



Μάθημα: "Ρομποτική Ι: Ανάλυση, Έλεγχος, Εργαστήριο"  
(Ακαδημαϊκό Έτος 2024-25)

## Εξαμηνιαία Εργασία

### Βιομηχανικός Ρομποτικός Βραχίονας (KUKA Industrial Robot Manipulator)

Στο Σχήμα 1 εικονίζεται ένας βιομηχανικός ρομποτικός βραχίονας τύπου KUKA 6 (στροφικών) βαθμών ελευθερίας. Τα βασικά μηχανικά μέρη, οι άξονες και οι διαστάσεις του φαίνονται στο Σχήμα 2, όπου αριθμούνται (με 1 έως 6) οι αρθρώσεις του ρομπότ. Η κινηματική δομή του ρομπότ στη διάταξη αρχικοποίησης εικονίζεται στο Σχήμα 3, όπου σημειώνονται επίσης και τα πλαίσια αναφοράς της βάσης και του εργαλείου. Οι διαστάσεις (μήκη συνδέσμων  $l_0$  έως  $l_7$  του σχήματος 3) σημειώνονται επίσης και στον Πίνακα 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.

Για τη συνέχεια της εργασίας, θεωρούμε τις αρθρώσεις 4 έως 6 ως «ανενεργές» (δηλαδή, ότι οι γωνιακές αποκλίσεις  $q_4$ ,  $q_5$  και  $q_6$  είναι σταθερές στη μηδενική τους διάταξη, ήτοι:  $q_4=q_5=q_6=0$ =σταθ.).

2. Να προσδιοριστεί η ευθεία **κινηματική εξίσωση** του ρομποτικού μηχανισμού.
3. Να προσδιοριστεί η **Ιακωβιανή μήτρα** που περιγράφει το ευθύ διαφορικό κινηματικό μοντέλο για δοθείσα διάταξη του ρομποτικού μηχανισμού.

Για τη συνέχεια της εργασίας και προς διευκόλυνση της ανάλυσης, μπορεί να θεωρηθεί ότι  $l_3=l_6=0$ .

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 προσδιοριστεί 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 τελικού εργαλείου δράσης του ρομποτικού βραχίονα καλείται, για τις ανάγκες μιας ρομποτικής εργασίας, να εκτελέσει *περιοδική ευθύγραμμη μετατόπιση* μεταξύ δύο σημείων (στάσης)  $P_A (x_A, y_A, z_A)$  και  $P_B (x_B, y_B, z_B)$  επί οριζοντίου επιπέδου, απόστασης  $h$  από το κέντρο του συστήματος αναφοράς της ρομποτικής βάσης (δηλ.  $z_A=z_B=h$ ).

Θεωρούμε ότι τη χρονική στιγμή  $t=0$  το τελικό στοιχείο δράσης του ρομπότ βρίσκεται ήδη (εν στάση) στη δεδομένη αρχική θέση  $P_A$ , και ότι η χρονική περίοδος της κίνησής του (μεταξύ των θέσεων  $P_A$  και  $P_B$ ) είναι  $T$  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).

Παρατηρήσεις:

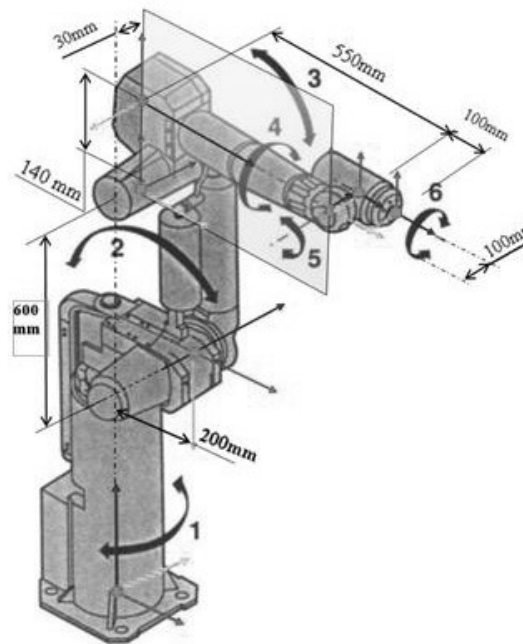
- Οι παράμετροι της επιθυμητής ρομποτικής εργασίας που δεν προσδιορίζονται συγκεκριμένα (μέρος Β της εργασίας), όπως οι συντεταγμένες των σημείων  $P_A$  και  $P_B$  εντός του χώρου εργασίας (workspace), η περίοδος  $T$  και η απόσταση  $h$ , μπορεί να είναι της επιλογής σας για τις ανάγκες της κινηματικής προσομοίωσης.

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).

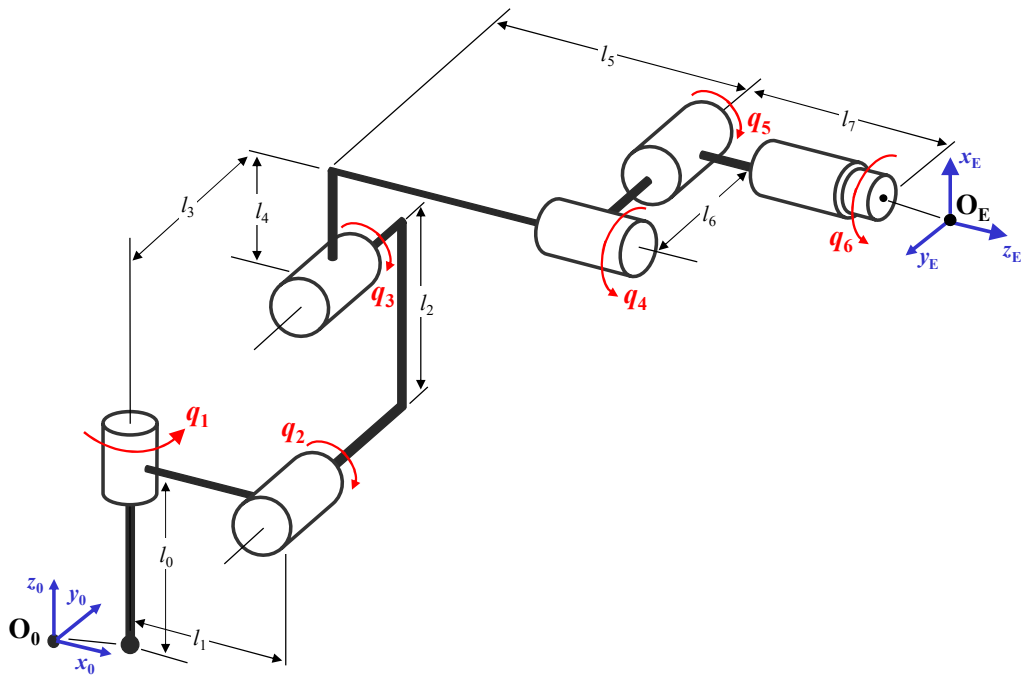
Υποβολή εργασιών: Οι εργασίες υποβάλλονται αποκλειστικά ηλεκτρονικά μέσω της ιστοσελίδας του μαθήματος στο <helios.ntua.gr>.



Σχήμα 1: Βιομηχανικό Ρομπότ τύπου Kuka



Σχήμα 2: Άξονες και διαστάσεις του ρομπότ



Σχήμα 3: Κινηματική δομή του ρομπότ Kuka (6 περιστροφικοί άξονες, δηλ. 6 βαθμοί ελευθερίας)

$l_0$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_6$	$l_7$
810	200	600	30	140	550	100	100

Πίνακας 1: Διαστάσεις του ρομποτικού βραχίονα (μήκη συνδέσμων και αποστάσεις αξόνων, σε mm)