

## Weihnachtsprojekt: Simulation und Regelung eines Knickarmroboters

In Abbildung 1 ist eine Aufnahme sowie eine schematische Darstellung eines robotischen Manipulators aus dem Institutslabor zu sehen. Der Roboter wird als planarer 2-Arm-Roboter modelliert (Massen  $m_{1/2}$ , Längen  $\ell_{1/2}$  und Trägheitsmomente  $\theta_{1/2}$  bezüglich des Schwerpunkts um die  $z$ -Achse; jeweils inklusive Motor).

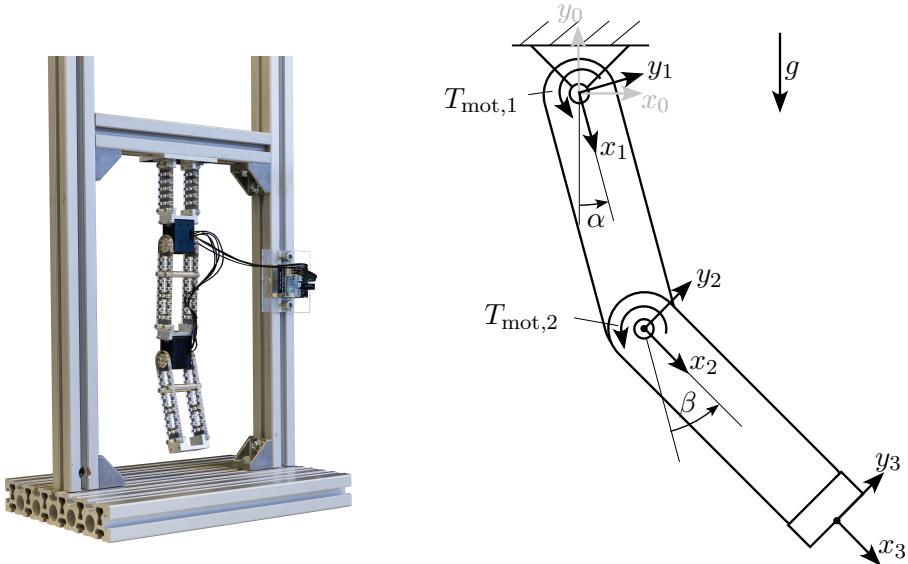


Abbildung 1: Foto sowie schematische Darstellung des zu untersuchenden Roboters [1].

1. Berechnen Sie die Kinematik des Roboters. Ergänzen Sie hierzu die modifizierten DH-Parameter in Tabelle 1 und geben Sie die resultierenden Transformationsmatrizen an.
2. Bestimmen Sie die Bewegungsgleichungen des planaren 2-Arm-Roboters.
  - a) Wählen Sie geeignete generalisierte Koordinaten.
  - b) Bestimmen Sie die Bewegungsgleichungen des Roboters mit Hilfe der Lagrange'schen Gleichungen. Die Schwerpunkte der beiden Arme befinden sich bei  $x_{i,SP} = \ell_i/2$  und  $y_{i,SP} = 0$  ( $i = \{1, 2\}$ ), gemessen im Gelenkkoordinatensystem  $\mathcal{K}_i$ .
    - i. Bestimmen Sie die Jacobimatrizen des Roboters.
    - ii. Bestimmen Sie die potentielle Energie  $U$ .
    - iii. Verwenden Sie als nichtkonservative Kräfte das Reibmoment bestehend aus viskoser Reibung und statischer Reibung.
    - iv. Schreiben Sie die Bewegungsgleichungen in symbolischer Matrizenform auf.
3. Planen Sie eine Trajektorie des Endeffektors um von  $\mathbf{p}_{\text{EE}}^0 = [0 \ -0.288 \text{ m} \ 0]^T$  nach  $\mathbf{p}_{\text{EE}}^d = [(4\sqrt{6} - 4\sqrt{2} - 10)/125 \text{ m} \ (-4\sqrt{6} - 4\sqrt{2} - 10\sqrt{3})/125 \text{ m} \ 0]^T$  zu kommen.
4. Bauen Sie ein Simulationsmodell des Roboters auf. Verwenden Sie hierzu Simulink oder implementieren Sie die Bewegungsgleichungen in Matlab. Verwenden Sie für die Simulation die Parameter aus Tabelle 2.



Achse	$a_{i-1}$	$\alpha_{i-1}$	$d_i$	$\theta_i$	Art
1					
2					
3					

Tabelle 1: Modifizierte DH-Parameter des Roboters.

5. Implementieren Sie eine Vorsteuerung sowie zwei PID-Regler um Störungen in den Gelenkkoordinaten auszuregeln.
6. Modellieren Sie die Störung als ein zufälliges Störsignal im Reibterm. Die Amplitude der Störsignale soll dabei nicht  $5 \cdot 10^{-3}$  Nm überschreiten.
7. Simulieren Sie den 2-Arm Roboter, visualisieren und diskutieren Sie ihre Ergebnisse. Verwenden Sie für die Dokumentation die angehängte Vorlage.

*Abgabe:*

- Abgabe der Ergebnisse bis 19. Januar via Ilias. Eine Gruppe wird ausgewählt um ihre Ergebnisse in der Vorlesung zu präsentieren. Sie können gerne die Aufgaben in Gruppen von bis zu vier Personen erledigen.
- Für Fragen stehen wir per Mail, Webex oder persönlich am Institut zur Verfügung.
- Die Abgabe wird am 26. Januar in der Vorlesung besprochen.

## Literatur

- [1] Fuchs, M.: Data-Driven Modeling of a Robotic Manipulator. Bachelorarbeit BSC-154, Institut für Technische und Numerische Mechanik, Universität Stuttgart, 2023.



Parameter	Wert
Masse	$m_1 = 0.1817 \text{ kg}$ $m_2 = 0.0944 \text{ kg}$
Länge	$\ell_1 = 0.16 \text{ m}$ $\ell_2 = 0.128 \text{ m}$
Trägheitsmoment	$\theta_1 = 0.0309 \text{ kg m}^2$ $\theta_2 = 0.0045 \text{ kg m}^2$
Gravitationskonstante	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$
Koeffizient viskose Reibung	$\mu_{v_1} = 3.843 \cdot 10^{-6} \text{ N m s/rad}$ $\mu_{v_2} = 3.887 \cdot 10^{-6} \text{ N m s/rad}$
Statisches Reibmoment	$F_{s_1} = 8.5 \cdot 10^{-4} \text{ Nm}$ $F_{s_2} = 3.2 \cdot 10^{-4} \text{ Nm}$
Solver	ode45 Rel. Tol. = $10^{-4}$ Abs. Tol. = $10^{-7}$ Max. Step. = $3 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 2: Identifizierte Parameter des Roboters.