



## Μάθημα: "Ρομποτική Ι: Ανάλυση, Έλεγχος, Εργαστήριο" (Ακαδημαϊκό Έτος 2022-23)

### Εξαμηνιαία Εργασία

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

Στο Σχήμα 1 εικονίζεται η κινηματική δομή ενός ρομποτικού χειριστή τριών στροφικών βαθμών ελευθερίας  $\{q_1, q_2, q_3\}$ . 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 κάθε  $i=1,2,3$ ) είναι αυτή που εικονίζεται στο Σχήμα 1 (σχηματική απεικόνιση βοηθητικής πλάγιας όψης).

#### A. Θεωρητική Ανάλυση

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

#### B. Κινηματική Προσομοίωση

Έστω ότι το κέντρο  $O_E$  του τελικού εργαλείου δράσης του ρομποτικού βραχίονα καλείται, για τις ανάγκες μιας ρομποτικής εργασίας, να εκτελέσει *περιοδική ευθύγραμμη μετατόπιση* μεταξύ δύο σημείων A και B επί οριζοντίου επιπέδου, απόστασης  $h$  από το κέντρο του συστήματος αναφοράς της ρομποτικής βάσης (δηλ.  $z_A=z_B=h$ ).

6. Θεωρούμε ότι τη χρονική στιγμή  $t=0$  το τελικό στοιχείο δράσης του ρομπότ βρίσκεται ήδη στη δεδομένη αρχική θέση A, και ότι η χρονική περίοδος της κίνησής του (μεταξύ των θέσεων A και B) είναι T secs. Επιθυμητή, επίσης, είναι η ομαλότητα της εκτελούμενης τροχιάς (χρονική συνέχεια συνολικά της τροχιάς και ως προς την ταχύτητα).

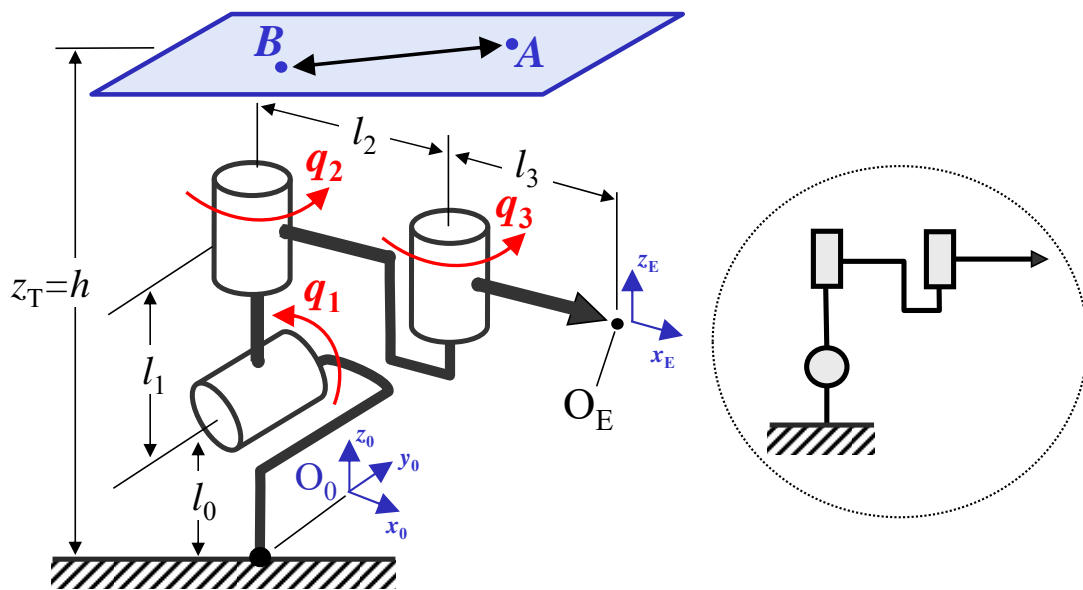
Να εκτελεστεί κινηματική προσομοίωση του ρομποτικού χειριστή και να δοθούν οι γραφικές παραστάσεις στο χρόνο (plots) των ακολούθων μεγεθών, που επιτυγχάνουν την εκτέλεση της επιθυμητής ρομποτικής εργασίας:

- (α) Το επιθυμητό προφίλ κίνησης του τελικού εργαλείου δράσης, δηλαδή: (1) η επιθυμητή θέση του άκρου ( $p_{Ex}, p_{Ey}, p_{Ez}$ ) του ρομπότ σε κάθε χρονική στιγμή  $t$ , και (2) η γραμμική ταχύτητα του εργαλείου δράσης.
- (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 ενδιαμέσων διατάξεων της ρομποτικής κινηματικής αλυσίδας κατά την εκτέλεση της εργασίας (από το animation της κίνησης).

Παρατήρηση: Οι διαστάσεις, μήκη συνδέσμων και λοιπά γεωμετρικά στοιχεία του ρομποτικού βραχίονα, καθώς και οι παράμετροι της επιθυμητής ρομποτικής εργασίας (θέσεις A και B, περίοδος T, απόσταση h), θεωρούνται δεδομένα και είναι της επιλογής σας για τις ανάγκες της κινηματικής προσομοίωσης.

Παραδοτέα: (α) γραπτή αναφορά (report), (β) τα απαραίτητα αρχεία προγραμμάτων των προσομοιώσεων σε ηλεκτρονική μορφή ("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 χειριστή 3 στροφικών β.ε. (εικονίζεται σε πλάγια όψη και η διάταξη αρχικοποίησης του βραχίονα) και σχηματική προδιαγραφή ρομποτικής εργασίας που αφορά στην περιοδική ευθύγραμμη μετατόπιση του τελικού εργαλείου δράσης μεταξύ δύο σημείων A και B επί οριζοντίου επιπέδου (απόστασης h από το κέντρο αναφοράς της ρομποτικής βάσης)