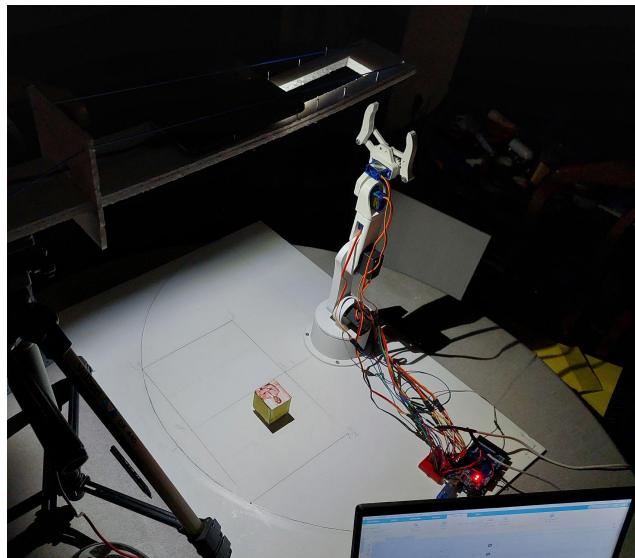




**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής**  
**Σχολή Μηχανικών**  
**Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και**  
**Παραγωγής**



**“ΣΧΕΔΙΑΣΗ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗ  
ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ  
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΟΡΑΣΗΣ”**

---

**Κωνσταντίνος Παγώνης**

Φοιτητής, Α.Μ.: 18389212

**Ζαχαρία Παρασκευή**

Επιβλέπουσα, Επίκουρη Καθηγήτρια

---

**Αιγάλεω-Αθήνα, 2023**

## Δήλωση συγγραφέα διπλωματικής εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Κωνσταντίνος Παγώνης** του **Δημητρίου**, με αριθμό μητρώου **18389212** φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής **Μηχανικών** του Τμήματος **Μηχανικών Βιομηχανικής σχεδίασης και παραγωγής**, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/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 πτυχίου μου».

Ο Δηλών

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΑΓΩΝΗΣ



### Επιτροπή αξιολόγησης διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την παρακάτω αναφερόμενη εξεταστική επιτροπή:

No	Όνοματεπώνυμο	Ψηφιακή Υπογραφή
1	<b>Παρασκευή Ζαχαρία</b>	
2	<b>Αβραάμ Χατζόπουλος</b>	
3	<b>Μιχαήλ Παπουτσιδάκης</b>	

## *Ευχαριστίες*

*Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, στο τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2022-2023.*

*Θα ήθελα να εκφράσω την αμέριστη ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένεια μου και τους φίλους μου, που πίστεψαν σε μένα αλλά και που με στήριζαν όλα αυτά τα χρόνια, ο κάθε ένας με τον δικό του τρόπο.*

*Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ανδρέα Κάνταρο για την υποστήριξη στο κομμάτι της τρισδιάστατης εκτύπωσης αλλά και την κα. Παρασκευή Ζαχαρία που με βοήθησε να ολοκληρώσω επιτυχώς την διπλωματική μου.*

**“Η μόρφωση είναι το πιο ισχυρό όπλο...  
... για να αλλάξεις τον κόσμο”  
-Νέλσον Μαντέλα**



## Περίληψη

Η σύγχρονη και αυτοματοποιημένη παραγωγική διαδικασία προϋποθέτει την γρήγορη και την εύκολη προσαρμογή στον εκάστοτε παραγωγικό στόχο. Συνεπώς, οι σημερινές βιομηχανίες ενσωματώνουν στην παραγωγή τους, ρομπότ με τεχνητή νοημοσύνη που κατέχουν την δυνατότητα να "δουν" τον χώρο εργασίας τους και να πράξουν αναλόγως την κατάσταση. Ταυτόχρονα, με λογισμικά προσομοίωσης, οι χειριστές μπορούν να προγραμματίσουν το ρομπότ και να το δοκιμάσουν πρώτα σε ψηφιακό περιβάλλον, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα σφάλματος αλλά και του απαιτούμενου χρόνου επαναπρογραμματισμού του.

Η εργασία αυτή μελετά τον σχεδιασμό, την κατασκευή και την προσομοίωση ενός ρομποτικού βραχίονα ο οποίος έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες που λαμβάνει από το περιβάλλον του μέσω μηχανικής όρασης.

Οι στόχοι αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι:

1. Η μελέτη του σχεδιασμού του ρομποτικού βραχίονα με μηχανική όραση.
2. Η κατασκευή ενός ρομποτικού βραχίονα με 5 βαθμούς ελευθερίας
3. Η μελέτη της κίνησης του ρομποτικού βραχίονα μέσω προσομοίωσης.
4. Η ανάπτυξη αλγορίθμου μηχανικής όρασης που θα αναγνωρίζει και θα εντοπίζει τον "στόχο" που πρέπει να πιάσει ο ρομποτικός βραχίονας

### ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

Ρομποτική, Μηχανική Όραση, 3D σχεδίαση, 3D εκτύπωση, Κινηματική, Μικροελεγκτές, Matlab, Arduino, solidworks

## **Abstract**

The modern and automated production process requires quick and easy adaptation to the respective production goal. Therefore, today's industries are incorporating into their production, robots with artificial intelligence that have the ability to "see" their workplace and act accordingly. At the same time, with logistic simulation, operators can program the robot and test it digitally first, thus reducing the possibility of error and the time required to reprogram it.

This paper studies the design, fabrication and simulation of a robotic arm that has the ability to use the information it receives from its environment through machine vision.

The objectives of this thesis are:

1. The study of the design of the robotic arm with Computer Vision.
2. The construction of a robotic arm with 5 degrees of freedom
3. The study of the movement of the robotic arm through simulation.
4. The development of a machine vision algorithm that will recognize and locate the "target" that the robotic arm must grasp.

### **KEY WORDS:**

Robotics, Machine Vision, 3D Design, 3D Printing, Kinematics, Microcontrollers, Matlab, Arduino, solidworks

## Πίνακας Περιεχομένων:

<b>Δήλωση συγγραφέα διπλωματικής εργασίας</b>	<b>2</b>
<b>Επιτροπή αξιολόγησης διπλωματικής</b>	<b>3</b>
<b>Ευχαριστίες</b>	<b>4</b>
<b>Περίληψη</b>	<b>5</b>
<b>Abstract</b>	<b>6</b>
<b>Πίνακας Περιεχομένων:</b>	<b>7</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή:</b>	<b>9</b>
1.1 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας	9
1.2 Σκοπός διπλωματικής εργασίας	10
1.3 Μεθοδολογία	11
1.4 Δομή διπλωματικής εργασίας	11
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Θεωρητικό Υπόβαθρο:</b>	<b>13</b>
2.1 Τεχνητή νοημοσύνη:	13
2.1.1 Ιστορική αναδρομή:	13
2.1.2 Ορισμός:	15
2.1.3 Τύποι:	17
2.1.4 Τομείς εφαρμογής:	19
2.1.5 Υποκατηγορίες:	21
2.1.5.1 Μηχανική μάθηση (Machine learning)	21
2.1.5.2 Βαθιά εκμάθηση (Deep learning)	23
2.1.5.3 Ρομποτική (Robotics)	25
2.1.5.4 Νευρωνικά δίκτυα (Neural networks)	25
2.1.5.5 Επεξεργασία φυσικής γλώσσας (NLP, Natural Language Processing)	26
2.1.5.6 Γενετικοί αλγόριθμοι (Genetic algorithms)	26
2.1.6 Εμβαθυνση στην μηχανική όραση:	27
2.1.6.1 Συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (CNN, Convolutional Neural Network)	29
2.1.6.2 Το YOLO συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (YOLO CNN)	33
2.1.6.3 Επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο (RNN, Recurrent Neural Network):	34
2.2 Ρομποτική:	35
2.2.1 Εισαγωγή:	35
2.2.2 Ιστορική αναδρομή:	35
2.2.3 Βιομηχανικά Ρομπότ:	39
2.2.3.1 Πλεονεκτήματα	40
2.2.3.2 Εφαρμογές	45
2.2.4 Τύποι:	49
2.2.5 Χαρακτηριστικά:	52
2.2.6 Κινηματική:	55
2.2.6.1 Ευθεία κινηματική (Forward kinematics)	58

2.2.6.2 Αντίστροφη κινηματική (Inverse kinematics)	61
2.3 Τρισδιάστατη (3D) σχεδίαση - CAD (Computer Aided Design):	62
2.3.1 Ιστορική αναδρομή:	62
2.3.2 Εισαγωγή:	63
2.3.3 Μελλοντική εξέλιξη:	64
2.4 Τρισδιάστατη (3D) εκτύπωση:	64
2.4.1 Ιστορική αναδρομή:	64
2.4.2 Εισαγωγή:	66
2.4.3 Τεχνικές εκτύπωσης:	67
2.5 Μικροελεγκτές (Microcontrollers):	69
2.5.1 Ιστορική αναδρομή:	69
2.5.2 Εισαγωγή:	70
2.5.3 Τύποι:	71
2.5.4 Βασική δομή:	72
2.5.5 Arduino:	74
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Υλοποίηση κατασκευής:</b>	<b>78</b>
3.1 Εισαγωγή:	78
3.2 Υλικά και λογισμικά:	79
3.2.1 Υλικά:	79
3.2.2 Λογισμικά:	80
3.3 Τρισδιάστατο (3D) σχέδιο:	81
3.4 Τρισδιάστατη (3D) εκτύπωση:	87
3.5 Κύκλωμα arduino:	90
3.6 Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα και βοηθητικών κομματιών:	93
3.7 Κινηματικό πρόβλημα:	97
3.7.1 Ευθύ κινηματικό πρόβλημα:	97
3.7.2 Αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα:	101
3.8 Προσομοίωση Matlab:	107
3.8.1 Επεξήγηση:	107
3.8.2 Εικόνες:	108
3.9 Αλγόριθμος Matlab:	109
3.9.1 Επεξήγηση:	109
3.9.2 Εικόνες:	111
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Αποτελέσματα-Συμπεράσματα:</b>	<b>125</b>
<b>Βιβλιογραφία:</b>	<b>127</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή:

## 1.1 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας, είναι τα σύγχρονα βιομηχανικά ρομποτικά συστήματα που αξιοποιούν τις δυνατότητες που προσφέρει η μηχανική όραση. Βιομηχανικό ρομπότ ονομάζουμε την μηχανή που μπορεί να εκτελέσει αυτόματα εργασίες βιομηχανικής παραγωγής. Η μηχανή αυτή έχει την δυνατότητα να δέχεται εντολές, να εκτελεί λειτουργίες αντίστοιχες με βάση τον προγραμματισμό του αλλά και να λειτουργεί σύμφωνα με τις αρχές της τεχνολογίας τεχνητής νοημοσύνης. Οι κύριες εργασίες που πραγματοποιούν είναι η συναρμολόγηση, η απόκτηση, η τοποθέτηση, η επιθεώρηση και η δοκιμή προϊόντων. Αυτές οι εργασίες είναι δυνατόν να υλοποιηθούν από ένα βιομηχανικό ρομπότ χάρη στην ικανότητα τους να ανιχνεύσουν και να αναγνωρίσουν τους στόχους τους. Πολλές φορές στις σύγχρονες βιομηχανίες, η βάση για την πραγματοποίηση των παραπάνω λειτουργιών είναι το σύστημα όρασης του ρομπότ, το οποίο πραγματοποιεί την οπτική λειτουργία του ρομπότ μέσω ενός υπολογιστή και μιας κάμερας, επιτρέποντας στο ρομπότ να αναγνωρίσει διάφορα αντικείμενα. Γίνεται εύκολα αντιληπτό λοιπόν ότι παίζει πάρα πολύ σημαντικό ρόλο το σύστημα όρασης στην εξέλιξη και στην βελτίωση της απόδοσης των βιομηχανικών ρομποτικών συστημάτων. Τα εν λόγω συστήματα όρασης για ρομπότ χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και αναγνώριση στόχων και εργασιών. Η βασική τεχνολογία των βιομηχανικών συστημάτων όρασης είναι η επιστήμη της μηχανικής όρασης.

Τα τελευταία περίπου είκοσι χρόνια, οι βιομηχανικοί αυτοματισμοί έχουν εξελιχθεί σε ένα πιο προσαρμόσιμο και προγραμματιζόμενο αυτοματισμό με την βοήθεια των νέων τεχνολογιών που μπαίνουν στις βιομηχανίες. Χάρη στον συνδυασμό διάφορων τομέων όπως είναι ο τομέας των ηλεκτρονικών, των μηχανικών αλλά και των συστημάτων ελέγχου που βασίζονται στην μηχανική όραση έχει υποκαταστήσει την χειρωνακτική εργασία, δηλαδή τους ανθρώπους. Διάφοροι λόγοι, όπως ο ανθρώπινος παράγοντας, η παραγωγικότητα, η διαχείριση και το εργασιακό περιβάλλον, οδηγούν τα ρομπότ στο να αντικαθιστούν σταδιακά τους ανθρώπους για να εκτελούν τις εργασίες με ευελιξία, ακρίβεια και ασφάλεια. Οι εργασίες όπως η συναρμολόγηση και η αποσυναρμολόγηση ενός εξαρτήματος μηχανής, η τακτοποίηση μεγάλων ποσοτήτων αγαθών απαιτούν μεγάλη προσπάθεια από τον ανθρώπινο παράγοντα για να πραγματοποιηθεί και συνεπώς είναι προτιμότερο να πραγματοποιηθούν αυτές οι εργασίες από ένα ρομπότ. Επίσης, οι διάφορες εργασίες που πραγματοποιούνται σε μία βιομηχανία μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τους ανθρώπους εξαιτίας της έκθεσης σε επικίνδυνα περιβάλλοντα, όπως για παράδειγμα οι κίνδυνοι που απορρέουν των βιομηχανικών μηχανημάτων όπως είναι οι μηχανές κοπής μπιλιέτας, σφράγιση από κυματοειδές σίδηρο, τórνευση, βαριά δοχεία χημικών, λαβές και ισοπέδωση εμβρύων κατά τη συγκόλληση. Επομένως, οι εργασίες αυτές πρέπει να πραγματοποιούνται από ένα ευφυές ρομπότ.

Συνήθως, το βιομηχανικό ρομπότ χρησιμοποιείται για την εκτέλεση των μονότονων και επαναλαμβανόμενων εργασιών επιλογής και τοποθέτησης, για παράδειγμα, τοποθέτηση εξαρτημάτων από και προς έναν μεταφορικό ιμάντα, διαχείριση μηχανημάτων υπολογιστικού αριθμητικού ελέγχου (CNC), στοίχιση των εξαρτημάτων και εκφόρτωση τους από τα

μηχανήματα. Τις τελευταίες δεκαετίες τα βιομηχανικά ρομπότ έχουν αποδείξει ότι αποτελούν πολλαπλασιαστής της προστιθέμενης αξίας. Επιπλέον, ρυθμίζει το ρυθμό των εργασιών για την ενίσχυση του ρυθμού παραγωγής. Πλέον, εδώ και πολλά χρόνια τα ρομποτικά συστήματα χρησιμοποιούνται για να αυτοματοποιήσουν και να δημιουργήσουν ένα πιο ευέλικτο σύστημα παραγωγής προϊόντων. Τα ρομπότ αυτά με την χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), αυξάνουν τις δυνατότητες τους και συνεπώς αυτά, έχουν μεγάλη ζήτηση τα τελευταία χρόνια. Χάρη σε αυτά έχουν λύσει το ζήτημα των ακριβών εργατικών χεριών. Επιπροσθέτως, με αυτά τα προηγμένα ρομπότ, μπορούν να εκπληρώνουν και να ικανοποιούν της ταχέως αυξανόμενες απαιτήσεις των πελατών. Αν και το κόστος συναρμολόγησης ενός ρομποτικού συστήματος έχει σχετικά αυξηθεί, η ανταγωνιστική εκτέλεση των περίπλοκων, επικίνδυνων και ανασφαλών εργασιών έχει κάνει τα ρομπότ προτιμότερα από τους ανθρώπινους ανταγωνιστές τους. Ο ρομποτικός αυτοματισμός πέρα από την ενίσχυση της παραγωγικής ικανότητας, προσφέρει επίσης και αποτελεσματικές και βελτιωμένες λύσεις σε πολλά σενάρια.

Η προσθήκη όρασης σε μια γραμμή αυτοματισμού, ένα σύστημα ρομπότ ή ένα αυτόνομο όχημα όχι μόνο αυξάνει σημαντικά τις δυνατότητες του συγκεκριμένου συστήματος, αλλά μπορεί επίσης να βελτιώσει τη διαλειτουργικότητα στο εργοστάσιο μεταξύ αυτών των συστημάτων ή με τις ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις. Ιδιαίτερα, σε ένα εργοστάσιο εφάμιλλο με τις πρακτικές του Industry 4.0, οι δυνατότητες που προσφέρει η μηχανική όραση γίνονται ακόμη πιο σημαντικές.

Η μελλοντική πορεία αυτής της επιστήμης υπόσχεται μεγαλύτερη διαφοροποίηση των δραστηριοτήτων που εκτελούνται από ρομπότ. Τα ρομπότ με όραση είναι πολύ πιο ευέλικτα και ικανά να αναπαράγουν ή να αντικαθιστούν τους ανθρώπους με πολλούς τρόπους. Παρά το γεγονός ότι τα περισσότερα ρομπότ έχουν σχεδιαστεί για να εκτελούν συγκεκριμένες εργασίες, ο τελικός στόχος είναι να συναρμολογηθούν ρομπότ που παρέχουν μια ευρύτερη παλέτα λειτουργιών. Σε αυτό το πλαίσιο, η χρήση αλγορίθμων όρασης μηχανής και υπολογιστή (CV) για την οπτικοποίηση, τη δημιουργία συμφραζομένων και την παρατήρηση των αλλαγών στο περιβάλλον πλέον είναι πρωταρχικής σημασίας στις σύγχρονες βιομηχανίες.

## **1.2 Σκοπός διπλωματικής εργασίας**

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη η σχεδίαση η κατασκευή και η προσομοίωση ενός σύγχρονου ρομποτικού συστήματος που θα μπορεί με μηχανική όραση να αναγνωρίζει και να εντοπίζει τα διάφορα αντικείμενα-στόχους που βρίσκονται στο χώρο εργασίας του ρομποτικού βραχίονα που θα κατασκευαστεί αλλά και στο οπτικό πεδίο της κάμερας που θα τοποθετηθεί. Η εργασία που θα εκτελεί ο ρομποτικός βραχίονας είναι μόλις αναγνωρίσει και εντοπίσει το αντικείμενο, να το πιάσει και να το επανατοποθετήσει σε άλλη θέση ανάλογα με την “εικόνα” του αντικειμένου. Ένα επιπρόσθετο χαρακτηριστικό του ρομποτικού συστήματος που θα κατασκευαστεί είναι η δυνατότητα προσομοίωσης του μέσω του Matlab προκειμένου να μελετηθεί η κίνηση που θα πραγματοποιήσει προκαταβολικά και για να αποφευχθούν πιθανά λάθη.

## 1.3 Μεθοδολογία

Προκειμένου να κατασκευαστεί το εν λόγω σύγχρονο ρομποτικό σύστημα στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής θα πρέπει πρώτα να τοποθετηθούν τα απαραίτητα “θεμέλια” τα οποία στην προκειμένη περίπτωση είναι το θεωρητικό υπόβαθρο σε μια σειρά από διάφορες επιστήμες. Εφόσον, παρουσιαστεί όλο το απαραίτητο θεωρητικό υλικό, θα κατασκευαστεί το ρομποτικό σύστημα και τα βήματα που θα πραγματοποιηθούν για την υλοποίηση του θα παρουσιαστούν λεπτομερώς. Για να κατασκευαστεί το ρομποτικό σύστημα, αρχικά θα χρησιμοποιηθεί ένας 3D εκτυπωτής προκειμένου να δημιουργηθούν τα κομμάτια που σχεδιάστηκαν σε πρόγραμμα 3D σχεδίασης, και έπειτα θα συναρμολογηθούν μαζί με τους σερβοκινητήρες ώστε να δημιουργηθεί ο ρομποτικός βραχίονας. Στην συνέχεια, θα χρησιμοποιηθεί ο μικροελεγκτής Arduino mega προκειμένου να ελεγχθεί η κίνηση των σερβοκινητήρων που θα αποτελέσουν τις αρθρώσεις του ρομποτικού βραχίονα. Παράλληλα, θα δημιουργηθούν τα ανάλογα προγράμματα στο Matlab στα οποία θα πραγματοποιούνται όλες οι αποφάσεις και οι υπολογισμοί του συστήματος. Το Matlab θα είναι επίσης υπεύθυνο για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης και την αποστολή δεδομένων στο Arduino. Τέλος, θα κατασκευαστούν διάφορα συμπληρωματικά κομμάτια του ρομποτικού συστήματος, όπως για παράδειγμα μια βάση για την κάμερα και ένα επίπεδο εργασίας του ρομποτικού συστήματος.

## 1.4 Δομή διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική χωρίζεται σε 4 κεφάλαια, τα οποία αποτελούν την εισαγωγή, την παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου, την παρουσίαση της διαδικασίας κατασκευής και υλοποίησης του ρομποτικού βραχίονα και τέλος τα συμπεράσματα. Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται η εισαγωγή στο θέμα, και η περιγραφή της διπλωματικής. Ο κύριος όγκος της διπλωματικής είναι το δεύτερο και το τρίτο κεφάλαιο. Το δεύτερο κεφάλαιο, χωρίζεται σε 5 ενότητες, μία για κάθε επιστήμη που θα χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής. Στην πρώτη ενότητα του δεύτερου κεφαλαίου, γίνεται αρχικά μια μελέτη του ευρύ πεδίου της τεχνητής νοημοσύνης με ιδιαίτερη έμφαση στην μηχανική όραση. Στην δεύτερη ενότητα, μελετάται ο κλάδος της ρομποτικής προκειμένου στην συνέχεια να κάνουμε γίνει επιτυχώς η ανάλογη κινηματική μελέτη. Στην συνέχεια στην τρίτη και τέταρτη ενότητα περιγράφονται και παρουσιάζονται οι νέες μέθοδοι σχεδίασης αλλά και ταχείας προτυποποίησης γνωστές και ως τρισδιάστατη εκτύπωση, προκειμένου να σχεδιαστεί πλήρως ο ρομποτικός βραχίονας και να κατασκευαστεί όσο τον δυνατόν πιο γρήγορα και εύκολα γίνεται. Στην τελευταία ενότητα του δεύτερου κεφαλαίου, μελετάται ο πεδίο των μικροελεγκτών με ιδιαίτερη έμφαση στις πλακέτες Arduino.

Στην πορεία, εφόσον υπάρχει το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο, συνεχίζεται η διπλωματική στο τρίτο κεφάλαιο στο οποίο περιγράφεται η υλοποίηση του ρομποτικού συστήματος σε 9 ενότητες. Στην πρώτη ενότητα γίνεται μια πιο λεπτομερής περιγραφή της λειτουργίας και των χαρακτηριστικών του ρομποτικού συστήματος που κατασκευάστηκε. Στην συνέχεια στην δεύτερη ενότητα παρουσιάζονται τα υλικά και τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν. Στην τρίτη και τέταρτη ενότητα παρουσιάζονται τα βήματα σχεδίασης και εκτύπωσης των απαραίτητων κομματιών. Έπειτα στην πέμπτη ενότητα περιγράφεται το

κύκλωμα που δημιουργήθηκε προκειμένου να λειτουργήσει και να ελεγχθεί ο ρομποτικός βραχίονας. Στην έκτη ενότητα γίνεται μια περιγραφή των βημάτων που ακολουθήθηκαν για την κατασκευή του ρομποτικού συστήματος, δηλαδή του ρομποτικού βραχίονα, την βάση της κάμερας και του επιπέδου εργασίας του συστήματος. Στην συνέχεια, στην έβδομη ενότητα παρουσιάζεται η λύση στο ευθύ και αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα του ρομποτικού βραχίονα που κατασκευάστηκε. Στην όγδοη και στην ένατη ενότητα παρουσιάζονται τα simulink προγράμματα και ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε στο Matlab προκειμένου να ελεγχθεί ο ρομποτικός βραχίονας και να γίνει η επιθυμητή προσομοίωση.

Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο, το τέταρτο, γίνεται μια σύντομη επισκόπηση του ρομποτικού συστήματος που δημιουργήθηκε, των προβλημάτων που αντιμετωπίστηκαν αλλά και προτάσεις για περαιτέρω βελτίωσης του ρομποτικού συστήματος.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Θεωρητικό Υπόβαθρο:

### 2.1 Τεχνητή νοημοσύνη:

#### 2.1.1 Ιστορική αναδρομή:

Η τεχνητή νοημοσύνη εμφανίζεται για πρώτη φορά στην ιστορία κατά την αρχαιότητα, όταν οι αρχαίοι φιλόσοφοι της τότε εποχής άρχισαν να οραματίζονται την δημιουργία τεχνητών όντων, μηχανικούς ανθρώπους και διάφορους άλλους αυτοματισμούς.

Συνεπώς, χάρη σε αυτά τα οράματα των αρχαίων στοχαστών και μετα απο πολλά χρόνια εξέλιξης, απο το 1700 και μετά, η τεχνητή νοημοσύνη πλησίαζε στο να γίνει πραγματικότητα. Οι φιλόσοφοι της τότε εποχής είχαν σκεφτεί και οραματιστεί οτι η ανθρώπινη σκέψη θα μπορούσε να μηχανοποιηθεί τεχνητά και να χειραγωγηθεί από ευφείς μη ανθρώπινες μηχανές. Αυτές οι πρώτες σκέψεις για την δημιουργία τεχνητής νοημοσύνης, αυξήθηκαν κατακόρυφα όταν φιλόσοφοι, μαθηματικοί και επιστήμονες κατάφεραν την χειραγωγή των συμβόλων (μηχανικά) κατα τέτοιο τρόπο που οδήγησε στην εφεύρεση του πρώτου προγραμματιζόμενου ψηφιακού υπολογιστή, που ονομάστηκε ABC (Atanasoff Berry Computer) κατα την δεκαετία του 1940. Η εφεύρεση αυτή έφερε πιο κοντά την ανθρωπότητα στην μακροχρόνια ιδέα της δημιουργίας ενός «ηλεκτρονικού εγκεφάλου» ή ενός τεχνητά ευφούς όντος.

Πέρασε σχεδόν μια δεκαετία πριν τα εικονίδια στην τεχνητή νοημοσύνη βοηθήσουν στην κατανόηση του πεδίου που έχουμε σήμερα. Ο γνωστός μαθηματικός της εποχής, Άλαν Τούρινγκ, πρότεινε την δημιουργία ενός τεστ που θα αξιολογούσε την ικανότητα μιας μηχανής να αναπαράγει ανθρώπινες ενέργειες σε τέτοιο βαθμό που θα είναι αδύνατο να διακριθεί από την ανθρώπινη συμπεριφορά. Μέσα στην ίδια δεκαετία, στα μέσα του 1950, πραγματοποιήθηκε ένα καλοκαιρινό συνέδριο στο Dartmouth College στο οποίο ο John McCarthy, επιστήμονας υπολογιστών και γνωστικός, επινόησε τον όρο «τεχνητή νοημοσύνη» και συνεπώς μετα απο αυτο το συνέδριο ιδρύθηκε ο τομέας της έρευνας της τεχνητής νοημοσύνης.

Από τη δεκαετία του 1950 και μετά, πολλοί επιστήμονες, προγραμματιστές, λογικοί και θεωρητικοί βοήθησαν στην εμπέδωση της σύγχρονης κατανόησης της τεχνητής νοημοσύνης στο σύνολό της. Με την πάροδο των χρόνων, προέκυψαν νέα ευρήματα και καινοτομίες που άλλαξαν δραστικά τις γνώσεις των ανθρώπων γύρω από τον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης και πάνω απ' όλα μετέτρεψαν την τεχνητή νοημοσύνη απο όραμα σε πραγματικότητα, δίνοντας το πάτημα στις μελλοντικές γενιές να αναπτύξουν περαιτέρω αυτόν τον τομέα.

Κατα την δεκαετία του 1960, η τεχνητή νοημοσύνη έκανε γοργά βήματα εξέλιξης καθώς, την δεκαετία αυτή δημιουργήθηκαν νέες γλώσσες προγραμματισμού, νέα ρομποτικά συστήματα

αλλα και πραγματοποιήθηκαν πολλές μελέτες και ταινίες που συνεισέφεραν στην αύξηση της δημοτικότητας του όρου και του κλάδου της τεχνητής νοημοσύνης γενικότερα.

```
Welcome to
          EEEEE LL   IIII ZZZZZZ  AAAA
          EE   LL   II    ZZ   AA   AA
          EEEEE LL   II    ZZ   AAAAAA
          EE   LL   II    ZZ   AA   AA
          EEEEE LLLLL IIII ZZZZZZ  AA  AA

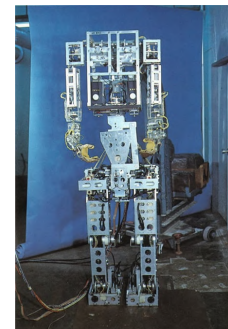
Eliza is a mock Rogerian psychotherapist.
The original program was described by Joseph Weizenbaum in 1966.
This implementation by Norbert Landsteiner 2005.

ELIZA: Please tell me what's been bothering you.
YOU:   The weather is awful.
ELIZA: I'm not sure I understand you fully.
YOU:   I hate the current weather.
ELIZA: You say you hate the current weather ?
YOU:   Yes, that's what I said.
ELIZA: I understand.
YOU:   Great.
ELIZA: Please go on.
YOU:   I would say it's your turn now!
ELIZA: Why are you concerned over my turn now ?
YOU:   █
```

**EIKONA 2.1.1:** 1965: Ο Joseph Weizenbaum, επιστήμονας υπολογιστών και καθηγητής, ανέπτυξε το ELIZA, ένα διαδραστικό πρόγραμμα υπολογιστή που μπορούσε λειτουργικά να συνομιλεί στα αγγλικά με ένα άτομο. Ο στόχος του Weizenbaum ήταν να δείξει πώς η επικοινωνία μεταξύ ενός τεχνητά ευφυσού μωαλού με έναν ανθρώπινο νου ήταν «επιφανειακή», αλλά ανακάλυψε ότι πολλοί άνθρωποι απέδιδαν ανθρωπόμορφα χαρακτηριστικά στο ELIZA.

Όπως τη δεκαετία του 1960, η δεκαετία του 1970 έδωσε τη θέση της σε επιταχυνόμενες εξελίξεις, ιδιαίτερα με έμφαση στα ρομπότ και τους αυτοματισμούς. Όμως, την δεκαετία του 1970, η τεχνητή νοημοσύνη αντιμετώπισε διάφορες δυσκολίες, όπως η ανεπαρκής κρατική υποστήριξη για την έρευνα τεχνητής νοημοσύνης (AI).

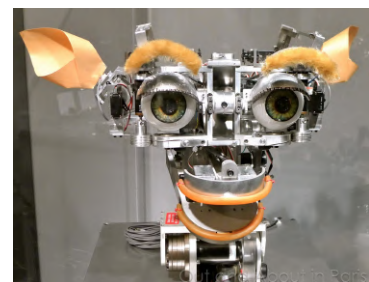
**EIKONA 2.1.2:** 1970: Το WABOT-1, το πρώτο ανθρωπόμορφο ρομπότ, κατασκευάστηκε στην Ιαπωνία στο Πανεπιστήμιο Waseda. Τα χαρακτηριστικά του περιελάμβαναν κινητά άκρα, ικανότητα όρασης και ικανότητα συνομιλίας.



Η ανοδική πορεία του κλάδου της τεχνητής νοημοσύνης συνεχίστηκε και την δεκαετία του 1980. Παρόλο των εξελίξεων και της ανοδικής πορείας της τεχνητής νοημοσύνης, ο κλάδος πέρασε από μια εποχή μειωμένης χρηματοδότησης και ενδιαφέροντος για την τεχνητή νοημοσύνη που ονομάστηκε «Χειμώνας της τεχνητής νοημοσύνης».

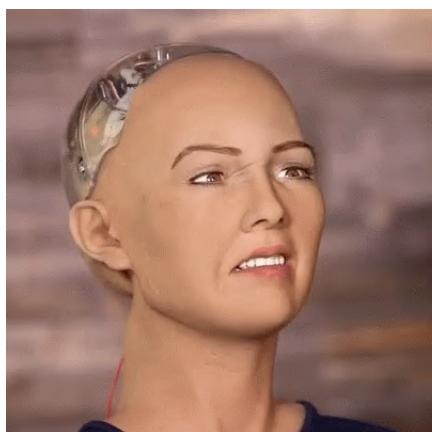
Την δεκαετία του 1990, κατα την οποία οι άνθρωποι έβλεπαν το τέλος της χλιετίας να είναι στον ορίζοντα, δημιούργησε ένα κλίμα που βοήθησε την τεχνητή νοημοσύνη να συνεχίσει να αναπτύσσεται.

Κατα το 2000 με 2010, η νέα χλιετία βρισκόταν σε εξέλιξη και η τεχνητή νοημοσύνη συνέχισε να έχει ανοδική τάση. Όπως ήταν αναμενόμενο, δημιουργήθηκαν πιο τεχνητά νοήμονα όντα καθώς και παράλληλα οι κοινωνία άρχισε να συνειδητοποιεί την δυναμική αλλά και τις προοπτικές της τεχνητής νοημοσύνης.



**EIKONA 2.1.3:** 2000: Η καθηγήτρια Cynthia Breazeal ανέπτυξε το *Kismet*, ένα ρομπότ που μπορούσε να αναγνωρίσει και να προσομοιώσει συναισθήματα με το πρόσωπό του. Ήταν δομημένο σαν ανθρώπινο πρόσωπο με μάτια, χείλη, βλέφαρα και φρύδια.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι, τις τελευταίες δεκαετίες ο κλάδος της τεχνητής νοημοσύνης γίνεται όλο και πιο κρίσιμος για την τεχνολογική ανάπτυξη των σημερινών κοινωνιών, και ιδιαίτερα από το 2010 έως και σήμερα η τεχνητή νοημοσύνη έχει ενσωματωθεί στην καθημερινή μας ύπαρξη. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η καθημερινή χρήση των έξυπνων κινητών (smartphone), τα οποία περιέχουν βοηθούς φωνής ή ένα ακόμα παράδειγμα είναι οι υπολογιστές που διαθέτουν λειτουργίες «νοημοσύνης». Πλέον η τεχνητή νοημοσύνη δεν είναι ένα όνειρο αλλά μια καινούργια πραγματικότητα. Συνεπώς, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η τρέχουσα δεκαετία ήταν εξαιρετικά σημαντική για την καινοτομία της τεχνητής νοημοσύνης.



**EIKONA 2.1.4:** 2016: Ένα ανθρωποειδές ρομπότ με το όνομα *Sophia* δημιουργείται από τη *Hanson Robotics*. Είναι γνωστή ως ο πρώτος «πολίτης ρομπότ». Αυτό που διακρίνει τη *Σοφία* από τα προηγούμενα ανθρωποειδή είναι η ομοιότητά της με έναν πραγματικό άνθρωπο, με την ικανότητά της να βλέπει (αναγνώριση εικόνας, “image recognition”), να κάνει εκφράσεις προσώπου και να επικοινωνεί μέσω AI.

Οι εξελίξεις στον κλάδο της τεχνητής νοημοσύνης είναι καταγιστικές. Τούτου λεχθέντος, μπορούμε εύκολα να συμπεράνουμε ότι οι τάσεις της περασμένης δεκαετίας θα συνεχίσουν να κινούνται ανοδικά και στα επόμενα έτη.

### **2.1.2 Ορισμός:**

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) περιγράφει την ικανότητα μιας μηχανής να μιμείται τις ανθρώπινες γνωστικές διαδικασίες, συμπεριλαμβανομένης της μάθησης, του προγραμματισμού και της δημιουργικότητας.

Οι μηχανές εξοπλισμένες με τεχνητή νοημοσύνη είναι σε θέση να «κατανοούν» το περιβάλλον τους, να βρίσκουν λύσεις σε ζητήματα και να λαμβάνουν ακριβείς ενέργειες. Ο υπολογιστής λαμβάνει δεδομένα, τα επεξεργάζεται και στη συνέχεια αντιδρά ανάλογα με αυτά. Τα δεδομένα μπορεί να έχουν ήδη προετοιμαστεί ή αποκτηθεί χρησιμοποιώντας αισθητήρες, όπως μια κάμερα.

Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά τους σε κάποιο βαθμό αξιολογώντας τα αποτελέσματα προηγούμενων αποφάσεων και βρίσκοντας μόνα τους λύσεις.

Η τεχνητή νοημοσύνη προϋποθέτει την ύπαρξη μιας βάσης εξειδικευμένου υλικού και λογισμικού προκειμένου να συνταχθούν και να εκπαιδευτούν οι αλγόριθμοι μηχανικής εκμάθησης. Δεν υπάρχει κάποια ειδική γλώσσα προγραμματισμού για την τεχνητή νοημοσύνη αλλά η πιο δημοφιλείς γλώσσες για την τεχνητή νοημοσύνη είναι η R, η Python και η Java.

Η βασική αρχή της λειτουργίας των συστημάτων της τεχνητής νοημοσύνης βασίζεται στην απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων εκπαίδευσης με ετικέτα και στην συνέχεια με την ανάλυση των δεδομένων για εύρεση συσχετίσεων και μοτίβων, δύναται να γίνουν προβλέψεις για μελλοντικές καταστάσεις με βάση των συσχετίσεων και των μοτίβων που παρατηρήθηκαν. Κατα αυτόν τον τρόπο, μια μηχανή συνομιλίας (Chatbot), που τροφοδοτείται με παραδείγματα συνομιλιών κειμένου μπορεί να μάθει να αναπαράγει ρεαλιστικές απαντήσεις.

Ο προγραμματισμός της τεχνητής νοημοσύνης (AI) εστιάζει κυρίως σε τρεις γνωστικές δεξιότητες: Στην μάθηση, στην συλλογιστική και στην αυτοδιόρθωση.

Μαθησιακές διαδικασίες (Learning processes): Αυτό το κομμάτι του προγραμματισμού τεχνητής νοημοσύνης επικεντρώνεται στην συγκέντρωση δεδομένων και στη δημιουργία κανόνων για τον τρόπο μετατροπής των δεδομένων σε πληροφορίες που δύναται να γίνουν πράξη. Οι κανόνες, που ονομάζονται αλγόριθμοι, παρέχουν στις υπολογιστικές συσκευές οδηγίες βήμα προς βήμα για το πώς να ολοκληρώσει την εκάστοτε εργασία.

Διαδικασίες συλλογισμού (Reasoning processes): Αυτό το κομμάτι του προγραμματισμού τεχνητής νοημοσύνης επικεντρώνεται στην επιλογή του ορθότερου αλγόριθμου για να επιτευχθεί ένα επιθυμητό αποτέλεσμα.

Διαδικασίες αυτοδιόρθωσης (Self-correction processes): Αυτό το κομμάτι του προγραμματισμού τεχνητής νοημοσύνης έχει δημιουργηθεί έτσι ώστε να μπορεί να βελτιώνει συνεχώς τους αλγόριθμους του και συνεπώς να εξασφαλίζει ότι παρέχει τα πιο έγκυρα αποτελέσματα.

Η τεχνητή νοημοσύνη είναι σαφές ότι αποτελεί μια επαναστατική τεχνολογία που έχει δυναμικά να προσφέρει παρα πολλά στις σύγχρονες κοινωνίες αλλά παρόλα αυτά, πέρα από τα πλεονεκτήματα που έχει, συνυπάρχουν και μειονεκτήματα.

#### Πλεονεκτήματα:

- Ιδανικό σε δουλειές που απαιτούν λεπτομέρεια
- Μειωμένος χρόνος για εργασίες που συμπεριλαμβάνουν πολλά δεδομένα
- Παρέχει σταθερά αποτελέσματα

#### Μειονεκτήματα:

- Ακριβό
- Απαιτεί βαθιά τεχνική εμπειρογνωμοσύνη.

- Περιορισμένη προσφορά ειδικευμένων εργαζομένων για την κατασκευή εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης.
- Έλλειψη ικανότητας γενίκευσης από τη μια εργασία στην άλλη.

### **2.1.3 Τύποι:**

Η τεχνητή νοημοσύνη δύναται να διαιρεθεί σε δύο μεγάλες κατηγορίες, σε weak AI (αδύναμη τεχνητή νοημοσύνη) και strong AI (δυνατή τεχνητή νοημοσύνη).

#### **Weak AI (αδύναμη τεχνητή νοημοσύνη):**

Γνωστό και ως narrow AI (στενή τεχνητή νοημοσύνη), είναι ένα σύστημα τεχνητής νοημοσύνης (AI) που έχει σχεδιαστεί και εκπαιδευτεί προκειμένου να ολοκληρώνει μια συγκεκριμένη εργασία. Τα βιομηχανικά ρομπότ και οι εικονικοί προσωπικοί βοηθοί, όπως για παράδειγμα το Siri της Apple, χρησιμοποιούν αδύναμη τεχνητή νοημοσύνη (AI).

#### **Strong AI (δυνατή τεχνητή νοημοσύνη):**

Γνωστό και ως τεχνητή γενική νοημοσύνη (AGI), περιγράφει τον προγραμματισμό που έχει την δυνατότητα να μιμηθεί τις γνωστικές δυνατότητες του ανθρώπινου εγκεφάλου. Στην περίπτωση που προκύψει μια άγνωστη εργασία, ένα ισχυρό σύστημα τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να αξιοποιήσει ασαφή λογική για να χρησιμοποιήσει τη γνώση που κατέχει από έναν τομέα και να την χρησιμοποιήσει στον άλλο και να βρει μια λύση αυτόνομα. Ένα πρόγραμμα δυνατής τεχνητής νοημοσύνης, θεωρητικά πρέπει να έχει την δυνατότητα να περάσει το Turing test και το κινέζικο test δωματίου.

Επιπροσθέτως, η τεχνητή νοημοσύνη, περα απο weak ή strong μπορεί να κατηγοριοποιηθεί και σε 4 κατηγορίες, ως Αντιδραστικά μηχανήματα (reactive machines), Περιορισμένη μνήμη (limited memory), Θεωρία του νου (theory of mind) and Αυτογνωσία (self-awareness).

Ο επίκουρος καθηγητής ολοκληρωμένης βιολογίας και επιστήμης υπολογιστών και μηχανικής, του Κρατικού Πανεπιστημίου του Μίσιγκαν, Arend Hintze, υποστήριξε και εξήγησε σε ένα άρθρο του το 2016 μια διαφορετική κατηγοριοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης. Η πρόταση αυτή είναι να κατηγοριοποιηθεί στους παρακάτω τέσσερις τύπους:

#### **Τύπος 1: Αντιδραστικά μηχανήματα (reactive machines):**

Τα εν λόγω συστήματα τεχνητής νοημοσύνης δεν έχουν μνήμη και είναι σχεδιασμένα για απλές εργασίες. Το Deep Blue, που είναι ένα πρόγραμμα σκακιού που βγήκε νικηφόρο μετα απο μια σκακιστική αναμέτρηση με τον γκάρι κασπάροφ, αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα. Αυτό το πρόγραμμα, μπορεί να αναγνωρίσει τα πιόνια στη σκακιέρα και να κάνει προβλέψεις, αλλά επειδή δεν έχει μνήμη, δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει προηγούμενες εμπειρίες για να ενημερώσει τις μελλοντικές αποφάσεις.

#### **Τύπος 2: Περιορισμένη μνήμη (limited memory):**

Τα εν λόγω συστήματα τεχνητής νοημοσύνης έχουν μνήμη προκειμένου να χρησιμοποιεί ως δεδομένα τις “εμπειρίες” του για να επηρεάζει τις μελλοντικές αποφάσεις. Μερικές από τις

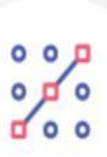



λειτουργίες λήψης αποφάσεων στα αυτοκίνητα αυτόνομης οδήγησης έχουν σχεδιαστεί με αυτόν τον τρόπο.

Τύπος 3: Θεωρία του νου (theory of mind):

Η θεωρία του νου αποτελεί όρο που συναντάται στην επιστήμη της ψυχολογίας. Η θεωρία αυτή στον κλάδο της τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιείται ώστε να αποδοθεί στο σύστημα κοινωνική νοημοσύνη για να κατανοήσει τα συναισθήματα. Τα εν λόγω συστήματα τεχνητής νοημοσύνης θα έχει την δυνατότητα να συμπεράνει τις ανθρώπινες προθέσεις και να προβλέπει τη συμπεριφορά, κάτι που θεωρείται απαραίτητο προκειμένου τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης να γίνουν αναπόσπαστα μέλη των κοινωνιών.

Τύπος 4: Αυτογνωσία (self-awareness):

Σε αυτήν την κατηγορία, τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης έχουν την δυνατότητα να αντιλαμβάνονται την ύπαρξη τους, η οποία τους δίνει συνείδηση. Οι μηχανές με αυτογνωσία μπορούν να κατανοούν την τρέχουσα κατάστασή τους. Αυτός ο τύπος τεχνητής νοημοσύνης δεν υπάρχει ακόμη.

Reactive AI	Limited memory	Theory of mind	Self-aware
<p>Καλό για απλές εργασίες ταξινόμησης και αναγνώρισης προτύπων</p> <p>Ιδανικό για σενάρια όπου όλες οι παράμετροι είναι γνωστές. Μπορεί να νικήσει τους ανθρώπους γιατί μπορεί να κάνει τους υπολογισμούς πολύ πιο γρήγορα</p> <p>Ανίκανος να αντιμετωπίσει σενάρια που περιλαμβάνουν ατελείς πληροφορίες ή απαιτούν ιστορική κατανόηση</p>	<p>Μπορεί να χειριστεί πολύπλοκες εργασίες ταξινόμησης</p> <p>Ικανός να χρησιμοποιεί ιστορικά δεδομένα για να κάνει προβλέψεις</p> <p>Ικανός για σύνθετες εργασίες όπως αυτοοδηγούμενα αυτοκίνητα, αλλά εξακολουθεί να είναι ευάλωτος σε ακραία ή αντίθετα παραδείγματα</p> <p>Αυτή είναι η τρέχουσα κατάσταση της τεχνητής νοημοσύνης και κάποιοι λένε ότι χτυπήσαμε σε τοίχο</p>	<p>Ικανός να κατανοεί τα ανθρώπινα κίνητρα και τη λογική. Μπορεί να προσφέρει προσωπική εμπειρία σε όλους με βάση τα κίνητρα και τις ανάγκες του.</p> <p>Μπορεί να μάθει με λιγότερα παραδείγματα γιατί κατανοεί τα κίνητρα και τις προθέσεις</p> <p>Θεωρείται το επόμενο στάδιο για την εξέλιξη του AI</p>	<p>Νοημοσύνη σε ανθρώπινο επίπεδο που μπορεί να παρακάμψει και τη νοημοσύνη μας</p>
			

**ΕΙΚΟΝΑ 2.1.5:** Τύποι τεχνητής νοημοσύνης



### **2.1.4 Τομείς εφαρμογής:**

Η τεχνητή νοημοσύνη σήμερα έχει δυναμική παρουσία στις περισσότερες αγορές και συνεπώς και στην καθημερινότητα όλων. Παρακάτω παρουσιάζονται εννέα παραδείγματα χρήσης σε διάφορους τομείς:

**Τεχνητή νοημοσύνη στην υγειονομική περίθαλψη:** Τα μεγαλύτερα στοιχεία αφορούν τη βελτίωση των συνθηκών στην υγειονομική περίθαλψη και τη μείωση του κόστους περίθαλψης. Σήμερα, πολλές εταιρείες χρησιμοποιούν μηχανική μάθηση προκειμένου κάνουν καλύτερες και ταχύτερες διαγνώσεις. Ένα παράδειγμα, είναι το πρόγραμμα IBM Watson το οποίο μπορεί να κατανοήσει τις ερωτήσεις που του τίθενται και να απαντήσει ανάλογα. Οι απαντήσεις που δίνει το σύστημα προκύπτουν ύστερα από την εξόρυξη δεδομένων ασθενών και από διάφορες άλλες διαθέσιμες πηγές, και συνοδεύονται με μια βαθμολογία ως προς την εμπιστοσύνη της απάντησης. Αλλα παραδείγματα χρήσης της τεχνητής νοημοσύνης για υγειονομική περίθαλψη είναι διάφορα προγράμματα εικονικών βοηθών υγείας τύπου chatbot, που χρησιμοποιούνται από τους ασθενείς ώστε να βρουν ιατρικές πληροφορίες, να προγραμματίσουν ραντεβού, να κατανοήσουν τη διαδικασία χρέωσης και να ολοκληρώσουν άλλες διοικητικές διαδικασίες. Διάφορες τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιήθηκαν και πρόσφατα για την καταπολέμηση και την πρόβλεψη της πορείας της νόσου COVID-19 που ταλαιπώρησε την ανθρωπότητα.

**Τεχνητή νοημοσύνη στις επιχειρήσεις:** Η τεχνητή νοημοσύνη, και πιο συγκεκριμένα οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, χρησιμοποιούνται ευρέως στις επιχειρήσεις. Ένα παράδειγμα ενσωμάτωσης των εν λόγω τεχνολογιών στις επιχειρήσεις είναι τα νέα προγράμματα διαχείρισης πελατειακών σχέσεων (CRM), με τα οποία μπορούν πλέον να ανακαλύψουν πληροφορίες προκειμένου να προσφέρουν καλύτερη εξυπηρέτηση στους πελάτες. Επίσης, και σε αυτόν τον τομέα τα chatbots έχουν βελτιώσει την παροχή υπηρεσιών καθώς όπως μπορεί να παρατηρήσει ο καθένας πολλοί ιστότοποι έχουν ενσωματώσει chatbots προκειμένου να παρέχουν άμεση εξυπηρέτηση στους πελάτες.

**Τεχνητή νοημοσύνη στην εκπαίδευση:** Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στον τομέα της εκπαίδευσης, κάποια από αυτά τα πλεονεκτήματα είναι η αυτοματοποίηση της βαθμολόγησης, δίνοντας έτσι στους εκπαιδευτικούς περισσότερο χρόνο για άλλα ζητήματα. Επίσης, ένα ακόμα πλεονέκτημα της τεχνητής νοημοσύνης είναι ότι μπορεί να αξιολογήσει τον κάθε μαθητή ξεχωριστά και να προσαρμοστεί στις ανάγκες τους, βοηθώντας τους να εργαστούν με τον δικό τους ρυθμό. Συνεπώς, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να προσφέρει περαιτέρω υποστήριξη στους μαθητές, διασφαλίζοντας ότι παραμένουν σε καλό δρόμο. Τέλος, η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να οδηγήσει σε επαναστατικές αλλαγές στον τρόπο που διεξάγονται τα μαθήματα.

**Τεχνητή νοημοσύνη στα χρηματοοικονομικά:** Η τεχνητή νοημοσύνη φέρνει αλλαγές και στα χρηματοοικονομικά με διάφορες εφαρμογές όπως είναι οι εφαρμογές Intuit Mint ή το TurboTax η οποίες είναι για την διαχείριση των οικονομικών αλλά και για την προετοιμασία των φορολογικών δηλώσεων αντίστοιχα. Αυτές οι εφαρμογές φέρνουν αλλαγές και

προκαλούν αναστάτωση στα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα. Επίσης, υπάρχουν εφαρμογές που μαζεύουν δεδομένα σχετικά με την οικονομική δραστηριότητα του χρήστη και κανουν τις δίνουν τις ανάλογες οικονομικές συμβουλές. Σήμερα, το λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης εκτελεί μεγάλο μέρος των συναλλαγών στη Wall Street.

**Τεχνητή νοημοσύνη στην δικαιοσύνη:** Η διαδικασία ανακάλυψης -- το κοσκίνισμα των εγγράφων -- στο νόμο είναι συχνά συντριπτική για τους ανθρώπους. Η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να οδηγήσει στην αυτοματοποίηση των χρονοβόρων διαδικασιών που υφίστανται στον νομικό κλάδο, εξοικονομώντας έτσι χρόνο αλλά και επίσης βελτιώνει την εξυπηρέτηση πελατών. Στην σημερινή εποχή πολλά δικηγορικά γραφεία αξιοποιούν τα οφέλη της μηχανικής μάθησης για να περιγράψουν δεδομένα και να προβλέψουν αποτελέσματα. Επίσης, χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση και την εξαγωγή πληροφοριών από διάφορα έγγραφα χρησιμοποιώντας επεξεργασία φυσικής γλώσσας (NLP).

**Τεχνητή νοημοσύνη στην παραγωγή:** Η παραγωγή ήταν πρωτοπόρα στην ενσωμάτωση ρομπότ στη ροή εργασίας. Για παράδειγμα, τα βιομηχανικά ρομπότ που κάποτε ήταν προγραμματισμένα να εκτελούν μεμονωμένες εργασίες και χωρίζονταν από τους ανθρώπινους εργάτες, λειτουργούν όλο και περισσότερο ως cobots (collaborative robots): Μικρότερα ρομπότ πολλαπλών εργασιών που συνεργάζονται με ανθρώπους και αναλαμβάνουν την ευθύνη για περισσότερα μέρη της εργασίας σε αποθήκες, δάπεδα εργοστασίων και άλλους χώρους εργασίας.

**Τεχνητή νοημοσύνη στις τράπεζες:** Οι τράπεζες, όπως και πολλοί άλλοι τομείς χρησιμοποιούν ευρέως και με επιτυχία chatbots προκειμένου να παρέχουν επαρκή πληροφόρηση στους πελάτες τους για τις υπηρεσίες και τις προσφορές και για να χειρίζονται συναλλαγές που δεν απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση. Πέρα από τα chatbots, χρησιμοποιούνται και εικονικοί βοηθοί για τη βελτίωση και τη μείωση του κόστους συμμόρφωσης με τους τραπεζικούς κανονισμούς. Επιπροσθέτως, οι τραπεζικοί οργανισμοί αξιοποιούν την τεχνητή νοημοσύνη προκειμένου να βελτιώσουν τη λήψη αποφάσεων οσον αφορά τις δανειοδοτήσεις, στην θέσπιση πιστωτικών ορίων αλλά και στην εύρεση επενδυτικών ευκαιριών.

**Τεχνητή νοημοσύνη στις μεταφορές:** Στις μεταφορές, η τεχνητή νοημοσύνη έφερε πολλές αλλαγές με την βασικότερη να είναι η δημιουργία αυτόνομων οχημάτων. Πέρα από αυτό, οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης έχουν αξιοποιηθεί για τη διαχείριση της κυκλοφορίας, την πρόβλεψη πιθανών καθυστερήσεων πτήσεων αλλά και για την ασφαλέστερη και αποτελεσματικότερη ναυτιλία στις θάλασσες.

**Τεχνητή νοημοσύνη στην ασφάλεια:** Στην σημερινή εποχή, πολλές εταιρείες ασφαλείας χρησιμοποιούν εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης προκειμένου να προσφέρουν καλύτερες και πιο ανταγωνιστικές υπηρεσίες στους πελάτες τους. Επίσης, πολλοί οργανισμοί χρησιμοποιούν μηχανική εκμάθηση σε λογισμικά ασφαλείας πληροφοριών και διαχείρισης συμβάντων (SIEM) και σχετικούς τομείς για τον εντοπισμό ανωμαλιών και τον εντοπισμό ύποπτων δραστηριοτήτων που υποδεικνύουν απειλές. Αναλύοντας δεδομένα και



χρησιμοποιώντας λογική για τον εντοπισμό ομοιοτήτων με γνωστό κακόβουλο κώδικα, η τεχνητή νοημοσύνη έχει την δυνατότητα να παρέχει ειδοποιήσεις σχετικά με νέες και αναδυόμενες επιθέσεις σαφώς ωρύτερα εν συγκρίση με τους ανθρώπινους υπαλλήλους και τις προηγούμενες τεχνολογικές επαναλήψεις. Οι τεχνολογίες αυτές, μέρα με την μέρα βελτιώνονται και παίζουν ακόμα πιο σημαντικό ρόλο για την αντιμετώπιση επιθέσεων στον κυβερνοχώρο.

### **2.1.5 Υποκατηγορίες:**

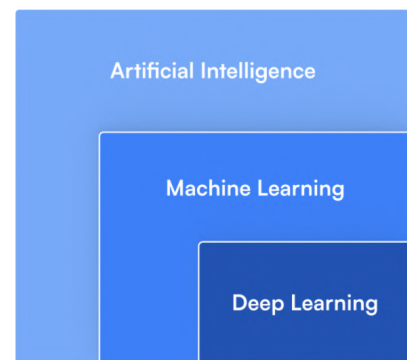
Όσο εξελίσσεται η τεχνητή νοημοσύνη (AI), δημιουργούνται νέα παρακλάδια που μπορούν να εφαρμοστούν σε διαφορετικές περιπτώσεις και για να επιλύσουν διάφορα προβλήματα. Υπάρχουν έξι διακριτές υποκατηγορίες τεχνητής νοημοσύνης:

- Μηχανική μάθηση (Machine learning)
- Βαθιά εκμάθηση (Deep learning)
- Ρομποτική (Robotics)
- Νευρωνικά δίκτυα (Neural networks)
- Επεξεργασία φυσικής γλώσσας (NLP Natural Language Processing)
- Γενετικοί αλγόριθμοι (Genetic algorithms)

Αυτές δεν είναι αμοιβαία αποκλειστικές κατηγορίες και οι τεχνολογίες AI χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό. Αυτή η κατηγοριοποίηση παρέχει ένα σαφές πλαίσιο προκειμένου να γίνει κατανοητή η τρέχουσα κατάσταση της τεχνητής νοημοσύνης αλλά και το που κατευθύνεται.

Στο παρακάτω γράφημα βλέπουμε ότι η τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί την ευρύτερη κατηγορία, η οποία εμπεριέχει τα υποσύνολα που φαίνονται και στην δεξιά φωτογραφία, που είναι για παράδειγμα μηχανική μάθηση, η οποία έχει και αυτή άλλα υποπεδία όπως την βαθιά μάθηση.

Ένα γραφικό που υπογραμμίζει μερικά σημαντικά υποσύνολα της AI: Μηχανική μάθηση και βαθιά μάθηση. Η βαθιά μάθηση είναι η ίδια ένα από τα υποσύνολα της μηχανικής μάθησης.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.1.6:** Σημαντικά υποσύνολα της τεχνητής νοημοσύνης.

#### **2.1.5.1 Μηχανική μάθηση (Machine learning)**

Η μηχανική μάθηση αποτελεί ένα ευρύ υποσύνολο της τεχνητής νοημοσύνης που δίνει την δυνατότητα στους υπολογιστές να εκπαιδεύονται και να μαθαίνουν από δεδομένα και απο εμπειρίες χωρίς να απαιτούν περαιτέρω προγραμματισμό. Χάρη στην μηχανική μάθηση, τα τελευταία χρόνια, έχει συνεισφέρει στην επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων σε διάφορα πεδία όπως είναι η υγειονομική περίθαλψη, τα οικονομικά, η κατασκευές και η εφοδιαστική αλυσίδα.

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης ποικίλουν, αλλά αυτοί που συναντιούνται πιο συχνά είναι οι αλγόριθμοι παλινδρόμησης και ταξινόμησης. Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης

χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση προτύπων και ομαδικών δεδομένων ενώ οι αλγόριθμοι παλινδρόμησης χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων.

Πέρα από την παραπάνω κατηγοριοποίηση, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης δυνατά να κατηγοριοποιηθούν σε εποπτευόμενους και μη εποπτευόμενους. Οι εποπτευόμενοι αλγόριθμοι πρέπει να κατέχουν ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης που περιλαμβάνει τόσο τα δεδομένα εισόδου όσο και την έξοδο που επιθυμούμε να έχουμε. Ενώ, οι αλγόριθμοι χωρίς επίβλεψη στηρίζονται σε δεδομένα για να «μάθουν» από μόνοι τους και συνεπώς δεν προϋποθέτουν την ύπαρξη ενός συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης.

Όπως προαναφέρθηκε, η μηχανική μάθηση εμπεριέχει υποσύνολα της τεχνητής νοημοσύνης μέσα της, και κάποια από αυτά είναι η βαθια μάθηση, η ενισχυτική μάθηση και τα νευρωνικά δίκτυα.

### ***Παράδειγμα μηχανικής εκμάθησης: Πρόβλεψη τιμών κατοικιών***

Ας δούμε το παράδειγμα της πρόβλεψης των τιμών των κατοικιών. Στο παρακάτω παράδειγμα θα χρησιμοποιηθεί ένας εποπτευόμενος αλγόριθμος μηχανικής μάθησης που ονομάζεται γραμμική παλινδρόμηση. Ο σκοπός της γραμμικής παλινδρόμησης είναι ουσιαστικά να βρει μια γραμμή που ταιριάζει καλύτερα στα δεδομένα. Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτό το παράδειγμα είναι οι τιμές των κατοικιών σε μια δεδομένη περιοχή.

Το αρχικό βήμα που πρέπει να γίνει είναι να συλλεχθούν όλα τα δεδομένα, τα οποία είναι οι τιμές των κατοικιών σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Τα δεδομένα αυτά, μπορούν να συγκεντρωθούν από ιστότοπους ακινήτων. Έπειτα, τα δεδομένα αυτά που θα μαζευτούν, θα πρέπει να καθαριστούν και να προετοιμαστούν για να χρησιμοποιηθούν στον αλγόριθμο.

Στην συνέχεια, πρέπει να επιλεγεί ο κατάλληλος αλγόριθμος για το συγκεκριμένο πρόβλημα. Εφόσον γίνει αυτό, πρέπει να προσαρμοστούν τα δεδομένα στον αλγόριθμο. Αυτό θα γίνει τροφοδοτώντας ιστορικά δεδομένα στον αλγόριθμο και αφήνοντάς τον να "μάθει" το μοτίβο. Τέλος, το επόμενο στάδιο είναι να πραγματοποιηθούν οι προβλέψεις. Αυτό θα πραγματοποιηθεί τροφοδοτώντας νέα δεδομένα στον αλγόριθμο και αφήνοντάς τον να κάνει προβλέψεις.

Η θεμελιώδης διαφορά μεταξύ ανθρώπου και μηχανής είναι ότι ένα μηχάνημα έχει την δυνατότητα να επεξεργαστεί τεράστιες ποσότητες δεδομένων και με πολύ καλύτερους χρόνους σε σύγκριση με έναν άνθρωπο άνθρωπο. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν την μηχανική μάθηση τόσο ισχυρή.

Παρόλο που το παράδειγμα που παρουσιάστηκε είναι απλό, η μηχανική μάθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση πολύ πιο δύσκολων προβλημάτων, όπως για παράδειγμα η δημιουργία τηλεοπτικών προτάσεων από δισεκατομμύρια σημεία δεδομένων ή η πρόβλεψη καρδιακών παθήσεων από ιατρικές εικόνες.

Στην πράξη, υπάρχουν αμέτρητες δυνατότητες όσον αφορά το τι μπορεί να κάνει η μηχανική μάθηση. Με τα κατάλληλα δεδομένα, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να καταστήσει εφικτή την επίλυση όλων των ειδών περίπλοκων προβλημάτων. Αυτή η παραπάνω πρόταση μπορεί να υποστηριχθεί από το γεγονός ότι τα μοντέλα μεγάλων γλωσσών (LLMs)[Large Language Models] χρησιμοποιήθηκαν πρόσφατα για τη δημιουργία κειμένου με ρεαλιστικό ήχο μετά από μάθηση από πάρα πολλά σύνολα δεδομένων κειμένου. Συνεπώς, αυτό συνετέλεσε σε μοντέλα με εκατοντάδες δισεκατομμύρια παραμέτρους.

### **2.1.5.2 Βαθιά εκμάθηση (Deep learning)**

Όπως, έχει προαναφερθεί η βαθιά εκμάθηση είναι ένα υποσύνολο της τεχνητής νοημοσύνης, και πιο συγκεκριμένα, ένα υποσύνολο της μηχανικής μάθησης. Η εν λόγω τεχνολογία, τα τελευταία χρόνια, έχει βρεθεί στο επίκεντρο της τεχνολογικής ανάπτυξης εξαιτίας της επιτυχίας που έχει σημειώσει αυτή η τεχνολογία σε τομείς όπως η αναγνώριση ομιλίας, τα αυτοκινούμενα αυτοκίνητα και η όραση υπολογιστή.

Τα δίκτυα βαθιάς μάθησης αποτελούνται από διάφορα στρώματα διασυνδεδεμένων κόμβων επεξεργασίας ή νευρώνων. Αρχικά, το πρώτο επίπεδο, γνωστό και ως το επίπεδο εισόδου, δέχεται τα δεδομένα από τον εξωτερικό κόσμο, όπως για παράδειγμα μια εικόνα ή μια πρόταση. Έπειτα, υπάρχει το επίπεδο στο οποίο γίνεται η επεξεργασία της εισόδου και την μεταβιβάζει στο επόμενο επίπεδο και πάει λέγοντας. Αυτά τα στρώματα, τα ενδιάμεσα, ονομάζονται κρυφά επίπεδα.

Κατα το τελικό στάδιο, το επίπεδο εξόδου, οδηγεί σε μια πρόβλεψη ή σε μια ταξινόμηση, όπως για παράδειγμα η αναγνώριση ενός αντικειμένου που παρουσιάζεται σε μια εικόνα ή η μετάφραση μιας πρότασης από μια γλώσσα σε μια άλλη. Τα εν λόγω δίκτυα, ονομάζονται «βαθιά» επειδή έχουν πολλά επίπεδα. Το βάθος που έχει ένα δίκτυο βαθιάς μάθησης είναι κομβικής σημασίας καθώς αυτό επιτρέπει στο δίκτυο να μάθει πολύπλοκα μοτίβα στα δεδομένα.

Τα δίκτυα βαθιάς μάθησης έχουν την δυνατότητα να εκπαιδευτούν ώστε να εκτελούν περίπλοκες εργασίες προσαρμόζοντας την ισχύ των συνδέσεων που υφίστανται μεταξύ των νευρώνων του κάθε επίπεδο. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται «εκπαίδευση». Η ισχύς των συνδέσεων προκύπτει από τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπαίδευση του δικτύου. Όσο περισσότερα δεδομένα χρησιμοποιηθούν, τόσο αποτελεσματικότερο θα είναι το δίκτυο στην εκτέλεση της εργασίας που έχει εκπαιδευτεί να κάνει.

Τα πλεονεκτήματα των μοντέλων βαθιάς μάθησης είναι πολλά αλλά το σημαντικότερο είναι ότι έχουν την δυνατότητα να εκπαιδευτούν ώστε να αναγνωρίζουν μοτίβα σε δεδομένα που είναι πολύ περίπλοκα ώστε να μπορέσει να τα αναγνωρίσει ένας άνθρωπος. Αυτό το πλεονέκτημα, το καθιστά ιδανικό για εργασίες όπως η επεξεργασία φυσικής γλώσσας και η αναγνώριση εικόνας. Αυτό το πλεονέκτημα είχε ως αποτέλεσμα την σύγχρονη έκρηξη στις εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης, καθώς η βαθιά μάθηση ως πεδίο δεν περιορίζεται σε συγκεκριμένες εργασίες.

Η βελτιστοποίηση αυτών των συστημάτων εκμάθησης δεν έχει ουσιαστικά όρια, γι' αυτό και αυτή η αγορά πολλών δισεκατομμυρίων δολαρίων διπλασιάζεται σε μέγεθος περίπου κάθε δύο χρόνια.

Καθώς προετοιμάζεται και το πλαίσιο χρήσης αυτών των τεχνολογιών όπως για παράδειγμα στα αυτόνομα οχήματα, θα υπάρχει ακόμη μεγαλύτερη ζήτηση για αυτές τις υπηρεσίες. Επιπροσθέτως, με την εξέλιξη και την άνοδο των δικτύων 5G και των υπολογιστών αιχμής, τα συστήματα αυτά αποκτούν ατελείωτες δυνατότητες.

Σήμερα, ήδη πολλές επιχειρήσεις εργάζονται ήδη σε έργα διασύνδεσης ανθρώπου - υπολογιστή που θα προδώσουν στους ανθρώπους την δυνατότητα να ελέγχουν τις μηχανές μόνο με τις σκέψεις τους. Ενώ όσο αυτή η τεχνολογία βρίσκεται ακόμα σε στάδια αρχικά, οι πιθανές χρήσεις της τεχνολογίας αυτής είναι συγκλονιστικές.

### ***Βαθιά μάθηση (Deep learning) έναντι ενισχυτικής μάθησης (Reinforcement learning):***

Οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης και η ενισχυτική μάθηση συχνά συγχέονται μεταξύ τους, αλλά στην πραγματικότητα είναι δύο πολύ διαφορετικοί τύποι μηχανικής μάθησης. Και οι δύο μέθοδοι αξιοποιούνται από την τεχνητή νοημοσύνη, αλλά χρησιμοποιούνται για διαφορετικές εργασίες.

Τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα αποτελεί έναν τύπο μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιείται προκειμένου να δημιουργηθούν διάφορα μοντέλα του φυσικού κόσμου. Ο τύπος αυτός της μάθησης εφαρμόζεται προκειμένου να δημιουργηθούν μοντέλα δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων κειμένων, εικόνων και διαφόρων άλλων τύπων δεδομένων. Γενικότερα, χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός «βαθιού» ή πολύπλοκου μοντέλου των δεδομένων.

Απο την άλλη η ενισχυτική μάθηση αποτελεί έναν άλλο τύπο μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιείται με σκοπό την δημιουργία ενός μοντέλου συμπεριφοράς σε μια συγκεκριμένη κατάσταση. Αυτός ο τύπος μάθησης χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλων σχετικά με το πώς να συμπεριφερόμαστε για την επίτευξη ενός στόχου που έχουμε θέσει, όπως για παράδειγμα η εκμάθηση μιας μηχανής για το πώς να παίζετε ένα παιχνίδι ή πώς να πλοηγείτε σε έναν λαβύρινθο.

Η ενισχυτική μάθηση χρησιμοποιήθηκε περίφημα για τη δημιουργία του προγράμματος AlphaGo, το οποίο κατάφερε να κερδίσει έναν παγκόσμιο πρωταθλητή στο παιχνίδι του Go.

Παρόλο που είναι λιγότερο γνωστή, η ενισχυτική μάθηση χρησιμοποιείται επίσης σε πολλές πρακτικές εφαρμογές σήμερα, όπως είναι για παράδειγμα η βελτιστοποίηση των αυτοκινούμενων οχημάτων, του σχεδιασμού ιστοτόπων και των chatbot. Η ενισχυτική μάθηση, έχει αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο που χρησιμοποιείται από μηχανικούς τεχνητής νοημοσύνης προκειμένου να κατασκευάσουν εξυπνότερα και πιο αποτελεσματικά συστήματα.

### 2.1.5.3 Ρομποτική (Robotics)

Η πλειονότητα των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης δεν υφίστανται σε φυσική μορφή αλλά υπάρχουν μόνο ως γραμμές κώδικα, επεξεργασία δεδομένων και λήψη αποφάσεων. Παρόλα αυτά, υπάρχει ένα μικρό υποσύνολο συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης που αναπτύσσονται σε φυσική μορφή. Τα ρομποτικά συστήματα, αποτελούν έναν τύπο συστήματος τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο διαφόρων αντικειμένων, που βρίσκονται στον φυσικό κόσμο. Τα ρομποτικά συστήματα μπορούν να δημιουργούνται και με εποπτευόμενη μάθηση αλλά και με μάθηση χωρίς επίβλεψη.

### 2.1.5.4 Νευρωνικά δίκτυα (Neural networks)

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν μία υπο-κατηγορία της τεχνητής νοημοσύνης και χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία λογισμικών που μπορούν να μάθουν και να λαμβάνουν αποφάσεις όπως οι άνθρωποι. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα συντελούνται από πολλούς νευρώνες, ή διασυνδεδεμένους κόμβους επεξεργασίας, που μπορούν να μάθουν να αναγνωρίζουν μοτίβα, παρόμοια με τον ανθρώπινο εγκέφαλο.

Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν αμέτρητες δυνατότητες. Τα δίκτυα αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν για τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων σε πολλαπλούς κλάδους, όπως για παράδειγμα της υγειονομικής περίθαλψης, των χρηματοοικονομικών και της μεταποίησης. Παράλληλα, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων που γίνονται από αλγόριθμους μηχανικής μάθησης.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των νευρωνικών δικτύων αποτελεί η δυνατότητα τους να εκπαιδευτούν προκειμένου να αναγνωρίζουν μοτίβα σε δεδομένα που είναι πολύ περίπλοκα για τους απλούς αλγόριθμους υπολογιστών. Τα παραδοσιακά προγράμματα υπολογιστών είναι ντετερμινιστικά αλλά αντιθέτως τα νευρωνικά δίκτυα, όπως και οι υπόλοιπες μορφές μηχανικής μάθησης, είναι πιθανολογικά και συνεπώς έχουν την δυνατότητα να χειριστούν περιπτώσεις λήψης απόφασης με μεγάλο βαθμό πολυπλοκότητας.

Αυτό που τα κάνει τόσο ισχυρά τα νευρωνικά δίκτυα είναι η πιθανολογική φύση τους. Μια τεράστια ποικιλία εργασιών μπορούν να λυθούν χάρη στα νευρωνικά δίκτυα, με την προϋπόθεση ότι υπάρχει αρκετή υπολογιστική ισχύ και δεδομένα με ετικέτα.

Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στην χρήση των νευρωνικών δικτύων είναι ότι έχουν περιορισμένη ερμηνευσιμότητα, και συνεπώς είναι δύσκολο να κατανοηθούν και να εντοπιστούν σφάλματα. Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν ευαισθησία στα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευσή τους και υπάρχει περίπτωση να μην έχουν καλή απόδοση όταν τα δεδομένα δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα.

Παρόλο των διαφόρων προκλήσεων, τα νευρωνικά δίκτυα εξακολουθούν να αποτελούν ένα ανταγωνιστικό και ισχυρό εργαλείο που δύναται να χρησιμοποιηθεί με σκοπό τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων σε πολλούς κλάδους. Η βαθιά μάθηση, την οποία επισημάναμε προηγουμένως, είναι ένα υποσύνολο νευρωνικών δικτύων που μαθαίνει από μεγάλα δεδομένα.

### **2.1.5.5 Επεξεργασία φυσικής γλώσσας (NLP, Natural Language Processing)**

Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας, γνωστό και ως NLP, αποτελεί ένα υποσύνολο της τεχνητής νοημοσύνης που εστιάζει στον χειρισμό και στην κατανόηση της ανθρώπινης γλώσσας. Αυτός ο τομέας της τεχνητής νοημοσύνης παρόλο που υπάρχει εδώ και πολλά χρόνια, τα τελευταία χρόνια έχει αποκτήσει μεγάλη δημοτικότητα εξαιτίας της προόδου της βαθιάς μάθησης και της μηχανικής μάθησης.

Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα για την ταξινόμηση κειμένου, την ανάλυση συναισθημάτων και την αυτόματη μετάφραση. Αυτή η τεχνολογία έχει αξιοποιηθεί προκειμένου να δημιουργηθούν chatbot και προσωπικοί βοηθοί. Το NLP αποτελεί ένα πολύ ισχυρό εργαλείο και χάρη στην πρόοδο της τεχνητής νοημοσύνης, βρίσκεται σε τροχιά διαρκούς εξέλιξης.

Διάφορες εφαρμογές και προσωπικοί βοηθοί όπως το Siri, το Google Translate, η Alexa και άλλα αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας. Οι εφαρμογές αυτές έχουν την δυνατότητα να αναγνωρίσουν, να κατανοήσουν και να απαντήσουν στην ανθρώπινη γλώσσα, παρόλο της δυσκολίας. Το NLP χρησιμοποιείται επίσης και για την ερμηνεία και την επεξεργασία κειμένου που εισάγεται στις προαναφερόμενες εφαρμογές.

Οι μηχανές αναζήτησης χρησιμοποιούν και αυτές επεξεργασία φυσικής γλώσσας. Συγκεκριμένα, η google χρησιμοποιεί την επεξεργασία φυσικής γλώσσας προκειμένου να κατανοήσει το περιεχόμενο των ιστοσελίδων. Με αυτόν τον τρόπο η google μπορεί να προβάλλει αποτελέσματα για ερωτήματα που δεν αποτελούν απλώς λέξεις-κλειδιά. Επιπροσθέτως, χρησιμοποιείται για τη δημιουργία αποσπασμάτων για ιστότοπους.

Συνεπώς, συμπεραίνουμε ότι η επεξεργασία φυσικής γλώσσας αποτελεί ένα πολύ ισχυρό εργαλείο και έχει την προοπτική να γίνει πιο δημοφιλές στο μέλλον. Με την πρόοδο της τεχνητής νοημοσύνης, το NLP θα γίνει πιο εξελιγμένο και πιο ακριβές.

### **2.1.5.6 Γενετικοί αλγόριθμοι (Genetic algorithms)**

Όσο η κατανόηση της γενετικής αυξάνεται, τόσο πιο πολύ εξελίσσεται ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιούμε τη δύναμη της γενετικής για την επίλυση προβλημάτων. Συνεπώς, οι γενετικοί αλγόριθμοι (GA Genetic algorithms) γίνονται όλο και πιο δημοφιλή για την επίλυση προβλημάτων.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι αξιοποιούνται για την εύρεση λύσεων σε προβλήματα βελτιστοποίησης αντιγράφοντας τη διαδικασία της φυσικής επιλογής. Σύμφωνα με του νόμους της φύσης οι οργανισμοί που είναι καλύτερα προσαρμοσμένοι στο περιβάλλον τους έχουν περισσότερες πιθανότητες να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν, μεταβιβάζοντας τα καλά γονίδια τους στους απογόνους τους. Ομοίως, σε έναν γενετικό αλγόριθμο, οι λύσεις που είναι πιο κατάλληλες για το υπό εξέταση πρόβλημα είναι πιο πιθανό να επιλεγούν και να αναπαραχθούν, οδηγώντας σταδιακά σε μια βέλτιστη λύση.

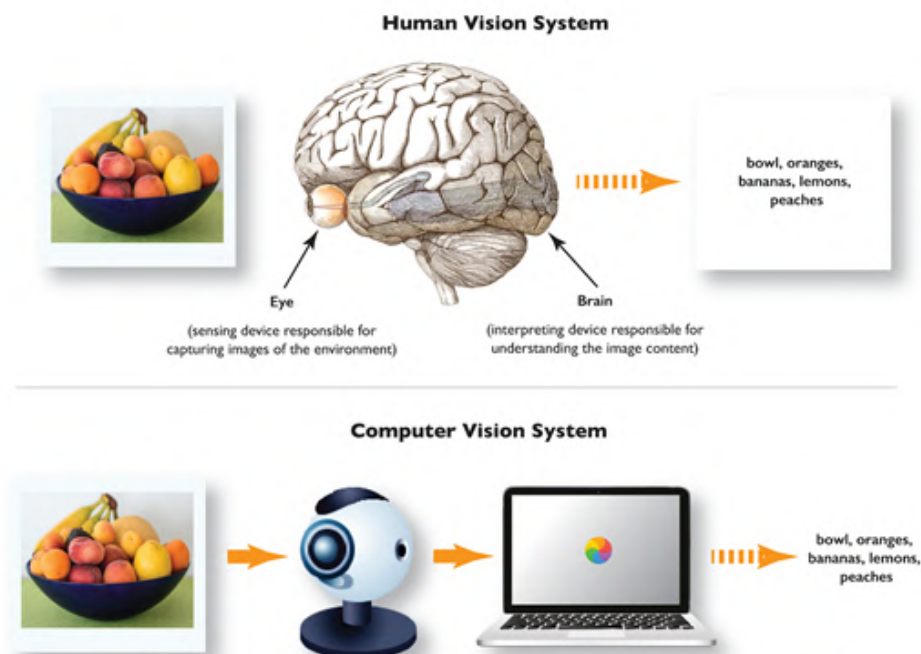
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι υλοποίησης ενός γενετικού αλγορίθμου, αλλά οι περισσότεροι συνήθως περιλαμβάνουν τα παρακάτω τέσσερα κύρια βήματα:

1. Αρχικοποίηση: Ορίζεται ένας πληθυσμός πιθανών λύσεων (οι οποίοι ονομάζονται χρωμοσώματα ή άτομα) τυχαία.
2. Αξιολόγηση: Αξιολογείται η ικανότητα του κάθε ατόμου στον πληθυσμό με βάση κάποιο προκαθορισμένο κριτήριο.
3. Επιλογή: Επιλέγονται τα πιο κατάλληλα άτομα για αναπαραγωγή.
4. Αναπαραγωγή: Οι απόγονοι που δημιουργούνται από τα επιλεγμένα “άτομα” χρησιμοποιώντας έναν ή ακόμα και περισσότερους τελεστές διασταύρωσης και/ή μετάλλαξης.

Στη συνέχεια, όλα τα παραπάνω βήματα πραγματοποιούνται ξανά ωστόσο να βρεθεί μια ικανοποιητική λύση ή να ικανοποιηθεί κάποια άλλη προϋπόθεση διακοπής.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι κατά την πάροδο των χρόνων έχουν αξιοποιηθεί για να επιλυθούν διάφορα προβλήματα, που κυμαίνονται από τη δρομολόγηση οχημάτων σε μια πόλη έως το σχεδιασμό πτερυγίων αεροπλάνων που ελαχιστοποιούν την οπισθέλκουσα. Παράλληλα, έχουν χρησιμοποιηθεί σε τομείς όπως η μηχανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη, συνεισφέροντας στην «εξέλιξη» νευρωνικών δικτύων που είναι υπεύθυνα για την εκτέλεση εργασιών όπως η αναγνώριση προσώπου ή η αναπαραγωγή παιχνιδιών.

### **2.1.6 Εμβαθυνση στην μηχανική όραση:**



**ΕΙΚΟΝΑ 2.1.7: Παραμύθισμα ανθρώπινης και μηχανικής όρασης**

Η μηχανική όραση χάρη στην τεχνητή νοημοσύνη (AI) δίνει την δυνατότητα στους υπολογιστές να λαμβάνουν ουσιαστικά δεδομένα από οπτικές εισόδους, όπως για παράδειγμα φωτογραφίες και βίντεο. Οι γνώσεις που αποκτήθηκαν από την όραση υπολογιστή χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την λήψη αυτοματοποιημένων ενεργειών. Ακριβώς όπως η τεχνητή νοημοσύνη δίνει στους υπολογιστές τη δυνατότητα να «σκέφτονται», η μηχανική όραση του υπολογιστή τους επιτρέπει να «βλέπουν».

Ως άνθρωποι, γενικά περνάμε τη ζωή μας παρατηρώντας το περιβάλλον μας χρησιμοποιώντας οπτικά νεύρα, αμφιβληστροειδή και τον οπτικό φλοιό. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε την δυνατότητα αναγνωρίζουμε τα αντικείμενα, να εκτιμήσουμε την απόστασή τους από εμάς και από άλλα αντικείμενα, να υπολογίσουμε την ταχύτητα κίνησής ενός αντικειμένου και να εντοπίσουμε λάθη. Ομοίως, η όραση υπολογιστή επιτρέπει σε μηχανές που τροφοδοτούνται με AI να εκπαιδεύονται για να εκτελούν αυτές ακριβώς τις διαδικασίες. Αυτά τα μηχανήματα αξιοποιούν έναν συνδυασμό αλγορίθμων, καμερών, και δεδομένων για να το κάνουν.

Όμως, οι υπολογιστές σε αντίθεση με τους ανθρώπους, δεν κουράζονται. Συνεπώς, μπορούν να εκπαιδευτούν οι μηχανές που αξιοποιούν τις τεχνολογίες όρασης υπολογιστή προκειμένου να αναλύουν ασταμάτητα μεγάλες ποσότητες στοιχείων ή προϊόντων παραγωγής μέσα σε λίγα λεπτά. Αυτό δίνει την δυνατότητα στα εργοστάσια παραγωγής να βελτιστοποιήσουν και να αυτοματοποιούν τον εντοπισμό ελαττωμάτων που δύσκολα γίνονται διακριτά με το ανθρώπινο μάτι.

Η μηχανική όραση χρειάζεται μια μεγάλη βάση δεδομένων για να είναι πραγματικά αποτελεσματική. Αυτό γίνεται καθώς αυτές οι λύσεις απαιτούν την ανάλυση πληροφοριών επανειλημμένα μέχρι να αποκτηθεί η κάθε δυνατή εικόνα που απαιτείται για την εργασία που τους έχει ανατεθεί. Παραδείγματος χάριν, ένας υπολογιστής που έχει εκπαιδευτεί για να αναγνωρίζει υγιείς καλλιέργειες θα πρέπει να μπορεί να αναλύει χιλιάδες οπτικά δεδομένα αναφοράς για γεωργικές εκτάσεις, για καλλιέργειες, για ζώα και άλλα σχετικά αντικείμενα. Μόνο κατά αυτό τον τρόπο θα μπορέσει το σύστημα αυτό να αναγνωρίζει αποτελεσματικά διαφορετικούς τύπους υγιών καλλιεργειών, θα τις διαχωρίζει από τις ανθυγιεινές καλλιέργειες, θα μετράει την ποιότητα των καλλιεργειών, θα ανιχνεύει παράσιτα και άλλα ζώα μεταξύ των καλλιεργειών κ.λπ.

Σήμερα υπάρχουν δύο βασικές τεχνολογίες που οδηγούν την όραση του υπολογιστή, η μία είναι τα συνελκτικά νευρωνικό δίκτυο και η άλλη είναι η βαθιά μάθηση, που όπως προαναφέραμε είναι ένας τύπος μηχανικής μάθησης.

Η μηχανική μάθηση (ML) χρησιμοποιεί μοντέλα που στηρίζονται σε αλγόριθμους για να δώσει την δυνατότητα στους υπολογιστές να μάθουν το πλαίσιο μέσω οπτικής ανάλυσης δεδομένων. Το σύστημα θα είναι σε θέση να αναγνωρίζει και να διαφοροποιεί τις οπτικές εισόδους, όταν δοθούν επαρκή δεδομένα στο μοντέλο. Ουσιαστικά το σύστημα χρησιμοποιεί αλγόριθμους AI για να μαθαίνει αυτόνομα, αντί να προγραμματίζεται ώστε να αναγνωρίζει και να διαφοροποιεί τις εικόνες.



Τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (convolutional neural network) βοηθούν τα μοντέλα μηχανικής μάθησης ώστε να δουν διαιρώντας τις εικόνες σε εικονοστοιχεία (pixel). Σε κάθε εικονοστοιχείο (pixel) προσδίδεται μια ετικέτα. Όλες αυτές οι ετικέτες που δημιουργούνται στην συνέχεια χρησιμοποιούνται συλλογικά προκειμένου να πραγματοποιήσουν συνελίξεις. Οι συνελίξεις είναι μια μαθηματική διαδικασία που συνδυάζει δύο συναρτήσεις για να παράγει μια τρίτη συνάρτηση. Με την διαδικασία αυτή τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα μπορούν να επεξεργάζονται οπτικές εισόδους.

Προκειμένου, ένα σύστημα να μπορέσει να δει τις εικόνες όπως ακριβώς θα έκανε ένας άνθρωπος, τα νευρωνικά δίκτυα εκτελούν συνελίξεις και στην συνέχεια εξετάζουν την ακρίβεια της εξόδου σε πολλές επαναλήψεις. Ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (convolutional neural network), ξεκινά με τον εντοπισμό στοιχειωδών σχημάτων και σκληρών άκρων, όπως θα έκανε ένας άνθρωπος που θέλει να διακρίνει ένα αντικείμενο από μακριά. Εφόσον γίνει αυτό, το μοντέλο διορθώνει τα κενά στα δεδομένα του και εκτελεί επαναλήψεις της εξόδου του. Αυτό το βήμα πραγματοποιείται έως ότου η έξοδος κάνει “προβλέψει” με ακρίβεια.

Το συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (convolutional neural network) έχει την δυνατότητα να κατανοεί μεμονωμένες εικόνες, ενώ ένα επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο (recurrent neural network) επεξεργάζεται εισόδους βίντεο προκειμένου να επιτρέψει στους υπολογιστές να “μάθουν” πώς μια σειρά από εικόνες σχετίζονται μεταξύ τους.

#### **2.1.6.1 Συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (CNN, Convolutional Neural Network)**

Τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα, ξεχωρίζουν από τα υπόλοιπα νευρωνικά δίκτυα χάρη στην εξαιρετική τους απόδοση στα συστήματα που έχουν ως είσοδο δεδομένων, εικόνες ή ήχο. Το εν λόγω νευρωνικό δίκτυο έχει τρεις κύριες κατηγορίες στρωμάτων (Layers) και είναι οι εξής:

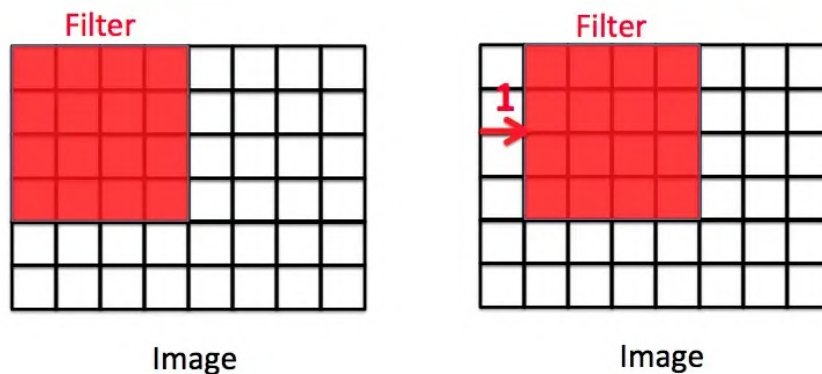
- Συνελκτικό στρώμα (Convolutional layer)
- Συγκεντρωτικό στρώμα (Pooling layer)
- Πλήρως ενωμένο στρώμα (Fully-connected (FC) layer)

Το συνελκτικό στρώμα είναι το πρώτο στρώμα του συνελκτικού δικτύου. Το πρώτο συνελκτικό στρώμα μπορεί να ακολουθείται από κι' άλλα συνελκτικά στρώματα ή απο συγκεντρωτικά στρώματα και έπειτα το τελευταίο στρώμα είναι το πλήρως-ενωμένο στρώμα. Με κάθε στρώμα που υπάρχει στο συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο, αυξάνεται η πολυπλοκότητα του νευρωνικού δικτύου, δίνοντας έτσι την δυνατότητα στο νευρωνικό δίκτυο να μπορεί να αναγνωρίσει περισσότερα κομμάτια της εικόνας. Τα αρχικά στρώματα εστιάζουν στα απλα χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα τις άκρες ή το χρώμα. Όσο προχωράει η αναγνώριση της εικόνας μέσα από τα στρώματα του συνελκτικού νευρωνικού δικτύου, το δίκτυο αρχίζει να αναγνωρίζει όλο και μεγαλύτερα κομμάτια της ή σχήματα της του “αντικειμένου” της εικόνας, ώσπου να αναγνωρίσει εντελώς το επιθυμητό αντικείμενο.

### Συνελικτικό στρώμα (Convolutional layer):

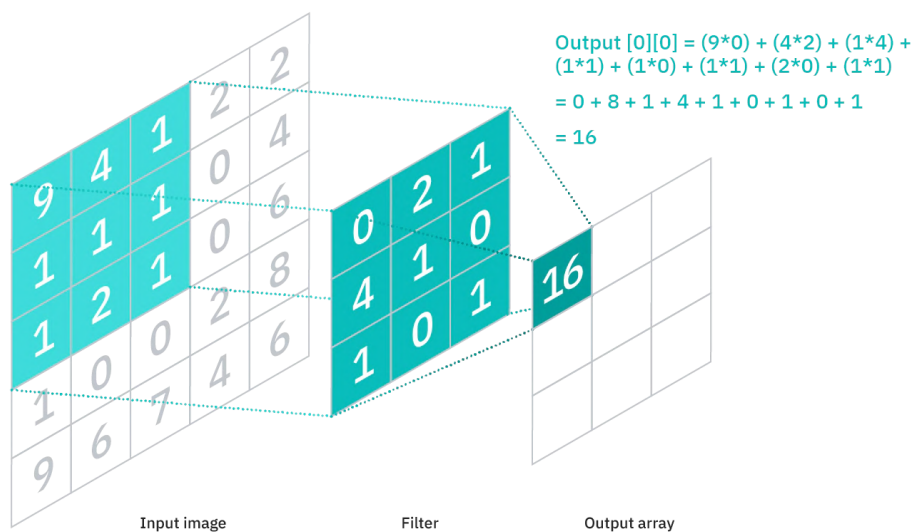
Το συνελικτικό στρώμα είναι το πιο βασικό στρώμα του εν λόγω νευρωνικού δικτύου και είναι το κομμάτι στο οποίο γίνονται οι περισσότεροι υπολογισμοί. Το στρώμα αυτό προαπαιτεί μερικά “συστατικά” τα οποία είναι, τα αρχικά δεδομένα τα οποία θα του εισάγουμε (Data input), ένα φίλτρο (Filter) και ένα χάρτη χαρακτηριστικών (Feature map). Ας υποθέσουμε, ότι εισάγουμε στο συνελικτικό νευρωνικό δίκτυο μια πολύχρωμη εικόνα, η οποία αποτελείται από έναν πίνακα με εικονοστοιχεία (pixels) με τρεις διαστάσεις. Δηλαδή, οι τρεις διαστάσεις σε μια εικόνα αντιστοιχούν στο ύψος, στο πλάτος και στο βάθος της εικόνας. Το βάθος της εικόνας αποτελεί στις RGB τιμές της εικόνας. Έχουμε επίσης έναν ανιχνευτή χαρακτηριστικών (feature detector) που είναι γνωστό και ως Kernel ή φίλτρο (filter) και έχει την αρμοδιότητα να πηγαίνει στα δεκτικά πεδία (receptive fields) της εικόνας, ώστε να ελέγχει την ύπαρξη του επιθυμητού χαρακτηριστικού. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή και ως συνέλιξη (convolution).

Ο ανιχνευτής χαρακτηριστικών (feature detector) είναι ένας δύο διαστάσεων πίνακας με βάρη (weights), που αντιπροσωπεύουν ένα κομμάτι της εικόνας. Παρόλο που μπορεί να έχουν διαφορετικές διαστάσεις, τα φίλτρα είναι συνήθως τριών διαστάσεων πίνακας (3x3 matrix), και επίσης το μέγεθος των φίλτρων επηρεάζει το μέγεθος των δεκτικών πεδίων (receptive fields). Έπειτα το φίλτρο (filter) εφαρμόζεται σε μία περιοχή της εικόνας και υπολογίζεται το εσωτερικό γινόμενο (Dot product) μεταξύ των εικονοστοιχείων (pixels) και του φίλτρου, όπως βλέπουμε και στην ΕΙΚΟΝΑ 2.1.9. Αυτό το εσωτερικό γινόμενο (Dot product), τροφοδοτείται σε έναν πίνακα ως έξοδος. Ύστερα, το φίλτρο μετατοπίζεται κατά έναν αριθμό λωρίδων (strides) και επαναλαμβάνει την ίδια διαδικασία, μέχρι το Kernel (το φίλτρο) να “δει” και τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία (pixels) της εικόνας. Παρακάτω βλέπουμε ένα παράδειγμα όπου ο αριθμός των λωρίδων (strides) είναι ίσον με ένα.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.1.8:** Μετακίνηση κατά ένα *stride*

Η τελική έξοδος της διαδικασίας αυτής είναι ένας πίνακας με όλα τα εσωτερικά γινόμενα που προέκυψαν από την εικόνα που εισάγαμε και από το φίλτρο. Αυτός ο τελικός πίνακας ονομάζεται συνήθως χάρτης χαρακτηριστικών (Feature map) ή αλλιώς χάρτης ενεργοποίησης (activation map) ή χαρακτηριστικά συνέλιξης (convolved feature).



**ΕΙΚΟΝΑ 2.1.9:** Πολλαπλασιασμός πινάκων σε ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, η κάθε έξοδος που προστίθεται στον τελικό πίνακα δεν χρειάζεται να είναι άμεσα συνδεδεμένο με το κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας που εισάγαμε. Απαιτείται μόνο να είναι συνδεδεμένο με το δεκτικό πεδίο (receptive field), στο οποίο εφαρμόζεται το φίλτρο. Συνεπώς, αφού δεν χρειάζεται να συνδέεται το κάθε εικονοστοιχείο με το φίλτρο και συνεπώς και με τον τελικό πίνακα, τα συνελκτικά (και τα συγκεντρωτικά) στρώματα, πολλές φορές ονομάζονται σχεδόν-ενωμένα (Partially connected) στρώματα. Επίσης, το χαρακτηριστικό αυτό μπορεί επίσης να περιγραφεί ως τοπική συνδεσιμότητα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα βάρη στον ανιχνευτή χαρακτηριστικών (feature detector) παραμένουν ίδια όσο με κάθε βήμα περνάει από όλα τα δεκτικά πεδία (receptive fields). Αυτή η διαδικασία ονομάζεται διαμοιρασμός παραμέτρων (parameter sharing). Κάποιοι παράμετροι, όπως τα βάρη, προσαρμόζονται κατά την διάρκεια της εκπαίδευσης, με την διαδικασία που ονομάζεται οπισθοδιάδοση (backpropagation) και κάθοδος βασισμένη στην κλίση (gradient descent). Παρόλα αυτά, υπάρχουν τρεις κύριες παράμετροι που επηρεάζουν το μέγεθος του τελικού πίνακα, και πρέπει να καθοριστούν προτού ξεκινήσει η εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου. Οι παράμετροι αυτοί είναι οι εξής:

1. Ο αριθμός των φίλτρων, καθώς επηρεάζει το βάθος του τελικού πίνακα. Για παράδειγμα, αν έχουμε τρία ξεχωριστά φίλτρα, θα δημιουργηθούν τρεις διαφορετικούς χάρτες χαρακτηριστικών (Feature maps) και συνεπώς το βάθος του τελικού πίνακα θα έχει την τιμή του τρία.
2. Ο αριθμός των λωρίδων (Stride) ή αλλιώς ο αριθμός των εικονοστοιχείων της εικόνας που "βλέπει" σε κάθε βήμα το φίλτρο (kernel). Ο αριθμός των λωρίδων (Stride) είναι σπάνια πάνω από δύο, καθώς όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των λωρίδων κατά τις οποίες μετατοπίζεται το φίλτρο, τόσο πιο μικρό είναι το μέγεθος του τελικού πίνακα.

3. *Μηδενική-επένδυση (Zero-padding)*, χρησιμοποιείται όταν το φίλτρο δεν χωράει στην εικόνα. Ουσιαστικά συμπληρώνει ως μηδέν στην εικόνα τα πεδία που απαιτούνται ώστε η εικόνα να είναι ίδιο ή μεγαλύτερο μέγεθος από το φίλτρο. Υπάρχουν τριών ειδών επενδύσεων (padding):

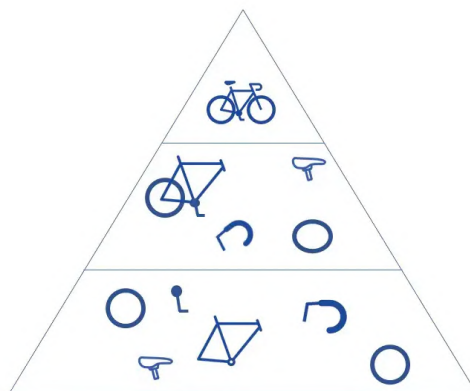
-Εγκυρη επένδυση (Valid padding): Γνωστή και ως χωρίς επένδυση (No padding). Σε αυτήν την περίπτωση η τελευταία συνέλιξη ακυρώνεται αν οι διαστάσεις δεν ταιριάζουν.

-Μερική επένδυση (Same padding): Αυτή η επένδυση διαβεβαιώνει το στρώμα εξόδου έχει το ίδιο μέγεθος με το στρώμα εισόδου.

-Πλήρης επένδυση (Full padding): Αυτή η επένδυση αυξάνει το μέγεθος της εξόδου ώστε να γίνει το ίδιο μέγεθος με την είσοδο.

Ύστερα από κάθε διαδικασία συνέλιξης, το συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο CNN πραγματοποιεί έναν μετασχηματισμό διορθωμένης γραμμικής μονάδας ( Rectified Linear Unit [ReLU] ) στον χάρτη χαρακτηριστικών, εισάγοντας έτσι τη μη γραμμικότητα στο μοντέλο.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μετα απο το συνελκτικό στρώμα, μπορεί να ακολουθήσει και άλλο συνελκτικό στρώμα. Όταν συμβαίνει αυτό, δομή του συνελκτικού νευρωνικού δικτύου CNN μπορεί να γίνει ιεραρχική καθώς τα μετέπειτα στρώματα μπορούν να “δουν” τα εικονοστοιχεία μέσα από τα δεκτικά πεδία (receptive fields) των προηγούμενων στρωμάτων. Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι θέλουμε να αναγνωρίσουμε αν περιέχει ποδήλατο η εικόνα, πρέπει να σκεφτούμε το ποδήλατο ως ένα σύνολο κομματιών π.χ. τιμόνι, σέλα, πετάλια κτλ.. Κάθε ξεχωριστό κομμάτι αποτελεί ένα μοτίβο χαμηλότερου επιπέδου του νευρωνικού δικτύου και ο συνδυασμός των επιμέρους κομματιων οδηγεί σε μοτίβα μεγαλύτερου επιπέδου, δημιουργώντας μία ιεραρχία χαρακτηριστικών μέσα στο συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.1.10:** Διάγραμμα με την ιεραρχία των στοιχείων σε ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο

Εν τέλει, το συνελκτικό στρώμα μετατρέπει την εικόνα σε αριθμητικές τιμές, δίνοντας έτσι την δυνατότητα στο νευρωνικό δίκτυο να ερμηνεύει και να εξάγει σχετικά μοτίβα.

#### Συγκεντρωτικό στρώμα (Pooling layer):

Τα εν λόγω στρώματα, γνωστά και ως υποδειγματοληψία (Downsampling), διενεργούν μείωση των διαστάσεων, μειώνοντας τον αριθμό των παραμέτρων στην είσοδο. Όπως και στο συνελκτικό στρώμα, το συγκεντρωτικό στρώμα μετακινεί ένα φίλτρο σε όλη την εικόνα, αλλά η διαφορά βρίσκεται στο γεγονός ότι το φίλτρο αυτό δεν έχει βάρη. Αντι αυτού, το φίλτρο (Kernel) εφαρμόζει μία συνάρτηση συσσωμάτωσης (Aggregation function) στις τιμές εντός του δεκτικού πεδίου (receptive field), συμπληρώνοντας έτσι τον τελικό πίνακα.

Τα είδη συγκέντρωσης (Pooling) είναι δύο:

-Μέγιστη συγκέντρωση (Max pooling): Όταν μετακινείται το φίλτρο στην εικόνα, επιλέγει το εικονοστοιχείο με την μέγιστη τιμή προκειμένου να την στείλει στον πίνακα εξόδου. Αυτή η προσέγγιση τείνει να χρησιμοποιείται πιο συχνά.

-Μέση συγκέντρωση (Average pooling): Όταν μετακινείται το φίλτρο στην εικόνα, υπολογίζει την μέση τιμή εντός του δεκτικού πεδίου (receptive field) για να την στείλει στον πίνακα εξόδου.

Παρόλο που χάνεται μια μερίδα της πληροφορίας κατά το συγκεντρωτικό στρώμα, έχει το πλεονέκτημα ότι μειώνει την πολυπλοκότητα, αυξάνει την απόδοση και μειώνει την πιθανότητα να συμβεί το λεγόμενο υπερπροσαρμογή (Overfitting).

#### Πλήρως ενωμένο στρώμα (Fully-connected (FC) layer)

Το όνομα πλήρως ενωμένο στρώμα υποδηλώνει πλήρως την λειτουργία του. Όπως προαναφέρθηκε, οι τιμές των εικονοστοιχείων της εικόνας που εισάγουμε δεν συνδέονται κατευθείαν με το τελικό στρώμα με μερικώς συνδεδεμένα στρώματα. Παρόλα αυτά, στο πλήρως ενωμένο στρώμα, ο κάθε κόμβος στο επίπεδο εξόδου συνδέεται κατευθείαν με έναν κόμβο στο προηγούμενο επίπεδο.

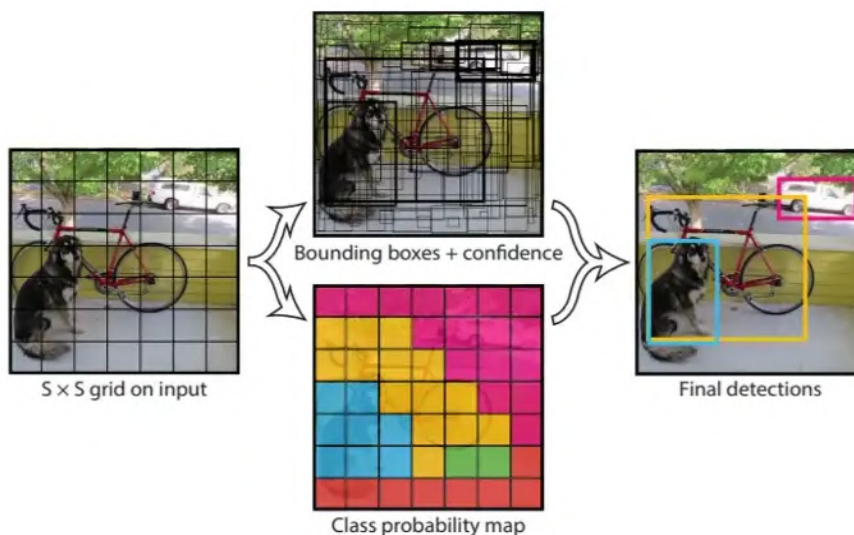
Αυτό το στρώμα, πραγματοποιεί την διαδικασία της κατηγοριοποίησης στηριζόμενο στα χαρακτηριστικά που προέκυψαν από τα προηγούμενα στρώματα και από τα διαφορετικά τους φίλτρα. Όσο το συνελκτικό και το συγκεντρωτικό στρώμα τείνει να χρησιμοποιεί συνάρτησης διορθωμένης γραμμικής μονάδας ( Rectified Linear Unit [ReLU] ), τα πλήρως ενωμένα στρώματα συνήθως αξιοποιούν μία συνάρτηση ενεργοποίησης softmax (Softmax activation function) για να κατηγοριοποιήσουν τα εισαγόμενα δεδομένα ανάλογα, χρησιμοποιώντας παράγοντα πιθανότητας από 0 έως 1.

#### **2.1.6.2 Το YOLO συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (YOLO CNN)**

Το yolo εμφανίστηκε για πρώτη φορά από την δημοσίευση των Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi, που ονομάστηκε “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection”. Αυτή η εργασία που δημοσιεύτηκε το 2015, πρότεινε ένα νέο, γρήγορο και σύγχρονο μοντέλο για την ανίχνευση αντικειμένων σε μια εικόνα (Object

detection). Μέχρι στιγμής έχουν δημοσιευτεί 7 κύριες εκδόσεις του YOLO. Το YOLO σημαίνει, κοιτάς μόνο μια φορά (You Only Look Once). Πριν δημοσιευτεί αυτή η εργασία, για την αναγνώριση αντικειμένων (Object detection) συνήθως χρησιμοποιούσαν την μέθοδο κατά την οποία επαναχρησιμοποιούσαν ταξινομητές (Classifiers) για να ταξινομήσουν τοπικές περιοχές μιας εικόνας και έπειτα χρησιμοποιούσαν μια προσέγγιση που λέγεται συρόμενο παράθυρο (Sliding window) για να ελέγξουν εάν κάθε περιοχή μιας εικόνας περιέχει ένα αντικείμενο. Όμως η YOLO αρχιτεκτονική προτείνει ουσιαστικά την μεταχείριση της αναγνώρισης αντικειμένου, ως ένα πρόβλημα παλινδρόμησης (Regression problem), στο οποίο χρησιμοποιείται μόνο ένα νευρωνικό δίκτυο και επεξεργάζονται ολόκληρη την εικόνα ταυτόχρονα και όχι σε περιοχές.

Η YOLO αρχιτεκτονική ουσιαστικά χωρίζει την εικόνα σε  $S \times S$  πλέγμα και για κάθε πλέγμα προβλέπει αν το κέντρο κάποιου αντικειμένου βρίσκεται σε αυτό. Αν και εφόσον το κέντρο του αντικειμένου είναι σε αυτό το πλέγμα, τότε θα προβλέψει ένα πλαίσιο οριοθέτησης (Bounding box) με 5 τιμές,  $x, y, w, h, c$ . Το  $[x, y]$  είναι οι συντεταγμένες του κέντρου του αντικειμένου σε σχέση με το πλέγμα, το  $[w, h]$  είναι το πλάτος και το ύψος του αντικειμένου σχετικά με την υπολοιπή εικόνα και το  $[c]$  είναι η κλάση του αντικειμένου.



**EΙΚΟΝΑ 2.1.11:**  
*Παράδειγμα εντοπισμού αντικειμένων σε φωτογραφία με την χρήση μηχανικής όρασης*

### 2.1.6.3 Επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο (RNN, Recurrent Neural Network):

Ένα επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο RNN, αποτελεί έναν ακόμα τύπο τεχνητού νευρωνικού δικτύου το οποίο αξιοποιεί διαδοχικά δεδομένα ή δεδομένα χρονοσειρών. Αυτοί οι αλγόριθμοι βαθιάς εκμάθησης χρησιμοποιούνται συχνά για χρονικά ή τακτικά προβλήματα. Όπως για παράδειγμα, μετάφραση γλωσσών, επεξεργασία φυσικής γλώσσας NLP (Natural language processing), κατηγοριοποίηση εικόνων (Image captioning) και αναγνώριση φωνής (Speech recognition). Αυτές οι τεχνολογίες έχουν ενσωματωθεί σε διάφορες δημοφιλείς εφαρμογές όπως είναι η Siri της Apple και το Google translate.

Τα επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα RNN, όπως και τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα CNN, απαιτούν δεδομένα εκπαίδευσης για να μάθουν. Τα εν λόγω νευρωνικά δίκτυα διακρίνονται από την δυνατότητα τους να “θυμούνται”, δηλαδή να έχουν μνήμη (Memory),



την οποία χρησιμοποιούν προκειμένου να μπορέσουν να χρησιμοποιήσουν προηγούμενες εισόδους ώστε να επηρεάσουν την επόμενη είσοδο και έξοδο του τεχνητού νευρωνικού δικτύου. Ως επι το πλείστον, τα νευρωνικά δίκτυα βαθιάς εκμάθησης έχουν τις εισόδους και τις εξόδους ως ανεξάρτητες μεταξύ τους, ενώ στο συγκεκριμένο νευρωνικό δίκτυο, δηλαδή στο επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο, η έξοδος εξαρτάται από τις προηγούμενες τιμές με βάση την ακολουθία.

## 2.2 Ρομποτική:

### 2.2.1 Εισαγωγή:

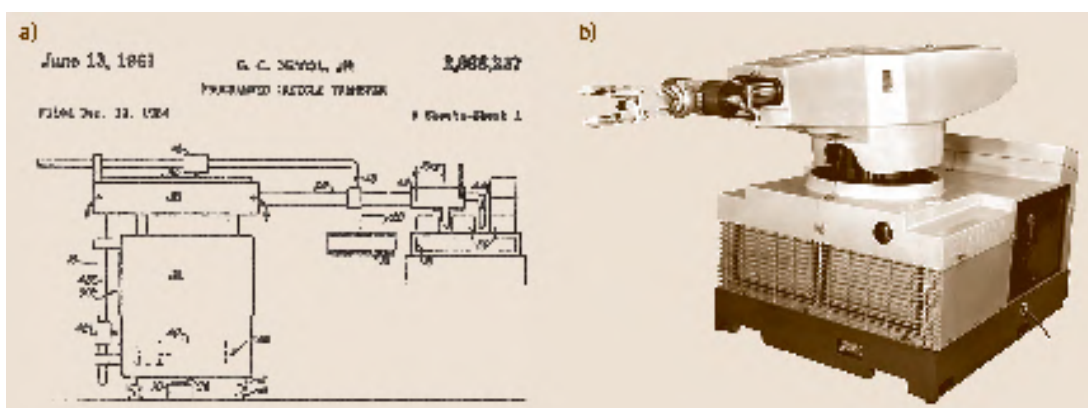
Στην σημερινή εποχή, υπάρχουν διάφορα είδη συστημάτων ρομποτικής. Το σύστημα βιομηχανικής ρομποτικής είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα είδη συστήματος ρομποτικής. Τα συστήματα για βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποίηση των διαδικασιών των βιομηχανιών. Συχνά χρησιμοποιούνται για επικίνδυνες, βρώμικες ή βαρετές δραστηριότητες. Τα ρομποτικά συστήματα υπολογιστών επεκτείνουν ήδη τη σταδιοδρομία και σώζουν ανθρώπινες ζωές.

Το σύστημα ρομποτικής υπηρεσίας είναι μια πρόσθετη μορφή ρομποτικού συστήματος. Τα συστήματα για ρομπότ εξυπηρέτησης χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποίηση της εργασίας που γίνεται πλέον από ανθρώπους. Γενικά χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν άτομα με δύσκολες ή επικίνδυνες δραστηριότητες, που κυμαίνονται από την υγειονομική περίθαλψη μέχρι την άμυνα.

Το σύστημα στρατιωτικής ρομποτικής είναι μια τρίτη κατηγορία συστημάτων ρομποτικής. Τα συστήματα στρατιωτικής ρομποτικής χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποίηση ή τη βελτίωση της απόδοσης των εργασιών που γίνονται από στρατιώτες. Στην παρούσα διπλωματική θα μελετηθούν περαιτέρω τα βιομηχανικά ρομποτικά συστήματα.

### 2.2.2 Ιστορική αναδρομή:

Η εφεύρεση του πρώτου βιομηχανικού ρομπότ, από τον εφευρέτη George Devol, χρονολογείται πίσω στο 1954. Ο εφευρέτης αυτός, σε συνεργασία με τον μηχανικό και επιχειρηματία Joseph Engelberger, δημιούργησαν την πρώτη εταιρεία κατασκευής βιομηχανικών ρομπότ, την Unimation.



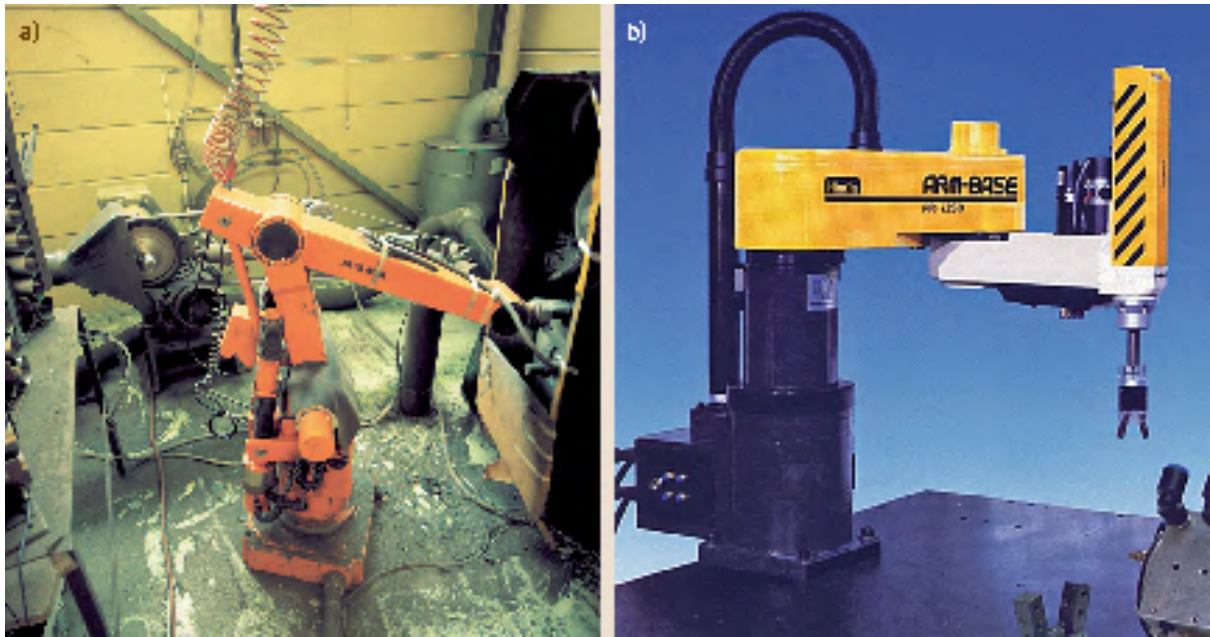
**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.1:** (a) Η πατέντα των G. Devol και J. Engelberger που οδήγησε την δημιουργία της εταιρείας Unimation, (b) Το πρώτο Unimation ρομπότ.

Τα πρώτα βιομηχανικά ρομπότ που προέκυψαν από την εταιρεία αυτή τέθηκαν σε λειτουργία σε εργοστάσιο της General Motors το 1961 και είχαν τον ρόλο να εισαγουν και να εξάγουν κομμάτια από μία μηχανή χύτευσης. Τα περισσότερα ρομπότ της εταιρείας πουλήθηκαν για σε εταιρείες που ήθελαν να αυτοματοποιήσουν την μετακίνηση κομματιών και την σημειακή συγκόλληση αμαξωμάτων αυτοκινήτων. Σύντομα πολλές εταιρείες ιδρύθηκαν με σκοπό την κατασκευή βιομηχανικών ρομπότ, δημιουργώντας μια νέα αγορά αλλά και τις συνθήκες για την εξέλιξη των βιομηχανιών. Το 1970, πραγματοποιήθηκε το πρώτο διεθνές συμπόσιο με θέμα τα βιομηχανικά ρομπότ στο Σικάγο, αναδεικνύοντας έτσι ότι τα ρομπότ πλέον αποτελεί ένα μεγάλο και πολλά υποσχόμενο πεδίο έρευνας.

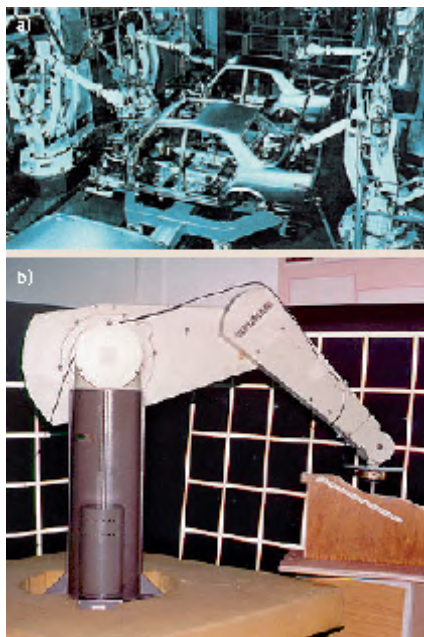
Το πρωτοποριακό Stanford Arm που σχεδιάστηκε το 1969 ως ένα ερευνητικού πρωτότυπο από τον πρωτοπόρο της ρομποτικής, Βίκτορ Σίνμαν. Αυτό το ρομπότ έχει 6 βαθμούς ελευθερίας (degree-of-freedom(6-DOF)), είναι εξ ολοκλήρου ηλεκτρικό και ήταν ελεγχόμενο από έναν υπερσύγχρονο υπολογιστή για την εποχή DEC PDP-6. Το 1973, η εταιρεία ASEA, που τώρα ονομάζεται ABB, παρουσίασε το πρώτο πλήρες ηλεκτρικό ρομπότ που ελέγχεται από μικροελεγκτή, το IRB-6 που φαίνεται και στην ΕΙΚΟΝΑ 2.2.2, και έχει την δυνατότητα να υλοποιήσει κίνηση συνεχούς διαδρομής (continuous path motion [CP]). Έτσι, τα ρομπότ εξελίχθηκαν ώστε να μπορούν κάνουν συγκόλληση ή αφαίρεση υλικού.

Το 1978, δημιούργησαν τα ρομπότ SCARA (Selective compliance assembly robot arm), που έχουν αρθρωτές αρθρώσεις και μία πρισματική ένωση. Αυτός ο τύπος ρομπότ, συνέβαλε στην απλοποίηση των εξισώσεων κινηματικής, οδηγώντας συνεπώς σε καλύτερους χρόνους πραγματοποίησης των υπολογισμών από τους τότε υπολογιστές. Αυτό το είδος ρομπότ εφευρέθηκε από τον Makino, από το πανεπιστήμιο Yamanashi University, Japan. Αυτός ο τύπος ρομπότ, ήταν ιδανικό για συναρμολόγηση μικρών εξαρτημάτων, με αποτέλεσμα να συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση παραγωγής ηλεκτρονικών και καταναλωτικών προϊόντων.





**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.2:** Το πλήρως ηλεκτρικό ρομπότ IRB-6 (1973) and (b) Ρομπότ τύπου SCARA



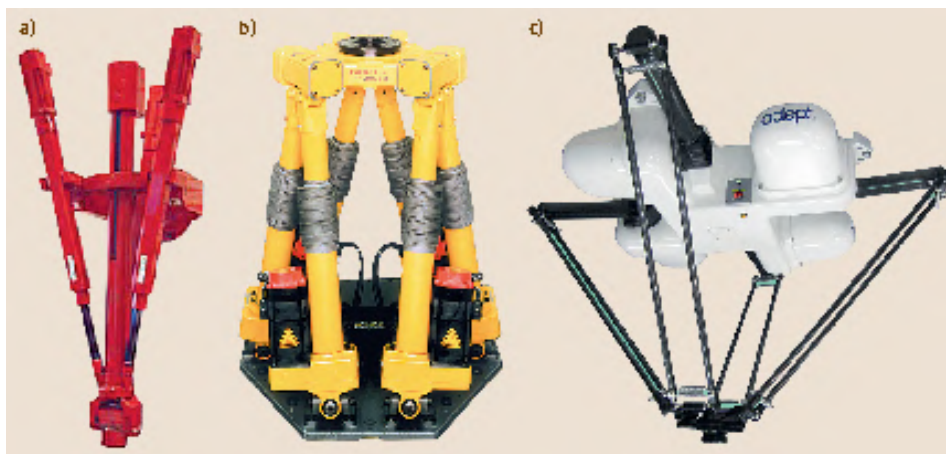
**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.3:** (a) KUKA IR 601/60 (1978). Το ρομπότ αυτο με τους 6 βαθμούς ελευθερίας, έχει μια ακόμα παράλληλη σύνδεση μεταξύ του δεύτερου και τρίτου άξονα. Συνεπώς, έχει την δυνατότητα να σηκώνει 60 kg, έχοντας την μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας. Αυτό το χαρακτηριστικό έκανε τον συγκεκριμένο τύπο ρομπότ δημοφιλή στις αυτοκινητοβιομηχανίες.

(b) Unimation PUMA (programmable universal machine for assembly) 560 (1979). Αυτό το ρομπότ με 6 άξονες έχει βασιστεί στην λειτουργία του ανθρώπινου χεριού. Έγινε γρήγορα ένας από τους πιο διάσημους ρομποτικούς βραχίονες χάρη στην ευκολία χρήσης του, και ειδικά για ερευνητικούς σκοπούς.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.4:** Μια αυτοματοποιημένη γραμμή παραγωγής το 1989 με SCARA ρομπότ, που φέρουν πολυεργαλεία στην άκρη τους (End-effector).

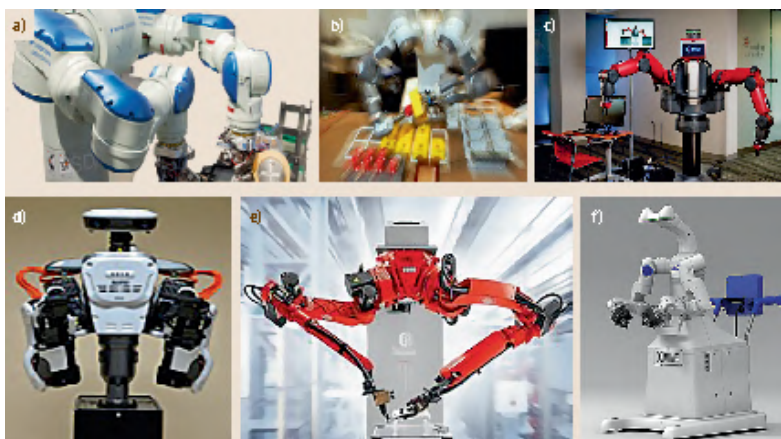
Η διαρκής ανάγκη για αύξηση της ταχύτητας, της ακρίβειας αλλά και του βάρους που μπορεί να σηκώσει ένα ρομπότ, οδήγησε στην εφεύρεση ενός νέου είδους ρομπότ, με διαφορετικά συστήματα μετάδοσης κίνησης και συνεπώς με διαφορετική κινηματική. Την δεκαετία του 80, αναπτύχθηκε ένα νέο είδος ρομπότ που είναι ελαφρύ και δύσκαμπτο, με την ονομασία παράλληλη κινηματική μηχανή (PKM, parallel kinematic machines). Στο συγκεκριμένο ρομπότ, η βάση του μηχανήματος συνδέεται με το τελικό εργαλείο (End-effector) με τρεις έως έξι παράλληλους στύλους. Αυτά τα παράλληλα ρομπότ είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να κάνουν πολύ γρήγορες κινήσεις με ακρίβεια. Επίσης, οι όγκοι των χώρων εργασίας τείνουν να είναι σημαντικά μικρότεροι σε σύγκριση με τα υπόλοιπα ρομπότ που είναι συγκρίσιμα σε μέγεθος.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.5:** Τα παράλληλα ρομπότ διαχέονται σιγά σιγά σε διάφορους τομείς βιομηχανικής εφαρμογής: (a) the Neos Tricept 600, (b) Fanuc F-200iB. (c) Adept Quattro.

Τις τελευταίες δεκαετίες, η έρευνα γύρω από τα ρομπότ έχει επικεντρωθεί στην μείωση του βάρους τον ρομπότ. Ο στόχος είναι να επιτύχουν την εντυπωσιακή αναλογία 1:1 βάρους-Φορτίο που έχει ένα ανθρώπινο χέρι.

Το 2006, η εταιρεία KUKA ανέπτυξε ένα νέο ρομπότ, το LBR lightweight, το οποίο έχει 7 βαθμούς ελευθερίας με προηγμένες δυνατότητες ελέγχου ροπής, κάτι το οποίο είναι απαραίτητο για βιομηχανικές εφαρμογές υψηλής απόδοσης. Το επόμενο βήμα στην ρομποτική αποτελεί η δημιουργία μηχανημάτων με δυο ρομποτικούς βραχίονες. Επίσης, σε συνδυασμό με την αύξηση του επιπέδου συνεργασίας μεταξύ Ανθρώπων-Ρομπότ, θα δημιουργηθεί το έδαφος για ανάπτυξη νέων πιθανών εφαρμογών των ρομπότ. Τα σύγχρονα ρομπότ θα προσφέρουν υψηλότερη απόδοση και εργονομία στις χειρωνακτικές εργασίες.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.6:**

Παραδείγματα ρομπότ με δύο βραχίονες (dual-arm robots).

(a) Motoman,

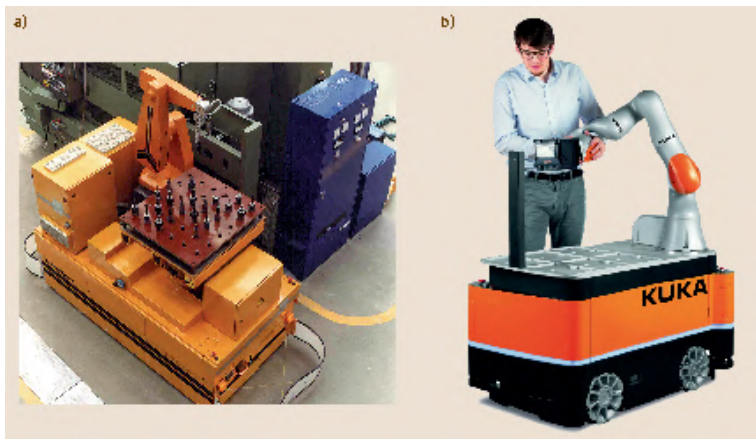
(b) ABB,

(c) Rethink Robotics,

(d) Kawada Industries,

(e) COMAU, (f) Seiko Epson





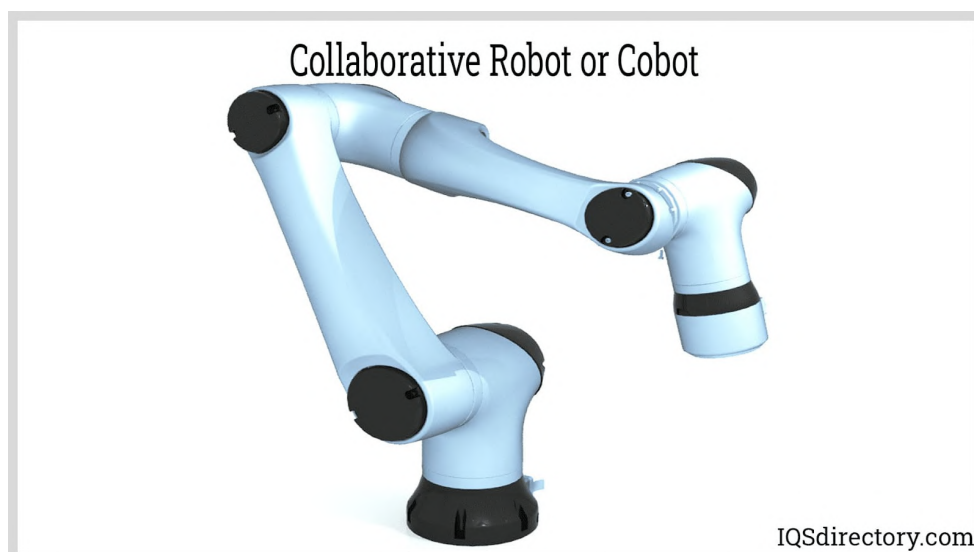
Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, αναπτύχθηκαν κινητά ρομπότ για να βελτιώσουν την ευελιξία και την αξιοπιστία της εφοδιαστικής εργοστασίων.

**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.7:** (a) Το MORO (1984) που αναπτύχθηκε από την Fraunhofer IPA, ήταν το πρώτο πρωτότυπο που συνδυάζει έναν ρομποτικό βραχίονα με μια

κινητή βάση που κινείται κατα μήκος των σχεδιασμένων γραμμών του δαπέδου. (b) Το KUKA omniRob, με μια πανκατευθυντική πλατφόρμα και με ένα LBR iiwa lightweight arm.

### **2.2.3 Βιομηχανικά Ρομπότ:**

Ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι ένα αυτόνομο σύστημα που αποτελείται από αισθητήρες, ελεγκτές και ενεργοποιητές που βρίσκονται πάνω σε ένα πλαίσιο με αρθρώσεις και έχει ως σκοπό να εκτελεί ορισμένες διεργασίες σε μία γραμμή παραγωγής. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν συνεχόμενα με επαναληπτικές κινήσεις, με συγκεκριμένους χρόνους για την κάθε διεργασία, σύμφωνα με το πρόγραμμα που το ελέγχει. Τα βιομηχανικά ρομπότ, μειώνουν ή ακόμα και εξαλείφουν, τον ανθρώπινο παράγοντα, ώστε να κερδίσουν διάφορα πλεονεκτήματα όπως, υψηλότερη ταχύτητα, ικανότητα και ποιότητα. Σήμερα, πλέον, πέρα από τα παραδοσιακά βιομηχανικά ρομπότ, υπάρχουν και τα συνεργατικά ρομπότ (Cobots, collaborative robots), τα οποία σχεδιάστηκαν προκειμένου να συνεργάζονται στενά και ταυτόχρονα με ανθρώπους. Συνεπώς, είναι απόλυτα ασφαλή όσον αφορά την λειτουργία τους δίπλα σε ανθρώπους, καθώς έχουν όριο ταχύτητας αλλά και δύναμης που ασκούν. Παράλληλα, με νέα μοτέρ υψηλής ακριβείας που αισθάνονται την ροή ρεύματος σε αυτά, επιτρέπει στο ρομπότ να ξέρει πότε να σταματήσει να ασκεί δύναμη.

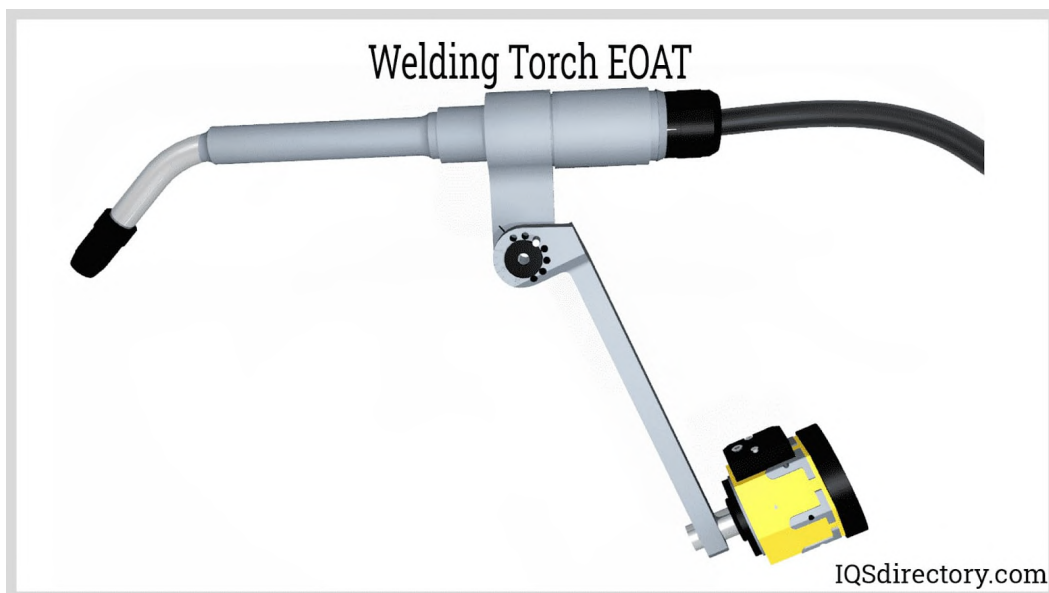


**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.8:** Ένα collaborative robot (COBOT)

Ένα βασικό μέρος ενός βιομηχανικού ρομπότ είναι ο βραχίονας. Ένας βραχίονας αποτελείται από συνδέσμους και αρθρώσεις. Οι σύνδεσμοι, είναι τα άκαμπτα μέρη του ρομπότ που κινούνται αναλόγως την κίνηση των αρθρώσεων του ρομπότ. Οι αρθρώσεις είναι μηχανικά μέρη, είτε μεταφραστική (πρισματική) είτε περιστροφική (περιστροφική), οι οποίες καθιστούν εφικτή την κίνηση μεταξύ δύο συνδέσμων. Η διάταξη και ο αριθμός των αρθρώσεων και των συνδέσμων συντελούν τους διαφορετικούς τύπου ρομπότ.

Το κυριότερο και το πιο σημαντικό κομμάτι ενός βιομηχανικού ρομπότ είναι το τελικό εργαλείο (EOAT, End-Of-Arm-Tool ή End-effector). Το τελικό εργαλείο, είναι το κομμάτι του ρομπότ που εκτελεί ουσιαστικά την διεργασία, είτε είναι για παράδειγμα κάποια συγκόλληση, είτε είναι να γραπώσει κάποιο αντικείμενο. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά τελικά εργαλεία, και προσαρμόζονται στα ρομπότ ανάλογα την διεργασία που θέλουμε να υλοποιήσουμε.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ένα παράδειγμα τελικού εργαλείου που χρησιμοποιείται για συγκόλληση.

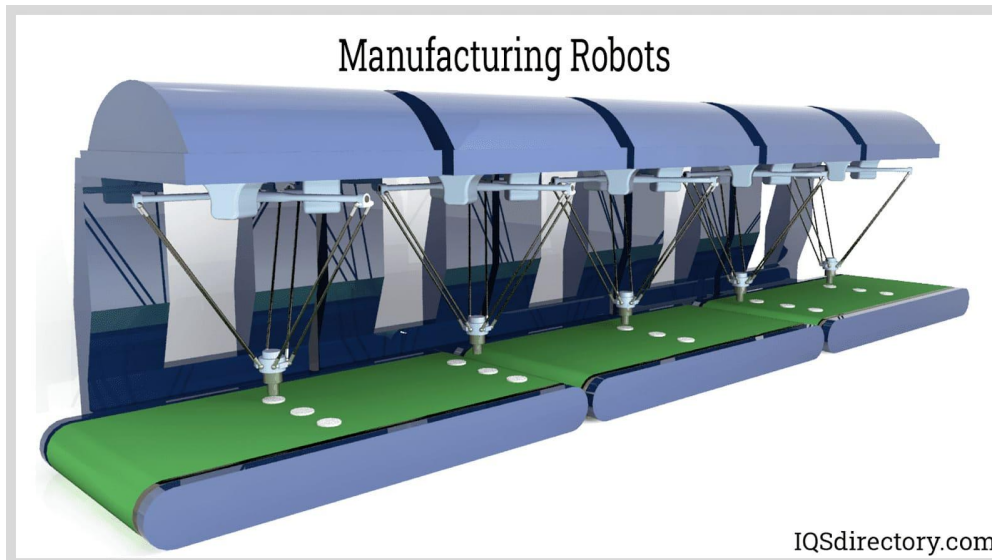


**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.9:** Παράδειγμα τελικού εργαλείου

### 2.2.3.1 Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από την αξιοποίηση των ρομπότ στις βιομηχανίες είναι πολλά και ξεκάθαρα. Παρόλο που απαιτεί μεγάλη αρχική επένδυση η ενσωμάτωση ρομπότ στην παραγωγή, τα οφέλη που θα προκύψουν, θα αντισταθμίσουν το αρχικό κόστος ύστερα από τρία με πέντε χρόνια.

- Γρήγορους ρυθμούς παραγωγής: Η απόκτηση πιο γρήγορου ρυθμού παραγωγής είναι από τους βασικότερους λόγους ώστε να επενδύσει μια βιομηχανία σε ρομποτικά συστήματα. Τα ρομπότ δεν “κουράζονται” και συνεπώς λειτουργούν αδιάκοπα χωρίς να επιβραδύνουν. Μπορούν να μειώσουν δραστικά τους χρόνους εκτελέσεως διεργασιών, δεδομένου ότι σχεδιάζονται, λειτουργούνται και συντηρούνται καθώς πρέπει. Τα ρομπότ έχουν σαφώς την δυνατότητα να κάνουν μεμονωμένες διεργασίες πιο γρήγορα από τους ανθρώπους.



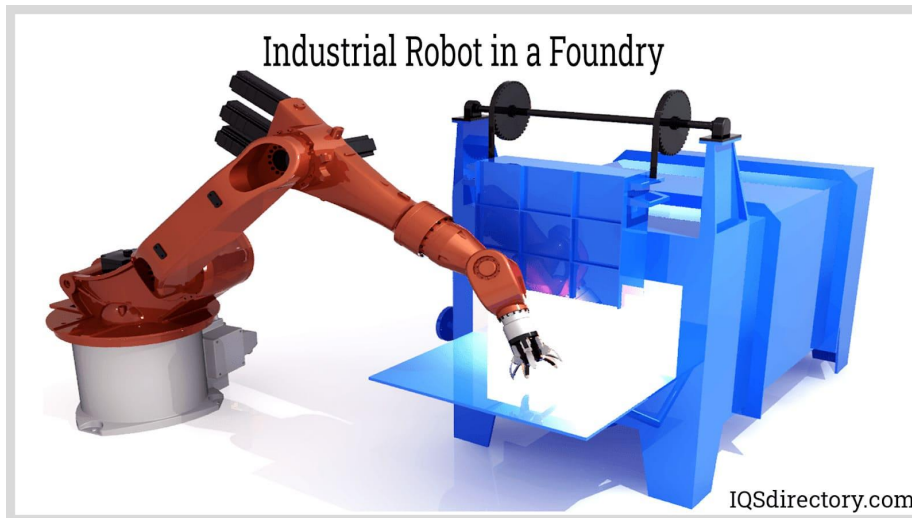
**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.10:** Γραμμή παραγωγής με πολλά delta robot σε σειρά

- Υψηλότερη δύναμη ανύψωσης φορτίου: Οι ενεργοποιητές των βιομηχανικών ρομπότ, είναι πολύ πιο ισχυροί σε αντίθεση με τα ανθρώπινα χέρια. Το αντίστοιχο των ενεργοποιητών, σε ένα ανθρώπινο χέρι είναι οι μυς. Οι ενεργοποιητές, σε συνδυασμό με πλανητικά ή κυκλοειδή κιβώτια ταχυτήτων υψηλής ακρίβειας, δίνουν την δυνατότητα στα ρομπότ να δημιουργήσουν τεράστιες δυνάμεις για να ταιριάζουν στην εκάστοτε εργασία. Επίσης, οι ενεργοποιητές σήμερα μπορούν να μετακινήσουν στον χώρο εργασίας το τελικό εργαλείο ενός ρομπότ με ακρίβεια και με υψηλή επαναληπτικότητα (Repeatability < 0.003). Αυτοί οι παράγοντες επιτρέπουν στα ρομπότ να σηκώσουν εύκολα και αποδοτικά βαριά αντικείμενα.



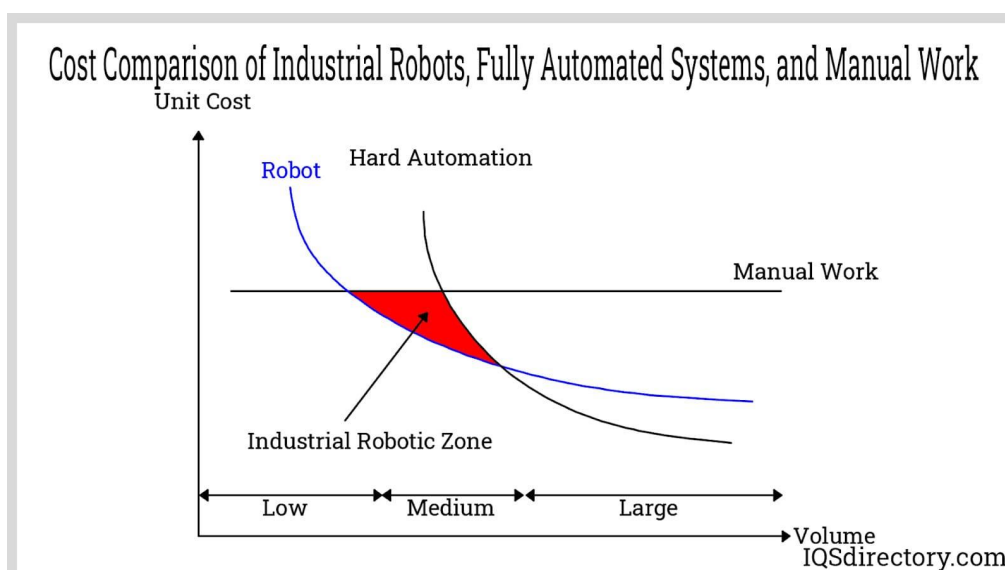
**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.11:** Χρήση ρομποτικού βραχίονα για pick and place εργασίες

- Βελτιωμένη ασφάλεια: Πολλές φορές σε έναν χώρο εργασίας υπάρχουν επικίνδυνες συνθήκες, όπως για παράδειγμα υψηλές θερμοκρασίες, υψηλές πιέσεις, γρήγορες κινήσεις κτλ.. Τα βιομηχανικά ρομπότ μπορούν να απαλλάξουν τον ανθρώπινο παράγοντα από αυτές τις ριψοκίνδυνες καταστάσεις. Επιπροσθέτως, τα ρομπότ, εξαλείφουν τον πιθανότητα ανθρώπινου λάθους.



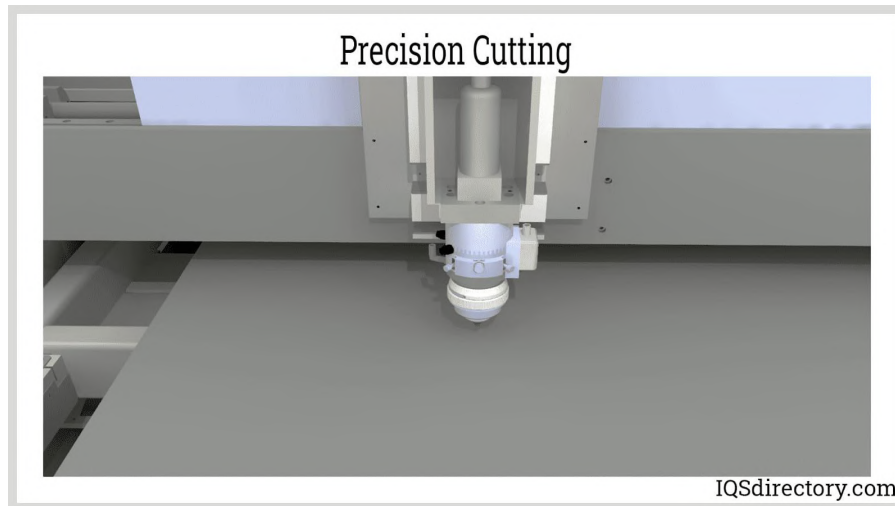
**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.12:** Χρήση ρομποτικού βραχίονα για εισαγωγή και εξαγωγή προϊόντων από τις μηχανές

- Λιγότερα λειτουργικά κόστη: Τα ρομπότ, συνεισφέρουν στην μείωση της σπατάλης των πρώτων υλών αλλά και την μείωση του εργατικού κόστους, οδηγώντας σε άμεσα οικονομικά πλεονεκτήματα. Χάρη στην ακρίβεια και την επαναληπτικότητα των ρομπότ, η χρήση και η μεταχείριση των πρώτων υλών γίνεται πολύ πιο αποδοτικά. Όσον αφορά, η αξιοποίηση ενός ρομπότ είναι καλύτερη οικονομική επιλογή καθώς για την πραγματοποίηση μιας εργασίας τα λειτουργικά έξοδα ενός ρομπότ που είναι το ρεύμα που καταναλώνει και η συντήρηση που χρειάζεται, είναι μικρότερα από την απασχόληση ενός ανθρώπου, ο οποίος θα πρέπει να λαμβάνει όχι μόνο τον μισθό του αλλά και ασφάλιση, άδειες κτλ..



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.13:** Σύγκριση κόστους εργασίας με ρομπότ, σταθερούς αυτοματισμούς και με εργατικά

- Καλύτερη επαναληψιμότητα: Ένα βιομηχανικό ρομποτικό σύστημα μπορεί να εκτελεί εργασίες με “συνέπεια” παρόλου που πραγματοποιεί την ίδια κίνηση παρά πολλές φορές. Δηλαδή, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση στο φυσικό σύστημα ή στο πρόγραμμα του συστήματος, το ρομπότ μπορεί να εκτελεί ξανά και ξανά την ίδια κίνηση χωρίς να βγαίνει εκτός “στόχου”. Το μοτίβο κίνησης του τελικού εργαλείου, η εμβέλεια, η ταχύτητα, η δύναμη και άλλες παραμέτρους του ρομπότ επηρεάζονται ελάχιστα από εξωτερικούς παράγοντες.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.14:** Κοπή μετάλλου με ακρίβεια με ρομπότ

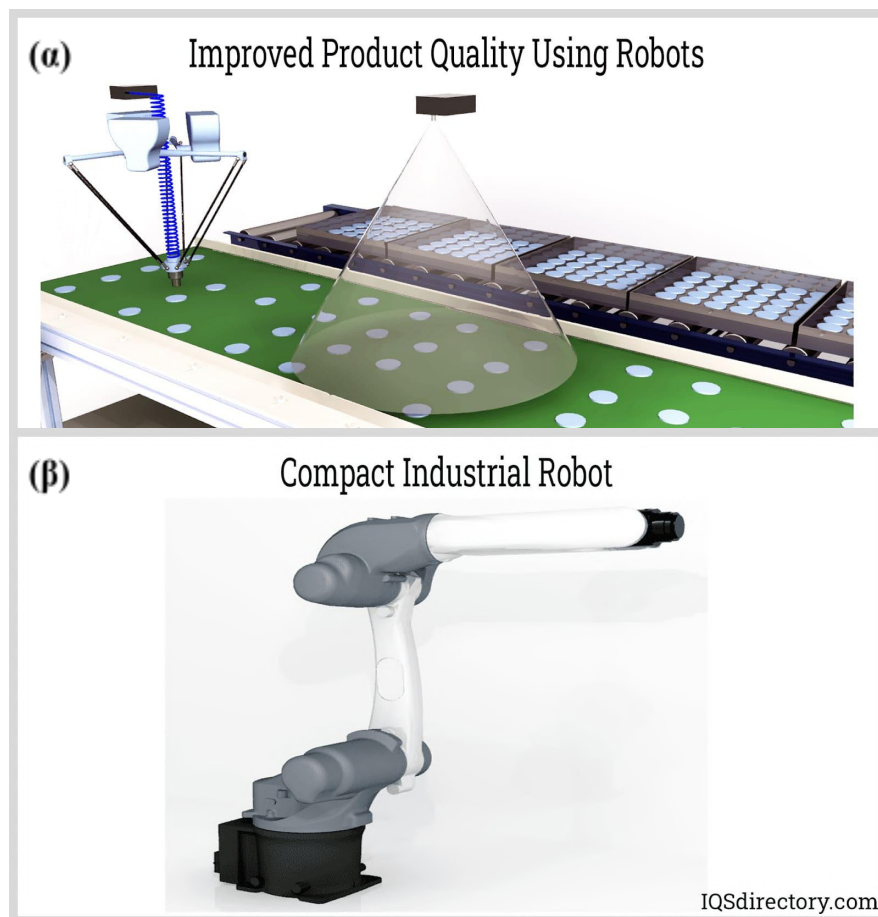
- Υψηλή ακρίβεια: Ένα ρομπότ που μπορεί να εκτελέσει εργασίες με μεγαλύτερη ακρίβεια σε σύγκριση με έναν άνθρωπο και συνεπώς μπορούν εκτελέσουν ακριβώς αυτο που έχουν προγραμματιστεί να κάνουν. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι απαραίτητο για τις βιομηχανίες που θέτουν αυστηρές ανοχές. Η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα στα ρομπότ οφείλεται στην χρήση περιστροφικών κωδικοποιητών ακριβείας, που στέλνουν τα ανάλογα δεδομένα στον “εγκέφαλο”, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της ταχύτητας και της θέσης του τελικού εργαλείου.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.15:** Χρήση ρομπότ για χειρουργικές επεμβάσεις



- Βελτιωμένη ποιότητα προϊόντων: Τα βιομηχανικά ρομπότ αξιοποιούνται σήμερα σε πολλές διαδικασίες κατασκευής ακριβείας. Αυτό εξηγείται από την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα. Αυτά τα χαρακτηριστικά επιτρέπουν στο ρομπότ να δημιουργεί προϊόντα με συνεπή χαρακτηριστικά με περιορισμένη πιθανότητα ελαττωμάτων, που προκαλούνται από τον ανθρώπινο παράγοντα. Τα ρομποτικά συστήματα μπορούν να εξοπλιστούν με τα ανάλογα τελικά εργαλεία ώστε να πραγματοποιήσουν την εργασία σωστά και χωρίς να διακυβεύεται η τελική απόδοση. Ακόμη και ορισμένες ευαίσθητες χειρουργικές επεμβάσεις πραγματοποιούνται από ρομπότ υπό την καθοδήγηση της χειρουργικής ομάδας και των γιατρών.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.16:** (α) Παράδειγμα γραμμής παραγωγής με δυνατότητα ελέγχου ποιότητας (β) Ρομποτικός βραχίονας μικρού μεγέθους

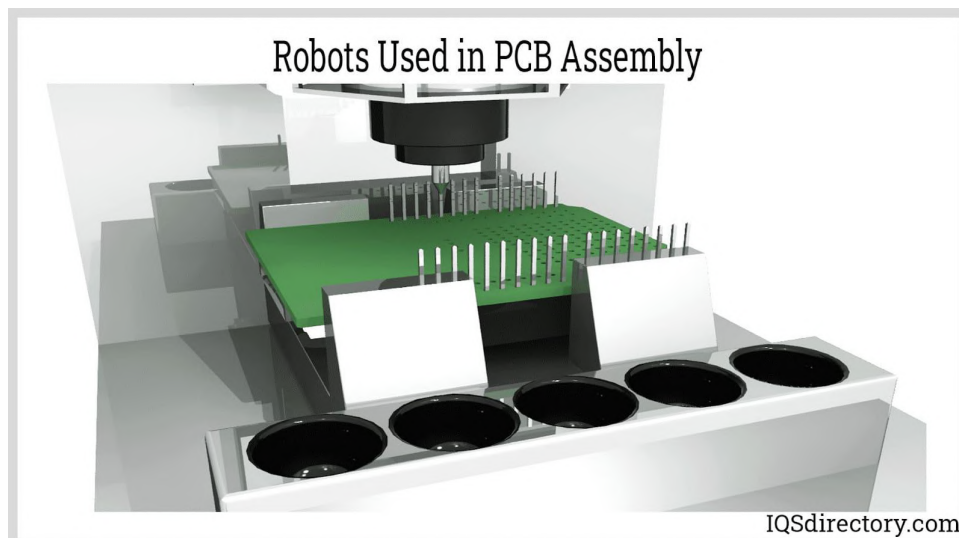
- Μικρότεροι χώροι εργασίας: Τα βιομηχανικά ρομπότ μπορούν να εξοικονομήσουν χώρο χάρη στην αυξημένη δυνατότητα ανύψωσης φορτίου, την ταχύτερη απόδοση και το προσαρμοζόμενο τελικό εργαλείο. Δεν απαιτούνται πρόσθετα μηχανήματα για να βοηθήσουν τους εργαζόμενους να κάνουν τη δουλειά τους. Για να ενισχυθεί η απόδοση της γραμμής παραγωγής ενώ χρησιμοποιείται ανθρώπινη εργασία, συχνά απαιτείται μεγαλύτερη περιοχή για να στεγαστούν πολλοί σταθμοί εργασίας. Ένα βιομηχανικό ρομπότ μπορεί να είναι σε θέση να επιτύχει το ίδιο πράγμα.



### 2.2.3.2 Εφαρμογές

Τα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται συχνά για απλές εργασίες ανύψωσης και τοποθέτησης. Με την βελτιωμένη τεχνολογία ελέγχου, ισχυρούς ενεργοποιητές και εξελιγμένους αισθητήρες, τα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται επίσης σε πιο ευέλικτες και σημαντικές εργασίες. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες από τις πιο τυπικές χρήσεις για βιομηχανικά ρομπότ:

- Συναρμολόγηση προϊόντος: Τα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται συχνά για τη συναρμολόγηση εξοπλισμού. Είναι κατάλληλα για ακριβείς, χρονοβόρες λειτουργίες που απαιτούν υψηλά επίπεδα επανάληψης. Το τελικό εργαλείο τους αποτελείται συνήθως από μηχανικές λαβές που μαζεύουν, τοποθετούν και προσανατολίζουν γρήγορα μικρά ή μεγάλα κομμάτια. Η χρήση αισθητήρων, οι οποίοι είναι προαιρετικοί, γίνεται συχνά για να επαναβαθμονομηθεί η ακρίβεια της κίνησης του ρομπότ. Για να βεβαιωθούν ότι παίρνουν το σωστό στοιχείο και ότι είναι σωστά προσανατολισμένος για τη διαδικασία συναρμολόγησης, τα σύγχρονα τελικά εργαλεία είναι συχνά εξοπλισμένα με αισθητήρες. Επιπλέον, ορισμένα ρομπότ έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν δυναμική τοποθέτηση ανάλογα με την πραγματική θέση ενός κομματιού, η οποία μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια της παραγωγής, χρησιμοποιώντας μια κάμερα μηχανικής όρασης συνδεδεμένη με το τελικό εργαλείο.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.17:** Χρήση ρομποτικού βραχίονα για κατασκευή ηλεκτρονικής πλακέτας

- Μη Συμβατική Μηχανική κατεργασία: Η κοπή με υδροβολή, η κοπή με λέιζερ, η κατεργασία με λειαντικό πίδακα, η κατεργασία με ηλεκτρική εκκένωση (EDM) και η κοπή πλάσματος είναι παραδείγματα τυπικών μη συμβατικών τεχνικών μηχανικής κατεργασίας. Αυτές οι τεχνικές κατεργασίας χωρίς επαφή αφαιρούν υλικό χρησιμοποιώντας έντονο φως, ηλεκτρικό φορτίο ή ρεύματα νερού, μεταξύ άλλων φυσικών παραγόντων. Η ουσία διαβρώνεται, εξατμίζεται ή λιώνει από το εστιασμένο ρεύμα. Αυτές οι λειτουργίες που περιλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, έχουν τη δυνατότητα να βλάψουν το τελικό προϊόν ή το ίδιο το μηχάνημα, εάν δεν ρυθμιστούν επαρκώς. Για την ακριβή διαχείριση της διαδρομής κοπής του

μηχανήματος, αξιοποιούνται τα βιομηχανικά ρομπότ. Τα ψηφιακά βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της βέλτιστης ταχύτητας κοπής, τη σταθερότητα ροής και την ακριβή διαχείριση των παραμέτρων της μηχανής όπως η ισχύς, η πίεση και ο ρυθμός ροής.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.18:** Χρήση ρομποτικού βραχίονα για επεξεργασία και για κοπή μετάλλου

- Παλετοποίηση και Αποπαλετοποίηση: Για πιο αποτελεσματικό χειρισμό, αποθήκευση και διανομή προϊόντων, πολλαπλά διακριτά προϊόντα συνδυάζονται σε ένα μόνο φορτίο μέσω της διαδικασίας παλετοποίησης. Η αποπαλετοποίηση, από την άλλη πλευρά, είναι η διαδικασία αποσυναρμολόγησης ενός φορτίου που έχει παλετοποιηθεί. Αυτές οι δύο διαδικασίες απαιτούν μεγάλο φόρτο εργασίας και πολλές φορές δημιουργούνται κολλήματα στην παραγωγή εξαιτίας αυτών. Οι ρομποτικοί παλετοποιητές χρησιμοποιούνται για την βελτίωση του χρόνου χειρισμού των προϊόντων αυτών αλλά και λόγω ότι το ρομπότ έχει λιγότερα λειτουργικά έξοδα. Οι μηχανικές, πνευματικές και λαβές κενού είναι τελικά εργαλεία ενσωματωμένες σε ρομποτικούς παλετοποιητές που λειτουργούν μαζεύοντας, τοποθετώντας και στοιβάζοντας τα πράγματα με τρόπο παρόμοιο με μηχανές συναρμολόγησης.

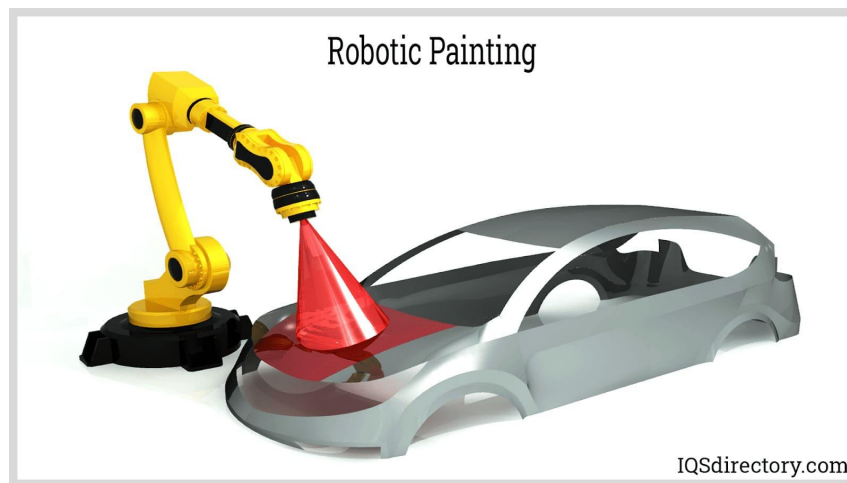


**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.19:** Χρήση ρομποτικού βραχίονα για παλετοποίηση

- Συγκόλληση: Τα ρομποτικά συστήματα συγκόλλησης χρησιμοποιούνται συχνά σε εργασίες παραγωγής μετάλλων μεγάλου όγκου καθώς και σε αυτοκινητοβιομηχανίες. Η απαίτηση για υψηλότερους ρυθμούς λειτουργίας αλλά και για μεγαλύτερη ποιότητα προϊόντων είναι αποτέλεσμα του αυξανόμενου ανταγωνισμού της αγοράς. Με τη σειρά του, για επίτευξη των προαναφερόμενων στόχων, απαιτείται η χρήση τεχνικών

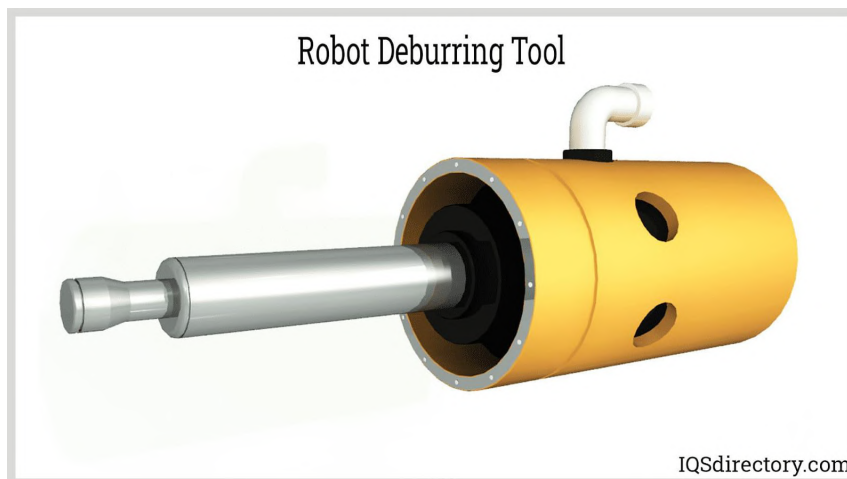
συγκόλλησης μεγάλης ακρίβειας. Ο καλύτερος έλεγχος πολλών παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένου του ρεύματος, της τάσης, του μήκους τόξου, του ρυθμού τροφοδοσίας πλήρωσης, του ρυθμού συγκόλλησης και της ταχύτητας διαδρομής τόξου, είναι το θεμελιώδες πλεονέκτημα της ανάπτυξης βιομηχανικών ρομπότ στη συγκόλληση.

- Άλεση, Γυάλισμα και Τρίψιμο: Οι κοινές τεχνικές δευτερογενούς κατασκευής περιλαμβάνουν λείανση, στίλβωση και γυάλισμα, οι οποίες χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την τελική εμφάνιση και τα χαρακτηριστικά επιφάνειας του προϊόντος. Αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν την επανειλημμένη ταλάντωση της στιλβωτικής ή λειαντικής ουσίας. Αυτή η απλή κίνηση του εργαλείου είναι αρκετά απλή ώστε να μπορεί να αναπαραχθεί από έναν ρομποτικό βραχίονα.
- Βαφή και Επικάλυψη: Η βαφή και η επίστρωση είναι λεπτές διαδικασίες που απαιτούν εξαιρετικά ακριβείς και επαναλαμβανόμενες ενέργειες για την παραγωγή ενός στρώματος με σταθερό πάχος. Εκτός από την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα που απαιτούνται, η εργασία αυτή εμπεριέχει δυνητικώς επικίνδυνα χημικά. Πολλές χρωστικές και διαλύτες είναι τοξικοί, και μερικοί έχουν ακόμη και τη δυνατότητα ανάφλεξης με την ατμόσφαιρα που δημιουργείται. Τα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται για τη μείωση όλων αυτών των κινδύνων.



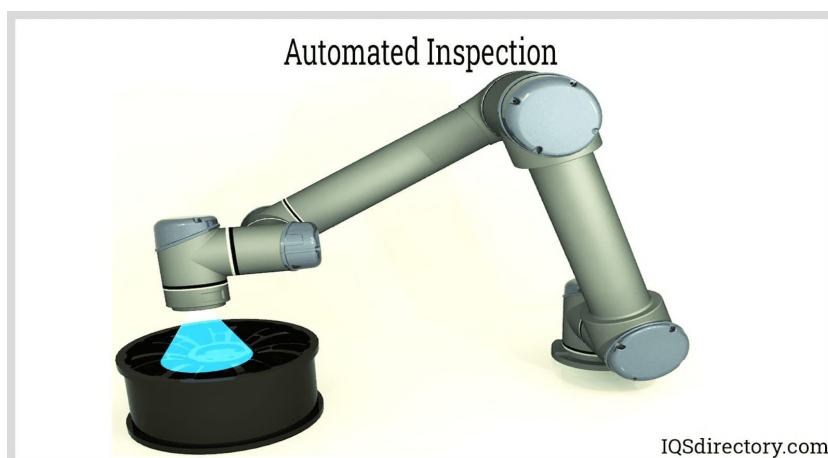
**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.20:** Χρήση ρομποτικού βραχίονα για βάψιμο

- Αφαίρεση γρεζιών: Προκειμένου να αφαιρεθούν και να εξομαλυνθούν τα χυτά ή χυτευμένα με έγχυση εξαρτήματα, το ρομπότ σε αυτήν τη λειτουργία κρατά ένα περιστρεφόμενο εργαλείο - συνήθως ένα τύμπανο λείανσης, συρμάτινο τροχό ή εργαλείο αφαίρεσης γρεζιών από καρβίδιο - και κινείται κατά μήκος μιας προ-προγραμματισμένης διαδρομής. Το πλεονέκτημα της χρήσης ενός ρομπότ για αφαίρεση γρεζιών είναι ότι ο χειριστής δεν θα εκτίθεται σε σκόνη ή συντρίμια κατά τη λειτουργία αφαίρεσης γρεζιών. Η εξομάλυνση μεταξύ των τμημάτων μπορεί να γίνει με μεγαλύτερη συνέπεια χάρη στην επαναληψιμότητα του ρομπότ.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.21:** Παράδειγμα τελικού εργαλείου

- Φόρτωση και εκφόρτωση μηχανών: Η υψηλή δυνατότητα ανύψωσης φορτίου και το μηχανικό πλεονέκτημα των ρομποτικών συστημάτων χρησιμοποιούνται κατά τη φόρτωση και εκφόρτωση μηχανών. Η μεταφορά ογκωδών μεταλλικών ή πλαστικών εξαρτημάτων από διεργασίες χύτευσης και σφυρηλάτησης σε συστήματα μεταφοράς ή σε δευτερεύοντες σταθμούς επεξεργασίας είναι μερικά παραδείγματα συγκεκριμένων εφαρμογών φόρτωσης και εκφόρτωσης μηχανών.
- Επιθεώρηση: Τα ρομποτικά συστήματα επιθεώρησης μπορούν να πραγματοποιούν δραστηριότητες επιθεώρησης σε εξαρτήματα ή συγκροτήματα χρησιμοποιώντας εργαλεία μέτρησης όπως οπτικούς αισθητήρες, αισθητήρες εγγύτητας, μετατροπείς δύναμης, ανιχνευτές υπερήχων, ακόμη και συστήματα πλήρους μηχανικής όρασης. Για να εξασφαλιστεί ομοιομορφία και ποιότητα, αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούνται συχνά για την ακριβή μέτρηση των διαστάσεων ενός προϊόντος. Ο μη καταστροφικός έλεγχος (NDT, Non-destructive testing) των συγκολλήσεων, όπου ένα ρομποτικό σύστημα κινείται αυτόματα και ελέγχει με τους ανιχνευτές ή τις συστοιχίες υπερήχων, είναι ένα παράδειγμα επιθεώρησης.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.22:** Χρήση ρομποτικού βραχίονα για επίβλεψη

- Ταξινόμηση: Η ταξινόμηση γίνεται μέσω της απλής λειτουργίας ανύψωσης και τοποθέτησης (Pick and place). Οι διαφορές μεγέθους, χρώματος και μορφής εντοπίζονται από οπτικούς αισθητήρες. Όταν βρεθεί ένα ασυνήθιστο αντικείμενο, χρησιμοποιείται ένα ρομπότ για να το “επιλέξει” και να το απορρίψει. Η ηλεκτρονική και η φαρμακευτική βιομηχανία χρησιμοποιούν συχνά ρομποτικές συσκευές ταξινόμησης.

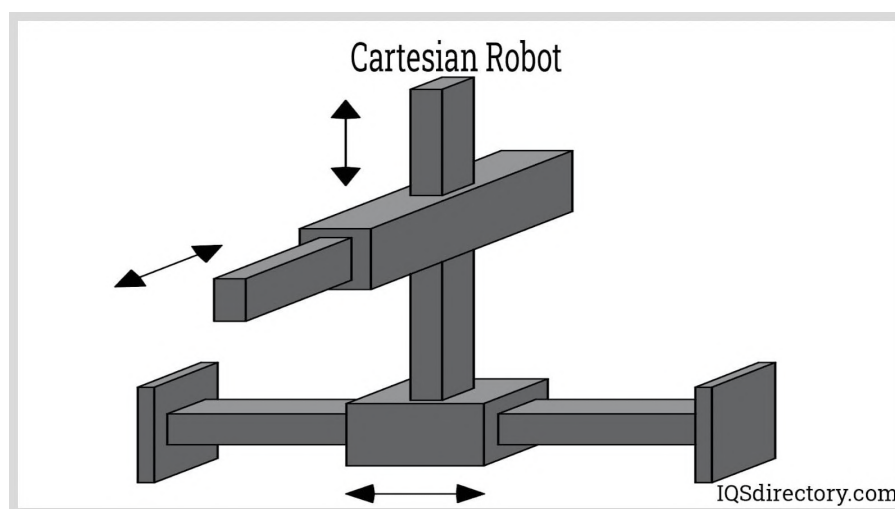
#### **2.2.4 Τύποι:**

Σε ένα ρομποτικό σύστημα υπάρχουν αρθρώσεις και σύνδεσμοι. Τα βιομηχανικά ρομπότ κατηγοριοποιούνται με βάση το πώς είναι διαμορφωμένοι οι αρθρώσεις και οι σύνδεσμοι. Η ποσότητα και το είδος αυτών των δύο παραμέτρων μπορεί να αλλάξει για να παραχθούν ρομπότ με διάφορους συνδυασμούς. Παρακάτω αναλύονται οι έξι διαφορετικές κατηγορίες βιομηχανικών ρομπότ:

- Καρτεσιανό: Το καρτεσιανό ρομπότ αποτελείται από τρεις πρισματικές αρθρώσεις. Συνεπώς, το ρομπότ μπορεί να παράγει μόνο γραμμική κίνηση κατά μήκος κάθε άξονα, αλλά παρά όλα αυτά μπορεί να παράγει κυκλική κίνηση χάρη στα κινηματικά μοντέλα που υποστηρίζουν την κυκλική παρεμβολή.

Το τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, έχει αυτό το όνομα, καθώς αποτελείται από τους άξονες X, Y και Z. Το απλούστερο ρομποτικό σύστημα είναι ένα καρτεσιανό ρομπότ, το οποίο μπορεί να κινηθεί μόνο προς μία κατεύθυνση κάθε φορά. Είναι κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν απλώς κίνηση ορθής γωνίας χωρίς να χρειάζονται γωνιακούς μετασχηματισμούς.

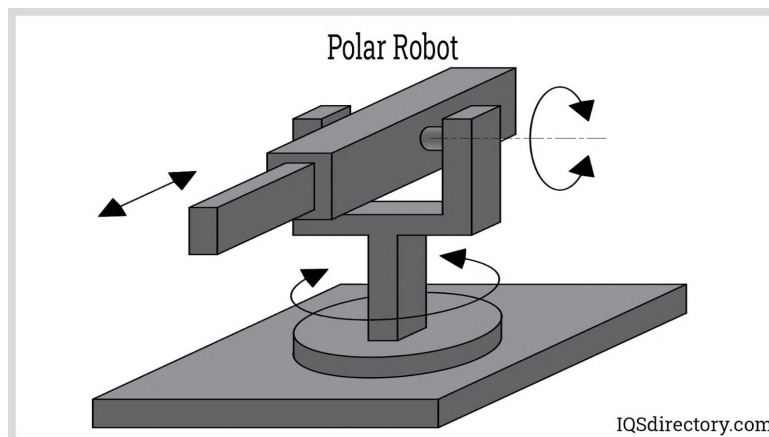
Ένα καρτεσιανό ρομπότ μπορεί να κατασκευαστεί για να κρατά μεγαλύτερα φορτία από άλλα είδη ρομπότ, επειδή ένας ή δύο από τους πρισματικούς συνδέσμους του μπορούν να στηριχθούν και στα δύο άκρα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα καρτεσιανού ρομπότ είναι μια μηχανή γερανογέφυρας. Οι μηχανές γερανογέφυρας, χρησιμοποιούνται για τη ανύψωση και την τοποθέτηση μεγάλων, παλετοποιημένων φορτίων.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.23:** Καρτεσιανό ρομπότ

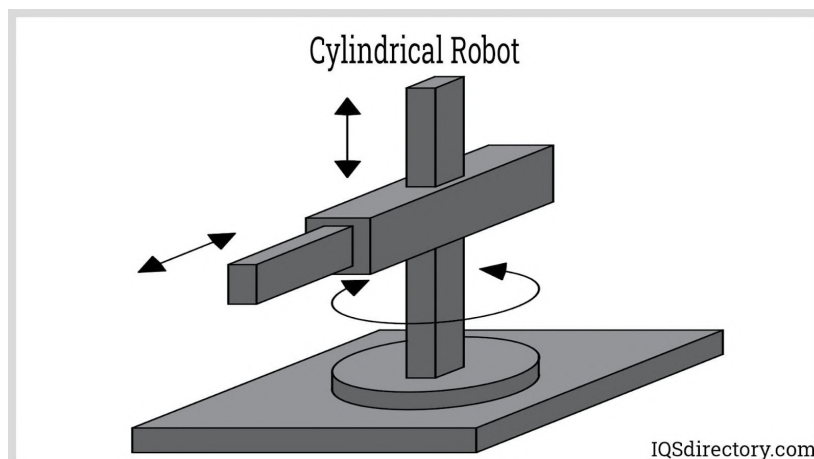


- Πολικό:** Το τρισδιάστατο σύστημα πολικών συντεταγμένων  $r$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$ , που συνήθως αναφέρεται ως σύστημα σφαιρικών συντεταγμένων, χρησιμοποιείται από πολικά ρομπότ. Τα πολικά ρομπότ έχουν σφαιρικό χώρο εργασίας και όχι ορθογώνιο. Το εύρος κίνησής τους έχει ακτίνα ίση με την απόσταση μεταξύ της πλησιέστερης περιστροφικής άρθρωσης και του τελικού εργαλείου κατά μήκος της σύνδεσης. Σε σύγκριση με άλλα είδη ρομπότ, αυτή η διάταξη επιτρέπει στα πολικά ρομπότ να έχουν τη μεγαλύτερη εμβέλεια για ένα δεδομένο μήκος βραχίονα. Ένας δεύτερος σύνδεσμος που συνδέεται με πρισματική άρθρωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της εμβέλειας ενός πολικού ρομπότ. Τα πολικά ρομπότ αξιοποιούνται συχνά σε εφαρμογές φόρτωσης μηχανών εξαιτίας της ευρείας εμβέλειάς τους.



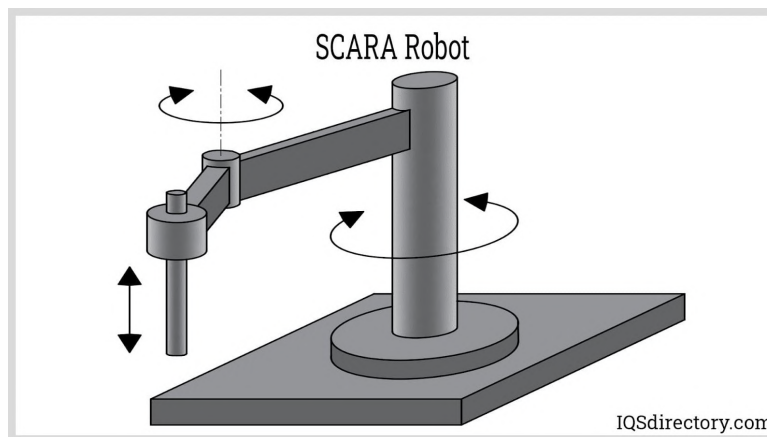
**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.24:** Σφαιρικό ρομπότ

- Κυλινδρικό:** Ένα κυλινδρικό ρομπότ, όπως υποδηλώνει και η ονομασία του, έχει κυλινδρικό εύρος κίνησης. Ένας περιστροφικός σύνδεσμος και δύο πρισματικοί σύνδεσμοι συνθέτουν αυτόν τον τύπο ρομπότ. Η περιστροφική άρθρωση, η οποία βρίσκεται στη βάση του βραχίονα, επιτρέπει στους συνδέσμους να περιστρέφονται γύρω από τον άξονα του ρομπότ. Υπάρχουν δύο πρισματικές αρθρώσεις που χρησιμοποιούνται για την τροποποίηση του ύψους και της ακτίνας του κυλινδρικού περιβλήματος εργασίας του ρομπότ. Σε απλές διαδικασίες ανύψωσης και τοποθέτησης όπου η τροφοδοσία του προϊόντος υπάρχει μόνο σε μία θέση, αυτή η απλή περιστροφική, μοναδική πρισματική διαμόρφωση άρθρωσης μπορεί να φανεί χρήσιμη και αποδοτική.



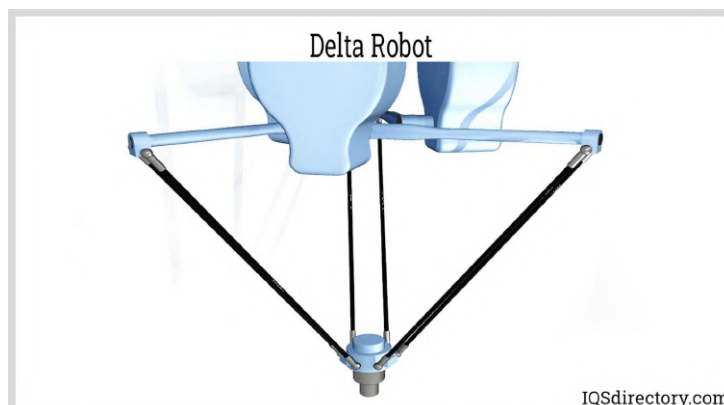
**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.25:** Κυλινδρικό ρομπότ

- SCARA (Selective Compliant Articulated Robot Arm): Το SCARA είναι ένα ιδιαίτερο είδος ρομπότ με βραχίονα που είναι εύκαμπτο ή συμβατό στο επίπεδο XY αλλά άκαμπτο στον άξονα Z. Η ιδιότητά του "Selective Compliant" περιγράφεται από τη μεταφραστική του κίνηση σε ένα μόνο επίπεδο. Δύο σύνδεσμοι, δύο περιστροφικοί σύνδεσμοι και μία πρισματική διασταύρωση συνθέτουν ένα SCARA. Οι περιστροφικοί σύνδεσμοι, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στον ίδιο άξονα, ενώνουν τους συνδέσμους στη βάση. Το τελικό εργαλείο μπορεί να ανυψωθεί ή να χαμηλώσει μόνο μέσω του πρισματικού συνδέσμου. Ο χώρος εργασίας του εν λόγω ρομπότ μοιάζει με τόρο. Η χρήση του είναι συγκρίσιμη με αυτή ενός ρομπότ σε σχήμα κυλίνδρου.



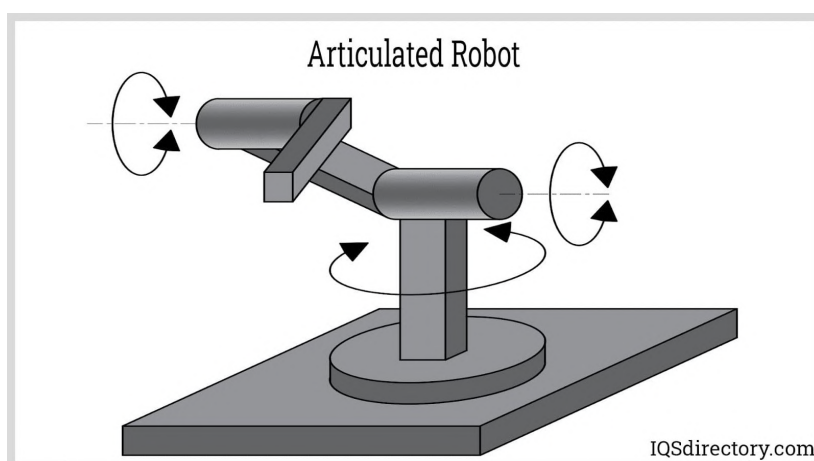
**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.26: SCARA ρομπότ**

- Παράλληλο (Delta): Ένα τελικό εργαλείο, μια κοινή βάση και τουλάχιστον τρεις συνδέσεις συνθέτουν ένα ρομπότ δέλτα. Τρεις μη κινούμενοι γενικοί σύνδεσμοι ενώνουν τις συνδέσεις με το τελικό εργαλείο. Η βάση, από την άλλη πλευρά, συνδέεται με την βοήθεια τριών πρισματικών ή περιστροφικών αρθρώσεων. Μαζί, οι κινούμενοι σύνδεσμοι δίνουν στο τελικό εργαλείο τέσσερις βαθμούς ελευθερίας. Ένας τέταρτος σύνδεσμος ή άξονας ενώνεται συνήθως με το τελικό εργαλείο προκειμένου να επιτρέπεται η περιστροφή σε σχέδια που χρησιμοποιούν πρισματικές αρθρώσεις. Ένας χώρος εργασίας σε σχήμα θόλου δημιουργείται από το τελικό εργαλείο ενός ρομπότ δέλτα, το οποίο μπορεί να κινείται κατά μήκος όλων των καρτεσιανών αξόνων και να περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα. Οι τρεις σύνδεσμοι κίνησης κινούνται ταυτόχρονα, γεγονός που καθιστά τα ρομπότ δέλτα ιδανικά για εφαρμογές που απαιτούν λειτουργίες ανύψωσης και τοποθέτησης υψηλής ταχύτητας.



### ΕΙΚΟΝΑ 2.2.27: DELTA ρομπότ

- Αρθρωτό: Η πλειονότητα των ρομπότ που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εργασίες είναι αρθρωτό ρομπότ. Εκτελούν πιο δύσκολες εργασίες όπως μηχανική κατεργασία, η συγκόλληση και η συναρμολόγηση προϊόντων. Προορίζεται για τελικά εργαλεία που τοποθετούνται σε αρθρωτά ρομπότ να έχουν και τους έξι βαθμούς ελευθερίας. Τουλάχιστον τρεις περιστροφικές αρθρώσεις αποτελούν τον βραχίονα του ρομπότ. Για την περιστροφή του τελικού εργαλείου, μπορεί να προστεθεί μια τέταρτη περιστροφική άρθρωση στον καρπό του βραχίονα. Διαθέτει σφαιρικό χώρο εργασίας, όπως ακριβώς και ο τύπος πολικού ρομπότ.



ΕΙΚΟΝΑ 2.2.28: Αρθρωτό ρομπότ

### 2.2.5 Χαρακτηριστικά:

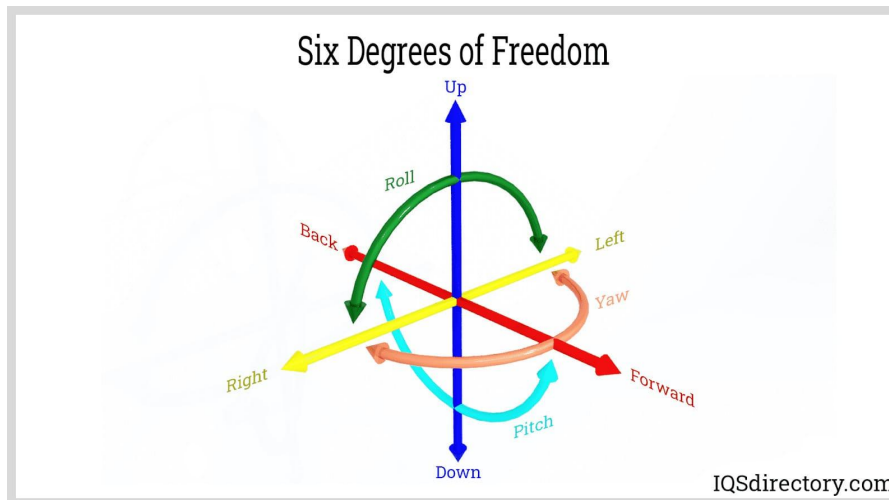
Για την επιλογή ενός συγκεκριμένου ρομπότ για την εκτέλεση εργασίας, πρέπει να ληφθούν υπόψη αρκετοί παράγοντες. Οι απαιτήσεις απόδοσης για διάφορες εφαρμογές πρέπει να εξισορροπούνται με τις απαραίτητες δαπάνες. Τα καλύτερα χαρακτηριστικά είναι πάντα επιθυμητές, αλλά η αύξηση του κόστους είναι οριακά εκθετική.

- Αριθμός αξόνων και βαθμών ελευθερίας: Ο αριθμός των αξόνων και των βαθμών ελευθερίας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ικανότητα ενός ρομπότ να μετακινεί και να περιστρέφει το τελικό εργαλείο μέσα σε ένα τρισδιάστατο χώρο εργασίας. Η κατεύθυνση και τα είδη της κίνησης εξετάζονται στην έννοια των βαθμών ελευθερίας. Εμπρός ή πίσω, πάνω ή κάτω, αριστερά ή δεξιά, εκτροπή, εμπρόσθια/οπίσθια κλίση και κύλιση (forward or backward, up or down, left or right, yaw, pitch, and roll) είναι οι έξι κατευθύνσεις της ελευθερίας. Σε ένα ρομπότ, ανάλογα με το σχεδιασμό του, όσο περισσότεροι είναι οι βαθμοί ελευθερίας τόσο πιο ευέλικτος είναι ο ρομποτικός βραχίονας.

Τα βιομηχανικά ρομπότ έχουν συνήθως τρεις έως πέντε βαθμούς ελευθερίας και χρησιμοποιούνται για εργασίες ανύψωσης και τοποθέτησης, ενώ τα πιο ευέλικτα ρομπότ έχουν έξι βαθμούς ελευθερίας ή περισσότερους. Παραδείγματος χάριν, ένα ρομπότ που πραγματοποιεί απλές εργασίες όπως η συναρμολόγηση μπορεί να έχει



μόνο τέσσερις βαθμούς ελευθερίας, αλλά ένα ρομπότ που πραγματοποιεί δύσκολες εργασίες όπως η συγκόλληση μπορεί να έχει πάνω από έξι βαθμούς ελευθερίας.



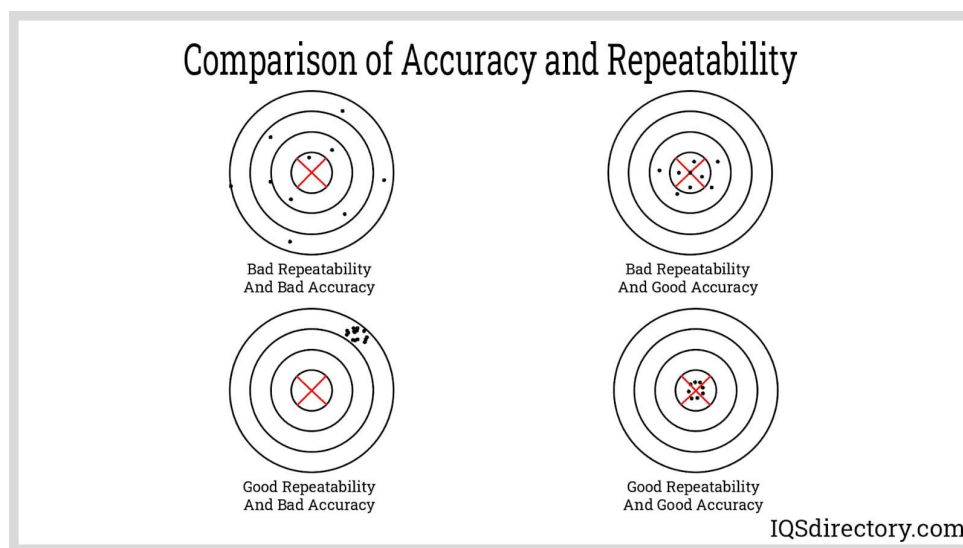
**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.29:** Μετατόπιση και περιστροφή όταν έχουμε 6 βαθμούς ελευθερίας

- Χωρητικότητα φορτίου: Η χωρητικότητα φορτίου ενός ρομπότ καθορίζεται από το πόσο βάρος μπορεί να σηκώσει, πόση δύναμη μπορεί να εφαρμόσει σε ένα φορτίο και πόση καταπόνηση μπορεί να αντέξει. Η χωρητικότητα φορτίου των ρομπότ ποικίλλει ανάλογα με τη βιομηχανία στην οποία χρησιμοποιούνται, και κυμαίνεται από 1,1 έως πάνω από 2205 λίβρες (0,5 έως 1000 κιλά). Σε εφαρμογές ανύψωσης και τοποθέτησης, οι παράμετροι χωρητικότητας φορτίου είναι ζωτικής σημασίας. Η χωρητικότητα φορτίου των σύγχρονων ρομποτικών συστημάτων βασίζεται στο μέγιστο ωφέλιμο φορτίο τους, λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης του ωφέλιμου φορτίου και του τελικού τελεστή προς και από τις μέγιστες δηλωμένες ταχύτητες του ρομπότ. Για να επιλεγεί το σωστό ρομπότ που ταιριάζει με την επιθυμητή ικανότητα φόρτωσης μιας εφαρμογής, πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά και το βάρος των τελικών εργαλείων που είναι ενσωματωμένοι στο ρομπότ.
- Ακρίβεια και επαναληψιμότητα: Αυτοί είναι οι δύο παράγοντες που είναι πιο σημαντικοί για τον καθορισμό του πόσο καλά ένα ρομπότ εκτελεί τα καθήκοντά του. Η ικανότητα ενός ρομπότ να τοποθετεί τον εαυτό του ή το φορτίο του σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία αναφέρεται ως ακρίβεια και αξιολογείται μετρώντας πόσο πολύ μοιάζει η τελική του κατάσταση με μια σταθερή κατάσταση που καθορίζεται από τον χρήστη.  
Η ικανότητα του ρομπότ να διατηρεί την τελική του θέση σε πολλούς κύκλους εργασίας μετριέται από την επαναληψιμότητα του. Αυτό καθορίζεται με τον μέσο όρο των αποστάσεων μεταξύ των τελικών εργαλείων ή ενός συγκεκριμένου σημείου στις τελικές θέσεις του ρομπότ μετά από κάθε κύκλο.  
Καθώς μια προ-προγραμματισμένη θέση μπορεί πάντα να προσαρμόζεται για να φτάσει το ρομπότ εκεί που πρέπει, αλλά η επαναληψιμότητα όχι τόσο εύκολα, συνεπώς είναι το κύριο μέλημα κατά την επιλογή ενός ρομπότ. Ωστόσο, η

επαναληψιμότητα ενός ρομπότ καθορίζει τη συνέπεια μιας συγκεκριμένης λειτουργίας.

Αυτές οι κοινές ερμηνείες της της επαναληψιμότητας και της ακρίβειας, γνωστοί και ως η στατική περίπτωση, η οποία αναφέρεται στην ικανότητα του ρομποτικού συστήματος να φέρει τον εαυτό του σε μια συγκεκριμένη μετατόπιση. Είναι βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται κάθε φορά που ένα ρομπότ και ένα τελικό εργαλείο τίθενται σε κίνηση και χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της πορείας, της θέσης και του προσανατολισμού.

Η ταχύτητα και η επιτάχυνση του ρομπότ μπορούν επίσης να ελεγχθούν με ακρίβεια και με επαναληψιμότητα.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.30:** Σύγκριση ακρίβειας και επαναληψιμότητας

- **Χώρος εργασίας:** Ο χώρος εργασίας ενός ρομπότ, ο οποίος καθορίζεται από την περιοχή σάρωσης, την εμβέλεια και τη διαδρομή του, είναι ο χώρος στον οποίο το ρομπότ μπορεί να δράσει. Η περιοχή στην οποία μπορεί να έχει πρόσβαση το τελικό εργαλείο του ρομπότ είναι ένα κρίσιμο στοιχείο του χώρου εργασίας. Το είδος του ρομποτικού βραχίονα (καρτεσιανό, πολικό, SCARA, κ.λπ.) και το μήκος των δεσμών του καθορίζουν πόσο μεγάλος είναι ο χώρος εργασίας. Για εφαρμογές που περιλαμβάνουν τη φόρτωση και εκφόρτωση μηχανών, οι προδιαγραφές του χώρου εργασίας είναι ζωτικής σημασίας. Πριν από την εγκατάσταση ρομπότ που καταλαμβάνει μεγάλο χώρο, πρέπει να αποφασιστεί και το μέγεθος του χώρου εργασίας του. Ο σκοπός του χώρου εργασίας είναι να ρυθμίσει και να περιορίσει την περιοχή στην οποία μπορεί να έχει πρόσβαση ένας ρομποτικός βραχίονας, και είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία ασφαλών ζωνών για τους εργαζόμενους που δουλεύουν κοντά στα ρομπότ. Δεδομένου ότι κάθε ενέργεια που κάνει ένα ρομπότ σχετίζεται με τον χώρο εργασίας του, είναι επιτακτική ανάγκη να κατανοήσουμε τον χώρο εργασίας.

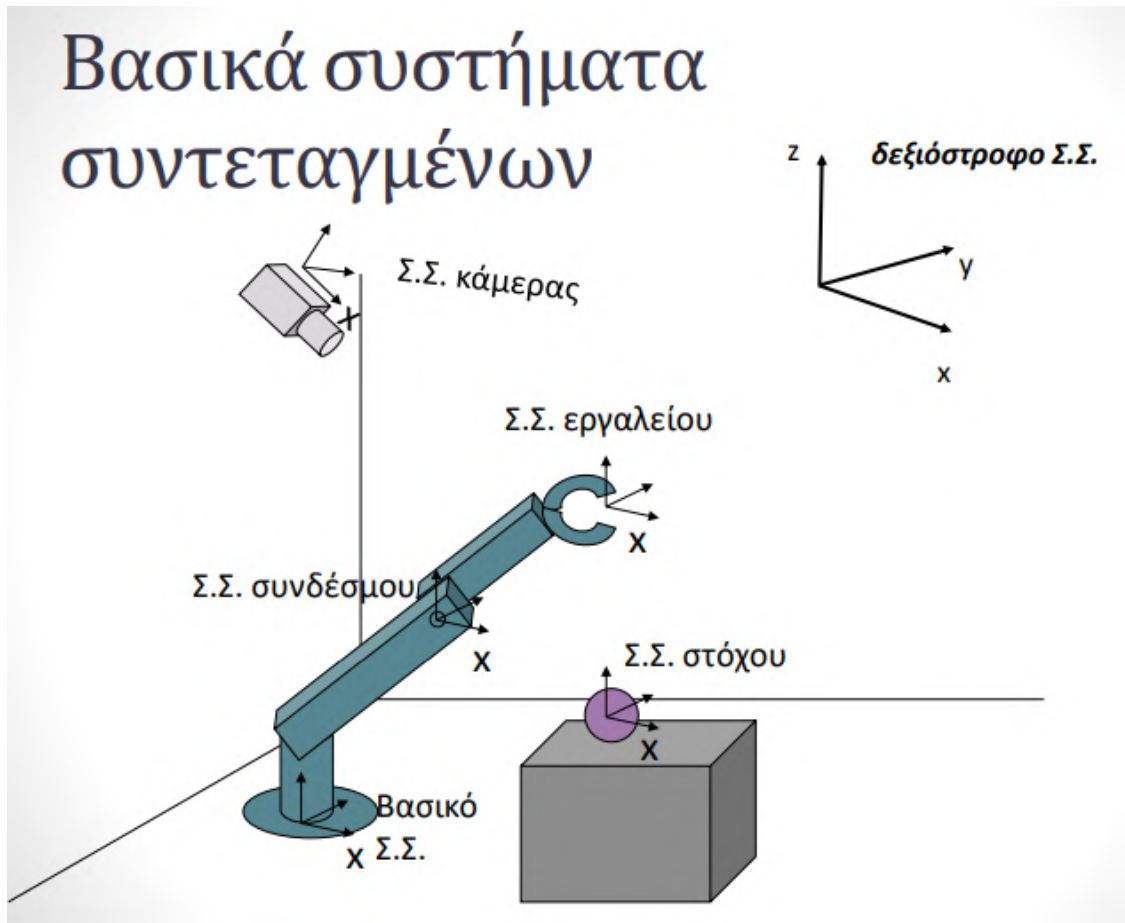
- Μέγιστη ταχύτητα και επιτάχυνση: Η επιτάχυνση και η ταχύτητα έχουν άμεσο αντίκτυπο στη σχεδιαστική ταχύτητα λειτουργίας και απόδοσης ενός ρομπότ. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθορίζονται από την κινηματική του βραχίονα και από την ισχύ των κινητήρων, των ενεργοποιητών και των μερών μετάδοσης του ρομποτικού συστήματος. Αν και η αύξηση της ταχύτητας μπορεί να φαίνεται ως ο καλύτερος τρόπος για να αυξηθεί η απόδοση, αυτό απαιτεί χρόνο και μπορεί να έχει αντίκτυπο στην απόδοση ενός ρομπότ. Η ταχεία επιτάχυνση ή οι απότομες αλλαγές ταχύτητας μπορεί να ασκήσουν πίεση σε ένα ρομπότ που θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα, τον περιορισμό ή τη δομική του ακεραιότητα.
- Προδιαγραφές ελεγκτή: Κάθε ρομπότ συνοδεύεται από έναν ελεγκτή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο του, τον προγραμματισμό των θέσεων, τις ταχύτητες και τη σύσφιξη ή την αποσύνδεση των λαβών. Τα ρομπότ που κατασκευάζονται από διάφορους κατασκευαστές χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές προγραμματισμού. Μερικοί ελεγκτές επιτρέπουν τον προγραμματισμό "διδάσκω μέσω" (Teach through), ο οποίος περιλαμβάνει με την βοήθεια ενός "τηλεχειριστηρίου", θέτει το ρομπότ σε διάφορες θέσεις, και κάνει "εγγραφή" των θέσεων ώστε να χρησιμοποιηθούν στο πρόγραμμα. Η πλειονότητα των ελεγκτών, επιτρέπουν επίσης να γράψει ο χειριστής δομημένο ή ακολουθημένο κώδικα, ο οποίος μοιάζει με προγραμματισμό σε "C" ή BASIC και περιλαμβάνει τον προγραμματισμό μιας σειράς ενεργειών ή λειτουργιών εισόδου/εξόδου για την εκτέλεση μιας εργασίας.

## **2.2.6 Κινηματική:**

Η επιστήμη της κινηματικής χρησιμοποιεί λέξεις, εικόνες, αριθμούς, γραφήματα και εξισώσεις για να εξηγήσει πώς κινούνται τα αντικείμενα. Η κινηματική αποτελεί ένα υποπεδίο της μηχανικής και είναι η επιστήμη που εξετάζει την κίνηση χωρίς να εξετάζει τις δυνάμεις που την προκαλούν. Η μελέτη της κινηματικής ενός συστήματος στοχεύει στη δημιουργία πολύπλοκων μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν (και τελικά να εξηγήσουν) πώς κινούνται τα εξεταζόμενα αντικείμενα στον πραγματικό κόσμο.

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της κινηματικής των στερεών σωμάτων είναι η μελέτη της σχετικής κίνησης ενός στερεού σώματος ως προς ένα άλλο. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης είναι χρήσιμα καθώς με αυτά μπορούμε να κατανοήσουμε και να υπολογίσουμε την κίνηση μεταξύ των συνδέσμων των ρομποτικών βραχιόνων. Όταν έχουμε περιστροφικές κινήσεις μεταξύ σωμάτων η κινηματική είναι πιο περίπλοκη σε σύγκριση με όταν έχουμε κινήσεις απλής μετατόπισης. Προκειμένου να γίνει η εν λόγω μελέτη πρέπει να ορίσουμε ένα σύστημα συντεταγμένων, για όλα τα μέρη του συστήματος.

# Βασικά συστήματα συντεταγμένων



ΕΙΚΟΝΑ 2.2.31: Συντεταγμένες σε ένα πλήρες σύστημα ρομποτικού βραχίονα

## Position Matrix

Η θέση οποιουδήποτε σημείου (Position Matrix) στο χώρο περιγράφεται από ένα διάνυσμα θέσης  $3 \times 1$ .

$$p_{AB} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^3$$

Το μέτρο του διανύσματος εκφράζει την απόσταση του σημείου  $P_{AB}$  από την αρχή του  $\{A\}$  υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο.

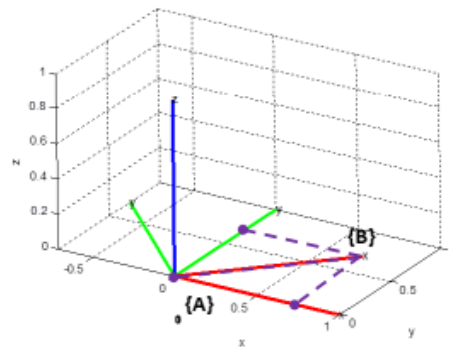
$$\|p_{AB}\| = \sqrt{(p_x)^2 + (p_y)^2 + (p_z)^2}$$

### Rotation Matrix

Ένας πίνακας στροφής (Rotation Matrix) μεταξύ των δύο πλαισίων (Συστημάτων συντεταγμένων)  $\{A\}$  και  $\{B\}$ , αποτελείται από τρεις στήλες με μοναδιαία διανύσματα και συνθέτουν ένα πίνακα στροφής  $3 \times 3$ .

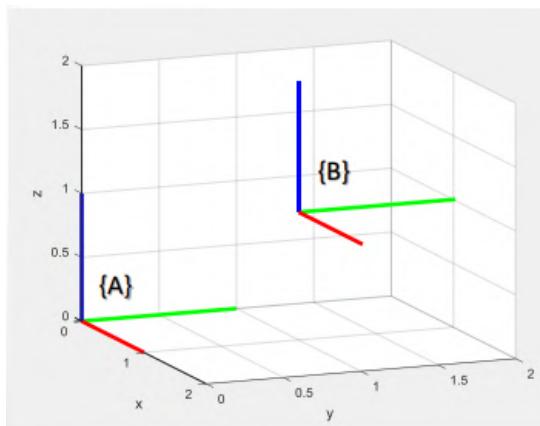
- Η πρώτη στήλη του πίνακα εκφράζει πώς προβάλλεται το μοναδιαίο διάνυσμα-x του πλαισίου  $\{B\}$  στους μοναδιαίους άξονες του  $\{A\}$ .
- Η δεύτερη στήλη του πίνακα εκφράζει πώς προβάλλεται το μοναδιαίο διάνυσμα-y του πλαισίου  $\{B\}$  στους μοναδιαίους άξονες του  $\{A\}$ .
- Η τρίτη στήλη του πίνακα εκφράζει πώς προβάλλεται το μοναδιαίο διάνυσμα-z του πλαισίου  $\{B\}$  στους μοναδιαίους άξονες του  $\{A\}$ .

$$R_{AB} = \begin{bmatrix} \Gamma_{11} & \Gamma_{12} & \Gamma_{13} \\ \Gamma_{21} & \Gamma_{22} & \Gamma_{23} \\ \Gamma_{31} & \Gamma_{32} & \Gamma_{33} \end{bmatrix}$$



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.32:** Προβολές αξόνων συντεταγμένων

Για παράδειγμα, ο πίνακας στροφής (Rotation Matrix) μεταξύ των δύο παρακάτω συστημάτων συντεταγμένων  $\{A\}$  και  $\{B\}$  με παράλληλους άξονες είναι ο εξής:



$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^A_B R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = I_{3 \times 3}$$

**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.33:** Περιστροφή συντεταγμένων

Όταν έχουμε όμως πίνακα περιστροφής μεταξύ δύο πλαισίων που δεν έχουν παράλληλους άξονες, αλλά έχουν περιστραφεί κατά γωνία  $\theta$  από τον άξονα X, Y και Z, οι αντίστοιχοι πίνακες περιστροφής  $R_x(\theta)$ ,  $R_y(\theta)$ , και  $R_z(\theta)$  είναι οι πίνακες που παρουσιάζονται στα δεξιά του κειμένου αυτού.

Ενω αν έχει περιστραφεί ταυτόχρονα, σε σχέση με τους άξονες X, Y, και Z, κατά τις γωνίες  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$  αντίστοιχα, ο τελικός πίνακας περιστροφής θα αποτελεί το γινόμενο των επιμέρους πινάκων περιστροφής του κάθε άξονα.

$$R = R_z(\alpha) R_y(\beta) R_x(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma \\ \sin \alpha \cos \beta & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma \\ -\sin \beta & \cos \beta \sin \gamma & \cos \beta \cos \gamma \end{bmatrix}$$

### Homogeneous Transformation Matrices

Οι πίνακες που συνδυάζουν την μετατόπιση και την περιστροφή μεταξύ δύο συνδέσμων που αποτελούν μέρος της ίδιας κινηματικής αλυσίδας λέγονται πίνακες ομογενών μετασχηματισμών και είναι 4x4. Το  $P_1$ ,  $P_2$  και  $P_3$  είναι η μετατόπιση και όλα τα  $r$  αποτελούν τους συντελεστές στροφής μεταξύ των αξόνων των συνδέσμων. Παρακάτω είναι η μορφή του εν λόγω πίνακα.

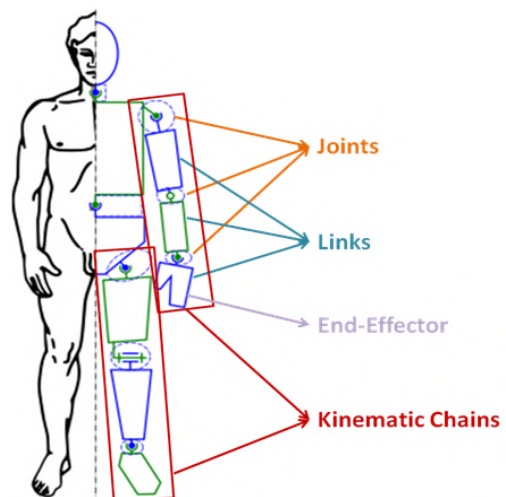
$$T = \begin{pmatrix} R & p \\ o & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

#### 2.2.6.1 Ευθεία κινηματική (Forward kinematics)

Η ευθεία κινηματική είναι η διαδικασία χρήσης των κινηματικών εξισώσεων και χρησιμοποιείται προκειμένου να βρούμε την θέση και τον προσανατολισμό του τελικού συνδέσμου ή του τελικού εργαλείου ανάλογα το τι θέλουμε να υπολογίσουμε, εφόσον έχουμε ως δεδομένο την μετατόπιση ή/και την περιστροφή όλων των αρθρώσεων της εκάστοτε κινηματικής αλυσίδας.

Οι κινηματικές αλυσίδες αποτελούνται από συνδέσμους που ενώνονται με αρθρώσεις και συνεργάζονται για να παράγουν μια συγκεκριμένη κίνηση. Για παράδειγμα, ο ανθρώπινος βραχίονας αποτελεί μια κινηματική αλυσίδα. Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από πολλές διασυνδεδεμένες κινηματικές αλυσίδες όπως φαίνεται και στην διπλανή εικόνα.

**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.34:** Παράδειγμα κινηματικής αλυσίδας



Προκειμένου να λυθεί το ευθύ κινηματικό πρόβλημα η πιο διαδεδομένη και απλή μέθοδος είναι δημιουργώντας έναν πίνακα Denavit-Hartenberg, ο οποίος αποτελείται από διάφορους παραμέτρους και έπειτα χρησιμοποιώντας τα δεδομένα αυτού του πίνακα μπορεί να βρεθεί εύκολα ο πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού

### **Μέθοδος Denavit-Hartenberg**

Με την μέθοδο αυτή όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως καταλήγουμε σε έναν πίνακα με παραμέτρους σχετικά με την κινηματική αλυσίδα και έπειτα χρησιμοποιώντας τα δεδομένα αυτού του πίνακα μπορεί εύκολα να βρεθεί ο πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού. Εφόσον βρούμε τον πίνακα ομογενούς μετασχηματισμού, θα έχουμε ουσιαστικά τον προσανατολισμό και την θέση του τελικού συνδέσμου ή του τελικού εργαλείου.

Προκειμένου να βρούμε τον Denavit-Hartenberg πίνακα πρέπει να ακολουθήσουμε τα εξής βήματα:

**Βήμα 1:** Αρχικά, πρέπει να σχεδιαστεί το ρομπότ σε ένα χαρτί, με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ξεκάθαρο το που βρίσκονται αλλά και το τι τύποι είναι οι αρθρώσεις.

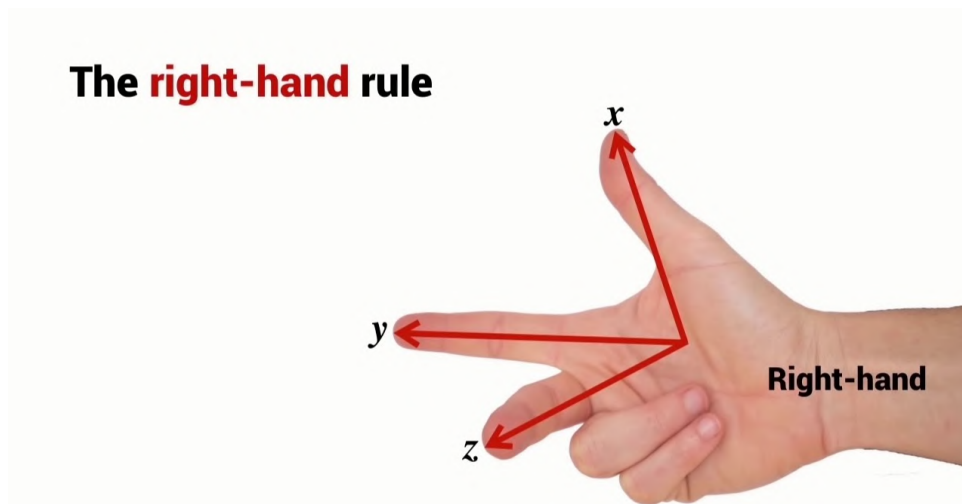
**Βήμα 2:** Έπειτα πρέπει να σχεδιαστούν οι άξονες των αρθρώσεων.

**Z άξονας** - πρέπει να βρίσκεται πάντα κατα μήκος της κατεύθυνσης της κίνησης σε μια άρθρωση μετατόπισης, ενώ σε μια άρθρωση περιστροφής είναι πάντα κατα μήκος του άξονα περιστροφής.

**X άξονας** - πρέπει να είναι κατα μήκος της κοινής γραμμής. Η κοινή γραμμή είναι η μικρότερη κάθετη γραμμή που ενώνει τον Z άξονα της προηγούμενης άρθρωσης, με τον Z άξονα της άρθρωσης που εξετάζεται.

**Y άξονας** - εφόσον έχουμε βρεί τους Z και X άξονες της άρθρωσης, ο εν λόγω άξονας υπολογίζεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού "right hand rule".

Συνήθως, ο Z, ο X και ο Y άξονας είναι μπλέ, κόκκινος και πράσινος αντίστοιχα.



**EΙΚΟΝΑ 2.2.35:** Κανόνας δεξιού χεριού



**Βήμα 3:** Έφόσον το σχέδιο και οι άξονες είναι έτοιμοι, το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των DH (Denavit-Hartenberg) παραμέτρων. Οι DH παράμετροι είναι τέσσερις για κάθε άρθρωση. Προκειμένου να συμπληρωθεί ο DH πίνακας, πρέπει να υπολογίσουμε αυτές τις τέσσερις παραμέτρους για κάθε άρθρωση. Επομένως, ο πίνακας που θα προκύψει θα αποτελείται από τέσσερις στήλες, μια για κάθε παράμετρο. Ενώ, ο αριθμός των γραμμών του πίνακα θα είναι ανάλογος του αριθμού των αρθρώσεων, δηλαδή μια γραμμή για κάθε άρθρωση.

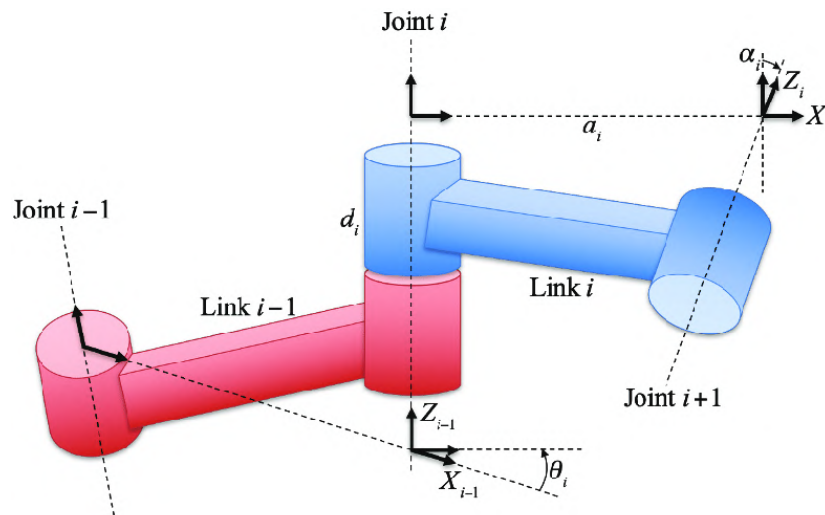
Η κάθε παράμετρος μιας άρθρωσης προκύπτει σε σχέση με την προηγούμενη άρθρωση. Οι παράμετροι είναι οι εξής:

$d$  - Η απόσταση μεταξύ του  $X$  άξονα με τον προηγούμενο  $X$  άξονα, κατα μήκος του προηγούμενου  $Z$  άξονα.

$\theta$  - Η γωνία γύρω από τον  $Z$  άξονα, μεταξύ του  $X$  άξονα και του προηγούμενου  $X$  άξονα

$r$  (ή  $\alpha$ ) - Η απόσταση της κοινής γραμμής που προαναφέρθηκε

$\alpha$  - Η γωνία γύρω από την κοινή γραμμή, μεταξύ του  $Z$  άξονα και του προηγούμενου  $Z$  άξονα



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2.36:** Απεικόνιση των DH παραμέτρων

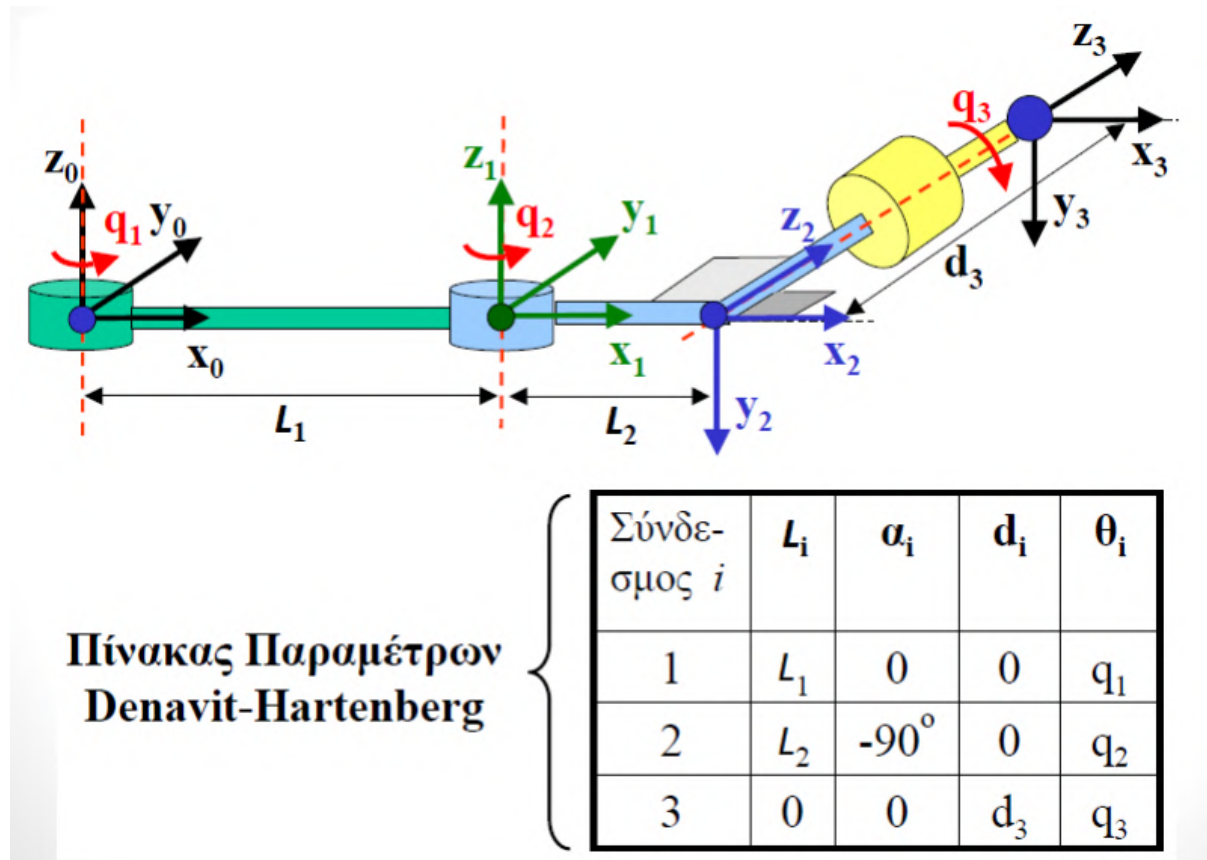
**Βήμα 4:** Εφόσον πλέον έχουμε τον DH πίνακα συμπληρωμένο, είναι εφικτό να υπολογιστεί ο πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού. Ο πιο απλός και συνήθης τρόπος για να υπολογιστεί ο πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού είναι να χρησιμοποιηθεί μια βιβλιοθήκη (Library) κάποιας γλώσσας προγραμματισμού. Για παράδειγμα, στο matlab υπάρχει toolbox που μετατρέπει τον DH πίνακα σε πίνακα ομογενούς μετασχηματισμού.

Αλλιώς, αν δεν υπολογιστεί με την χρήση βιβλιοθηκών, θα πρέπει να υπολογιστεί το γινόμενο των πινάκων ομογενούς μετασχηματισμού της κάθε άρθρωσης. Οι πίνακες ομογενούς μετασχηματισμού ( $T$ ) της κάθε άρθρωσης με την χρήση των DH παραμέτρων προκύπτει σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

$$T = \left[ \begin{array}{ccc|c} & & & \\ & R & & T \\ & & & \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \theta & -\sin \theta \cos \alpha & \sin \theta \sin \alpha & r \cos \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \cos \alpha & -\cos \theta \sin \alpha & r \sin \theta \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & d \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$



Παρακάτω είναι ένα παράδειγμα υπολογισμού ενός DH πίνακα, ενός απλού ρομποτικού βραχίονα με 3 βαθμούς ελευθερίας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το  $r$  αναγράφεται ως  $L$ .



ΕΙΚΟΝΑ 2.2.37: Παράδειγμα εύρεσης DH παραμέτρων

### 2.2.6.2 Αντίστροφη κινηματική (Inverse kinematics)

Η Αντίστροφη κινηματική χρησιμοποιείται προκειμένου να βρούμε την μετατόπιση ή/και την περιστροφή των αρθρώσεων προκειμένου ο τελικός σύνδεσμος ή το τελικό εργαλείο να βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο και με τον επιθυμητό προσανατολισμό. Άρα, ως δεδομένο είναι η τελική θέση και ο προσανατολισμός του τελικού εργαλείου/συνδέσμου και το ζητούμενο είναι το τι τιμές θα πάρουν οι αρθρώσεις για να επιτευχθεί αυτό. Το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα είναι πιο περίπλοκο σε σχέση με το ευθύ κινηματικό πρόβλημα καθώς έχει αρκετές γεωμετρικές δυσκολίες και αποτελεί ένα μη γραμμικό πρόβλημα, συνεπώς ενδέχεται να έχει πολλές λύσεις ή και καμία. Όταν η εξεταζόμενη κινηματική αλυσίδα είναι ένας ρομποτικός βραχίονας που έχει πάνω από 6 βαθμούς ελευθερίας δεν μπορεί να λυθεί. Επίσης, αν το σημείο που του ανατεθεί είναι εκτός του χώρου εργασίας του ρομποτικού αυτού συστήματος, δεν μπορεί να λυθεί το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα.

Η μεθοδολογία επίλυσης του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος ενός ρομποτικού συστήματος είναι μοναδική σχεδόν για κάθε σύστημα. Στην ενότητα 3.4 της εργασίας θα γίνει η επίλυση του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος του ρομποτικού βραχίονα που θα κατασκευαστεί στα πλαίσια της εργασίας αυτής.

## 2.3 Τρισδιάστατη (3D) σχεδίαση - CAD (Computer Aided Design):

### **2.3.1 Ιστορική αναδρομή:**

Ο Δρ. Patrick J. Hanratty ήταν αυτός δημιούργησε το PRONTO, το πρώτο εμπορικό σύστημα προγραμματισμού αριθμητικού ελέγχου, το έτος 1957, σηματοδοτώντας το ξεκίνημα της τεχνολογίας που ονομάζεται CAD. Το SKETCHPAD, που δημιουργήθηκε από τον Ivan Sutherland στο εργαστήριο Λίνκολν του Τεχνολογικό Ινστιτούτο Μασαχουσέτης (MIT) το 1960, έδειξε τις θεμελιώδεις αρχές και τη βιωσιμότητα της τεχνικής σκιαγράφησης υπολογιστών. Λόγω του ότι ο σχεδιασμός του Dr. Patrick J. Hanratty μοιάζει περισσότερο με ένα σύστημα CAM (Computer Aided Manufacturing), μερικοί άνθρωποι αναρωτιούνται ποιός από αυτά τα άτομα εφηύρε πράγματι το πρώτο σύστημα CAD. Παρόλα αυτά, η πλειονότητα των ανθρώπων συμφωνούν ότι το πρώτο σύστημα σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή δημιουργήθηκε από τον Δρ Patrick J. Hanratty.

### ***2D CAD***

Τα πρώτα συστήματα CAD αντικατέστησαν τις κλασικές σανίδες σχεδίασης. Οι μηχανικοί σχεδιασμού ξεκίνησαν να εργάζονται σε δύο διαστάσεις για την δημιουργία τεχνικών σχεδίων από δισδιάστατα πρωτόγονα πλαίσια καλωδίων (γραμμή, τόξο, b-spline ...). Αν και υπήρχε η θεωρία από πολλούς ότι η ώθηση στην παραγωγικότητα του σχεδιασμού ήταν αρκετά μικρή, οι μηχανικοί σχεδιασμού έπρεπε να αποκτήσουν δεξιότητες υπολογιστών και CAD. Ωστόσο, οι αλλαγές και οι αναθεωρήσεις έγιναν απλούστερες και με την πάροδο του χρόνου και επίσης το υλικό και το λογισμικό CAD έγιναν πιο φθηνά για τις μεσαίου μεγέθους επιχειρήσεις. Η χρηστικότητα και η λειτουργικότητα του λογισμικού CAD αυξήθηκε. (1974).

### ***3D CAD***

Τα 3D χαρακτηριστικά του CAD αναπτύχθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '60 και το 1969 η MAGI κυκλοφόρησε το Syntha Vision, το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο πρόγραμμα στερεών μοντελοποίησης. Η συμπαγής μοντελοποίηση βοήθησε περαιτέρω τις τρισδιάστατες δυνατότητες των συστημάτων CAD. Η μαθηματική αναπαράσταση ελεύθερων επιφανειών, το NURBS, εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 1989 στους σταθμούς εργασίας Silicon Graphics. Μετέπειτα, το 1993 το CAS Berlin δημιούργησε ένα διαδραστικό μοντέλο NURBS για υπολογιστές, που ονομάστηκε NöRBS.

### ***Parametric Design***

Τα CAD βασισμένα σε παραμετρικές μηχανές κυκλοφόρησαν για πρώτη φορά το 1989 από την T-FLEX και αργότερα από την Pro/ENGINEER. Η μοντελοποίηση που χρησιμοποιεί παραμέτρους είναι γνωστή ως παραμετρική μοντελοποίηση. Για να διατηρηθεί η σχέση μεταξύ όλων των στοιχείων του σχεδίου, μια αλλαγή στην τιμή μιας διάστασης επηρεάζει

επίσης άλλες διαστάσεις. Για παράδειγμα, "αυτό πρέπει να είναι παράλληλο με αυτό και στη μέση του...". Οι περιορισμοί είναι ένα χαρακτηριστικό που εισάγεται από τα συστήματα MCAD και σας επιτρέπουν να καθορίσετε τις σχέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων σε ένα συγκρότημα. Όταν τα μέρη δημιουργούνται πρώτα και στη συνέχεια τοποθετούνται μαζί, οι σχεδιαστές έχουν αρχίσει να εφαρμόζουν μια προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω. Η μοντελοποίηση έχει μεγαλύτερη ακρίβεια και είναι περισσότερο διαισθητική και συνεπώς καθιστά απλούστερη την μεταγενέστερη ανάλυση, ιδιαίτερα την κινηματική.

### **2.3.2 Εισαγωγή:**

Το CAD (Computer Aided Design) είναι η χρήση λογισμικού υπολογιστή με σκοπό τον σχεδιασμό και την τεκμηρίωση της διαδικασίας σχεδιασμού ενός προϊόντος. Η σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) έχει προχωρήσει με εκπληκτικό ρυθμό, από την απλή δισδιάστατη (2D) σχεδίαση μέχρι την πιο περίπλοκη τρισδιάστατη (3D), ενώ επίσης πλέον προσφέρει την μοντελοποίηση, την μοντελοποίηση της κίνησης των σχεδίων αλλά και την ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης. Η ταχύτητα της υπολογιστικής επεξεργασίας και η χωρητικότητα της μνήμης έχουν αυξηθεί εκθετικά από τότε που δημιουργήθηκε το πρώτο ολοκληρωμένο κύκλωμα το 1958, διπλασιάζοντας περίπου κάθε δύο χρόνια. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως νόμος του Μουρ από τον Γκόρντον Μουρ, τον συνιδρυτή της Intel που εντόπισε και προέβλεψε πρώτος αυτή την τάση. Η εξάπλωση των ολοένα φθηνότερων και ισχυρότερων υπολογιστών έχει δημιουργήσει ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη του CAD. Οι εργασίες που μπορούν να ολοκληρωθούν με χρήση CAD είναι ο προκαταρκτικός σχεδιασμός και οι διατάξεις, οι υπολογισμοί σχεδιασμού, η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, η δημιουργία και η κυκλοφορία σχεδίων και η αλληλεπίδραση με το προσωπικό ανάλυσης, μάρκετινγκ, κατασκευής και τελικού χρήστη είναι όλες. Οι διαδικασίες γύρω από μια κατασκευή εκσυγχρονίζονται χάρη στο CAD στέλνοντας ολοκληρωμένες πληροφορίες προϊόντος με αυτοματοποιημένο τρόπο που είναι εύκολα κατανοητός από όλα τα εξειδικευμένα άτομα. Με τη χρήση του μπορούν να δημιουργηθούν τόσο δισδιάστατα όσο και τρισδιάστατα διαγράμματα. Το αντικείμενο μπορεί να εξεταστεί από οποιαδήποτε προοπτική, συμπεριλαμβανομένης και της εσωτερικής κοιτάζοντας προς τα έξω, χάρη στη χρήση εργαλείων λογισμικού CAD. Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα ενός σχεδίου CAD είναι ότι η τροποποίηση είναι ταχύτερη από ό,τι με μια χειροκίνητη μέθοδο. Το CAD αξιοποιείται ευρέως για τα πάντα, από τον εννοιολογικό σχεδιασμό και τη διάταξη των αντικειμένων μέχρι τον ορισμό της κατασκευής εξαρτημάτων, εκτός από την τεχνική μηχανική των μοντέλων 2D ή 3D.

Επιτρέποντας την ακριβή προσομοίωση αντί για την κατασκευή και τη δοκιμή πραγματικών πρωτοτύπων, το CAD μειώνει τον χρόνο σχεδιασμού. Ακόμη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα επιτυγχάνεται όταν ενσωματώνονται CAD και CAM (Computer Aided Manufacturing).

Τα λογισμικά για CAD επιτρέπουν:

- Αποδοτικότητα στην ποιότητα σχεδιασμού
- Βελτίωση της απόδοσης των μηχανικών
- Βελτιωμένη τήρηση αρχείων χάρη στο καλύτερο documentation και communication

### **2.3.3 Μελλοντική εξέλιξη:**

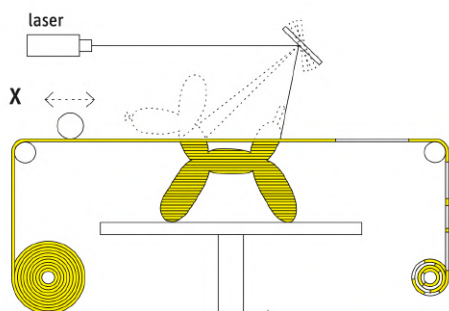
Καθώς το CAD που λειτουργεί με cloud, γίνεται πιο διαδεδομένο και οι δυνατότητές του για τεχνητή νοημοσύνη γίνονται πιο προσιτές, η απαίτηση καθορισμού σχεδίου μέσω σκίτσων αντικαθίσταται με τον καθορισμό των απαιτήσεων και τη λήψη προτάσεων σχεδίασης από τον υπολογιστή που λαμβάνουν υπόψη μια ποικιλία στοιχείων. Ο υπολογιστής θα έχει την δυνατότητα να κάνει προτάσεις σχεδιασμού που εξισορροπούν όλες τις απαιτήσεις για τη σχεδίαση. Το CAD θα αρχίσει να χρησιμοποιεί τους υπολογιστές στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους.

Παρόλο που υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα που απορρέουν την χρήση μιας εφαρμογής 3D CAD που έχει δυνατότητες cloud, δηλαδή online αποθήκευση αρχείων αλλά και δυνατότητα τροποποίησης σχεδίου από πολλούς χρήστες, υπάρχουν επίσης περιπτώσεις όπου η συμβατική μέθοδος πρέπει να συνεχιστεί, οπότε δεν θα εξαφανιστεί στο άμεσο μέλλον. Αντίθετα, αναμένεται να δημιουργηθούν νέοι υβριδικοί τρόποι σχεδίασης.

## **2.4 Τρισδιάστατη (3D) εκτύπωση:**

### **2.4.1 Ιστορική αναδρομή:**

Εκτός από την παραγωγή μικροτσιπ από την ηλεκτρονική βιομηχανία, οι τεχνικές προσθετικής κατασκευής (Additive manufacturing) δεν είχαν βιομηχανικές εφαρμογές στον πραγματικό κόσμο πριν από τη δεκαετία του 1980. Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 άρχισαν να παρουσιάζονται διαφορετικές προσεγγίσεις σχετικά με τις τεχνικές προσθετικής κατασκευής με τη βοήθεια υπολογιστή και με χρήση διαφορετικών τεχνολογιών. Πιο εμπειρισταωμένα διπλώματα ευρεσιτεχνίας πάνω στο συγκεκριμένο θέμα αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1980. Εδώ, τα πιο σημαντικά επιτεύγματα παρατίθενται χρονολογικά και σε σχέση με την τεχνολογία κατασκευής. Η στερεολιθογραφία (STL), μια μέθοδος για τη σκλήρυνση των υγρών πολυμερών κάτω από το υπεριώδες φως, εφευρέθηκε από τον Τσακ Χαλ. Σε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που εκδόθηκε το 1984, παρείχε την μέθοδο και τον εξοπλισμό για τη δημιουργία στερεών αντικειμένων με την επίστρωση αυτής της ουσίας. Το πρώτο αντικείμενο που κατασκευάστηκε ήταν ένα φλιτζάνι ύψους 5 εκατοστών και η διαδικασία κατασκευής του κράτησε μήνες. Δύο χρόνια αργότερα ο εν λόγω εφευρέτης ίδρυσε την εταιρεία 3D System, η οποία είχε στόχο να κατασκευάζει και να πουλάει εξοπλισμό προσθετικής κατασκευής.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.4.1:** Μέθοδος 3D εκτύπωσης Laminated Object Manufacturing (LOM)

Προς τα τέλη της δεκαετίας του 1980, δημιουργήθηκε η τεχνική Laminated Object Manufacturing (LOM). Προπάντων, με τη βοήθεια ενός λέιζερ, οι διατομές ενός αντικειμένου από χαρτί κόβονται χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική. Στη πορεία, μια πλαστική επικάλυψη λιώνεται στην κάτω πλευρά του στρώματος χαρτιού και ύστερα σιγα σιγα όλα τα στρώματα τοποθετούνται διαδοχικά το ένα πάνω στο άλλο. Όμως, με την πάροδο του χρόνου, οι εφαρμογές δεν ήταν ιδιαίτερα επιτυχημένες. Οι παραγωγοί ήταν οι Kira (Ιαπωνία), Solido3D (Ισραήλ) και Helisys (ΗΠΑ).

Στο Πανεπιστήμιο του Τέξας, αναπτύχθηκε μια νέα τεχνολογία προσθετικής κατασκευής. Το SLS σημαίνει Selective Laser Sintering (Επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ) και περιλαμβάνει τη χρήση δέσμης λέιζερ για την τήξη σωματιδίων σκόνης. Το σχετικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας των ΗΠΑ του C.R. Deckard χορηγήθηκε το 1989. Μετά την κατασκευή ακαδημαϊκών μηχανών, η DTM Co., μια πανεπιστημιακή νεοσύστατη εταιρεία, άρχισε να κατασκευάζει εμπορικές μηχανές σε συνεργασία με την 3D Systems, και εξαγοράστηκε το 2001.

Οι τεχνολογίες για τρισδιάστατη εκτύπωση δημιουργήθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990 στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης με το εμπορικό σήμα 3D printing. Η τεχνολογία inkjet που εφευρέθηκε από την Canon Co. το 1979 χρησίμευσε ως έμπνευση για την τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε στην προσθετική κατασκευή. Η φράση πλέον «3D printing» έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται πιο συχνά και ευρέως.

Η τεχνολογία Fused Deposition Modeling (FDM) δημιουργήθηκε από τον C.S. Crump στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και βασίζεται στην εναπόθεση θερμοπλαστικού υλικού στρώμα προς στρώμα χρησιμοποιώντας ένα ρομπότ 3 αξόνων. Το 1992, ίδρυσε την Stratasys Inc. και κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αυτή τη διαδικασία και τη συσκευή. Το 2012, η Stratasys συγχωνεύθηκε με την Objet Ltd. με έδρα το Ισραήλ, μια μεγάλη εταιρεία τρισδιάστατων εκτυπωτών. Η πλειοψηφία των επιτραπέζιων εκτυπωτών βασίζεται πλέον στην τεχνική κατασκευής που είναι γνωστή ως μοντελοποίηση λιωμένης εναπόθεσης (FDM).

Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 2000, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές ήταν ακριβά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στη βιομηχανία για τη δημιουργία πρωτοτύπων.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.4.2:** Εικόνα ενός 3D εκτυπωτή

Οι πρωτοβουλίες για την παροχή στους ανθρώπους οικονομικούς εκτυπωτές ανοικτού κώδικα (Open-source) ξεκίνησαν γύρω στο 2005. Ο A. Bowyer εργάστηκε σε ένα έργο στο Πανεπιστήμιο του Bath εκείνη τη χρονιά για να δημιουργήσει έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή

που θα μπορούσε να παράγει τα περισσότερα από τα δικά του εξαρτήματα. Rep Rap ήταν το όνομα του έργου (Replicating Rapid prototyping). Ο εκτυπωτής Rep Rap χρησιμοποίησε την τεχνική λιωμένου νήματος, η οποία προήλθε από τη μοντελοποίηση λιωμένης εναπόθεσης, για να τοποθετήσει έναν ή περισσότερους εξωθητές σε ένα ρομπότ 3 αξόνων. Το υλικό και το λογισμικό, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρονικών που χτίστηκαν στην πλατφόρμα arduino, ήταν ανοιχτού κώδικα. Αυτοί οι νέοι οικονομικοί εκτυπωτές ανοικτού κώδικα, ήταν το ιδανικό προϊόν για τους χομπίστες, οι οποίοι πλέον με την αγορά τέτοιων εκτυπωτών μπορούν να κατασκευάσουν εύκολα διάφορα αντικείμενα.

Το 2006, το Πανεπιστήμιο Cornell στις Ηνωμένες Πολιτείες ξεκίνησε μια παρόμοια προσπάθεια. Χρησιμοποιήθηκε υλικό και λογισμικό ανοικτού κώδικα για τη δημιουργία του εκτυπωτή που είναι γνωστός ως Fab@Home. Αποτελούνταν από ένα σύστημα 3 αξόνων που κινούσε πολυάριθμους εξωθητές οι οποίοι μπορούν να εξωθήσουν μια ποικιλία υλικών. Ο στόχος ήταν να αναπαραχθεί η μετάβαση από την εμπορική στην οικιακή χρήση, όπως έγινε και με τους μεγάλους υπολογιστές εκ των υστέρων μπήκαν σε κάθε σπίτι ως επιτραπέζιο υπολογιστές.

Βασισμένη στο έργο Rep Rap, η MakerBot Industries ιδρύθηκε στη Νέα Υόρκη το 2006 και προσφέρει κιτ DIY (Do It Yourself - Κάντο μόνος σου) για όποιον έχει απλώς υποτυπώδη τεχνολογική γνώση. Το MakerBot, με την πάροδο του χρόνου, άλλαξε νοοτροπία καθώς μετέτρεψε τα προϊόντα της από ανοιχτού σε κλειστού κώδικα. Αγοράστηκε από την Stratasys Inc. το 2013. Χάρη στην μεγάλης κλίμακας διάδοσης της τεχνικής προσθετικής κατασκευής που έχει επιφέρει το κίνημα του ανοιχτού κώδικα, σχεδόν ο καθένας έχει πλέον την οικονομική δυνατότητα να παράγει προϊόντα μόνος του.

Η εντυπωσιακή ανάπτυξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης για τους καταναλωτές ήταν η πραγματική επανάσταση. Ο N. Gershenfield, ο οποίος διδάσκει ένα μάθημα με θέμα "Πώς να κατασκευάζεις (σχεδόν) οτιδήποτε" στο Media Lab του Ινστιτούτου Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (MIT) από τις αρχές της δεκαετίας του 2000, ήταν πρωτοπόρος αυτής της προσέγγισης για την προσωπική δημιουργία.

#### **2.4.2 Εισαγωγή:**

Στην τρισδιάστατη εκτύπωση, που συχνά αναφέρεται και ως προσθετική κατασκευή, χρησιμοποιείται ένα ψηφιακό αρχείο προκειμένου να παραχθεί τρισδιάστατο στερεό αντικείμενο. Ο «εκτυπωτής» στη διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης αποθέτει υλικό σε διαδοχικά στρώματα μέχρι να σχηματιστεί πλήρως το αντικείμενο. Το κάθε στρώμα μπορεί θεωρηθεί ως μια λεπτή διατομή του εκτυπωμένου αντικειμένου. Οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να δημιουργήσουν πολύπλοκα σχήματα αξιοποιώντας την τρισδιάστατη εκτύπωση και χωρίς να χρησιμοποιηθεί πολύ υλικό όπως θα έκαναν με τις συμβατικές τεχνικές κατασκευής.

Η διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι το αντίστροφο της «αφαιρετικής κατασκευής», κατά την οποία το υλικό κόβεται χρησιμοποιώντας μηχανήματα όπως μια μηχανή φρεζαρίσματος. Από την άλλη πλευρά, με την προσθετική κατασκευή, τα φυσικά αντικείμενα

μπορούν να παραχθούν χωρίς τη χρήση καλουπιού ή μπλοκ υλικού. Αντίθετα, δημιουργεί και συγχωνεύει στρώματα υλικού.

Οι παραδοσιακές μέθοδοι κατασκευής δεν θα μπορούσαν να είναι τόσο αποτελεσματικές όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση, η οποία προσφέρει τη δημιουργία πολύπλοκων σχημάτων χρησιμοποιώντας μια ποικιλία τύπων υλικών, την γρήγορη παραγωγή προϊόντων και ελάχιστο αρχικό πάγιο κόστος υποδομής και αυτά τα πλεονεκτήματα.

### **2.4.3 Τεχνικές εκτύπωσης:**

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη εκτύπωση χωρίζονται σε επτά διαφορετικές κατηγορίες σύμφωνα με το ISO/ASTM 52900, το οποίο σχετίζεται με τις θεμελιώδεις ιδέες και ορολογίες στην τεχνική της προσθετικής κατασκευής. Κάθε τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης λειτουργεί ελαφρώς διαφορετικά.

Το είδος της εκτύπωσης, το μέγεθος εξόδου, το υλικό, η επιθυμητή ποιότητα και οι ρυθμίσεις παραμέτρων επηρεάζουν τον χρόνο που χρειάζεται για την εκτύπωση ενός τρισδιάστατου στοιχείου. Ο χρόνος που απαιτείται για την τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να κυμαίνεται από λίγα λεπτά έως μερικές ημέρες.

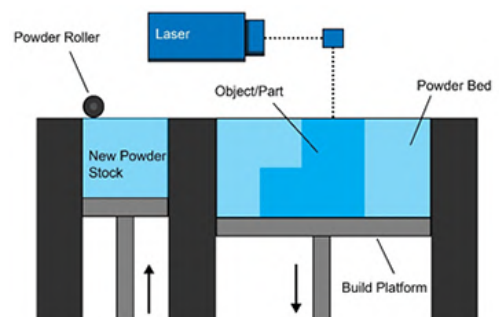
Οι διάφορες μορφές τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι οι εξής:

#### ***Powder bed fusion***

Στη σύντηξη πούδρας κρεβατιού (PBF), σχηματίζονται στρώματα όταν η θερμική ενέργεια, όπως μια δέσμη ηλεκτρονίων ή λέιζερ, συγχωνεύει επιλεκτικά συγκεκριμένες περιοχές του κρεβατιού πούδρας. Αυτά τα στρώματα στοιβάζονται το ένα πάνω στο άλλο, μέχρι να κατασκευαστεί το αντικείμενο.

Το PBF μπορεί να περιλαμβάνει διαδικασίες πυροσυσσωμάτωσης ή τήξης, αλλά η βασική αρχή λειτουργίας παραμένει η ίδια. Μια ελαφριά επίστρωση σκόνης εφαρμόζεται πρώτα στην πλατφόρμα κατασκευής χρησιμοποιώντας έναν κύλινδρο ή λεπίδα επαναβαφής. Στη συνέχεια, η επιφάνεια του κρεβατιού πούδρας σαρώνεται χρησιμοποιώντας μια πηγή θερμότητας. Για να ενώσει συγκεκριμένες περιοχές, αυτή η πηγή αυξάνει επιλεκτικά τη θερμοκρασία των σωματιδίων.

Η πλατφόρμα μετακινείται προς τα κάτω για να επιτρέψει στην πηγή θερμότητας να σαρώσει το επόμενο στρώμα μετά τη σάρωση μιας διατομής ή στρώματος. Η έξοδος της εκτύπωσης είναι ένας όγκος με συντηγμένα συστατικά στην τελική κατάσταση, αλλά η γύρω σκόνη δεν επηρεάζεται. Η ολοκληρωμένη κατασκευή μπορεί στη συνέχεια να ανακτηθεί καθώς η πλατφόρμα ανεβαίνει στη συνέχεια. Οι τυπικές τεχνικές εκτύπωσης που χρησιμοποιούνται στη σύντηξη πούδρας κρεβατιού περιλαμβάνουν την επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (SLS) και την άμεση πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ μετάλλων (DMLS).



**ΕΙΚΟΝΑ 2.4.3:** Τεχνική εκτύπωσης *Power Bed Fusion*



Αυτές οι μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης, πολλές φορές κατασκευάζουν μεταλλικά εξαρτήματα που έχουν φυσικές ιδιότητες καλύτερες και από τα υλικά κατασκευής του εκτυπωτή. Επιπλέον, η ποιότητα της επιφάνειας του εκτυπωμένου αντικειμένου είναι συχνά εξαιρετικό. Αυτές οι διαδικασίες μπορούν να λειτουργήσουν με υπερκράματα μετάλλων και κεραμικά που μπορεί να είναι δύσκολο να εργαστούν σε συμβατικές διαδικασίες. Ωστόσο, το μέγεθος της παραγωγής περιορίζεται από τον όγκο του συστήματος και τη δαπανηρή φύση των DMLS και SLM.

### ***VAT photopolymerization***

Η ψηφιακή επεξεργασία φωτός (DLP) και η στερεολιθογραφία (SLA) είναι οι δύο τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον φωτοπολυμερισμό VAT. Και οι δύο αυτές τεχνικές σκληρύνουν επιλεκτικά το υγρό υλικό (συχνά ρητίνη) που φυλάσσεται σε κάδο, χτίζοντας εξαρτήματα ένα στρώμα τη φορά.

Αυτές οι τεχνικές μπορεί να παράγουν πολύπλοκα λεπτομερή αντικείμενα με εξαιρετικό φινίρισμα, καθιστώντας τα καταλληλότερα για παραγωγή που απαιτεί υψηλά επίπεδα ακρίβειας διαστάσεων. Επομένως, το DLP και το SLA είναι εξαιρετικές επιλογές για τη δημιουργία πρωτοτύπων.

Παρόλα αυτά, αυτές οι τεχνικές είναι λιγότερο κατάλληλες για τη δημιουργία λειτουργικών πρωτοτύπων επειδή η έξοδος τους είναι συχνά εύθραυστη. Το χρώμα και οι μηχανικές ιδιότητες αυτών των εξαρτημάτων είναι επίσης πιθανό να αλλοιωθούν στις ακτίνες UV του ήλιου, καθιστώντας τα ακατάλληλα για χρήση σε εξωτερικούς χώρους. Τέλος, η παρουσία δομών στήριξης μπορεί να είναι απαραίτητη και μπορεί να οδηγήσει σε ατέλειες που μπορούν να διορθωθούν μέσω της μετεπεξεργασίας.

### ***Binder jetting***

Το Binder jetting λειτουργεί καλύπτοντας την πλατφόρμα κατασκευής με ένα λεπτό στρώμα κονιοποιημένου υλικού, όπως πολυμερή άμμο, κεραμικό ή μέταλλο. Μετά από αυτό, οι σταγόνες κόλλας πέφτουν από μια κεφαλή εκτύπωσης για να κολλήσουν τα σωματίδια μεταξύ τους. Ως αποτέλεσμα, το τμήμα κατασκευάζεται σε στρώσεις.

Απαιτούνται θερμικά συντηγμένα μεταλλικά κομμάτια ή μέταλλα με χαμηλά σημεία τήξης, όπως ο μπρούτζος, πρέπει να εγχυθούν στο μέταλλο. Έπειτα μια κόλλα μπορεί να εμποτιστεί ώστε να κολλήσει τα κεραμικά ή πολυμερή μέρη. Στις περισσότερες περιπτώσεις, απαιτείται μετα-επεξεργασία για να ολοκληρωθεί η έξοδος.

Υπάρχουν πολλές χρήσεις για την εκτόξευση συνδετικού υλικού, όπως κεραμικά καλούπια μεγάλης κλίμακας, έγχρωμα πρωτότυπα και τρισδιάστατη εκτύπωση μετάλλου.

### ***Material jetting***

Από την πλευρά της εννοιολογικής έννοιας, η εκτόξευση υλικού είναι συγκρίσιμη με την εκτύπωση inkjet. Ωστόσο, χρησιμοποιεί μία ή περισσότερες κεφαλές εκτύπωσης για την εναπόθεση στρωμάτων υγρού υλικού αντί για την τοποθέτηση μελανιού σε χαρτί. Πριν από τη δημιουργία του επόμενου στρώματος, το προηγούμενο στρώμα σκληρύνεται. Η εν λόγω τεχνική εκτόξευσης υλικού απαιτεί δομές στήριξης, οι οποίες μπορούν να δημιουργηθούν με ένα υδατοδιαλυτό υλικό που μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα μόλις ολοκληρωθεί το αντικείμενο. Αυτή η εξαιρετικά ακριβής διαδικασία λειτουργεί καλά για την παραγωγή

έγχρωμων κομματιών από διάφορα είδη υλικών. Ωστόσο, είναι ακριβό και το τελικό προϊόν συχνά χαλάει γρήγορα.

### ***Fused deposition modeling***

Κατα την μοντελοποίηση συντηγμένης εναπόθεσης (FDM), χρησιμοποιείται ένα θερμαινόμενο ακροφύσιο το οποίο τροφοδοτείται με νήμα από ένα καρούλι νήματος με την βοήθεια μιας κεφαλής εξώθησης. Το υλικό θερμαίνεται από την κεφαλή εξώθησης, η οποία το αναγκάζει να μαλακώσει πριν τοποθετηθεί πάνω στο παραγόμενο αντικείμενο όπου έπειτα θα κρυώσει. Η πλατφόρμα κατασκευής κατεβαίνει και ετοιμάζεται για το επόμενο στρώμα που θα προστεθεί μόλις κατασκευαστεί ένα στρώμα υλικού.

Αυτή η διαδικασία, που συχνά αναφέρεται ως εξώθηση υλικού, έχει σύντομους χρόνους κατασκευής και είναι οικονομική. Ωστόσο, έχει χαμηλή ακρίβεια διαστάσεων και συχνά απαιτείται μετα-επεξεργασία για να επιτευχθεί ομαλό φινίρισμα. Το τελικό αντικείμενο είναι ακατάλληλο για κρίσιμες εφαρμογές καθώς τείνει να είναι ανισότροπο ή αδύναμο ως προς την αντοχή του.

### ***Sheet lamination***

Η Sheet lamination τεχνική μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε δύο τεχνολογίες: ultrasonic additive manufacturing (UAM) και laminated object manufacturing (LOM). Στη UAM τεχνική, η συγκόλληση για τη σύνδεση λεπτών μεταλλικών φύλλων πραγματοποιείται με υπερήχους, καθώς απαιτεί λίγη θερμότητα και ενέργεια. Δύναται να επεξεργαστεί μια ποικιλία μετάλλων, όπως τιτάνιο, αλουμίνιο και ανοξείδωτο χάλυβα. Η LOM τεχνική, από την άλλη, χτίζει το τελικό προϊόν τοποθετώντας εναλλάξ στρώματα υλικού και κόλλας.

### ***Direct energy deposition***

Στην τεχνική αυτή, χρησιμοποιώντας λέιζερ, ηλεκτρικό τόξο, δέσμη ηλεκτρονίων ή άλλη εστιασμένη πηγή θερμικής ενέργειας, συγχωνεύει το υλικό, σκόνη ή σύρμα, καθώς τοποθετείται. Καθώς η τροφοδοσία σκόνης ή σύρματος εναποτίθεται, συντήκεται χρησιμοποιώντας λέιζερ, ηλεκτρικό τόξο, δέσμη ηλεκτρονίων ή άλλη εστιασμένη πηγή θερμικής ενέργειας. Η διαδικασία δημιουργεί στρώματα οριζόντια, τα οποία στη συνέχεια τοποθετούνται κάθετα για την κατασκευή εξαρτημάτων. Λειτουργεί καλά με μια ποικιλία υλικών, συμπεριλαμβανομένων μετάλλων, πολυμερών και κεραμικών.

## **2.5 Μικροελεγκτές (Microcontrollers):**

### **2.5.1 Ιστορική αναδρομή:**

Ο μικροεπεξεργαστής είναι η εφεύρεση που έφερε επανάσταση στους υπολογιστές. Ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC, Integrated Circuit) που ονομάζεται μικροεπεξεργαστής στεγάζει την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU, Central Processing Unit). Οι Intel 4004 και Texas Instruments TMS1000 είναι οι πρώτοι γνωστοί μικροεπεξεργαστές, και παρουσιάστηκαν το 1971.

Έκτοτε, προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη απόδοση, η υπολογιστική ισχύς, η πολυπλοκότητα και η κατανάλωση ενέργειας έχουν αυξηθεί. Μια μητρική πλακέτα περιέχει όλο το υποστηρικτικό υλικό που χρειάζεται ένας μικροεπεξεργαστής για να λειτουργήσει. Το υποστηρικτικό υλικό αποτελείται από μνήμη, IC για τα περιφερειακά κτλ.

Κατα την εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών ανακαλύφθηκε ότι οι μικροεπεξεργαστές μπορούν να λειτουργήσουν άλλες ηλεκτρονικές συσκευές όπως για παράδειγμα τα φωτοτυπικά. Οι μικροεπεξεργαστές εστιάζουν στη δημιουργία ενός μηχανισμού ελέγχου με λιγότερο περίπλοκο υλικό και υψηλότερη αξιοπιστία παρά στην υψηλή υπολογιστική ικανότητα.

Αυτό το κριτήριο κατέστησε δυνατή την ενσωμάτωση του ελάχιστου υλικού που απαιτείται για τη σωστή λειτουργία ενός μικροεπεξεργαστή σε ένα μόνο τσιπ ή, για να είμαστε ακριβείς, στο ίδιο τσιπ με τον επεξεργαστή.

Αυτό σηματοδοτεί την ανάπτυξη μικροελεγκτών, ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος που περιλαμβάνει όλο το απαραίτητο υλικό και λογισμικό για την κατασκευή ενός πλήρους συστήματος υπολογιστή. Εδώ, η ενσωμάτωση όλων των εξαρτημάτων, συμπεριλαμβανομένης της μνήμης, είναι πιο σημαντική από την υπολογιστική ικανότητα της συσκευής.

### **2.5.2 Εισαγωγή:**

Ένας μικροελεγκτής είναι ένας μικροσκοπικός υπολογιστής με ένα μεμονωμένο ολοκληρωμένο κύκλωμα. Επειδή οι χρόνοι εκτέλεσής τους είναι της τάξης των μικροδευτερολέπτων, έχουν γίνει γνωστοί ως μικροελεγκτές στην σημερινή ορολογία.

Ένα τσιπ IC που ονομάζεται μικροελεγκτής εκτελεί προγράμματα με σκοπό τον έλεγχο άλλων μηχανημάτων ή συσκευών. Ο προγραμματισμός μικροελεγκτών αναφέρεται στον προγραμματισμό μιας μικροσυσκευής που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία άλλου εξοπλισμού. Παρόλο που ο προγραμματισμός μικροελεγκτή έχει γίνει ταχύτερος με την πάροδο του χρόνου, το όνομα παρέμεινε. Ένας μικροελεγκτής περιλαμβάνει μια μονάδα CPU, μνήμη μόνο για ανάγνωση (ROM, Read-only memory), μνήμη τυχαίας προσπέλασης (RAM, Random-access memory), και μερικά ακόμη περιφερειακά για την υποστήριξη του μικροεπεξεργαστή.

Αν και ο μικροελεγκτής είναι μια γρήγορη συσκευή, λειτουργεί πιο αργά από έναν υπολογιστή, επομένως κάθε εντολή εκτελείται στον μικροελεγκτή με διαφορετικές ταχύτητες. Ο λογικός καταχωρητής ελέγχου ενεργοποιείται από τον ταλαντωτή χαλαζία (quartz oscillator) όταν το τροφοδοτικό του μικροελεγκτή είναι ενεργοποιημένο. Κατα τα αρχικά χιλιοστά του δευτερολέπτου, καθώς λαμβάνει χώρα η πρώτη προετοιμασία, οι πυκνωτές παρασίτων φορτίζονται.

Η διαδικασία εγγραφής bits σε καταχωρητές ειδικών συναρτήσεων ξεκινά όταν το επίπεδο τάσης φτάσει στη μέγιστη τιμή του και όταν η συχνότητα του ταλαντωτή χαλαζία σταθεροποιηθεί. Το ρολόι του ταλαντωτή θέτει τα πάντα σε κίνηση και τα ηλεκτρονικά στο σύνολό τους αρχίζουν να λειτουργούν. Όλα πραγματοποιούνται σε κλάσματα δευτερολέπτου.

### ***Λειτουργίες και πλεονεκτήματα μικροελεγκτών***

Οι μικροελεγκτές όπως και ο μικροελεγκτής 8051 μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορα περιφερειακά και μπορεί να θεωρηθεί ως ένα αυτόνομο σύστημα με μνήμη και επεξεργαστή. Σήμερα ο κύριος όγκος των μικροελεγκτών που χρησιμοποιούνται, είναι ενσωματωμένοι σε διάφορους τύπους μηχανημάτων, συμπεριλαμβανομένων αυτοκινήτων, τηλεφώνων, συσκευών και περιφερειακών υπολογιστών.

- Ένας μικροελεγκτής είναι απλός στην χρήση, μικρός και φθηνός. Κατά συνέπεια, μπορεί να ενσωματωθεί σε οποιοδήποτε συσκευή και πρότζεκτ.
- Ο προγραμματισμός μικροελεγκτή δεν απαιτεί πλέον υψηλή εξειδίκευση και δεξιότητα.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν με προσομοιωτές υπολογιστή προκειμένου να παρατηρηθούν τα αποτελέσματα του προγραμματισμού του μικροελεγκτή. Αυτά μας δίνουν την δυνατότητα να υλοποιήσουμε ψηφιακά ένα πρότζεκτ χωρίς να χρειαστεί να αγοράσουμε τα απαραίτητα τσιπ και εξαρτήματα.

### **2.5.3 Τύποι:**

#### ***PIC Microcontroller***

Το PIC (Peripheral Interface Controller), το οποίο σημαίνει ελεγκτής περιφερειακής διεπαφής, είναι μια κατηγορία μικροελεγκτών που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ηλεκτρονικών συσκευών, υπολογιστες ρομπότ και σχετικού υλικού. Παρά το γεγονός ότι το PIC δημιουργήθηκε από την τεχνολογία Microchip και στηρίζεται στην αρχιτεκτονική υπολογιστών υλικού, ο κώδικας και τα δεδομένα τοποθετούνται σε ξεχωριστούς καταχωρητές εδώ για να αυξήσουν την είσοδο και την έξοδο. Για την προετοιμασία όλων I/O (Input/Output), το PIC διαθέτει εξειδικευμένο μικροεπεξεργαστή, διάυλο δεδομένων και ενσωματωμένη μνήμη δεδομένων.

#### ***ARM Microcontroller***

Το Advanced RISC Machine είναι το ακρωνύμιο ARM. Είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος τύπος μικροελεγκτών στον κλάδο των ψηφιακών ενσωματωμένων συστημάτων, και οι περισσότερες εταιρείες χρησιμοποιούν μόνο μικροελεγκτές ARM αφού έχουν αξιοσημείωτες δυνατότητες που επιτρέπουν την υλοποίηση προϊόντων με υψηλή απόδοση.

Είναι μια συσκευή χαμηλού κόστους και υψηλής απόδοσης, που έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων συστημάτων ασύρματης δικτύωσης και αισθητήρων, συστημάτων αμαξώματος αυτοκινήτου και συστημάτων ελέγχου βιομηχανικών οργάνων.

#### ***8051 Microcontroller***

Το 1981, η Intel ανέπτυξε τον μικροελεγκτή 8051. Είναι ένας μικροελεγκτής 8-bit. Είναι κατασκευασμένο με 2 χρονόμετρα των 16 bit, DIP(Dual inline package) 40 ακίδων, 4 KB αποθήκευσης ROM και 128 KB μνήμη RAM. Αποτελείται από τέσσερις παράλληλες θύρες

8-bit που δύναται να προγραμματιστούν και να διευθυνσιοδοτηθούν σύμφωνα με τις υπάρχουσες προδιαγραφές.

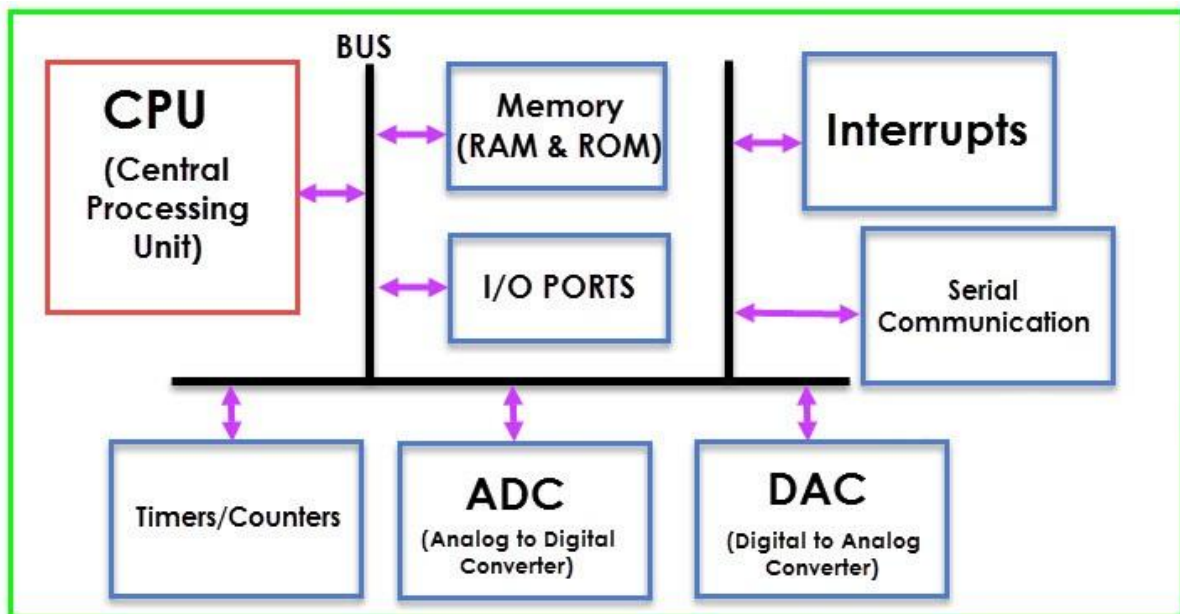
### **AVR Microcontroller**

Ο επεξεργαστής RISC της Alf and Vegard είναι γνωστός ως AVR. Είναι ένα τροποποιημένο μηχανήμα αρχιτεκτονικής του Χάρβαρντ με ξεχωριστά συστήματα φυσικής μνήμης για την αποθήκευση του προγράμματος και των δεδομένων που εμφανίζονται σε διάφορους χώρους διευθύνσεων και με δυνατότητα αναζήτησης δεδομένων από τη μνήμη προγράμματος χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες συντομεύσεις. Ο AVR ήταν ένας από τους πρώτους μικροελεγκτές που χρησιμοποίησαν μνήμη flash στην πλακέτα για αποθήκευση προγραμμάτων, σε αντίθεση με άλλους μικροελεγκτές εκείνη την εποχή που χρησιμοποίησαν ROM, EPROM ή EEPROM, που προγραμματίζονται μια φορά.

### **MSP Microcontroller**

Το Mixed Signal Processor (MSP) ανήκει στην οικογένεια της Texas Instruments. Το MSP έχει “χτιστεί” ουσιαστικά γύρω από την 16-bit CPU, και σχεδιάστηκε με σκοπό είναι φθινό και επίσης να έχει μικρή κατανάλωση. Ο διάυλος δεδομένων 16-bit, οι επτά λειτουργίες διευθυνσιοδότησης και το μικρότερο σύνολο εντολών, οδήγησαν σε έναν πιο σύντομο και πυκνότερο κώδικα προγραμματισμού για γρήγορη απόδοση.

## **2.5.4 Βασική δομή:**



**ΕΙΚΟΝΑ 2.5.1:** Γράφημα με την βασική δομή ενός μικροελεγκτή

Από την παραπάνω εικόνα, μπορείτε να καταλάβετε ότι τα τρία σημαντικά (ή κύρια) στοιχεία ενός μικροελεγκτή είναι:

- Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU, Central Processing Unit)
- Η μνήμη (Memory)

- Οι θύρες εισόδου εξόδου (I/O Ports)

Αυτό δεν σημαίνει ότι τα υπόλοιπα εξαρτήματα είναι λιγότερο σημαντικά από αυτά που προαναφέρθηκαν. Ωστόσο, τα υπόλοιπα εξαρτήματα μπορούν να θεωρηθούν ως υποστηρικτικός εξοπλισμός του μικροελεγκτή. Παρακάτω θα εξεταστεί το κάθε ένα από τα βασικά και υποστηρικτικά στοιχεία μικροελεγκτή που παρουσιάζονται στην παραπάνω δομή.

### ***CPU (Κεντρική μονάδα επεξεργασίας)***

CPU λειτουργεί ως ο εγκέφαλος του μικροελεγκτή και είναι γνωστός ως κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Αποτελείται από μια Μονάδα Ελέγχου (CU, Control Unit) και μια Αριθμητική Λογική Μονάδα (ALU, Arithmetic Logic Unit) . Μια CPU διαβάζει, αποκωδικοποιεί και εκτελεί εντολές για να εκτελέσει λειτουργίες λογικής, αριθμητικής και μεταφοράς δεδομένων.

### ***Memory (Μνήμη)***

Οι δύο τύποι μνήμης που χρειάζονται κάθε υπολογιστικό σύστημα είναι η μνήμη προγράμματος και η μνήμη δεδομένων. Όπως υποδηλώνει το όνομα, η μνήμη προγράμματος φιλοξενεί το πρόγραμμα ή τις οδηγίες που θα χρησιμοποιήσει η CPU για να εκτελέσει το πρόγραμμα. Ωστόσο, όσο εκτελούνται οι οδηγίες, τα δεδομένα πρέπει να αποθηκεύονται στη μνήμη δεδομένων.

Συνήθως, η μνήμη δεδομένων είναι μνήμη τυχαίας προσπέλασης (RAM), ενώ η μνήμη προγράμματος είναι μνήμη μόνο για ανάγνωση (ROM). Η μνήμη ανάγνωσης εγγραφής (R/W M, Read Write Memory) είναι ένα άλλο όνομα για τη μνήμη δεδομένων.

### ***I/O Ports (Θύρες εισόδου-εξόδου)***

Οι θύρες εισόδου και εξόδου (I/O), χρησιμεύουν ως διεπαφή του μικροελεγκτή με τον έξω κόσμο. Οι διακόπτες, τα πληκτρολόγια και άλλες συσκευές εισόδου στέλνουν δυαδικά δεδομένα ή πληροφορίες από τον χρήστη στην CPU.

Ύστερα από την λήψη δεδομένων από τις συσκευές εισόδου, η κεντρική μονάδα επεξεργασίας εκτελεί τις απαραίτητες οδηγίες και αποκρίνεται στέλνοντας δεδομένα σε συσκευές εξόδου όπως φωτάκια, οθόνες, εκτυπωτές κ.λπ.

### ***Bus (Δίαυλος)***

Ο διάυλος συστήματος είναι ένα άλλο σημαντικό, αν και σπάνια συζητούμενο, μέρος ενός μικροελεγκτή. Η CPU συνδέεται με άλλα περιφερειακά όπως θύρες I/O, μνήμη και άλλα υποστηρικτικά στοιχεία μέσω ενός συστήματος διαύλου, που αποτελεί μια συλλογή καλωδίων σύνδεσης.

### ***Timers/Counters (Χρονομετρητές)***

Οι χρονοδιακόπτες και οι μετρητές είναι δύο βασικά μέρη ενός μικροελεγκτή. Προσφέρουν τις δυνατότητες χρονικής καθυστέρησης και καταμέτρηση συμβάντων για εξωτερικά συμβάντα. Οι χρονομετρητές και οι μετρητές μπορούν επίσης να παρέχουν πρόσθετες λειτουργίες, όπως δημιουργία συναρτήσεων, διαμόρφωση πλάτους παλμού, έλεγχος ρολογιού κ.λπ.

### ***Serial Port (Σειριακή θύρα)***

Ένας μικροελεγκτής έχει την δυνατότητα να διασυνδέεται με άλλες συσκευές και περιφερειακά, κάτι που αποτελεί βασική απαίτηση. Η σειριακή θύρα χρησιμοποιεί σειριακή επικοινωνία για να δημιουργήσει μια τέτοια διεπαφή. Το UART είναι το πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας που χρησιμοποιείται συνήθως από μικροελεγκτές.

### ***Interrupts (Διακοπές)***

Ο χειρισμός των διακοπών από έναν μικροελεγκτή είναι ένα κρίσιμο στοιχείο της συσκευής. Οι διακοπές μπορεί να είναι εξωτερικές είτε εσωτερικές, που σχετίζονται με το υλικό ή με το λογισμικό. Τα συμβάντα γνωστά ως διακοπές είναι εκείνα που διακόπτουν στιγμιαία το πρωτεύον πρόγραμμα, παραδίδουν τον έλεγχο σε εξωτερικές πηγές και εκτελούν την προβλεπόμενη λειτουργία τους. Αφού ολοκληρώσει την εργασία του, μεταφέρει τον έλεγχο στο κύριο πρόγραμμα.

### ***Analog to Digital Converter, ADC (Μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό)***

Το κύκλωμα που ονομάζεται μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό (ADC), μετατρέπει τα αναλογικά σήματα σε ψηφιακά σήματα. Το κύκλωμα αυτό χρησιμεύει ως διεπαφή μεταξύ της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας του μικροελεγκτή και των εξωτερικών αναλογικών συσκευών εισόδου. Σχεδόν όλοι οι αισθητήρες είναι αναλογικές συσκευές και για να κατανοήσει η CPU τα αναλογικά δεδομένα από αυτούς τους αισθητήρες, πρέπει να μεταφραστούν σε ψηφιακά δεδομένα.

### ***Digital to Analog Converter, DAC (Μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε αναλογικό)***

Το ακρωνύμιο DAC σημαίνει "Digital to Analog Converter", και είναι ένα κύκλωμα που λειτουργεί αντίθετα από ένα ADC καθώς μετατρέπει ψηφιακά σήματα σε αναλογικά σήματα. Το DAC αποτελεί συνδετικός κρίκος μεταξύ της CPU του μικροελεγκτή και των εξωτερικών αναλογικών συσκευών.

## **2.5.5 Arduino:**

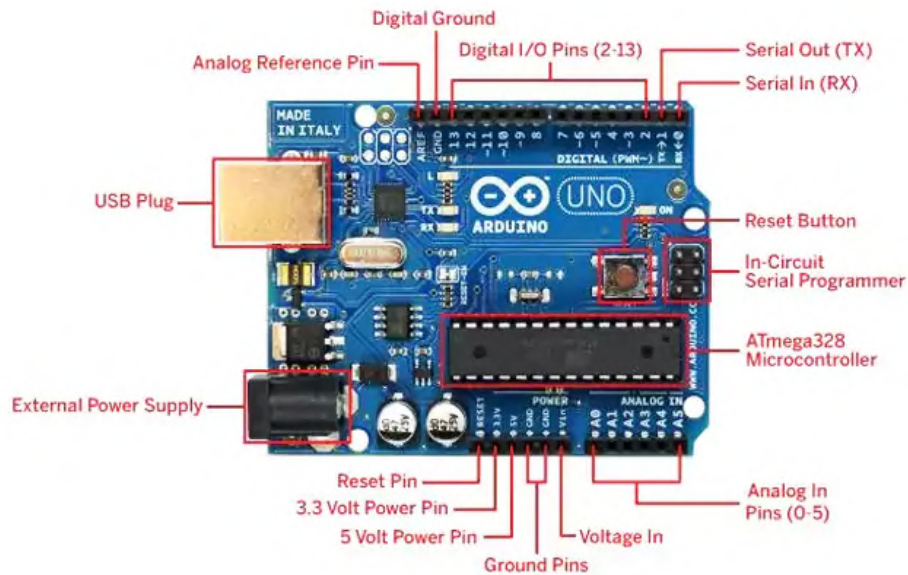
Το Arduino είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης ηλεκτρονικών ειδών ανοιχτού κώδικα και είναι βασισμένη σε δωρεάν, προσαρμόσιμο και απλό στη χρήση υλικό και λογισμικό για σχεδιαστές και προγραμματιστές. Με τη βοήθεια αυτής της πλατφόρμας, μπορούν δημιουργηθούν διάφοροι μικροϋπολογιστές μιας πλακέτας που η κοινότητα που χρησιμοποιεί αυτή την πλατφόρμα, μπορεί να την χρησιμοποιήσει για διάφορα πρότζεκτ.

Το έργο Arduino δημιουργήθηκε το 2003 με στόχο, να γίνουν οι ηλεκτρονικοί και προγραμματιστικοί πόροι πιο προσβάσιμοι και χρηστικοί. Δημιουργήθηκε από έναν αριθμό φοιτητών από το Ινστιτούτο Διαδραστικού Σχεδιασμού στην Ivrea της Ιταλίας. Το έκαναν έτσι ώστε οι φοιτητές που σπουδάζουν ηλεκτρονική, να έχουν μια λιγότερο ακριβή εναλλακτική από τις γνωστές πλακέτες BASIC Stamp, οι οποίες κόστιζαν τότε πάνω από 100 δολάρια και επομένως δεν ήταν προσβάσιμες σε όλους.

Συνεπώς, αυτοί οι προσπάθεια των φοιτητών οδήγησε στο arduino, δηλαδή μιας πλακέτας που έχει όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα για τη σύνδεση περιφερειακών με τις εισόδους και τις εξόδους ενός μικροελεγκτή οι οποία μπορεί να προγραμματιστεί σε Windows, macOS και



GNU/Linux. Το εν λόγω έργο ουσιαστικά υποστηρίζει την ιδέα «μαθαίνοντας κάνοντας», σύμφωνα με την οποία ο καλύτερος τρόπος για να μάθεις είναι να κάνεις ένα πρότζεκτ και να πειραματιστείς με αυτό.



**EIKONA 2.5.2: Arduino Uno**

Ένας μικροελεγκτής ATMEL AVR λειτουργεί ως βάση για την πλακέτα Arduino. Οι εν λόγω μικροελεγκτές είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα που δύναται να προγραμματιστούν χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού που είναι διαθέσιμη στο περιβάλλον Arduino IDE. Το πρόγραμμα που δημιουργείται στο Arduino IDE μπορεί στη συνέχεια να αποθηκευτεί στους μικροελεγκτές. Έπειτα αυτό το πρόγραμμα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της πλακέτας.

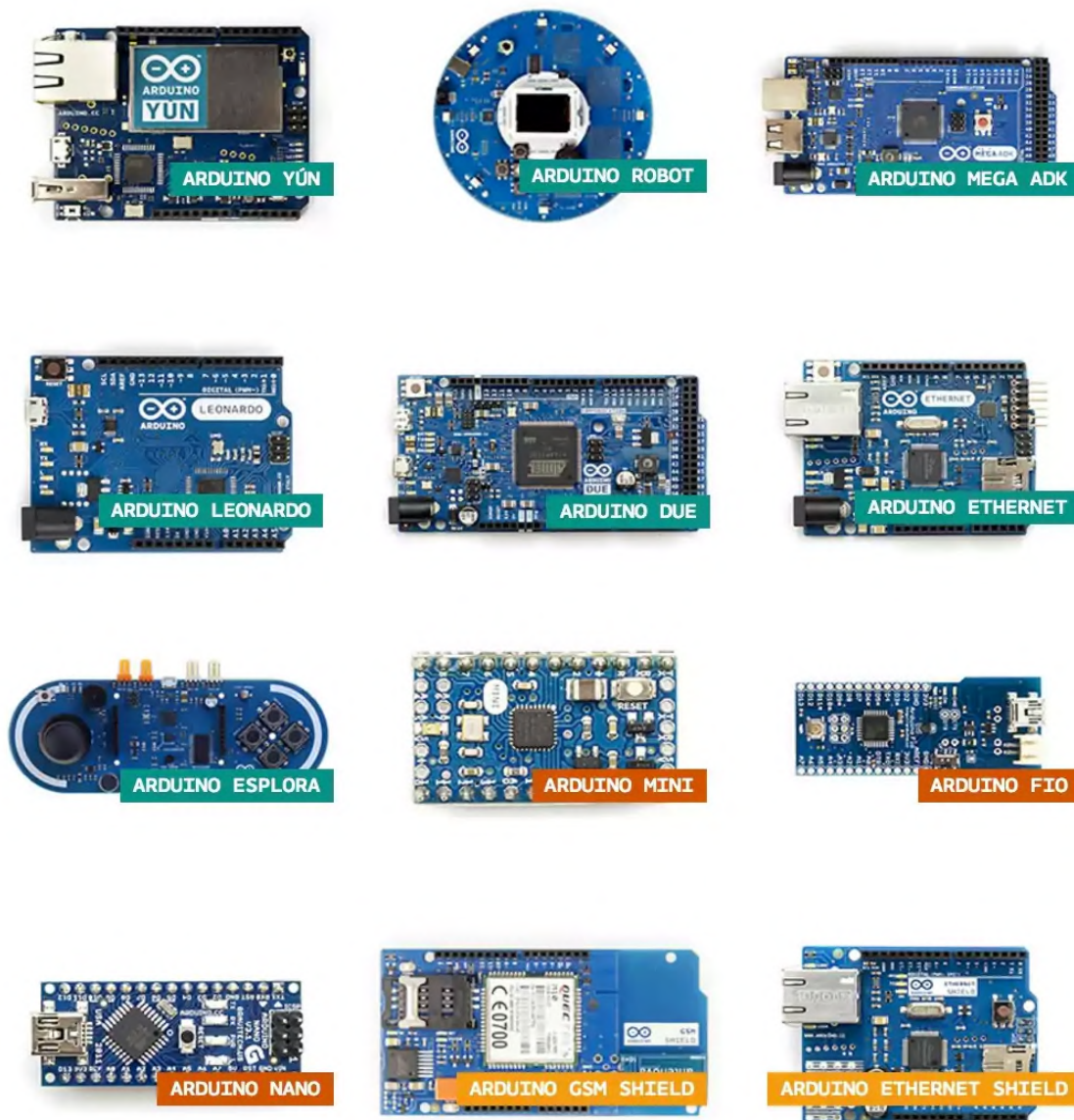
Λόγω της απλότητάς τους, οι Atmega168, Atmega328, Atmega1280 και ATmega8 είναι οι πιο δημοφιλείς μικροελεγκτές που χρησιμοποιούνται σε πλατφόρμες Arduino, αλλά πλέον χρησιμοποιούν και άλλους μικροελεγκτές Atmel με αρχιτεκτονική ARM 32-bit και μικροελεγκτές Intel.

Ο μικροελεγκτής Arduino περιέχει θύρες επικοινωνίας και θύρες εισόδου/εξόδου, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν για να συνδεθούν διάφορα περιφερειακά στην πλακέτα. Ο μικροελεγκτής, είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία των δεδομένων που ρέουν προς αυτόν, που λαμβάνει από αυτά τα συνδεδεμένα περιφερειακά.

Το Arduino, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, παρέχει ένα περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) που υποστηρίζει τη γλώσσα προγραμματισμού του Arduino, και παρέχει εργαλεία για τη μεταφόρτωση του λογισμικού στον μικροελεγκτή και ένα bootloader που εκτελείται στην

πλακέτα. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα του λογισμικού αυτού και της γλώσσας προγραμματισμού του arduino, είναι η χρηστικότητα και η απλότητα τους.

Η πλατφόρμα Arduino παρέχει την δυνατότητα να διευκολύνει τον οποιονδήποτε να ολοκληρώσει ένα διαδραστικές πρότζεκτ. Καθώς, πέρα από το φθηνό υλικό και το προγραμματιστικό περιβάλλον ανοικτού λογισμικού, έχει δημιουργήσει μια μεγάλη εκπαιδευτική κοινότητα που παρέχει πολλές πληροφορίες και επίλυση αποριων γύρω από την πλατφόρμα αυτήν. Μόλις, “ανέβει” το πρόγραμμα και συνδεθούν κατάλληλα τα περιφερειακά, το πρόγραμμα επικοινωνεί με αυτά. Όλα αυτά μπορούν να επιτευχθούν με μια σχετικά χαμηλή οικονομική δαπάνη.

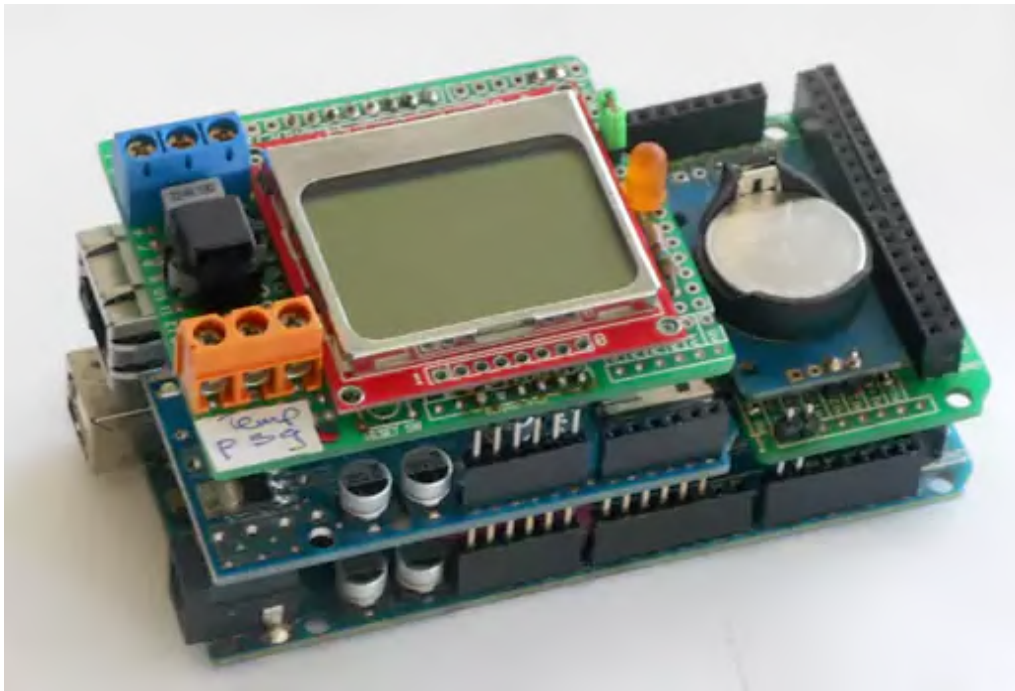


**ΕΙΚΟΝΑ 2.5.3:** Διάφοροι μικροελεγκτές της οικογένειας Arduino

Δεδομένου ότι το Arduino είναι ένα έργο και όχι ένα συγκεκριμένο είδος πλακέτας, μπορούν να βρεθούν διάφορες πλεκέτες με παρόμοια θεμελιώδη σχέδια. Οι πλακέτες διατίθενται σε διάφορα σχήματα, μεγέθη και χρώματα για τις ανάγκες διαφορετικών πρότζεκτ. Οι πλακέτες

μπορούν να έχουν βασικά ή βελτιωμένα χαρακτηριστικά, ή μπορούν να έχουν ακόμα και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά προσανατολισμένα προς το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ή την εκτύπωση 3D και, φυσικά, οι τιμές των arduino ποικίλλουν ανάλογα με αυτές τις ιδιότητες.

Επιπλέον, υπάρχουν οι ασπίδες (shields) και τα σακίδια (Backpack) είναι άλλοι τύποι εξαρτημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τις πλακέτες Arduino. Είναι μια κατηγορία πλακετών που μπορούν να συνδεθούν στην κύρια πλακέτα arduino για να προσθέσουν παραπάνω λειτουργίες, όπως GPS, συνδεσιμότητα ραδιοφώνου, οθόνες αφής LCD, πίνακες ανάπτυξης και πολλά άλλα στοιχεία.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.5.4:** *Arduino Uno με διάφορα shields πάνω του*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Υλοποίηση κατασκευής:

### 3.1 Εισαγωγή:

Σε αυτό το κεφάλαιο, “πατώντας” πάνω στις θεωρητικές γνώσεις που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, θα παρουσιαστούν όλα τα στάδια και τα βήματα που ακολουθήθηκαν προκειμένου να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί από το μηδέν ένας ρομποτικός βραχίονας με υψηλές δυνατότητες για την πραγματοποίηση Pick & Place εργασιών. Ο στόχος του εν λόγω ρομποτικού συστήματος είναι η αναγνώριση και ο εντοπισμός αυτόματα του ενός αντικειμένου-στόχου που βρίσκεται στο χώρο εργασίας του ρομποτικού βραχίονα αλλά και στο οπτικό του πεδίο. Ύστερα, μετά την αναγνώριση και τον εντοπισμό του αντικειμένου-στόχου, ο ρομποτικός βραχίονας πιάνει το αντικείμενο και το τοποθετεί σε κάποιο άλλο σημείο του χώρου εργασίας ανάλογα με την “εικόνα” του αντικειμένου-στόχου. Το κυριότερο και το πιο εντυπωσιακό χαρακτηριστικό που θα έχει αυτός ο χαμηλού κόστους ρομποτικός βραχίονας είναι η δυνατότητα να αναγνωρίζει και να εντοπίζει αυτόνομα τα αντικείμενα που πρέπει να “πιάσει” χρησιμοποιώντας ένα CNN νευρωνικό δίκτυο. Επίσης, ο ρομποτικός βραχίονας που θα κατασκευαστεί θα έχει 5 βαθμούς ελευθερίας, δίνοντας έτσι την δυνατότητα όχι μόνο απλά να μπορεί να τοποθετήσει το εκάστοτε τελικό εργαλείο σε ένα συγκεκριμένο σημείο, αλλά και να του προσδώσει την επιθυμητή περιστροφή προκειμένου να εκτελέσει ακόμα πιο περίπλοκες εργασίες. Τέλος, σε αυτό το σύστημα θα δοθεί επίσης η δυνατότητα να πραγματοποιεί προσομοιώσεις πριν την εκκίνηση της εργασίας που θα πραγματοποιήσει ο βραχίονας προκειμένου να αποφευχθούν πιθανά λάθη. Ο έλεγχος, οι υπολογισμοί, η εφαρμογή του νευρωνικού δικτύου και οι προσομοιώσεις πραγματοποιούνται μέσα από το προγραμματιστικό περιβάλλον του Matlab. Επιπροσθέτως, επειδή ο ρομποτικός βραχίονας θα κατασκευαστεί στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας ένας ακόμα στόχος είναι να διατηρηθεί το κόστος χαμηλό. Ο στόχος που προαναφέρθηκε θα επιτευχθεί χάρη στην τρισδιάστατη εκτύπωση των απαραίτητων κομματιών αλλά και χάρη στην χρήση επανα-προγραμματιζόμενου μικροελεγκτή Arduino. Συνεπώς, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι, προκειμένου να υλοποιηθούν όλα τα παραπάνω πρέπει να συνδυαστούν και να εφαρμοστούν γνώσεις από διάφορους τομείς. Οι τομείς αυτοί είναι οι εξής:

- Ρομποτική (Ευθύ και αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα)
- Τεχνητή νοημοσύνη (Συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο, YoloV2)
- Τρισδιάστατη εκτύπωση
- Τρισδιάστατη σχεδίαση
- Προγραμματισμός Matlab
- Ηλεκτρολογία
- Προγραμματισμός arduino

Παράλληλα με την κατασκευή του ρομποτικού βραχίονα, είναι απαραίτητο να διαμορφωθεί και να κατασκευαστεί ο κατάλληλος χώρος εργασίας του, συμπεριλαμβανομένου και της βάσης που θα στηριχθεί η κάμερα του συστήματος. Το ρομποτικό σύστημα θα έχει ως στόχο

την αναγνώριση, τον εντοπισμό και την μετακίνηση ενός αντικειμένου που θα βρίσκεται στον χώρο εργασίας του, αυτόνομα. Στις παρακάτω ενότητες θα αναλυθούν με λεπτομέρεια τα βήματα που έγιναν στο κάθε στάδιο προκειμένου να υλοποιηθεί το εν λόγω ρομποτικό σύστημα.

## 3.2 Υλικά και λογισμικά:

### 3.2.1 Υλικά:

Για την υλοποίηση της κατασκευής του ρομποτικού βραχίονα που έχει 5 βαθμούς ελευθερίας και δυνατότητες μηχανικής όρασης, που κατασκευάστηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής υλικά:

#### Κόστος

ΥΛΙΚΟ	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΤΕΜΑΧΙΟ (Ευρώ, €)
1 x Samsung J5 2015 Camera	9,95
1 x Καρούλι PLA (1kg)	20
3 x SG90 servo motor	2,90
3 x MG996R servo motor	9,50
1 x Arduino Mega 2560	52
1 x Breadboard	1
2 x Μακετόχαρτα	4,50

#### Περιγραφή

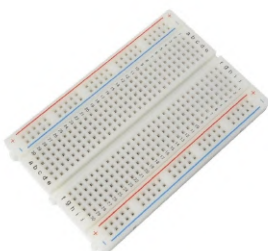
##### **Samsung J5 2015 Camera (EIKONA 3.2.1):**

Είναι μια κάμερα κινητού και είναι 13 megapixel και έχει ενσωματωμένο LED flash στο εν λόγω κινητό. Επίσης μπορεί να εστιάσει αυτόματα (auto-focus) και διάφραγμα (Aperture) f/1.9. Τέλος, διαθέτει και τον αισθητήρα CMOS image sensor.



##### **Breadboard (EIKONA 3.2.2):**

Το breadboard χρησιμοποιείται προκειμένου να δημιουργηθούν γρήγορα και προσωρινά κυκλώματα. Έχει πολλές μικρές υποδοχές ώστε να εφαρμόζουν σε αυτά τα καλώδια του εκάστοτε κυκλώματος. Δημιουργούνται συνδέσεις σε σειρά και παράλληλα ανάλογα την διάταξη των καλωδίων.







### ***Arduino Mega 2560 (EIKONA 3.2.3):***

Το Arduino Mega 2560 είναι ένας μικροελεγκτής από την οικογένεια arduino, και βασίζεται στον μικροεπεξεργαστή ATmega2560. Έχει 54 ψηφιακές θύρες εισόδου/εξόδου από τις οποίες οι 15 θύρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως PWM έξοδοι. Επίσης έχει 16 αναλογικές θύρες εισόδου/εξόδου, 4 θύρες σειριακής επικοινωνίας UART, έναν 16 MHz κρυσταλλικό ταλαντωτή, μια θύρα USB, μια θύρα τροφοδοσίας, ένα κουμπί επανεκκίνησης και μια κεφαλίδα ICSP.



### ***MG996R servo motor (EIKONA 3.2.4):***

Είναι ένας σερβο-κινητήρας που έχει ροπή 9.4 kg/cm (4.8 volt) και ταχύτητα 0.17 s/60°. Το εύρος περιστροφής τους είναι 180 μοίρες. Η κατανάλωση σε φυσιολογική λειτουργία είναι 500mA - 900mA. Ζυγίζει 55gr. Από τον σερβοκινητήρα βγαίνουν 3 καλώδια, από τα οποία το καφέ είναι η γείωση, το κόκκινο είναι η τάση και πορτοκαλί είναι το σήμα.



### ***SG90 servo motor (EIKONA 3.2.5):***

Είναι ένας σερβο-κινητήρας που έχει ροπή 1.3kg/cm (4.8 volt) και ταχύτητα 0.09s/60°. Το εύρος περιστροφής τους είναι 180 μοίρες. Η κατανάλωση σε φυσιολογική λειτουργία είναι 220 ±50mA. Ζυγίζει 10.5gr. Από τον σερβοκινητήρα βγαίνουν 3 καλώδια, από τα οποία το καφέ είναι η γείωση, το κόκκινο είναι η τάση και πορτοκαλί είναι το σήμα.



### ***Καρόλι PLA (1kg) (EIKONA 3.2.6):***

Το πολυ(γαλακτικό οξύ) ή πολυγαλακτικό οξύ ή πολυλακτίδιο (PLA) είναι ένας θερμοπλαστικός αλειφατικός πολυεστέρας που είναι και βιοδιασπασίμο και βιοδραστικός και προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως το άμυλο καλαμποκιού, οι ρίζες ταπιόκα σε φλούδες ή το άμυλο, ή το ζαχαροκάλαμο. Το εν λόγω υλικό χρησιμοποιείται ευρέως ως πρώτη ύλη για την 3D εκτύπωση αντικειμένων.

## **3.2.2 Λογισμικά:**

Για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο του ρομποτικού βραχίονα που έχει 5 βαθμούς ελευθερίας και δυνατότητες μηχανικής όρασης, που κατασκευάστηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής λογισμικά:

### ***Solidworks***

Είναι ένα CAD (Computer-aided design) λογισμικό παραμετρικής σχεδίασης, της Dassault Systèmes και δημιουργεί τρία αρχεία ουσιαστικά του κάθε σχεδίου που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους. Τα τρία αυτά αρχεία είναι ένα αρχείο part, ένα assembly και ένα drawing.

### ***Matlab***

Το λογισμικό MATLAB είναι ένα πρόγραμμα ειδικά σχεδιασμένο για μηχανικούς και επιστήμονες ώστε να μπορούν να αναλύουν και να σχεδιάζουν συστήματα και προϊόντα που αλλάζουν τον κόσμο. Η γλώσσα προγραμματισμού MATLAB, χάρη στην οποία διεξάγονται μαθηματικοί υπολογισμοί, αποτελεί την καρδιά του λογισμικού αυτού.

### ***Ivcam***

Το συγκεκριμένο λογισμικό δίνει την δυνατότητα σε υπολογιστές να συνδεθούν με την κάμερα ενός κινητού προκειμένου να την χρησιμοποιήσουν ως webcam.

### ***Ultimaker CURA***

Το λογισμικό αυτό είναι ένα ανοιχτό λογισμικό (Open source), για την επεξεργασία και την προετοιμασία 3D αρχείων που επρόκειτο να εκτυπωθούν σε 3D εκτυπωτή.

### ***Arduino IDE***

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Arduino, γνωστό και ως λογισμικό Arduino IDE (IDE, Integrated Development Environment) εμπεριέχει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου για τη σύνταξη κώδικα, μια περιοχή μηνυμάτων, μια κονσόλα κειμένου, μια γραμμή εργαλείων με κουμπιά για λειτουργίες που χρησιμοποιούνται συχνά και έναν αριθμό μενού. Όταν η πλακέτα arduino συνδεθεί με τον υπολογιστή που έχει το arduino IDE, και πατηθεί το κουμπί “upload”, το πρόγραμμα που έχει γραφτεί στο εν λόγω λογισμικό μεταφέρεται στην πλακέτα και εκτελείται από αυτήν.

### ***Tinkercad***

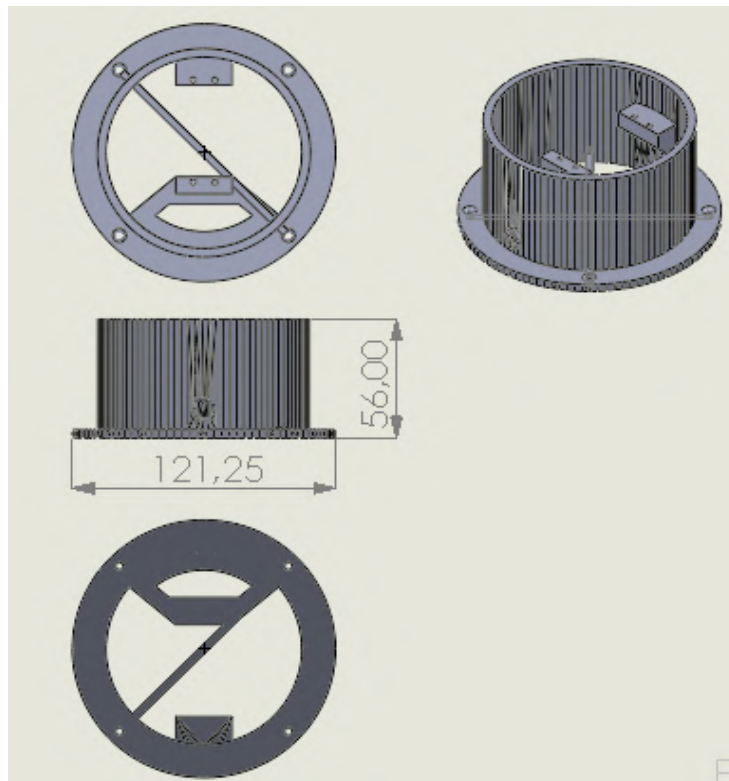
Το Tinkercad, είναι ένα πρόγραμμα σχεδίασης που μπορεί χρησιμοποιηθεί δωρεάν μέσα από ένα απλό web browser. Αυτό το πρόγραμμα πέρα από την τρισδιάστατη σχεδίαση αντικειμένων δίνει και την δυνατότητα να σχεδιαστούν διάφορα απλά ηλεκτρονικά κυκλώματα.

## **3.3 Τρισδιάστατο (3D) σχέδιο:**

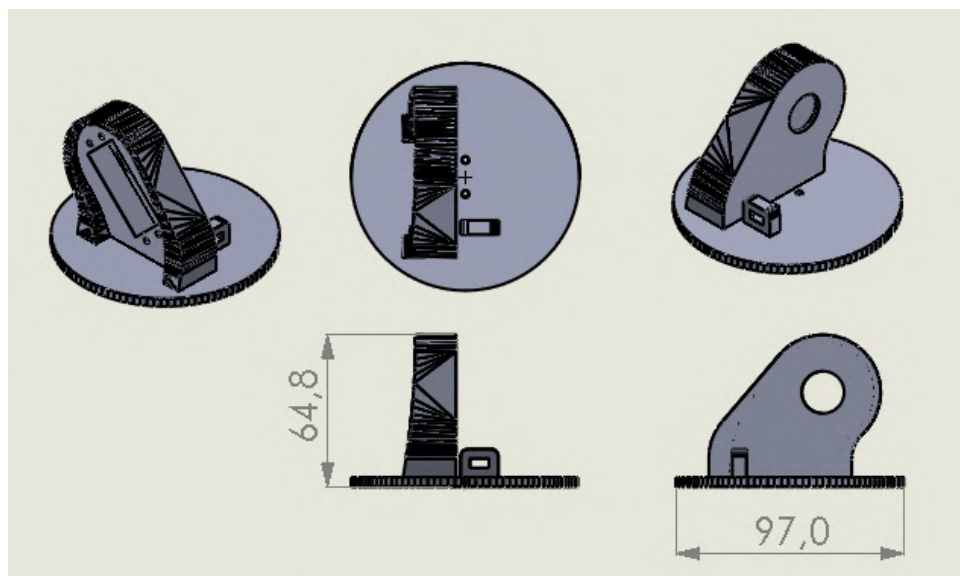
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται φωτογραφίες από τα drawings του καθε κομματιου μαζί με τις διαστάσεις τους, που θα εκτυπωθεί προκειμένου να δημιουργηθεί ο ρομποτικός βραχίονας. Επίσης, υπάρχει μια φωτογραφία στο τέλος που δείχνει την τελική μορφή του ρομποτικού βραχίονα εφόσον ενωθούν όλα τα κομμάτια μαζί. Τα 3D κομμάτια του ρομποτικού βραχίονα αποκτήθηκαν από τον ιστότοπο HowToMechatronics. Τα κομμάτια τροποποιήθηκαν και ενώθηκαν σε ένα κοινό assembly αρχείο στο Solidworks. Αναλυτικότερα, τα κομμάτια αυτά που αποκτήθηκαν από τον ιστότοπο HowToMechatronics ήταν σε μορφή αρχείου STL. Αυτά τα STL κομμάτια ανοίχτηκαν ένα-ένα στο Solidworks



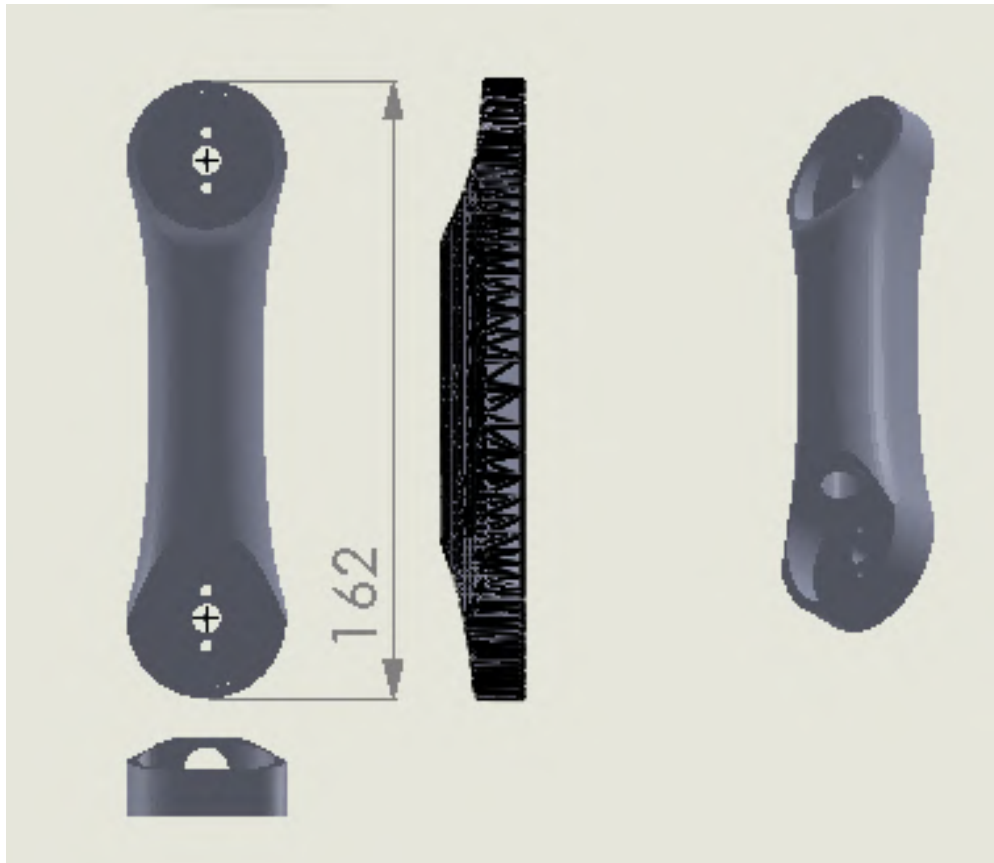
προκειμένου να διαμορφωθούν σε αρχείο SLDPRT (SolidWorks Part File). Έπειτα, από τον ιστότοπο GrabCad, αποκτήθηκαν 3D SLDPRT αρχεία των σερβοκινητήρων SG90 και MG996R, που θα χρησιμοποιηθούν για την κίνηση του ρομποτικού βραχίονα, προκειμένου να διαπιστωθεί προκαταβολικά η συμβατότητα τους με τον σκελετό του ρομποτικού βραχίονα αλλά και για να συμπεριληφθούν στην 3D απεικόνιση ώστε να φαίνεται πιο πλήρες. Επομένως, εφόσον προστεθούν οι σερβοκινητήρες στο κάθε απαραίτητο σημείο των κομματιών, οι αρθρώσεις των κομματιών ενώνονται μεταξύ τους σε ένα κοινό assembly αρχείο στο solidworks, στο οποίο υπάρχει κιόλας η δυνατότητα να τεθεί σε κίνηση μέσα στο περιβάλλον στο solidworks και να δοκιμαστούν το πώς λειτουργούν οι αρθρώσεις.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.3.1:** 3D μοντέλο της βάσης του ρομποτικού βραχίονα



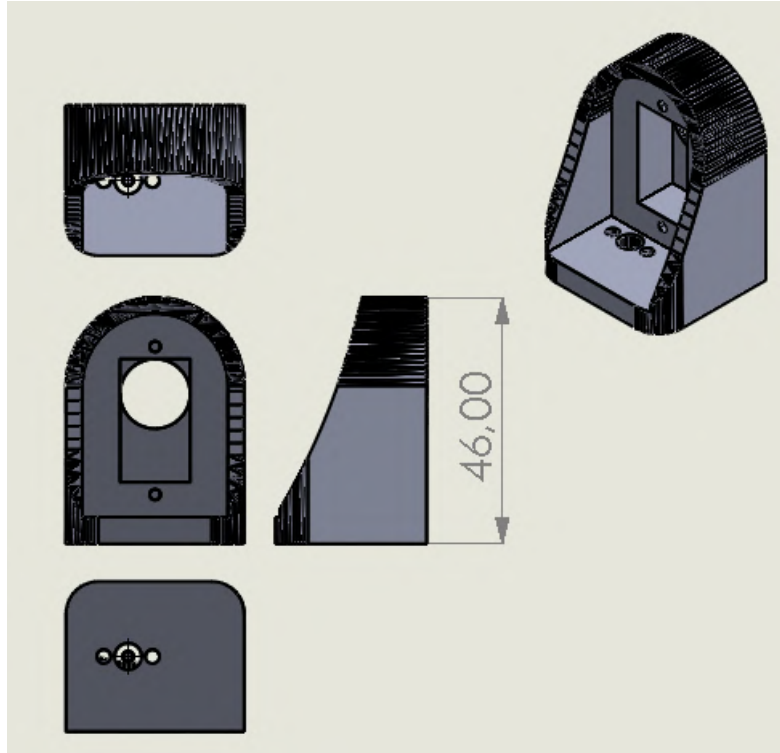
**ΕΙΚΟΝΑ 3.3.2:** 3D μοντέλο της πρώτης άρθρωσης



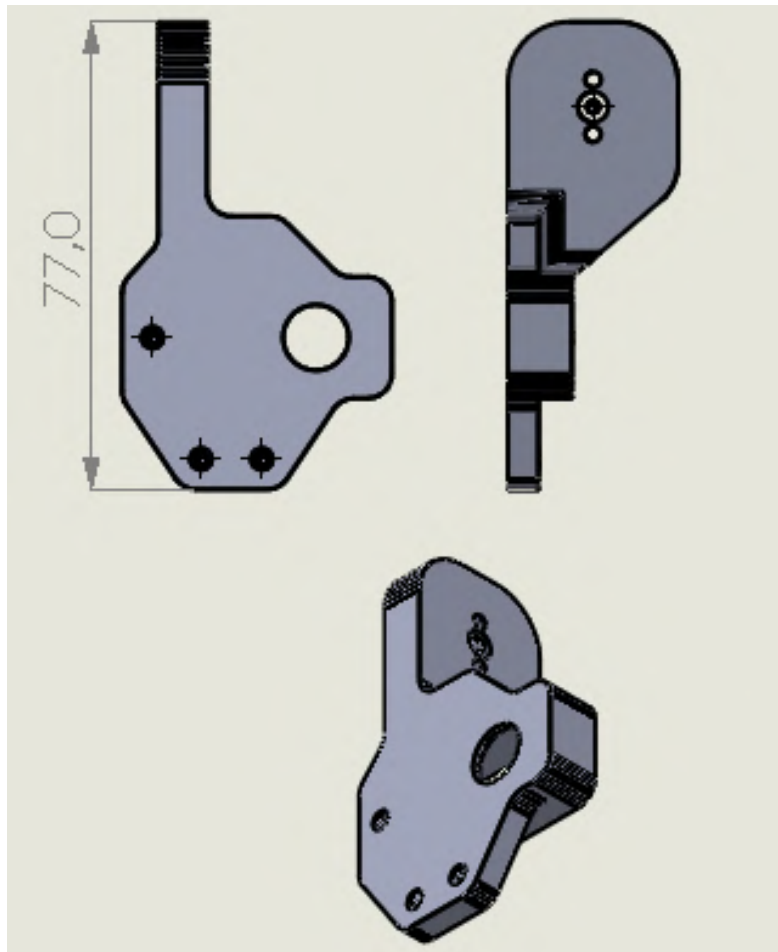
**ΕΙΚΟΝΑ 3.3.3:** 3D μοντέλο του συνδέσμου μεταξύ της 2ης και 3ης άρθρωσης



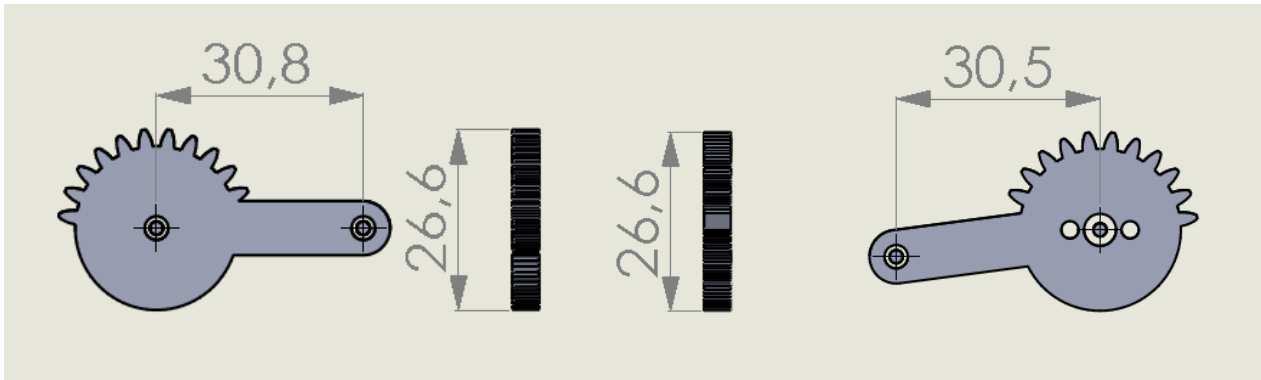
**ΕΙΚΟΝΑ 3.3.4:** 3D μοντέλο του συνδέσμου μεταξύ της 3ης και 4ης άρθρωσης



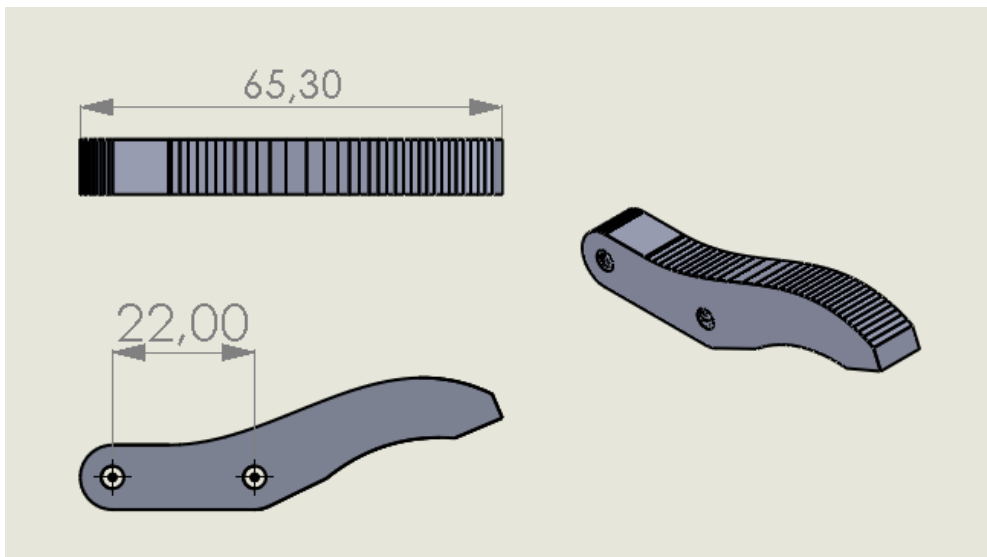
**ΕΙΚΟΝΑ 3.3.5:** 3D μοντέλο του συνδέσμου μεταξύ της 4ης και 5ης άρθρωσης



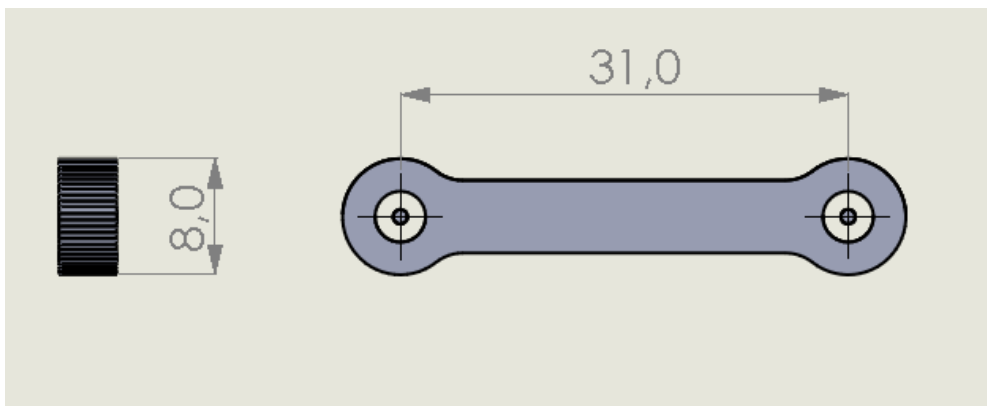
**ΕΙΚΟΝΑ 3.3.6:** 3D μοντέλο της βάσης του τελικού εργαλείου



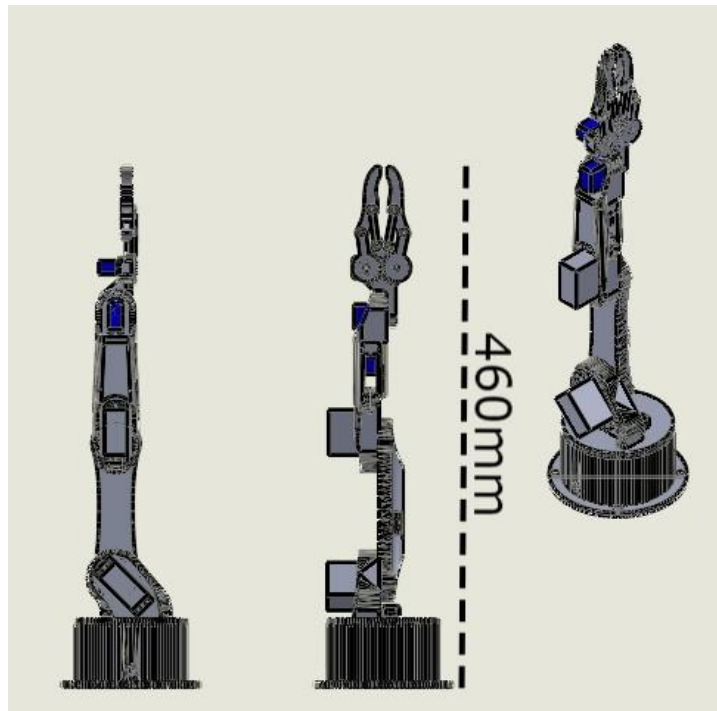
**ΕΙΚΟΝΑ 3.3.7:** 3D μοντέλο των γραναζιών του τελικού εργαλείου



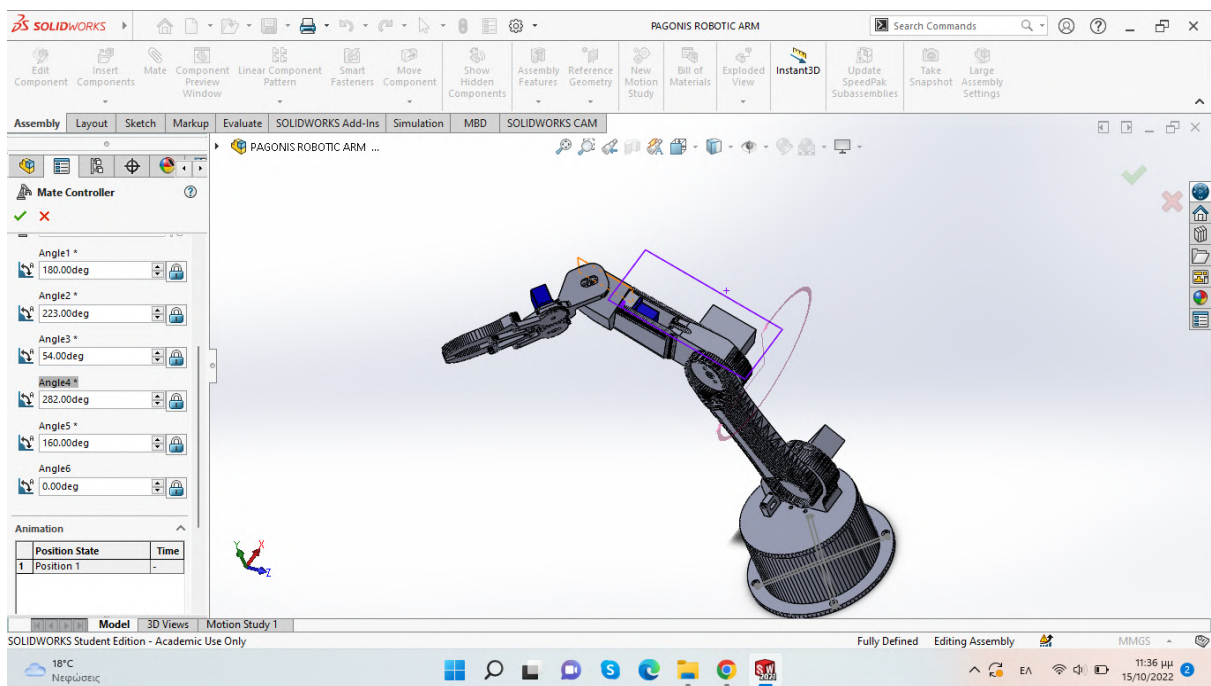
**ΕΙΚΟΝΑ 3.3.8:** 3D μοντέλο των "δακτύλων" του τελικού εργαλείου



**ΕΙΚΟΝΑ 3.3.9:** 3D μοντέλο του συνδέσμου του τελικού εργαλείου



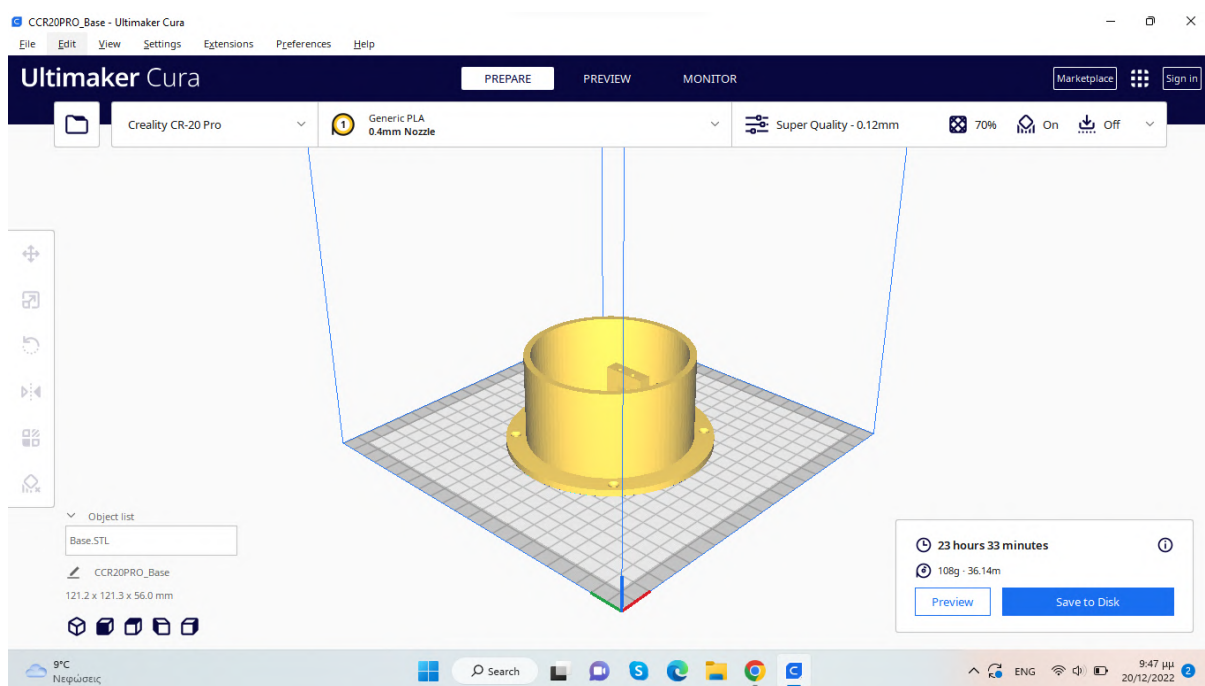
**ΕΙΚΟΝΑ 3.3.10:** 3D μοντέλο του συναρμολογημένου ρομποτικού βραχίονα



**ΕΙΚΟΝΑ 3.3.11:** 3D μοντέλο του συναρμολογημένου ρομποτικού βραχίονα με περιστροφή

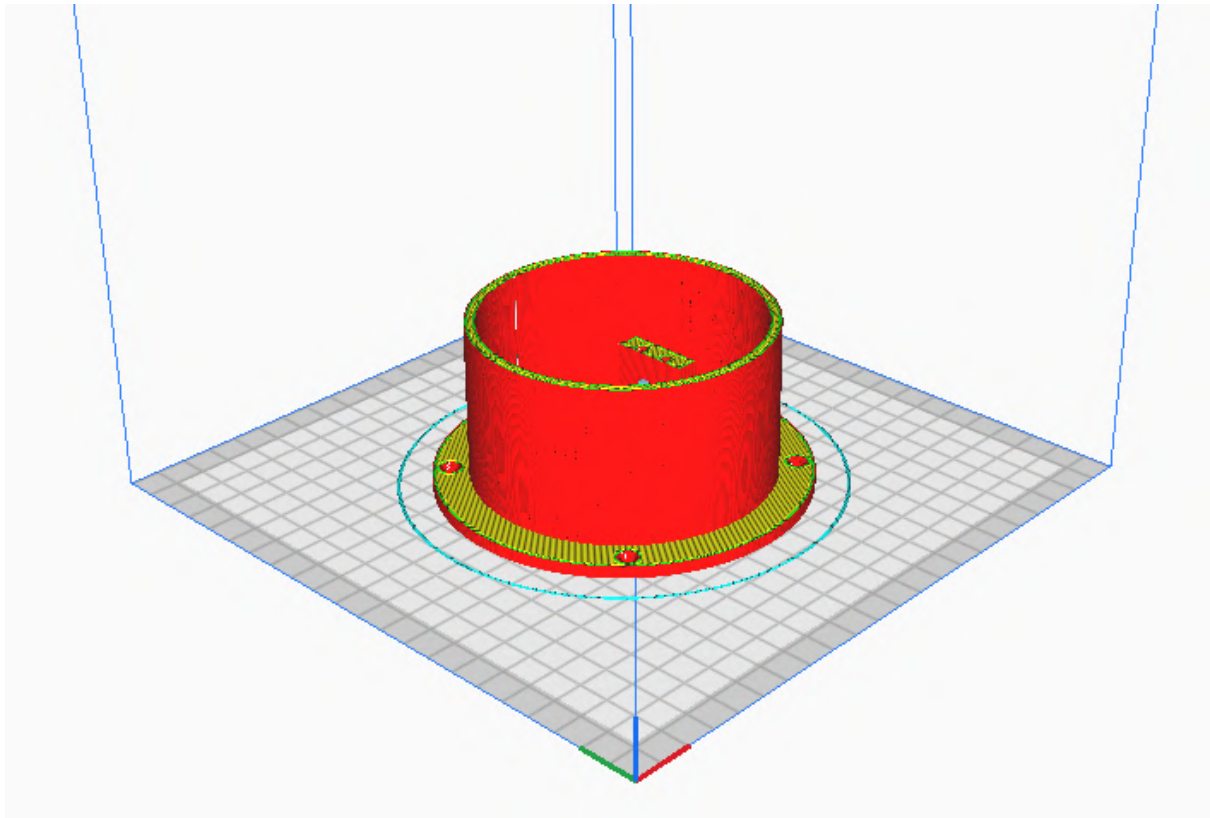
### 3.4 Τρισδιάστατη (3D) εκτύπωση:

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται φωτογραφίες από τον 3D εκτυπωτή, την διαδικασία της 3D εκτύπωσης αλλά και από τα τελικά 3D εκτυπωμένα αντικείμενα. Για την υλοποίηση της 3D εκτύπωσης χρησιμοποιήθηκε ο εκτυπωτής Creality cr 20 pro του τμήματος Μηχανικών βιομηχανικής σχεδίασης και παραγωγής. Ο Creality cr 20 pro εκτυπώνει με τις μεθόδους FDM, FFF. Επίσης ο χώρος εκτύπωσης έχει διαστάσεις 220\*220\*250 mm και εκτυπώνει με ταχύτητα 30-60 mm/s και με ακρίβεια  $\pm 0.1$  mm. Μπορεί να τροφοδοτηθεί με τα Filament PLA, ABS και TPU με διάμετρο 1.75 mm. Το υλικό που χρησιμοποιείται από τον 3D εκτυπωτή εξέρχεται από μια οπή διαμέτρου 0.4 mm, δημιουργώντας έτσι στρώσης πάχους 0.1-0.4 mm. Ο εκτυπωτής δύναται να αναγνωρίσει STL, OBJ και amf αρχεία. Για να εκτυπωθούν τα απαραίτητα κομμάτια του ρομποτικού βραχίονα, θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα Ultimaker Cura, στο οποίο θα εισαχθούν τα STL αρχεία που αποκτήθηκαν από το HowToMechatronics. Τα αρχεία STL που εισάγονται στο πρόγραμμα αυτό, τοποθετούνται σε μια εικονική βάση η οποία ταυτίζεται με την πραγματική βάση εκτύπωσης του 3D εκτυπωτή, και εφόσον οριστούν οι παράμετροι όπως για παράδειγμα με πόση ακρίβεια θα γίνει η εκτύπωση ή το πόσο συμπαγές θα είναι το αντικείμενο που θα δημιουργηθεί, πρέπει να πατηθεί το κουμπί προκειμένου το πρόγραμμα να φτιάξει το πλάνο εκτύπωσης του κάθε στρώματος του αντικειμένου. Για την εκτύπωση αυτή χρησιμοποιήθηκε άσπρο πλαστικό νήμα πολυγαλακτικό οξύ (PLA filament). Η εκτύπωση των κομματιών πραγματοποιήθηκαν σε δύο παρτίδες, η οποία η κάθε μια διήρκεσε περίπου 24 ώρες. Η μία παρτίδα αποτελείται μόνο από την βάση του ρομποτικού βραχίονα όπως φαίνεται και στην ΕΙΚΟΝΑ 3.4.1 και η δεύτερη παρτίδα αποτελείται από όλα τα υπόλοιπα κομμάτια. Μετά την εκτύπωση, τα κομμάτια που δημιουργήθηκαν πρέπει να καθαριστούν από τις υποστηρικτικές δομές που δημιουργήθηκαν προκειμένου να υλοποιηθούν τα περίπλοκα γεωμετρικά μέρη. Μετά από αυτό το βήμα, τα κομμάτια είναι έτοιμα να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή.

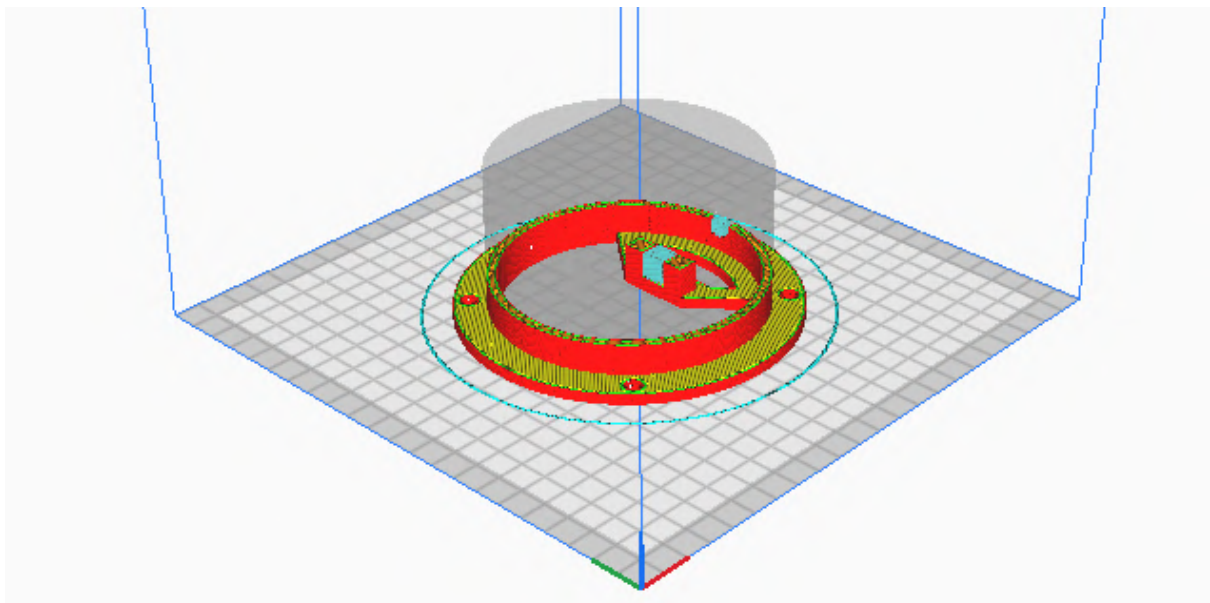


ΕΙΚΟΝΑ 3.4.1: Προετοιμασία STL αρχείου για 3D εκτύπωση



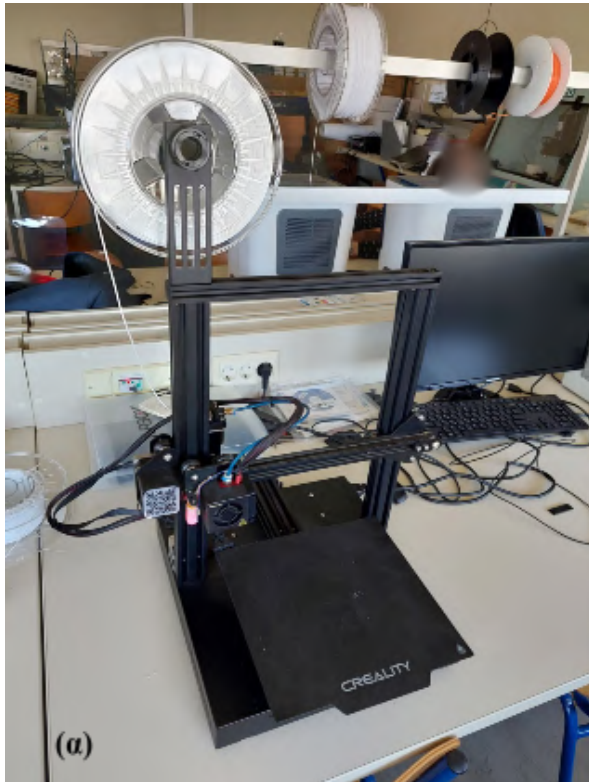


**ΕΙΚΟΝΑ 3.4.2:** *Ανάλυση της 3D εκτύπωσης-1*



**ΕΙΚΟΝΑ 3.4.3:** *Ανάλυση της 3D εκτύπωσης-2*





**ΕΙΚΟΝΑ 3.4.4:** (α) Ο 3D εκτοπωτής του εργαστηρίου Crealty Cr-20 pro, (β) Εκτόπωση της βάσης του ρομποτικού βραχίονα



**ΕΙΚΟΝΑ 3.4.5:** Τα εκτυπωμένα κομμάτια του ρομποτικού βραχίονα-1



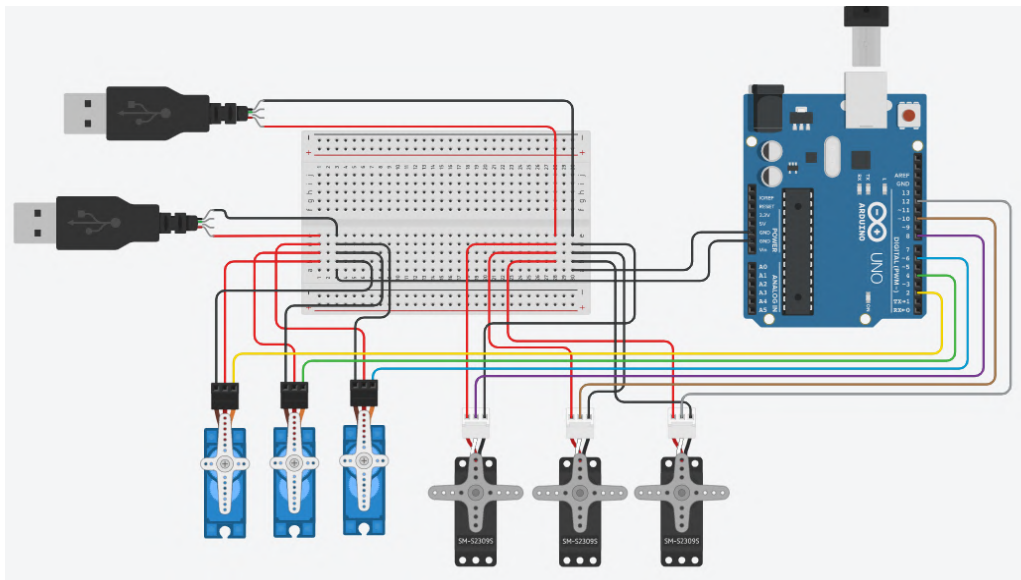
**ΕΙΚΟΝΑ 3.4.6:** Τα εκτυπωμένα κομμάτια του ρομποτικού βραχίονα-2

### 3.5 Κύκλωμα arduino:

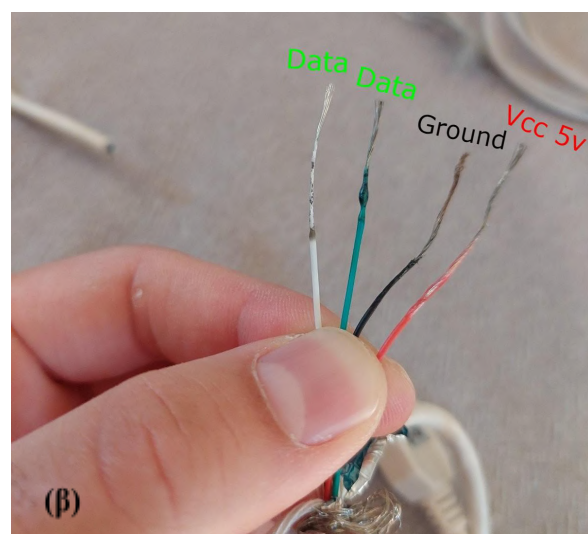
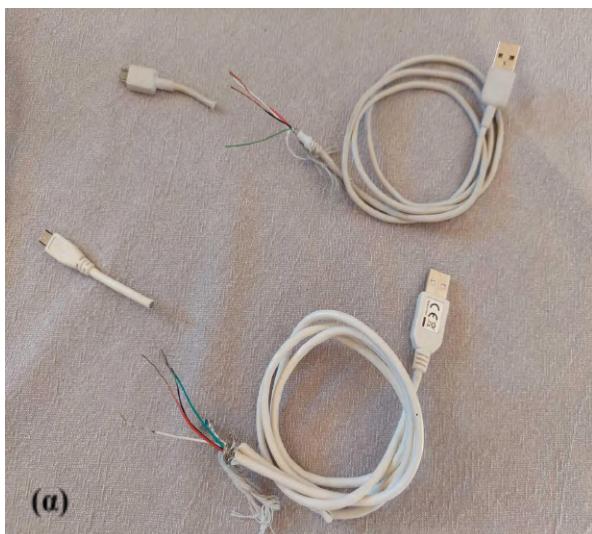
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται φωτογραφίες από το ψηφιακό και το πραγματικό κύκλωμα που θα χρησιμοποιηθεί προκειμένου να ελεγχθεί ο ρομποτικός βραχίονας καθώς και φωτογραφίες από την δημιουργία της επιθυμητής παροχής. Το ψηφιακό κύκλωμα πραγματοποιήθηκε στο Tinkercad, το οποίο είναι ένα δωρεάν διαδικτυακό πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης, εικονικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και προγραμματισμού κινούμενων τρισδιάστατων μοντέλων που λειτουργεί σε ένα πρόγραμμα περιήγησης ιστού και είναι γνωστό για την απλότητα και την ευκολία χρήσης του. Ενώ το πραγματικό κύκλωμα πραγματοποιήθηκε με τον μικροελεγκτή arduino mega 2560, με ένα breadboard, τους σερβοκινητήρες που αναφέρονται στην ενότητα με τα υλικά και τα απαραίτητα καλώδια. Και στο ψηφιακό (ΕΙΚΟΝΑ 3.5.1) και στο πραγματικό (ΕΙΚΟΝΑ 3.5.4) κύκλωμα η συνδεσμολογία είναι η ίδια. Το κύκλωμα αυτό έχει ως βασικό σκοπό να ελέγξει τους έξι σερβοκινητήρες (3x SG90 και 3x MG996R). Ο κάθε σερβοκινητήρας έχει τρία καλώδια, ένα κόκκινο που είναι για την 5v τάση, ένα σκουρόχρωμο που είναι η γείωση και ένα πορτοκαλί που είναι για το σήμα. Η παροχή του κυκλώματος γίνεται από δύο μετασχηματιστές και



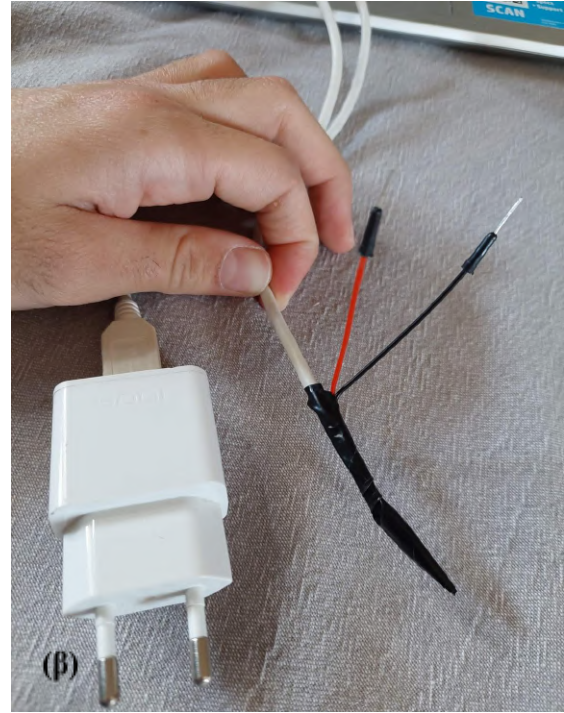
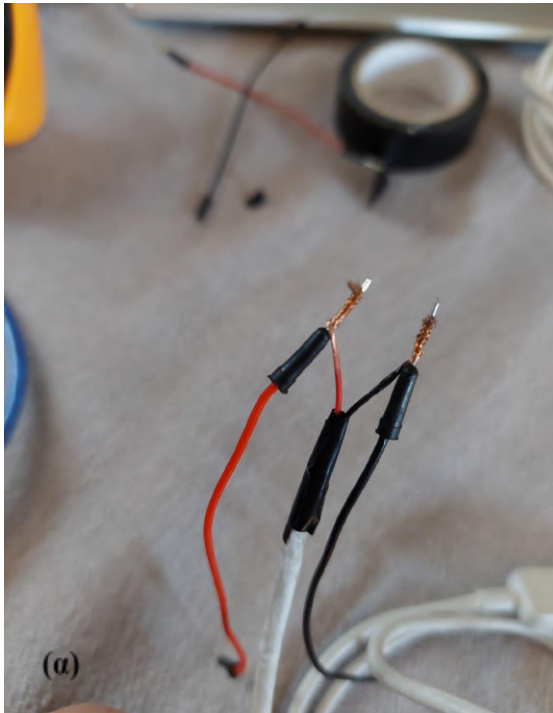
αντίστοιχα με δυο τροποποιημένα καλώδια φόρτισης κινητών (EIKONA 3.5.3). Όπως θα φανεί και στις παρακάτω φωτογραφίες, είναι κομμένο το καλώδιο φόρτισης του κινητού από την πλευρά που είναι η micro usb επαφή, και από αυτό το σημείο ξετυλίγονται τα 4 καλώδια (EIKONA 3.5.2) που έχει εσωτερικά, τα οποία τα 2 είναι για την μεταφορά δεδομένων και τα άλλα δύο είναι για την τάση και για την γείωση. Τα δύο καλώδια για της τάσης και της γείωσης του κάθε καλωδίου, ενώνονται με jumper cables (EIKONA 3.5.3) προκειμένου να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στο breadboard. Επομένως, στο breadboard δημιουργούνται δύο σειρές με τάση 5v που συνδέονται τα καλώδια της τάσης των σερβοκινητήρων και δύο σειρές με γείωση που συνδέονται τα καλώδια της γείωσης των σερβοκινητήρων. Τα καλώδια αυτά που τροποποιήθηκαν, από την άλλη πλευρά που έχει την usb-a επαφή συνδέεται με έναν αντίστοιχο μετασχηματιστή ο οποίος και αυτός με την σειρά του συνδέεται σε μία πρίζα. Αυτές οι γειώσεις είναι απαραίτητο να συνδεθούν με την γείωση του arduino. Τα καλώδια του σήματος των σερβοκινητήρων συνδέονται με τις θύρες ψηφιακού σήματος (Digital Pins) του arduino.



**EIKONA 3.5.1:** Το κύκλωμα του ρομποτικού βραχίονα στο TinkerCad

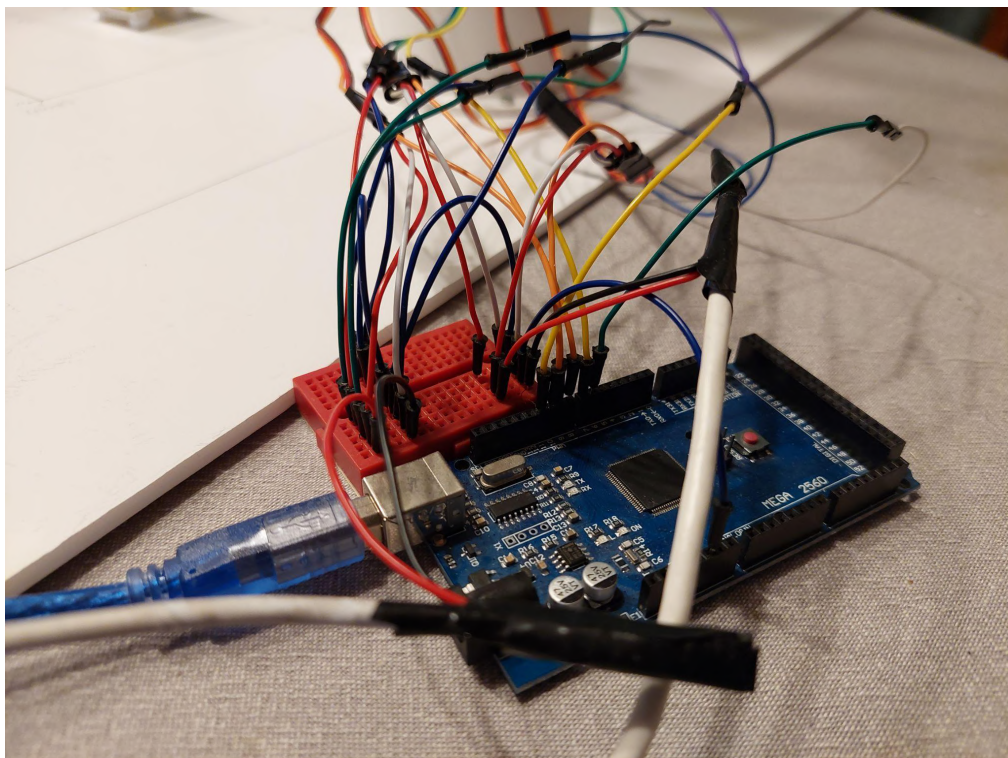


**EIKONA 3.5.2:** (α)(β) Προετοιμασία των καλωδίων που θα χρησιμοποιηθούν ως παροχή-1



**ΕΙΚΟΝΑ 3.5.3:** (α)(β) Προετοιμασία των καλωδίων που θα χρησιμοποιηθούν ως παροχή-2

Το κύκλωμα αυτό ελέγχει τους 6 σερβο κινητήρες του ρομποτικού βραχίονα. Αποτελείται από 3x SG90 και από 3x MG996R. Ο SG90 κατά την ομαλή λειτουργία του απαιτεί  $220 \pm 50\text{mA}$  και ο MG996R  $500\text{mA} - 900\text{mA}$ . Άρα συνολικά το κύκλωμα απαιτεί παροχή 5 volt και 3.5 A. Αυτή η παροχή θα επιτευχθεί με δύο φορτιστές κινητών που έχουν 5v/2A έκαστος. Οι άκρες των φορτιστών αυτών τροποποιήθηκαν προκειμένου να συνδεθούν με το breadboard.

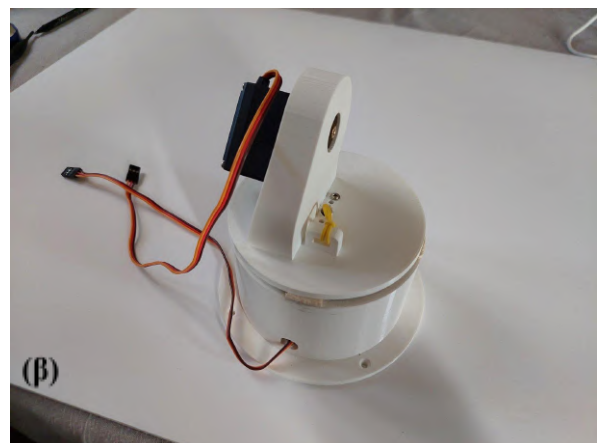
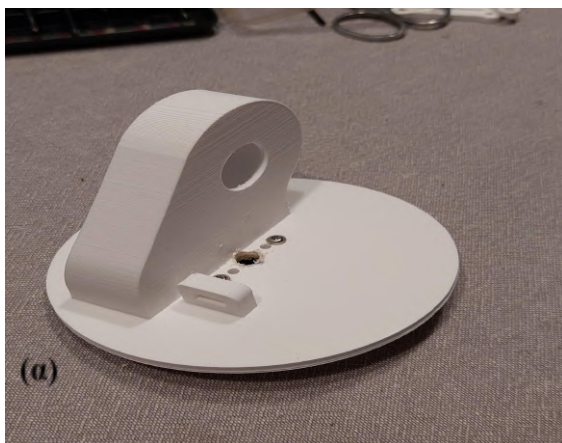


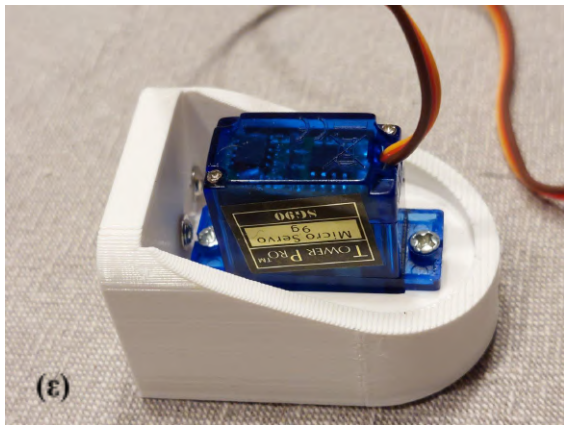
**ΕΙΚΟΝΑ 3.5.4:** Το κύκλωμα του ρομποτικού βραχίονα



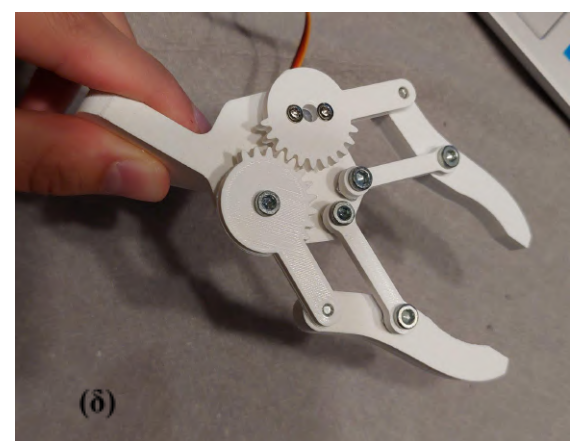
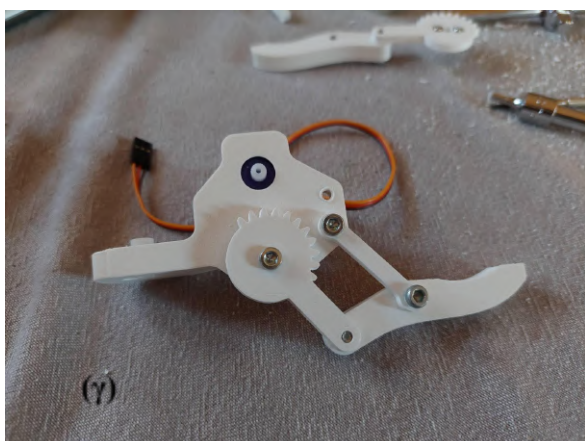
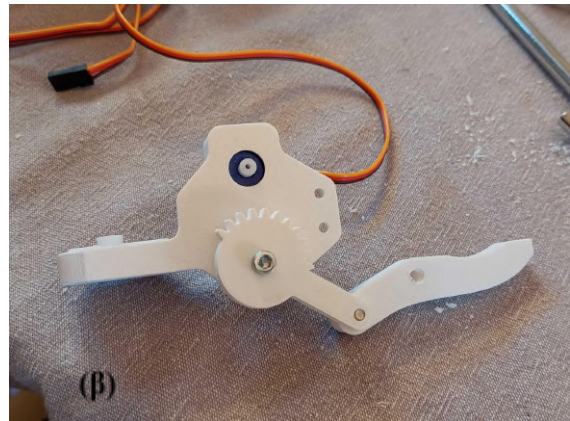
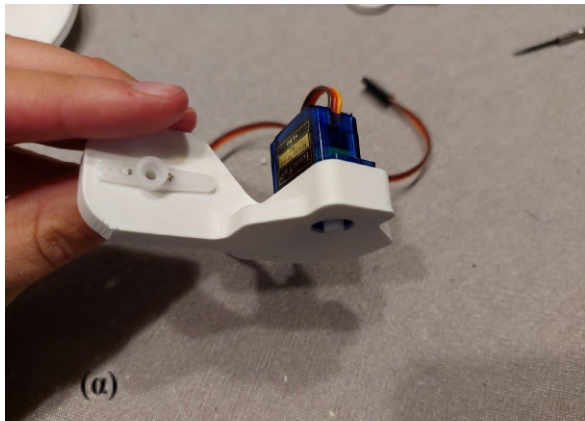
### 3.6 Κατασκευή ρομποτικού βραχίονα και βοηθητικών κομματιών:

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται φωτογραφίες από τα στάδια κατασκευής των επιμέρους κομματιών του ρομποτικού βραχίονα αλλά και των βοηθητικών κομματιών. Τα βοηθητικά κομμάτια που συμπληρώνουν το ρομποτικό σύστημα είναι το επίπεδο στο οποίο θα βρίσκεται ο ρομποτικός βραχίονας αλλά και το αντικείμενο-στόχος και επίσης η βάση στην οποία θα βρίσκεται σταθερά η κάμερα. Για την κατασκευή του ρομποτικού βραχίονα όπως φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες, αρχικά πρέπει να βιδωθούν τα “servo horn” (τα servo horn είναι αυτά τα μαύρα πλαστικά κομμάτια που φαίνονται στην ΕΙΚΟΝΑ 3.6.1(γ)) ένα-ένα στα ανάλογα σημεία που θα αποτελέσουν την άρθρωση του ρομποτικού βραχίονα. Επίσης βιδώνονται πάνω στα εκτυπωμένα κομμάτια, στα σημεία που θα αποτελέσουν τις αρθρώσεις, οι σερβοκινητήρες. Όταν όλα τα παραπάνω εξαρτήματα βιδωθούν στα απαραίτητα σημεία των εκτυπωμένων κομματιών, το επόμενο βήμα είναι να ενωθούν οι άξονες εξόδου των σερβοκινητήρων με τα servo-horns. Ο ρομποτικός βραχίονας που δημιουργείται έχει μήκος 450 χιλιοστά και βάρος 427 γραμμάρια. Επίσης, έχει ως τελικό εργαλείο μια αρπάγη με δύο άκρα, που λειτουργεί με έναν σερβοκινητήρα όπως φαίνεται στην ΕΙΚΟΝΑ 3.6.2 (δ).

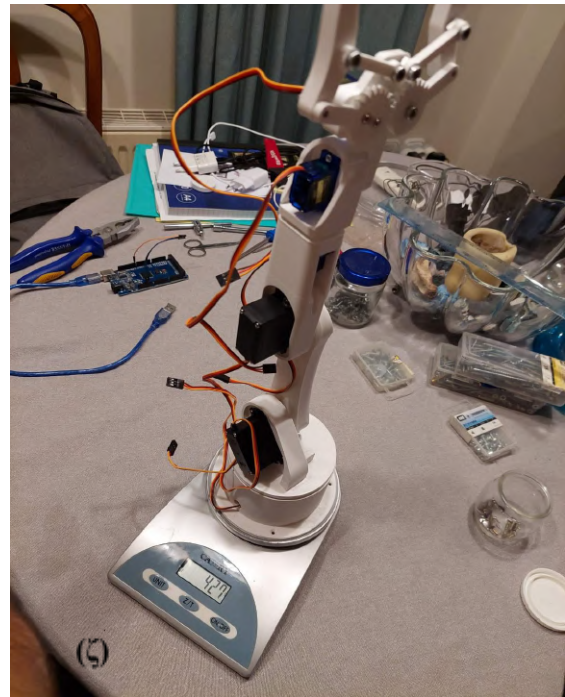
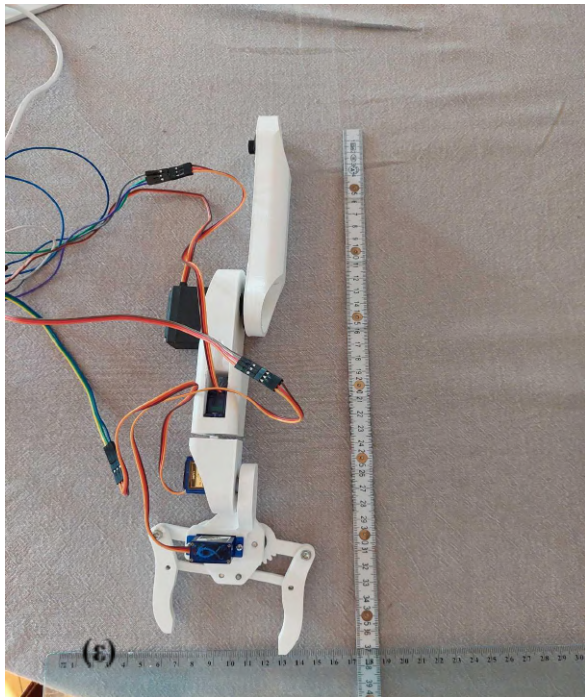




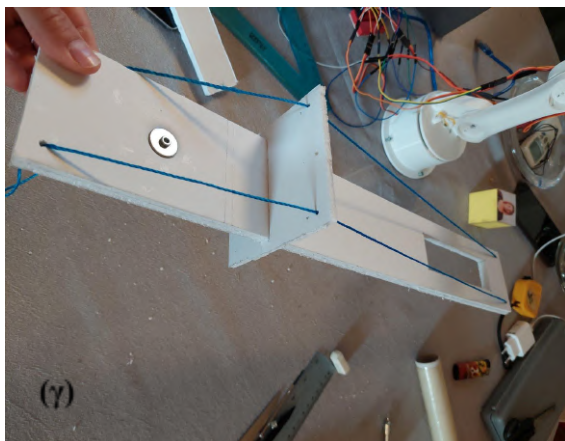
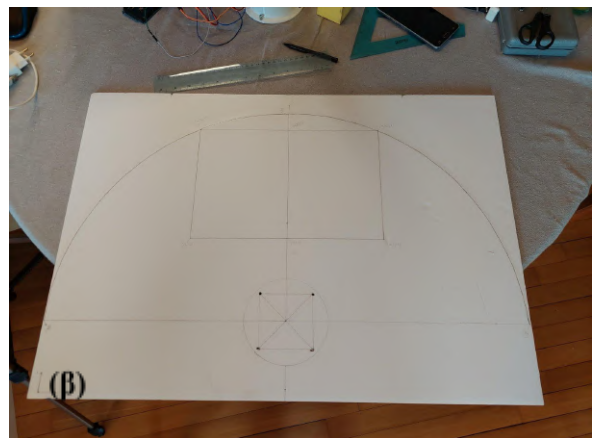
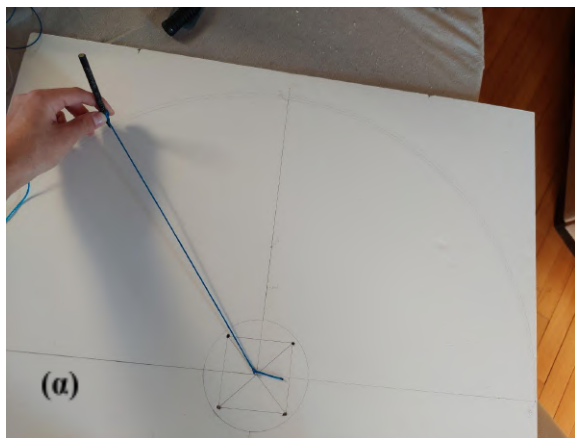
**ΕΙΚΟΝΑ 3.6.1:** (α)(β)(γ)(δ)(ε)(ζ) Ενσωμάτωση των servo motors στα 3D εκτυπωμένα κομμάτια του ρομπότ-1







**ΕΙΚΟΝΑ 3.6.2:** (α)(β)(γ)(δ) Ενσωμάτωση των servo motors στα 3D εκτυπωμένα κομμάτια του ρομπότ-2, (ε) Μέτρηση του βραχίονα-37,5 cm, (ζ) Ζύγισμα του ρομποτικού βραχίονα 427 gr

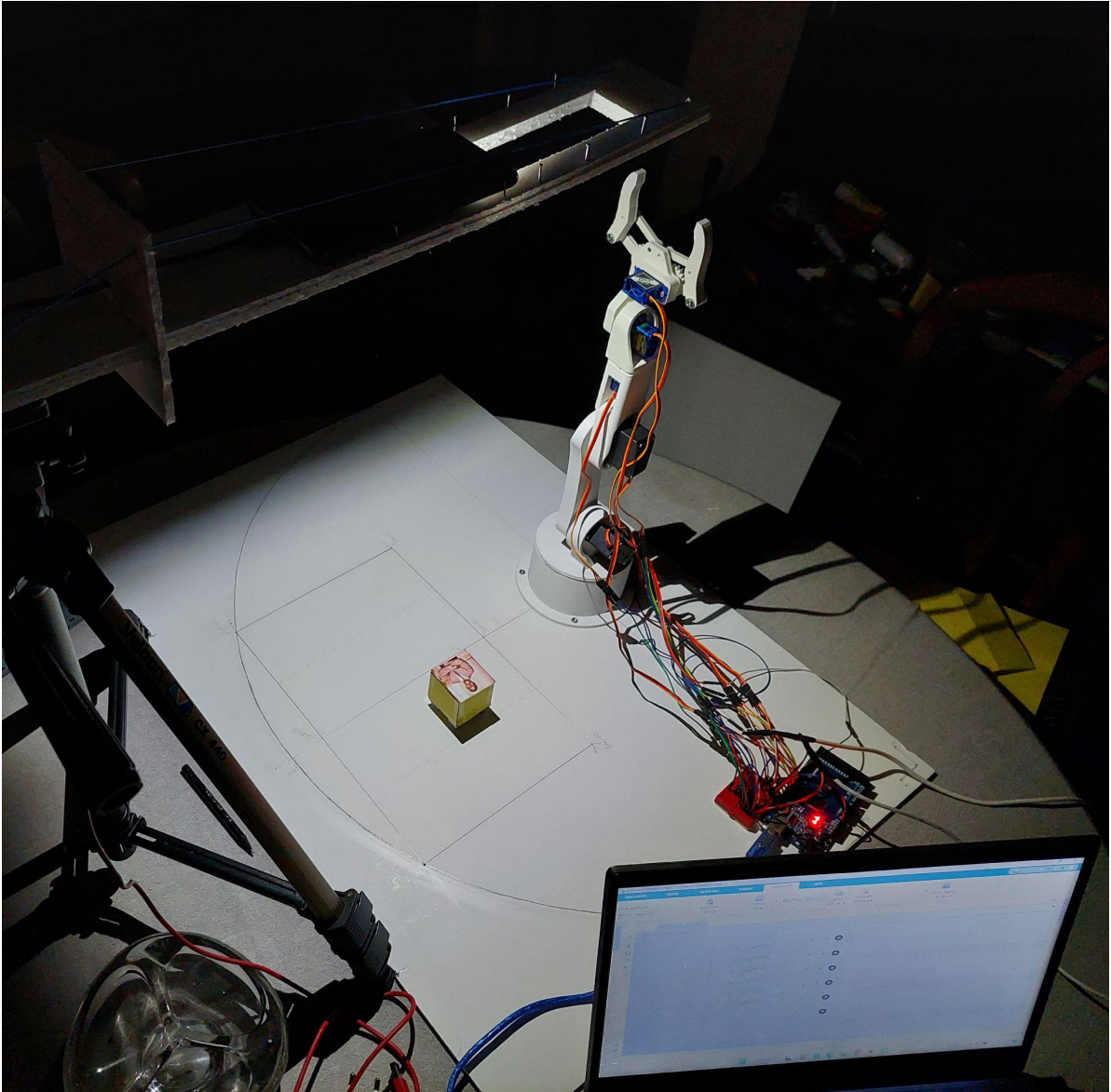






**ΕΙΚΟΝΑ 3.6.3:** (α)(β) Διαγράμμιση του χώρου εργασίας, (γ)(δ) Κατασκευή της βάσης για την κάμερα, (ε)(ζ) Τελική μορφή του ολοκληρωμένου ρομποτικού συστήματος

Στις εικόνες που παρουσιάζονται στο 3.6.3 παρουσιάζονται εικόνες από την κατασκευή των βοηθητικών μερών του ρομποτικού βραχίονα. Αρχικά, προκειμένου να λειτουργήσει σωστά ο αλγόριθμος του ρομποτικού βραχίονα, αποτελεί προϋπόθεση η διατήρηση της κάμερας του συστήματος όχι μόνο σταθερή πάνω από το επίπεδο εργασίας αλλά και παράλληλο σε αυτόν. Επομένως κρίνεται απαραίτητο η δημιουργία μιας βάσης για την κάμερα. Για την κατασκευή της βάσης αυτής, χρησιμοποιήθηκε κυρίως ένα τρίποδο κάμερας, και μακετόχαρτο. Απο το τρίποδο αφαιρέθηκε το κομμάτι που ήταν υπεύθυνο για την σύνδεση με κανονική κάμερα και στο σημείο αυτό βιδώθηκε ένα διπλό κομμάτι μακρόστενου μακετόχαρτου. Αλλά λόγω του μήκους του μακετόχαρτου αλλά και του βάρους του κινητού που αποτελεί την κάμερα του συστήματος, το μακετόχαρτο αποκτούσε μια ανεπιθύμητη καμπύλη. Συνεπώς, προστέθηκε άλλο ένα κομμάτι μακετόχαρτου και δέθηκε με το υπόλοιπο μακετόχαρτο με σπάγγο αποκτώντας μορφή γέφυρας όπως φαίνεται στην ΕΙΚΟΝΑ 3.6.3 (γ). Τέλος, στην άκρη του μακρόστενου μακετόχαρτου έγινε μια τρύπα μέσα από την οποία “βλέπει” σταθερά και παράλληλα η κάμερα το επίπεδο εργασίας. Όσον αφορά το επίπεδο εργασίας, δημιουργήθηκε και αυτό με ένα μακετόχαρτο. Πάνω σε αυτό, σχεδιάστηκαν η θέση του ρομποτικού βραχίονα, το πλαίσιο που βλέπει η κάμερα αλλά και το ημικύκλιο μέσα στο οποίο είναι όλα τα σημεία που μπορεί να φτάσει ο ρομποτικός βραχίονας όταν έχει το τελικό εργαλείο στραμμένο κάθετα προς το επίπεδο εργασίας. Αρχικά, σχεδιάστηκε ο κύκλος της βάσης του ρομποτικού βραχίονα και έπειτα, από το κέντρο αυτού του κύκλου με την βοήθεια ενός σπάγγου όπως φαίνεται στην ΕΙΚΟΝΑ 3.6.3(α), δημιουργήθηκε το ημικύκλιο που μέσα του εμπεριέχει όλα τα σημεία στα οποία μπορεί να πάει το τελικό εργαλείο. Επιπροσθέτως, έχει σχεδιαστεί σε αυτό το επίπεδο εργασίας ένα πλαίσιο που βρίσκεται εντός του οπτικού πεδίου της κάμερας όπως φαίνεται στην ΕΙΚΟΝΑ 3.6.3(β) και στο οποίο ο αλγόριθμος θα μπορεί να προβεί στην αναγνώριση και τον εντοπισμό του αντικειμένου-στόχου. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η πλήρης διάταξη του ρομποτικού συστήματος.

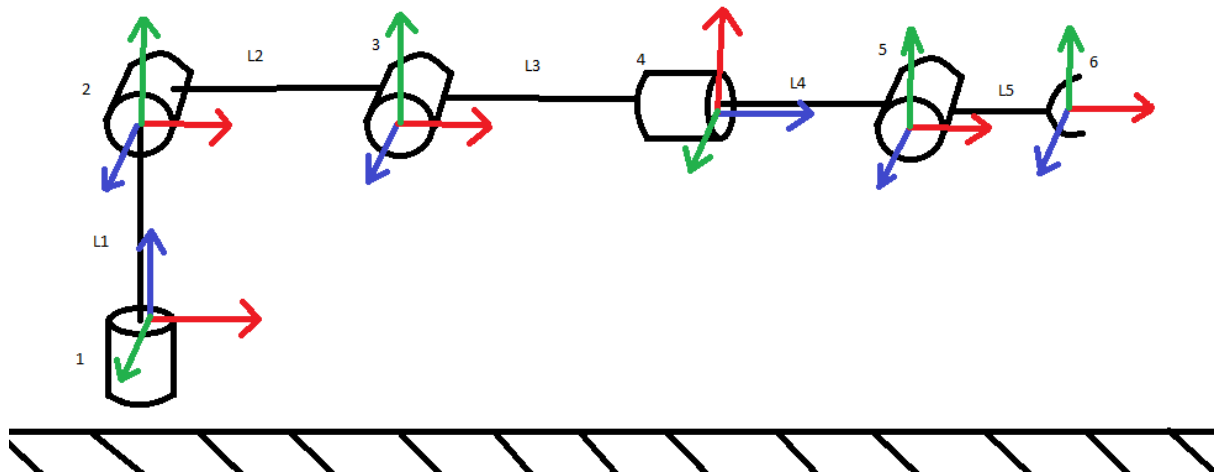


**ΕΙΚΟΝΑ 3.6.4:** *Ο ολοκληρωμένος ρομποτικός βραχίονας μαζί με τα συμπληρωματικά εξαρτήματα*

## **3.7 Κινηματικό πρόβλημα:**

### **3.7.1 Ευθύ κινηματικό πρόβλημα:**

Προκειμένου να λυθεί το ευθύ κινηματικό πρόβλημα του ρομποτικού βραχίονα που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής, πρέπει όπως αναφέρθηκε και στην θεωρία να σχεδιαστεί ο ρομποτικός βραχίονας με τις συντεταγμένες της κάθε άρθρωσης, έπειτα να βρεθούν οι DH (Denavit-Hartenberg) παραμετροί προκειμένου να σχηματιστεί ο DH πίνακας. Εφόσον βρεθεί ο DH πίνακας, δύναται να βρεθεί ο πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού (T).



ΕΙΚΟΝΑ 3.7.1: Συντεταγμένες αρθρώσεων του ρομποτικού βραχίονα

DH Parameters	$\theta$ (rad)	$\alpha$ (rad)	r(mm)	d(mm)
1	Theta1	$\pi/2$	0	L1
2	Theta2	0	L2	0
3	Theta3+( $\pi/2$ )	$\pi/2$	0	0
4	Theta4	$\pi/2$	0	L3+L4
5	Theta5-(3* $\pi/2$ )	$-\pi/2$	L5	0

Όπου Theta1, Theta2, Theta3, Theta4, Theta5 είναι η γωνία περιστροφής των αντίστοιχων αρθρώσεων γύρω από τον Z-άξονα τους. Επίσης, το L1, L2, L3, L4, L5 είναι τα μήκη των συνδέσμων που αναγράφονται και στην παραπάνω εικόνα.

$$L1 = 95,75\text{mm}$$

$$L2 = 120\text{mm}$$

$$L3 + L4 = 120\text{mm}$$

$$L5 = 120\text{mm}$$

Επίσης, προκειμένου να υπολογιστούν οι DH παράμετροι για το εν λόγω ρομποτικό βραχίονα, οι άξονες της τέταρτης άρθρωσης πρέπει να μετατοπιστούν προς την τρίτη άρθρωση.

Συνεπώς, με την βοήθεια του DH πίνακα μπορούμε να υπολογίσουμε τον πίνακα ομογενούς μετασχηματισμού (T).

```

Command Window
>> clear
>> syms theta1 theta2 theta3 theta4 theta5 L1 L2 L34 L5
>> matrix_0_5 = [theta1 pi/2 0 L1; theta2 0 L2 0;
    theta3+(pi/2) pi/2 0 0; theta4 pi/2 0 L34;
    theta5-(pi/2)-pi -pi/2 L5 0;];
HTM_matrix_0_5 = (DH_HTM(matrix_0_5,'r'));
>> disp(HTM_matrix_0_5)
[sin(theta5 - 4.7123889803846898576939650749193)*(1.0*cos(theta3 + 1.5707963267948966192313216916398)*cos(theta1)*sin(theta2)
[sin(theta5 - 4.7123889803846898576939650749193)*(1.0*cos(theta3 + 1.5707963267948966192313216916398)*sin(theta1)*sin(theta2)
[
[
|
|
fx >> |

```

**ΕΙΚΟΝΑ 3.7.2:** Υπολογισμός του πίνακα ομογενούς μετασχηματισμού (T) με το Matlab

Με τις παραπάνω εντολές, με την βοήθεια του Matlab και του ειδικού toolbox, ο πίνακας που προκύπτει είναι ο 4x4 πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού (T). Στην παραπάνω φωτογραφία είναι αδύνατον να φανούν όλα τα στοιχεία του πίνακα που δημιουργήθηκε και συνεπώς θα παρουσιαστούν παρακάτω:

<b>t11</b>	<b>t12</b>	<b>t13</b>	<b>t14</b>
<b>t21</b>	<b>t22</b>	<b>t23</b>	<b>t24</b>
<b>t31</b>	<b>t32</b>	<b>t33</b>	<b>t34</b>
<b>t41</b>	<b>t42</b>	<b>t43</b>	<b>t44</b>

$$\begin{aligned}
 & [ \\
 \mathbf{t11} = & \sin(\theta_5 - 4.712) \cdot (1.0 \cdot \cos(\theta_3 + 1.570) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2) + 1.0 \cdot \sin(\theta_3 + 1.570) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2)) + \cos(\theta_5 - 4.712) \cdot (1.0 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_4) + \cos(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_3 + 1.570) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) - 1.0 \cdot \sin(\theta_3 + 1.570) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2))),
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{t12} = 1.0 \cdot \cos(\theta_4) \cdot \sin(\theta_1) - 1.0 \cdot \sin(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_3 + 1.570) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) - 1.0 \cdot \sin(\theta_3 + 1.570) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2)),$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{t13} = & \cos(\theta_5 - 4.712) \cdot (1.0 \cdot \cos(\theta_3 + 1.570) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2) + 1.0 \cdot \sin(\theta_3 + 1.570) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2)) - 1.0 \cdot \sin(\theta_5 - 4.712) \cdot (1.0 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_4) + \cos(\theta_4) \cdot (\cos(\theta_3 + 1.570) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) - 1.0 \cdot \sin(\theta_3 + 1.570) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2))),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{t14} = & L_5 \cdot \cos(\theta_5 - 4.712) \cdot (\sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_4) + \cos(\theta_3 + 1.570) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_4) - 1.0 \cdot \sin(\theta_3 + 1.570) \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_4) \cdot \sin(\theta_2)) + L_2 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) + L_{34} \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3 + 1.570) \cdot \cos(\theta_1) + L_5 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3 + 1.570) \cdot \sin(\theta_5 - 4.712) \cdot \cos(\theta_1)
 \end{aligned}$$

]

$$[$$

$$\mathbf{t21} = \sin(\theta_5 - 4.712) * (1.0 * \cos(\theta_3 + 1.570) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) + 1.0 * \sin(\theta_3 + 1.570) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_1)) - \cos(\theta_5 - 4.712) * (1.0 * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_4) - \cos(\theta_4) * (\cos(\theta_3 + 1.570) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_1) - 1.0 * \sin(\theta_3 + 1.570) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2))),$$

$$\mathbf{t22} = - 1.0 * \cos(\theta_1) * \cos(\theta_4) - 1.0 * \sin(\theta_4) * (\cos(\theta_3 + 1.570) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_1) - 1.0 * \sin(\theta_3 + 1.570) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2)),$$

$$\mathbf{t23} = 1.0 * \sin(\theta_5 - 4.712) * (1.0 * \cos(\theta_1) * \sin(\theta_4) - \cos(\theta_4) * (\cos(\theta_3 + 1.570) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_1) - 1.0 * \sin(\theta_3 + 1.570) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2))) + \cos(\theta_5 - 4.712) * (1.0 * \cos(\theta_3 + 1.570) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) + 1.0 * \sin(\theta_3 + 1.570) * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_1)),$$

$$\mathbf{t24} = L_2 * \cos(\theta_2) * \sin(\theta_1) - L_5 * \cos(\theta_5 - 4.712) * (\cos(\theta_1) * \sin(\theta_4) - 1.0 * \cos(\theta_3 + 1.570) * \cos(\theta_2) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) + \sin(\theta_3 + 1.570) * \cos(\theta_4) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2)) + L_{34} * \sin(\theta_2 + \theta_3 + 1.570) * \sin(\theta_1) + L_5 * \sin(\theta_2 + \theta_3 + 1.570) * \sin(\theta_5 - 4.712) * \sin(\theta_1)$$

]

$$[$$

$$\mathbf{t31} = \sin(\theta_2 + \theta_3 + 1.570) * \cos(\theta_5 - 4.712) * \cos(\theta_4) - 1.0 * \cos(\theta_2 + \theta_3 + 1.570) * \sin(\theta_5 - 4.712),$$

$$\mathbf{t32} = -1.0 * \sin(\theta_2 + \theta_3 + 1.570) * \sin(\theta_4),$$

$$\mathbf{t33} = - 1.0 * \cos(\theta_2 + \theta_3 + 1.570) * \cos(\theta_5 - 4.712) - 1.0 * \sin(\theta_2 + \theta_3 + 1.570) * \sin(\theta_5 - 4.712) * \cos(\theta_4),$$

$$\mathbf{t34} = L_1 + L_2 * \sin(\theta_2) - 1.0 * L_{34} * \cos(\theta_2 + \theta_3 + 1.570) - 1.0 * L_5 * \cos(\theta_2 + \theta_3 + 1.570) * \sin(\theta_5 - 4.712) + L_5 * \sin(\theta_2 + \theta_3 + 1.570) * \cos(\theta_5 - 4.712) * \cos(\theta_4)$$

]

[

$$\mathbf{t41} = 0,$$

$$\mathbf{t42} = 0,$$

$$\mathbf{t43} = 0,$$

$$\mathbf{t44} = 1.0$$

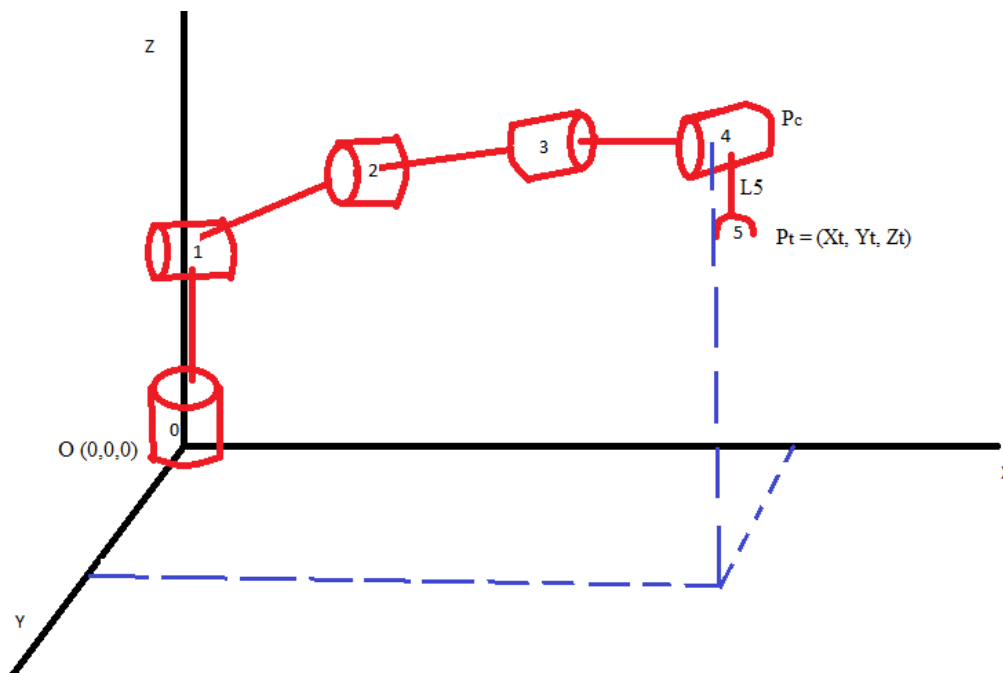
]



### 3.7.2 Αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα:

Το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα για να λυθεί πρέπει να γίνουν μια σειρά απο γεωμετρικούς και αλγεβρικούς υπολογισμούς προκειμένου να δημιουργηθούν οι εξισώσεις οι οποίες υπολογίζουν τις γωνίες των αρθρώσεων που συντελούν στην επίτευξη της επιθυμητής μετατόπισης και περιστροφής του τελικού εργαλείου.

Για να λύσουμε τον εν λόγω πρόβλημα, θα χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο που λέγεται *Decouple kinematics*. Με την μέθοδο αυτή χωρίζουμε το πρόβλημα σε δύο επιμέρους προβλήματα. Ουσιαστικά, το ένα πρόβλημα θα αναζητήσουμε τις γωνίες  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  και  $\theta_3$  και στο άλλο θα αναζητήσουμε τις γωνίες  $\theta_4$  και  $\theta_5$ .



ΕΙΚΟΝΑ 3.7.3: Απεικόνιση του ρομποτικού βραχίονα σε 3D χώρο

#### Εύρεση των γωνιών $\theta_1$ , $\theta_2$ και $\theta_3$ :

Για να βρούμε τις γωνίες  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  και  $\theta_3$  πρέπει να βρούμε σε ποια θέση πρέπει να είναι ο καρπός προκειμένου το τελικό εργαλείο να βρεθεί στην σωστή θέση και με τον σωστό προσανατολισμό. Αυτό θα γίνει επειδή οι δύο τελευταίες αρθρώσεις συντελούν κυρίως στον προσανατολισμό, ενώ οι πρώτες τρεις κυρίως στην θέση του τελικού εργαλείου.

Η επίλυση του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος προϋποθέτει ότι η τελική θέση και ο τελικός προσανατολισμός του εργαλείου είναι γνωστά.

Θέση τελικού εργαλείου:  $P_t = (X_t, Y_t, Z_t)$

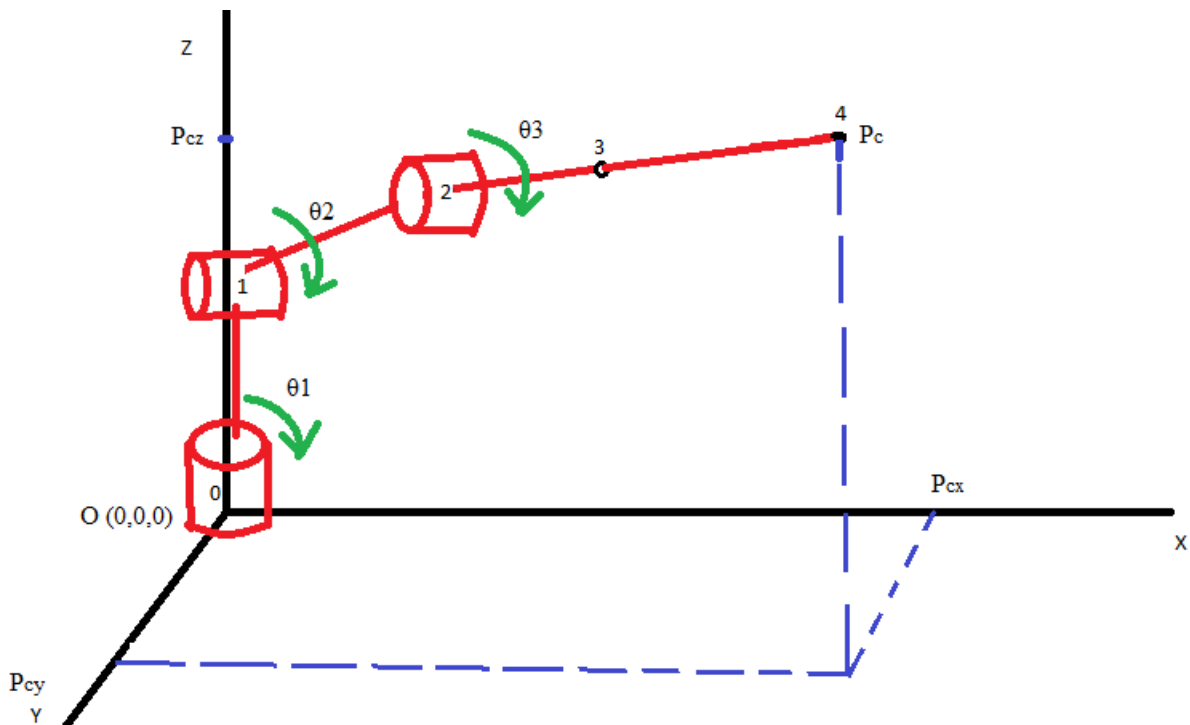
Προσανατολισμός του τελικού εργαλείου σε σχέση με την αρχή των αξόνων ( $R_{0 \rightarrow 5}$ ):

```
rot_matrix_0_5 = [1 0 0;  
                  0 1 0;  
                  0 0 1];
```

Το σημείο  $P_c$  (4) μπορούμε να το βρούμε αφαιρώντας από το τελικό σημείο (5) τον τελευταίο σύνδεσμο μήκους  $L_5$  κατά τον  $X$  άξονα.

$$P_c = P_t - L_5 * [R_{0 \rightarrow 5}] * [1 \ 0 \ 0]$$

Αρα απο την παραπάνω εξίσωση βρίσκουμε το σημείο που πρέπει να βρίσκεται ο καρπός  $P_c = (P_{cx}, P_{cy}, P_{cz})$ . Συνεπώς συνεχίσουμε με μια απλοποιημένη μορφή του ρομποτικού βραχίονα, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, προκειμένου να βρούμε τις γωνίες  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  και  $\theta_3$ .

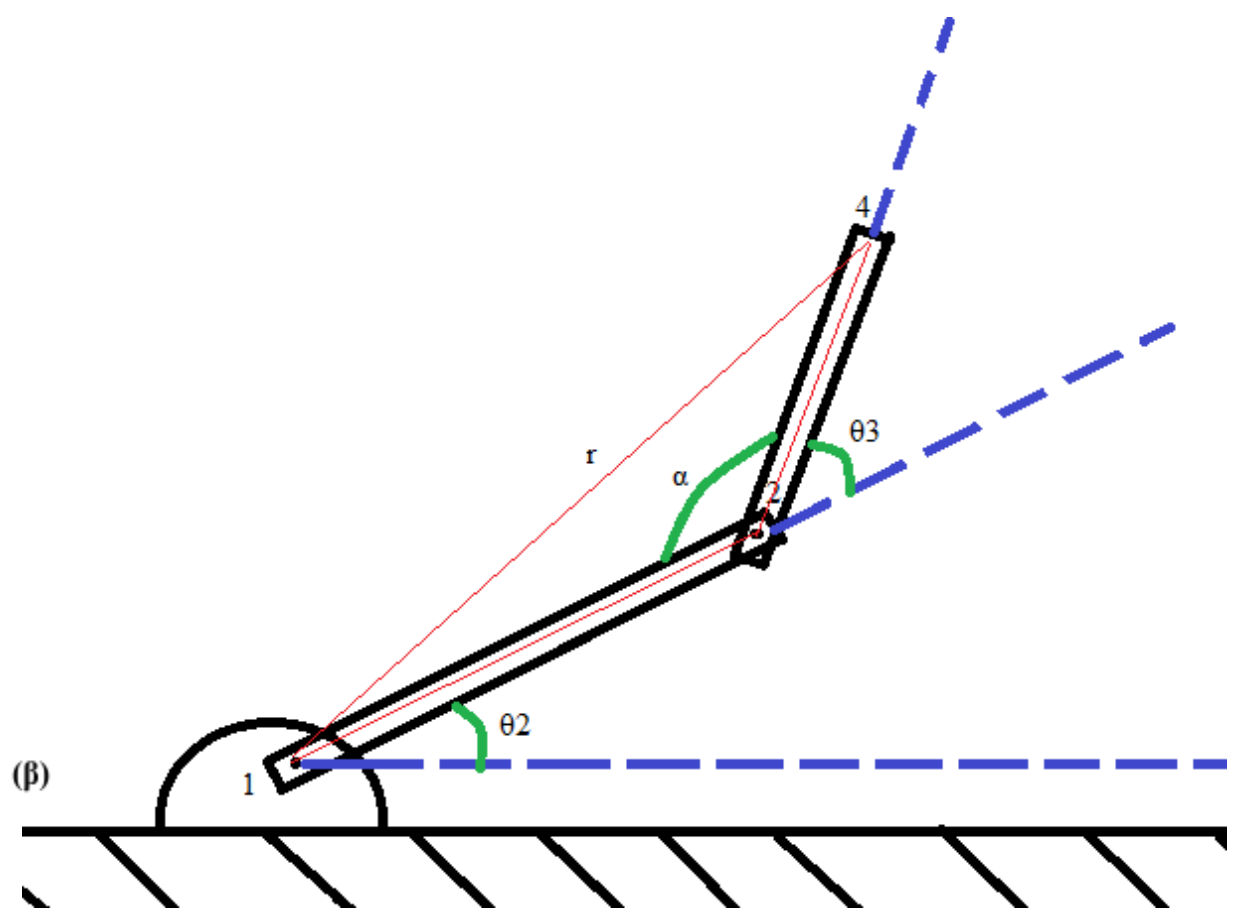
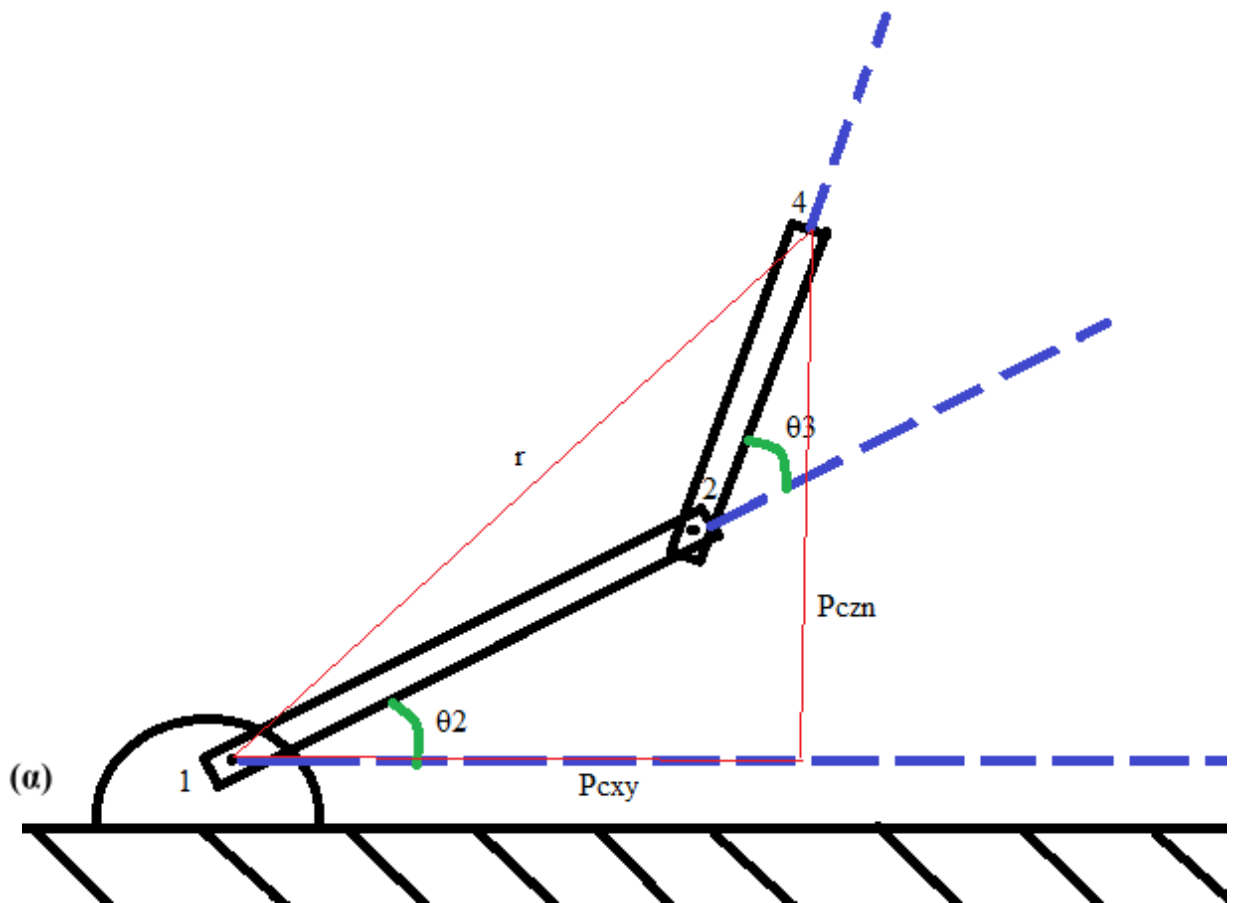


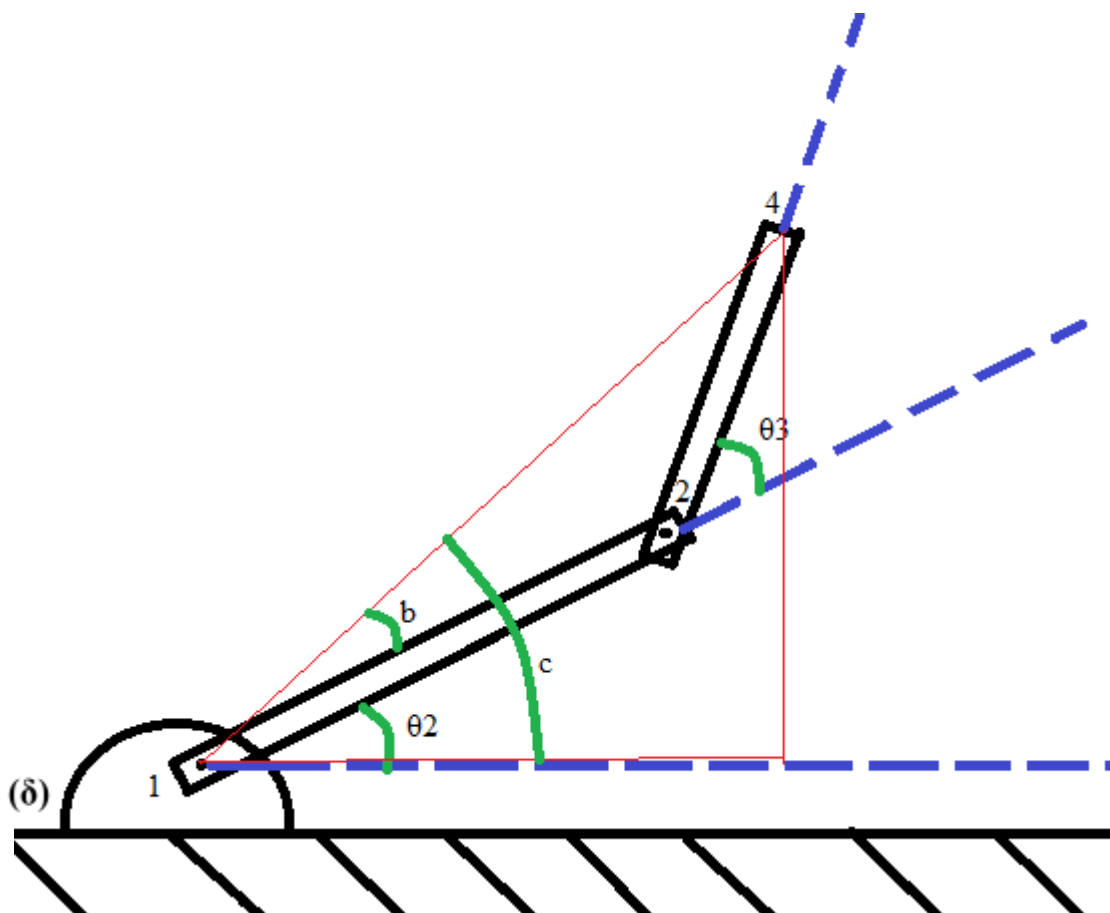
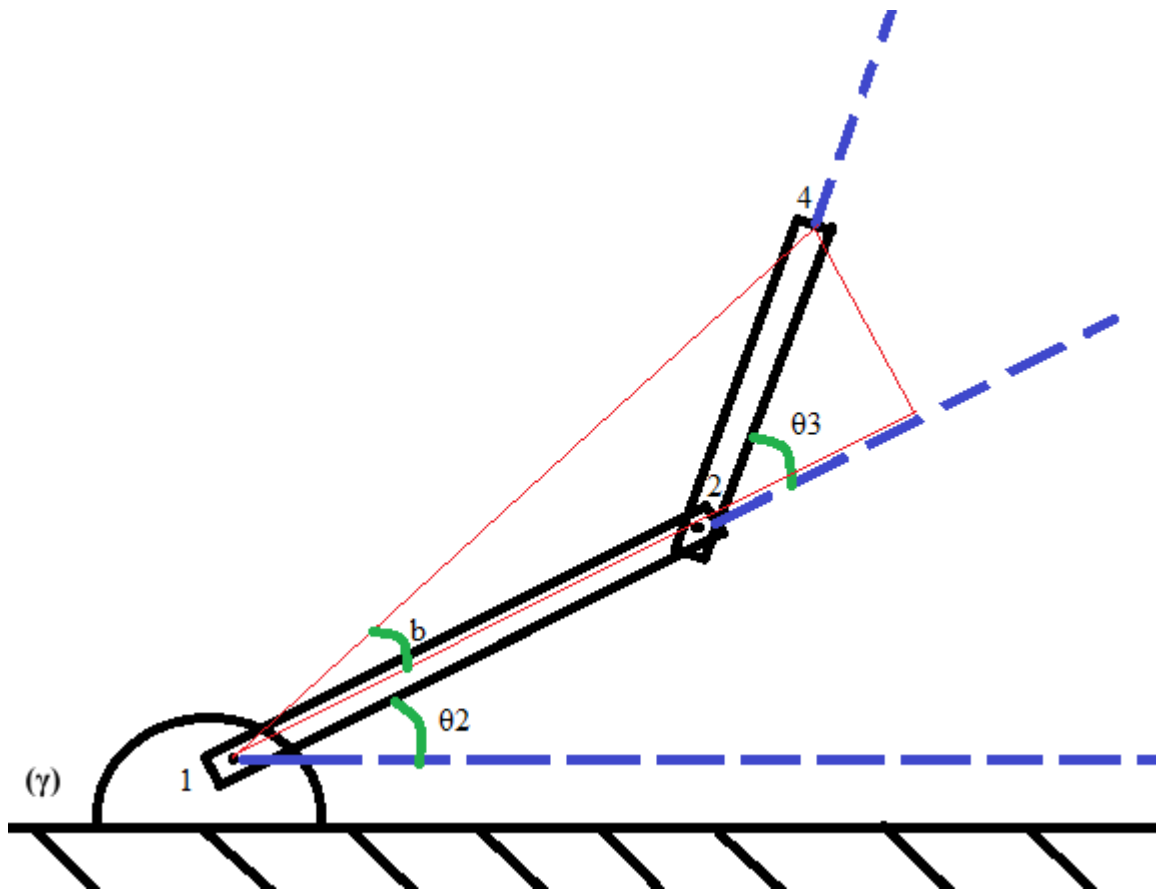
**ΕΙΚΟΝΑ 3.7.4:** Απεικόνιση των τριών πρώτων αρθρώσεων του ρομποτικού βραχίονα σε 3D χώρο

Το  $\theta_1$  μπορεί να υπολογιστεί εύκολα με την βοήθεια των  $P_{cx}$  και  $P_{cy}$ .

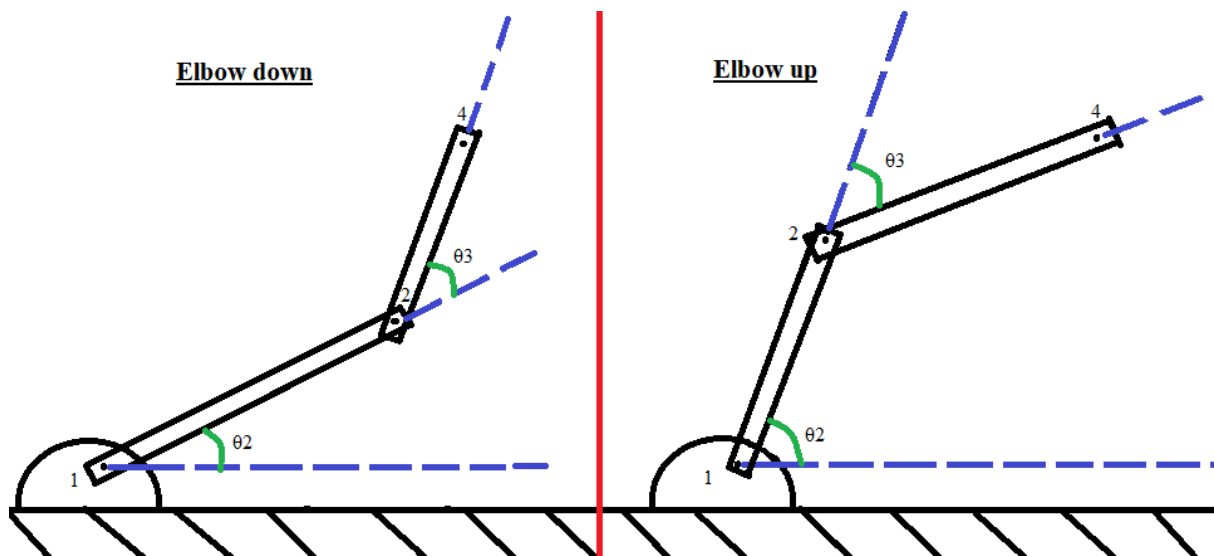
$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{P_{cy}}{P_{cx}}\right)$$







ΕΙΚΟΝΑ 3.7.5: (α)(β)(γ)(δ) Απεικόνιση του ρομποτικού βραχίονα μαζί με βοηθητικά τρίγωνα που προκύπτουν



ΕΙΚΟΝΑ 3.7.6: Επεξήγηση των όρων Elbow up και Elbow down

$$Pcxy = \sqrt{Pcy^2 + Pcx^2}$$

$$Pczn = Pcz - L1$$

$$r = \sqrt{L2^2 + L34^2 - 2 * L2 * L34 * \cos(a)}$$

$$r = \sqrt{Pcxy^2 + Pczn^2}$$

$$\cos(a) = \left( \frac{-Pcxy^2 - Pczn^2 + L2^2 + L34^2}{2 * L2 * L34} \right)$$

$$\theta_3 = \pi - a$$

$$c3 = -\cos(a)$$

$$c3 = \left( \frac{Pcxy^2 + Pczn^2 - L2^2 - L34^2}{2 * L2 * L34} \right)$$

$$s3 = -\sqrt{1 - c3^2}$$

(Αν πριν την ρίζα έχει πλην είναι elbow up, αν είναι συν είναι elbow down)

$$\theta_3 = \arctan\left(\frac{s3}{c3}\right)$$

$$b = \arctan\left(\frac{L34 * s3}{L2 + (L34 * c3)}\right)$$

$$c = \arctan\left(\frac{Pczn}{Pcxy}\right)$$

$$\theta_2 = c - b$$

όπου  $c3 = \cos(\theta_3)$ ,  $c2 = \cos(\theta_2)$ ,  $s3 = \sin(\theta_3)$  και  $s2 = \sin(\theta_2)$ .

Εύρεση των γωνιών  $\theta_4$  και  $\theta_5$ :

Για την εύρεση του  $\theta_4$  και του  $\theta_5$  πρέπει πρώτα να βρεθεί ο πίνακας περιστροφής του τελικού εργαλείου από τον καρπό μέχρι την άκρη. Δηλαδή πρέπει να βρούμε το  $R_5^3$ .

$$R_5^0 = R_3^0 * R_5^3$$
$$R_5^3 = ((R_3^0)^{-1} * R_5^0)$$
$$R_5^3 = ((R_3^0)^T * R_5^0)$$

Το  $R_5^0$  είναι γνωστό από τα δεδομένα του προβλήματος και το  $R_3^0$  μπορεί να υπολογιστεί εφόσον έχουν υπολογιστεί οι γωνίες  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  και  $\theta_3$ .

Ο πίνακας περιστροφής  $R_5^3$  που υπολογίστηκε με τις παραπάνω πράξεις, είναι 3x3 και έχει την παρακάτω μορφή:

<b>r11</b>	<b>r12</b>	<b>r13</b>
<b>r21</b>	<b>r22</b>	<b>r23</b>
<b>r31</b>	<b>r32</b>	<b>r33</b>

Εφόσον βρούμε τον πίνακα περιστροφής, δύναται να υπολογιστεί εύκολα το  $\theta_4$  και το  $\theta_5$ .

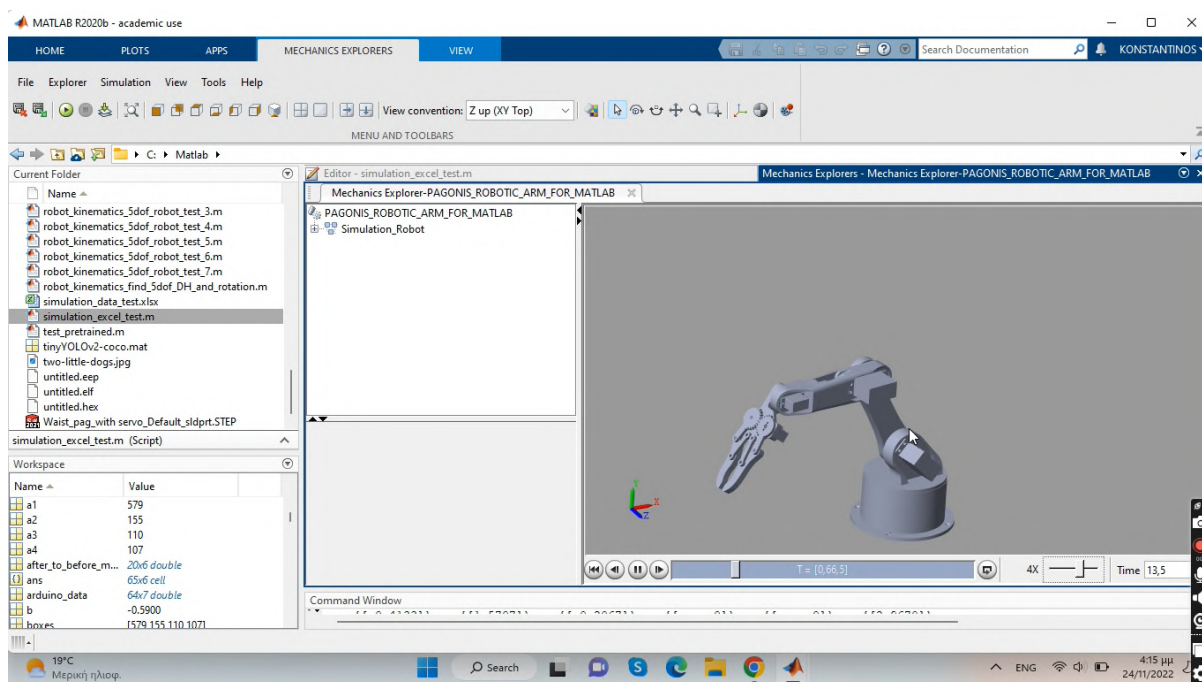
$$\theta_4 = \arctan\left(\frac{r_{23}}{r_{13}}\right)$$

$$\theta_5 = \arctan\left(-\frac{\sqrt{r_{13}^2 + r_{23}^2}}{r_{33}}\right)$$

## 3.8 Προσομοίωση Matlab:

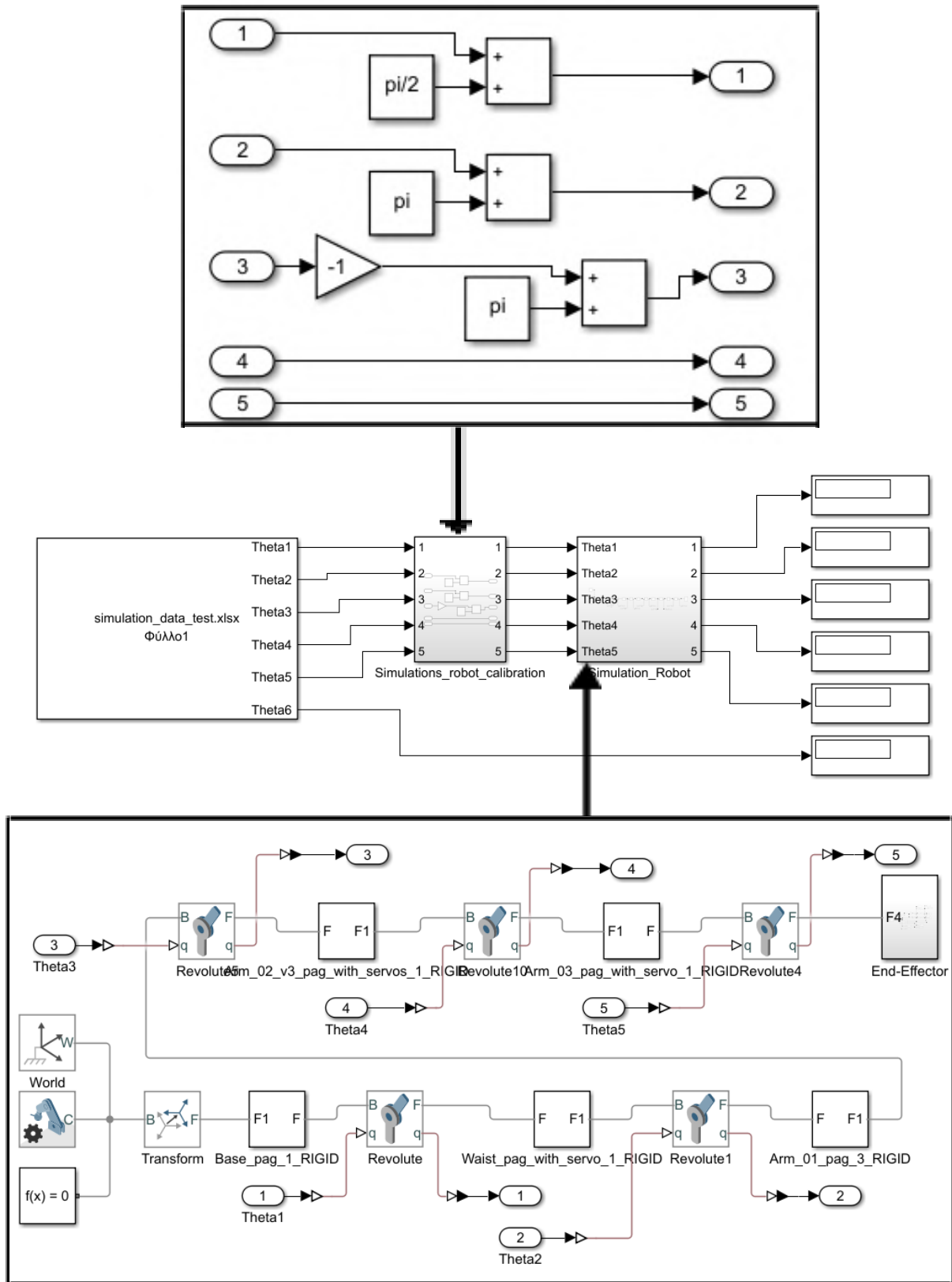
### 3.8.1 Επεξήγηση:

Η προσομοίωση του ρομποτικού βραχίονα που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής, γίνεται μέσω ενός προγράμματος simulink στο Matlab. Εφόσον έχει υπολογίσει ο αλγόριθμος στο Matlab, την τροχιά που θα ακολουθήσει ο βραχίονας προκειμένου να πιάσει τον στόχο του, γίνεται μία προσομοίωση της κίνησης αυτής πριν εφαρμοστεί στο φυσικό μοντέλο προκειμένου να μελετηθεί η κίνηση και να αποφευχθούν τα απρόβλεπτα συμβάντα. Αρχικά, στο simulink αρχείο εισάγονται τα δεδομένα που υπολογίστηκαν από τον αλγόριθμο. Τα δεδομένα αυτά εξάγονται από ένα αρχείο excel, και είναι ουσιαστικά οι γωνίες που πρέπει να παίρνει κατά την πάροδο του χρόνου η κάθε άρθρωση προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος του συστήματος, ο οποίος είναι να πιάσει το αντικείμενο που βρίσκεται μπροστα του. Τα δεδομένα αυτά παίρνουν από μια βαθμονόμηση και έπειτα εισάγονται εισάγονται σε ένα block function που λαμβάνει ως μεταβλητές τις γωνίες των αρθρώσεων και έχει ως έξοδο ένα τρισδιάστατο μοντέλο με τις ανάλογες γωνίες σε κάθε άρθρωση. Αυτό το block function δημιουργήθηκε με την εισαγωγή του ρομποτικού βραχίονα που σχεδιάστηκε στο Solidworks ως assembly αρχείο στο Matlab. Στην παρακάτω ενότητα παρουσιάζονται εικόνες από αυτό το simulink πρόγραμμα που είναι υπεύθυνο για την προσομοίωση του ρομποτικού βραχίονα.



ΕΙΚΟΝΑ 3.8.1: Παράθυρο προσομοίωσης του ρομποτικού βραχίονα στο Matlab

### 3.8.2 Εικόνες:



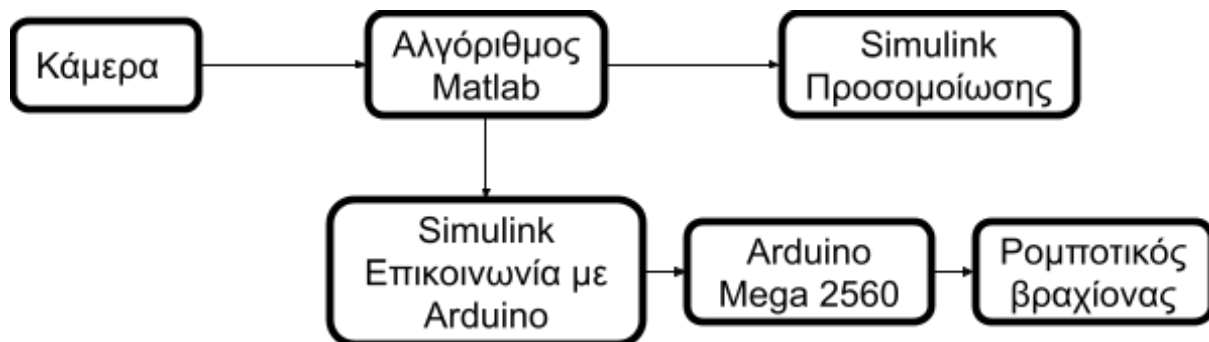
ΕΙΚΟΝΑ 3.8.2: Το simulink πρόγραμμα που πραγματοποιεί την προσομοίωση

## 3.9 Αλγόριθμος Matlab:

### 3.9.1 Επεξήγηση:

Ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε στο Matlab αποτελεί τον εγκέφαλο του ρομποτικού βραχίονα καθώς κάνει όλους τους απαραίτητους υπολογισμούς αλλά παίρνει και όλες τις απαραίτητες αποφάσεις σχετικά με την διεργασία που θα υλοποιήσει το σύστημα αυτό.

Η γενικότερη εικόνα του ρομποτικού βραχίονα που κατασκευάστηκε αποτυπώνεται με το παρακάτω Block Diagram:



**ΕΙΚΟΝΑ 3.9.1:** Block diagram του συστήματος του ρομποτικού βραχίονα

Το σύστημα αρχικά λαμβάνει μια εικόνα από τον χώρο εργασίας του βραχίονα με την βοήθεια της κάμερας και έπειτα αυτή η εικόνα εισάγεται στον αλγόριθμο που έχει δημιουργηθεί στο Matlab. Η κάμερα που χρησιμοποιείται στο σύστημα αυτό, είναι μία κάμερα κινητού, οι οποία χρησιμοποιείται ως webcam απο τον υπολογιστή με την βοήθεια του προγράμματος IVcam.

Ο αλγόριθμος αυτός, χρησιμοποιώντας το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο yoloV2, ανιχνεύει στην εικόνα που απεικονίζεται ο χώρος εργασίας, αν υπάρχει κάποιος κύβος, το τι απεικονίζει αυτός ο κύβος αλλά και το που βρίσκεται σύμφωνα με την εικόνα. Όσον αφορά το τι απεικονίζει ο κύβος που βρίσκεται στον χώρο εργασίας, το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο έχει την δυνατότητα να αναγνωρίσει τον κύβο σύμφωνα με το COCO dataset στο οποίο έχει εκπαιδευτεί, το οποίο έχει 80 “κατηγορίες”. Όταν γίνει η αναγνώριση του κύβου, το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο δημιουργεί ένα πλαίσιο (Bounding Box), γύρω από τον κύβο που αναγνώρισε, συνεπώς γνωρίζουμε που βρίσκεται ο κύβος αυτός ως προς σύμφωνα με τα εικονοστοιχεία της εικόνας.

Επομένως, έχοντας την κάμερα σε ένα σταθερό σημείο, δημιουργείται μια συσχέτιση μεταξύ των συντεταγμένων (x,y) της εικόνας σε εικονοστοιχεία και των συντεταγμένων (x,y) του χώρου εργασίας σε χιλιοστά mm. Δηλαδή, για παράδειγμα, το σημείο της εικόνας (50,50) pixels, αντιστοιχεί στο σημείο (40, 20) mm του χώρου εργασίας. Ως προς τον Z άξονα, η θέση του κύβου είναι σταθερή καθώς πρόκειται για έναν σταθερό και επίπεδο χώρο εργασίας. Συνεπώς, ξέροντας την (x,y,z) θέση του κύβου-στόχου, δύναται να λυθεί με βάση αυτού το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα, προκειμένου να βρεθούν οι γωνίες που πρέπει να έχει η κάθε άρθρωση ώστε ο ρομποτικός βραχίονας να “πιάσει” τον κύβο στόχο.

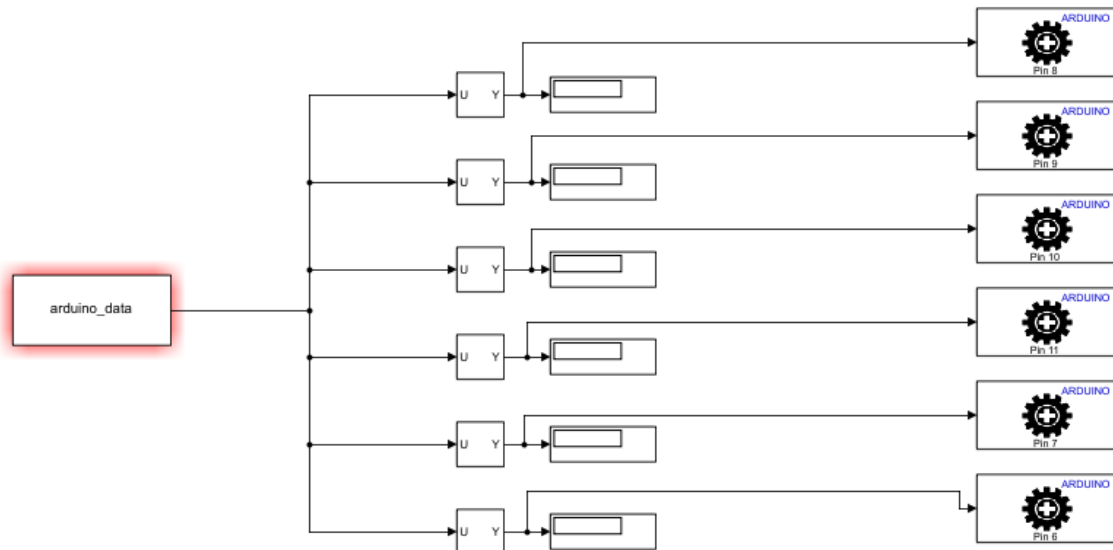


Εφόσον έχει λυθεί το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα, πρέπει να καθοριστεί ποια θα είναι η αρχική θέση και η τελική θέση του βραχίονα αλλά και το που θα αφήσει τον κύβο που θα έχει “πιάσει”. Σχετικά με το που θα αφήσει τον κύβο, ο αλγόριθμος παίρνει την απόφαση αυτή ανάλογα με το τι είναι ο κύβος αυτός. Αν ο κύβος αυτός, απεικονίζει στην πάνω του όψη έναν άνθρωπο, αφήνει τον κύβο προς τα αριστερά ενώ αν είναι απεικονίζει έναν σκύλο, αφήνει τον κύβο προς τα δεξιά. Εφόσον καθοριστούν όλες αυτές οι θέσεις, δύναται να δημιουργηθούν πίνακες με τις γωνίες της καθε άρθρωσης που ουσιαστικά αποτελούν την τροχιά που θα ακολουθήσει συνολικά. Αυτα τα δεδομένα που παράγει ο αλγόριθμος τα προωθεί σε δυο simulink προγράμματα. Το ένα simulink πρόγραμμα συντελεί την προσομοίωση, που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα, ενώ το άλλο simulink πρόγραμμα στέλνει τα δεδομένα στο arduino προκειμένου να σταλούν τα ανάλογα σήματα στους σερβοκινητήρες. Το simulink πρόγραμμα που ελέγχει τους σερβοκινητήρες αποτελείται από ένα block που διαβάζει δεδομένα από το workspace του αλγορίθμου, και έπειτα από 6 selectros που επιλέγουν τις ανάλογες τιμές από τον πίνακα για να τα προωθήσουν στα άλλα αντίστοιχα 6 blocks που στέλνουν τις τιμές στους σερβοκινητήρες. Αυτά τα 6 blocks που στέλνουν τις τιμές στους σερβοκινητήρες λέγονται Servo Write, και ουσιαστικά στέλνουν ψηφιακό σήμα στο επιλεγμένο digital pin όπου έχουμε ορίσει και στο οποίο έχουμε συνδέσει τον σερβοκινητήρα.

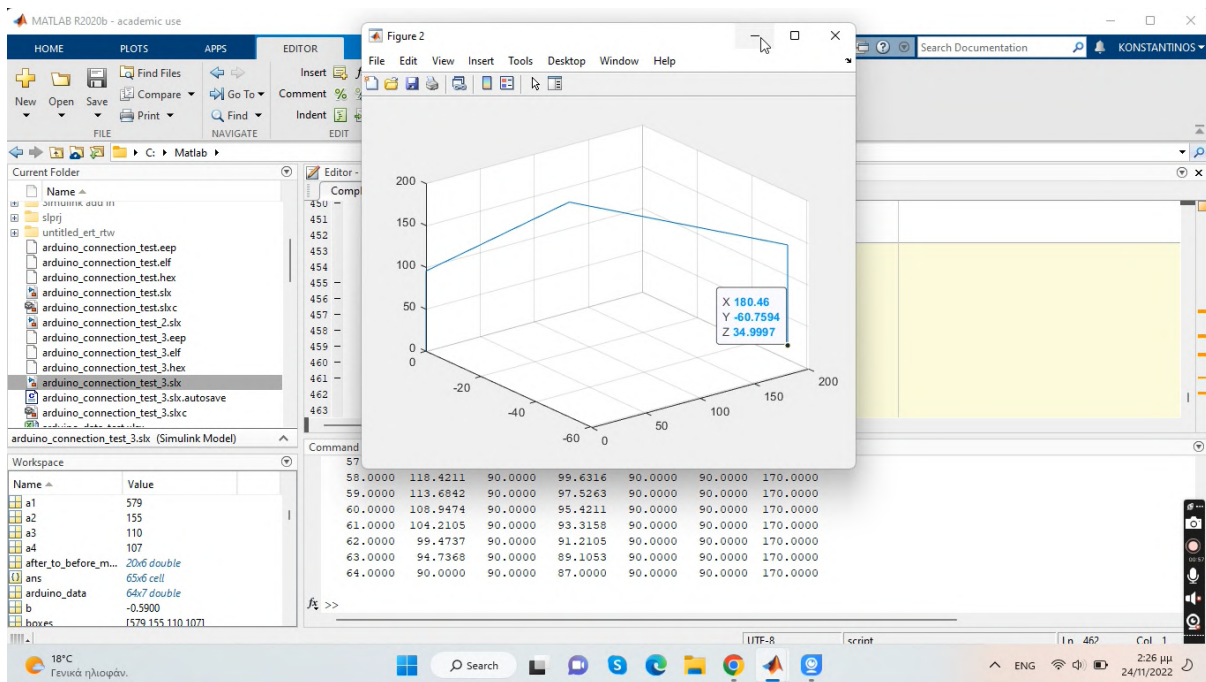
Όλες αυτές οι λειτουργίες που εκτελεί ο αλγόριθμος Matlab και τα δυο simulink προγράμματα που αναλύσαμε παραπάνω, είναι εφικτά χάρη στα παρακάτω toolbox ( τα toolbox είναι ένα πακέτο συναρτήσεων ή/και κλάσεων):

- Computer vision
- Instrument control
- Machine learning
- Simulink hardware support for arduino
- Webcam support package
- Robotic system

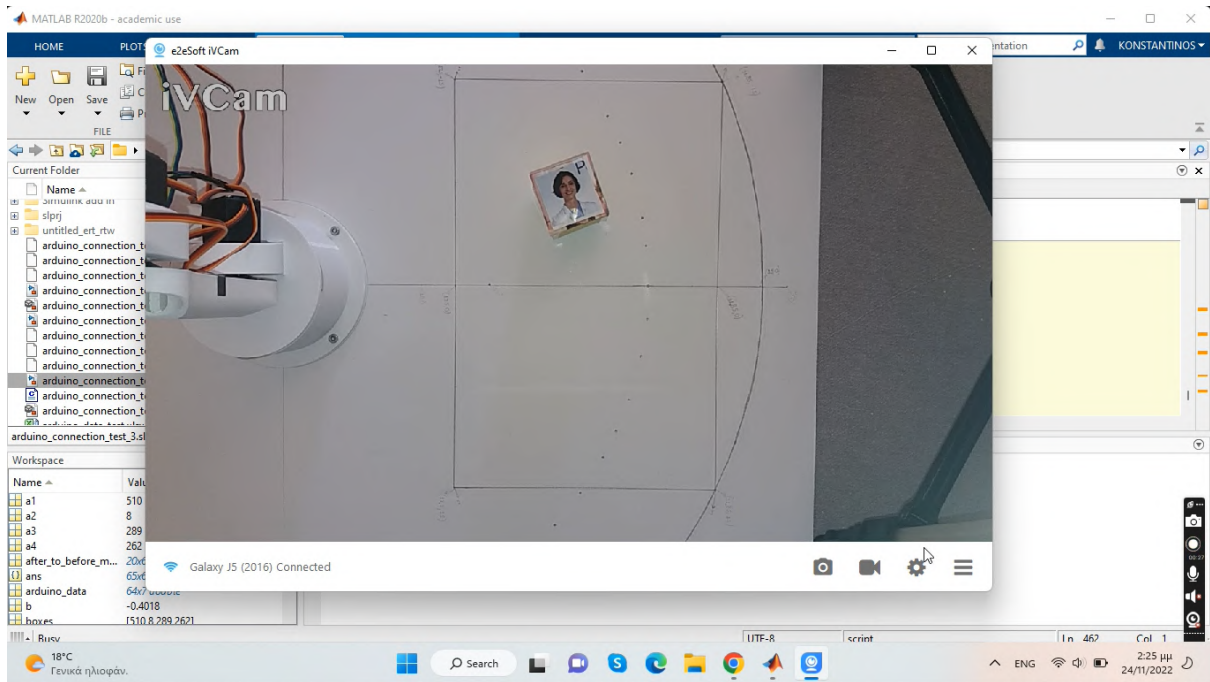
### 3.9.2 Εικόνες:



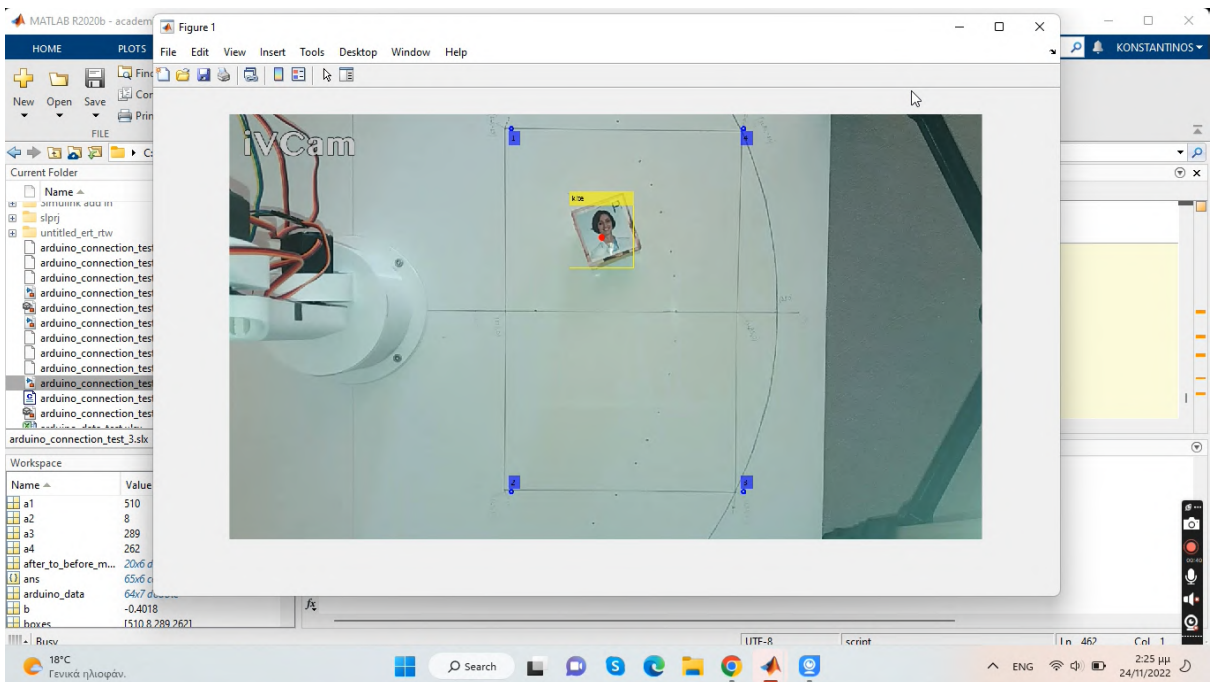
**ΕΙΚΟΝΑ 3.9.2:** Simulink πρόγραμμα αποστολής δεδομένων στους σερβο κινητήρες



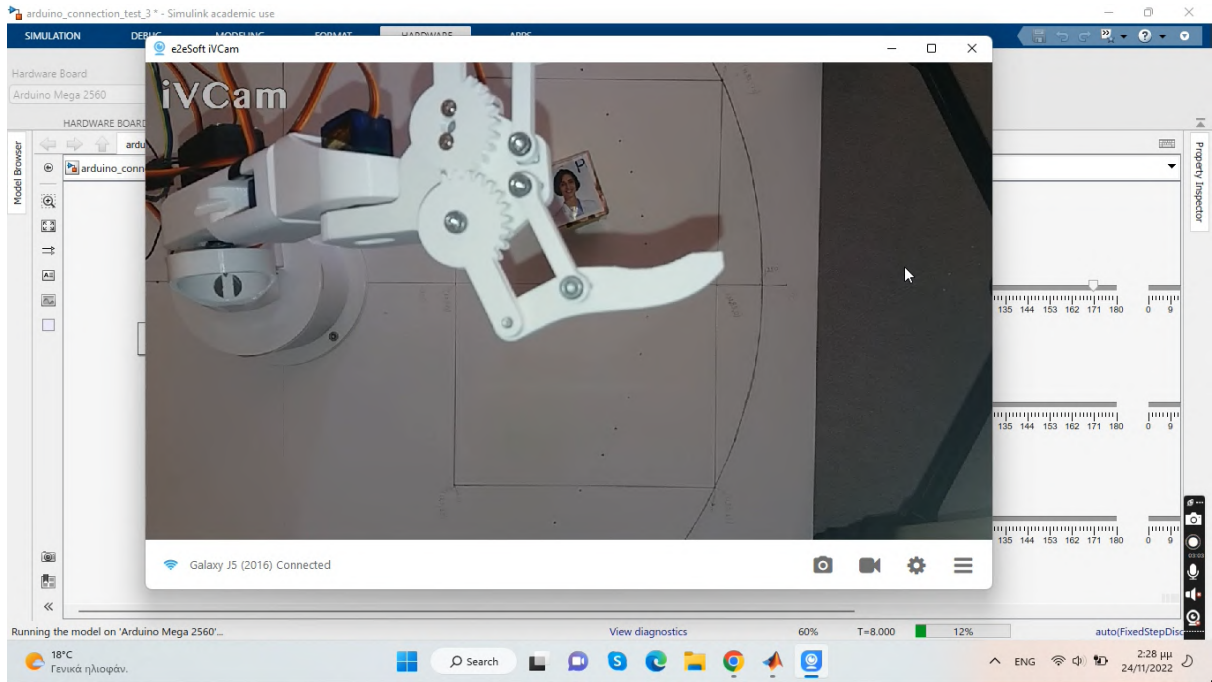
**ΕΙΚΟΝΑ 3.9.3:** Κατά την εκτέλεση του βασικού αλγόριθμου, γίνεται μια γρήγορη απεικόνιση της μορφής του βραχίονα σε ένα τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων που θα έχει για να πιάσει τον στόχο



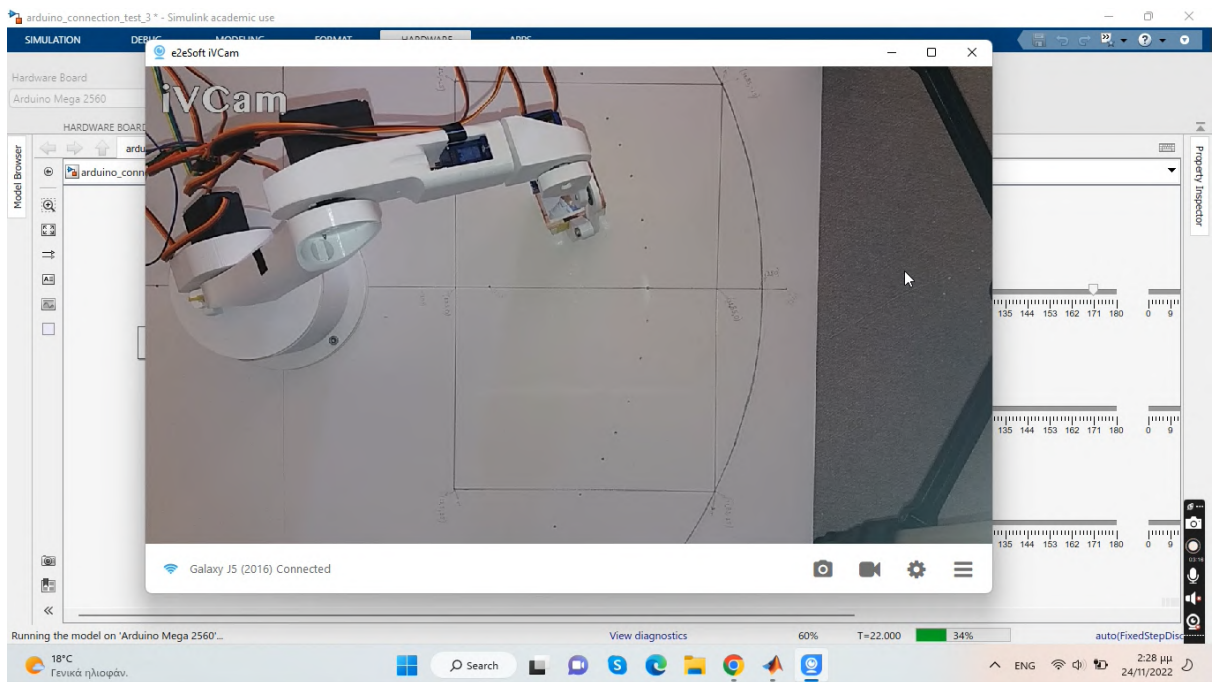
**EΙΚΟΝΑ 3.9.4:** Η εικόνα από τον χώρο εργασίας που στέλνει η κάμερα στον αλγόριθμο



**EΙΚΟΝΑ 3.9.5:** Η επεξεργασμένη εικόνα του χώρου εργασίας που επιστρέφει ο αλγόριθμος

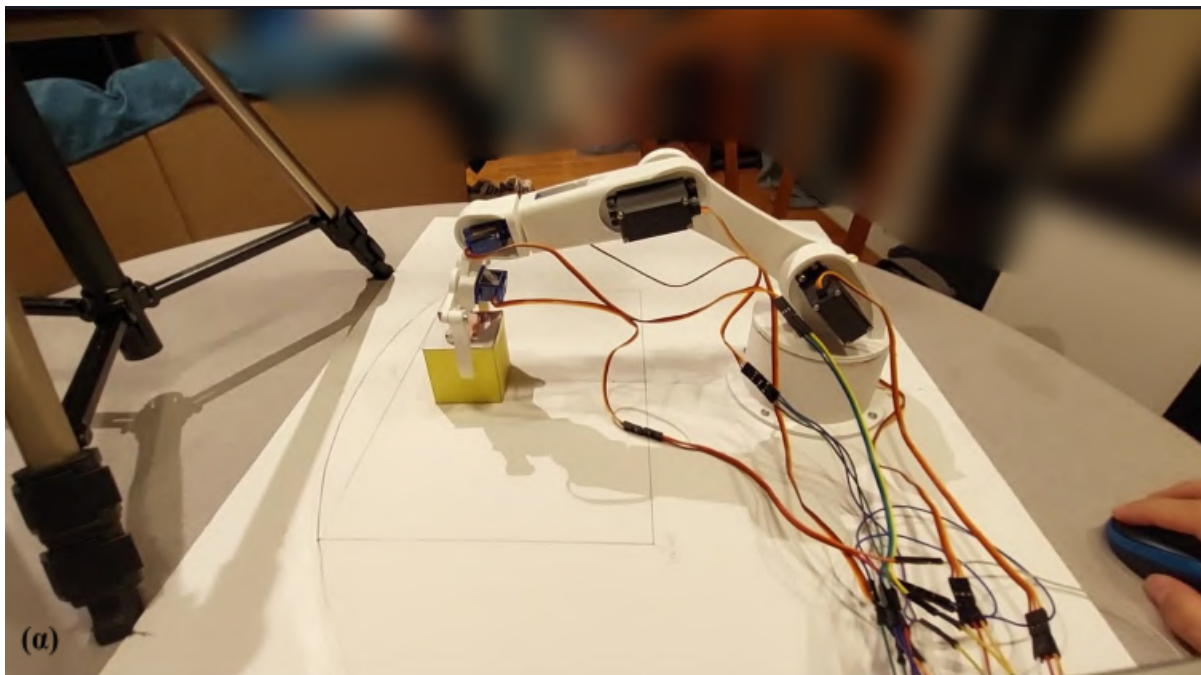


**ΕΙΚΟΝΑ 3.9.6:** Η εικόνα από τον χώρο εργασίας κατά την λειτουργία του ρομποτικού βραχίονα-1



**ΕΙΚΟΝΑ 3.9.7:** Η εικόνα από τον χώρο εργασίας κατά την λειτουργία του ρομποτικού βραχίονα-2





**ΕΙΚΟΝΑ 3.9.8:** (α)(β) Η τελική μορφή/διάταξη του συστήματος του ρομποτικού βραχίονα

```

1      %%
2      %Konstantinos Pagonis, 18389212, bachelor thesis
3      %Athens-Aigaleo 2022-2023
4      %Industrial design and production engineer
5      %
6      clc
7      %%
8      % Read test image
9      cam = webcam(1); %Επιλογή κάμερας
10     disp(cam)
11     img = snapshot(cam);
12
13     %%
14     %Object Detection
15     % Detect Objects using YOLO v2 Object Detector
16     modelName = 'tinyYOLOv2-coco';
17     pretrained = load(modelName);
18     detector = pretrained.yolov2Detector;
19     % Detect objects in test image.
20     [boxes, scores, labels] = detect(detector, img);
21
22     %%
23     %Take image again until you find an object
24     while isempty(boxes) == 1
25         cam = webcam(1);
26         img = snapshot(cam);
27         [boxes, scores, labels] = detect(detector, img);
28
29         if isempty(boxes) == 0
30             break
31         end
32     end
33
34     %%
35     %Image dimensions
36     pixel_size = size(img);
37     pixel_size_x = pixel_size(1,2);
38     pixel_size_y = pixel_size(1,1);
39
40     %%
41     %Find the center of the object you detected according to the image
42     a1 = boxes(1,1); %X πάνω αριστερής γωνίας
43     a2 = boxes(1,2); %Y πάνω αριστερής γωνίας
44     a3 = boxes(1,3); %X τετραγώνου
45     a4 = boxes(1,4); %Y τετραγώνου
46     Xscr = a1+(a3/2); %Συντεταγμένη X οθόνης σε pixel κάμερας
47     Yscr = a2+(a4/2); %Συντεταγμένη Y οθόνης σε pixel κάμερας

```



```

48 %%
49 % Visualize detection results.
50 - img = insertObjectAnnotation(img, 'rectangle', boxes, labels);
51 - position_scope = [Xscr Yscr 3];
52 - name = "";
53 - img = insertObjectAnnotation(img, 'circle', position_scope, name, 'LineWidth', 5
54
55 - position_scope_1 = [480 25 3];
56 - name1 = "1 ";
57 - img = insertObjectAnnotation(img, 'circle', position_scope_1, name1, 'LineWidth
58 - position_scope_2 = [480 640 3];
59 - name2 = "2 ";
60 - img = insertObjectAnnotation(img, 'circle', position_scope_2, name2, 'LineWidth
61 - position_scope_3 = [875 640 3];
62 - name3 = "3 ";
63 - img = insertObjectAnnotation(img, 'circle', position_scope_3, name3, 'LineWidth
64 - position_scope_4 = [875 25 3];
65 - name4 = "4 ";
66 - img = insertObjectAnnotation(img, 'circle', position_scope_4, name4, 'LineWidth
67
68
69 - figure(1), imshow(img)
70
71 - clear('cam');
72
73 %%
74 %Convert the pixels to workspace coordinates
75 - Xt = ((Xscr-480)*0.049*10)+ 125-20;
76 - Yt = (Yscr-(307.5+25))*0.049*10;
77 - Zt1=35;
78
79 - disp(Xscr)
80 - disp(Yscr)
81 - disp(Xt)
82 - disp(Yt)
83 - disp(Zt1)
84 %%
85 %Invesre kinematics
86 %Συντεταγμένες που θέλουμε το άκρο του ρομπότ να είναι|
87 - Zt1 = Zt1+10;
88 - Zt=Zt1+230;
89
90
91 %Μήκη του κάθε link
92 - L1=95.75;
93 - L2=120;
94 - L34=120;
95 - L5=120;
96
97

```

```

98 %Συντεταγμένες που θέλουμε το άκρο του ρομπότ να είναι
99 - pos_matrix_end_effector = [Xt; Yt; Zt;];
100 - matrix_end_to_wrist = [0; 0; 1;]; %Πίνακας προσανατολισμού του τελικού εργαλείου
101 %Κοιτάει προς τα πάνω [1; 0; 0;]; ενώ το [1; 0; 1;]; προς τα κάτω ενώ το [0; 0; -1;];
102 %Πίνακας περιστροφής του 5 με βάση το 0
103 - rot_matrix_0_5 = [1 0 0; 0 1 0; 0 0 1;]; %Τον προσανατολισμό τον δίνουμε εμείς
104
105 %Συντεταγμένες του καρπού
106 - pos_matrix_wrist = pos_matrix_end_effector - L5*rot_matrix_0_5*matrix_end_to_wrist;
107
108 %Συντεταγμένες του καρπού ξεχωριστά
109 - Pcx = pos_matrix_wrist(1,1);
110 - Pcy = pos_matrix_wrist(2,1);
111 - Pcz = pos_matrix_wrist(3,1);
112
113 %Εύρεση του θ1
114 - theta1=atan(Pcy/Pcx);
115 - theta1=vpa(theta1);
116 - theta1=round(theta1,5);
117 %Εύρεση του θ3
118 - Pcxy = sqrt((Pcy^2)+(Pcx^2));
119 - Pczn = Pcz-L1;
120
121 - c3 = (((Pcxy^2)+(Pczn^2)-(L2^2)-(L34^2))/(2*L2*L34));
122 - s3 = -sqrt(1-(c3^2)); %Αν είναι πλην είναι elbow πάνω, αν είναι συν είναι elbow κάτω
123 - theta3 = atan(s3/c3);
124
125 - theta3=vpa(theta3);
126 - theta3=round(theta3,5);
127
128 %Εύρεση του θ2
129 - b = atan((L34*s3)/(L2+(L34*c3)));
130 - c = atan(Pczn/Pcxy);
131 - theta2 = c-b;
132
133 - theta2=vpa(theta2);
134 - theta2=round(theta2,5);
135
136
137 %Ευρεση πίνακα περιστροφής του 5 με βάση το 3
138 - matrix_0_3 = [theta1 pi/2 0 L1; theta2 0 L2 0; theta3+(pi/2) pi/2 0 0;];
139 - HTM_matrix_0_3 = (DH_HTM(matrix_0_3,'r'));
140 - disp(HTM_matrix_0_3)
141
142

```

```

143 - rot_matrix_0_3 = [HTM_matrix_0_3(1,1) HTM_matrix_0_3(1,2) HTM_matrix_0_3(1,3);
144 -     HTM_matrix_0_3(2,1) HTM_matrix_0_3(2,2) HTM_matrix_0_3(2,3);
145 -     HTM_matrix_0_3(3,1) HTM_matrix_0_3(3,2) HTM_matrix_0_3(3,3)];
146 - t_rot_matrix_0_3 = transpose(rot_matrix_0_3);
147 - rot_matrix_3_5 = rot_matrix_0_5 * t_rot_matrix_0_3;
148
149 - r13=rot_matrix_3_5(1,3);
150 - r23=rot_matrix_3_5(2,3);
151 - r33=rot_matrix_3_5(3,3);
152 - r32=rot_matrix_3_5(3,2);
153 - r21=rot_matrix_3_5(2,1);
154 - r11=rot_matrix_3_5(1,1);
155
156 - %Εύρεση του θ4
157 - theta4 = atan(r23/r13);
158
159 - theta4=vpa(theta4);
160 - theta4=round(theta4,5);
161
162 - %Εύρεση του θ5
163 - theta5 = atan(-sqrt((r13^2)+(r23^2))/r33);
164
165 - theta5=vpa(theta5);
166 - theta5=round(theta5,5);
167
168
169 - %Πίνακας από DH parameters από το 0 έως το 5, είναι το πώς θέλουμε να είναι τοποθετημένο το άκρο μας
170 - matrix_0_5 = [thetal pi/2 0 L1; theta2 0 L2 0;
171 -     theta3+(pi/2) pi/2 0 0; theta4 pi/2 0 L34;
172 -     theta5-(pi/2)-pi -pi/2 L5 0;];
173 - HTM_matrix_0_5 = (DH_HTM(matrix_0_5,'r'));
174
175 - matrix_0_4 = [thetal pi/2 0 L1; theta2 0 L2 0; theta3+(pi/2) pi/2 0 0; theta4 pi/2 0 L34;];
176 - HTM_matrix_0_4 = (DH_HTM(matrix_0_4,'r'));
177
178 - matrix_0_3 = [thetal pi/2 0 L1; theta2 0 L2 0; theta3+(pi/2) pi/2 0 0;];
179 - HTM_matrix_0_3 = (DH_HTM(matrix_0_3,'r'));
180
181 - matrix_0_2 = [thetal pi/2 0 L1; theta2 0 L2 0;];
182 - HTM_matrix_0_2 = (DH_HTM(matrix_0_2,'r'));
183
184 - matrix_0_1 = [thetal pi/2 0 L1;];
185 - HTM_matrix_0_1 = (DH_HTM(matrix_0_1,'r'));
186
187 - %Test εξισώσεων
188 - Xtest = HTM_matrix_0_5(1,4);
189 - Ytest = HTM_matrix_0_5(2,4);
190 - Ztest = HTM_matrix_0_5(3,4);
191

```

```

192 %TEST
193 - disp("The angles are =")
194 - thetas = [thetal theta2 theta3 theta4 theta5 ];
195 - disp(thetas)
196
197 - disp("The end effecror pos (real)-(Goal)=")
198 - pos_real_goal = [Xtest Xt; Ytest Yt; Ztest Ztl;]; %To Ztl είναι για την διόρθωση σφάλματος
199 - disp(pos_real_goal)
200
201 %%
202 %Plot the robotic arm
203 - Plx = HTM_matrix_0_1(1,4);
204 - Plx=real(Plx);
205 - Plx = round(Plx, 4);
206 - Ply = HTM_matrix_0_1(2,4);
207 - Ply=real(Ply);
208 - Ply = round(Ply, 4);
209 - Plz = HTM_matrix_0_1(3,4);
210 - Plz=real(Plz);
211 - Plz = round(Plz, 4);
212
213 - P2x = HTM_matrix_0_2(1,4);
214 - P2x=real(P2x);
215 - P2x = round(P2x, 4);
216 - P2y = HTM_matrix_0_2(2,4);
217 - P2y=real(P2y);
218 - P2y = round(P2y, 4);
219 - P2z = HTM_matrix_0_2(3,4);
220 - P2z=real(P2z);
221 - P2z = round(P2z, 4);
222
223 - Pcx=real(Pcx);
224 - Pcx = round(Pcx, 4);
225 - Pcy=real(Pcy);
226 - Pcy = round(Pcy, 4);
227 - Pcz=real(Pcz);
228 - Pcz = round(Pcz, 4);
229
230 - P0 = [0,0,0];
231 - P1 = [Plx,Ply,Plz];
232 - P2 = [P2x,P2y,P2z];
233 - Pc = [Pcx,Pcy,Pcz];
234 - Pe = [Xtest,Ytest,Ztest];
235 - pts = [P0; P1; P2; Pc; Pe];
236 - figure(2),plot3(pts(:,1), pts(:,2), pts(:,3))%Plot των σημείων
237 - grid on
238

```

```

239 %%
240 %Create the movement data for the simulation
241 - thetalb =0;
242 - theta2b =1.5707;
243 - theta3b =0;
244 - theta4b =0;
245 - theta5b =0;
246
247 - if labels(1,1)=='person'
248 -     thetala =1.5707;
249 -     theta2a =1.5707;
250 -     theta3a =-0.7853;
251 -     theta4a =0;
252 -     theta5a =0;
253 - elseif labels(1,1) =='dog'
254 -     thetala =-1.5707;
255 -     theta2a =1.5707;
256 -     theta3a =-0.7853;
257 -     theta4a =0;
258 -     theta5a =0;
259
260 - end
261
262 - movement_data2 = [];
263
264 %Ano before  $\sigma$  target
265 - Theta1b_t= linspace(thetalb,thetal,20);
266 - Theta1b_t= transpose(Theta1b_t);
267
268 - Theta2b_t= linspace(theta2b,theta2,20);
269 - Theta2b_t= transpose(Theta2b_t);
270
271 - Theta3b_t= linspace(theta3b,theta3,20);
272 - Theta3b_t= transpose(Theta3b_t);
273
274 - Theta4b_t= linspace(theta4b,theta4,20);
275 - Theta4b_t= transpose(Theta4b_t);
276
277 - Theta5b_t= linspace(theta5b,theta5,20);
278 - Theta5b_t= transpose(Theta5b_t);
279
280 %Ano target  $\sigma$  after
281 - t_Thetala= linspace(thetal,thetala,20);
282 - t_Thetala= transpose(t_Thetala);
283
284 - t_Theta2a= linspace(theta2,theta2a,20);
285 - t_Theta2a= transpose(t_Theta2a);
286
287 - t_Theta3a= linspace(theta3,theta3a,20);
288 - t_Theta3a= transpose(t_Theta3a);
289

```

```

290 - t_Theta4a= linspace(theta4,theta4a,20);
291 - t_Theta4a= transpose(t_Theta4a);
292
293 - t_Theta5a= linspace(theta5,theta5a,20);
294 - t_Theta5a= transpose(t_Theta5a);
295
296 %Ando after or before
297 - thetala_thetalb= linspace(thetala,thetalb,20);
298 - thetala_thetalb= transpose(thetala_thetalb);
299
300 - theta2a_theta2b= linspace(theta2a,theta2b,20);
301 - theta2a_theta2b= transpose(theta2a_theta2b);
302
303 - theta3a_theta3b= linspace(theta3a,theta3b,20);
304 - theta3a_theta3b= transpose(theta3a_theta3b);
305
306 - theta4a_theta4b= linspace(theta4a,theta4b,20);
307 - theta4a_theta4b= transpose(theta4a_theta4b);
308
309 - theta5a_theta5b= linspace(theta5a,theta5b,20);
310 - theta5a_theta5b= transpose(theta5a_theta5b);
311
312 - theta6drop = 2.9670;
313 - theta6d = [2.9670];
314 - theta6d = theta6d(ones(1,20),:);
315
316 - theta6grab = 0.4363;
317 - theta6g = [0.4363];
318 - theta6g = theta6g(ones(1,20),:);
319
320 - grab_matrix = [ thetal thetalb theta2 theta2a theta3 theta3a theta4 theta4a theta5 theta5a theta6grab;
321 -               thetal thetalb theta2 theta2a theta3 theta3a theta4 theta4a theta5 theta5a theta6grab];
322
323 - drop_matrix = [ thetala thetala thetala theta2a theta2a theta2a theta3a theta3a theta3a theta4a theta4a theta4a theta5a theta5a theta5a theta6drop;
324 -               thetala thetala thetala theta2a theta2a theta2a theta3a theta3a theta3a theta4a theta4a theta4a theta5a theta5a theta5a theta6drop];
325
326 - target_to_after_matrix = [t_Thetala t_Theta2a t_Theta3a t_Theta4a t_Theta5a theta6g];
327
328 - after_to_before_matrix = [thetala_thetalb theta2a_theta2b
329 -                           theta3a_theta3b theta4a_theta4b
330 -                           theta5a_theta5b theta6d];
331
332 - movement_data2 = [movement_data2 Thetalb_t Theta2b_t Theta3b_t Theta4b_t Theta5b_t];
333 - movement_data2= [movement_data2 theta6d];
334 - movement_data2= [movement_data2; grab_matrix];
335 - movement_data2= [movement_data2; target_to_after_matrix];
336 - movement_data2= [movement_data2; drop_matrix];
337 - movement_data2= [movement_data2; after_to_before_matrix];
338 - data_titles=[0 0 0 0 0 0];
339 - movement_data2= [data_titles; movement_data2];
340 - disp(movement_data2)
341
342 %%
343 %Write to excel the simulation data
344 - movement_data2 = double(movement_data2);
345 - class(movement_data2)
346 - xlswrite('simulation_data_test.xlsx',movement_data2)
347 - T1.Properties.VariableUnits = {'Thetal', 'Thetalb', 'Theta2', 'Theta2a', 'Theta3', 'Theta3a', 'Theta4', 'Theta4a', 'Theta5', 'Theta5a', 'Theta6'};
348 - writecell(T1.Properties.VariableUnits,'simulation_data_test.xlsx','Range','A1')
349 - readcell('simulation_data_test.xlsx')
350

```



```

351 %%
352 %Create the movement data
353 - theta1b =90;
354 - theta2b =90;
355 - theta3b =87;
356 - theta4b =90;
357 - theta5b =90;
358
359 - theta1 =90-(theta1*(180/pi)); %check
360 - theta2 =(theta2*(180/pi));
361 - theta3 =90-(theta3*(180/pi));
362 - theta4 =90+(theta4*(180/pi));
363 - theta5 =90-(theta5*(180/pi));
364
365 %Calibration of the servo motors
366 - theta1 =theta1;
367 - theta2 =theta2;
368 - theta3 =theta3-3;
369 - theta4 =theta4;
370 - theta5 =theta5;
371
372 - thetala =180;
373 - theta2a =90;
374 - theta3a =127;
375 - theta4a =90;
376 - theta5a =90;
377 - movement data3 = [];
378
379 %Ano before of target
380 - Thetalb_t= linspace(theta1b,theta1,20);
381 - Thetalb_t= transpose(Thetalb_t);
382
383 - Theta2b_t= linspace(theta2b,theta2,20);
384 - Theta2b_t= transpose(Theta2b_t);
385
386 - Theta3b_t= linspace(theta3b,theta3,20);
387 - Theta3b_t= transpose(Theta3b_t);
388
389 - Theta4b_t= linspace(theta4b,theta4,20);
390 - Theta4b_t= transpose(Theta4b_t);
391
392 - Theta5b_t= linspace(theta5b,theta5,20);
393 - Theta5b_t= transpose(Theta5b_t);
394
395 %Ano target of after
396 - t_Thetala= linspace(thetal,thetala,20);
397 - t_Thetala= transpose(t_Thetala);
398
399 - t_Theta2a= linspace(theta2,theta2a,20);
400 - t_Theta2a= transpose(t_Theta2a);
401
402 - t_Theta3a= linspace(theta3,theta3a,20);
403 - t_Theta3a= transpose(t_Theta3a);
404

```

```

405 - t_Theta4a= linspace(theta4,theta4a,20);
406 - t_Theta4a= transpose(t_Theta4a);
407
408 - t_Theta5a= linspace(theta5,theta5a,20);
409 - t_Theta5a= transpose(t_Theta5a);
410
411 %Año after or before
412 - thetala_thetalb= linspace(thetala,thetalb,20);
413 - thetala_thetalb= transpose(thetala_thetalb);
414
415 - theta2a_theta2b= linspace(theta2a,theta2b,20);
416 - theta2a_theta2b= transpose(theta2a_theta2b);
417
418 - theta3a_theta3b= linspace(theta3a,theta3b,20);
419 - theta3a_theta3b= transpose(theta3a_theta3b);
420
421 - theta4a_theta4b= linspace(theta4a,theta4b,20);
422 - theta4a_theta4b= transpose(theta4a_theta4b);
423
424 - theta5a_theta5b= linspace(theta5a,theta5b,20);
425 - theta5a_theta5b= transpose(theta5a_theta5b);
426
427 - theta6drop = 170;
428 - theta6d = [170];
429 - theta6d = theta6d(ones(1,20),:);
430
431 - theta6grab = 25;
432 - theta6g = 25;
433 - theta6g = theta6g(ones(1,20),:);
434
435 - grab_matrix = [ thetal theta2 thetalb theta3 theta4 theta5 theta6grab;
436 -               thetal theta2 thetalb theta3 theta4 theta5 theta6grab;];
437
438 - drop_matrix = [ thetala theta2a thetalb theta3a theta4a theta5a theta6drop;
439 -               thetala theta2a thetalb theta3a theta4a theta5a theta6drop;];
440
441 - target_to_after_matrix = [t_Thetala t_Theta2a t_Theta3a t_Theta4a t_Theta5a theta6g];
442
443 - after_to_before_matrix = [thetala_thetalb theta2a_theta2b theta3a_theta3b
444 -                          theta4a_theta4b theta5a_theta5b theta6d];
445
446 - movement_data3 = [movement_data3 Thetalb_t Theta2b_t Theta3b_t Theta4b_t Theta5b_t];
447 - movement_data3= [movement_data3 theta6d];
448 - movement_data3= [movement_data3; grab_matrix];
449 - movement_data3= [movement_data3; target_to_after_matrix];
450 - movement_data3= [movement_data3; drop_matrix];
451 - movement_data3= [movement_data3; after_to_before_matrix];
452 - data= movement_data3;
453 - data_titles=[0 0 0 0 0 0];
454 - movement_data3= [data_titles; movement_data3];
455 - disp(movement_data3)
456

```

```

457 %%
458 %Write to excel
459 - movement_data3 = double(movement_data3);
460 - class(movement_data3)
461 - xlswrite('arduino_data_test.xlsx',movement_data3)
462 - T1.Properties.VariableUnits = {'Theta1', 'Theta2', 'Theta3', 'Theta4', 'Theta5', 'Theta6'};
463 - writecell(T1.Properties.VariableUnits,'arduino_data_test.xlsx','Range','A1")
464 - readcell('arduino_data_test.xlsx')
465
466
467 %%
468 %Data with time variables input to arduino
469 - time=[];
470 - time = linspace(1,64,64);
471 - time= transpose(time);
472 - arduino_data=[time data]
473 - arduino_data = double(arduino_data);
474 - disp(arduino_data)

```

**ΕΙΚΟΝΑ 3.9.9:** Κώδικας Matlab

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Αποτελέσματα-Συμπεράσματα:

Εν κατακλείδι, σε αυτό το κεφάλαιο, που αποτελεί το τελευταίο της διπλωματικής αυτής, θα γίνει αναφορά στις δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν κατά την διάρκεια της κατασκευής και της υλοποίησης του ρομποτικού συστήματος, καθώς επίσης και στο πώς θα μπορούσε να βελτιωθεί μελλοντικά.

Αρχικά, πρέπει να επισημανθεί ότι ο ρομποτικός βραχίονας, πέντε βαθμών ελευθερίας που κατασκευάστηκε από το μηδέν μέσα σε 3 μήνες, με ένα κόστος της τάξης των 125 ευρώ, εκτέλεσε επιτυχώς τον στόχο του. Ο στόχος του ήταν να αναγνωρίσει, να εντοπίσει και να πιάσει αυτόνομα ένα αντικείμενο που βρίσκεται στον χώρο εργασίας του και να το μετακινήσει σε ένα άλλο σημείο. Αυτό έγινε εφικτό με την χρήση μηχανικής όρασης, εξισώσεων κινηματικής, ενός απλού κυκλώματος με σερβοκινητήρες και ενός 3D εκτυπωτή. Ο στόχος του εν λόγω ρομποτικού συστήματος είναι η αναγνώριση και ο εντοπισμός αυτόματα του ενός αντικειμένου-στόχου που βρίσκεται στο χώρο εργασίας του ρομποτικού βραχίονα αλλά και στο οπτικό του πεδίο. Ύστερα, μετά την αναγνώριση και τον εντοπισμό του αντικειμένου-στόχου, ο ρομποτικός βραχίονας πιάνει το αντικείμενο και το τοποθετεί σε κάποιο άλλο σημείο του χώρου εργασίας ανάλογα με την “εικόνα” του αντικειμένου-στόχου.

Η υλοποίηση αυτού του ρομποτικού συστήματος αποτέλεσε μια μεγάλη πρόκληση καθώς παρουσιάστηκαν πολλές δυσκολίες αλλά παρόλα αυτά υλοποιήθηκε επιτυχώς. Οι δυσκολίες που παρουσιάστηκαν περιγράφονται λεπτομερώς παρακάτω. Η κυριότερη δυσκολία που αντιμετωπίστηκε ήταν η επίλυση του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος του ρομποτικού βραχίονα, καθώς το γεγονός ότι έχει πέντε βαθμούς ελευθερίας απαιτούσε πολύπλοκες πράξεις, αλλά αντιμετωπίστηκε ακολουθώντας την απαραίτητη μεθοδολογία. Μια ακόμη δυσκολία που αντιμετωπίστηκε είναι η τοποθέτηση της κάμερα στο κατάλληλο σημείο, παράλληλα και σταθερά, καθώς έπρεπε να βρίσκεται πάνω από το χώρο εργασίας του ρομπότ αλλά χωρίς να περιορίζει την κίνηση του. Επομένως, η βάση της κάμερας έπρεπε να ξεκινάει από εκτός της εμβέλειας του ρομποτικού συστήματος, και σε συνδυασμό με το σχετικά μεγάλο βάρος της κάμερας δημιουργούσε μια αθέμιτη καμπύλη στο μακετόχαρτο της βάση της, αλλά ευτυχώς λύθηκε με την προσθήκη υποστηρικτικής δομής. Μια ακόμη δυσκολία στο υλικό μέρος της κατασκευής που αντιμετωπίστηκε ήταν η εξεύρεση της κατάλληλης παροχής για το κύκλωμα που δημιουργήθηκε, αλλά επιλύθηκε και αυτό όπως φαίνεται στην αντίστοιχη ενότητα του τρίτου κεφαλαίου με την τροποποίηση και αξιοποίηση δύο φορτιστών κινητών. Τέλος, όσον αφορά το προγραμματιστικό κομμάτι, πέρα από τις συνήθεις δυσκολίες που απορρέουν από την δημιουργία ενός εντελώς νέου και πρωτότυπου προγράμματος, η κυριότερη δυσκολία ήταν ο συνδυασμός όλων των επιμέρους μερών σε ένα πρόγραμμα ώστε να δουλεύουν αρμονικά όλα μαζί. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε έπρεπε να συνδυάζει την είσοδο της κάμερας, δηλαδή τις εικόνες του χώρου εργασίας, το νευρωνικό δίκτυο μηχανικής όρασης, την συσχέτιση της εικόνας με τον χώρο εργασίας, τις εξισώσεις κινηματικής, τον σχεδιασμό της επιθυμητής τροχιάς αλλά και την μεταφορά των δεδομένων στα βοηθητικά simulink προγράμματα για τον έλεγχο του arduino και για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης.

Παρόλο που ο στόχος του ρομποτικού συστήματος επιτευχθεί προέκυψαν δύο αμελητέα προβλήματα που δεν απέτρεψαν τον ρομποτικό βραχίονα να υλοποιήσει τον στόχο του. Αλλά αξίζει να αναφερθούν προκειμένου να βελτιωθούν μελλοντικά. Τα προβλήματα αυτά ήταν το ότι ο κάθε ένας σύνδεσμος συνδεόταν με τον άλλον κατευθείαν πάνω στον άξονα του σερβοκινητήρα δημιουργώντας μια μικρή αστάθεια, και το άλλο πρόβλημα ήταν το ότι το ρομποτικό σύστημα δεν αναγνωρίζει τον προσανατολισμό του αντικειμένου-στόχου και επομένως η δυνατότητα προσαρμογής του τελικού εργαλείου για το κάθε αντικείμενο στόχο είναι ελαφρώς περιορισμένη.

Συνεπώς, υπάρχει χώρος για την περαιτέρω βελτίωση του ρομποτικού βραχίονα αυτού. Μια πρόταση για την βελτίωση του ρομποτικού βραχίονα είναι γίνει αλλαγή δομή των αρθρώσεων προκειμένου να ανεξαρτοποιηθούν οι αρθρώσεις από τους άξονες των σερβοκινητήρων. Επίσης, ο αλγόριθμος θα μπορούσε να τροποποιηθεί περαιτέρω για να γίνει ακόμα πιο καινοτόμος με σκοπό να μπορεί να αναγνωρίσει τον προσανατολισμό του αντικειμένου-στόχου. Επιπροσθέτως, λόγω του μεγέθους του, δεν προορίζεται για την εκτέλεση εργασιών με βαριά αντικείμενα αλλά για εργασίες που απαιτούν δεξιοτήτα και ενασχόληση με μικρών αντικειμένου. Συνεπώς, μια ακόμη πιθανή βελτίωση είναι να εξοπλιστεί με διάφορους αισθητήρες προκειμένου να έχει την δυνατότητα να εργαστεί με ασφάλεια κοντά σε έναν άνθρωπο. Εν ολίγοις να γίνει ένα Cobot (Collaborative robots), τα οποία Cobot αποτελούν το μέλλον των ρομποτικών βραχιόνων.

Τέλος, στον ιστότοπο κοινοποίησης βίντεο που λέγεται Youtube, έχω ανεβάσει ένα βίντεο στο οποίο γίνεται μια ολιγόλεπτη επίδειξη της λειτουργίας του ρομποτικού συστήματος που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής. Ο παρακάτω σύνδεσμος οδηγεί στο εν λόγω βίντεο:

▶ **3D PRINTED 5DOF ROBOTIC ARM WITH COMPUTER VISION (Arduino+Matlab)**  
(<https://youtu.be/keynnw3Ob3U>)

## **Βιβλιογραφία:**

1. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. 2020. “Τι είναι η τεχνητή νοημοσύνη και πώς χρησιμοποιείται;.” Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο.  
<https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/society/20200827STO85804/ti-eina-i-i-techniti-noimosuni-kai-pos-chrisimopoeitai>.
2. IBM. n.d. “What are Convolutional Neural Networks?” IBM. Accessed January 4, 2023.  
<https://www.ibm.com/cloud/learn/convolutional-neural-networks#toc-how-do-con--z4UwR2M>.
3. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα ΗΜ & ΤΥ. n.d. “Inverse Kinematics.” Εργαστήριο Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Συστημάτων. Accessed January 4, 2023.  
<http://www.sml.ece.upatras.gr/images/UploadedFiles/rompotiki/InverseKinematics.pdf>.
4. Ashtari, Hossein. 2022. “Computer Vision Meaning, Examples, Applications.” Spiceworks.  
<https://www.spiceworks.com/tech/artificial-intelligence/articles/what-is-computer-vision/>.
5. Ashtari, Hossein. 2022. “How a 3D Printer Works and What It Is Used for.” Spiceworks. <https://www.spiceworks.com/tech/devops/articles/what-is-3d-printing/>.
6. Burns, Ed. n.d. “What is Artificial Intelligence (AI)? Definition, Benefits and Use Cases.” TechTarget. Accessed January 4, 2023.  
<https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/AI-Artificial-Intelligence>.
7. Chen, Ting-Hao. 2017. “What is “stride” in Convolutional Neural Network? | by Ting-Hao Chen | Machine Learning Notes.” Medium.



<https://medium.com/machine-learning-algorithms/what-is-stride-in-convolutional-neural-network-e3b4ae9baedb>.

8. Circuit Schools. 2020. "What is Arduino, how it works and what you can do with arduino – Circuit Schools." Circuit Schools.  
[https://www.circuitschools.com/what-is-arduino-how-it-works-and-what-you-can-do-with-arduino/#What\\_is\\_Arduino](https://www.circuitschools.com/what-is-arduino-how-it-works-and-what-you-can-do-with-arduino/#What_is_Arduino).
9. Corke, Peter. n.d. "Right-Handed 3D Coordinate Frame." Robot Academy. Accessed January 4, 2023.  
<https://robotacademy.net.au/lesson/right-handed-3d-coordinate-frame/>.
10. Deits, Robin. 2012. "Denavit Hartenberg Analysis, Part 5: Assigning Coordinate Frames ←." Playing with Legos.  
<https://blog.robindeits.com/2012/06/25/denavit-hartenberg-analysis-part-5-assigning-coordinate-frames/>.
11. Dejan. n.d. "DIY Arduino Robot Arm with Smartphone Control." How To Mechatronics. Accessed January 4, 2023.  
<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/diy-arduino-robot-arm-with-smartphone-control/>.
12. DesignTech CAD Academy. n.d. "Introduction to CAD, Background, Uses and Types of CAD Software." DesignTech CAD Academy. Accessed January 4, 2023.  
<https://www.designtechcadacademy.com/knowledge-base/introduction-to-cad>.
13. Develop3D. 2022. "The Future Of CAD - DEVELOP3D." Develop3D.  
<https://develop3d.com/cad/the-future-of-cad/>.
14. Electronics Hub. 2017. "Basics of Microcontrollers: History, Structure, Applications." Electronics Hub.

- [https://www.electronicshub.org/microcontrollers-basics-structure-applications/#Rise\\_of\\_Microcontrollers](https://www.electronicshub.org/microcontrollers-basics-structure-applications/#Rise_of_Microcontrollers).
15. Electronics Hub. 2017. "Basics of Microcontrollers: History, Structure, Applications." Electronics Hub.  
[https://www.electronicshub.org/microcontrollers-basics-structure-applications/#Basic\\_Structure\\_of\\_a\\_Microcontroller](https://www.electronicshub.org/microcontrollers-basics-structure-applications/#Basic_Structure_of_a_Microcontroller).
  16. Embedded Training Institute. 2019. "Types Of Microcontroller - Lists Of Microcontroller Applications." Embedded Training Institute.  
<https://embeddedschool.in/different-types-of-microcontroller-programming-used-in-embedded-systems/>.
  17. Gonzalez, Carlos M. 2022. "Machine Vision and AI Will Evolve Today's Robot." ASME.  
<https://www.asme.org/topics-resources/content/robotics-blog-a-robot-machine-vision-is-the-key-to-its-future>.
  18. Hägele, Martin, Klas Nilsson, Norberto Pires, and Rainer Bischoff. 2016. "Springer Handbook of Robotics | Industrial Robotics." Springer Link.  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-32552-1\\_54#ref-CR17](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-32552-1_54#ref-CR17).
  19. Hanh, Le Duc. 2020. "Computer Vision for Industrial Robot in Planar Bin Picking Application." ResearchGate.  
[https://www.researchgate.net/publication/347996294\\_Computer\\_Vision\\_for\\_Industrial\\_Robot\\_in\\_Planar\\_Bin\\_Picking\\_Application](https://www.researchgate.net/publication/347996294_Computer_Vision_for_Industrial_Robot_in_Planar_Bin_Picking_Application).
  20. Hintze, Arend, and Katya Maruri. 2016. "Understanding the Four Types of Artificial Intelligence." Government Technology.  
<https://www.govtech.com/computing/understanding-the-four-types-of-artificial-intelligence.html>.

21. Hu, Huosheng, De Xu\*†‡, Carlos A. Acosta Calderon, and John Q. Gan. 2005. "An Analysis of the Inverse Kinematics for a 5-DOF Manipulator." link Springer.  
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11633-005-0114-1.pdf>.
22. IBM. n.d. "What are Convolutional Neural Networks?" IBM. Accessed January 4, 2023.  
<https://www.ibm.com/cloud/learn/convolutional-neural-networks#toc-what-are-c-MWGVhUiG>.
23. IBM. n.d. "What are Recurrent Neural Networks?" IBM. Accessed January 4, 2023.  
<https://www.ibm.com/cloud/learn/recurrent-neural-networks>.
24. Institute of Electrical and Electronics Engineers. n.d. "A short history of 3D printing, a technological revolution just started." IEEE Xplore.  
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7307314>.
25. IQS Directory. n.d. "Industrial Robot: What Is It? How Does It Work? Types Of." IQS Directory. Accessed January 4, 2023.  
<https://www.iqsdirectory.com/articles/automation-equipment/industrial-robots.html>.
26. Keserer, Ekin. 2022. "The six main subsets of AI: (Machine learning, NLP, and more)." Akkio.  
<https://www.akkio.com/post/the-five-main-subsets-of-ai-machine-learning-nlp-and-more>.
27. Krishna, Sai. n.d. "Forward Kinematics | ROS Robotics." Robotics and ROS. Accessed January 4, 2023. <https://www.rosroboticslearning.com/forward-kinematics>.
28. The MathWorks, Inc. n.d. "Object Detection - MATLAB & Simulink." MathWorks. Accessed January 4, 2023.  
<https://www.mathworks.com/help/vision/object-detection.html>.

29. MATLAB. 2019. "Simulink IO on Arduino." YouTube.  
[https://www.youtube.com/watch?v=ksUSdFlAkAI&list=LL&ab\\_channel=MATLAB](https://www.youtube.com/watch?v=ksUSdFlAkAI&list=LL&ab_channel=MATLAB).
30. Mecharithm. n.d. "Homogenous Transformation Matrices for Configurations in Robotics." Mecharithm. Accessed January 4, 2023.  
<https://www.mecharithm.com/homogenous-transformation-matrices-configurations-in-robotics/>.
31. MT Engineering. 2022. "The Full Modeling and simulation of a Robotic Arm using MATLAB simscape multibody and Solidworks." YouTube.  
[https://www.youtube.com/watch?v=pDiwAA1cnb0&ab\\_channel=MTEngineering](https://www.youtube.com/watch?v=pDiwAA1cnb0&ab_channel=MTEngineering).
32. Owen, Alex. 2022. "How to Calculate a Robot's Forward Kinematics in 5 Easy Steps." Robotiq's blog.  
<https://blog.robotiq.com/how-to-calculate-a-robots-forward-kinematics-in-5-easy-steps>.
33. The Physics Classroom. n.d. "Introduction to Kinematics." The Physics Classroom. Accessed January 4, 2023.  
<https://www.physicsclassroom.com/class/1DKin/Lesson-1/Introduction>.
34. Prajankya Sonar. n.d. "Transformation matrix from D-H Parameters." Prajankya Sonar. Accessed January 4, 2023. <https://prajankya.me/dh/>.
35. Reynoso, Rebecca. 2021. "A Complete History of Artificial Intelligence." G2.  
<https://www.g2.com/articles/history-of-artificial-intelligence>.
36. "Robots Using Machine Vision in Industrial Applications and Systems." n.d. RSIP Vision. Accessed January 4, 2023.  
<https://www.rsipvision.com/robots-using-machine-vision-in-industrial-applications/>.
37. "Rotation matrix." n.d. Wikipedia. Accessed January 4, 2023.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Rotation\\_matrix](https://en.wikipedia.org/wiki/Rotation_matrix).

38. Shahabi, Ebrahim. n.d. "Fig. 2. The four classic DH parameters for rigid linkage kinematics." ResearchGate. Accessed January 4, 2023.  
[https://www.researchgate.net/figure/The-four-classic-DH-parameters-for-rigid-linkage-kinematics\\_fig1\\_333761139](https://www.researchgate.net/figure/The-four-classic-DH-parameters-for-rigid-linkage-kinematics_fig1_333761139).
39. Shaikat, Abu Salman. 2020. "Computer Vision Based Industrial Robotic Arm for Sorting Objects by Color and Height." ResearchGate.  
[https://www.researchgate.net/publication/347526814\\_Computer\\_Vision\\_Based\\_Industrial\\_Robotic\\_Arm\\_for\\_Sorting\\_Objects\\_by\\_Color\\_and\\_Height](https://www.researchgate.net/publication/347526814_Computer_Vision_Based_Industrial_Robotic_Arm_for_Sorting_Objects_by_Color_and_Height).
40. Shastri, Akash. 2020. "5 Neural network architectures you must know for Computer Vision." Towards Data Science.  
<https://towardsdatascience.com/5-neural-network-architectures-you-must-know-for-computer-vision-31d2991fe24e>.
41. 3Dexpert. n.d. "3D printer Creality CR-20 Pro." 3Dexpert. Accessed January 4, 2023.  
<https://www.3dexpert.gr/eshop/el/3d-printer-creality-cr-20-pro>.
42. Tzafestas, Costas, and George Moustiris. 2020. "Handbook of Robotic and Image-Guided Surgery." Science direct.  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/forward-kinematics>.
43. viakkala. 2021. "matlab-deep-learning/Object-Detection-Using-Pretrained-YOLO-v2: YOLO v2 prediction and training in MATLAB for Object Detection with darknet19 & tinyYOLOv2 base networks." GitHub.  
<https://github.com/matlab-deep-learning/Object-Detection-Using-Pretrained-YOLO-v2>.
44. Wind River Systems. n.d. "Computer Vision and Robotics Use Case | Wind River." Wind River Systems. Accessed January 4, 2023.  
<https://www.windriver.com/resource/computer-vision-and-robotics-use-case>.

45. Wivagg, Daniel, Nick Benoit, and Mary Hatfalvi. n.d. “RBE 3001 Lab 5 Final Project.” Squarespace. Accessed January 4, 2023.  
[https://static1.squarespace.com/static/5e14ea4e470eb15c4ccb7f/t/5e45d6e1822cbb5295e6dbcc/1581635298217/RBE\\_3001\\_Lab\\_5\\_Final\\_Project.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5e14ea4e470eb15c4ccb7f/t/5e45d6e1822cbb5295e6dbcc/1581635298217/RBE_3001_Lab_5_Final_Project.pdf).
46. Yang, Qixing, Jiachun Chen, Lijun Yang, and Zhenhuan Liu. 2021. “Target Recognition of Industrial Robots Using Machine Vision in 5G Environment.” Frontiers. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbot.2021.624466/full>.
47. Zaxaria, Paraskevi. n.d. “Κινηματική των ρομπότ.” Eclass UNIWA. Accessed January 4, 2023.  
[https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IDPE263/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82%202022-2023/4\\_%CE%9A%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B7A.pdf](https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IDPE263/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82%202022-2023/4_%CE%9A%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B7A.pdf).
48. Zaxaria, Paraskevi. n.d. “Κίνηση Στερεών Σωμάτων.” Eclass UNIWA. Accessed January 4, 2023.  
[https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IDPE263/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82%202022-2023/3\\_%CE%9A%CE%AF%CE%BD%CE%B7%CF%83%CE%B7%20%CE%A3%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B5%CF%8E%CE%BD%20%CE%A3%CF%89%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD%CE](https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/IDPE263/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82%202022-2023/3_%CE%9A%CE%AF%CE%BD%CE%B7%CF%83%CE%B7%20%CE%A3%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B5%CF%8E%CE%BD%20%CE%A3%CF%89%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD%CE).