



Μάθημα: "Ρομποτική II: Ευφυή Ρομποτικά Συστήματα"

(8^ο εξάμηνο, Ακαδ. Έτος: 2023-24)

Διδάσκων: Κων/νος Τζαφέστας

1^η Σειρά Αναλυτικών Ασκήσεων

Ασκηση 1.1

*Κινηματικός Έλεγχος Ρομποτικού Συστήματος με Πλεονάζοντες Βαθμούς Ελευθερίας
(Kinematic Control of a Redundant Robotic System)*

Έστω το σύστημα κινούμενου ρομποτικού χειριστή (τροχοφόρο όχημα με ενσωματωμένο 2R-1P επίπεδο βραχίονα), με συνολικά 4 β.ε. στο επίπεδο, και κινούμενου αντικειμένου, όπως εικονίζεται στο Σχήμα 1 (το ύψος h , που ορίζει την απόσταση της 1^{ης} περιστροφικής άρθρωσης q_2 του βραχίονα από το έδαφος κύλησης του τροχοφόρου, καθώς και το μήκος l των εσωτερικών συνδέσμων, θεωρούνται γνωστά και σταθερά).

α) Να περιγραφεί αναλυτικά η εφαρμογή μιας μεθοδολογίας διάσπασης υποεργασιών (για ρομποτικά συστήματα πλεονάζοντων βαθμών ελευθερίας) στον κινηματικό έλεγχο του δεδομένου συστήματος κινούμενου ρομποτικού χειριστή, με χρήση κατάλληλης συνάρτησης κριτηρίου (και κέρδη ελέγχου, όπου χρειάζεται, της επιλογής σας), εάν ως στόχοι της ρομποτικής εργασίας ορίζονται ιεραρχικά οι ακόλουθοι:

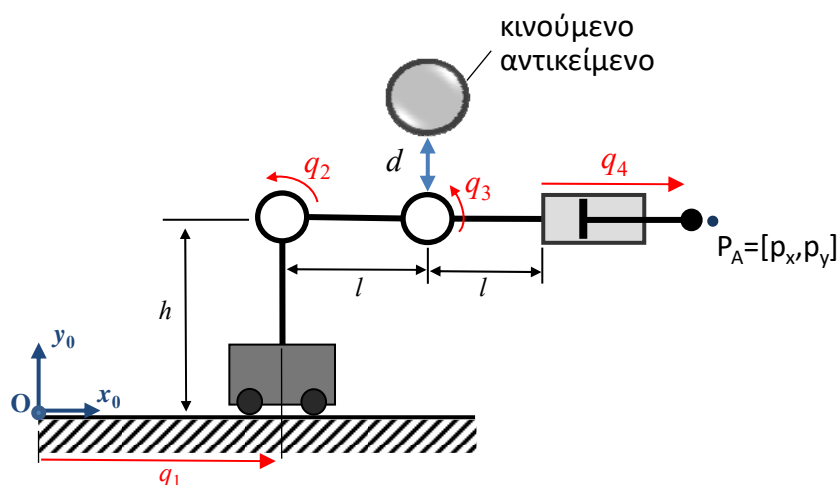
1^ο Η διατήρηση του τελικού άκρου p_E του βραχίονα επί δεδομένου σημείου P_A στο επίπεδο.

2^ο Η διατήρηση συγκεκριμένης (κατακόρυφης) απόστασης d_0 μεταξύ της άρθρωσης q_3 και του κινούμενου αντικειμένου. Θεωρούμε ότι η τρέχουσα απόσταση d (βλ. Σχήμα 1) μετράται μέσω κατάλληλου αισθητήρα (αποστασιόμετρο ενσωματωμένο επί του ρομποτικού βραχίονα) και είναι συνεχώς γνωστή.

β) Έστω: $h=2$, $l=1$, $d_0=6$, $p_x=15$ και $p_y=2$. Θεωρώντας ότι τη χρονική στιγμή t ισχύει:

$$q_1(t)=10, q_2(t)=q_3(t)=0 \text{ (όπως στο Σχήμα)}, q_4(t)=3, \text{ και } d(t)=(d_0-2)=4.$$

Να υπολογισθούν τα σήματα αναφοράς για τις στιγμιαίες ταχύτητες $\dot{q}(t) = [\dot{q}_1(t), \dot{q}_2(t), \dot{q}_3(t), \dot{q}_4(t)]^T$ που παράγει ο κινηματικός ελεγκτής του ερωτήματος (α), κατά την τρέχουσα χρονική στιγμή t .



Σχήμα 1: Σύστημα κινούμενου ρομποτικού χειριστή (4 β.ε. στο επίπεδο) και κινούμενου εμποδίου

Άσκηση 1.2

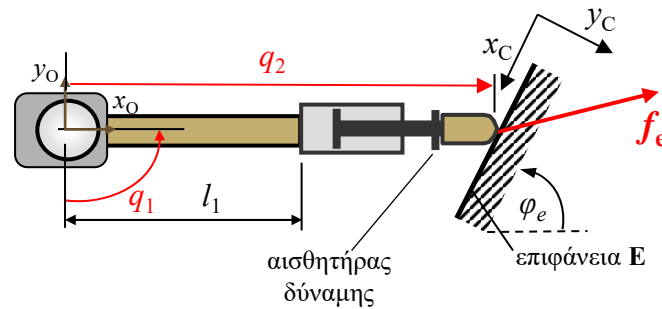
Δεδομένα:

Έστω ρομποτικός μηχανισμός δύο βαθμών ελευθερίας (q_1, q_2), ο οποίος εικονίζεται στο Σχήμα 2, του οποίου το δυναμικό μοντέλο περιγράφεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\tau_1 = (I_1 + m_1 l_1^2 + m_2 q_2^2) \cdot \ddot{q}_1 + (2m_2 q_2) \cdot \dot{q}_1 \cdot \dot{q}_2 + (m_1 l_1 + m_2 q_2) g c_1 \quad (1\alpha)$$

$$\tau_2 = m_2 \cdot \ddot{q}_2 - (m_2 q_2) \cdot \dot{q}_1^2 + m_2 g s_1 \quad (1\beta)$$

όπου m_1 , I_1 : μάζα και ροπή αδρανείας του 1^{ου} συνδέσμου, αντίστοιχα (με τη ροπή αδρανείας υπολογισμένη σε απόσταση l_1 από τον άξονα της q_1), και m_2 : μάζα 2^{ου} συνδέσμου (υποθετικά συγκεντρωμένη στο άκρο του 2^{ου} συνδέσμου).



Σχήμα 2: Ρομποτικός βραχίονας 2 βαθμών ελευθερίας (1R-1P)

Άσκηση 1.2-(α)

Προσαρμοστικός έλεγχος ρομποτικού χειριστή (*adaptive robot manipulator control*)

Για την εφαρμογή μεθοδολογίας προσαρμοστικού ελέγχου μοντέλου αναφοράς, να προσδιορισθεί μητρώο γραμμικής παραμετροποίησης $\mathbf{K}(\underline{q}, \underline{\dot{q}}, \underline{\ddot{q}})$ επιλέγοντας κατάλληλο διάνυσμα δυναμικών παραμέτρων \underline{p} για το ρομποτικό δυναμικό μοντέλο.

Άσκηση 1.2-(β)

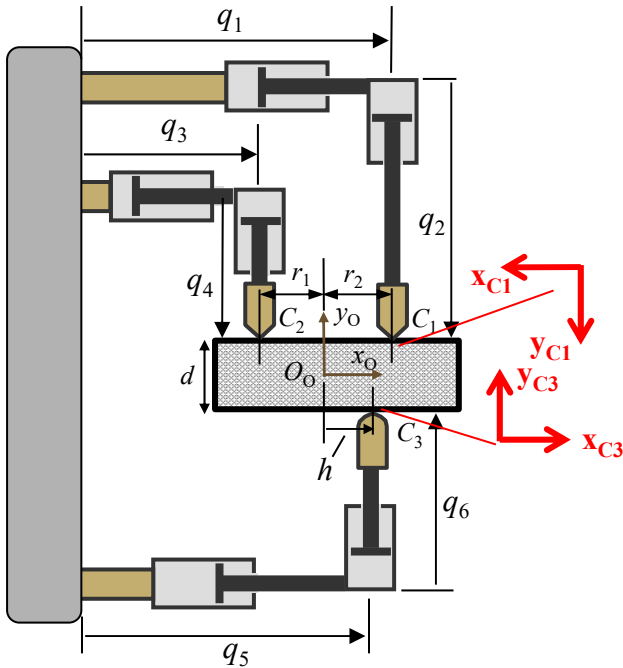
Έλεγχος Εμπέδησης (*impedance control*)

Έστω εξωτερική δύναμη $\mathbf{f}_e = [f_{ex}, f_{ey}]^T$ ασκούμενη στο άκρο του εργαλείου (η οποία μετράται με κατάλληλο αισθητήρα δύναμης τοποθετημένο στον τελευταίο σύνδεσμο). Να γραφούν οι εξισώσεις ενός νόμου ελέγχου ενεργούς μηχανικής εμπέδησης (*active impedance control*) βάσει της μεθοδολογίας υπολογιζόμενης ροπής (υποθέτοντας γνωστές τις δυναμικές παραμέτρους του δυναμικού μοντέλου στις σχέσεις 1α και 1β), θεωρώντας επιθυμητή μηχανική εμπέδηση στον Καρτεσιανό χώρο στο τοπικό πλαίσιο αναφοράς της εργασίας (*constraint* $O_c - x_c y_c$) που εικονίζεται στο Σχήμα, οριζόμενη από τα διαγώνια μητρώα: αδρανείας $\mathbf{M}_d = \text{diag}[m_x, m_y]$, απόσβεσης $\mathbf{B}_d = \text{diag}[b_x, b_y]$ και ακαμψίας $\mathbf{K}_d = \text{diag}[k_x, k_y]$.

Άσκηση 1.3

Επιδέξια Ρομποτική Λαβή (μητρώο λαβής, στατική ανάλυση, Ιακωβιανή χεριού)
Dexterous Robot Grasping (grasp matrix, force-closure, hand Jacobian)

Έστω η ρομποτική λαβή ενός ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου αντικειμένου που εικονίζεται στο ακόλουθο Σχήμα 3. Υποθέτουμε ότι οι επαφές C_1 και C_2 είναι επαφές σημείου χωρίς τριβή, ενώ η C_3 είναι επαφή σημείου με τριβή (με συντελεστή τριβής Coulomb ίσο με μ). Οι αποστάσεις r_1 , r_2 και h των επαφών ως προς το πλαίσιο αναφοράς $O-x_0y_0z_0$ στο κέντρο του αντικειμένου θεωρούνται γνωστές. Το πλάτος d θεωρείται επίσης γνωστό.



Σχήμα 3: Ρομποτική λαβή με τρία ρομποτικά δάκτυλα έξι (πρισματικών) βαθμών ελευθερίας.

J_{hand} του ρομποτικού χεριού, για δεδομένη κινηματική διάταξη $[q_1, \dots, q_6]$ των ρομποτικών δακτύλων και δεδομένη διάταξη λαβής με ευθυγραμμισμένα πλαίσια αναφοράς, όπως εικονίζεται στο Σχήμα, και να γραφεί η συνολική κινηματική εξίσωση της ρομποτικής λαβής.

(α) Εφαρμόζοντας τις γενικές σχέσεις μετασχηματισμού δυνάμεων/ροπών επαφής να γραφεί η μήτρα ρομποτικής λαβής (grasp matrix) G , με πλαίσια αναφοράς στις επαφές όπως σημειώνονται στο Σχήμα, και να εκφραστεί ο κώνος τριβής. Να εκφραστεί ακολούθως η μήτρα λαβής ελαττωμένη στο επίπεδο του Σχήματος.

Για τα επόμενα ερωτήματα, θεωρούμε το πρόβλημα της ρομποτικής λαβής στο επίπεδο του Σχήματος.

(β) Θεωρώντας $r_1=r_2=r$ απόσταση σταθερή (και γνωστή) και εφαρμόζοντας τη συνθήκη κυρτότητας (με συντελεστή τριβής $\mu=1$), να προσδιορισθεί αναγκαία σχέση που πρέπει να ικανοποιεί το διάστημα h ($h \in \mathbb{R}$) ώστε η ρομποτική αυτή λαβή να είναι «κλειστή ως προς δύναμη» (force-closure) στο επίπεδο του Σχήματος.

(γ) Να προσδιορισθεί η συνολική Ιακωβιανή