Technische Universität Berlin

Fakultät IV Elektrotechnik und Informatik

Fachgebiet Regelungssysteme

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Jörg Raisch

Praktikum zeitdiskrete Regelung

Zeitdiskrete kaskadierte Folgeregelung: Ball und Wippe

1 Einleitung

Ziel des Versuchs ist der Entwurf einer zeitdiskreten Folgeregelung, welche einen Ball, der sich in einer Dimension auf einer Wippe bewegen kann, durch Ansteuerung des Kippwinkels der Wippe, positioniert. Zusätzlich soll der Regler einer inneren Schleife dimensioniert werden, der den Wippenwinkel regelt. In Abbildung 1 ist der Versuchsaufbau zu sehen, wie er im Labor vorzufinden ist.

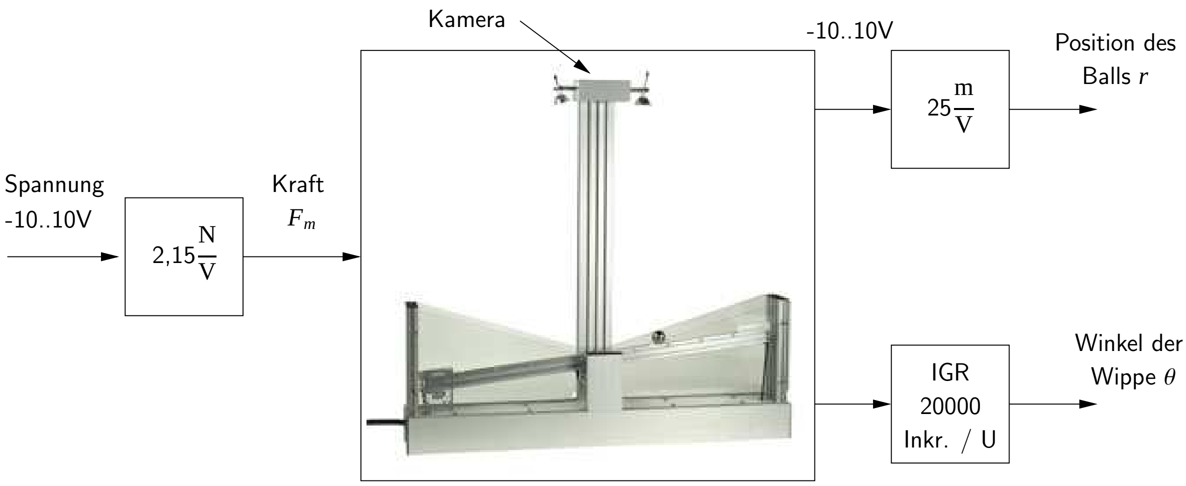

Abbildung 1: Versuchsaufbau

Der Wippenwinkel lässt sich über eine Kraft F_m am äußeren Wippenrand verstellen. Diese wird durch einen Motor erzeugt, welcher direkt mit einem Spannungssignal angesteurt wird. Messgrößen sind die Position des Balls auf der Wippe und der Wippenwinkel. Die Position r wird über ein Kamerasystem erfasst und steht als analoger Spannungswert zur Verfügung.

2 Modellbeschreibung

Zunächst wird das Modell des Teilsystems „Ball“ (Abb. 2) betrachtet. Dieser wird unter der vom Kippwinkel abhängigen Einwirkung der Schwerkraft beschleunigt. Da der Eingang dieses Systems der Kippwinkel ϕ und der Ausgang die Ballposition r sein soll, wird ein Kräftegleichgewicht zwischen der Beschleunigungskraft und der entgegenwirkenden Kraft der Massenträgheit angesetzt:

$$m\ddot{r} = mg \sin\phi$$

Nach einer Linearisierung um den Arbeitspunkt $\phi = 0,\ \dot{\phi} = 0$ und Anwendung der Laplacetransformation findet man die Übertragungsfunktion

$$\frac{R(s)}{\Phi(s)} = \frac{g}{s^2}$$

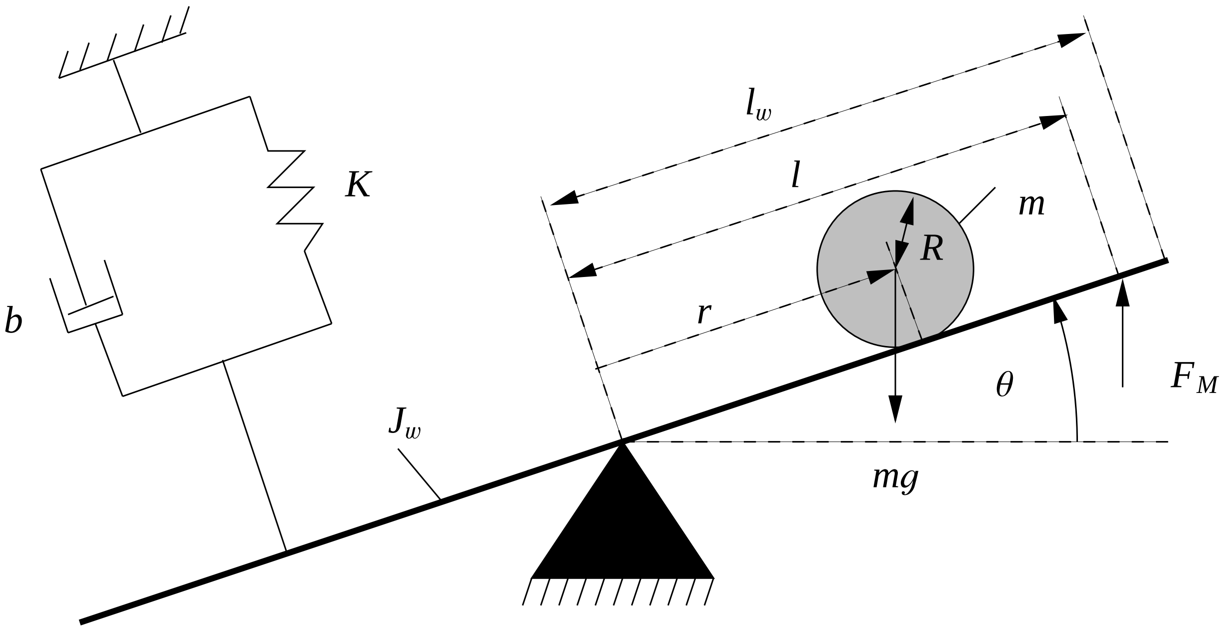

Abbildung 2: Schematische Darstellung der Wippe

Die Übertragungsfunktion vom Kippwinkel in Encoderschritten $\Phi_{enc}(z)$ zur Motorspannung wurde als eine zeitdiskrete Transferfunktion identifiziert, für welche die Abtastzeit $T_a = 0.01s$ beträgt:

$$G_i(z) = \frac{\Phi_{enc}(z)}{U'(z)} = \frac{a_1 z}{(z-1)(z+b_1)} \tag{1}$$

Die Parameter wurden zu $a_1 = -2.4877$ und $b_1 = -0.9259$ bestimmt. Zwischen dem Winkel in Bogenmaß und den Encoderschritten gilt die einfache Beziehung

$$\phi_{enc} = \frac{4 \cdot 5000}{2\pi}\phi$$

.

Aufgrund der mechanischen Eigenschaften des Antriebsriemens kommt es zu einer Totzone, welche approximativ durch

$$u' = \begin{cases} u - 0.7 & u > 0.8 \\ u + 0.7 & u < -0.8 \\ 0 & sonst \end{cases}$$

modelliert werden kann und der Stecke $G_i(z)$ vorgeschaltet ist.

2.1 Vorbereitungsaufgaben

2.1.1 Reglerentwurf

Es soll eine Kaskadenregelung entworfen werden. Die innere Schleife soll den Winkel der Wippe regeln, während die äußere Schleife die Position des Balls durch Ansteuerung der Referenz für den Winkel regelt. Die am realen System auftretende Totzone soll beim Entwurf berücksichtigt werden. Die Struktur dieses Aufbaus ist in Abb. 3 dargestellt.

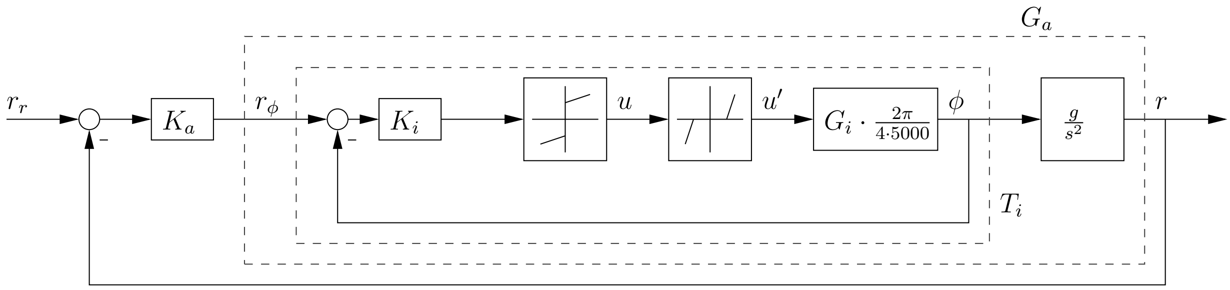

Abbildung 3: Kaskadenstruktur

Kompensation der Totzone Implementieren Sie die inverse Funktion der Kennlinie in Scicos. Hierzu kann beispielsweise der Block *scifunc* verwendet werden. Diese soll später der Strecke $u \rightarrow \phi$ vorgschaltet werden, um die Nichtlinearitäten zu kompensieren.

Winkelregler Legen Sie die innere Schleife aus, indem Sie zur Strecke $G_i(z)$ einen zeitdiskreten Regler, welcher den Wippenwinkel anhand einer Referenz r_ϕ einstellt, entwerfen! Um Messrauschen und durch Nichtlinearitäten der realen Strecke verursachte mögliche Oszillationen zu unterdrücken, soll im Zähler des Reglers eine Nullstelle bei -1 platziert werden. Weiterhin sollen stationäre Regelabweichungen vermieden werden, indem trotz des summierenden Anteils der Strecke eine Polstelle bei $z_0 = 1$ eingefügt wird. Entwerfen Sie den Regler durch Polvorgabe, die Anstiegszeit soll etwa 0.2 Sekunden betragen.

Äußere Schleife Um den Reglerentwurf der Äußeren Schleife zu erleichtern, können Sie das Führungsverhalten des geschlossenen inneren Regelkreis durch einen Tiefpass 1. Ordnung approximieren:

$$T_i(z) = \frac{\phi}{r_\phi} \approx \frac{a_T}{z - b_T}$$

Diskretisieren Sie die Übertragungsfunktion $\frac{R(s)}{\Phi(s)}$ unter Scilab mit *dscr* (Halteglied 0-Ordnung) und stellen Sie die virtuelle Strecke $G_a(z)$ auf, die sich aus der Reihenschaltung der approximierten Führungsübertragungsfunktion der inneren Schleife und des diskretisierten Systems für den Ball ergibt. Entwerfen Sie jetzt einen weiteren Polvorgabe-Regler (äußere Schleife) auf die Strecke $G_a(z)$. Dieser soll ebenfalls keine bleibende Regelabweichung zulassen. Bei Führungssprüngen von $0.1m$ sollte der resultierende Stellgrößenausschlag etwa 10 Grad betragen, sonst könnte die Kugel wegen der Haftreibung nicht losrollen.

Hinweis: Bitte beachten Sie, dass die Annahme von summierenden Anteilen in der Strecke in der Realität aufgrund von z.B. Haftreibung etc. nicht ideal erfüllt ist!

2.1.2 Simulation

Implementieren Sie die innere und äußere Schleife in Scicos! Berücksichtigen Sie auch die Totzone, sowie deren Kompensation. Fügen Sie weiterhin Stellgrößenbeschränkungen für die Motorspannung $u \in [-3, 3]$ ein und beschränken Sie die Auslenkung der Wippe auf den Bereich zwischen -15 und 15 Grad ($\phi \in [\pi - 15/180, \pi + 15/180]$), sodass die Wippe am realen Versuch nicht in die Begrenzung fahren kann. Simulieren Sie einen Führungssprung von $r = 0$ auf $r = 0.1m$.

3 Durchführung

Implementieren Sie am Versuchsstand zunächst die innere Schleife und führen Sie aussagekräftige Tests durch. Sind die Ergebnisse soweit in Ordnung fügen Sie die Ballpositionsregelung hinzu. Analysieren Sie das Verhalten der Regler und stellen Sie einen Ausblick für Verbesserungen auf. Für alle Versuche sind die Verläufe für Referenz, Stell- und Regelgrößen aufzuzeichnen.