

Grundlagen der Robotik

Projektaufgabe¹

1 Ziel und Inhalt

Das Projekt dient den folgenden Zielen:

- Kennenlernen der Arbeit mit der Robotics System Toolbox (RSTB)
- Vertiefung der theoretischen Inhalte des Moduls, insbesondere zur Kinematik von seriellen Manipulatoren und zur Pfad- und Bahnplanung

Gegenstand ist ein 6-Achs-Roboter, dessen Modell in der Robotics System Toolbox enthalten ist. Inhalte des Projekts sind

- die Beschreibung von Robotern durch das URDF-Format,
- die Modellierung von (seriellen) Robotern innerhalb von Matlab/Simulink als sog. rigidBodyTree-Objekte,
- die Transformation zwischen den Koordinatensystemen der Armsegmente,
- die inverse kinematische Transformation,
- die Pfad- und Bahnplanung im Konfigurationsraum und im Arbeitsraum,
- die Umsetzung einer Bewegungsaufgabe.

2 Vorbereitung

Für das Projekt soll eine Matlab-Version ab Release 2023a verwendet werden. Ihre Matlab-Installation muss neben Matlab und Simulink auch Simscape mit der MultiBody-Bibliothek und die Robotics System Toolbox umfassen.

Machen Sie sich mit der Robotics System Toolbox vertraut. Nutzen Sie hierfür die Dokumentation von Mathworks. Eine gute Darstellung der Möglichkeiten der Toolbox liefert auch das Buch

¹Version: 1.0, Datum: 4. November 2024

Peter Cork et al. „Robotics, Vision and Control. Fundamental Algorithms in MATLAB®“. Dieses stellt kurz die Theorie dar und zeigt dann an Beispielen, wie diese durch die RSTB umgesetzt wird. Es gibt auch Hinweise auf spezifische Besonderheiten in den Datenstrukturen der RSTB. Beachten Sie bitte, dass die Notation in Buch und Vorlesung sich z. B. bei den Koordinatentransformationen unterscheiden. Bei der Bearbeitung der Aufgaben können Beispiele der RSTB-Dokumentation bzw. aus dem Buch hilfreich sein.

Recherchieren Sie auch nach Unterlagen zu dem Ihnen gegebenen Roboter (z. B. zu den DH-Parametern, geometrischen Abmessungen, Begrenzung der Achswinkel, Geschwindigkeiten etc.).

3 Aufgaben

1. Sehen Sie sich zu dem Ihnen gegebenen Roboter die URDF-Datei an.
 - a) Wie ist der genaue Name des Robotermodells?
 - b) Welche wesentlichen Informationen enthält die Datei, wie ist sie strukturiert? Aus welcher Quelle stammen diese?
 - c) Wie werden die Parameter für die Koordinatensysteme spezifiziert?
 - d) Wie werden Achstyp und Begrenzungen angegeben?
2. Laden Sie das Ihnen gegebene Robotermodell mit der `loadrobot`-Funktion. Lassen Sie sich neben dem `rigidBodyTree`-Objekt auch die zusätzlichen Information zurückgeben. Sehen Sie sich das `rigidBodyTree`-Objekt an.
 - a) Wie ist das Objekt aufgebaut?
 - b) Welche wesentlichen Objekte enthält es?
 - c) Wo finden sich die Parameter zu den Gelenken?
 - d) Wo finden sich die Transformationsmatrizen? In welcher Form sind diese gegeben.
3. Stellen Sie den Roboter in seiner Home-Position dar. Machen Sie sich mit den verschiedenen Darstellungsformen des Roboters durch den Befehl `show` vertraut. Speichern Sie Konfiguration als Home-Konfiguration in einer Variablen (Befehl `homeConfiguration(.)`). Stellen Sie den Roboter in einer beliebigen anderen Konfiguration dar.
4. Vergleichen Sie zumindest eine Transformationmatrix zwischen zwei benachbarten Armsegmenten aus der Home-Konfiguration mit der entsprechenden der zweiten Konfiguration, wobei die Transformation eine der verfahrenen Achsen beinhalten muss (Befehl `getTransform`). Wie lassen sich beide Transformationsmatrizen ineinander überführen? Wie werden folglich die Transformationsmatrizen für beliebige Konfigurationen bestimmt?

5. Wählen Sie eine Konfiguration des Roboters, in der er sich nicht in einer Singularität befindet. Bestimmen Sie aus der Endeffektorlage mittels numerischer inverser Kinematik die Gelenkwinkel (Objekt `inverseKinematics`). Wie viele Iterationen und wie viel Rechenzeit benötigt der Algorithmus? Wiederholen Sie diese Berechnung für eine Endeffektorlage nahe und in einer Singularität.
6. Wiederholen Sie vorstehende Aufgabe mittels analytisch berechneter inverser Kinematik (Objekt `analyticalInverseKinematics`). Klären Sie, ob Ihr Roboter dafür die Voraussetzungen aufweist. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit denen der vorherigen Aufgabe.
7. Der Roboter soll innerhalb seines Arbeitsraums eine Bewegungsaufgabe ausführen. Definieren Sie hierfür einen Start- und einen Zielpunkt jeweils mit einer festgelegten Orientierung.
 - a) Generieren Sie die Bahn im Konfigurationsraum mit trapeziodalem Geschwindigkeitsprofil (Befehl `trapveltraj`). Berücksichtigen Sie Geschwindigkeitsbegrenzungen. Verwenden Sie hinreichend viele Zwischenpunkte. Stellen Sie die Achswinkel, -geschwindigkeiten und -beschleunigungen über der Zeit dar. Stellen Sie die Bewegung im Arbeitsraum dar.
 - b) Generieren Sie die Bahn im Arbeitsraum (Befehl `transformtraj`). Die Bahn soll mit einem trapezförmigen Geschwindigkeitsprofil abgefahren werden. Mit dem Befehl `trapveltraj` können $s(t)$, $\dot{s}(t)$ und $\ddot{s}(t)$ festgelegt werden und als `TimeScaling` in der Funktion `transformtraj` verwendet werden. Stellen Sie die Achswinkel, -geschwindigkeiten und -beschleunigungen über der Zeit dar. Stellen Sie die Bewegung im Arbeitsraum dar.
 - c) Zusatz: Wiederholen Sie die vorherige Aufgabe derart, dass der Pfad durch eine Singularität führt (s. hierzu Corke, S. 313).
8. Wiederholen Sie die Bewegungsplanungsaufgaben in Simulink unter Verwendung entsprechender Blöcke (s. hierzu Corke, S. 312).
9. Zusatz: Wiederholen Sie vorstehende Aufgaben, indem Sie für die Ausführung der Bahn ein sog. `ManipulatorMotionModel` verwenden. Dieses beinhaltet neben der Dynamik auch Gelenkregler (u. a. können diese als dezentrale PD-Regler spezifiziert werden). Vergleichen Sie hierfür das Beispiel „Plan and Execute Task- and Joint-Space Trajectories Using KINOVA Gen3 Manipulator“ in der RSTB-Dokumentation.

4 Dokumentation

Gliedern Sie die Dokumentation entsprechend der obigen Aufgaben. Dokumentieren Sie alle Lösungen der Aufgaben, ggf. auch durch Angabe der Matlab-Befehle und Ergebnisse. Doku-

mentieren Sie auch alle Berechnungen und Ergebnisse. Nutzen Sie hierfür auch tabellarische und grafische Darstellungen. Diskutieren Sie die Ergebnisse entsprechend der Fragen. Achten Sie bei grafischen Darstellungen auf die korrekte Achsbeschriftung und die Kenntlichmachung und Bezeichnung der Signalverläufe in einer Legende. Erläutern Sie die in Grafiken oder tabellarischen Übersichten dargestellten Ergebnisse auch im Text.

Achten Sie auf die formalen Anforderungen beim Schreiben von wissenschaftlichen Arbeiten (s. z. B. die Präsentation „wissenschaftliche Arbeiten_Vortraege“ (unter Material)).