Institut für Dynamische Systeme und Regelungstechnik

Christoph Zuidema

Human in the Loop

Laborpraktikum

Institut für Dynamische Systeme und Regelungstechnik
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

19. Februar 2024

1 Einleitung

Herzlich willkommen zum 'Human in the Loop'-Versuch!

1.1 Mensch als Regler

Der Mensch als Regler ist eigentlich etwas alltägliches. Der Mensch regelt zum Beispiel den Cursor der Maus am Bildschirm. Oder beim Fahrrad fahren regelt er sogar ein instabiles System. Die Idee dieses Versuchs ist es, den Menschen als Regler $C(s)$ wie es in 'Control Systems I' gelehrt wird, zu analysieren.

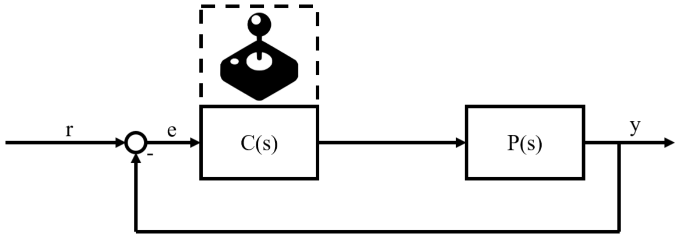

Abbildung 1: Der Human in the Loop mit dem Joystick gekennzeichnet.

Dazu wirst du mit einem Joystick mit verschiedenen Strecken $P(s)$ per Joystick interagieren. Klassische Analysen bekannt aus 'Control Systems I' zeigen auf, wo die Schwächen und Stärken des Menschen liegen. Zusätzlich zeigt das Experiment auch, welche Annahmen man treffen darf und welche nicht und wo auch die Grenzen der Analysetools aus 'Control Systems I' liegen.

1.2 Vorbereitung

Auf den folgenden Seiten findest du einige Fragen, die dich für dieses Laborpraktikum vorbereiten sollen. Die Theorie, die dazu benötigt ist, wird im Fach Control Systems I vermittelt. Wenn du also noch eine Zusammenfassung und oder Notizen dazu hast, werden die sicher behilflich sein. Ansonsten findest du auf der Website von Control Systems I (`https://idsc.ethz.ch/education/lectures/control-systems-i.html`) auch einige Unterlagen.
Man sollte mit zirka eineinhalb bis zwei Stunden Aufwand fürs Lösen dieser Aufgaben einberechnen. Durch das Lösen dieser Aufgaben erarbeitest du dir wichtige Grundlagen, ohne die der 'Human in the Loop'-Versuch schwierig zu bewältigen ist. Es lohnt sich also, diese Zeit zu investieren!

2 State-Space Form

2.1 Warum werden Variablen normiert?

2.2 Warum werden nicht-lineare Systeme linearisiert? Erkläre auch die Bedeutung des Gleichgewichtspunktes.

2.3 Schreibe die 'Linear State Space Form' auf. Zeige, wie man die einzelnen Matrizen berechnen kann.

2.4 Welche regelungstechnischen Grössen oder Eigenschaften können aus den Matrizen gelesen werden?

a)

b)

c)

2.5 Linearisieren

Gegeben sei die Dynamik des folgenden Systems:

$$\begin{aligned}
\dot{x_1}(t) &= -\frac{1}{2}x_2(t) \\
\dot{x_2}(t) &= u(t) \cdot x_1(t) - \frac{2}{\pi} \cdot x_1(t) \cdot x_2(t) - \sin(x_1(t)) \\
y(t) &= 2 \cdot u(t) + x_1(t)
\end{aligned}$$

Bestimme die Systemmatrizen A, b, c, d, indem das System um Betriebspunkt $x_0 = [\pi\, 0]^T$ linearisiert wird.

3 Laplace Transformationen Recap

3.1 Wo wird die Laplacetransformation in der Regelungstechnik verwendet?

3.2 Die Rücktransformation in den Zeitraum ist oft sehr komplex. Warum ist das kein (grosses) Problem für unsere Regelungstechnikprobleme?

3.3 Eigenschaften der Laplace-Transformation: Fülle die Tabelle aus.

Eigenschaft	Transformation	Resultat
Linearität	$\mathcal{L}\{a \cdot x_1(t) + b \cdot x_2(t)\}$	$a \cdot X_1(s) + b \cdot X_2(s)$
Ableitung t	$\mathcal{L}\{\frac{d}{dt}x(t)\}$	
Integral t	$\mathcal{L}\{\int_0^t x(\tau)d\tau\}$	
Verschiebung	$\mathcal{L}\{x(t-T)\}$	

3.4 Anwendungsbeispiel 1

Leite die Übertragungsfunktion $\Sigma(s) = \frac{Y}{U}$ des folgenden Gleichungssystems her. (Tipp: Verwende die Regeln aus 3.3)

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}x(t) &= A \cdot x(t) + b \cdot u(t),\, x(0) = 0 \\ y(t) &= c \cdot x(t) \end{aligned}$$

4 Stabilität

4.1 Erkläre den Unterschied zwischen BIBO-Stabilität und Lyapunov-Stabilität

4.2 Erkläre die Rolle der Systemmatrix A und der Stabilität des Systems.

a) Was bedeuten die Eigenwerte?

b) Wie findet man Informationen über die Stabilität des Systems anhand der Eigenwerte?

4.3 Wieso sollte man nicht-minimalphasige Nullstellen vermeiden? Was muss für den Regler gelten, wenn nicht-minimalphasige Nullstellen im System vorkommen?

5 Closed-loop Stabilität

5.1 Zeichne einen geschlossenen Regelkreis.

5.2 Erkläre das Konzept der Durchtrittsfrequenz ω_c. Was muss bezüglich ω_c erfüllt sein, falls die Strecke $P(s)$ einen instabilen Pol besitzt?

5.3 Erkläre das Nyquist Theorem: Die Stabilität welcher Übertragungsfunktion wird anhand was ermittelt? Welche Gleichung muss erfüllt sein?