

Robotersteuerungen

Projektaufgabe¹

1 Ziel und Inhalt

Das Projekt dient den folgenden Zielen:

- Vertiefung der theoretischen Inhalte des Moduls, insbesondere zur Kinematik, Dynamik und Regelung von seriellen Manipulatoren und
- Verwendung der Robotics System Toolbox (RSTB) zur Lösung von Aufgaben der Robotersteuerung (Bahnsteuerungen, Kraftregelungen)

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

- die Modellierung innerhalb von Matlab/Simulink als sog. rigidBodyTree-Objekte,
- die Transformation zwischen den Koordinatensystemen der Armsegmente,
- die Dynamik des Roboters,
- die Pfad- und Bahnplanung im Konfigurationsraum und im Arbeitsraum,
- die Umsetzung einer Bewegungsaufgabe durch verschiedene Regelungskonzepte,
- die Umsetzung einer Kraftregelung.

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: 2.0, 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, Beschleunigungen und Momente).

3 Aufgaben

1. Sehen Sie sich zu dem Ihnen gegebenem 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) Lassen sich damit das kinematische und das dynamische Modell bilden?
 - e) Lassen sich die kinematischen und dynamischen Beschränkungen für die Simulation des geregelten Roboters ableiten? Wenn nicht, versuchen Sie diese aus den recherchierten Unterlagen abzuleiten.
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. Berücksichtigen Sie beim Laden, dass per Default die Schwerkraft vernachlässigt wird.
 - 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.
 - e) Sind die Begrenzungen der Achswinkel und -geschwindigkeiten im Modell-Objekt enthalten? Wie lassen sie sich ggf. spezifizieren?

3. 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.
4. Wiederholen Sie vorstehende Aufgabe mittels analytisch berechneter inverser Kinematik (Objekt `analyticalInverseKinematics`). Welche Voraussetzung muss der Roboter hierfür erfüllen? Vergleichen Sie die Ergebnisse mit denen der vorherigen Aufgabe.
5. Untersuchen Sie das dynamische Modell des Roboters, wie es durch das `rigidBodyTree`-Objekt gegeben ist.
 - a) Bestimmen Sie für verschiedene Konfigurationen (zumindest Arm senkrecht, Arm waagrecht) den Vektor der verallgemeinerten Schwerkraft (resultierende Momente in den Gelenken). Geben Sie für jedes Gelenk die minimal und maximal zu kompensierenden Momente aufgrund der Schwerkraft an (Hinweis: Methode `gravityTorque(.)`).
 - b) Untersuchen Sie, wie sich die Elemente der verallgemeinerten Massenmatrix in Abhängigkeit von der Konfiguration ändern (Hinweis: Methode `massMatrix(.)`).
 - c) Bestimmen Sie für verschiedene Gelenkgeschwindigkeiten die verallgemeinerten Euler- und Corioliskräfte. In welcher Größenordnung liegen diese? Sind bestimmte Achse besonders stark gekoppelt? (Hinweis: `coriolisMatrix(.)` liefert die Coriolismatrix, die Methode `velocityProduct(.)` den Vektor der Momente.)
 - d) Untersuchen Sie den Effekt von externen, auf den Endeffektor einwirkenden verallgemeinerten Kräften auf die Momente in den Gelenken.
 - e) Werden Reibungsmomente im dynamischen Modell berücksichtigt?
 - f) Simulieren Sie in Simulink mit Hilfe des Blocks Forward Dynamics wie sich der Roboter beginnend in einer gewählten Anfangskonfiguration aufgrund der Schwerkraft bewegt, wenn keine Antriebsmomente wirken (vgl. Corke et al., S.378ff).
6. Der Roboter soll innerhalb seines Arbeitsraums eine Bewegungsaufgabe ausführen. Definieren Sie hierfür einen Start- und einen Zielpunkt jeweils mit einer festgelegten Orientierung. Die Bewegungen sollen die bekannten kinematischen und dynamischen Beschränkungen einhalten.
 - 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 Time-Scaling in der Funktion `transformtraj` verwendet werden. Stellen Sie die Achswinkel, -geschwindigkeiten und -beschleunigungen über der Zeit dar. Stellen Sie die Bewegung im Arbeitsraum dar.
7. Simulieren Sie die Bahn im Gelenkraum aus vorstehender Aufgabe, indem Sie für die Ausführung der Bahn den Simulink-Block Joint Space Motion Model verwenden. Dieser beinhaltet neben der Dynamik auch Gelenkregler. Spezifizieren Sie die Regelung als dezentrale PD-Regler. Stellen Sie die Reglerparameter ggf. ein. (Vergleichen Sie hierfür das Beispiel „Plan and Execute Task- and Joint-Space Trajectories Using KINOVA Gen3 Manipulator“ in der RSTB-Dokumentation.)
8. Setzen Sie die Bewegungssteuerung für vorstehende Aufgabe durch Momentenvorsteuerung und/oder die Computed-Torque-Methode um. Verwenden Sie hierfür nicht den Simulink-Block Joint Space Motion Model, sondern u. a. die Blöcke Forward Dynamics und Inverse Dynamics (vgl. Corke et al., S.380ff). Berücksichtigen Sie kinematischen und dynamischen Beschränkungen. Simulieren Sie die Abtastung der Regelung mit geeigneten Abtastfrequenzen (vgl. recherchierte Informationen zum Roboter).
9. Zusatzaufgabe: Setzen Sie eine einfache Kraftregelung um. Beispiele können eine Impedanz-, Admitanz- oder hybride Kraft-/Lageregelung sein. Hierbei kann die Aufgabe darin bestehen, den Endeffektor mit definierter Anpresskraft entlang einer Bahn zu verfahren oder den Endeffektor in Abhängigkeit von einer an ihm angreifenden Kraft definiert zu bewegen (z. B. Handführung).

4 Dokumentation

Gliedern Sie die Dokumentation entsprechend der obigen Aufgaben. Dokumentieren Sie alle Lösungen der Aufgaben, gg. auch durch Angabe der Matlab-Befehle und Ergebnisse. Dokumentieren 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 tabellari-schen Übersichten dargestellten Ergebnisse auch im Text.

Achten Sie auf die formalen Anforderungen beim Schreiben von wissenschaftlichen Arbeiten.