



Versuchsanleitung - Praktikum NLR 1

Regelung eines Zweiarm-Roboters

Verantwortlicher Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing Johann Reger

Versuchsbetreuer: M.Sc. Matti Noack

Name, Vorname	Matrikelnummer	Datum
Gruppenmitglieder		
Note	Unterschrift	

Versuchsanleitung - Praktikum NLR 1

Voraussetzungen

Voraussetzungen für die Vorbereitung und Durchführung des Versuchs sind die Lerninhalte der Vorlesungen 6 bis 14 im Fach *Nichtlineare Regelungssysteme 1* mit den Themen:

- Dynamik von Starrkörpersystemen (Euler-Lagrange-Gleichungen, generalisierte Koordinaten)
- PD-Festwertregelung
- PID-Folgeregelung auf Basis der inversen Dynamik [computed-torque control]
- adaptive Folgeregelung für Starrkörpersysteme mit Unsicherheiten
- Stabilitätsbegriff und -analyse nach Lyapunov

Lernziele

- Modellbildung für einen Zweiachs-Roboter mit Hilfe der Lagrange-Gleichungen
- Analyse des nichtlinearen Modells des Zweiachs-Roboter
- Reglerentwurf mit Hilfe der Lyapunov-Theorie
- Regelungsentwurf auf Basis des Certainty-Equivalence-Principle

Anmerkung zur verwendeten Software

Die Herleitung der Modellgleichungen und der Reglerentwurf, die simulative Lösung der Differentialgleichungen im geschlossenen Regelkreis, usw. werden anhand der Software Maple der Firma [Maplesoft](#) durchgeführt. Falls Ihnen für die Vorbereitungsaufgaben kein privater Zugang zu Maple möglich ist, so besteht die Möglichkeit in den Rechenkabinetten des Universitätsrechenzentrum die Software zu nutzen.

1 Versuchsbeschreibung

Der Zweiachs-Roboter besteht aus zwei Achsen P_1 und P_2 mit Länge l_1 und l_2 bzw. Masse m_1 und m_2 . Der Winkel zwischen P_1 und der x -Achse ist ϕ_1 , der Winkel zwischen P_2 und der x -Achse ist $\phi_1 + \phi_2$. Zwei Motoren aktuieren diese Anordnung. Einer ist im Ursprung des Koordinatensystems verankert, der andere zwischen P_1 und P_2 . Die Motoren erzeugen die Momente τ_1 bzw. τ_2 . Für dieses System werden ein PD-Festwertregler, ein PID-Folgeregler [computed-torque control] und ein adaptiver Folgeregler entworfen.

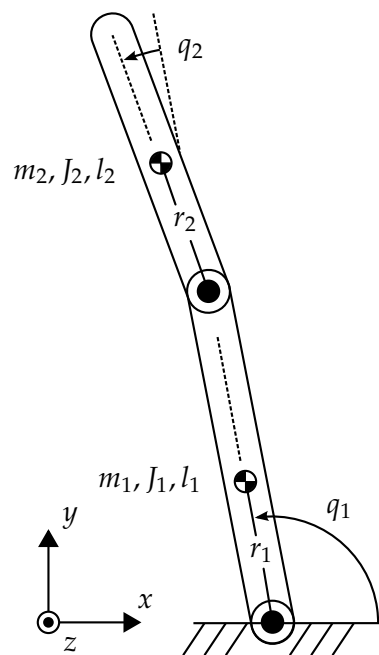


Abbildung 1: planarer Zweiachs-Roboter

2 Versuchsvorbereitung

Zur Vorbereitung auf das Praktikum lösen Sie die folgenden Aufgabe bitte **vor** dem Praktikumstermin. Die Ausarbeitungen zum Maple-Teil bringen Sie entweder ausgedruckt oder auf einem Speicherstick mit.

Aufgabe 2.1 (Analyse)

Lösen Sie bitte die nachfolgenden Aufgaben.

- Ermitteln Sie mit Hilfe des *Lagrange-Formalismus* das dynamische Modell des Zweiachs-Roboters. Er hat die zwei Freiheitsgrade q_1 und q_2 .
- Bringen Sie das Modell in die Form der Matrixschreibweise (Robotikgleichung)

$$D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau.$$

- Entwerfen Sie einen PD-Festwertregler, der das System im geschlossenen Regelkreis bei einer konstanten Sollposition $q^* = (q_1^* \ q_2^*)^T$ asymptotisch stabilisiert. Welche Modellvoraussetzungen müssen erfüllt sein, um das System bei q^* stabilisieren zu können?
- Wie muss die Lyapunov-Funktion gewählt werden?
- Leiten Sie das adaptive Folgeregelgesetz zur Regelung des Robotormodells unter Unsicherheiten her.

Versuchsanleitung - Praktikum NLR 1

Aufgabe 2.2 (Maple)

Lösen Sie die folgenden Aufgaben mit *Maple* (nutzen Sie die [Beispielvorlage](#) von der [Webseite](#)).

- Bestimmen Sie die kinetische Energie, die potentielle Energie und die Lagrange-Funktion des Zweiachs-Roboters.
- Bestimmen Sie symbolisch die Matrizen $D(q)$, $C(q, \dot{q})$ und den Vektor $g(q)$.
- Betrachten Sie das Differentialgleichungssystem:

$$\dot{x}(t) = -x(t) + 3y(t)$$

$$\dot{y}(t) = -2y(t) - x(t)$$

mit den Anfangswerten $x(0) = 1$ und $y(0) = 1$. Bestimmen Sie die Lösungen $x(t), y(t)$ und zeichnen Sie sie für die Zeiten $t \in [0, 10]$.

Mögliche Maple-Befehle: `dsolve`, `union`, `odeplot`, `plot` ..

Mögliche Maple-Bibliotheken: `LinearAlgebra`, `plots`, `ArrayTools` ..

3 Versuchsdurchführung

Aufgabe 3.1 (PD-Festwertregler)

- Implementieren Sie und lösen Sie die von Ihnen hergeleiteten Differentialmodellgleichungen des Zweiachs-Roboters.
- Entwerfen sie einen PD-Festwertregler.
- Bestimmen Sie die numerische Lösung von q_1 und q_2 .
- Stellen Sie die Lösungen in Abhängigkeit der Zeit dar (Befehl: `odeplot`).
- Stellen Sie die Stellgrößen als Funktion der Zeit dar.
- Variieren Sie die Anfangswerte und diskutieren Sie die Ergebnisse gegenüber konstanten Störungen auf der Stellgröße.

Aufgabe 3.2 (PID-Folgeregler)

- Entwerfen einen PID-Folgeregler auf Basis der inversen Dynamik [computed-torque control]
- Stellen Sie das System im geschlossenen Regelkreis dar (Achtung: I-Anteil)
- Bestimmen Sie das charakteristische Polynom der Fehlerdynamik im geschlossenen Regelkreis.
- Variieren Sie die Werte der Verstärkungen K_p , K_i und K_d . Unter welchen Umständen kann sich ein schwingfähiges Verhalten ergeben?

Versuchsanleitung - Praktikum NLR 1

- e) Variieren Sie die Anfangswerte und diskutieren Sie die Ergebnisse gegenüber konstanten Störungen auf der Stellgröße.

Aufgabe 3.3 (Folgerelungsentwurf unter Unsicherheiten)

- a) Adaptieren Sie alle Parameter des Systems und implementieren Sie das Regelgesetz des adaptiven Folgereglers.
- b) Zeichnen Sie die adaptierten Parameter als Funktionen der Zeit.
- c) Stimmen die adaptierten Parameter mit den tatsächlichen Parametern überein?
- d) Simulieren Sie den Fall konstanter Störungen auf der Stellgröße und diskutieren Sie das Ergebnis.