



Μάθημα: "Ρομποτική Ι: Ανάλυση, Έλεγχος, Εργαστήριο" (Ακαδημαϊκό Έτος 2023-24)

Εξαμηνιαία Εργασία

Ρομποτικός Μηχανισμός 3 στροφικών βαθμών ελευθερίας (Robotic Leg Mechanism with 3 rotational DoF)

Στο Σχήμα 1 εικονίζεται η κινηματική δομή ενός ρομποτικού μηχανισμού τριών στροφικών βαθμών ελευθερίας $\{q_1, q_2, q_3\}$. Ο μηχανισμός αυτός έχει σχεδιασθεί να λειτουργεί ως ένα από τα πόδια ενός βαδίζοντος ρομπότ (walking robot). Τα μήκη των συνδέσμων $\{l_0, l_1, l_2, l_3\}$ θεωρούνται γνωστά και σταθερά. Η κινηματική διάταξη αρχικοποίησης (όπου $q_i=0$, για $i=1,2,3$) είναι αυτή που εικονίζεται στο Σχήμα 1.

ΜΕΡΟΣ Α. Θεωρητική Ανάλυση

1. Εφαρμόζοντας τη μέθοδο **Denavit-Hartenberg (D-H)** να τοποθετηθούν τα πλαίσια αναφοράς των συνδέσμων του μηχανισμού και να προσδιοριστεί ο πίνακας των παραμέτρων της μεθόδου.
2. Να προσδιορισθεί η ευθεία **κινηματική εξίσωση** του ρομποτικού μηχανισμού.
3. Να προσδιορισθεί η **Ιακωβιανή μήτρα** που περιγράφει το ευθύ διαφορικό κινηματικό μοντέλο για δοθείσα διάταξη του ρομποτικού μηχανισμού.
4. Να μελετηθεί το **αντίστροφο διαφορικό κινηματικό μοντέλο** του ρομποτικού μηχανισμού ως προς τη γραμμική ταχύτητα του άκρου O_E του μηχανισμού, και να προσδιορισθούν οι ιδιόμορφες κινηματικές διατάξεις του (singular configurations).
5. Να προσδιορισθεί το **αντίστροφο γεωμετρικό μοντέλο** του ρομποτικού μηχανισμού για δεδομένη θέση p_E του τελικού άκρου του.

ΜΕΡΟΣ Β. Κινηματική Προσομοίωση

Έστω ότι το κέντρο O_E του άκρου του ρομποτικού μηχανισμού καλείται, κατά την υλοποίηση ενός σχήματος βηματισμού του ρομπότ, να εκτελέσει *περιοδική μετατόπιση* μεταξύ δύο σημείων (στάσης) $P_A (x_A, y_A, z_A)$ και $P_B (x_B, y_B, z_B)$ επί του οριζοντίου επιπέδου βάδισης, η οποία αποτελείται από δύο τμήματα: (α) τμήμα ημικυκλικής τροχιάς (κέντρου P_C και ακτίνας R) ξεκινώντας από το σημείο P_A μέχρι το σημείο P_B (η οποία θεωρούμε ότι κείται επί κατακόρυφου επιπέδου) και (β) τμήμα ευθύγραμμης τροχιάς από το σημείο P_B μέχρι την επιστροφή στο σημείο P_A .

Θεωρούμε ότι: (α) τη χρονική στιγμή $t=0$ το τελικό άκρο του ρομπότ βρίσκεται ήδη (εν στάση) στη δεδομένη θέση P_A , (β) τα δύο τμήματα τροχιάς είναι ίσης χρονικής διάρκειας, και (γ) η συνολική χρονική περίοδος όλης της κίνησης είναι $T=2$ secs. Επιθυμητή, επίσης, είναι η ομαλότητα της εκτελούμενης τροχιάς (χρονική συνέχεια συνολικά της τροχιάς τουλάχιστον και ως προς την ταχύτητα).

6. Να περιγραφεί αναλυτικά ο **σχεδιασμός της επιθυμητής τροχιάς** στο χώρο εργασίας.
7. Να εκτελεστεί **κινηματική προσομοίωση** του ρομποτικού μηχανισμού και να δοθούν οι γραφικές παραστάσεις στο χρόνο (plots) των ακολούθων μεγεθών, που επιτυγχάνουν την εκτέλεση της επιθυμητής ρομποτικής εργασίας:

- (α) Το επιθυμητό προφίλ κίνησης του τελικού άκρου του ρομποτικού μηχανισμού, δηλαδή: (1) η επιθυμητή θέση (p_{Ex}, p_{Ey}, p_{Ez}) και (2) η γραμμική ταχύτητα του άκρου του ρομπότ σε κάθε χρονική στιγμή t .
- (β) Οι γωνίες στροφής $\{q_1, q_2, q_3\}$ και οι γωνιακές ταχύτητες $\{\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dot{q}_3\}$ των αρθρώσεων, σε κάθε χρονική στιγμή t , κατά την εκτέλεση της εργασίας.
- (γ) Ένα, τουλάχιστον, διάγραμμα κίνησης που θα εικονίζει μια χρονική ακολουθία ενδιάμεσων διατάξεων της ρομποτικής κινηματικής αλυσίδας κατά την εκτέλεση της εργασίας (από το animation της κίνησης).

Υποθέσεις: Για το μέρος Β (κινηματική προσομοίωση) της εργασίας, υποθέτουμε τα εξής μεγέθη:

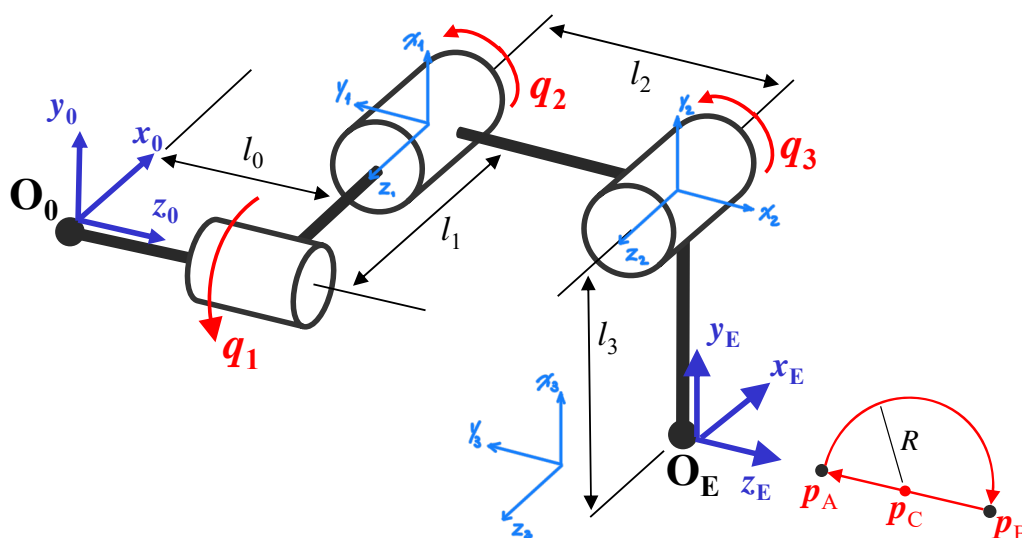
- $l_0=15\text{cm}, l_1=20\text{cm}, l_2=l_3=30\text{cm}$
- $(x_A, y_A, z_A)=(20, -30, 45)\text{cm}$ και $(x_B, y_B, z_B)=(20, -30, 60)\text{cm}$ (ήτοι, $R=7.5\text{cm}$)

Οι υπόλοιπες παράμετροι της επιθυμητής ρομποτικής εργασίας μπορεί να είναι της επιλογής σας για τις ανάγκες της κινηματικής προσομοίωσης.

Συμπληρωματικά: Μπορεί να υλοποιηθεί *διεπαφή χρήστη* όπου θα εισάγονται οι παράμετροι της βάρδιας (π.χ. κέντρο και ακτίνα της τροχιάς, με συγκεκριμένο εύρος αποδεκτών τιμών της επιλογής σας) και θα υπολογίζονται αυτομάτως οι *χρονικές συναρτήσεις της τροχιάς* που θα εκτελεί το άκρο του μηχανισμού σε κάθε κύκλο βάρδιας.

Παραδοτέα: (α) γραπτή αναφορά (report σε PDF), (β) τα απαραίτητα αρχεία προγραμμάτων των προσομοιώσεων σε ηλεκτρονική μορφή (π.χ. “m-files”, εάν οι προσομοιώσεις γίνουν με χρήση Matlab).

Υποβολή εργασιών: Οι εργασίες υποβάλλονται αποκλειστικά ηλεκτρονικά μέσω της ιστοσελίδας του μαθήματος στο <helios.ntua.gr>.



Σχήμα 1: Κινηματική δομή ρομποτικού μηχανισμού 3 στροφικών β.ε.