



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ρομποτική 1:
Ρομποτικό Κύτταρο

Ομάδα A2-4

Αλκιβιάδης Παναγιώτης Μιχαηλίτσης Α.Μ: 03118868

Αργύρης Μανέτας Α.Μ.: 03117019

Παναγιώτης Κάπρος Α.Μ: 03118926

Θεοδόσιος Πουντρίδης Α.Μ.: 03117093

Σκοπός

Σκοπός της εργαστηριακής άσκησης είναι η εξοικείωση του φοιτητή με τον ρομποτικό βραχίονα και τον προγραμματισμό αυτού. Επίσης μέσω της εφαρμογής της ευθείας και της αντίστροφης κινηματικής ανάλυσης οι φοιτητές εξοικειώνονται με τη θεωρία της κινηματικής. Τέλος οι φοιτητές είχαν την ευκαιρία να μελετήσουν την τεχνολογία των αισθητήρων.

Επιμέρους μηχανισμοί

Η εργαστηριακή διάταξη αποτελείται από τα εξής:

- **Αρθρωτό ρομπότ IR52C.**
- **Επαγωγικός αισθητήρας:** Σκοπός του είναι η αναγνώριση του αντικειμένου αν είναι μεταλλικό ή όχι
- **Χωρητικός αισθητήρας:** Εάν το αντικείμενο προς αναγνώριση είναι μπαταρία και τοποθετηθεί με την σωστή πολικότητα στον αισθητήρα, τότε ένα LED θα φωτίσει.
- **Οπτικός αισθητήρας:** Μέσω την αντανάκλασης είναι δυνατή η διαπίστωση ύπαρξης ή μη ενός αντικειμένου μπροστά στον αισθητήρα.
- **Ηλεκτροπνευματικό έμβολο και βαλβίδες:** Στην κατάσταση όπου το πρώτο αντικείμενο δεν έχει ελεγχθεί και γίνεται η μεταφορά του πάνω από τα άλλα αντικείμενα, το έμβολο εκτείνεται και τοποθετεί το αντικείμενο μπροστά από τον οπτικό αισθητήρα. Στην συνέχεια συσπειρώνεται για να ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία.
- **Ηλεκτρομηχανικά έμβολα:** Η λειτουργία των εμβόλων είναι η επικόλληση ετικετών πριν τα αντικείμενα τοποθετηθούν στις τελικές τους θέσεις.
- **Συμπιεστής αέρα:** Σκοπός του είναι να δώσει την δυνατότητα κίνησης του στομίου του εργαλείου ώστε να είναι δυνατό να σηκώνει τα αντικείμενα προς εξέταση με αρκετή δύναμη μέσω του πεπιεσμένου αέρα.

Περιγραφή βραχίονα

Αρθρωτό ρομπότ IR52C: Σκοπός του είναι να εκτελεί εφαρμογές χειρισμού με ευελιξία. Αποτελείται από πέντε στροφικούς άξονες και μια αρπαγή ως τελικό σημείο. Κάθε ένας από τους πέντε άξονες περιστροφής οδηγείται από σερβομηχανισμούς υψηλης απόδοσης και το εύρος κίνησης του κάθε άξονα έχει ως εξής:

1. Άξονας 1: $A_1 \pm 140^\circ$

2. Άξονας 2: $A_2 \pm 86^\circ$
3. Άξονας 3: $A_3 \pm 105^\circ$
4. Άξονας 4: $A_4 \pm 100^\circ$
5. Άξονας 5: $A_5 \pm 180^\circ$

Η εφαρμογή την οποία θέλουμε να εκτελέσει το ρομπότ έχει ως σκοπό την αναγνώριση των αντικειμένων που βρίσκονται στην στοίβα, την επικόλληση ετικέτας που θα τα διαχωρίζει μεταξύ μεταλλικών και μη μεταλλικών και την τελική τοποθέτησή τους στην παλέτα. Το κάθε είδος αντικειμένου(μπαταρία, μεταλλικός κύλινδρος και πλαστικός κύλινδρος) τοποθετείται στην ανάλογη στήλη.

Συστήματα συντεταγμένων

Το ρομπότ μπορεί να κινηθεί σε τρία διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων και ανάλογα την κίνηση που επιθυμούμε να εκτελέσουμε, επιλέγεται το κατάλληλο σύστημα. Συγκεκριμένα:

- Σύστημα παγκόσμιων συντεταγμένων:
Σε αυτό το σύστημα το ρομπότ ακολουθεί τα σημεία του χώρου που προσδιορίζονται από τις συντεταγμένες (x, y, z). Οι συντεταγμένες βρίσκονται σε κάθετους ανά δύο άξονες ορίζοντας ένα ορθοκανονικό σύστημα συντεταγμένων. Η αρχή των αξόνων θεωρείται συνήθως η βάση του ρομπότ. Όταν γίνεται χρήση αυτού του συστήματος συντεταγμένων ο προσανατολισμός του end-effector διατηρείται.
- Σύστημα αξονικών συντεταγμένων:
Σε αυτό το σύστημα χρησιμοποιούμε όλους τους άξονες κίνησης του ρομπότ αποσκοπώντας στον προσδιορισμό της θέσης αλλά και τα σημεία του στον χώρο. Δηλαδή η κάθε άρθρωση έχει το δικό της σύστημα συντεταγμένων και οι γωνίες είναι σχετικές.
- Σύστημα συντεταγμένων end-effector:
Στην περίπτωση αυτή, η αρχή των αξόνων βρίσκεται στο κέντρο του εργαλείου. Διακρίνεται σε δύο περιπτώσεις, μετατόπισης και περιστροφής. Με το πρώτο ελέγχεται η μετατόπιση του εργαλείου, ενώ με το δεύτερο η σχετική του περιστροφή στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων.

Για μεγάλες κινήσεις χρησιμοποιείται το σύστημα παγκόσμιων συντεταγμένων και το σύστημα αξονικών συντεταγμένων. Για μικρές και πιο ακριβείς κινήσεις χρησιμοποιείται το σύστημα συντεταγμένων του end-effector.

Χώρος εργασίας και Βαθμοί ελευθερίας:

Το ρομπότ του πειράματος έχει συνολικά 5 βαθμούς ελευθερίας και ο χώρος εργασίας είναι ουσιαστικά τα σημεία στα οποία το εργαλείο - end effector μπορεί να προσεγγίσει. Να σημειωθεί πως εκτός των προαναφερθέντων σημείων, περιλαμβάνονται ακόμα 10 σημεία όπου μαζί με τις προβολές τους δημιουργούν ένα υψηλότερο επίπεδο ασφαλείας. Για να κινηθεί το ρομπότ, θα πρέπει να έχουμε ως δεδομένα το τελικό σημείο που πρέπει να φτάσει και ποια μορφής θα είναι η κίνησή του δεδομένου ότι το σημείο εκκίνησης θεωρείται η αρχική θέση του ρομπότ. Για να γνωρίζει την θέση του στον χώρο, το ρομπότ εκτελεί μια διαδικασία “calibration” βάσει είτε τον προσδιορισμό των συντεταγμένων του εργαλείου ή με βάση τις γωνίες. Στον συγκεκριμένο βραχίονα, υπάρχουν οι εξής τρόποι διάταξης:

- **Elbow Up**
- **Elbow Down**
- **Front**
- **Back**

Τροχιές Κίνησης

Οι βασικοί τρόποι κίνησης του ρομπότ από ένα σημείο σε ένα άλλο είναι οι εξής:

- **Synchro PTP:** Με αυτόν τον τρόπο όλοι οι άξονες του ρομπότ κινούνται ταυτόχρονα και τερματίζουν ταυτόχρονα στο τελικό σημείο κάνοντας έτσι αυτόν τον τρόπο κίνησης χρονικά τον βέλτιστο.
- **Γραμμική Κίνηση:** Αυτός ο τρόπος κίνησης είναι κατάλληλος για ακρίβεια κατά την μετατόπιση. Συγκεκριμένα: το τελικό στοιχείο δράσης μετατοπίζεται στο τελικό σημείο μέσω μιας ευθείας μεταβάλλοντας και τις γωνίες γραμμικά ούτως ώστε να καλυφθεί η περίπτωση που ο προσανατολισμός του εργαλείου διαφέρει από την αρχική στην τελική θέση του.
- **Κυκλική Κίνηση:** Σε αυτή την περίπτωση, το τελικό σημείο αποτελεί ένα σημείο ενός κύκλου ή το κέντρο ενός κύκλου που θα διαγραφεί ένα τόξο. Η κίνηση μεταξύ των

σημείων πάνω από το επίπεδο αναφοράς γίνεται με PTP και η μετάβαση στο τελικό σημείο κάτω από το σημείο αναφοράς γίνεται γραμμικά.

Υπάρχουν δύο τρόποι για την κατάστρωση της τροχιάς, ο point-to-point και ο line.

Στον point-to-point γίνεται η αντίστροφη κινηματική ανάλυση μόνο για τα σημεία της τελικής και της αρχικής θέσης, ενώ στον point-to-point το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα δύο ακραία σημεία διαιρείται σε πολλά διαδοχικά σημεία και γίνεται η αντίστροφη κινηματική ανάλυση για κάθε ένα από αυτά. Ο point-to-point χρησιμοποιείται όταν ανάμεσα στα δύο ακραία σημεία δεν υπάρχει κάποιο εμπόδιο και όταν γενικά θεωρείται ότι δεν θα υπάρξει περίπτωση σύγκρουσης, διότι έχει χαμηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα αλλά η τροχιά είναι άγνωστη.

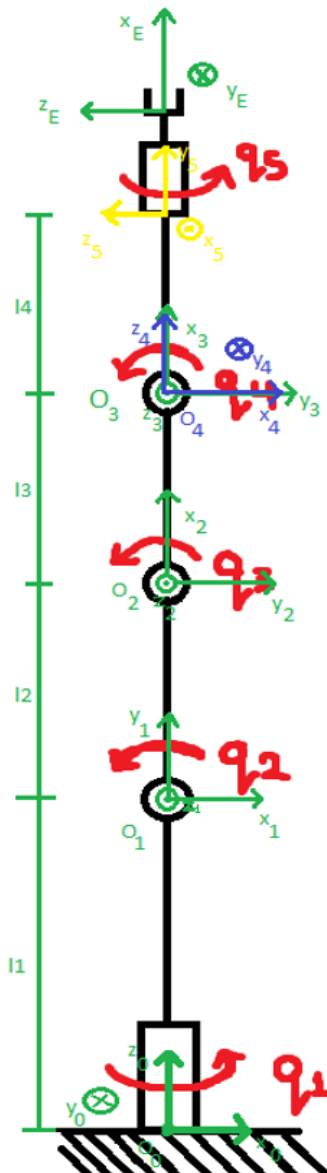
Ο line χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν εμπόδια κοντά στον μηχανισμό και επομένως είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η τροχιά, παρ'όλη την υψηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα.

Ευθεία Κινηματική Ανάλυση και Λύση Ορθού Κινηματικού Μοντέλου με D-H

Η ευθεία κινηματική ανάλυση έχει ως σκοπό τον προσδιορισμό της θέσης και του προσανατολισμού του τελικού στοιχείου δράσης, αν είναι δεδομένες οι μετατοπίσεις των αρθρώσεων q_i . Στον συγκεκριμένο ρομποτικό μηχανισμό έχουμε πέντε αρθρώσεις. Ο τελικός πίνακας μετασχηματισμού θα προκύψει από τον συνδυασμό των διαδοχικών μετασχηματισμών A^{i-1}_i .

Για να βρούμε τους διαδοχικούς μετασχηματισμούς εκμεταλλευόμαστε το γεγονός ότι αυτοί προκύπτουν εύκολα από τις γραμμές του πίνακα Denavit-Hartenberg.

Για την υλοποίηση του πίνακα D-H είναι απαραίτητος ο ορισμός των συστημάτων συντεταγμένων στις αρθρώσεις.



Τους άξονες σε κάθε άρθρωση τους τοποθετούμε με τους εξής κανόνες:

1. Ο άξονας z_{i-1} πρέπει να ορίζει την άρθρωση q_i , δηλαδή στην περίπτωση μας που έχουμε μόνο περιστροφικές αρθρώσεις, να είναι ο άξονας περιστροφής της άρθρωσης.
2. Ο άξονας x_i να βρίσκεται πάνω στην κοινή κάθετο των z_{i-1} και z_i αξόνων.

Ήταν απαραίτητο να τοποθετήσουμε πριν το εργαλείο ένα βοηθητικό σύστημα αξόνων, διότι δεν ήταν συμβατή η τοποθέτηση των προτεινόμενων αξόνων του συστήματος του εργαλείου με τους άξονες του συστήματος Σ_4 . Οι βοηθητικοί άξονες φαίνονται με κίτρινο χρώμα.

Επίσης θεωρούμε ότι δεν υπάρχει απόσταση μεταξύ της τελευταίας άρθρωσης και του εργαλείου.

Ο πίνακας παραμέτρων D-H που προκύπτει λοιπόν, είναι ο εξής:

Πίνακας Παραμέτρων D - H				
i	θ	d	a	α
1	$q_1 + 0$	l_1	0	$\pi/2$
2	$q_2 + \pi/2$	0	l_2	0
3	q_3	0	l_3	0
4	$q_4 - \pi/2$	0	0	$-\pi/2$
5	$q_5 - \pi/2$	l_4	0	$\pi/2$
E	$\pi/2$	0	0	0

Από τον πίνακα Denavit-Hartenberg προκύπτουν εύκολα οι ομογενείς πίνακες που ορίζουν τους μετασχηματισμούς συντεταγμένων ως εξής:

$$A^0_1 = \text{Rot}(z, q_1) \text{Tra}(z, l_1) \text{Rot}(x, \pi/2)$$

$$A^1_2 = \text{Rot}(z, q_2 + \pi/2) \text{Tra}(x, l_2)$$

$$A^2_3 = \text{Rot}(z, q_3) \text{Tra}(x, l_3)$$

$$A^3_4 = \text{Rot}(z, q_4 - \pi/2) \text{Rot}(x, -\pi/2)$$

$$A^4_5 = \text{Rot}(z, q_5 - \pi/2) \text{Tra}(z, l_4) \text{Rot}(x, \pi/2)$$

$$A^5_E = \text{Rot}(z, \pi/2)$$

$$A^0_1 = \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & -c_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A^1_2 = \begin{bmatrix} -s_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ c_2 & -s_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -s_2 & -c_2 & 0 & -s_2 l_2 \\ c_2 & -s_2 & 0 & c_2 l_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & 0 \\ s_3 & c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & c_3 l_3 \\ s_3 & c_3 & 0 & s_3 l_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4^3 = \begin{bmatrix} s_4 & c_4 & 0 & 0 \\ -c_4 & s_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_4 & 0 & c_4 & 0 \\ -c_4 & 0 & s_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_5^4 = \begin{bmatrix} s_5 & c_5 & 0 & 0 \\ -c_5 & s_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_5 & 0 & -c_5 & 0 \\ -c_5 & 0 & -s_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_E^5 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_E^0 = A_1^0 \cdot A_2^1 \cdot A_3^2 \cdot A_4^3 \cdot A_5^4 \cdot A_E^5 = \begin{bmatrix} -c_1 s_{234} & -c_5 s_1 - c_1 s_5 c_{234} & s_1 s_5 - c_1 c_5 c_{234} & -c_1 (l_3 s_{23} + l_2 s_2 + l_4 s_{234}) \\ -s_1 s_{234} & c_1 c_5 - s_1 s_5 c_{234} & -c_1 s_5 - s_1 c_5 c_{234} & -s_1 (l_3 s_{23} + l_2 s_2 + l_4 s_{234}) \\ c_{234} & -s_5 s_{234} & -c_5 s_{234} & l_1 + l_2 c_2 + l_3 c_{23} + l_4 c_{234} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ανάστροφη Κινηματική Ανάλυση

Σκοπός της ανάστροφης κινηματικής ανάλυσης είναι ο προσδιορισμός της μεταβλητής q_i για κάθε άρθρωση συναρτήσει των θέσεων p_x , p_y , p_z όπου:

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -c_1 (l_3 s_{23} + l_2 s_2 + l_4 s_{234}) \\ -s_1 (l_3 s_{23} + l_2 s_2 + l_4 s_{234}) \\ l_1 + l_2 c_2 + l_3 c_{23} + l_4 c_{234} \end{bmatrix}$$

ούτως ώστε για μια δεδομένη θέση στον χώρο να γνωρίζουμε τις τιμές που πρέπει να λάβουν οι μεταβλητές των αρθρώσεων για την υλοποίηση της κίνησης. Από τον παραπάνω πίνακα βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα:

- Παρατηρείται πως μόνο τα x και y εξαρτώνται από την γωνία q_1 καθώς η πρώτη άρθρωση δεν είναι υπεύθυνη και για αλλαγή στο ύψος του εργαλείου.
- Υπάρχει διαδοχή στις αλλαγές που πραγματοποιούνται σε μία άρθρωση, δηλαδή, για κάθε μεταβολή σε μια άρθρωση υπάρχει άμεσο αντίκτυπο στην θέση των υπόλοιπων αρθρώσεων.
- Ούτε το p_x , το p_y ούτε το p_z εξαρτώνται από την q_5 .

Για το συγκεκριμένο πρόβλημα ο βραχίονας είναι δυνατό να κινηθεί με τους εξής τρόπους:

- Front - ElbowUp (για $q_3 < 0$)
- Front - ElbowDown (για $q_3 > 0$)
- Back - ElbowUp (για $q_3 < 0$)
- Back - ElbowDown (για $q_3 > 0$)

Ανάλυση σε Ψευδοκώδικα και Διάγραμμα Ροής

Παρακάτω θα περιγράψουμε την διαδικασία σε ψευδοκώδικα. Αρχικά θα ορίσουμε τις συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται:

change_position(mode, position): Διαδικασία που αλλάζει την θέση του βραχίονα από την τρέχουσα στην position. Για να συμβεί αυτό χρησιμοποιούμε τον τρόπο mode, που μπορεί να είναι Point to Point(PtoP) ή Line.

inductive(): Συνάρτηση που επιστρέφει τύπο bool. Είναι True αν ο επαγωγικός αισθητήρας έχει ανιχνεύσει μέταλλο, και False σε διαφορετική περίπτωση

optical(): Συνάρτηση που επιστρέφει τύπο bool. Είναι True αν ο οπτικός αισθητήρας έχει ανιχνεύσει αντικείμενο, και False σε διαφορετική περίπτωση

capacitive(): Συνάρτηση που επιστρέφει τύπο bool. Είναι True αν ο χωρητικός αισθητήρας έχει ανιχνεύσει φορτισμένο αντικείμενο, και False σε διαφορετική περίπτωση

open_gripper(): Διαδικασία που ανοίγει τον gripper

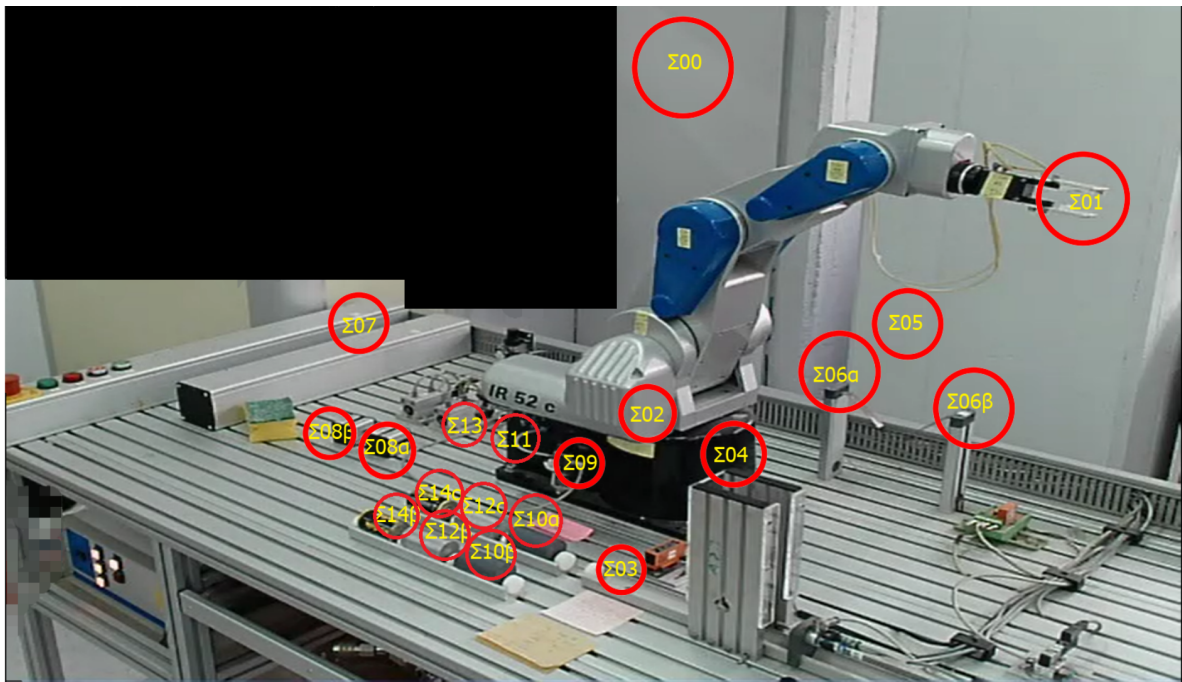
close_gripper(): Διαδικασία που κλείνει τον gripper

air_embolus_close(): Διαδικασία που κλείνει το έμβολο

put_label_metal(): Διαδικασία που επικολλεί την ετικέτα στα μεταλλικά αντικείμενα

put_label_plastic(): Διαδικασία που επικολλεί την ετικέτα στα πλαστικά αντικείμενα

Επίσης τα σημεία τα οποία αναφέρονται στον κώδικα έχουν ονομαστεί όπως αναγράφονται στις διαφάνειες και παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα:



Παρακάτω παρουσιάζουμε τον ψευδοκώδικα της διαδικασίας:

```
#Αρχικοποίηση της θέσης του βραχίονα
change_position('PToP', 'Σ01')
#Λίστα με την θέση στην οποία θα τοποθετηθεί ο κάθε κύλινδρος
#θέση 0 καθορίζει που θα τοποθετηθούν οι μπαταρίες, θέση 1 οι μεταλλικοί
#κύλινδροι, θέση 2 οι πλαστικοί
#Αυτή αρχικοποιείται στο B για όλα τα είδη κυλίνδρων, δηλαδή στην εξωτερική θέση
curr_pos_Π = ['B', 'B', 'B']
#Αρχικά θα διαβάσουμε τον επαγωγικό αισθητήρα για τον 2ο κύλινδρο από το τέλος
#Πρέπει να τοποθετήσουμε τον τελευταίο κύλινδρο στην κορυφή της στοίβας
#Λόγω της θέσης του επαγωγικού αισθητήρα
is_metal = inductive()
change_position('PToP', 'Σ02')
open_gripper()
air_embolus_open()
air_embolus_close()
change_position('Line', 'Σ03')
```

```

close_gripper()
change_position('Line', 'Σ02')
change_position('Line', 'Σ04')
open_gripper()
change_position('Line', 'Σ02')
#Το while loop θα σταματήσει μόνο όταν ο οπτικός αισθητήρας δεν θα ανιχνεύει
#κανένα αντικείμενο
while(True):
    #διαβάζουμε το αν είναι μέταλλο το επόμενο αντικείμενο
    is_metal_next = inductive()
    open_gripper()
    #αφαιρούμε από την στοίβα το τελευταίο αντικείμενο
    air_embolus_open()
    air_embolus_close()
    #αν δεν μπορεί να ανιχνευτεί κάποιο αντικείμενο φεύγουμε από το loop
    if not optical(): break
    change_position('Line', 'Σ03')
    close_gripper()
    #Αν έχει ανιχνευθεί αντικείμενο το πηγαίνουμε στον χωρητικό αισθητήρα
    #Για να ελέγξουμε αν είναι φορτισμένο
    change_position('Line', 'Σ02')
    change_position('PtoP', 'Σ05')
    change_position('Line', 'Σ06a')
    is_battery = capacitive()
    #Παραπάνω ανιχνεύσαμε το φορτίο μόνο από μια κατεύθυνση της μπαταρίας
    #Ο αισθητήρας αυτός είναι μονής κατεύθυνσης και αν ένα φορτισμένο
    #αντικείμενο δεν έχει τοποθετηθεί στον αισθητήρα με την σωστή φορά
    #έχει το ίδιο αποτέλεσμα με ένα αφόρτιστο αντικείμενο. Για αυτό ελέγχουμε
    #και την άλλη πλευρά του αντικειμένου αν έχουμε is_battery == False
    if not is_battery:
        change_position('Line', 'Σ05')
        change_position('Line', 'Σ06b')
        is_battery = capacitive()
    #Μετακινούμε το αντικείμενο για να τοποθετήσουμε ετικέτες
    change_position('Line', 'Σ05')
    change_position('PtoP', 'Σ01')
    change_position('PtoP', 'Σ07')
    #Αν είναι μεταλλικό το τοποθετούμε στην θέση β
    if is_metal:
        change_position('Line', 'Σ08b')
        put_label_metal()
    #Αλλιώς στην θέση α
    else:
        change_position('Line', 'Σ08a')
        put_label_plastic()
    change_position('Line', 'Σ07')
    #Συνεχίζουμε με την τοποθέτηση των αντικειμένων στις παλέτες
    #Αν το αντικείμενο είναι μπαταρία το τοποθετούμε στις θέσεις Σ13α ή Σ13β
    if is_battery:
        change_position('PtoP', 'Σ13')
        #Αν η λίστα curr_pos_Π έχει στην θέση 0(για μπαταρίες) Α, τότε

```

```

#τοποθετούμε την μπαταρία στην θέση A
if curr_pos_Π[0] == 'A':
    change_position('Line', 'Σ14a')
#Αλλιώς στην θέση B και την επόμενη φορά θα την τοποθετήσουμε στην A
else:
    change_position('Line', 'Σ14b')
    curr_pos_Π[0] = 'A'
    change_position('Line', 'Σ13')
#Ομοίως για τους μη φορτισμένους μεταλλικούς κυλίνδρους
elif is_metal:
    change_position('PToP', 'Σ11')
    if curr_pos_Π[1] == 'A':
        change_position('Line', 'Σ12a')
    else:
        change_position('Line', 'Σ12b')
        curr_pos_Π[1] = 'A'
    change_position('Line', 'Σ11')
#Ομοίως για τα πλαστικά
else:
    change_position('PToP', 'Σ09')
    if curr_pos_Π[2] == 'A':
        change_position('Line', 'Σ10a')
    else:
        change_position('Line', 'Σ10b')
        curr_pos_Π[2] = 'A'
    change_position('Line', 'Σ09')
#Τέλος επαναφέρουμε τον βραχίονα στην θέση του πριν το loop και
#Αποθηκεύουμε στην μεταβλητή is_metal την τιμή is_metal_next για τον
#τρέχοντα πλέον κύλινδρο
change_position('PToP', 'Σ02')
is_metal = is_metal_next

```

Το διάγραμμα ροής υποβλήθηκε μαζί με την εργασία.