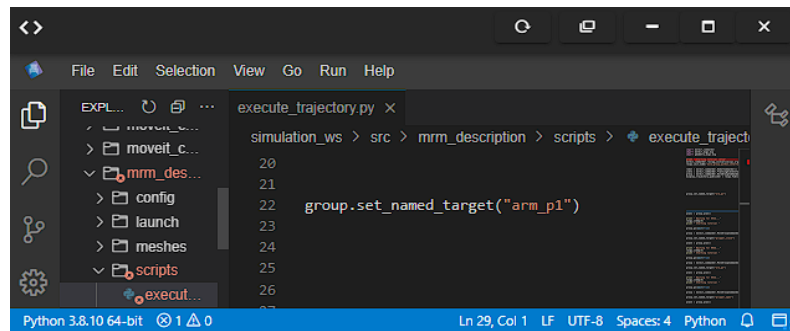


```
13
14 robot = moveit_commander.RobotCommander()
15 scene = moveit_commander.PlanningSceneInterface()
16 group = moveit_commander.MoveGroupCommander("arm_body")
17 display_trajectory_publisher = rospy.Publisher('/move_group/display_planned_path', moveit_msgs.msg.DisplayTrajectory)
```

Εικόνα 10.97:"execute_trajectory.py"-“moveit_commander”

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

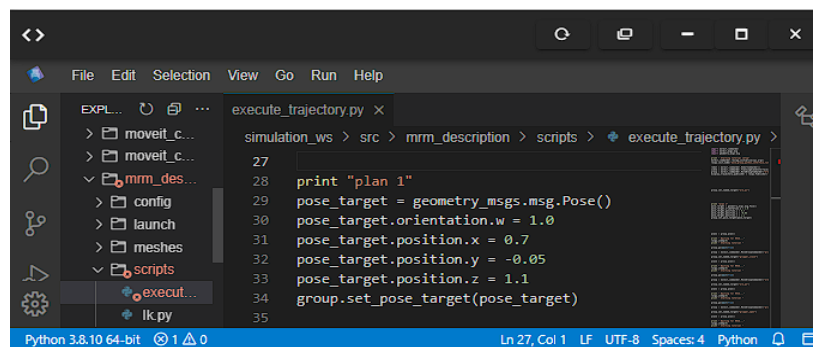
Στη συνέχεια δίνεται η εντολή για τη ρύθμιση της πόζας του ρομπότ. Εδώ είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι εφόσον πρόκειται για μια κίνηση που έχει υπολογιστεί μέσω του MoveIt χρησιμοποιείται η παρακάτω εντολή με το όνομα της αντίστοιχης πόζας.



```
simulation_ws > src > mrm_description > scripts > execute_trajec
20
21
22 group.set_named_target("arm_p1")
23
24
25
26
```

Εικόνα 10.98:"execute_trajectory.py"-“group”

Σε περίπτωση νέας θέσης θα χρειαστεί να γίνει μια διαδικασία όπως το παράδειγμα.

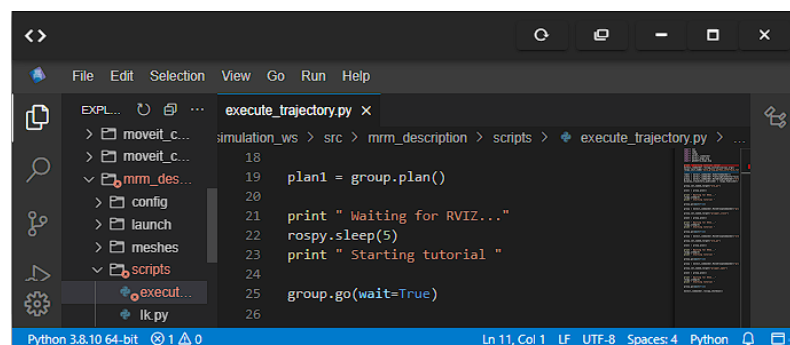


```
simulation_ws > src > mrm_description > scripts > execute_trajectory.py >
27
28 print "plan 1"
29 pose_target = geometry_msgs.msg.Pose()
30 pose_target.orientation.w = 1.0
31 pose_target.position.x = 0.7
32 pose_target.position.y = -0.05
33 pose_target.position.z = 1.1
34 group.set_pose_target(pose_target)
35
```

Εικόνα 10.99:"execute_trajectory.py"-“custom_pose”

Σημείωση: Είναι σημαντικό να προστεθεί ότι οι τιμές αντιστοιχούν στις τελικές θέσεις και τον προσανατολισμό του άκρου του ρομπότ σε σχέση με το κέντρο του συστήματος συντεταγμένων της προσομοίωσης. Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται η κίνηση του ρομπότ σε αυτή τη θέση είναι μέσω της χρήσης της Αντίστροφης Κινηματικής (Inversed Kinematics). Ενώ αντίθετα στην περίπτωση της πόζας που δημιουργήθηκε μέσω MoveIt δηλώνοντας τις θέσεις τις κάθε άρθρωσης πρόκειται για χρήση της Ευθείας Κινηματικής (Forward Kinematics).

Αφού έχει τεθεί η επιθυμητή κίνηση του ρομπότ γίνεται κλήση του planner με την εντολή της γραμμής 19, ώστε να υπολογίσει την κίνηση του ρομπότ και να την απεικονίσει στο Rviz αν είναι επιθυμητό. Για πρακτικούς λόγους χρειάζεται χρόνος ώστε να γίνουν οι κατάλληλοι υπολογισμοί ειδικά αν το ρομπότ διαθέτει περισσότερους βαθμούς ελευθερίας. Οπότε γίνεται μια σκόπιμη καθυστέρηση στις γραμμή 22 για την σωστή λειτουργία του προγράμματος. Τέλος το μόνο που μένει είναι να γίνει εκτέλεση της κίνησης αυτής στη προσομοίωση. Αυτό επιτυγχάνεται με την εντολή της γραμμής 25.

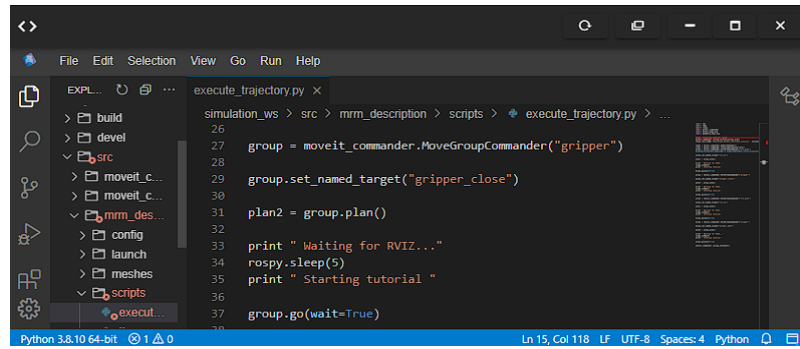


```
simulation_ws > src > mrm_description > scripts > execute_trajectory.py > ...
18
19 plan1 = group.plan()
20
21 print " Waiting for RVIZ..."
22 rospy.sleep(5)
23 print " Starting tutorial "
24
25 group.go(wait=True)
26
```

Εικόνα 10.100:"execute_trajectory.py"-“plan1”

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

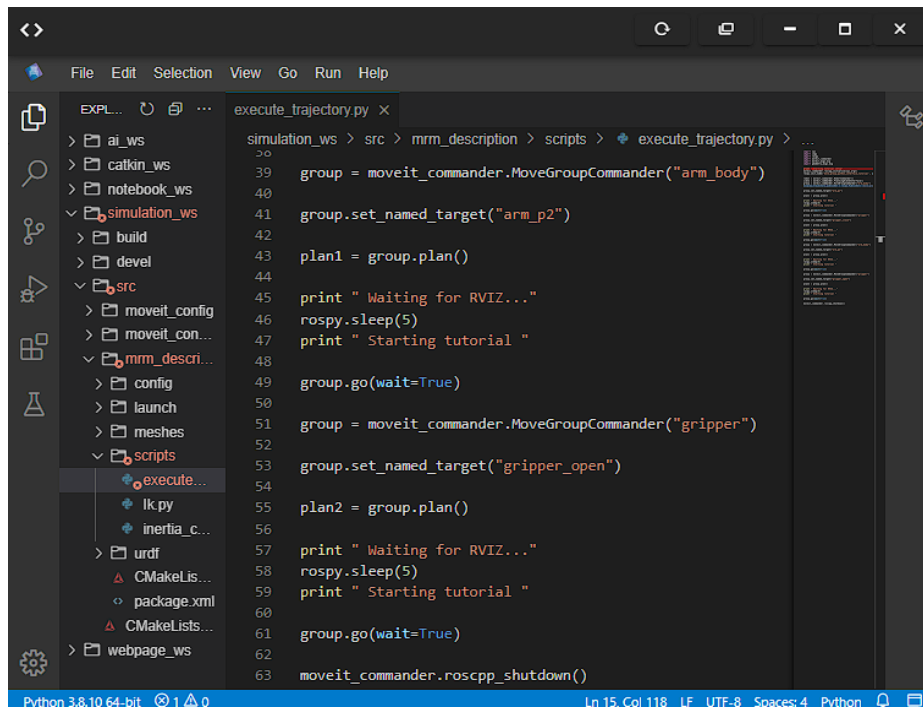
Όπως είναι κατανοητό ο κώδικας μπορεί συνεχιστεί ώστε το ρομπότ να κλείσει την αρπάγη. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να αλλάξει το “group” της ομάδας αρθρώσεων ώστε να γίνεται χειρισμός του “gripper”. Επίσης γίνεται αλλαγή της θέσης του σε “gripper_closed”.



```
simulation_ws > src > mrm_description > scripts > execute_trajectory.py > ...
26
27 group = moveit_commander.MoveGroupCommander("gripper")
28
29 group.set_named_target("gripper_close")
30
31 plan2 = group.plan()
32
33 print "Waiting for RVIZ..."
34 rospy.sleep(5)
35 print "Starting tutorial "
36
37 group.go(wait=True)
```

Εικόνα 10.101: "execute_trajectory.py"-“plan2”

Για να οδηγηθεί ο βραχίονας στη τελική θέση πρέπει να δηλωθεί ξανά το group του arm_body και να τεθεί στη θέση “arm_p2”. Ως τελική κίνηση μένει το άνοιγμα των δακτύλων της αρπάγης. Οπότε όπως και πριν γίνεται αλλαγή του “group” σε “gripper” και τίθενται η θέση “gripper_open”. Στη τελευταία γραμμή του κώδικα δίνεται εντολή στον “moveit_commander” να σταματήσει άλλες κινήσεις.[45],[46],[47].



```
simulation_ws > src > mrm_description > scripts > execute_trajectory.py > ...
39
40 group = moveit_commander.MoveGroupCommander("arm_body")
41
42 group.set_named_target("arm_p2")
43
44 plan1 = group.plan()
45
46 print "Waiting for RVIZ..."
47 rospy.sleep(5)
48 print "Starting tutorial "
49
50 group.go(wait=True)
51
52 group = moveit_commander.MoveGroupCommander("gripper")
53
54 group.set_named_target("gripper_open")
55
56 plan2 = group.plan()
57
58 print "Waiting for RVIZ..."
59 rospy.sleep(5)
60 print "Starting tutorial "
61
62 group.go(wait=True)
63
64 moveit_commander.roscpp_shutdown()
```

Εικόνα 10.102: "execute_trajectory.py"-“arp-p2”-“gripper_open”

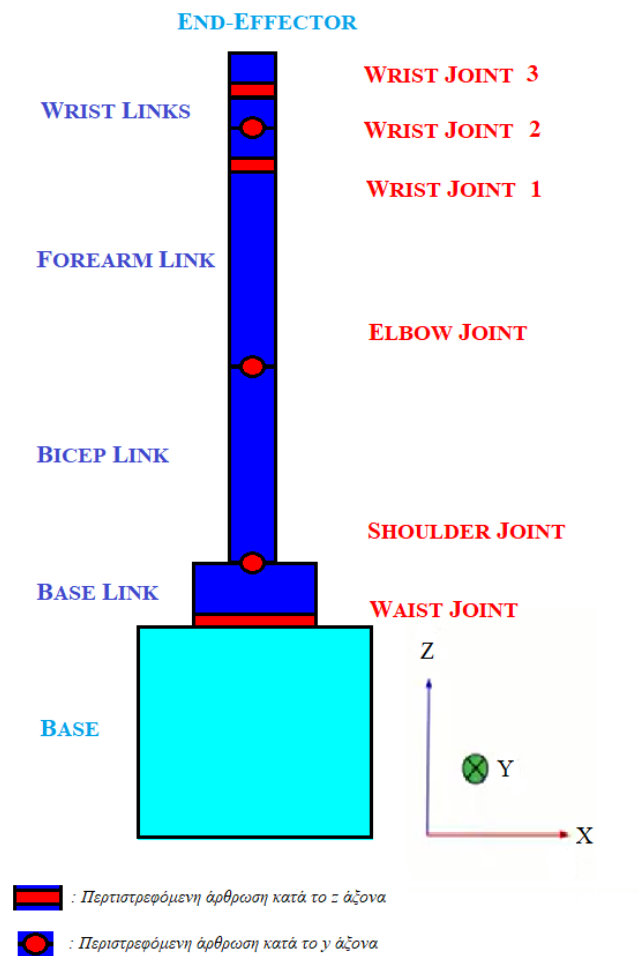
11 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο : Αρθρωτός Ρομποτικός Βραχίονας με 6 DoF

11.1 Σύναψη Κεφαλαίου

Το 11^ο κεφάλαιο εστιάζει στη σχεδίαση αρθρωτού ρομποτικού βραχίονα με έξι βαθμούς ελευθερίας. Αναλύεται η κινηματική του ρομπότ και χρησιμοποιούνται τα εργαλεία Rviz και MoveIt για τον έλεγχο του ρομπότ.

11.2 Σχεδίαση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα

Για τη προσομοίωση ενός ρομπότ που αντιπροσωπεύει καλύτερα τα βιομηχανικά ρομπότ θα προστεθούν οι κατάλληλοι DoF ώστε να δημιουργηθεί ένα βιομηχανικό ρομπότ με 6 DoF. Επίσης θα γίνουν κάποιες αλλαγές στα όρια των αρθρώσεων του και σημεία αρχικοποίησης των συνδέσμων.



Εικόνα 11.1:Σχεδίαση Ρομποτικού Βραχίονα

Βήμα 1ο

Αρχικά θα χρειαστεί να τροποποιηθεί το αρχείο “mim.xacro” του ρομπότ ώστε να γίνουν οι προαναφερόμενες αλλαγές.

Σύστημα του Σώματος

Η πρώτη άρθρωση του σώματος του ρομπότ είναι υπεύθυνη για την περιστροφή του ρομπότ (συμπεριλαμβανομένου του συστήματος σώματος, του καρπού και το άκρο) στον Z άξονα και ονομάζεται Μέση (Waist) του ρομπότ. Το εύρος κίνησης της είναι από -180° μέχρι $+180^\circ$ ($-\pi$ έως $+\pi$).

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Η δεύτερη άρθρωση του σώματος είναι υπεύθυνη για την περιστροφή του μπράτσου, του βραχίονα και του καρπού στον y άξονα και ονομάζεται Ώμος (Shoulder) του ρομπότ. Το εύρος κίνησης της είναι από -90° μέχρι $+90^\circ$ ($-1,57$ rad έως $+1,57$ rad).

Η τρίτη και τελευταία άρθρωση του σώματος είναι υπεύθυνη για την περιστροφή του βραχίονα και του καρπού στον y άξονα και ονομάζεται Αγκώνας (Elbow) του ρομπότ. Το εύρος κίνησης της είναι από -90° μέχρι $+90^\circ$ ($-1,57$ rad έως $+1,57$ rad).

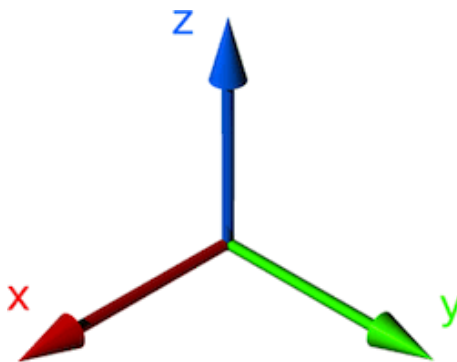
Σύστημα του Καρπού

Η πρώτη άρθρωση του καρπού είναι υπεύθυνη για την περιστροφή του άκρου στον z άξονα και αποτελεί τη πρώτη άρθρωση του Καρπού (Wrist J1). Το εύρος κίνησης της είναι από -180° μέχρι $+180^\circ$ ($-\pi$ έως $+\pi$).

Η δεύτερη άρθρωση του καρπού είναι υπεύθυνη για την περιστροφή του άκρου στον y άξονα και αποτελεί τη δεύτερη άρθρωση του Καρπού (Wrist J2). Το εύρος κίνησης της είναι από -90° μέχρι $+90^\circ$ ($-1,57$ rad έως $+1,57$ rad).

Η τελευταία άρθρωση του καρπού είναι υπεύθυνη για την περιστροφή του άκρου επίσης στον z άξονα και αποτελεί τη τρίτη άρθρωση του Καρπού (Wrist J3). Το εύρος κίνησης της είναι από -180° μέχρι $+180^\circ$ ($-\pi$ έως $+\pi$).

Με αυτόν τον τρόπο γίνεται εφικτή η Στρέψη (Roll) του άκρου από τη πρώτη άρθρωση, η Κάμψη (Pitch) και Παραεκτροπή (Yaw) από τη δεύτερη άρθρωση ανάλογα την περιστροφή που έχει γίνει από τη προηγούμενη άρθρωση. Αυτός ο τύπος καρπού αποτελεί ένα Σφαιρικό Καρπό.



Εικόνα 11.2: Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων

Αρπάγη

Η αρπάγη αποτελείται από δύο δάκτυλα τα οποία κάνουν γραμμικές κινήσεις για να πιάσουν ένα αντικείμενο είτε με εσωτερική ή εξωτερική κίνηση.

Στο αριστερό δάκτυλο η άρθρωση μεταφέρει το δάκτυλο στο x άξονα από και προς το κέντρο του άκρου. Το εύρος κίνησης είναι από $-0,1$ m που είναι η ανοικτή θέση του δακτύλου μέχρι 0 m που είναι η κλειστή θέση.

Στο δεξί δάκτυλο η άρθρωση μεταφέρει το δάκτυλο επίσης στο x άξονα από και προς το κέντρο του άκρου. Το εύρος της κίνησης είναι από 0 m που είναι η ανοικτή θέση του δακτύλου μέχρι $0,1$ m που είναι η κλειστή θέση.

Βήμα 2ο

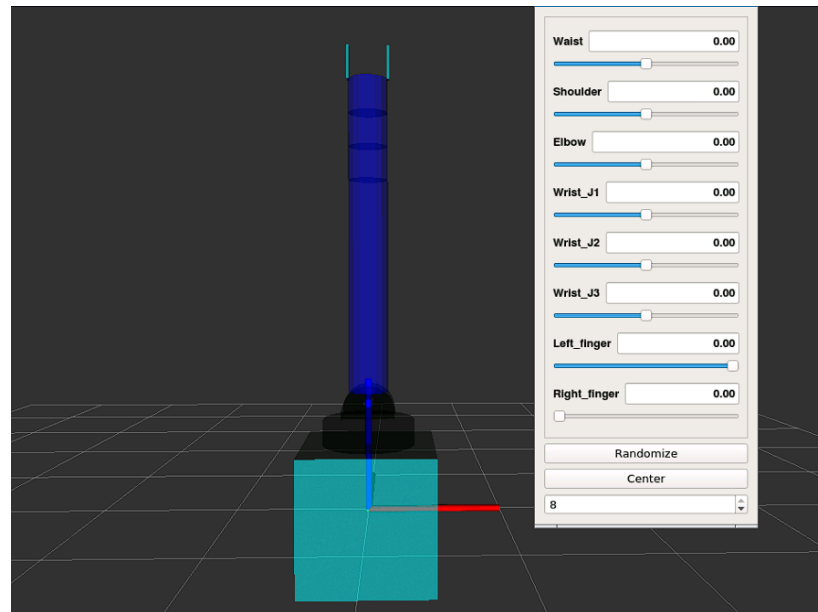
Δεύτερον τροποποιείται το αρχείο “robot_parameters.xacro” ώστε να αντιστοιχηθούν οι ονομασίες που εισάγονται στο αρχείο “mm.xacro” και να ακολουθείται η δομή του σχεδίου.

Βήμα 3ο

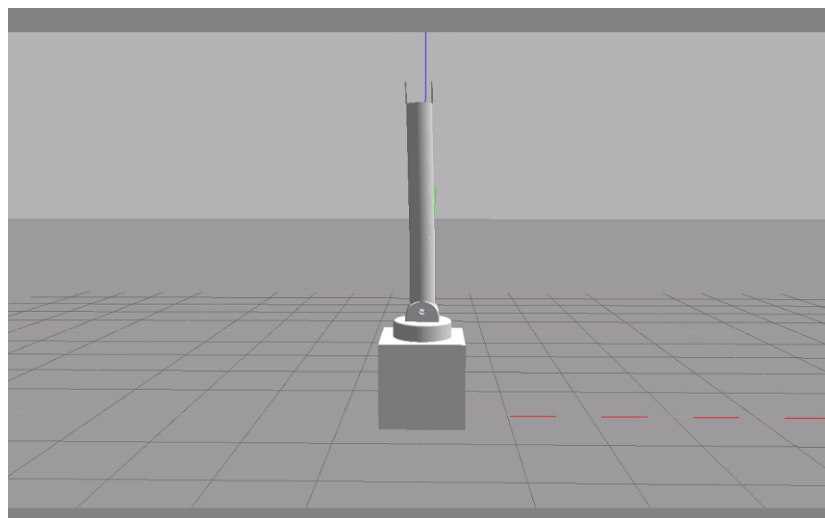
Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Τέλος θα προστεθούν στο αρχείο joints.yamll οι υπόλοιπες αρθρώσεις και θα ρυθμιστούν οι τιμές των ελεγκτών PID τους.

Παρακάτω φαίνεται η απεικόνιση του ρομπότ στο Rviz.



Εικόνα 11.3:Απεικόνιση του Ρομπότ και του joint_state_publisher στο Rviz



Εικόνα 11.4:Απεικόνιση του Ρομπότ στο Gazebo

11.3 Denavit-Hartenberg Convention (DH Parameters)

Για τη λύση της κινηματικής του ρομπότ θα χρησιμοποιηθούν οι παράμετροι Denavit-Hartenberg ή DH. Οι παράμετροι DH απλοποιούν τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στους πίνακες μεταφοράς A των frame του ρομπότ. Τα frames αντιστοιχούν στους άξονες της κάθε άρθρωσης του ρομπότ και οι πίνακες A δηλώνουν τη περιστροφή (rotation) και την μετατόπιση (displacement) του τωρινού (current) frame με το προηγούμενο frame. Οπότε στις παραμέτρους DH αντί για έξι (6) μεταβλητές (τρεις για πίνακα περιστροφής και τρεις για πίνακα θέσης) χρησιμοποιούνται τέσσερις (4) παράμετροι των συνδέσμων. Οι παράμετροι αυτές είναι:

a_i αντιστοιχεί στο μήκος του συνδέσμου i

α_i αντιστοιχεί στη συστροφή του συνδέσμου i

- Οι παραπάνω παράμετροι είναι σταθεροί καθώς εξαρτιούνται από τη κατασκευή του ρομπότ η οποία δεν αλλάζει, εκτός αν γίνει αλλαγή στις διαστάσεις του.

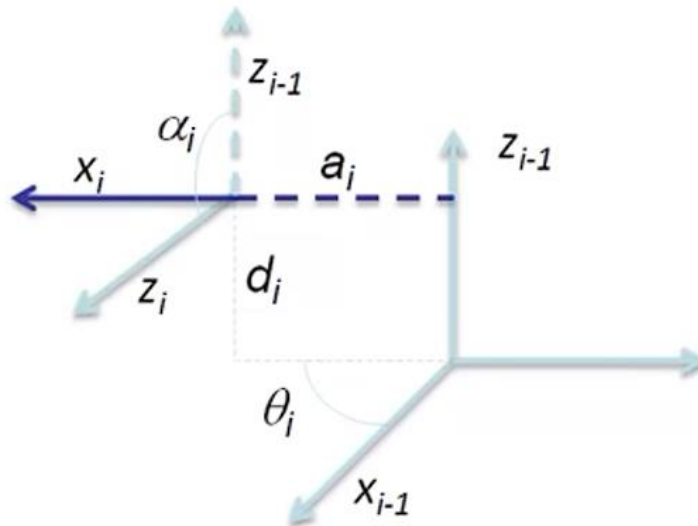
d_i αντιστοιχεί στη μετατόπιση του συνδέσμου i

θ_i αντιστοιχεί στη γωνία της άρθρωσης i

- Υπάρχει μια ειδική μεταβλητή ανάλογα την άρθρωση. Οπότε αν υπάρχει γραμμική άρθρωση (prismatic) τότε η ειδική μεταβλητή αντιστοιχεί με την d_i . Αλλιώς για περιστροφική άρθρωση (revolute) η ειδική μεταβλητή αντιστοιχεί με την θ_i .

11.3.1 Τρόπος Εύρεσης DH Παραμέτρων

- Το a_i ή r_i είναι η απόσταση από τον z_{i-1} μέχρι τον z_i μετρημένη κατά μήκος του άξονα x_i .
- Το α_i είναι η γωνία από τον z_{i-1} μέχρι τον z_i μετρημένη γύρω από τον άξονα x_i .
- Το d_i είναι η απόσταση από τον x_{i-1} μέχρι τον x_i μετρημένη κατά μήκος του άξονα z_{i-1} .
- Το θ_i είναι η γωνία από τον x_{i-1} μέχρι τον x_i μετρημένη γύρω από τον άξονα z_{i-1} .



Εικόνα 11.5:Εύρεση των Παραμέτρων

11.3.2 DH Matrix

Ο πίνακας T προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των πινάκων περιστροφής και μεταφοράς. Εξηγεί πως περιστρέφεται και μεταφέρεται το Frame n σε σχέση με το Frame 0 .

$$T = \begin{bmatrix} R & | & T \\ \hline \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

$$A_i = \text{Rot}_{z,\theta_i} \text{Trans}_{z,d_i} \text{Trans}_{x,a_i} \text{Rot}_{z,\alpha_i} \Rightarrow$$

$$A_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & 0 & | & 1 & 0 & 0 & 0 & | & 1 & 0 & 0 & r_i & | & 1 & 0 & 0 & 0 \\ s\theta_i & c\theta_i & 0 & 0 & | & 0 & 1 & 0 & 0 & | & 0 & 1 & 0 & 0 & | & 0 & c\alpha_i & -s\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & | & 0 & 0 & 1 & d_i & | & 0 & 0 & 1 & 0 & | & 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & | & 0 & 0 & 0 & 1 & | & 0 & 0 & 0 & 1 & | & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

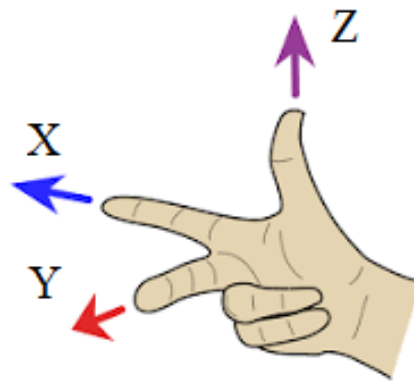
$$A_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i c\alpha_i & s\theta_i s\alpha_i & r_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i c\alpha_i & -c\theta_i s\alpha_i & r_i s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

*s = sin, c = cos

Επομένως αφού έχουν βρεθεί οι παράμετροι τότε, αντικαθιστούνται οι τιμές τους στο πίνακα και βρίσκονται οι πίνακες των frame. (A_1, A_2, A_3 κτλ.) Ο κάθε πίνακας εξηγεί πως έχει περιστραφεί και μετατοπιστεί το Frame i από το Frame $i - 1$.

11.3.3 Κανόνας Δεξιού Χεριού (Right Hand Rule)

Ο κανόνας του δεξιού χεριού χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των αξόνων xyz. Ο αντίχειρας με κατεύθυνση προς τα πάνω δείχνει τον z άξονα. Ο δείκτης είναι ευθεία και υποδεικνύει τον x άξονα. Τέλος το μεσαίο δάκτυλο δείχνει προς τα μέσα και αντιπροσωπεύει τον y άξονα.



Εικόνα 11.6: Απεικόνιση των Αξόνων ανάλογα το δάκτυλο

11.3.4 Κανόνες των παραμέτρων DH για την ανάθεση των Frame

Κανόνας 1^{ος}

Ο άξονας z_{i-1} θα τοποθετηθεί στον άξονα περιστροφής ή μεταφοράς της άρθρωσης i . Όταν αφορά την αρπάγη τότε ο άξονας z_n τοποθετείται στον άξονα της προσέγγισης της. Συνήθως προτιμάται να αντιγράφεται το προηγούμενο frame.

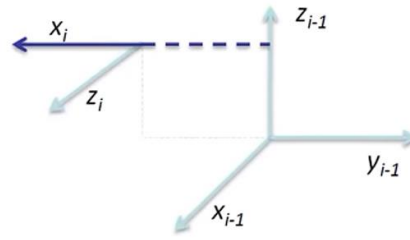
Κανόνας 2^{ος}

Ο άξονας x_i πρέπει να τοποθετηθεί κάθετα στον z_{i-1} (και z_i) και να τον διασταυρώνει. Όταν αφορά την αρπάγη ο άξονας x_n τοποθετείται βάση του κανόνα του δεξιού χεριού.

Περιπτώσεις:

1) Το z_{i-1} και το z_i δεν είναι στο ίδιο επίπεδο

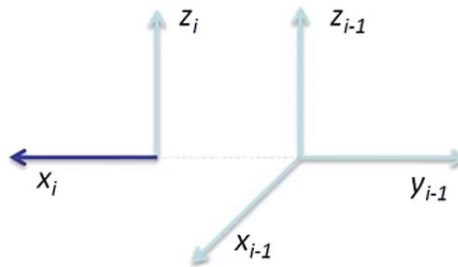
Σε αυτή τη περίπτωση υπάρχει μια μόνο θέση για τον άξονα x_i ενώ το κέντρο o_i του frame i θα βρίσκεται στην διασταύρωση του x_i και του z_i .



Εικόνα 11.7:Περίπτωση 1

2) Το z_{i-1} και το z_i είναι παράλληλα

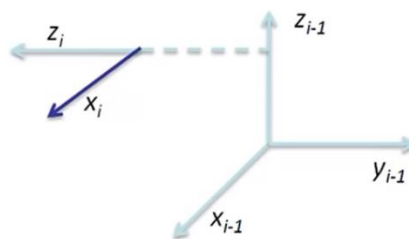
Σε αυτή τη περίπτωση ο άξονας x_i έχει άπειρες επιλογές θέσης αλλά προτιμάται να επιλέγεται η θέση που θα περνάει το κέντρο του o_{i-1} ώστε η παράμετρος $d_i = 0$. Το κέντρο o_i βρίσκεται στη διασταύρωση του x_i και z_i ώστε η παράμετρος $a_i = 0$ πάντα.



Εικόνα 11.8:Περίπτωση 2

3) Το z_{i-1} και το z_i διασταυρώνονται

Σε αυτή τη περίπτωση το κέντρο του o_i βρίσκεται ή στη διασταύρωση των z_{i-1} και z_i ή οπουδήποτε πάνω στον z_i . Έτσι η παράμετρος $a_i = 0$ πάντα.



Εικόνα 11.9:Περίπτωση 3

Κανόνας 3^{ος}

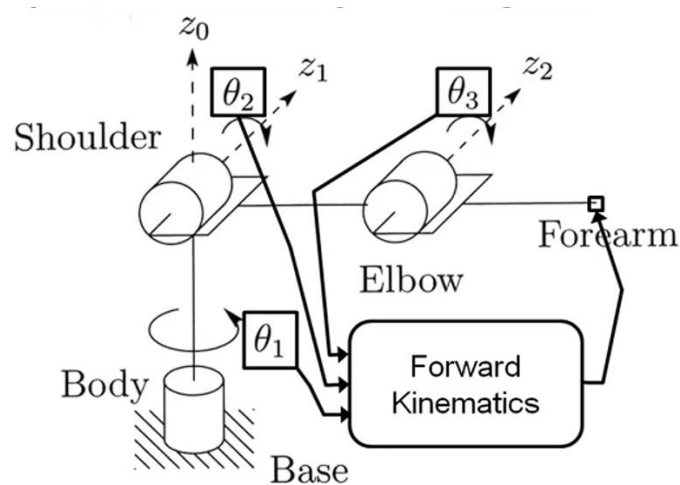
Ο άξονας y_i τοποθετείται σύμφωνα με τον κανόνα του δεξιού χεριού εφόσον έχουν τοποθετηθεί οι άξονες x και z . Όσο αφορά την αρπάγη ο άξονας y_n τοποθετείται στην κατεύθυνση κατά την οποία ολισθαίνουν τα δάκτυλα. Για λόγους απλότητας πολλές φορές ο y άξονας αγνοείται αφού δεν είναι τόσο σημαντικός για την εξαγωγή των παραμέτρων.[48],[49]

11.4 Κινηματική του Ρομπότ (Robot Kinematics)

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 10, μέσω του ROS υπάρχει η δυνατότητα να δηλωθούν οι τιμές των αρθρώσεων ώστε να γίνει επιτυχής μια τελική θέση του άκρου βάση αυτών, ή να δηλωθούν οι επιθυμητές συντεταγμένες του άκρου και ο προσανατολισμός του ώστε να προσαρμοστούν αντίστοιχα οι τιμές των αρθρώσεων. Αυτές οι δύο επιλογές ονομάστηκαν Ευθεία και Αντίστροφη Κινηματική αντίστοιχα.

Ευθεία Κινηματική (Forward Kinematics)

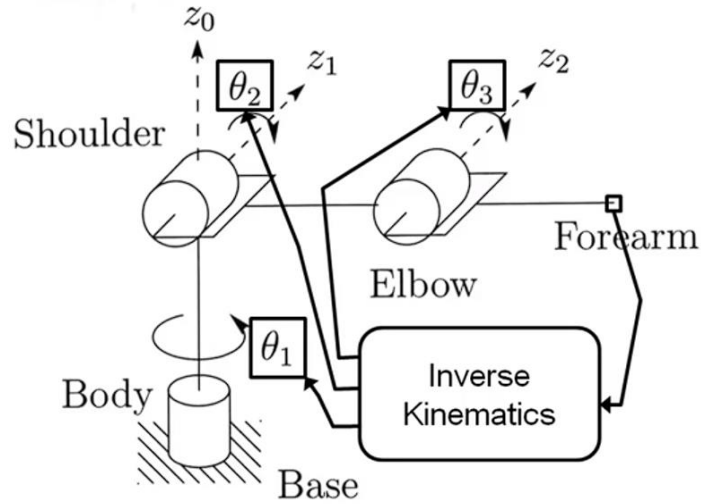
Η Ευθεία Κινηματική σε ένα ρομπότ υπολογίζεται με σκοπό να γίνουν γνωστά τα όρια ή οι κινήσεις που μπορεί να πραγματοποιήσει το ρομπότ ανάλογα με τις αρθρώσεις του και τους συνδέσμους του, ώστε ο χειριστής να ξέρει να οδηγήσει το άκρο του σε διάφορες θέσεις μέσα στο χώρο εργασίας του. Ουσιαστικά μέσα από τους υπολογισμούς της Ευθείας Κινηματικής προκύπτει η θέση και ο προσανατολισμός του άκρου, θέτοντας τις επιθυμητές τιμές της κάθε άρθρωσης. Άρα είναι γνωστά τα μήκη των συνδέσμων και οι γωνίες της κάθε άρθρωσης με σκοπό να βρεθεί η θέση του τελικού στοιχείου δράσης και όχι μόνο, δηλαδή οι συντεταγμένες x , y και z .



Εικόνα 11.10: Σύστημα Ευθείας Κινηματικής

Αντίστροφη Κινηματική (Inverse Kinematics)

Η Αντίστροφη Κινηματική σε ένα ρομπότ είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στις περισσότερες πραγματικές εφαρμογές και είναι η ακριβώς αντίθετη διαδικασία της Ευθείας Κινηματικής. Σε αυτή την περίπτωση ορίζονται η επιθυμητή θέση και ο επιθυμητός προσανατολισμός του άκρου του ρομπότ ώστε να υπολογιστούν οι αντίστοιχες τιμές των αρθρώσεων του. Αυτό όμως μπορεί να μην αντικατοπτρίζει μια συγκεκριμένη λύση καθώς ανάλογα τον κινηματικό σχεδιασμό του ρομπότ, δηλαδή το πλήθος των Βαθμών Ελευθερίας του και των τύπων των αρθρώσεων του, είναι πιθανό να υπάρχουν παραπάνω από μια λύσεις. Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό παρατηρώντας τις διαφορετικές θέσεις που μπορεί ένας άνθρωπος να ρυθμίσει το χέρι του για να φτάσει ένα συγκεκριμένο σημείο με το άκρο των δακτύλων του.

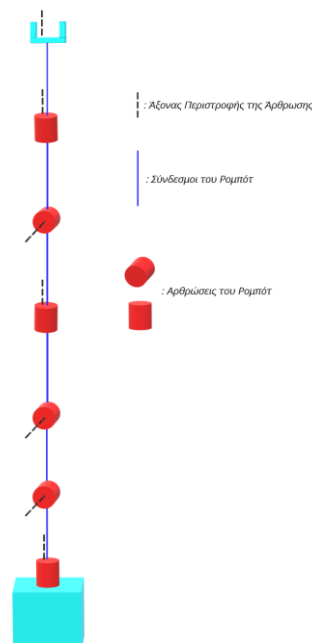


Εικόνα 11.11: Σύστημα Αντίστροφης Κινηματικής

11.5 Υπολογισμός της Ευθείας Κινηματικής του Ρομπότ (Forward Kinematics Solution)

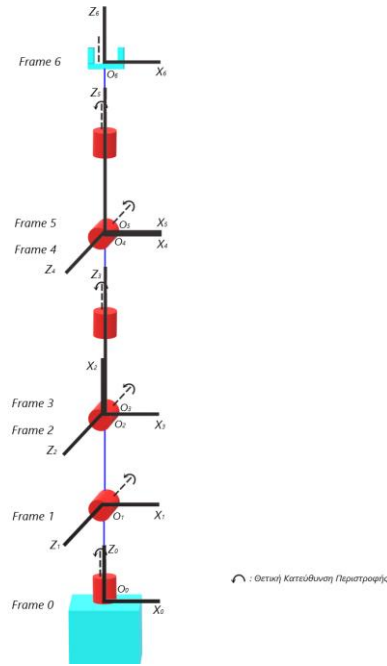
Αρχικά θα χρειαστεί να σχεδιαστεί το κινηματικό διάγραμμα του ρομπότ. Το κινηματικό διάγραμμα δείχνει πως συνδέονται οι σύνδεσμοι και οι αρθρώσεις μεταξύ τους όταν όλες τιμές (γωνίες) των αρθρώσεων είναι μηδέν.

Βήμα 1^ο



Εικόνα 11.12: Κινηματικό Διάγραμμα του ρομπότ

Παραπάνω φαίνεται το Κινηματικό Διάγραμμα του ρομπότ. Αναπαριστά ένα τυπικό βιομηχανικό ρομποτικό βραχίονα με 6 Περιστροφικές Αρθρώσεις. Επόμενο βήμα αποτελεί η σχεδίαση των frames στο διάγραμμα ώστε να εξαχθούν οι παράμετροι DH, για τον υπολογισμό του Πίνακα Μετασχηματισμού T.



Εικόνα 11.13: Frames των Αρθρώσεων

Βήμα 2^ο

Ακολουθώντας τους κανόνες των παραμέτρων DH αναθέτονται τα frames.

Σημείωση: Για λόγους απλοποίησης δεν συμπεριλαμβάνεται ο άξονας Y, καθώς μέχρι στιγμής δεν είναι χρήσιμος.

Frame 0

Ο άξονας Z_0 ακολουθεί τον άξονα περιστροφής της άρθρωσης

Ο άξονας X_0 ακολουθεί τον κανόνα του δεξιού χεριού.

Frame 1

Ο άξονας Z_1 ακολουθεί τον άξονα περιστροφής της άρθρωσης

Το Z_0 με το Z_1 Διασταυρώνονται.

Ο άξονας X_1 έχει μόνο μια επιλογή κάθετα στον Z_1 , Z_0 ακολουθώντας τον κανόνα του δεξιού χεριού και διασταυρωμένα με τον Z_0 .

Το κέντρο O_1 τοποθετείται στο σημείο διασταύρωσης των Z_0 και Z_1 .

Frame 2

Ο άξονας Z_2 ακολουθεί τον άξονα περιστροφής της άρθρωσης.

Το Z_1 με το Z_2 είναι Παράλληλα.

Ο άξονας X_2 επιλέγεται να διασχίζει το κέντρο O_1 ώστε η παράμετρος $d_2 = 0$. Επίσης είναι κάθετα στο Z_1 και Z_2 ακολουθώντας τον κανόνα του δεξιού χεριού και διασταυρωμένα με τον Z_1 .

Το κέντρο O_2 τοποθετείται στο σημείο διασταύρωσης των X_2 και Z_2 .

Ο άξονας Z_3 ακολουθεί τον άξονα περιστροφής της άρθρωσης.

Το Z_2 με το Z_3 Διασταυρώνονται.

Ο άξονας X_3 έχει μόνο μια επιλογή κάθετα στον Z_3 , Z_2 ακολουθώντας τον κανόνα του δεξιού χεριού και διασταυρωμένα με τον Z_2 .

Το κέντρο O_3 τοποθετείται στο σημείο διασταύρωσης των Z_2 και Z_3 , το οποίο είναι το ίδιο με το O_2 .

Frame 4

Ο άξονας Z_4 ακολουθεί τον άξονα περιστροφής της άρθρωσης.

Το Z_3 με το Z_4 Διασταυρώνονται.

Ο άξονας X_4 έχει μόνο μια επιλογή κάθετα στον Z_4 , Z_3 ακολουθώντας τον κανόνα του δεξιού χεριού και διασταυρωμένα με τον Z_3 .

Το κέντρο O_4 τοποθετείται στο σημείο διασταύρωσης των Z_3 και Z_4 .

Frame 5

Ο άξονας Z_5 ακολουθεί τον άξονα περιστροφής της άρθρωσης.

Το Z_4 με το Z_5 Διασταυρώνονται.

Ο άξονας X_5 έχει μόνο μια επιλογή κάθετα στον Z_5 , Z_4 ακολουθώντας τον κανόνα του δεξιού χεριού και διασταυρωμένα με τον Z_4 .

Το κέντρο O_5 τοποθετείται στο σημείο διασταύρωσης των Z_4 και Z_5 , το οποίο είναι ίδιο με το O_4 .

Frame 6

Ο άξονας Z_6 ακολουθεί τον άξονα προσέγγισης της αρπάγης.

Το Z_5 με το Z_6 είναι Παράλληλα.

Ο άξονας X_6 τοποθετείται κάθετα στα Z_5 , Z_6 ακολουθώντας το κανόνα του δεξιού χεριού και διασταυρωμένα με τον Z_5 . Δεν μπορεί να διασχίσει το κέντρο O_5 .

Το κέντρο O_6 τοποθετείται στην αρχή της αρπάγης.

Βήμα 3^ο

Αφού σχεδιάστηκαν τα Frames, τώρα μπορούν να υπολογιστούν οι DH παράμετροι.

Για την εύρεση των παραμέτρων:

a_1 : Υπολογίζεται η απόσταση από το Z_0 μέχρι το Z_1 κατά μήκος του X_1 . Οι άξονες Z διασταυρώνονται άρα $a_1 = 0$.

α_1 : Υπολογίζεται η γωνία από το Z_0 μέχρι το Z_1 γύρω από το X_1 . Ο άξονας Z_1 περιστρέφεται 90° σε σχέση με τον άξονα Z_0 .

d_1 : Υπολογίζεται η απόσταση από το X_0 μέχρι το X_1 κατά μήκος του Z_0 . Απόσταση αυτή είναι ίση με το μήκος του πρώτου συνδέσμου ($L1$).

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

θ_i : Υπολογίζεται η γωνία από X_0 μέχρι το X_1 γύρω από το Z_0 . Τα θ εξαρτώνται από την περιστροφή που θα γίνει από την κάθε άρθρωση. Δεν είναι σταθερά.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τα άλλα frames ώστε να προκύψει ο παρακάτω πίνακας.

Frame	a_i (m)	α_i (°)	d_i (m)	θ_i (°)
1	0	90	$L_1 = 0.4$	$\theta_1 + 0^\circ$
2	$L_2 = 0,8$	0	0	$\theta_2 + 90^\circ$
3	0	-90	0	$\theta_3 - 90^\circ$
4	0	90	$L_{34} = 1,05$	$\theta_4 + 0^\circ$
5	0	-90	0	$\theta_5 + 0^\circ$
6	0	0	$L_{56} = 0,5$	$\theta_6 + 0^\circ$

* $L_1 = 0.5m, L_2 = L_3 = 0.8m, L_4 = L_5 = L_6 = 0.25 * L_{34} = L_3 + L_4, L_{56} = L_5 + L_6$

Βήμα 4°

Εφόσον έχουν υπολογιστή και οι παράμετροι μπορεί τώρα να προκύψει ο πίνακας A του κάθε frame, αντικαθιστώντας τες στο παρακάτω πίνακα.

$$A_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & c a_i & r_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i & c a_i & r_i s\theta_i \\ 0 & s a_i & c a_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

*c = cos, s = sin

$$A_1 = \begin{bmatrix} c\theta_1 & 0 & s\theta_1 & 0 \\ s\theta_1 & 0 & -c\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & L_2 c\theta_2 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 & L_2 s\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} c\theta_3 & 0 & -s\theta_3 & 0 \\ s\theta_3 & 0 & c\theta_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} c\theta_4 & 0 & s\theta_4 & 0 \\ s\theta_4 & 0 & -c\theta_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_5 = \begin{bmatrix} c\theta_5 & 0 & -s\theta_5 & 0 \\ s\theta_5 & 0 & c\theta_5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_6 = \begin{bmatrix} c\theta_6 & -s\theta_6 & 0 & 0 \\ s\theta_6 & c\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Για τιμές των αρθρώσεων όλες τοποθετημένες σε τιμή $\theta = 0$ θα προκύψουν οι παρακάτω πίνακες:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0,8 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1,05 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Βήμα 5^ο

Τέλος ο Πίνακας Μετασχηματισμού προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό όλων των frame A.

$$T = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6$$

Για τον υπολογισμό της πράξης μπορεί είτε να γίνει με το χέρι ή μέσω ενός προγράμματος εκτέλεσης της πράξης ή με τη χρήση έτοιμων εργαλείων. Για τη παρακάτω λύση έγινε χρήση του online εργαλείου [51] όπου απλώς συμπεριλήφθηκαν οι DH παράμετροι.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2,75 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Οι τιμές του πίνακα T δείχνουν πως έχει περιστραφεί και μετατοπιστεί το Frame 6 σε σχέση με το Frame 0.

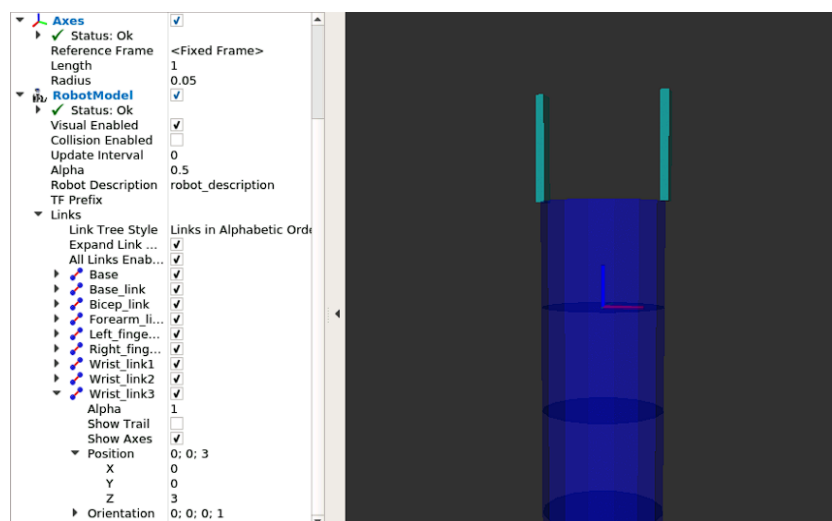
Περιστροφή

Οι τρεις πρώτες τιμές της πρώτης στήλης δείχνουν πόσο ο X_6 άξονας έχει περιστραφεί αντίστοιχα κατά τον άξονα X_0 , Y_0 , και Z_0 . Το ίδιο ισχύει και για τις τιμές της δεύτερης στήλης όπου δείχνουν πόσο ο άξονας Y_6 έχει περιστραφεί και τέλος στη τρίτη στήλη πόσο ο άξονας Z_6 έχει περιστραφεί σχετικά. Η τιμή μηδέν υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει περιστροφή ενώ η τιμή 1 δείχνει ο άξονας X_6 είναι στον ίδιο άξονα με τον X_0 . Παρομοίως και για τους άλλους άξονες, ο Y_6 είναι στον ίδιο άξονα με τον Y_0 και ο Z_6 είναι στον ίδιο άξονα με τον Z_0 .

Μετατόπιση

Η τελευταία στήλη δείχνει το κέντρο του άκρου του ρομπότ δηλαδή τη θέση του end – effector. Οι τιμές αντιστοιχούν σε 0 για τον X άξονα και τον Y ενώ υπάρχει μετατόπιση του Z άξονα κατά 2,75m.

Για την επαλήθευση της μεθόδου μπορεί να διαπιστωθεί ότι στο Rviz το κέντρο του άκρου του ρομπότ είναι σε αυτές τις συντεταγμένες.



Εικόνα 11.14: Απεικόνιση της θέσης του “Wrist_link3” στο Rviz

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Παραπάνω φαίνεται κέντρο του συνδέσμου Wrist_link3. Για να βρεθεί το κέντρο του άκρου του ρομπότ απλώς θα χρειαστεί στον άξονα Z του Wrist_link3 να προστεθεί το μήκος του συνδέσμου του Wrist_link3 (+ 0,25m). Άρα το κέντρο του end – effector βρίσκεται στις συντεταγμένες 0,0,3.25 (xyz).

Στον πίνακα T φαίνονται οι συντεταγμένες του άκρου ως 0,0,2.75 (x, y, z) καθώς δεν έχει προστεθεί η βάση του ρομπότ η οποία είναι 1m. Όμως το κέντρο της είναι στο κέντρο του συστήματος συντεταγμένων του Rviz, το οποίο σημαίνει ότι θα πρέπει να προστεθεί το μισό του μήκος, δηλαδή 0,5m. Άρα ως αποτέλεσμα οι συντεταγμένες βρίσκονται στα 0,0,3.25 (xyz).

Έτσι ανάλογα τις τιμές που θα εισαχθούν στις γωνίες θ των αρθρώσεων θα εμφανιστούν οι αντίστοιχες συντεταγμένες στον πίνακα T. Αυτός ο υπολογισμός έχει μόνο μια λύση σε κάθε περίπτωση εφόσον εισάγονται συγκεκριμένες τιμές σε κάθε άρθρωση.

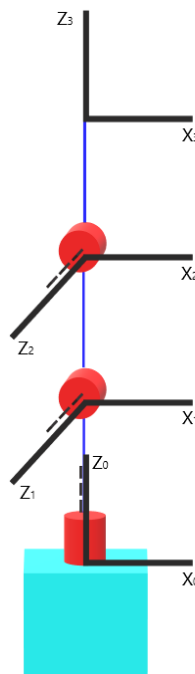
11.6 Υπολογισμός της Αντίστροφης Κινηματικής του Ρομπότ (Inverse Kinematics Solution)

Στη περίπτωση της Αντίστροφης Κινηματικής για το ρομπότ θα χρειαστεί να γίνουν οι εξής υποθέσεις:

- 1) Οι πρώτες τρεις αρθρώσεις του ρομπότ ευθύνονται για τη θέση (Position) του end – effector.
- 2) Οι υπόλοιπες τρεις αρθρώσεις του ρομπότ ευθύνονται για τον προσανατολισμό (Orientation) του end – effector.

Βήμα 1^ο

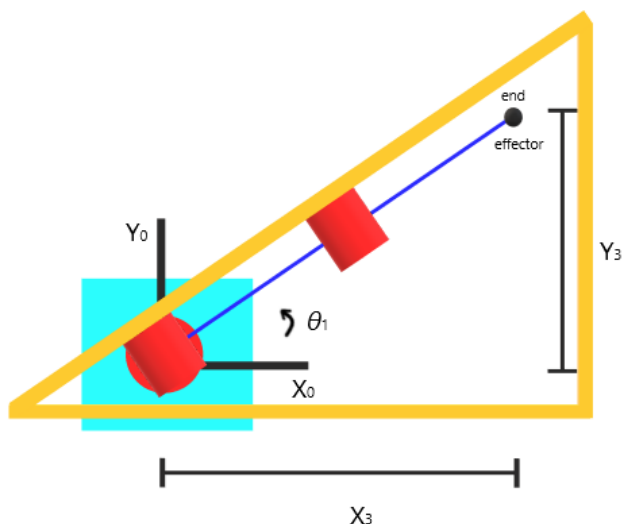
Σχεδιάζεται το Κινηματικό Διάγραμμα των τριών πρώτων αρθρώσεων του ρομπότ που ρυθμίζουν τη θέση του end – effector ώστε να υπολογιστούν οι τιμές των θ (I.K.)



Εικόνα 11.15:Κινηματικό Διάγραμμα του Σώματος του Ρομπότ

Για τον υπολογισμό της I.K. για τη θέση χρειάζεται να τροποποιηθεί το παραπάνω διάγραμμα με δύο τρόπους που θα βοηθήσουν στην εξαγωγή εξισώσεων.

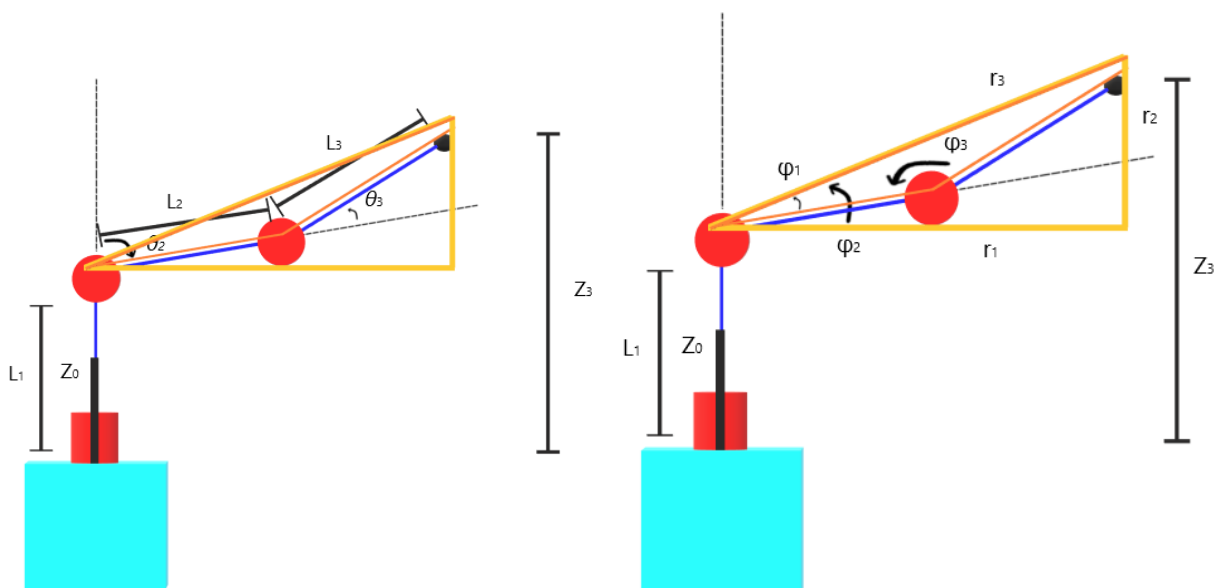
- Αρχικά σχεδιάζεται το Top View (Z άξονας)



Εικόνα 11.16: Top View

Σε αυτή τη τροποποίηση το ρομπότ προσεγγίζεται από πάνω οπότε ο άξονας Z θα είναι προς τα έξω από την εικόνα. Έτσι σχεδιάζονται οι υπόλοιποι άξονες όπως είναι. Σε αυτή την απεικόνιση οι αρθρώσεις ρυθμίζονται ώστε να μην είναι μηδέν. Εδώ μπορεί να βρεθεί η εξίσωση του θ_1 καθώς η περιστροφή του μπορεί να χαρακτηριστεί από την εξίσωση του τριγώνου: $\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{Y_3^0}{X_3^0} \right)$ (1)

- Επίσης σχεδιάζεται το Side View (Y άξονας).



Εικόνα 11.17: Side View

Σε αυτή τη τροποποίηση το ρομπότ προσεγγίζεται από πάνω τα πλάγια στον άξονα Y, ο οποίος θα είναι προς τα έξω από την εικόνα. Έτσι σχεδιάζονται οι υπόλοιποι άξονες όπως είναι. Οι αρθρώσεις ρυθμίζονται ώστε να μην είναι μηδέν. Εδώ μπορεί να βρεθεί η εξίσωση του θ_2 και θ_3 καθώς η περιστροφές τους μπορούν να χαρακτηριστούν από τα βοηθητικά τρίγωνα.

Μέσω των βοηθητικών τριγώνων βρίσκονται οι γωνίες ϕ_1 και ϕ_3 του μη ορθού τριγώνου και η γωνία ϕ_2 του ορθού τριγώνου. Επίσης χρειάζονται και τα μήκη του ορθού τριγώνου r_1 , r_2 και r_3 . Έτσι μπορούν να εξαχθούν οι εξής εξισώσεις με τη σειρά που χρειάζεται για την εύρεση των τελικών:

Όπως φαίνεται το r_2 είναι η απόσταση από το άκρο μέχρι το Frame 1 (πρώτη άρθρωση):

$$r_2 = Z_3^0 - L_1 \quad (2)$$

Το r_1 υπολογίζεται από το Πυθαγόρειο Θεώρημα του τριγώνου στο Top View, καθώς αντιστοιχεί στην υποτείνουσα του τριγώνου. Είναι η απόσταση από το Frame 0 μέχρι τον end-effector. Άρα:

$$r_1 = \sqrt{(X_3^0)^2 + (Y_3^0)^2} \quad (3)$$

$$\varphi_2 = \tan^{-1}\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (4)$$

$$r_3 = \sqrt{r_1^2 + r_2^2} \quad (5)$$

Εδώ χρησιμοποιείται ο Νόμος των Συνημίτωνων (Law of Cosines) του μη ορθού τριγώνου:

$$\varphi_1 = \cos^{-1}\left(\frac{L_3^2 - L_2^2 - r_3^2}{-2 \cdot L_2 \cdot r_3}\right) \quad (6)$$

Το offset του θ_2 είναι σύμφωνα με τις διακεκομμένες οπότε πρέπει να αφαιρεθεί η γωνία που περισσεύει:

$$\theta_2 = 90^\circ - (\varphi_2 - \varphi_1) \quad (7)$$

$$\varphi_3 = \cos^{-1}\left(\frac{r_3^2 - L_2^2 - L_3^2}{-2 \cdot L_2 \cdot L_3}\right) \quad (8)$$

Το offset του θ_3 ακολουθεί τις διακεκομμένες οπότε αφαιρείται και εδώ η γωνία που περισσεύει:

$$\theta_3 = 180^\circ - \varphi_3 \quad (9)$$

Για επιθυμητές τιμές X_3^0 , Y_3^0 και Z_3^0 μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές των αρθρώσεων του σώματος του ρομπότ..

Βήμα 2^ο

Από το κινηματικό διάγραμμα υπολογίζεται ο πίνακας περιστροφής R_3^0 με τη βοήθεια της F.K. Αυτό το βήμα έχει ήδη γίνει όταν υπολογίστηκε η F.K. του ρομπότ.

Frame	a_i (m)	α_i (°)	d_i (m)	θ_i (°)
1	0	90	$L_1 = 0.4$	$\theta_1 + 0^\circ$
2	$L_2 = 0,8$	0	0	$\theta_2 + 90^\circ$
3	0	-90	0	$\theta_3 - 90^\circ$

Με βάση του παρακάτω πίνακα υπολογίζονται τώρα μόνο οι πίνακες περιστροφής (Rotation Matrices).

$$A_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & c\theta_i & s\theta_i & r_i & c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i & c\theta_i & s\theta_i & r_i & s\theta_i \\ 0 & & s\theta_i & c\theta_i & & d_i \\ 0 & & 0 & 0 & & 1 \end{bmatrix}$$

*c = cos, s = sin

$$R_1^0 = \begin{bmatrix} c\theta_1 & 0 & s\theta_1 \\ s\theta_1 & 0 & -c\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_2^1 = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_3^2 = \begin{bmatrix} c\theta_3 & 0 & s\theta_3 \\ s\theta_3 & 0 & -c\theta_3 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3^0 = R_1^0 \cdot R_2^1 \cdot R_3^2$$

$$R_3^0 = \begin{bmatrix} c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3 & -s\theta_1 & -c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3 \\ s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3 & c\theta_1 & -s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3 \\ s\theta_2 \cdot c\theta_3 + c\theta_2 \cdot s\theta_3 & 0 & -s\theta_2 \cdot s\theta_3 + c\theta_2 \cdot c\theta_3 \end{bmatrix}$$

Βήμα 3^ο

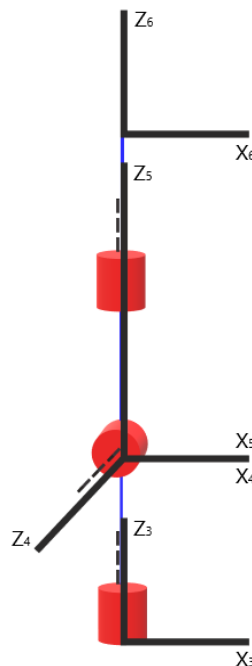
Τώρα θα χρειαστεί να βρεθεί ο αντίστροφος (Inverse) του πίνακα, να βρεθεί ο $R_3^0^{-1}$ ώστε να υπολογιστεί ο R_6^3 όπως φαίνεται παρακάτω:

$$R_6^0 = R_3^0 \cdot R_6^3 \Rightarrow R_3^0^{-1} \cdot R_6^0 = R_3^0^{-1} \cdot R_3^0 \cdot R_6^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_6^3 = R_3^0^{-1} \cdot R_6^0 \quad (10)$$

Βήμα 4^ο

Από το κινηματικό διάγραμμα υπολογίζεται ο πίνακας περιστροφής R_6^3 με τη βοήθεια της F.K. Αυτό το βήμα έχει ήδη γίνει όταν υπολογίστηκε η F.K. του ρομπότ.



Εικόνα 11.18:Κινηματικό Διάγραμμα του Καρπού του Ρομπότ

Frame	a_i (m)	α_i (°)	d_i (m)	θ_i (°)
4	0	90	$L_{34} = 1,05$	$\theta_4 + 0^\circ$
5	0	-90	0	$\theta_5 + 0^\circ$
6	0	0	$L_{56} = 0,5$	$\theta_6 + 0^\circ$

$$R_4^3 = \begin{bmatrix} c\theta_4 & 0 & s\theta_4 \\ s\theta_4 & 0 & -c\theta_4 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_5^4 = \begin{bmatrix} c\theta_5 & 0 & -s\theta_5 \\ s\theta_5 & 0 & c\theta_5 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_6^5 = \begin{bmatrix} c\theta_6 & -s\theta_6 & 0 \\ s\theta_6 & c\theta_6 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_6^3 = R_4^3 \cdot R_5^4 \cdot R_6^5$$

$$R_6^3 = \begin{bmatrix} c\theta_4 \cdot c\theta_5 \cdot c\theta_6 - s\theta_4 \cdot s\theta_6 & -c\theta_4 \cdot c\theta_5 \cdot s\theta_6 - s\theta_4 \cdot c\theta_6 & -c\theta_4 \cdot s\theta_5 \\ s\theta_4 \cdot c\theta_5 \cdot c\theta_6 + c\theta_4 \cdot s\theta_6 & -s\theta_4 \cdot c\theta_5 \cdot s\theta_6 + c\theta_4 \cdot c\theta_6 & -s\theta_4 \cdot s\theta_5 \\ s\theta_5 \cdot c\theta_6 & -s\theta_5 \cdot s\theta_6 & c\theta_5 \end{bmatrix}$$

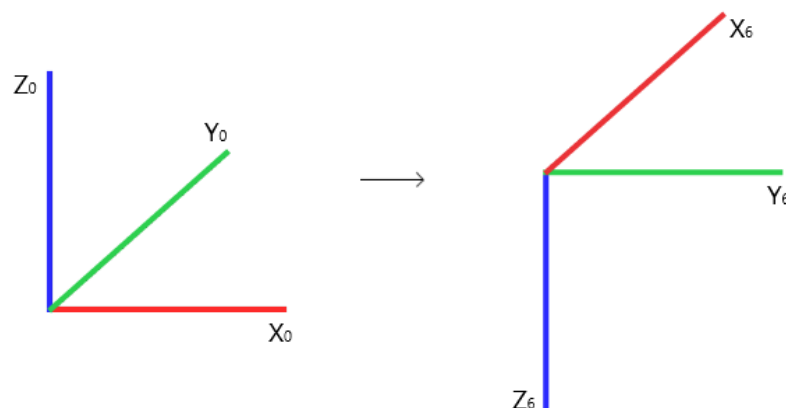
Βήμα 5°

Εδώ δηλώνεται ο επιθυμητός προσανατολισμός (Orientation) του άκρου του ρομπότ μέσω του πίνακα περιστροφής (Rotation Matrix) R_6^0 ο οποίος δηλώνει τη περιστροφή του Frame 6 σχετικά με το Frame 0.

Είναι επιθυμητό το άκρο του ρομπότ να έχει την εξής περιστροφή:

$$R_6^0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Αυτό σημαίνει ότι οι άξονες του Frame 6 σχετικά με το Frame 0 θα είναι ως εξής:



Εικόνα 11.19: Απεικόνιση Επιθυμητού Προσανατολισμού του Άκρου

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT
Βήμα 6^ο

Δηλώνονται οι επιθυμητές τιμές των συντεταγμένων X_3^0 , Y_3^0 και Z_3^0 ώστε να υπολογιστούν οι τιμές των θ_1 , θ_2 και θ_3 σύμφωνα με τις παραπάνω εξισώσεις.

Οπότε για επιθυμητές τιμές $X_3^0 = 1,08\text{m}$, $Y_3^0 = 0\text{m}$ και $Z_3^0 = 1.21\text{m}$.

Σε περίπτωση που οι τιμές οι οποίες θα προκύψουν ξεφεύγουν από κάποιο όριο τότε η θέση αυτή είναι εκτός του χώρου εργασίας του ρομπότ.

$$\theta_1 = \theta_4 = \theta_6 = -180^\circ \text{ έως } +180^\circ \text{ ή } 0^\circ \text{ έως } 316^\circ$$

$$\theta_2 = \theta_3 = \theta_5 = -90^\circ \text{ έως } +90^\circ \text{ ή } 0^\circ \text{ έως } 180^\circ$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{Y_3^0}{X_3^0} \right) \quad \text{Άρα } \theta_1 = 0^\circ$$

$$r_2 = Z_3^0 - L_1 \quad r_2 = 0.34\text{m}$$

$$r_1 = \sqrt{(X_3^0)^2 + (Y_3^0)^2} \quad r_1 = 1.08\text{m}$$

$$\varphi_2 = \tan^{-1} \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \quad \varphi_2 = 16^\circ$$

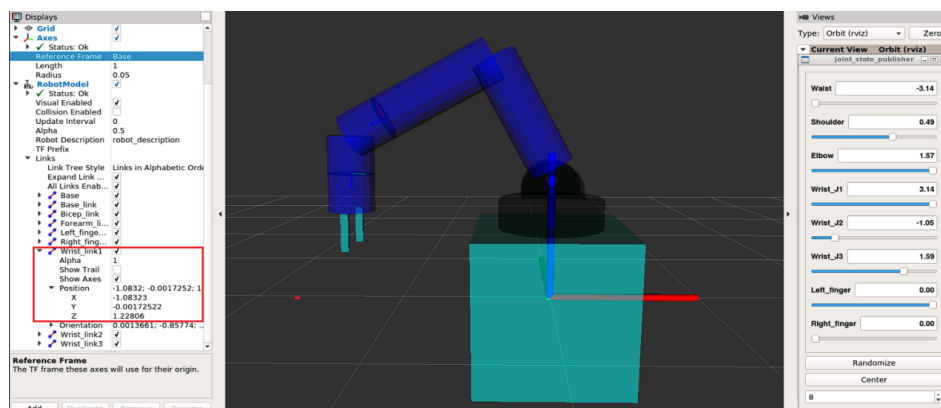
$$r_3 = \sqrt{r_1^2 + r_2^2} \quad r_3 = 1.13\text{m}$$

$$\varphi_1 = \cos^{-1} \left(\frac{L_3^2 - L_2^2 - r_3^2}{-2 \cdot L_2 \cdot r_3} \right) \quad \varphi_1 = 45^\circ$$

$$\theta_2 = 90^\circ - (\varphi_2 - \varphi_1) \quad \text{Άρα } \theta_2 = 119^\circ$$

$$\varphi_3 = \cos^{-1} \left(\frac{r_3^2 - L_2^2 - L_3^2}{-2 \cdot L_2 \cdot L_3} \right) \quad \varphi_3 = 90^\circ$$

$$\theta_3 = 180^\circ - \varphi_3 \quad \text{Άρα } \theta_3 = 90^\circ$$



Εικόνα 11.20: Εφαρμογή των Τιμών στο Rviz

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Παρακάτω φαίνεται η απεικόνιση του ρομπότ με την εφαρμογή των παραπάνω τιμών θέσεις. Όπως παρατηρείται από το σύνδεσμο “Wrist_link1” ο οποίος αντιστοιχεί με το σημείο A_3^0 η θέση του είναι (των τριών πρώτων συνδέσμων) όπως δηλώθηκαν παραπάνω. Το $X_3^0 = -1,08m$, $Y_3^0 = 0m$ και $Z_3^0 = 1.23m$. Υπάρχουν βέβαια μικρές διαφορές λόγω της μη ακριβούς ρύθμισης μερικών θέσεων μέσω του joint_state_publisher. Όμως υπάρχει μια διαφορά με το ρομπότ της προσομοίωσης με αυτή των υπολογισμών καθώς το άκρο του ρομπότ έχει αντίθετους σε σχέση με το Frame 0 του άξονες X και Y. Αυτό συμβαίνει γιατί οι αρχικές τιμές των αρθρώσεων, δηλαδή η μηδενική τιμή δεν βρίσκεται στη μέση όπως έχει οριστεί αλλά στην αρχή. Για παράδειγμα η μηδενική τιμή της άρθρωσης Waist είναι το $-3,14rad$ και όχι το $0rad$.

Βήμα 7°

Αφού έχει υπολογιστεί το R_3^0 και έχει δηλωθεί το R_6^0 μπορεί να τώρα να γίνει υπολογισμός του R_6^3 για την εύρεση των υπόλοιπων αρθρώσεων, θ_4 , θ_5 και θ_6 .

Θα χρησιμοποιηθεί η εξίσωση (10) του βήματος 3.

$$R_6^3 = R_3^0{}^{-1} \cdot R_6^0$$

Αρχικά αντικαθιστούνται οι τιμές θ στον πίνακα R_3^0 .

$$R_3^0 = \begin{bmatrix} -0,8746 & 0 & 0,4848 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0,4848 & 0 & -0,8746 \end{bmatrix}$$

Έπειτα βρίσκεται ο αντίστροφος του R_3^0 .

$$(R_3^0)^{-1} = \begin{bmatrix} -0,8746 & 0 & -0,4848 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0,4848 & 0 & -0,8746 \end{bmatrix}$$

Γίνεται ο πολλαπλασιασμός.

$$R_6^3 = \begin{bmatrix} -0,8746 & 0 & -0,4848 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0,4848 & 0 & -0,8746 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$R_6^3 = \begin{bmatrix} 0 & -0,8746 & 0,4848 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,4848 & 0,8746 \end{bmatrix}$$

$$R_6^3 = \begin{bmatrix} c\theta_4 \cdot c\theta_5 \cdot c\theta_6 - s\theta_4 \cdot s\theta_6 & -c\theta_4 \cdot c\theta_5 \cdot s\theta_6 - s\theta_4 \cdot c\theta_6 & -c\theta_4 \cdot s\theta_5 \\ s\theta_4 \cdot c\theta_5 \cdot c\theta_6 + c\theta_4 \cdot s\theta_6 & -s\theta_4 \cdot c\theta_5 \cdot s\theta_6 + c\theta_4 \cdot c\theta_6 & -s\theta_4 \cdot s\theta_5 \\ s\theta_5 \cdot c\theta_6 & -s\theta_5 \cdot s\theta_6 & c\theta_5 \end{bmatrix}$$

Τέλος αντιστοιχώντας τις τιμές του παραπάνω πίνακα με το πίνακα περιστροφής του βήματος 4 βρίσκονται οι τιμές των αρθρώσεων.

- Πιο εμφανές είναι το τελευταίο στοιχείο γραμμή (3), στήλη(3) όπου προκύπτει

$$\cos \theta_5 = 0.8746$$

$$\Leftrightarrow \text{Άρα } \theta_5 = 29^\circ$$

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT
 - Επόμενο στοιχείο είναι στη γραμμή (3), στήλη (2) όπου προκύπτει

$$-s\theta_5 \cdot s\theta_6 = 0,4848$$

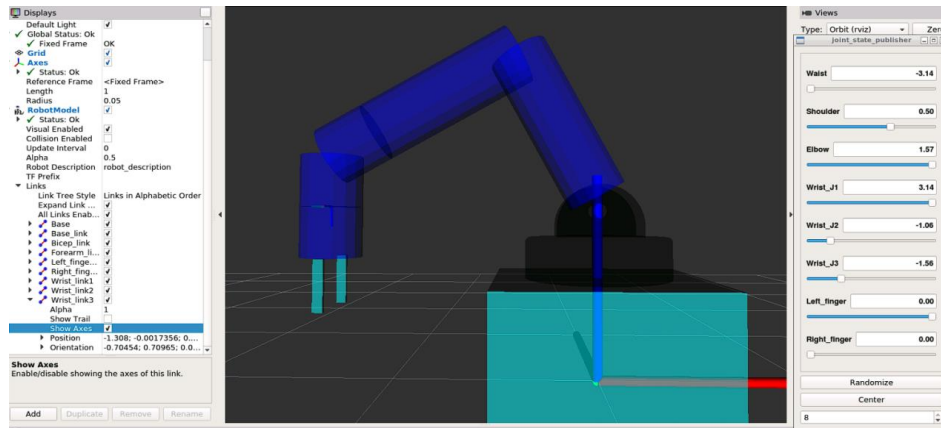
⇒ Άρα $\theta_6 = -90^\circ$

- Τελικό στοιχείο είναι στη γραμμή (1), στήλη (3) όπου προκύπτει

$$-c\theta_4 \cdot s\theta_5 = 0,4848$$

⇒ Άρα $\theta_4 = 180^\circ$

Παρακάτω φαίνεται το ρομπότ στο προσανατολισμό που ορίστηκε στο βήμα 5 αλλά όπως ειπώθηκε και προηγουμένως οι άξονες X και Y είναι αντίθετοι όπως θα είναι και εδώ.

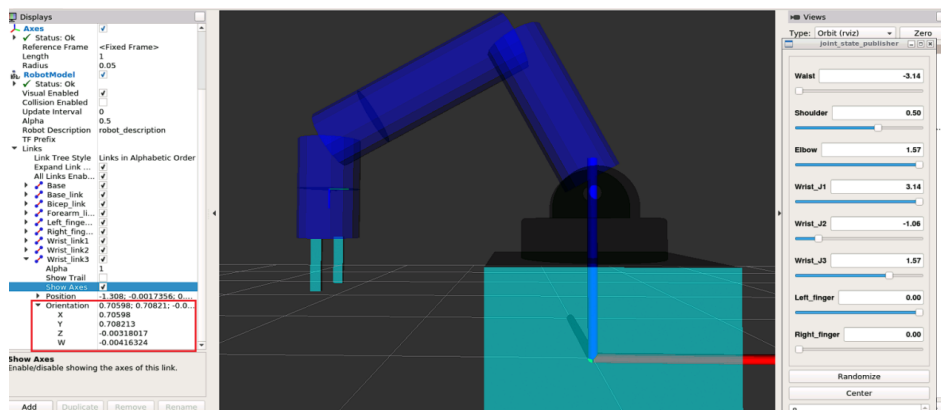


Εικόνα 11.21:Απεικόνιση Προσανατολισμού του Ακρου

Σύμφωνα με τις τιμές του προσανατολισμού του Rviz, πίνακας περιστροφής προκύπτει ο ακόλουθος.

$$R_6^0 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Όπως φαίνεται από τη πρώτη στήλη ο X έχει γίνει αντίθετος του Y αντί να είναι ίδιος με αυτόν. Το αντίστοιχο και στη δεύτερη στήλη, όπου ο Y έχει γίνει αντίθετος του X αντί να είναι ίδιος. Ο Z δεν έχει διαφορά. Οπότε ένας τρόπος λύσης είναι να εισάγεται η αντίθετη γωνία της άρθρωσης θ_6 , ώστε να αντιστοιχούνται οι άξονες X και Y όπως παρακάτω. Αντί για $\theta_6 = -90^\circ$ εισάγεται ως $\theta_6 = 90^\circ$. Παρακάτω φαίνεται η λύση.



Εικόνα 11.22:Απεικονιση του Σωστού Προσανατολισμού

Ο πίνακας περιστροφής τώρα σύμφωνα με τις τιμές του προσανατολισμού αντιστοιχούνται με τον επιθυμητό όπως φαίνεται παραπάνω. Για τη μετατροπή των τιμών x, y, z, w σε πίνακα περιστροφής R έγινε χρήση του εργαλείου [52],[49],[50].

$$R_6^0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

11.7 Ρύθμιση του Πακέτου MoveIt

Εδώ θα επαναληφθεί η διαδικασία που έγινε στο κεφάλαιο 10 όπου δημιουργήθηκε το πακέτο MoveIt του πρώτου ρομπότ. Σε αυτή τη περίπτωση οι πόζες του ρομπότ θα υπολογιστούν μέσω της Αντίστροφης Κινηματικής (Inverse Kinematics) για την οποία έχει δημιουργηθεί το αρχείο "Ik.py". Σε αυτό το αρχείο γίνονται όλα τα βήματα που ακολουθήθηκαν στο κεφάλαιο «Υπολογισμός της Αντίστροφης Κινηματικής του Ρομπότ» αλλά με μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα, αφού εισάγονται οι επιθυμητές συντεταγμένες του άκρου και ο επιθυμητός προσανατολισμός του μέσα στο κώδικα.

```

1  import numpy as np
2
3  X = 1.00
4  Y = 0
5  Z = 1.21 - 0.5
6
7  Theta1 = np.arctan2(Y, X)
8  Theta1_rad = (Theta1 * 3.14) / 180
9  print('Theta1 =', Theta1, 'degrees')
10
11  r2 = Z - 0.4
12  r1 = np.sqrt((X**2)+(Y**2))
13  phi2_rad = np.arctan(r2/r1)
14  phi2 = (phi2_rad * 180) / 3.14
15  r3 = np.sqrt((r1**2)+(r2**2))
16  phi1_num = (0.8**2)-(0.8**2)-(r3**2)
17  phi1_den = -2*0.8*r3
18  phi1_rad = np.arccos(phi1_num/phi1_den)
19  phi1 = (phi1_rad * 180) / 3.14
20  Theta2 = 90 - (phi2 - phi1)
21  Theta2_rad = (Theta2 * 3.14) / 180
22  print('Theta2 =', Theta2, 'degrees')
23
24  phi3_rad = np.arccos(((r3**2)-(0.8**2)-(0.8**2))/(-2*0.8*0.8))
25  phi3 = (phi3_rad * 180) / 3.14
26  Theta3 = 180 - phi3
27  Theta3_rad = (Theta3 * 3.14) / 180
28  print('Theta3 =', Theta3, 'degrees')
29
30  R0_6 = [[0.0, -1.0, 0.0],
31          [-1.0, 0.0, 0.0],
32          [0.0, 0.0, -1.0]]
33
34  R0_3 = [[np.cos(Theta1_rad)*np.cos(Theta2_rad)*np.cos(Theta3_rad)-np.cos(Theta1_rad)*np.sin(Theta2_rad)*np.sin(Theta3_rad), -np.sin(Theta1_rad), -np.cos(Theta1_rad)*np.cos(Theta2_rad)*np.sin(
35          [np.sin(Theta1_rad)*np.cos(Theta2_rad)*np.cos(Theta3_rad)-np.sin(Theta1_rad)*np.sin(Theta2_rad)*np.sin(Theta3_rad), np.cos(
36          [np.sin(Theta1_rad)*np.sin(Theta2_rad)*np.cos(Theta3_rad)+np.sin(Theta1_rad)*np.sin(Theta2_rad)*np.sin(Theta3_rad)*np.cos(Theta3_rad)],
37          [np.sin(Theta2_rad)*np.cos(Theta3_rad)+0.0, -np.sin(Theta2_rad)*np.sin(Theta3_rad)*np.cos(Theta3_rad)]]
38

```

Εικόνα 11.23:"Ik.py"-υπολογισμός 01, 02, 03

```

38
39  invR0_3 = np.linalg.inv(R0_3)
40
41  R3_6 = np.dot(invR0_3,R0_6)
42
43  print ('R3_6 =', (R3_6))
44
45  Theta5_rad = np.arccos(R3_6[2][2])
46  Theta5 = (Theta5_rad * 180) / 3.14
47  print ('Theta5 =', Theta5, 'degrees')
48
49  Theta6_rad = np.arcsin(-R3_6[2][1]/np.sin(Theta5_rad))
50  Theta6 = (Theta6_rad * 180) / 3.14
51
52  print ('Theta6 =', Theta6, 'degrees')
53
54  Theta4_rad = np.arccos(-R3_6[0][2]/np.sin(Theta5_rad))
55  Theta4 = (Theta4_rad * 180) / 3.14
56
57  print ('Theta4 =', Theta4, 'degrees')
58

```

Εικόνα 11.24:"Ik.py"-υπολογισμός 04, 05, 06

```

user:~/simulation_ws/src/mrm_description/scripts$ python Ik.py
('Theta1 =', 0.0, 'degrees')
('Theta2 =', 119.39114302132081, 'degrees')
('Theta3 =', 90.73811316873963, 'degrees')
('R3_6 =', array([[ 0.          ,  0.86582698,  0.50034352],
                 [-1.          ,  0.          ,  0.          ],
                 [ 0.          , -0.50034352,  0.86582698]]))
('Theta5 =', 30.037957576632827, 'degrees')
('Theta6 =', 90.04564809868313, 'degrees')
('Theta4 =', 180.09129740539694, 'degrees')
    
```

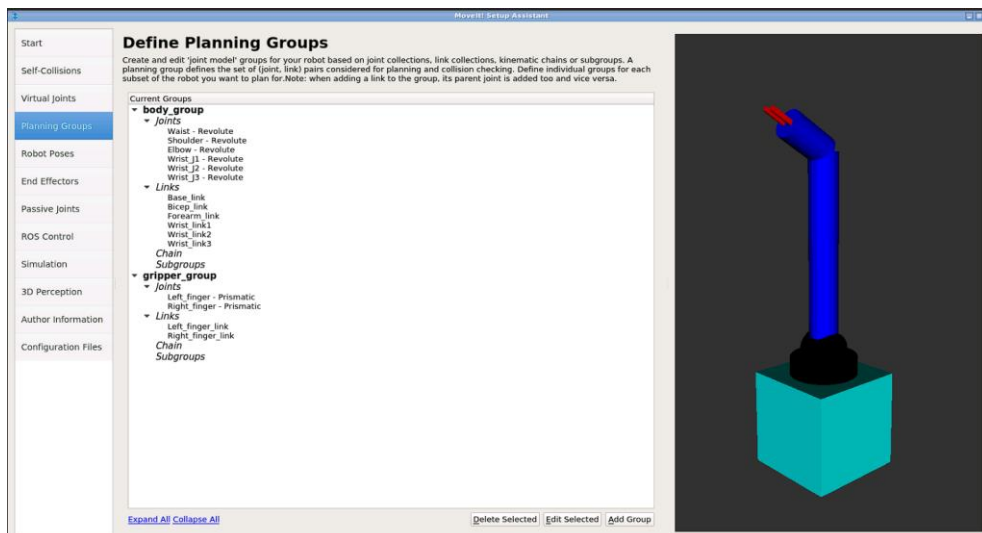
Εικόνα 11.25:Αποτελέσματα της Εκτέλεσης του "Ik.py"

Στο παραπάνω κώδικα έχουν εισαχθεί η επιθυμητή θέση και προσανατολισμός όπως έγινε στο κεφάλαιο «Υπολογισμός της Αντίστροφης Κινηματικής του Ρομπότ. Παρατηρείται ότι οι τιμές που βρέθηκαν είναι σχεδόν ίδιες με αυτές που υπολογίστηκαν, αλλά φυσικά θα είναι πιο ακριβής καθώς ο υπολογιστής χρησιμοποιεί πιο πολλά δεκαδικά ψηφία για την εύρεση της λύσης.

Για να δημιουργηθεί το πακέτο MoveIt του ρομπότ θα επαναληφθούν τα βήματα που έγιναν για τη δημιουργία του πακέτου στο προηγούμενο ρομπότ. Στις ρυθμίσεις του πακέτου αρκετά παραμένουν ίδια, αλλά μερικές ρυθμίσεις θα χρειαστεί να αναδιαμορφωθούν.

PLANNING GROUPS

Το ρομπότ θα χωριστεί σε δύο ομάδες, την ομάδα του σώματος, “body_group” και την ομάδα της αρπάγης “gripper_group”.



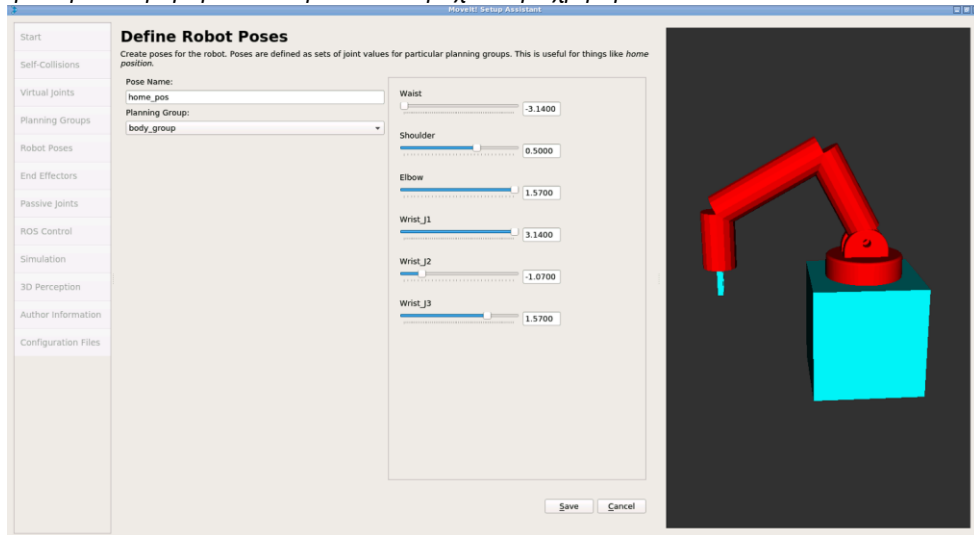
Εικόνα 11.26:Planning Groups

ROBOT POSES

Οι πόζες του ρομπότ θα οριστούν ως εξής:

Για την ομάδα “body_group”

Home_pos: Αυτή η θέση θα είναι αυτή που υπολογίστηκε παραπάνω. $\theta_1 = 0^\circ$, $\theta_2 = 119^\circ$, $\theta_3 = 90^\circ$, $\theta_4 = 180^\circ$, $\theta_5 = 30^\circ$, $\theta_6 = 90^\circ$. Σε rad μονάδες $\theta_1 = 0rad$, $\theta_2 = 2.07rad$, $\theta_3 = 1.57rad$, $\theta_4 = 3.14^\circ$, $\theta_5 = 0.52rad$, $\theta_6 = 1.57rad$.



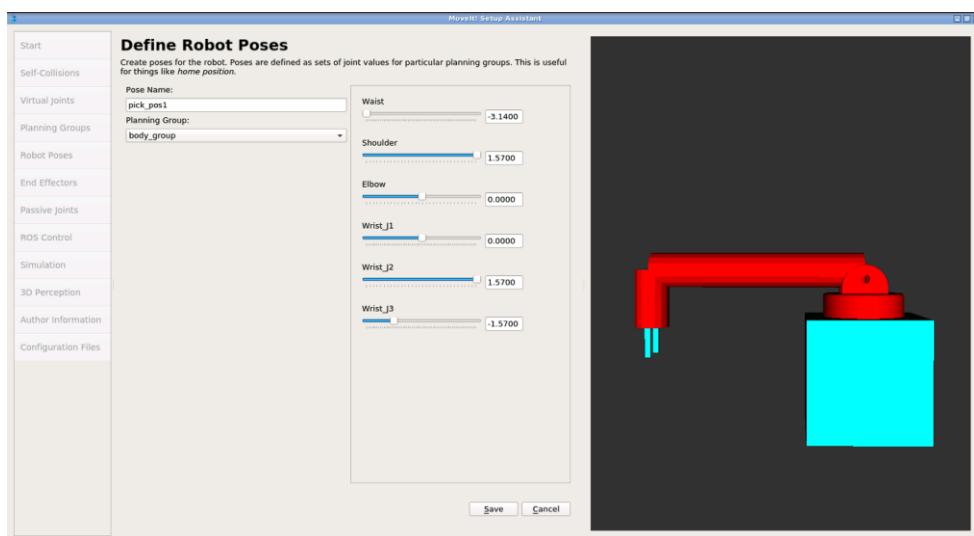
Εικόνα 11.27:Home_pos

Pick_pos1: Για αυτή τη θέση πρέπει να γίνει μια υπόθεση ότι ένα αντικείμενο βρίσκεται σε κάποιες συγκεκριμένες συντεταγμένες, ώστε το ρομπότ να προσαρμοστεί σε αυτές με τον κατάλληλο προσανατολισμό. Για αυτό θα γίνει υπόθεση των συντεταγμένων $X = 1.6m$, $Y = 0m$, $Z = 0.9m$, ενώ ο προσανατολισμός θα μείνει ο ίδιος ώστε το αντικείμενο, το οποίο μπορεί να είναι σε σχήμα κουτιού ή κάποιο άλλο του οποίου είναι δυνατή η λήψη του από πάνω, να ληφθεί με αυτό τον τρόπο. Οι συντεταγμένες που αναγράφονται παραπάνω και χρησιμοποιούνται στο κώδικα είναι οι κατάλληλες ώστε το άκρο του ρομπότ να φτάσει ακριβώς πάνω από το αντικείμενο. Αν προστεθεί το συνολικό μήκος των τριών συνδέσμων του καρπού τότε θα προκύψει η πραγματική θέση του αντικειμένου.

```

user:~/simulation_ws/src/mrm_description/scripts$ python Ik.py
('X=', 1.6, 'Y=', 0, 'Z=', 0.4)
('Theta1 =', 0.0, 'degrees')
('Theta2 =', 90.0, 'degrees')
('Theta3 =', -0.09129861342762524, 'degrees')
('R3_6 =', array([[ 0.          , -0.00238898, -0.99999715],
                  [-1.          ,  0.          ,  0.          ],
                  [ 0.          ,  0.99999715, -0.00238898]]))
('Theta5 =', 90.18259722685526, 'degrees')
('Theta6 =', -90.04564930671381, 'degrees')
('Theta4 =', 0.0, 'degrees')
    
```

Εικόνα 11.28:Αποτέλεσμα του "Ik.py" για τις συντεταγμένες

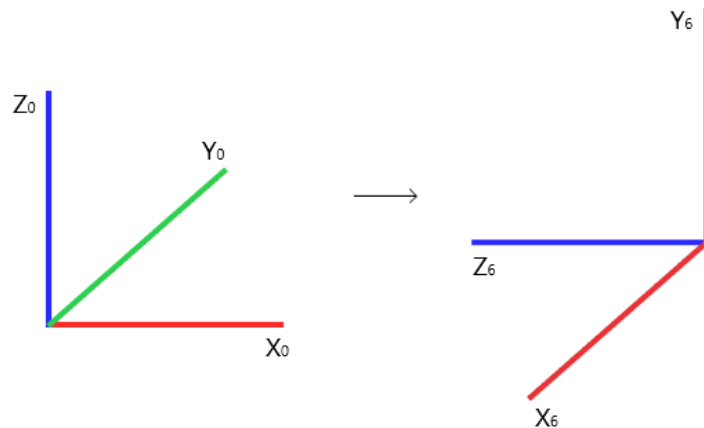


Εικόνα 11.29:Pick_pos1

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Pick_pos2: Για αυτή τη θέση το ρομπότ θα μπορεί να προσεγγίσει το ίδιο αντικείμενο από το πλάι. Για αυτό θα οριστούν οι συντεταγμένες οι οποίες είναι κατάλληλες ώστε με τη πρόσθεση του μήκους του καρπού να φτάσει το αντικείμενο. Οι συντεταγμένες αυτές μπορούν βρεθούν αν μειωθεί το μήκος των τελευταίων δύο συνδέσμων του καρπού, το οποίο είναι 0,5m από την τιμή της X συντεταγμένης του αντικειμένου, η οποία σύμφωνα με το Rviz είναι 1,85m. Άρα θα προκύψει η τιμή X = 1.35m, το Y = 0m αφού δεν επηρεάζεται, ενώ το Z πρέπει να ισούται με τη τιμή της Z στο Rviz η οποία είναι Z = 0.4m. Θα χρειαστεί επίσης να γίνει αλλαγή του R0_6 που δηλώνεται στον κώδικα.

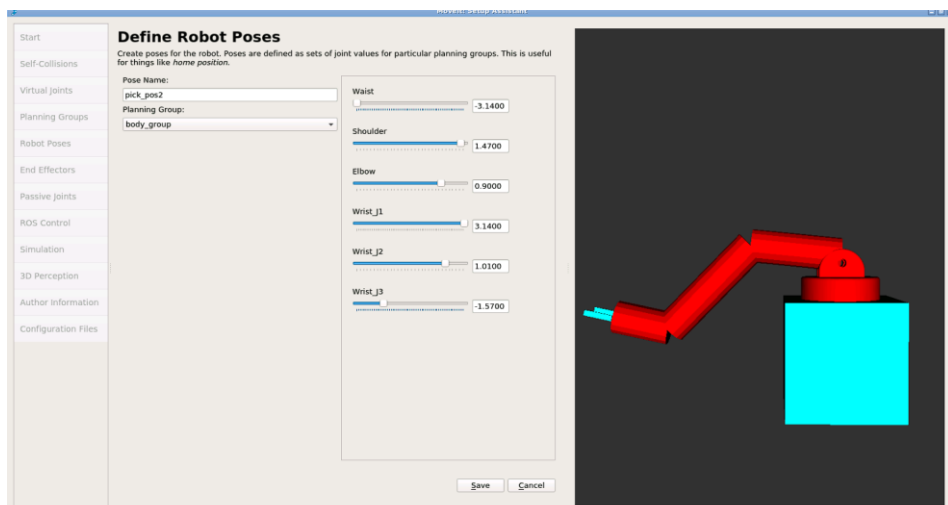
$$R_6^0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



Εικόνα 11.30: Απεικόνιση Επιθυμητού Προσανατολισμού του Άκρου

```
user:~/simulation_ws/src/mrm_description/scripts$ python Ik.py
('X=', 1.3483, 'Y=', -0.0021, 'Z=', -0.09039999999999998)
('Theta1 =', -0.0015575156136626155, 'degrees')
('Theta2 =', 96.2887172213487, 'degrees')
('Theta3 =', 52.480768372171624, 'degrees')
('R3_6 =', array([[ -2.32141797e-05,  5.19607606e-01,  8.54405018e-01],
                 [-1.00000000e+00, -1.44741840e-21, -2.71699946e-05],
                 [-1.41177359e-05, -8.54405018e-01,  5.19607606e-01]]))
('Theta5 =', 58.7238362996743, 'degrees')
('Theta6 =', 90.04470210087342, 'degrees')
('Theta4 =', 180.0894756889124, 'degrees')
```

Εικόνα 11.31: Αποτέλεσμα του "Ik.py" για τις συντεταγμένες



Εικόνα 11.32: "Pick_pos2"

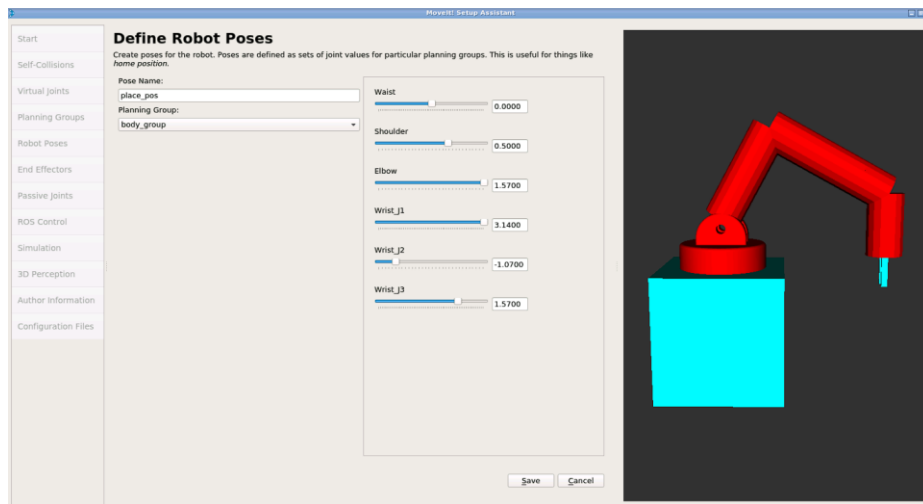
Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Σε αυτή τη διαμόρφωση του ρομπότ δεν καταφέρνει ο Z άξονας να γίνει πλήρως οριζόντιος και η θέση που προσεγγίζεται απέχει λίγο από τη πραγματική. Αυτό πιθανόν οφείλεται στα μήκη των συνδέσμων του καρπού, καθώς στη πραγματικότητα συνηθίζεται η απόσταση του τελικού άκρου σε σχέση με το άκρο του σώματος να είναι όσο μικρότερη γίνεται για την μείωση του σφάλματος.

Place_pos: Αυτή η θέση χρησιμοποιείται για τη τοποθέτηση του αντικειμένου σε σημείο όπου συνεχίζει μια άλλη διαδικασία ή εργασία. Η θέση αυτή είναι αντίθετη από τα θέση “home_pos”. Όπως παρατηρείται η συντεταγμένη X είναι σε αρνητική θέση.

```
user:~/simulation_ws/src/mrm_description/scripts$ python Ik.py
('X=', -1.08, 'Y=', 0, 'Z=', 0.71)
('Theta1 =', 180.09129861342763, 'degrees')
('Theta2 =', 119.39114302132081, 'degrees')
('Theta3 =', 90.73811316873963, 'degrees')
('R3_6 =', array([[ 1.06033224e-16, -8.65826982e-01, 5.00343519e-01],
 [ 1.00000000e+00, 1.22464680e-16, 0.00000000e+00],
 [-6.12744089e-17, 5.00343519e-01, 8.65826982e-01]]))
('Theta5 =', 30.037957576632827, 'degrees')
('Theta6 =', -90.04564809868313, 'degrees')
('Theta4 =', 180.09129740539694, 'degrees')
```

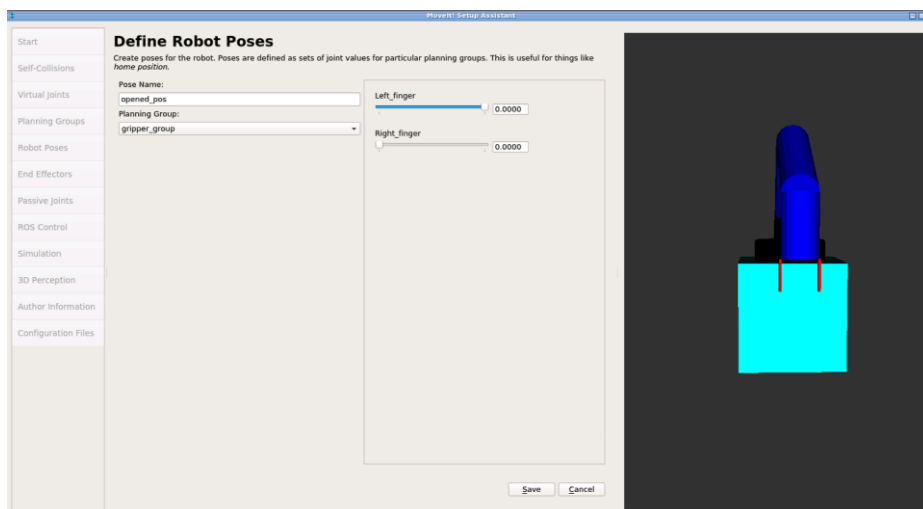
Εικόνα 11.33: Αποτέλεσμα του "Ik.py" για τις συντεταγμένες



Εικόνα 11.34: Place_pos

Για την ομάδα “gripper_group”

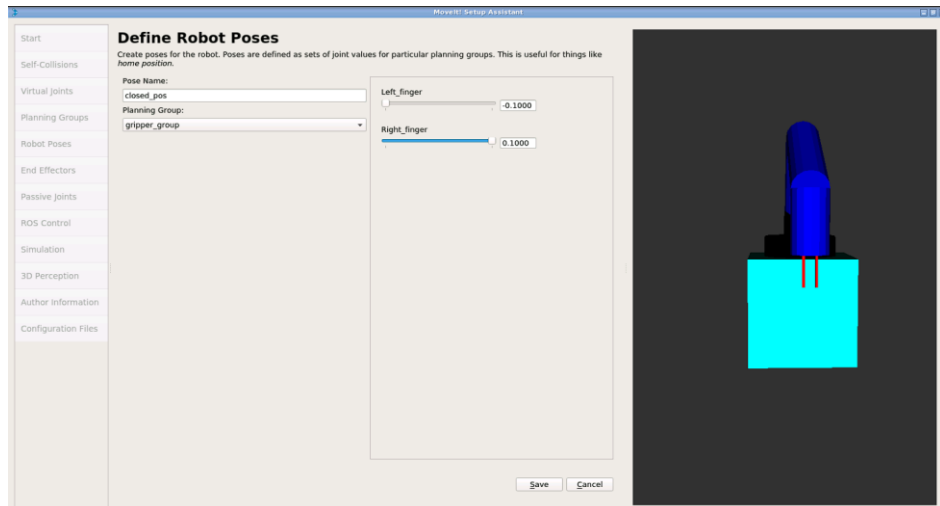
Opened_pos: Για την ανοικτή θέση της αρπάγης αλλά τοποθετούνται τα ανοικτά όρια.



Εικόνα 11.35: Opened_pos

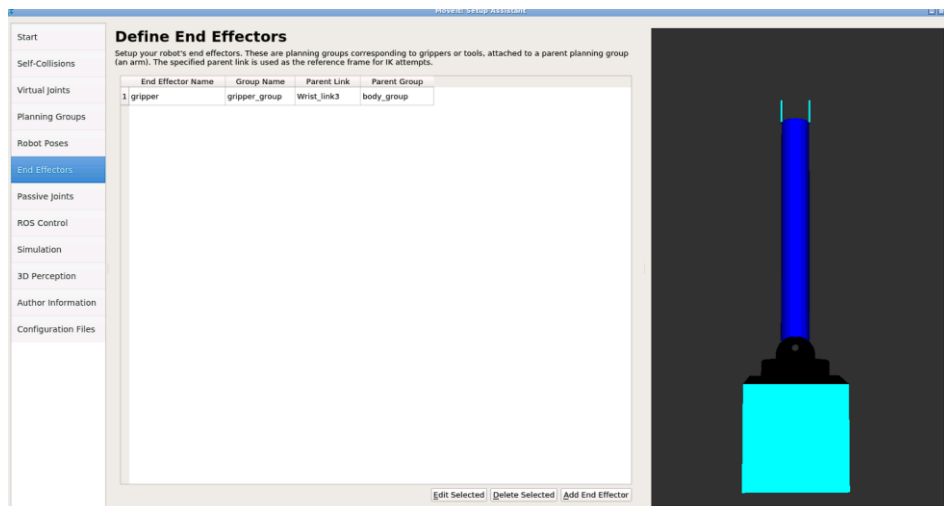
Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT

Closed_pos: Για τη κλειστή αρπάγη σε αυτή τη περίπτωση απλώς κλείνουν τέρμα τα δάκτυλα, αλλά αυτό κανονικά εξαρτάται από το αντικείμενο.



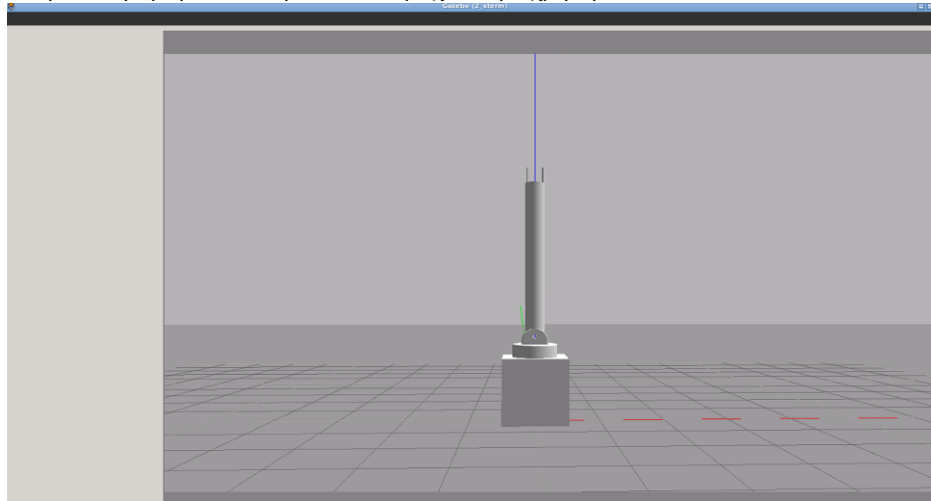
Εικόνα 11.36:Closed_pos

END EFFECTORS



Εικόνα 11.37:End-Effector

Τώρα ακολουθούνται τα υπόλοιπα βήματα ώστε να γίνει η προσομοίωση του ρομπότ. Αρχικά εκτελείται η εντολή `roslaunch moveit_config_dof gazebo.launch`. Αυτή η εντολή θα ανοίξει τη προσομοίωση του ρομπότ στο Gazebo.

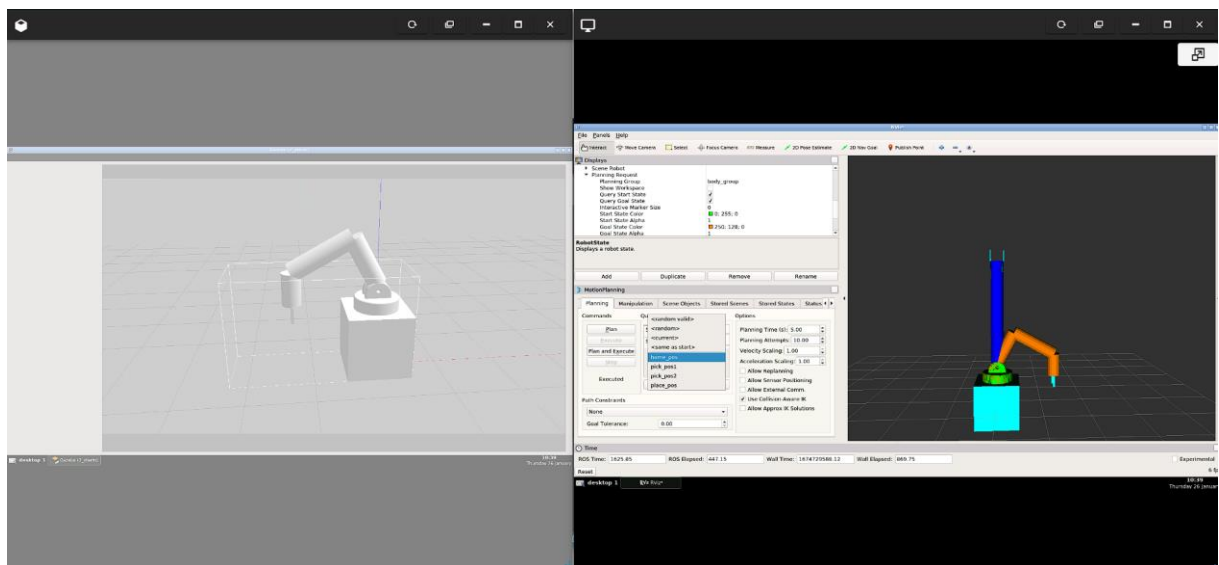


Εικόνα 11.38:Απεικόνιση του Ρομπότ στο Gazebo

Για την εκτέλεση των ομαδοποιημένων συνδέσμων θα χρειαστεί η εντολή “*roslaunch moveit_config move_group.launch*” ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία του “*planning*” όπως υποδεικνύει το σχόλιο:

You can start planning now!

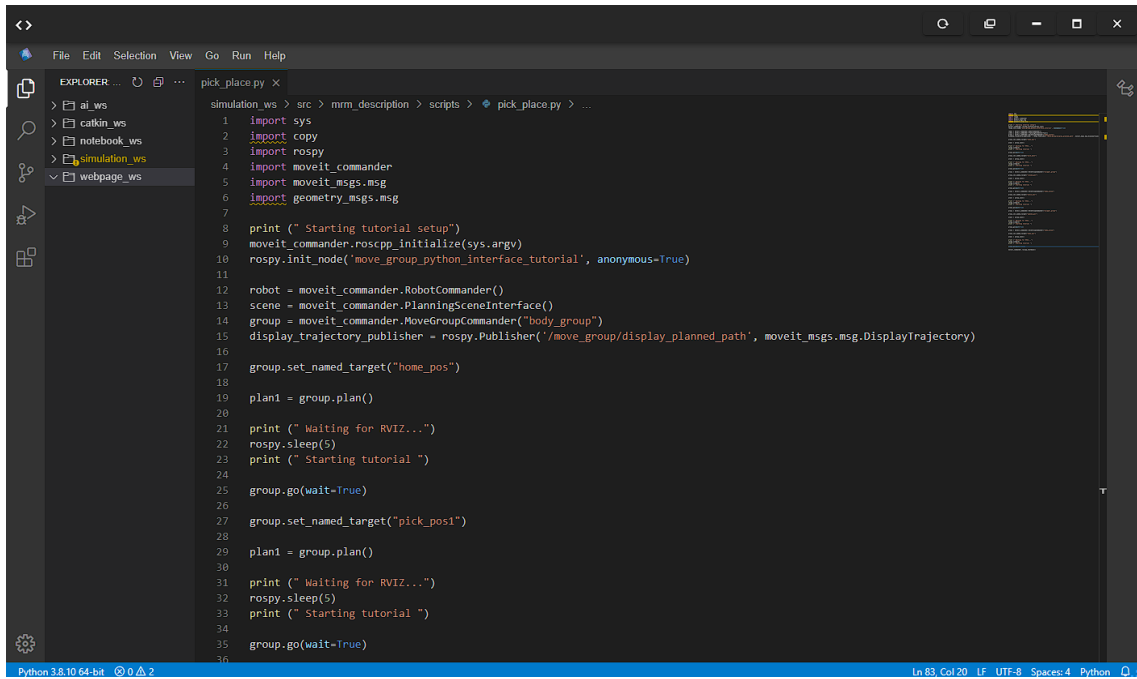
Τέλος η εντολή “*roslaunch moveit_config moveit_rviz.launch*” ανοίγει το παράθυρο του RViz και όπως στη προηγούμενη εφαρμογή γίνεται η προσθήκη (ADD) της λειτουργίας του “*Motion Planning*”.



Εικόνα 11.39:Gazebo και Rviz σε λειτουργία

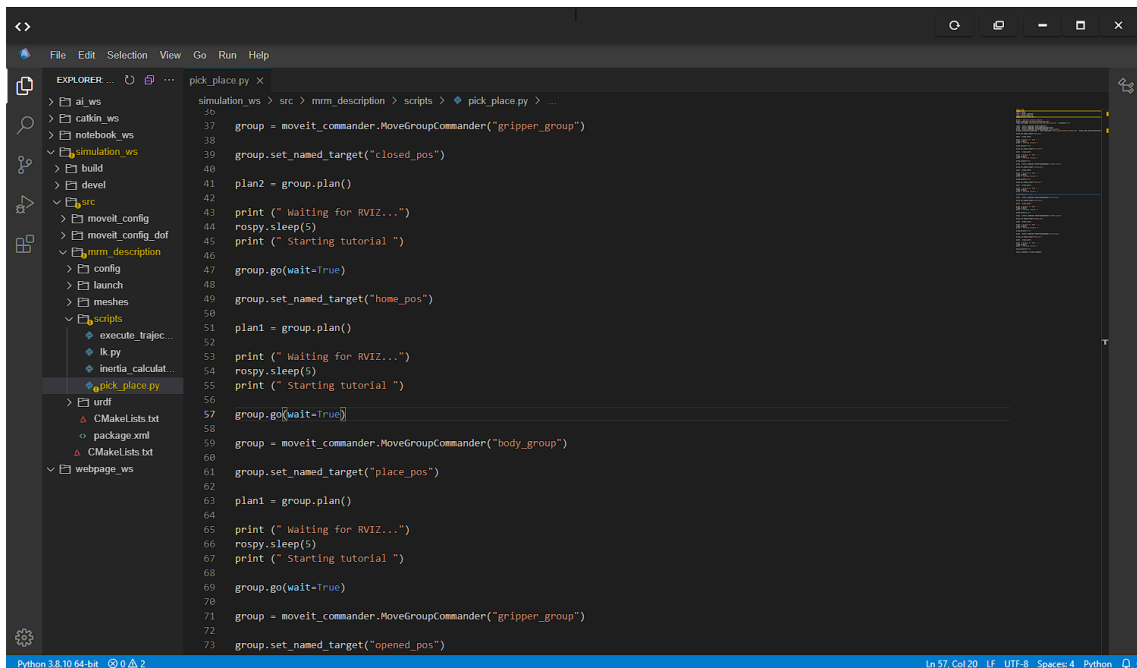
Στη συνέχεια θα δημιουργηθεί το αρχείο Python “*pick_place.py*” το οποίο θα λειτουργεί όπως το αρχείο “*execute_trajectory.py*” το οποίο εξηγήθηκε παραπάνω. Θα χρησιμοποιεί τις εντολές για να μεταφέρει το ρομπότ από μια θέση σε άλλη για την εκτέλεση μια εργασίας “*Pick and Place*”. Η έννοια αυτής της λειτουργίας είναι όπως ακούγεται, η δράση του να πιάνει το ρομπότ κάποιο αντικείμενο από μια τοποθεσία και να το τοποθετεί σε μια άλλη. Όπως φαίνεται παρακάτω η διαδικασία ξεκινάει από τη θέση “*home_pos*”, περνάει στη θέση “*pick_pos1*” για να φτάσει το αντικείμενο και να κλείσει την αρπάγη με τη θέση “*closed_pos*” για να το πιάσει. Έπειτα πρέπει να επιστρέψει στη θέση “*home_pos*” για να περάσει στη τοποθέτηση του αντικειμένου στη θέση “*place_pos*”. Τέλος γυρνάει στην αρχική θέση “*home_pos*” ώστε να ξεκινήσει από την αρχή η διαδικασία. Για τη παραπάνω διαδικασία γίνεται εναλλαγή του χειρισμού των “*groups*” μεταξύ “*body*” και “*gripper*” μέσω του “*MotionPlanning*” > “*PlanningRequest*” > “*PlanningGroup*”, όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα.

Σχεδίαση και Προσομοίωση Αρθρωτού Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT “pick_place.py”



```
1 import sys
2 import copy
3 import rospy
4 import moveit_commander
5 import moveit_msgs.msg
6 import geometry_msgs.msg
7
8 print (" Starting tutorial setup")
9 moveit_commander.roscpp_initialize(sys.argv)
10 rospy.init_node('move_group_python_interface_tutorial', anonymous=True)
11
12 robot = moveit_commander.RobotCommander()
13 scene = moveit_commander.PlanningSceneInterface()
14 group = moveit_commander.MoveGroupCommander("body_group")
15 display_trajectory_publisher = rospy.Publisher('/move_group/display_planned_path', moveit_msgs.msg.DisplayTrajectory)
16
17 group.set_named_target("home_pos")
18
19 plan1 = group.plan()
20
21 print (" Waiting for RVIZ...")
22 rospy.sleep(5)
23 print (" Starting tutorial ")
24
25 group.go(wait=True)
26
27 group.set_named_target("pick_pos1")
28
29 plan1 = group.plan()
30
31 print (" Waiting for RVIZ...")
32 rospy.sleep(5)
33 print (" Starting tutorial ")
34
35 group.go(wait=True)
36
```

Εικόνα 11.40:"pick_place.py"-1



```
37 group = moveit_commander.MoveGroupCommander("gripper_group")
38
39 group.set_named_target("closed_pos")
40
41 plan2 = group.plan()
42
43 print (" Waiting for RVIZ...")
44 rospy.sleep(5)
45 print (" Starting tutorial ")
46
47 group.go(wait=True)
48
49 group.set_named_target("home_pos")
50
51 plan1 = group.plan()
52
53 print (" Waiting for RVIZ...")
54 rospy.sleep(5)
55 print (" Starting tutorial ")
56
57 group.go(wait=True)
58
59 group = moveit_commander.MoveGroupCommander("body_group")
60
61 group.set_named_target("place_pos")
62
63 plan1 = group.plan()
64
65 print (" Waiting for RVIZ...")
66 rospy.sleep(5)
67 print (" Starting tutorial ")
68
69 group.go(wait=True)
70
71 group = moveit_commander.MoveGroupCommander("gripper_group")
72
73 group.set_named_target("opened_pos")

```

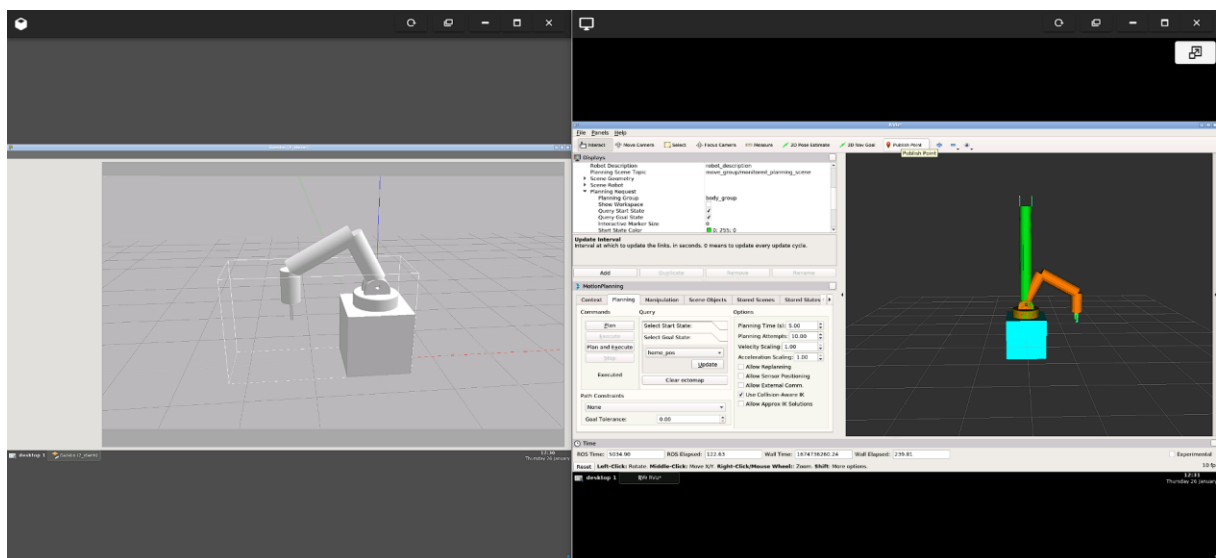
Εικόνα 11.41:"pick_place.py"-2

```

simulation_ws > src > mrm_description > scripts > pick_place.py > ...
75 plan2 = group.plan()
76
77 print (" Waiting for RVIZ...")
78 rospy.sleep(5)
79 print (" Starting tutorial ")
80
81 group.go(wait=True)
82
83 group = moveit_commander.MoveGroupCommander("body_group")
84
85 group.set_named_target("home_pos")
86
87 plan1 = group.plan()
88
89 print (" Waiting for RVIZ...")
90 rospy.sleep(5)
91 print (" Starting tutorial ")
92
93 group.go(wait=True)
94
95 moveit_commander.roscpp_shutdown()
    
```

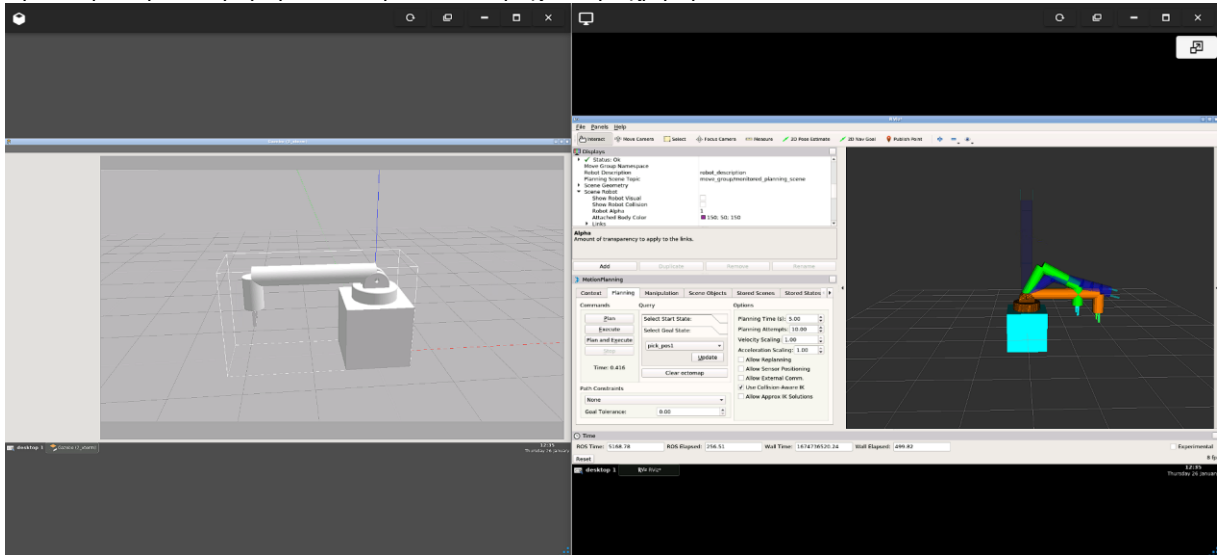
Εικόνα 11.42: "pick_place.py"-3

Με την εκτέλεση του αρχείου το αποτέλεσμα θα είναι τα παρακάτω, όπου το πράσινο χρώμα αντικατοπτρίζει την αρχική στάση ενώ το πορτοκαλί δείχνει τη τελική στάση:

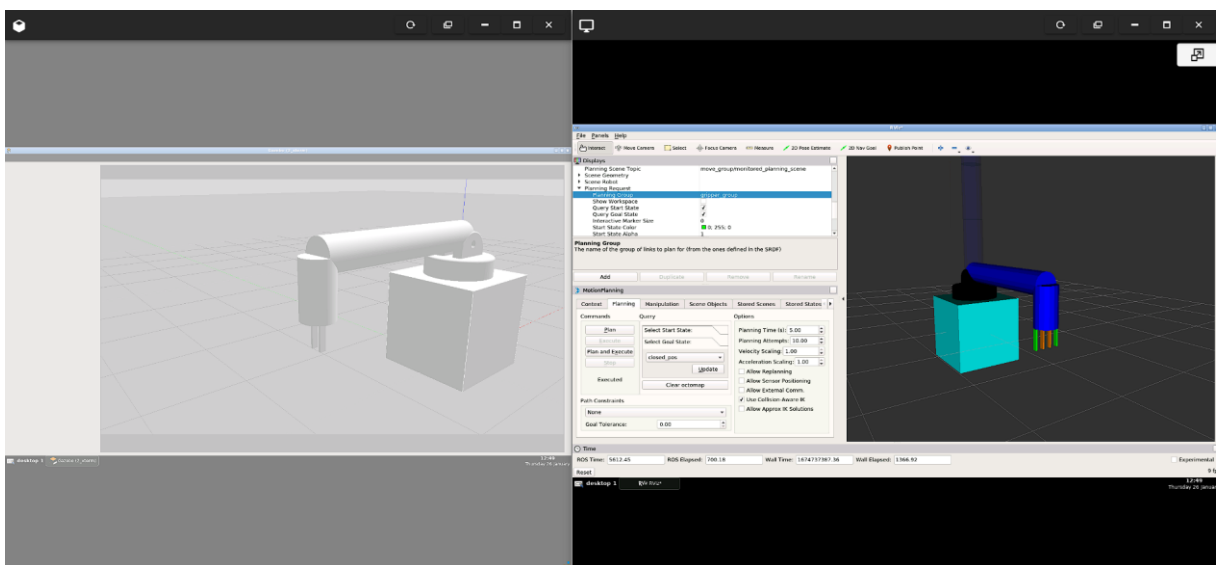


Εικόνα 11.43: "default_pos" > "home_pos"

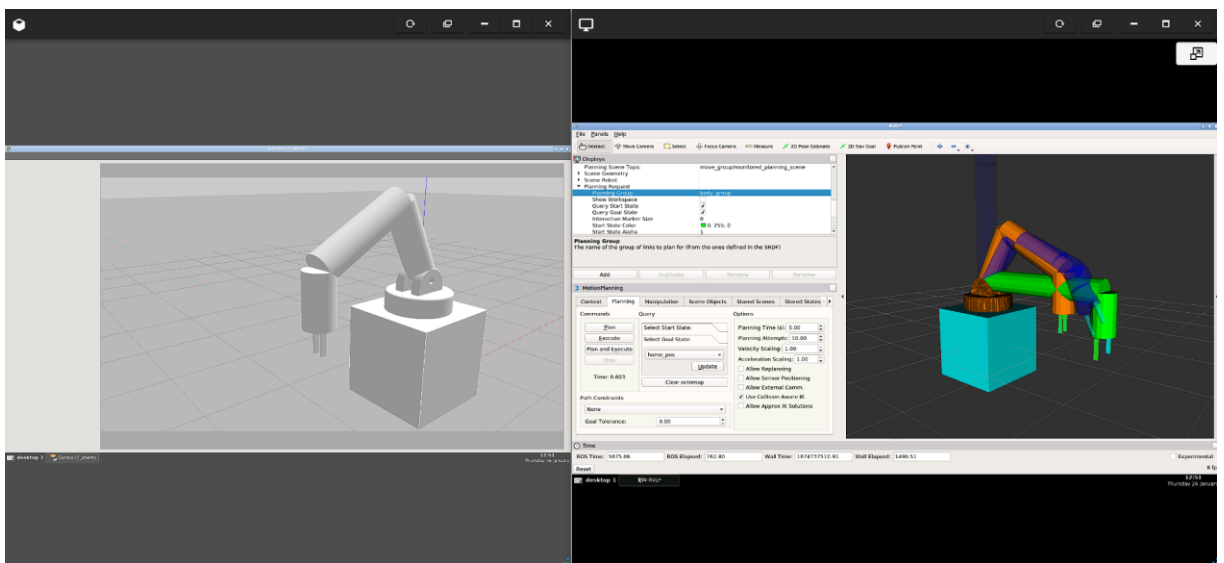
Σχεδίαση και Προσομείωση Αρθρωτού Ρομπωτικού Βραχίονα με χρήση ROS και MOVEIT



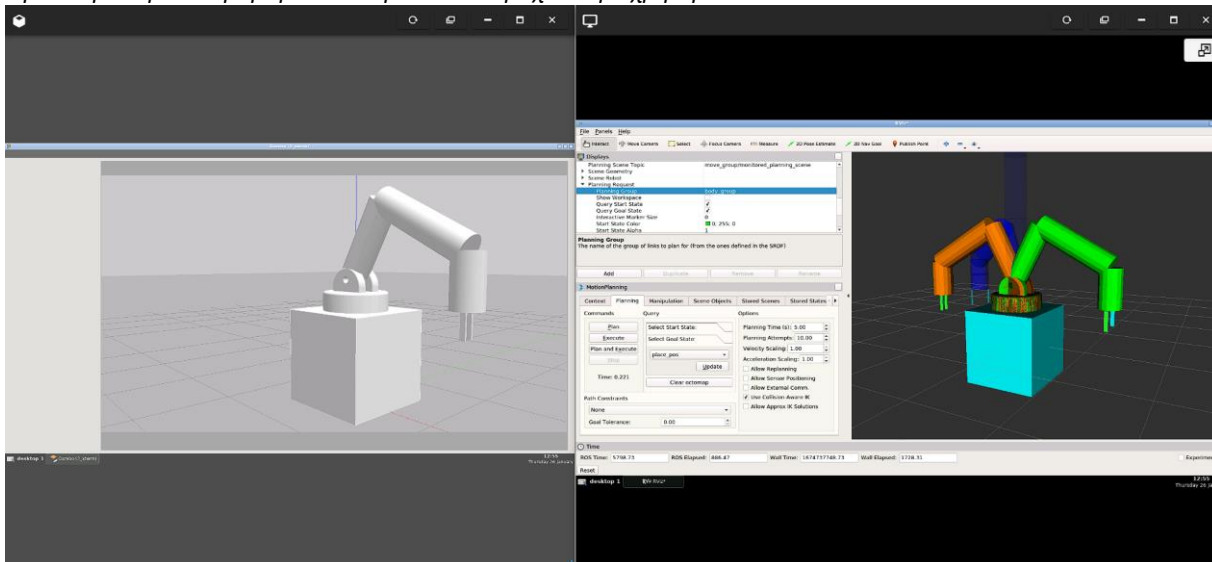
Εικόνα 11.44: "home_pos" > "pick_pos1"



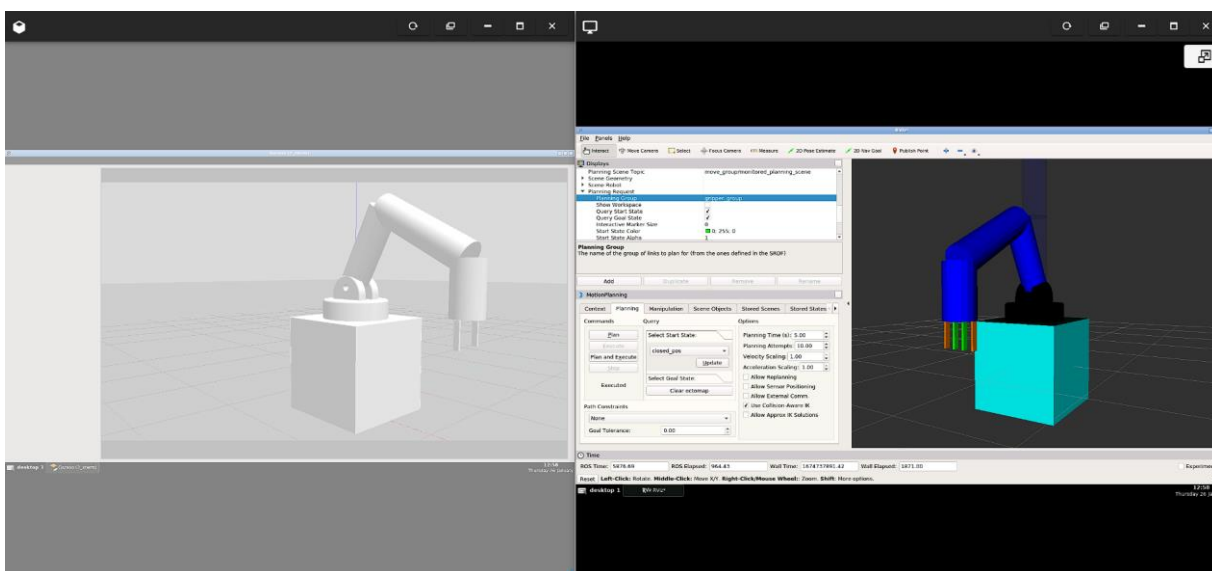
Εικόνα 11.45: "opened_pos" > "closed_pos"



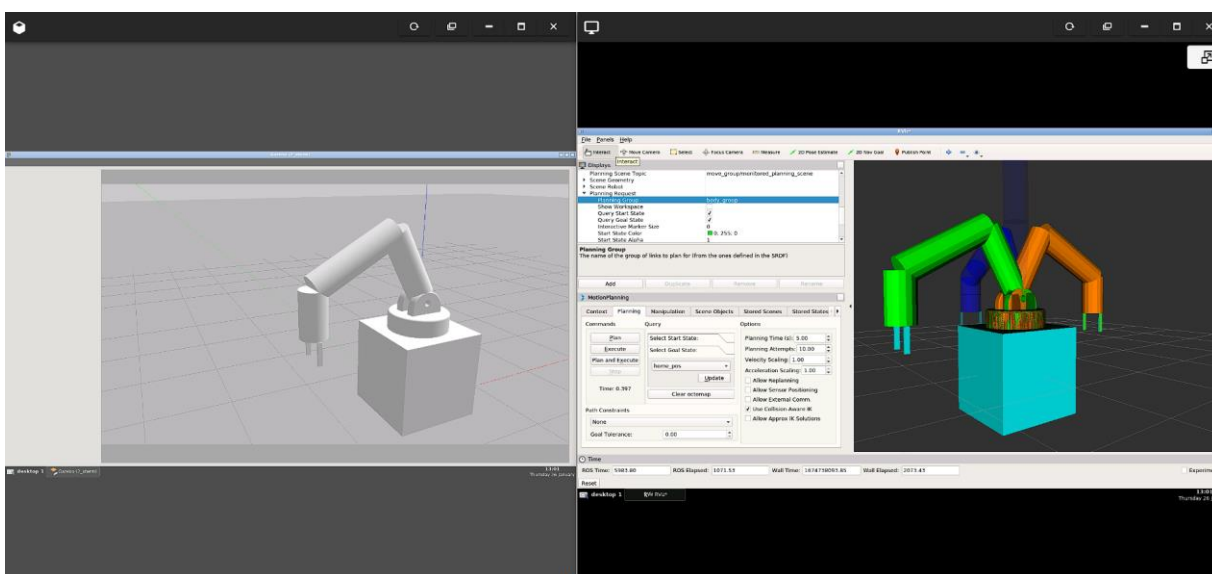
Εικόνα 11.46: "pick_pos1" > "home_pos"



Εικόνα 11.47: "home_pos" > "place_pos"



Εικόνα 11.48: "closed_pos" > "opened_pos"



Εικόνα 11.49: "place_pos" > "home_pos"

Όπως φαίνεται από το παραπάνω αποτέλεσμα το ρομπότ μεταφέρεται σε όλες τις θέσεις που του έχουν τεθεί. Αυτό όμως που πρέπει να τονιστεί είναι ότι ο τρόπος που κινείται από ένα σημείο σε ένα άλλο διαφέρει μεταξύ του Gazebo και του Rviz. Παρατηρείται στις εικόνες στο δεξιό μέρος τους ότι φαίνεται ο τρόπος που κινείται το ρομπότ με το μπλε διάφανο χρώμα, ο οποίος είναι ο υπολογισμένος τρόπος μετακίνησης. Στο Gazebo δεν γίνεται η ίδια κίνηση καθώς όπως και στο προηγούμενο ρομπότ δεν μπορεί να ενημερωθεί η «τωρινή» κατάσταση (current state) του ρομπότ ώστε στη πραγματικότητα να βρίσκεται κάθε φορά στη πράσινη θέση που φαίνεται στο Rviz. Αντιθέτως η τωρινή κατάσταση του ρομπότ κάθε φορά παραμένει στην “default_pos” θέση που είναι αυτή με τη οποία δομήθηκε το ρομπότ στο urdf, με αποτέλεσμα να κάνει αχρείαστα μεγάλε κινήσεις αφού θα επιστρέφει πάντα σε αυτό το σημείο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το Rviz δεν μπορεί να ενημερώσει το “Planning Scene Topic” το οποίο είναι υπεύθυνο για την δημιουργία της «σκηνής» που φαίνεται στο Rviz.

12 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12^ο : Επίλογος

12.1 Σύνοψη Κεφαλαίου

Το 12^ο κεφάλαιο συνοψίζει το έργο που εκπονήθηκε, επεξηγεί τα προβλήματα που προέκυψαν και την επίλυση τους, καταγράφει τα συμπεράσματα που εξάγονται και προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης.

12.2 Σύνοψη Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφει αναλυτικά το τρόπο λειτουργίας των ρομποτικών βραχιόνων. Περιγράφει τα χαρακτηριστικά, τα δομικά στοιχεία και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά αναγκαία για την λειτουργία αυτών των ρομποτικών συστημάτων. Το δεύτερο μέρος της επικεντρώνεται στην περιγραφή των βημάτων που ακολουθούνται για την δημιουργία ενός αρθρωτού ρομποτικού βραχίονα στο περιβάλλον του ROS και των περιφερειακών αρχείων που εξασφαλίζουν τη λειτουργικότητα του ώστε να μπορεί να γίνει εφικτός ο έλεγχος του ρομπότ μέσω των εργαλείων Rviz και MoveIt. Επίσης γίνεται υπολογισμός της κινηματικής του αρθρωτού ρομποτικού βραχίονα η οποία παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τη δυνατότητα του ρομπότ να μετακινεί το άκρο του στο χώρο. Έτσι γίνεται δυνατός ο προγραμματισμός του ρομπότ, ώστε να μετακινεί το άκρο του σε συγκεκριμένα σημεία και συγκεκριμένο προσανατολισμό για την εξυπηρέτηση μιας εργασίας Pick and Place.

12.3 Προβλήματα – Επίλυση

- ✚ Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας προέκυψαν διάφορα προβλήματα, κυρίως στη προσομοίωση του ρομπότ. Η δημιουργία των βασικών και των βοηθητικών αρχείων τα οποία χρειάστηκαν για τη δομή και τη λειτουργία του ρομποτικού βραχίονα, προκάλεσαν διάφορα μικροπροβλήματα. Ωστόσο η κοινότητα του ROS διαθέτει στο διαδίκτυο επαρκές βοηθητικό υλικό το οποίο συνέβαλε στην γρήγορη κατανόηση και επίλυση τους. Η δομή του αρχείου “mim.xacro”, του κύριου κώδικα της περιγραφή του ρομποτικού βραχίονα ήταν πιο πολύπλοκη από τα υπόλοιπα αρχεία καθώς περιλάμβανε τη τοποθέτηση του κάθε συνδέσμου και της κάθε άρθρωσης. Για αυτό η διαδικασία της περιγραφής του ρομπότ περιγράφεται αναλυτικά στην εργασία για τη πλήρης κατανόηση της.
- ✚ Βασικό πρόβλημα της εργασίας το οποίο δεν έχει επιλυθεί μέσα στη πλατφόρμα του MoveIt, είναι η προβληματική λειτουργία του Path Planning. Το Rviz δεν ενημερώνεται με την πραγματική (“current state”) κατάσταση του ρομποτικού βραχίονα στο GAZEBO. Αντιθέτως χρησιμοποιεί κάθε φορά ως «πραγματική» κατάσταση την αρχική (“default”) θέση του ρομποτικού βραχίονα, η οποία αντιστοιχεί στη θέση με τη οποία έχει δημιουργηθεί το ρομπότ στο αρχείο “mim.xacro”. Αφού έγινε έρευνα του προβλήματος στο διαδίκτυο, το κόλλημα εντοπίζεται στο γεγονός ότι το “Planning Scene Topic” του Rviz δεν διαβάζει (δεν κάνει “Subscribe”) τις σωστές πληροφορίες (“topic”) ή οι πληροφορίες που λαμβάνει δεν συμπεριλαμβάνουν τις νέες καταστάσεις των αρθρώσεων. Παρόλο τις προσπάθειες που έγιναν με σκοπό την επίλυση αυτού του προβλήματος μέσω της πλατφόρμας MoveIt, καμία δεν στάθηκε επιτυχής.

12.4 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

- Μέσα από αυτή την διαδικασία προσομοίωσης παρατηρείται πόσο διαφορετικά θα πρέπει να προσεγγιστεί το ρομπότ κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και πόσο μάλλον κατά την κατασκευή ενός ρομποτικού βραχίονα, σε σχέση με τη θεωρία του. Ωστόσο με τη κατάλληλη εμπειρία και γνώση μπορεί η προσομοίωση όπως και φαίνεται παραπάνω να αποβεί εξαιρετικά χρήσιμη στη δοκιμή ενός ρομπότ στο χώρο που έχει σχεδιαστεί να ενσωματωθεί. Μέσα από αυτή τη διαδικασία το ρομπότ αποκαλύπτει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του, τα οποία μπορεί να μην εντοπιστούν αρχικά και τα οποία μπορεί να προκαλούσαν προβλήματα στη περίπτωση που είχε γίνει απευθείας η εγκατάσταση του. Έτσι αποφεύγονται προβλήματα από άποψη κόστους, καταστροφής ή ζημιών του περιβάλλοντος ακόμα και του ίδιου του ρομπότ ή άλλων ρομπότ, τραυματισμών κ.α. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης έγινε εφικτή η κατάλληλη οριοθέτηση των αρθρώσεων του ρομπότ, του μήκους, της διαμέτρου και του βάρους του κάθε συνδέσμου του, για την καλύτερη λειτουργία του ρομπότ. Ως συμπέρασμα η χρήση της προσομοίωσης απέδωσε την κατάλληλη ανατροφοδότηση για τη βελτίωση της λειτουργίας του τελικού ρομπότ.
- Σχετικά με τα εργαλεία MoveIt και Rviz που χρησιμοποιήθηκαν, μπορεί να φανεί η περιπλοκότητα στη λειτουργία τους αλλά ταυτόχρονα και η εύκολη διαχείριση τους, η οποία προσφέρει καλού επιπέδου πρόσβαση στον χειριστή της και ειδικά σε άτομα που δεν έχουν ασχοληθεί τόσο σε βάθος με αυτά. Οι δυνατότητες τους φυσικά δεν σταματάνε εδώ καθώς υπάρχουν διάφορες λειτουργίες που δεν εξερευνήθηκαν σε αυτή την εργασία, αλλά υπάρχουν ώστε να σπρώξουν τα όρια ρεαλισμού τους σε σχέση με πραγματικές εφαρμογές σε μεγαλύτερο επίπεδο.
- Η σχεδίαση του ρομποτικού βραχίονα του τελευταίου κεφαλαίου ακολουθεί τη δομή διάφορων παραδειγμάτων ρομποτικών βραχιόνων που δημιουργήθηκαν με το ROS. Η σχεδίαση ενός πραγματικού ρομποτικού βραχίονα είναι πιο πολύπλοκη σε σχέση με αυτή που έγινε σε αυτήν τη εργασία. Αυτό συμβαίνει καθώς τα σχήματα των συνδέσμων και του τελικού στοιχείου δράσης δεν είναι απλοί κύλινδροι ή κουτιά ενώ η δομή και η τοποθεσία του κάθε συνδέσμου μπορεί να διαφέρει. Αυτό όμως δεν επηρεάζει άμεσα τη ποιότητα της προσομοίωσης καθώς χρήσιμες πληροφορίες όπως οι πιθανότητες σύγκρουσης του ρομπότ με το σώμα του και το περιβάλλον μπορούν να υπολογιστούν. Ωστόσο η προσομοίωση μπορεί να προσαρμοστεί στο αντίστοιχο ρομπότ μέσω ειδικών λειτουργιών.
- Οι υπολογισμοί της Κινηματικής του ρομποτικού συστήματος εξυπηρέτησαν παράγοντες κατανόησης της λειτουργίας των κινήσεων του ρομπότ. Γνωρίζοντας τη κινηματική του ρομποτικού βραχίονα είναι μια πολύ καλή βάση ώστε να γίνει χρήση του ρομποτικού βραχίονα, όπως έγινε με τη διαδικασία του Motion Planning ή Path Planning, εφόσον παρόμοια διαδικασία ακολουθείτε για κάθε βήμα της διαδρομής του ρομπότ προς τη τελική θέση. Ωστόσο υπάρχουν επιπλέον υπολογισμοί οι οποίοι αποδίδουν επιπλέον πληροφορίες για το ρομποτικό βραχίονα και τον τρόπο που μπορούν να κινηθούν.

12.5 Προτάσεις Μελλοντικής Εξέλιξης

1. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που θα μπορούσε η προσομοίωση του ρομποτικού βραχίονα που δημιουργήθηκε σε αυτή την εργασία να βελτιωθεί. Ένας τρόπος θα ήταν να συμπεριληφθούν μέσα στη προσομοίωση διάφορα περιφερειακά τα οποία μπορεί να υπάρχουν σε ένα χώρο που εργάζεται ένας ρομποτικό βραχίονας.
2. Επίσης, μπορούν να δημιουργηθούν αντικείμενα σε κατάλληλο σχήμα ώστε να μπορούν να ληφθούν από την αρπάγη. Ωστόσο θα μπορούσαν να δημιουργηθούν επιπλέον είδη αρπάγης με σκοπό να μπορεί να βραχίονας να χειριστεί αντικείμενα με πιο περίπλοκα σχήματα. Επίσης θα μπορούσε να συμπεριλαμβάνει στα σημεία που έχει προγραμματιστεί να μεταφέρει το άκρο του, κάποια σταθερή δομή, ταινιόδρους κτλ. ώστε να υπάρχουν συγκεκριμένες θέσεις που θα πρέπει το αντικείμενο να ληφθεί και να μεταφερθεί.
3. Ένας δεύτερος τρόπος εξέλιξης είναι να κατασκευαστεί ένας αρθρωτός ρομποτικός βραχίονας με έξι βαθμούς ελευθερίας. Να ακολουθεί τη δομή του ρομποτικού βραχίονα που προσομοιώθηκε σε αυτή την εργασία, με σκοπό τον έλεγχο του φυσικού βραχίονα μέσω των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της προσομοίωσης.
4. Ένας άλλος τρόπος εξέλιξης είναι να προσδιοριστεί μια επιθυμητή τροχιά της οποίας κάθε σημείο μπορεί να υπολογιστεί μέσω της Αντίστροφης Κινηματικής. Με αυτό τον τρόπο γίνεται πιο συγκεκριμένη η κίνηση του ρομπότ από το σημείο έναρξης στο τελικό σημείο, όπως για παράδειγμα μια (ημι)-κυκλική τροχιά ή τροχιά ευθείας γραμμής. Αλλιώς μπορεί η τροχιά να υπολογιστεί σε στόχο την πιο απλή κίνηση που χρειάζεται το ρομπότ να πραγματοποιήσει για να φτάσει από το ένα σημείο στο άλλο. Σε αυτή την περίπτωση χρειάζεται η επαρκής κατανόηση του καρτεσιανού χώρου (Cartesian Space) και του χώρου που ονομάζεται Configuration ή Joint Space, ο οποίος σχετίζεται με τα εύρη περιστροφής (ή μεταφοράς) των αρθρώσεων. Για τη μετατροπή ενός σημείου από το “Cartesian” στον “Configuration” χώρο χρησιμοποιείται όπως στη πρώτη περίπτωση η Αντίστροφης Κινηματική, ενώ για μετατροπή από το “Configuration” στον “Cartesian” χώρο χρησιμοποιείται η Ευθεία Κινηματική.
5. Επίσης, η διερεύνηση της εφαρμογής ευφυούς ελέγχου του ρομποτικού βραχίονα μέσω μεθοδολογιών Υπολογιστικής Νοημοσύνης παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλο ενδιαφέρον [9].
6. Τέλος, λόγω της ραγδαίας εξέλιξης των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks) και της διείσδυσης τους σε ολοένα αυξανόμενο πλήθος τομέων της ανθρώπινης δραστηριότητας [53-55], η μελέτη της συνέργειας των ρομπότ με αισθητήριους κόμβους Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων για την λήψη δεδομένων [56-58] από το χώρο εργασίας των ρομπότ καθώς και η ανάπτυξη αλγορίθμων βελτιστοποίησης [59-64] της συνέργειας αυτής συναποτελούν ακόμα ένα ενδιαφέρον αντικείμενο εξέλιξης αυτής της εργασίας.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές.

1. “Ρομποτική”, Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%BF%CE%BC%CF%80%CE%BF%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE>. [Προσβασιμότητα από: 13 Φεβρουαρίου 2022].
2. “The Top Seven Types of Robots”, SP Automation & Robotics. [Online]. Διαθέσιμο: <https://sp-automation.co.uk/the-top-seven-types-of-robots/>. [Προσβασιμότητα από : Μάρτιος 2022].
3. “Industrial Robots”, International Federation of Robotics. [Online]. Διαθέσιμο: <https://ifr.org/industrial-robots>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
4. “A Complete Guide to Robotic Arms”, RS. [Online]. Διαθέσιμο: <https://uk.rs-online.com/web/content/discovery/ideas-and-advice/robotic-arms-guide>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
5. Α. Μηλεούνης, «Ανάπτυξη Συστήματος Βασισμένο σε Γνώση για το Σχεδιασμό Ρομποτικής Κυψέλης», Διπλωματική, Τμήμα Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2010.
6. P. Kosioris, D. Kandris, Design, Development and Control of a Five Degrees of Freedom Electro-Pneumatic Robotic Arm, pp. 354-357, in Proceedings of the 2005 WSEAS International Conference on Engineering Education, July 2005, Athens, Greece.
7. “Οι Ρομποτικές Εφαρμογές σε διάφορους τομείς του Σύγχρονου Κόσμου”, Γενικό λύκειο Αυλωναρίου. [Online]. Διαθέσιμο: http://lyk-avlon.eyv.sch.gr/attachments/article/356/Part_2.pdf. [Προσβασιμότητα από: 17 Ιανουαρίου 2022].
8. “What are the Parts and Components of Industrial Robots?”, EVS. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.evsint.com/parts-and-components-of-industrial-robots/>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
9. Korovesis, N., Kandris, D., Koulouras, G., & Alexandridis, A. (2019). Robot motion control via an EEG-based brain–computer interface by using neural networks and alpha brainwaves. *Electronics*, 8(12), 1387.
10. "Types of Robot Joints: A Detailed Guide», EVS. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.evsint.com/types-of-robot-joints/>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
11. "What you need to know about Articulated Robots”, DIY Robotics. [Online]. Διαθέσιμο: <https://diy-robotics.com/blog/articulated-robots/>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
12. “What you should know about Cartesian Robots”, DIY Robotics. [Online]. Διαθέσιμο: <https://diy-robotics.com/blog/what-you-should-know-about-cartesian-robot/>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
13. “What is a Cartesian Robot?”, D. Collins. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.linearmotiontips.com/what-is-a-cartesian-robot/>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
14. "The Benefits and Applications of Cartesian Robots”, AMMC. [Online]. Διαθέσιμο: <https://ammc.com/the-benefits-and-applications-of-cartesian-robots/>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
15. "Everything you need to know about SCARA Robots”, DIY Robotics. [Online]. Διαθέσιμο: <https://diy-robotics.com/blog/scara-robots/>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].

16. "End Effectors: Grippers and Tools", BrainKart. [Online]. Διαθέσιμο: https://www.brainkart.com/article/End-Effectors--Grippers-and-Tools_6411/. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
17. "End Effector for Robots – Definition/Types/Applications", HVRMAG. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.hvrmagnet.com/blog/end-effector-for-robot-definition-types-applications/>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
18. "8 Types of End of Arm Tooling Devices for Automatic Projects", Keller Technology Corporation. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.kellertechnology.com/blog/8-types-of-end-of-arm-tooling-devices-for-automation-projects/>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
19. "Ten popular Industrial Robot Applications", M. Shake. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.jabil.com/blog/ten-popular-industrial-robot-applications.html>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
20. "What are sensors on a robot and why are sensors important to robots", Ashlin. [Online]. Διαθέσιμο: <https://automationforum.co/what-are-sensors-on-a-robot-and-why-are-sensors-important-to-robots/>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
21. "Sensors in Robotics", BrainKart. [Online]. Διαθέσιμο: https://www.brainkart.com/article/Sensors-in-Robotics_6412/. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
22. "Robot Control Systems", BrainKart. [Online]. Διαθέσιμο: https://www.brainkart.com/article/Robot-Control-Systems_6410/. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
23. "Four types of robot control", BrainKart. [Online]. Διαθέσιμο: https://www.brainkart.com/article/Four-types-of-robot-control_5131/. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
24. "Point-to-Point Robot Control", Industrial Electronics. [Online]. Διαθέσιμο: https://www.industrial-electronics.com/industrial-electricity-com/9_Point-to-Point_Robot_Control.html. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
25. "Continuous Path Control", Industrial Electronics. [Online]. Διαθέσιμο: https://www.industrial-electronics.com/industrial-electricity-com/10_Continuous-Path_Control.html. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
26. A. Figueroa, "How AI is helping to improve Robotic Arms", Rootstrap. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.rootstrap.com/blog/how-ai-is-helping-to-improve-robotic-arms/>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
27. A. Dattalo, "ROS/Introduction", ROS.org. [Online]. Διαθέσιμο: <http://wiki.ros.org/ROS/Introduction>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
28. "What is ROS/What is ROS 2/Who use ROS", Ubuntu. [Online]. Διαθέσιμο: <https://ubuntu.com/robotics/what-is-ros>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
29. "List of moments of inertia", Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_moments_of_inertia. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
30. "Specifying Custom Inertias", MathWorks. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.mathworks.com/help/releases/R2021b/physmod/sm/ug/specify-custom->

- inertia.html#mw_b043ec69-835b-4ca9-8769-af2e6f1b190c. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
31. D. Lu, “Adding Physical and Collision Properties to a URDF Model”, ROS.org. [Online]. Διαθέσιμο: <http://wiki.ros.org/urdf/Tutorials/Adding%20Physical%20and%20Collision%20Properties%20to%20a%20URDF%20Model>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
 32. I. Pankov, “Urdf/XML/joint”, ROS.org. [Online]. Διαθέσιμο: <http://wiki.ros.org/urdf/XML/joint>. [Προσβασιμότητα από: 17 Ιουνίου 2022].
 33. J. Gelsvartas, “Urdf/XML/Transmission”, ROS.org. [Online]. Διαθέσιμο: <http://wiki.ros.org/urdf/XML/Transmission>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
 34. S. Peters, “Urdf/XML/link”, ROS.org. [Online]. Διαθέσιμο: <http://wiki.ros.org/urdf/XML/link>. [Προσβασιμότητα από: 19 Απριλίου 2022].
 35. Rhaschke, “Xacro”. ROS.org. [Online]. Διαθέσιμο: <http://wiki.ros.org/xacro>. [Προσβασιμότητα από: 3 Μαρτίου 2022].
 36. ROSIN Ljubljana, “Describing robots with URDF”, GitHub. [Online]. Διαθέσιμο: <https://web.fs.uni-lj.si/lampa/rosin/ROS%20Summer%20School/Day%204/urdf/>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
 37. “Using the robot state publisher on your own robot”, ROSwiki. [Online]. Διαθέσιμο: [http://library.isr.ist.utl.pt/docs/roswiki/robot_state_publisher\(2f\)Tutorials\(2f\)Using\(20\)the\(20\)robot\(20\)state\(20\)publisher\(20\)on\(20\)your\(20\)own\(20\)robot.html](http://library.isr.ist.utl.pt/docs/roswiki/robot_state_publisher(2f)Tutorials(2f)Using(20)the(20)robot(20)state(20)publisher(20)on(20)your(20)own(20)robot.html). [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
 38. “Sensor_msgs/JointState Message”, ROS Docs. [Online]. Διαθέσιμο: http://docs.ros.org/en/noetic/api/sensor_msgs/html/msg/JointState.html. [Προσβασιμότητα από: 2 Μαρτίου 2022].
 39. S. Jagadeeshan, “Joint_state_publisher”, ROS.org. [Online]. Διαθέσιμο: http://wiki.ros.org/joint_state_publisher. [Προσβασιμότητα από: 10 Οκτωβρίου 2022].
 40. H. Deeken, “Joint Position Controller”, ROS.org. [Online]. Διαθέσιμο: http://wiki.ros.org/robot_mechanism_controllers/JointPositionController. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
 41. Y. Okada, “Controller_manager”, ROS.org. [Online]. Διαθέσιμο: http://wiki.ros.org/controller_manager. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
 42. DD. Mathieu, “P, I (AND D) GAINS IN A NUTSHELL”, FliteTest. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.flitetest.com/articles/p-i-and-sometimes-d-gains-in-a-nutshell>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
 43. R. We, “PID_tuning”, ROS.org. [Online]. Διαθέσιμο: http://wiki.ros.org/pid_tuning. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
 44. Z. Xia, J. Xiong, S. Weng, H. Deng et al. “Manipulation Task Simulation using ROS and Gazebo”, Chinese Academy of Sciences., China, DOI: 10.1109/ROBIO.2014.7090732, 2014.
 45. “Concepts”, PickNik Robotics. [Online]. Διαθέσιμο: <https://moveit.ros.org/documentation/concepts/>. [Προσβασιμότητα από: 23 Φεβρουαρίου 2023].

46. "Pr2_moveit_tutorials documentation", SRI International. [Online]. Διαθέσιμο: http://docs.ros.org/en/indigo/api/pr2_moveit_tutorials/html/planning/scripts/doc/move_group_python_interface_tutorial.html. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
47. S. Hernandez-Mendez, C. Maldonado-Mendez, et al. "Design and Implementation of a Robotic Arm using ROS and MoveIt!", στη ROPEC 2017, Ixtapa, Μεξικό.
48. "Robot Denavit-Hartenberg (DH) Parameters", Duet3D. [Online]. Διαθέσιμο: https://docs.duet3d.com/User_manual/Machine_configuration/Configuring_Robot_DH_parameters. [Προσβασιμότητα από: 24 Φεβρουαρίου 2023].
49. A. Owen-Hill, "How to Calculate a Robot's Forward Kinematics in 5 Easy Steps", Robotiq. [Online]. Διαθέσιμο: <https://blog.robotiq.com/how-to-calculate-a-robots-forward-kinematics-in-5-easy-steps>. [Προσβασιμότητα από: 26 Μαΐου 2022].
50. S. Kucuk, Z. Bingul (2006). "Robot Kinematics: Forward and Inverse Kinematics", Industrial Robotics: Theory, Modelling and Control, Sam Cubero (Ed.), ISBN: 3-86611-285-8, InTech, Available from: http://www.intechopen.com/books/industrial_robotics_theory_modelling_and_control/robot_kinematics_forward_and_inverse_kinematics
51. "Transformation matrix from D-H Parameters", Prajankya Sonar. [Online]. Διαθέσιμο: <https://prajankya.me/dh/>. [Προσβασιμότητα από: 20 Φεβρουαρίου 2023].
52. A. Gaschler, "3D Rotation Converter", GitHub. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.andre-gaschler.com/rotationconverter/>. [Προσβασιμότητα από: 24 Φεβρουαρίου 2023].
53. Kandris, D., Nakas, C., Vomvas, D., & Koulouras, G. (2020). Applications of wireless sensor networks: an up-to-date survey. *Applied System Innovation*, 3(1), 14.
54. Pantazis, Nikolaos A., et al. An automated system for integrated service management in emergency situations. In: *2011 15th Panhellenic Conference on Informatics*. IEEE, 2011. p. 154-157.
55. Papadakis, Nikos, et al. "An IoT-based participatory antitheft system for public safety enhancement in smart cities." *Smart Cities* 4.2 (2021): 919-937.
56. Nikolakopoulos, G., Kandris, D., & Tzes, A. (2010). Adaptive compression of slowly varying images transmitted over wireless sensor networks. *Sensors*, 10(8), 7170-7191.
57. Kandris, D., Tsagkaropoulos, M., Politis, I., Tzes, A., & Kotsopoulos, S. (2011). Energy efficient and perceived QoS aware video routing over wireless multimedia sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 9(4), 591-607.
58. Nikolakopoulos, George, et al. "A dual scheme for compression and restoration of sequentially transmitted images over Wireless Sensor Networks." *Ad hoc networks* 11.1 (2013): 410-426.
59. Kandris, D., Tselikis, G., Anastasiadis, E., Panaousis, E., & Dagiuklas, T. (2017). COALA: a protocol for the avoidance and alleviation of congestion in wireless sensor networks. *Sensors*, 17(11), 2502.
60. Ploumis, S. E., et al. Congestion avoidance in wireless sensor networks: A survey. In: *2012 16th Panhellenic Conference on Informatics*. IEEE, 2012. p. 234-239.
61. Kandris, D., Alexandridis, A., Dagiuklas, T., Panaousis, E., & Vergados, D. D. (2020). Multiobjective optimization algorithms for wireless sensor networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020, 1-5.

62. Kandris, D., Vergados, D. J., Vergados, D. D., & Tzes, A. (2010, August). A routing scheme for congestion avoidance in wireless sensor networks. In *Proceedings of the 6th Annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE 2010), Toronto, ON, Canada* (pp. 21-24).
63. Nakas, C., Kandris, D., & Visvardis, G. (2020). Energy efficient routing in wireless sensor networks: A comprehensive survey. *Algorithms*, 13(3), 72.
64. Evangelakos, E. A., Kandris, D., Rountos, D., Tselikis, G., & Anastasiadis, E. (2022). Energy Sustainability in Wireless Sensor Networks: An Analytical Survey. *Journal of Low Power Electronics and Applications*, 12(4), 65.