

Protokoll 2 ATu2

Y.Huang, J.Yu, T.Yang, Z.Zhou

Zusammenfassung: In diesem Protokoll werden das Ergebnis von L2 und die Linearisierung des Systems erläutert. Danach werden die Eigenschaften der Zustandsraumdarstellung analysiert und einen passenden Regelkreisstruktur wird gewählt.

1. AUFGABENSTELLUNG

Um eine Zustandsraumdarstellung für den Regelungsentwurf zu herleiten, sollten Arbeitspunkte auf der Basis der gegebenen Trajektorie gewählt werden. Danach werden die Eigenschaften des linearisierten Systems analysiert. Und einen passenden Regelkreisstruktur wird gewählt, damit das System asymptotisch stabilisiert werden kann.

2. ERGEBNIS VON LABORVERSUCH 2

Um die Kennlinie von jeweils Motor zu bekommen, haben wir die Kräfte von jeweils Motor bei der bestimmten Eingang-Spannung gemessen. Durch ein Gewicht wird Hubschrauber zur Waage gedrückt. Dadurch lesen wir die Ablesungen aus, vor und nach wir die Eingang-Spannung ausüben, und die Differenz zwischen beide Ablesungen ist die Kraft des Motors. Mit den Messdaten können wir eine Ausgleichungskurve in Abbildung 1 bekommen.

$$K_1 = 0.0089x^3 - 0.0058x^2 + 0.0256x - 0.0045 \quad (1)$$

$$K_2 = -0.0063x^3 + 0.0725x^2 - 0.0468x + 0.0018 \quad (2)$$

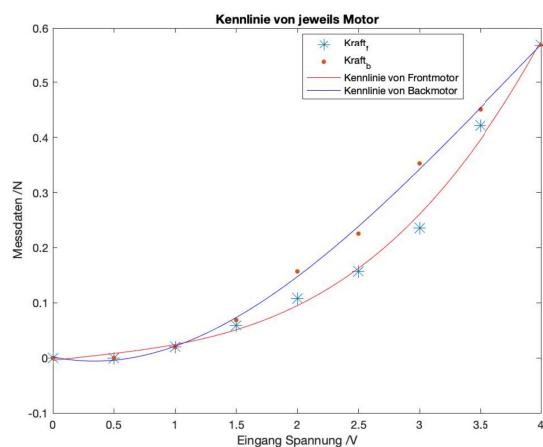


Abbildung 1. Motor-Kennlinie.

3. LINEARISIERUNG DES MODELLS

In letztem Protokoll 1 wurde Bewegungsgleichungen für drei Achse schon formuliert. Um ein Regler zu entwerfen, sollte das Modell bei den gewählten Arbeitspunkten linearisiert werden. Durch die Differentialgleichung

$$\begin{aligned} \Delta\dot{x} &= f(x_{Ap}, u_{Ap}) + A \cdot (x - x_{Ap}) + B \cdot (u - u_{Ap}) \\ &= f(x_{Ap}, u_{Ap}) + A \cdot \Delta x + B \cdot \Delta u \end{aligned} \quad (3)$$

ergibt sich die Zustandsraumdarstellung.
Die Systemmatrix A

$$A = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{x=x_{Ap}, u=u_{Ap}} \in R^{6 \times 6} \quad (4)$$

und die Steuermatrix B

$$B = \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_{x=x_{Ap}, u=u_{Ap}} \in R^{6 \times 2} \quad (5)$$

werden unter den Arbeitspunkten berechnet.

Mit den gewählten Arbeitspunkten

$$x_{Ap} = \begin{pmatrix} 0 \\ -7.5^\circ \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, u_{Ap} = \begin{pmatrix} 0.5624 \text{ N} \\ 0.5624 \text{ N} \end{pmatrix} \quad (6)$$

befindet sich das System im Gleichgewicht, der Term $f(x_{Ap}, u_{Ap})$ in der Gleichung 3 ist gleich null, und wir erhalten

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -0.0119 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0344 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.1151 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0.6077 & 0.6077 \\ 4.4242 & -4.4242 \end{pmatrix}$$

Die Ausgänge des System sind $[\alpha \beta \gamma]^T$, deshalb ist die Beobachtungsmatrix

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

In der Systemmatrix A weisen Zeilen 1, 2 und 3 auf, dass $[\dot{x}_1 \dot{x}_2 \dot{x}_3] = [x_4 x_5 x_6]$. Da die Bewegungsgleichungen in den Zeilen linear sind, bleiben sie unverändert.

Zeile 4 beschreibt den negativen Einfluss auf Schwenkwinkel α von Nickwinkel γ , was entspricht der Bewegungsgleichung. Die Kräfte der Propeller haben beim Arbeitspunkt $\gamma_{AP} = 0$ aufgrund der horizontalen Position keinen direkten Einfluss auf den Schwenkwinkel.

In Zeile 5 ist erkennbar, dass die Beschleunigung des Steigwinkels β hauptsächlich von den positiven Propellerkräften beeinflusst wird, und auch bei einer Auslenkung des Steigwinkels in die entgegengesetzte Richtung.

In der letzten Zeile gibt es auch eine größere Wirkung den Propellerkräften auf die Beschleunigung des Nickwinkels γ , im Vergleich mit der gegenteiligen Kraft von der Auslenkung des Nickwinkels.

4. ANALYSIERUNG DES MODELLS

Für die Systemmatrix A haben wir die Eigenwerte ausgerechnet, und der Realteil aller Eigenwerte von A ist gleich Null. Deswegen kann mittels der Linearisierung keine Aussage über Stabilität oder asymptotische Stabilität der Ruhelage getroffen werden. Außerdem ist die Ruhelage nicht exponentiell stabil. Deswegen müssen wir einen Regler entwerfen, um das System zu stabilisieren.

Als Nächstes haben wir die Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit des Systems verifiziert. Durch die Rechnung haben wir festgestellt, dass die Steuerbarkeitsmatrix

$$S = [B \ AB \ A^2B \ \dots \ A^{n-1}B] \quad (7)$$

und die Beobachtbarkeitsmatrix

$$O = [C \ CA \ CA^2 \ \dots \ CA^{n-1}] \quad (8)$$

vollen Rang haben. Deshalb ist das System steuerbar und beobachtbar. Damit erfüllt das System die Voraussetzungen für den Regelungsentwurf.

5. REGELKREISSTRUKTUR

Nachdem die Regelstrecke, also das Modell, in der Zustandsraumdarstellung eingestellt wurden, werden weitere Probleme wie Stabilität, Regelabweichung berücksichtigt. In der geschlossenen Kreis in Abbildung 2 wird ein Zustandsrückführung mit I-Anteil implementiert. Weil die Zustände von realem System nicht alle gemessen werden kann, wird zusätzlich einen Beobachter entworfen.

Es gibt folgende Signale in der geschlossenen Kreis:

$$\begin{aligned} r(t) &= [r_\alpha \ r_\beta]^T \in R^2 \text{ Führungsgröße} \\ u(t) &\in R^2 \text{ Stellgröße} \\ y_m(t) &\in R^3 \text{ Messgröße} \\ \hat{x}(t) &\in R^6 \text{ geschätzter Zustandsvektor} \end{aligned}$$

6. PLAN FÜR L3

Wie in Tabelle 1.Arbeitsplan für Laborversuch 3 gezeigt.

LITERATUR

- “CAD drawings of the Quanser 3 DOF helicopter,” IST, Tech. Rep., 2011.
- “3-DOF Helicopter: User Manual,” Quanser Inc., Markham, ON, Canada., Tech. Rep., 2010.
- “Erweiterte Regelkreisstrukturen,” IST, 2016.

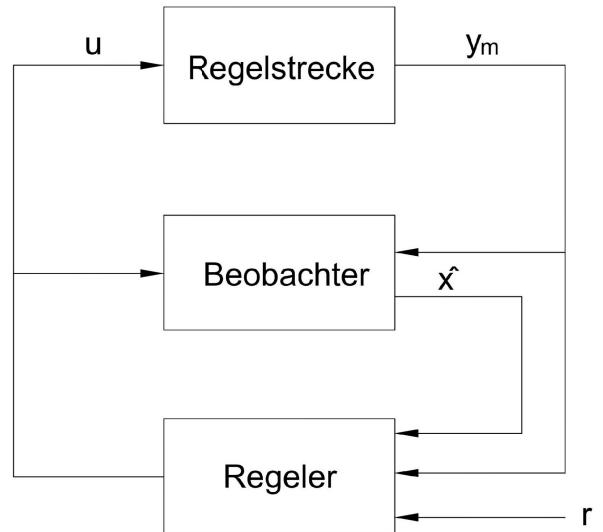


Abbildung 2. Regelkreisstruktur.

Tabelle 1. Arbeitsplan für Laborversuch2

Time	Duration	Goal	Task	Preparation
14:00	60 min.	Design Regler	Entscheiden die Ein- und Ausgänge des Reglers und Rechnen die Parameter mit LQR	Grundlage von LQR wiederholen
15:00	60 min.	Einsatz des Reglers im Simulationsmodell	Versuchen den Regler im Simulation durchzuführen und modifizieren die Parameter des Reglers	Erstellen ein Regler-Subsystem in Simulink
16:00	60 min.	Einsatz des Reglers im realen System	Implementieren den Regler im realen System und vergleichen die Ergebnisse	