ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΗΜΜΥ

Ρομποτική ΙΙ: Ευφυή Ρομποτικά Συστήματα

Ακαδημαϊκό έτος 2022-23

Εξαμηνιαία Εργασία 1

Γιώργος Χαραλάμπους - 03119706

Δωροθέα Κουμίδου - 03119712

A. Θεωρητική Ανάλυση

<u>1η υποεργασία:</u>

Έστω $p_1=f_1(q)$ η συνάρτηση που περιγράφει το γεωμετρικό μοντέλο για την 1 ρομποτική υποεργασία και $\dot{p}_1 = J_1(q) \cdot \dot{q}$, όπου $J_1(q) = \frac{\partial f_1}{\partial q}$ η ιακωβιανή μήτρα της 1ης υποεργασίας.

Εάν p_{1d} η επιθυμητή τροχιά της 1ης υποεργασίας τότε έχουμε:

$$\dot{p}_{1d} = \begin{bmatrix} 0.0 \\ poly\_dot \\ 0.0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Όπου poly_dot είναι η πρώτη παράγωγος του πολυωνύμου 5ης τάξης που χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό της τροχίας. Το ρομπότ ζητείται να κινείται κατα μήκος του άξονα y μεταξύ δύο ακραίων θέσεων, γι'αυτό και επιθυμούμε μηδενικές ταχύτητες στους άλλους άξονες.

Το ζητούμενο πολυώνυμο παρεμβολής 5ου βαθμού (poly) έχει την εξής μορφή:

$$f(t) = a5 \cdot t^5 + a4 \cdot t^4 + a3 \cdot t^3 + a2 \cdot t^2 + a1 \cdot t + a0$$

με άγνωστους τους συντελεστές α0,...,α5. Οι συνοριακές συνθήκες που χρησιμοποιούνται ώστε να έχουμε ομαλότητα προς ταχύτητα και επιτάχυνση είναι οι εξής:

1. f(0)=y0
2. f(tf)=yf
3. f'(0)=0
4. f'(tf)=0
5. f''(0)=0
6. f''(tf)=0

όπου y0, yf αρχική και τελική θέση αντίστοιχα και tf είναι η περίοδος της κίνησης.

Η εύρεση των συντελεστών έχει γίνει με τη βοήθεια συναρτήσεων στη python (βλ. robo2_helper.ipynb) και συγκεκριμένα συναρτήσει των μεταβλητών y0,yf,tf.

α0 = y0, a1 = 0 , a2 = 0, a3 = $\frac{-10}{t_f^3} \cdot (y0 - yf)$, a4 = $\frac{15}{t_f^4} \cdot (y0 - yf)$,

a5 = $\frac{-6}{t_f^5} \cdot (y0 - yf)$

Έπειτα θέλουμε να υπολογίσουμε το $J_1(q)$, με τη βοήθεια του κινηματικού μοντέλου και των δεδομένων πλαισίων αναφοράς.

$$A_1^0(q1) = \mathrm{Rot}(z, q1) \cdot \mathrm{Tra}(z, l1), \qquad \mathbf{l1 = 26.7}\boldsymbol{cm}$$
$$A_2^1(q2) = \mathrm{Rot}\left(x, -\frac{\pi}{2}\right) \cdot \mathrm{Rot}(z, q2)$$
$$A_3^2(q3) = \mathrm{Rot}\left(x, +\frac{\pi}{2}\right) \cdot \mathrm{Rot}(z, q3) \cdot \mathrm{Tra}(z, l2), \qquad \mathbf{l2 = 29.3}\boldsymbol{cm}$$
$$A_4^3(q4) = \mathrm{Rot}\left(x, +\frac{\pi}{2}\right) \cdot \mathrm{Tra}(x, l3) \cdot \mathrm{Rot}(z, q4), \qquad \mathbf{l3 = 5.25}\boldsymbol{cm}$$
$$A_5^4(q5) = \mathrm{Rot}\left(x, +\frac{\pi}{2}\right) \cdot \mathrm{Tra}(x, l4 * \sin\theta1) \cdot \mathrm{Rot}(z, q5) \cdot \mathrm{Tra}(z, l4 * \cos\theta1),$$
$$\mathbf{l4 = 35.12\ cm}, \boldsymbol{\theta}\mathbf{1 = 0.2225\ ra}\boldsymbol{d}$$
$$A_6^5(q5) = \mathrm{Rot}\left(x, +\frac{\pi}{2}\right) \cdot \mathrm{Rot}(z, q6)$$
$$A_7^6(q6) = \mathrm{Rot}\left(x, -\frac{\pi}{2}\right) \cdot \mathrm{Tra}(x, l5 * \sin\theta2) \cdot \mathrm{Rot}(z, q7) \cdot \mathrm{Tra}(z, l5 * \cos\theta2),$$
$$\mathbf{l5 = 12.32\ cm}, \qquad \boldsymbol{\theta}\mathbf{2 = 0.6646\ ra}\boldsymbol{d}$$

Πολλαπλασιάζοντας όλους τους πίνακες μεταξύ τους διαδοχικά, υπολογίζουμε τους A_i^0, $i = 0,1,...,7$ και έπειτα με την μέθοδο γεωμετρικού υπολογισμού ιακωβιανής μήτρας υπολογίζουμε τον $J_1(q)$.

Η ζητούμενη εξίσωση κινηματικού ελέγχου είναι:

$$\dot{q} = J_1^{+}(q)\,\dot{p}_{1\mathrm{d}} + K2\left(\mathrm{I}_7 - J_1^{+}(q)J_1(q)\right)\underline{q\_reference\_dot} \qquad (2)$$

Όπου $q\_reference\_dot$ διάνυσμα κλίσης της συνάρτησης κριτηρίου V(q) και

$J_1^{+}(q) = J_1^T(J_1 \cdot J_1^T)^{-1}$, ψευδοαντίστροφη της μήτρας $J_1(q)$ (3)

<u>2η υποεργασία:</u>

Ορίζουμε μια «συνάρτηση κριτηρίου» V(q) , η βελτιστοποίηση της οποίας να περιγράφει τη 2η ρομποτική υποεργασία.

$$V(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} * kc \cdot (d - d0)^2, & d <= d0 \\ 0, & d > d0 \end{cases} \qquad (4)$$

Όπου d_0: η ελάχιστη απόσταση που πρέπει να διατηρείται από τα δύο εμπόδια ανεξαιρέτως και kc μια θετική σταθερά ενίσχυσης. Αν η απόσταση d από το εμπόδιο είναι μεγαλύτερη από την απόσταση ασφαλείας, τότε δεν χρειάζεται να επιβάλλουμε έλεγχο.

Η απόσταση d ορίζεται ως d= min{|p_{xarm7}-$p_{obsA/B}$|} - 0.113 , όπου p_{xarm7}: θέση ενός σημείου του ρομπότ από την αρχή τον αξόνων και $p_{obsA/B}$: η θέση του κέντρου βάρους του εμποδίου . Η συνάρτηση αυτή βρίσκει την ελάχιστη ευκλείδια απόσταση μεταξύ ενός σημείου του ρομπότ και των δύο εμποδίων λαμβάνοντας υπόψη τη διάμετρο ρομπότ(12.6cm) και εμποδίων(10cm).

Οπότε από τη σχέση (2) έχουμε

$$q_{reference\_dot} = kc * (d - d_0)\frac{\partial d}{\partial q} \quad (5)$$

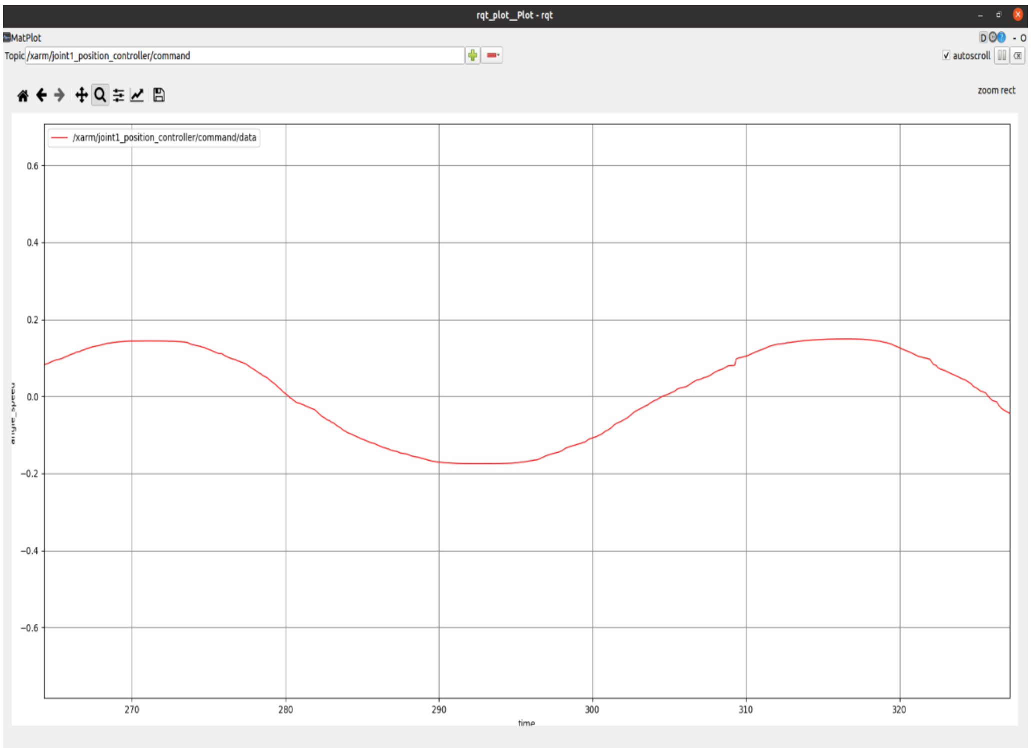
Με $\frac{\partial \boldsymbol{d}}{\partial \boldsymbol{q}}$ το διάνυσμα κλίσης της συνάρτησης d(q).

Εφαρμόζοντας την σχέση (2) και συνδυάζοντας τις σχέσεις (1),(3),(4),(5) μπορούμε να υπολογίσουμε την γωνιακή ταχύτητα της κάθε άρθρωσης $\dot{q} = [\dot{q}1, \dot{q}2, .. \dot{q}7]^T$ και έπειτα με αριθμητική ολοκλήρωση το τη γωνιακή θέση κάθε άρθρωσης.

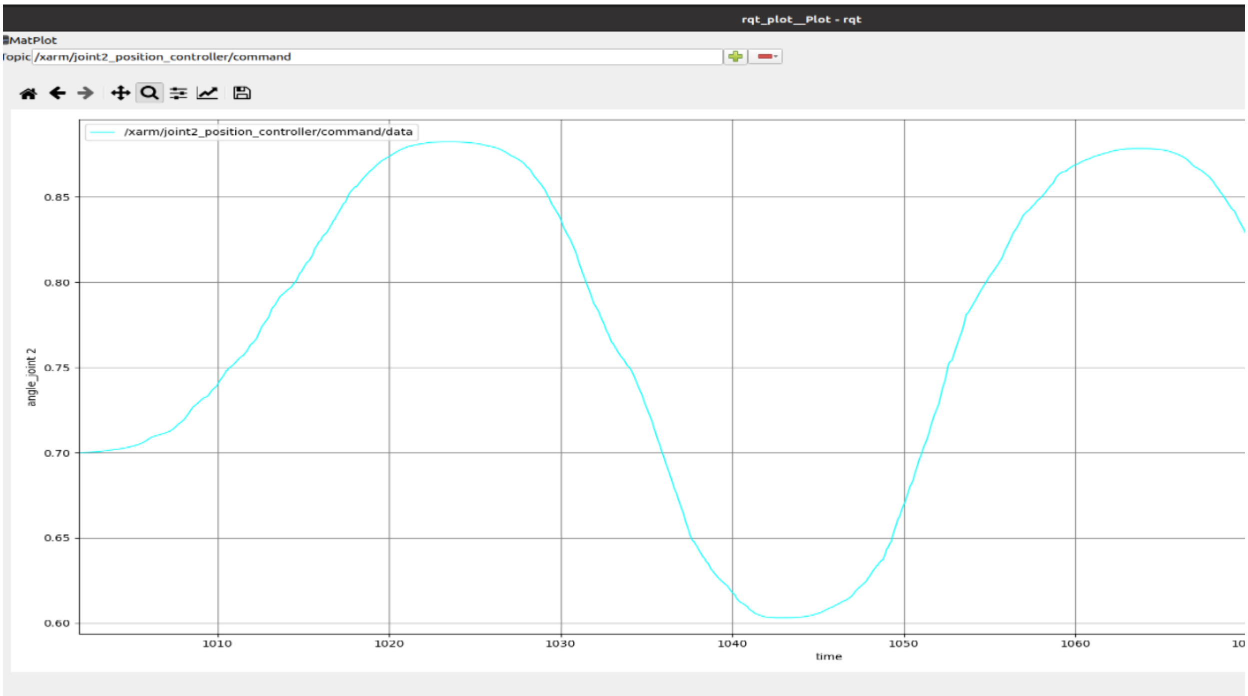
B. Προσομοίωση

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις των γωνιακών θέσεων κάποιων αρθρώσεων συναρτήσει του χρόνου, με τη βοήθεια του rqt_plot, κατά τη διάρκεια της ρομποτικής εργασίας και έπειτα σχολιασμός αυτών.

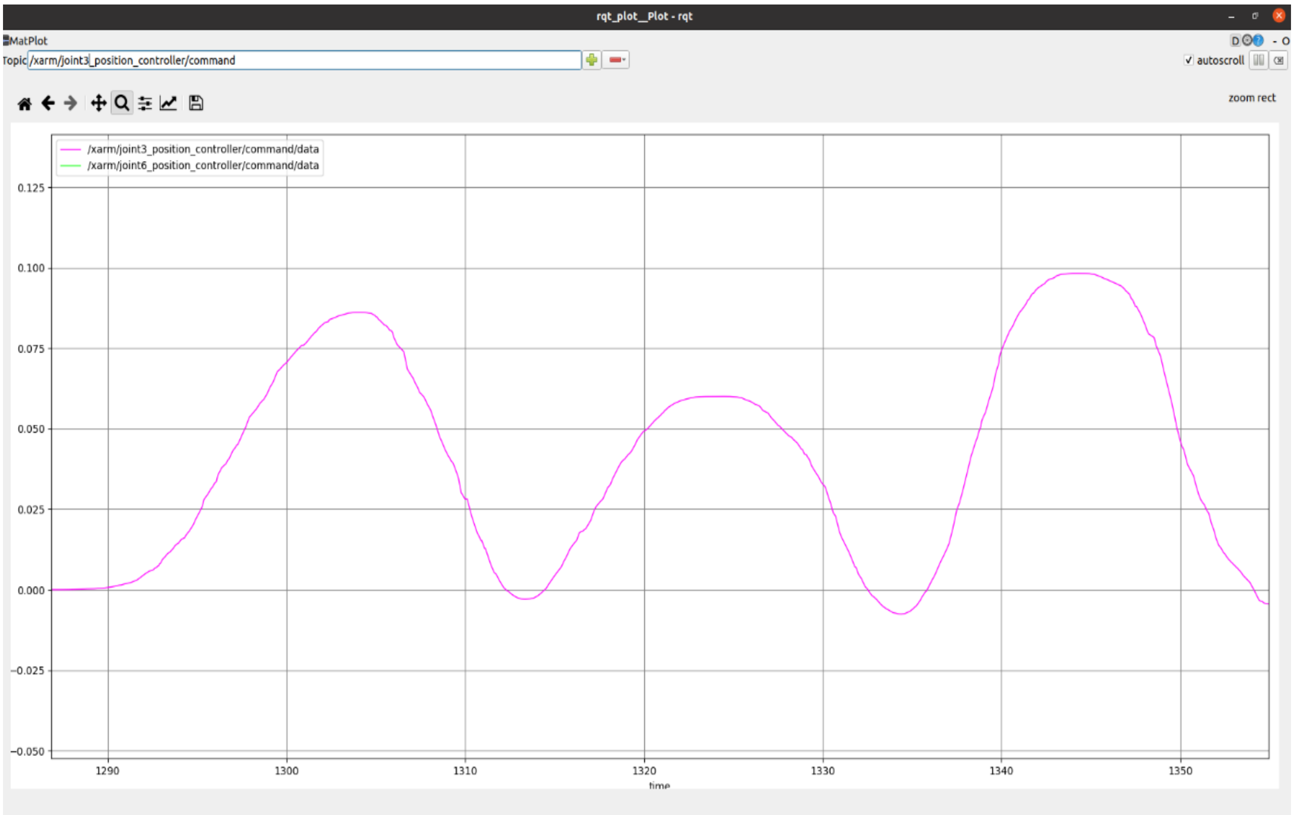
<u>Άρθρωση 1</u>



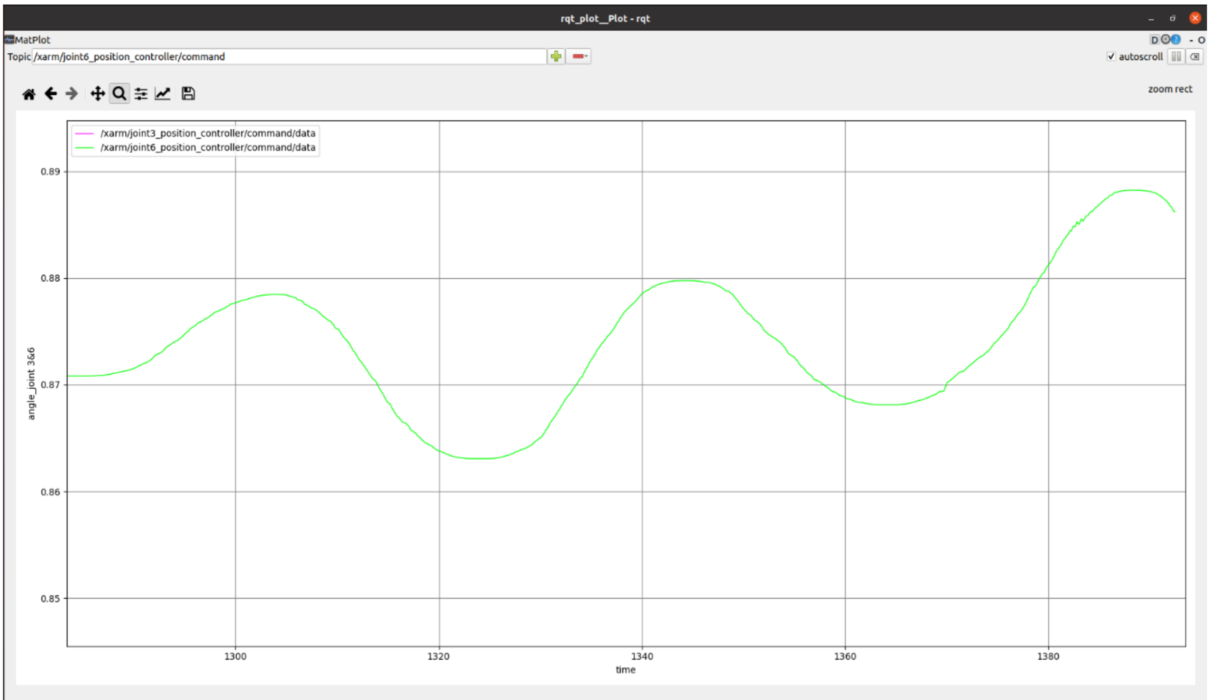
Άρθρωση 2



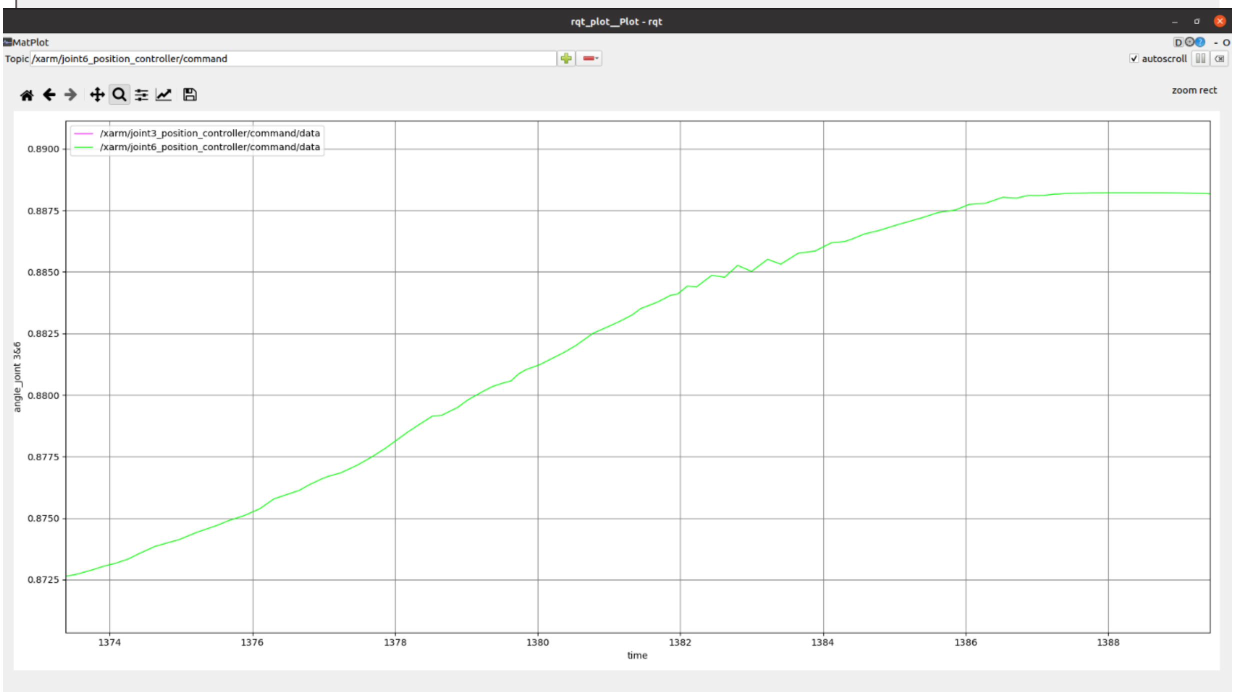
Άρθρωση 3



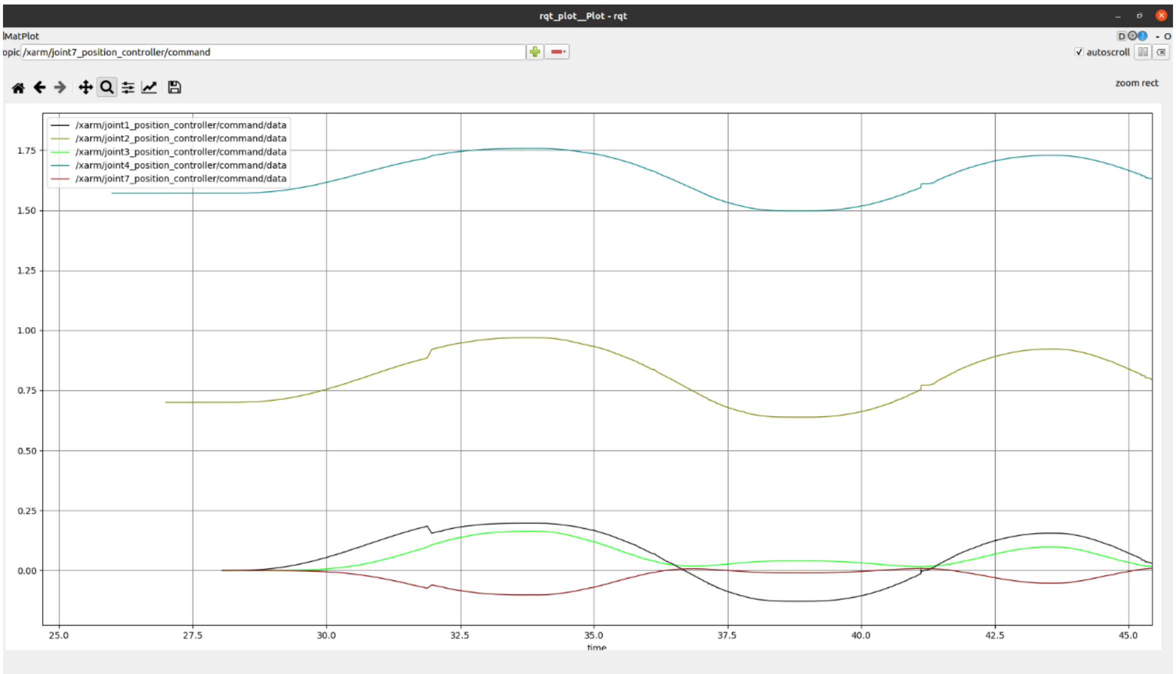
Άρθρωση 6



rqt_plot__Plot - rqt
MatPlot
Topic /xarm/joint6_position_controller/command
autoscroll
zoom rect
/xarm/joint3_position_controller/command/data
/xarm/joint6_position_controller/command/data
0.89
0.88
0.87
0.86
0.85
angle_joint 3&6
1300
1320
1340
1360
1380
time



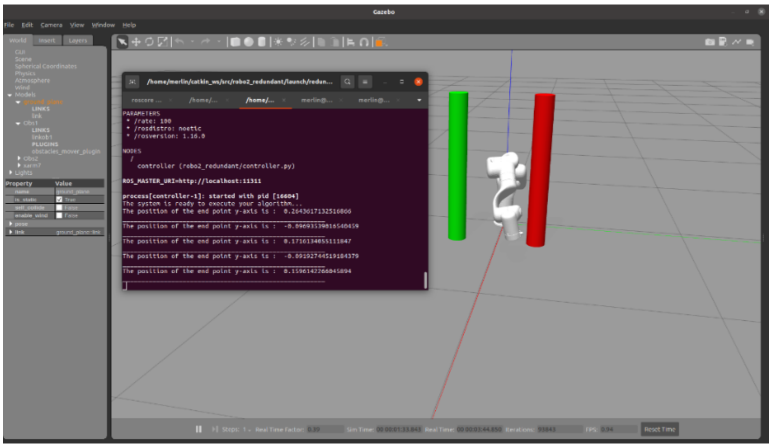
rqt_plot__Plot - rqt
MatPlot
Topic /xarm/joint6_position_controller/command
autoscroll
zoom rect
/xarm/joint3_position_controller/command/data
/xarm/joint6_position_controller/command/data
0.8900
0.8875
0.8850
0.8825
0.8800
0.8775
0.8750
0.8725
angle_joint 3&6
1374
1376
1378
1380
1382
1384
1386
1388
time



Οι παραπάνω γραφικές παρουσιάζουν τη μεταβολή των γωνιών των πλαισιών συναρτήσει του χρόνου. Παρατηρούνται μικρές απότομες αλλαγές- αστάθειες στις γραφικές και αυτό οφείλεται στη 2η ρομποτική εργασία κατά την αποφυγή εμποδίων. Κάποιες αρθρώσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερες μεταβολές και μεγαλύτερο εύρος γωνίας κίνησης, καθώς το βάρος της εκάστοτε άρθρωσης για να αποφύγει το εμπόδιο είναι διαφορετικό, όπως φαίνεται και από τις γραφικές των αρθρώσεων 1, 3 και 6. Οι κορυφές των γραφικών παραστάσεων αντιστοιχούν στο εμπόδιο στη θετική κατεύθυνση, ενώ οι κοιλάδες δείχνουν την αποφυγή του εμποδίου στην αρνητική κατεύθυνση.

<u>Σχόλια και Παρατηρήσεις:</u>

- ✓ Κατά την κίνηση του ρομπότ στην αρνητική κατεύθυνση, προκειμένου να αποφευχθεί η σύγκρουση με το εμπόδιο(πράσινος κύλινδρος), το τελικό σημείο αδυνατεί να φτάσει στο επιθυμητό σημείο y=-0.2.
- ✓ Όσο περνά ο χρόνος κίνησης του ρομπότ, υπάρχει μειώση των ακραίων θέσεων του, πράγμα που οφείλεται στο σφάλμα αριθμητικής ολοκλήρωσης. Αυτό φαίνεται και στη διπλανή εικόνα.



- ✓ Το πολυώνυμο $5^{ης}$ τάξης αφορά τη επιθυμητή θέση του τελικού στοιχείου δράσης στον κεντρικό του άξονα, χωρίς να λαμβάνει υπόψη της διατομή του ρομπότ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ρομπότ να φτάνει σε χρονικές στιγμές και σε σημεία πέρα του δεδομένου p_B.
- ✓ Η συνάρτηση d(q) ουσιαστικά λαμβάνει την ελάχιστη απόσταση ρομπότ-εμποδίου που έχει ο σύνδεσμος που ενώνει την $4^{η}$ και $5^{η}$ άρθρωση, ο οποίος είναι ο κοντινότερος σε σχέση με τους υπόλοιπους.
- ✓ Οι τιμές των σταθερών kc και K2 έχουν βρεθεί πειραματικά με τη προσομοίωση.
- ✓ Οι γωνιακές ταχύτητες των αρθρώσεων της $2^{ης}$ υποεργασίας καμία φορά υπερβαίνουν τα όρια και την αντοχή του ρομπότ. Ιδανικά οι τιμές αυτές θα πρέπει να κανονικοποιηθούν και να υπολογιστούν με βάση την ονομαστική γωνιακή ταχύτητα του xarm7, η οποία είναι ±π rad/s.