ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧ/ΚΩΝ & ΜΗΧ/ΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ, ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

Ρομποτική Ι: Ανάλυση, Έλεγχος, Εργαστήριο

Εξαμηνιαία Εργασία

Ρομποτικός Χειριστής τριών στροφικών βαθμών ελευθερίας (Robotic Manipulator with 3 rotational DOF)

Γραπτή Αναφορά

Θεοδότη Στόικου

Α.Μ.: 03117085

ΗΜΜΥ, 7ο εξάμηνο

e-mail: dido.stoikou@gmail.com

Α. Θεωρητική Ανάλυση

Παρακάτω παραθέτουμε συνοπτικά τα αποτελέσματα, των οποίων οι αναλυτικοί υπολογισμοί έχουν γίνει χειρόγραφα και βρίσκονται στο αντίστοιχο έγγραφο της υποβολής.

1. Τα πλαίσια αναφοράς των συνδέσμων του βραχίονα έχουν τοποθετηθεί στο έγγραφο με τους αναλυτικούς υπολογισμούς.
   Ο πίνακας παραμέτρων D-H είναι ο ακόλουθος:

Σύνδεσμος i	θi	αi	di	ai
0′	0	π/2	-l0	l1
1	-π/2 + q1	-π/2	0	l3
2	q2	0	l2	l4
E	q3	0	0	l5

Για τη συνέχεια θεωρούμε l3=0.

2. Η ευθεία κινηματική εξίσωση του ρομπότ είναι:
$$\begin{bmatrix} s1*c23 & -s1*s23 & 0 & l5*s1*c23+l4*s1*c2+l2*c1+l1 \\ s23 & c23 & 0 & l5*s23+l4*s2 \\ -c1*c23 & c1*s23 & s1 & -l5*c1*c23-l4*c1*c2+l2*s1-l0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
Από τη μήτρα D-H, εξάγουμε τις μήτρες προσανατολισμού και θέσεις του τελικού εργαλείου:
R0E(q1, q2, q3) = $\begin{bmatrix} s1*c23 & -s1*s23 & 0 \\ s23 & c23 & 0 \\ -c1*c23 & c1*s23 & s1 \end{bmatrix}$
p0E(q1, q2, q3) = $\begin{bmatrix} l5*s1*c23+l4*s1*c2+l2*c1+l1 \\ l5*s23+l4*s2 \\ -l5*c1*c23-l4*c1*c2+l2*s1-l0 \end{bmatrix}$

3. Η Ιακωβιανή μήτρα είναι η ακόλουθη:
J =
$$\begin{bmatrix} l5*c1*c23+l4*c1*c2-l2*s1 & -l5*s1*s23-l4*s1*s2 & -l5*s1*s23 \\ 0 & l5*c23+l4*c2 & l5*c23 \\ l5*s1*c23+l4*s1*c2+l2*c1 & l5*c1*s23+l4*s2*c1 & l5*c1*s23 \\ 0 & c1 & c1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & s1 & s1 \end{bmatrix}$$

4. Το αντίστροφο διαφορικό κινηματικό μοντέλο του ρομπότ ως προς το τελικό εργαλείο δράσης και οι ιδιόμορφες κινηματικές διατάξεις του συστήματος μελετώνται αναλυτικά στο έγγραφο των υπολογισμών.
5. Το αντίστροφο γεωμετρικό μοντέλο του βραχίονα για δεδομένη θέση pE του τελικού εργαλείου δράσης είναι το ακόλουθο:
q1 = +- arccos($\frac{l2*(px-l1)-p'x*(pz+l0)}{(p'x)^2+(l2)\text{^}2}$)
q2 = -arctan2(l5*s3, l4 + l5*c3) + arcsin($\frac{py}{sqrt((l4)^2+2*l4*l5*c3+(l5)^2)}$)
q3 = +- arccos($\frac{(px-l1)^2+(pz+l0)^2-(l2)^2+(py)^2-(l4)^2-(l5)\text{^}2}{2*l4*l5}$)

Β. Κινηματική Προσομοίωση

Θεωρούμε l0=l1=l3=0. Επιπλέον, επιλέγουμε xA=10 cm, xB=0, T = 10 sec, D = 1 sec, l2=5 cm, l4=l5=10 cm, dt=0.01 sec, zA=zB=h=10 cm, yA=0 cm, yB=10 cm.

Άρα PA(0, 0, 15) και PB(0, 10, 15)

6. Για το σχεδιασμό τροχιάς επιλέγουμε πολυωνυμικές συναρτήσεις παρεμβολής, με χρήση της μεθόδου τριών φάσεων (επιτάχυνσης, σταθερής ταχύτητας και επιβράδυνσης), ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή κίνηση ως προς την ταχύτητα και την επιτάχυνση. Έχουμε:

y(t) = $\begin{cases} a0 + a1 * t + a2 * t^2 + a3 * t^3 + a4 * t^4 + a5 * t^5, \ \ t < \varDelta \\ b0 + b1 * t, \ \ \varDelta < t < T - \varDelta \\ c0 + c1 * t + c2 * t^2 + c3 * t^3 + c4 * t^4 + c5 * t^5, \ \ T - \varDelta < t < T \end{cases}$

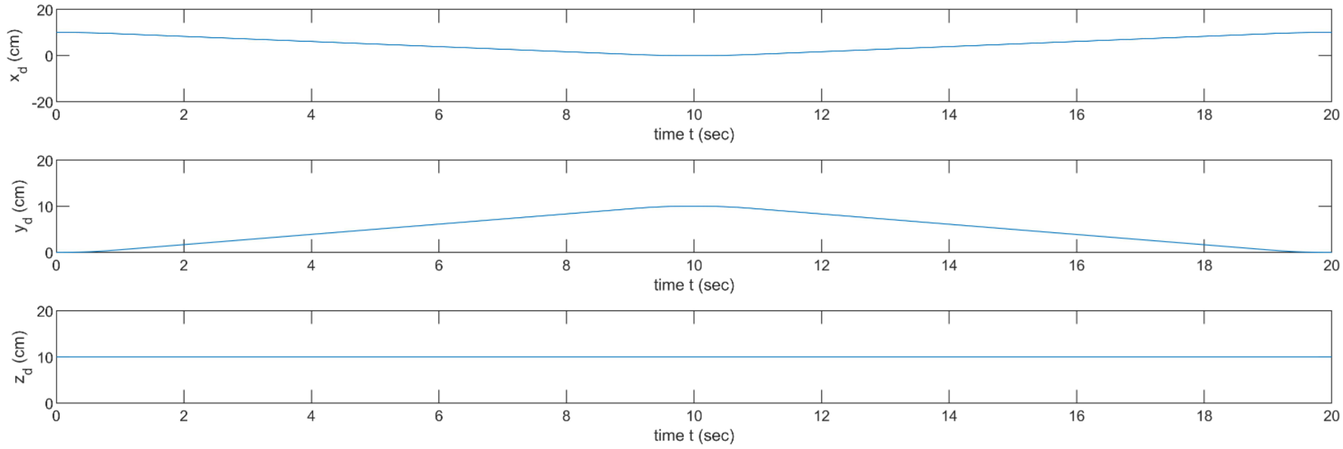
Έχουμε τους εξής περιορισμούς:

Περιορισμοί για την αρχική και την τελική κατάσταση:
y1(0)=yA, y3(T)=yB
u1(0)=uA, u3(T)=uB
γ1(0)=γA, γ3(T)=γB
Περιορισμοί σχετικά με την συνέχεια θέσης (τροχιάς):
y1(Δ)=y2(Δ), y2(T-Δ)=y3(T-Δ)
Περιορισμοί σχετικά με την συνέχεια ταχύτητας:
u1(Δ)=u2(Δ), u2(T-Δ)=u3(T-Δ)
Περιορισμοί σχετικά με την συνέχεια επιτάχυνσης:
γ1(Δ)=γ2(Δ), γ2(T-Δ)=γ3(T-Δ)
Περιορισμοί συσχέτισης της ταχύτητας:
y2(Δ) – y1(0) = 0.5 * Δ * u2
y3(T) – y2(T-Δ) = 0.5 * Δ * u2

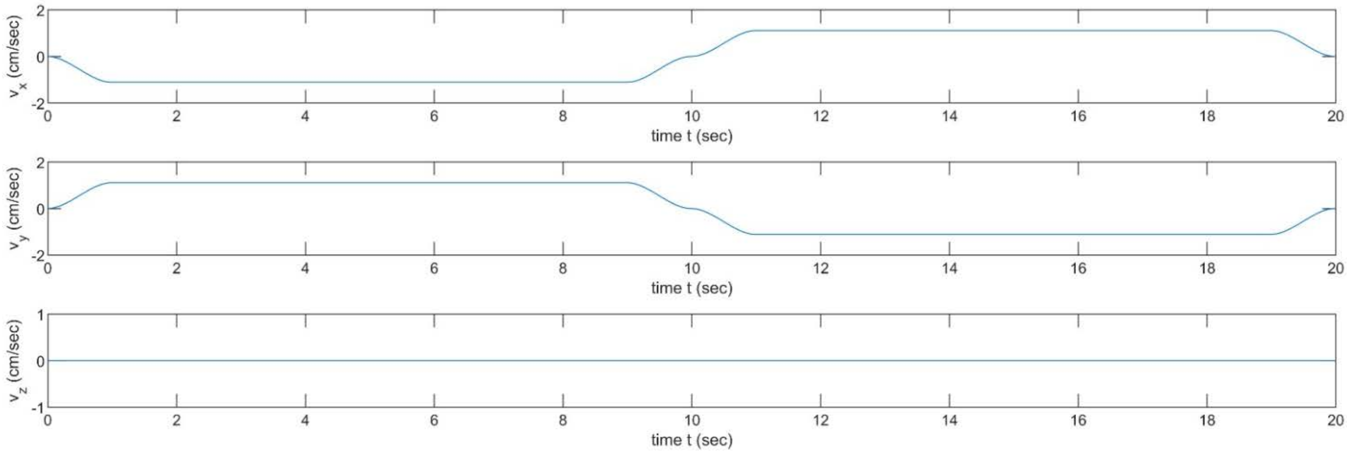
7. Περιγραφή του κώδικα Matlab:
Για την εύρεση των παραμέτρων χρησιμοποιούμε τις οριακές συνθήκες θέσης, ταχύτητας και επιτάχυνσης στα άκρα των διαδρομών και τη τη συνέχεια θέσης, ταχύτητας και επιτάχυνσης στα 2 σημεία εναλλαγής πολυωνύμου.
Θεωρούμε μηδενικές αρχικές και τελικές ταχύτητες και επιταχύνσεις.
Κάνουμε δειγματοληψία για να υπολογίσουμε τις ενδιάμεσες θέσεις και γραμμικές ταχύτητες του εργαλείου.
Μετά χρησιμοποιούμε τις σχέσεις αντίστροφης κινηματικής που υπολογίστηκαν παραπάνω για να βρούμε τις κατάλληλες τιμές των $q1$, $q2$, $q3$ για κάθε θέση.
Με βάση τις τιμές των $q1$, $q2$, $q3$υπολογίζουμε τις θέσεις των αρθρώσεων χρησιμοποιώντας την ευθεία κινηματική ανάλυση.
Με την αντίστροφη διαφορική κινηματική ανάλυση υπολογίζουμε τις απαραίτητες γωνιακές ταχύτητες των $q1$, $q2$, $q3$, ως προς τις αντίστοιχες γραμμικές του τελικού στοιχείου δράσης.

Παρακάτω ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των ζητούμενων μεγεθών:

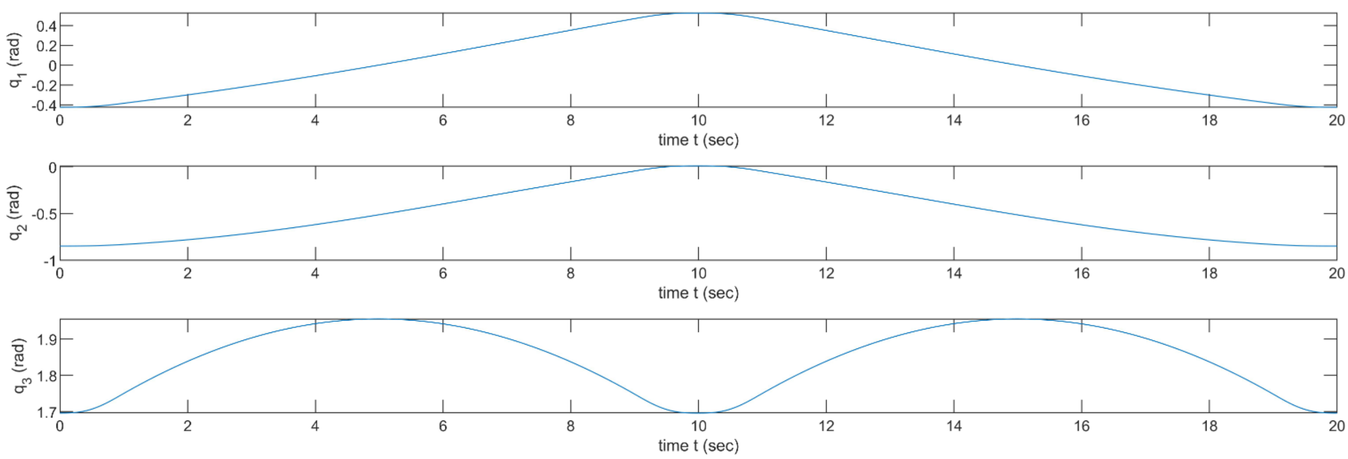
a) Επιθυμητή θέση του άκρου (pEx, pEy, pEz) του ρομπότ σε κάθε χρονική στιγμή t:

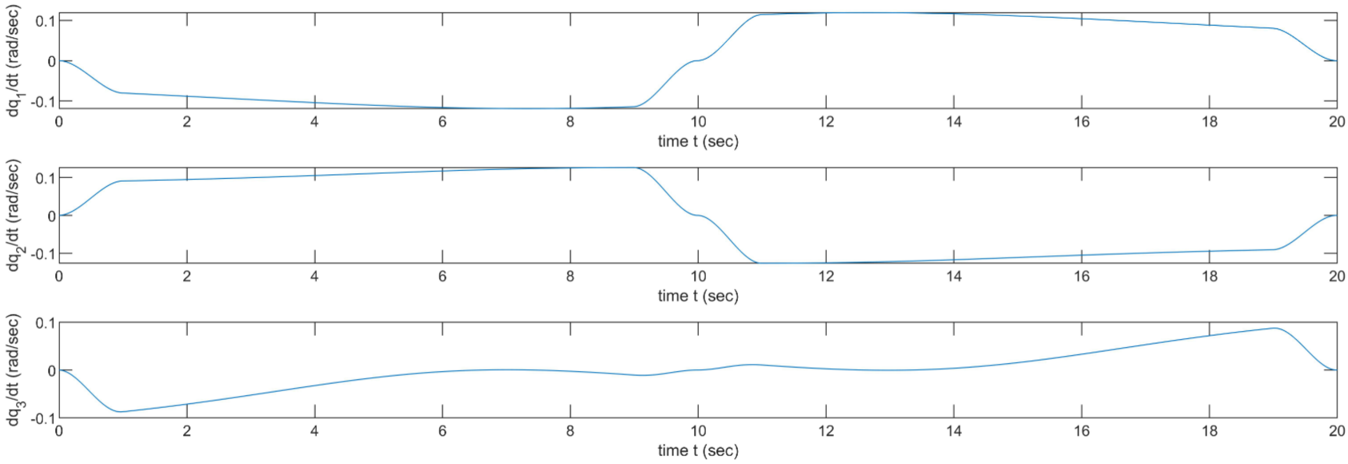


Γραμμική ταχύτητα του εργαλείου δράσης:



b) Γωνίες στροφής {q1, q2, q3} και γωνιακές ταχύτητες των αρθρώσεων, σε κάθε χρονική στιγμή t, κατά την εκτέλεση της εργασίας:





c) Διάγραμμα κίνησης που θα εικονίζει μια χρονική ακολουθία ενδιάμεσων διατάξεων της ρομποτικής κινηματικής αλυσίδας κατά την εκτέλεση της εργασί ας (από το animation της κίνησης):
Παρουσιάζουμε ενδεικτικά την elbow-up λύση: