

# Protokoll 4 ATu2

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

Zusammenfassung: In diesem Protokoll wird die Versuche in L4 kurz beschrieben. Und dann erklären wir, welche Fehler wir im letzte Laborversuch gemacht haben. Dann werden die Probleme von H3 korrigiert und die Ergebnisse von zwei Beobachter: KBF und Luenberger-Beobachter in der Simulation sowie auf dem realen Helikopter verglichen und erklären.

## 1. PROBLEME VON LABORVERSUCH 4

Nach dem Laborversuch 4 finden wir insgesamt drei Fehler:

- Die Parameter von Kennlinie war falsch. Deshalb haben wir die Messung der Kennlinie noch mal durchgeführt und richtige Parameter eingesetzt.
- Einige Einzelheiten der Struktur sind übersehen worden. Wenn ein linearisiert Zustandsraummodell gerechnet ist, basieren die Ergebnisse tatsächlich auf gewählten Arbeitspunkten. Deshalb sind die Eingänge und Ausgänge von Beobachter und Regler  $\Delta\hat{x}$ ,  $\Delta u$  und  $\Delta y$ . Vor der Eingabe der Eingänge müssen  $u_{Ap}$  und  $y_{Ap}$  abgezogen werden. Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigt, wo wir die Arbeitspunkte in dem Modell hinzugefügt haben.
- Es fehlt ein Degree to Radian Block für die Umwandlung der Zustandeseingänge des Beobachters.

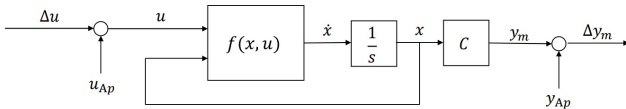


Abbildung 1. Das nichtlineare Simulationsmodell.

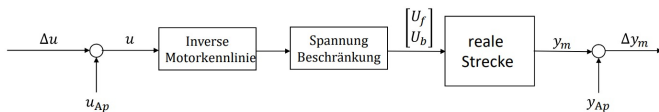


Abbildung 2. Das 3-DOF Helikopter Simulationsmodell.

## 2. TRAJEKTORIE GENERATION

Der maximale Stellgröße  $\beta$  wird auf  $-3^\circ$  gestellt, nicht  $0^\circ$ , da die Kraft von Motor nicht stark genug ist. Dadurch haben wir ein stabileres Ergebnis als vorher bekommen. Außerdem wird der maximale Stellgröße  $\beta$  von Position 3 zu Position 1 auf  $-3,5^\circ$  gestellt, damit wir besser die Ergebnisse von hin und zurück erkennen.

Abbildung 3 zeigt die resultierende  $\alpha - \beta$  Trajektorie in rote Linie.

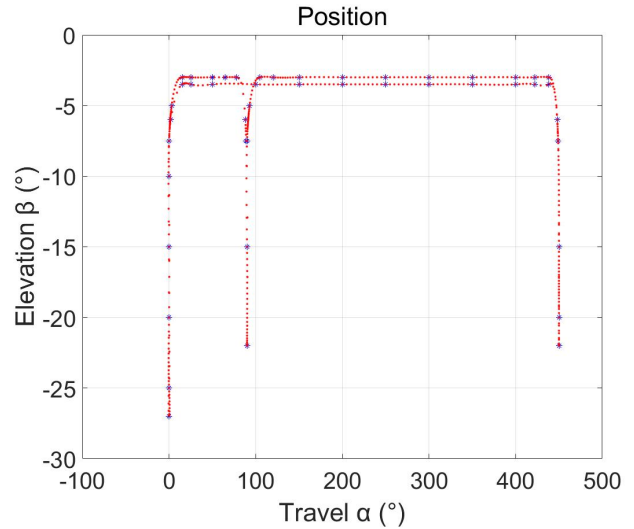


Abbildung 3. Trajektorie.

## 3. BEOBACHTERENTWURF

Bei vielen Reglerentwurfsverfahren wird vorausgesetzt, dass der komplette Zustand des dynamischen Systems zu jedem Zeitpunkt messbar ist (Zustandsrückführungsverfahren). In der Praxis ist es jedoch nicht möglich, die Geschwindigkeits Term des Zustandsvektors zu messen. Deshalb brauchen wir ein Beobachter, um die fehlenden Zustände zu schätzen.

Dann wird ein Luenberger-Beobachter im Regelkreis eingesetzt, der mit Hilfe der Messung der Ausgangsgröße  $y$  und der Stellgröße  $u$  eine Schätzung  $\hat{x}$  für den Zustand  $x$  liefert. Die Struktur des Beobachters wird in Abbildung 4 gezeigt.

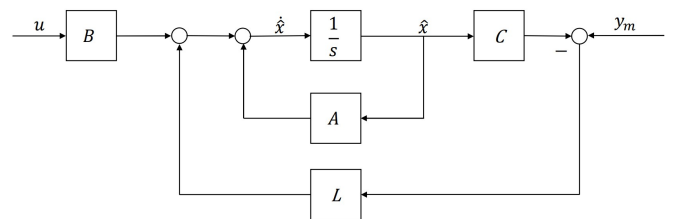


Abbildung 4. Luenberger-Beobachter.

Der Beobachter wird selbst als ein dynamisches System gleicher Dimension wie die zu beobachtende Strecke angesetzt.

$$\dot{\epsilon} = (A - LC)\epsilon \quad (1)$$

Unseres Ziel ist, dass der Beobachterfehler  $\epsilon = \dot{x} - \hat{\dot{x}}$  so schnell wie möglich gegen Null gehen sollen. Durch die geeignete Festlegung der Pole von der Matrix  $(A - LC)$  wird das Problem gelöst. Dazu müssen die Pole der Matrix  $(A - LC)$  sehr weit in die linke Halbebene gelegt werden. In der Regel sollen die Pole vom Beobachter 4 bis 10 mal weiter als die Pole vom Regler in die linke Halbebene liegen. Die Pole von Regler sind:

$$Pole - Regler = \begin{pmatrix} -0.6414 + 0.6376i \\ -0.6414 - 0.6376i \\ -0.9221 + 0.6957i \\ -0.9221 - 0.6957i \\ -1.9741 + 0.0000i \\ -5.4783 + 5.7201i \end{pmatrix} \quad (2)$$

Deshalb vergrößern wir den Realteil der Pole ungefähr 3 mal und die Pole von Beobachter sind:

$$Pole - Beobachter = \begin{pmatrix} -2 \\ -2 \\ -3 \\ -3 \\ -6 \\ -15 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Durch die Funktion *place* in Matlab wird die Matrix  $E$  gerechnet.

$$E = \begin{pmatrix} 21.0000 & 0 & 0 \\ 0 & 5.0000 & 0 \\ 0 & 0 & 5.0000 \\ 90.0000 & 0 & -0.6819 \\ 0 & 4.0272 & 0 \\ 0 & 0 & 5.6062 \end{pmatrix} \quad (4)$$

#### 4. ERGEBNISSE VON LABORVERSUCH 4

Nach dem Korrigieren der obigen Probleme, im Laborversuch 4 haben wir zwei Beobachter versucht, einer ist von KBF und anderer ist von Luenberger-Beobachter.

Mit KBF fliegt Helikopter sehr reibungslos, und die Flugbahn ist relativ glatt, wie in der Abbildung 5 und Abbildung 6 gezeigt wird. Aber im Vergleich zu Luenberger-Beobachter ist die Schwingungsamplitude bei  $\beta$ -Winkel größer, wie in der Abbildung 6 gezeigt wird.

Mit Luenberger-Beobachter werden die Propeller auf beiden Seiten schwanken wie in der Abbildung 7 gezeigt wird. Trotzdem ist die Schwingungsamplitude bei  $\beta$ -Winkel weniger als  $3^\circ$ , wie in der Abbildung 8 gezeigt wird. Außerdem ist der  $\alpha$ -Winkel des Helikopters bei Verwendung des Luenberger-Beobachters präziser und näher am Zielwinkel als KBF. Deswegen kann der Helikopter im Test mit Luenberger-Beobachter jedes Mal die Metallkugel anziehen. Aber im Fall von KBF zog der Helikopter nicht jedes Mal die Metallkugel an, d. h. mit KBF gibt es einen relativ größeren Fehler im  $\alpha$ -Winkel.

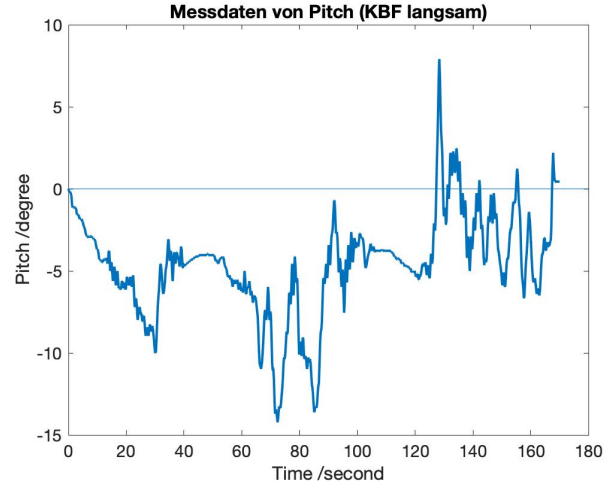


Abbildung 5. Messdaten von  $\gamma$  mit KBF.

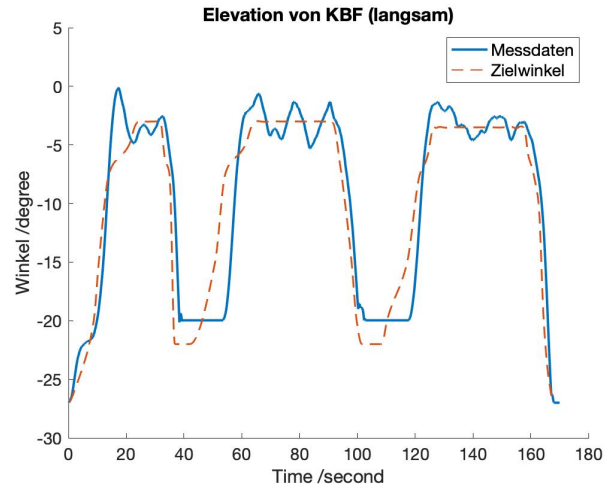


Abbildung 6. Messdaten von  $\beta$  mit KBF.

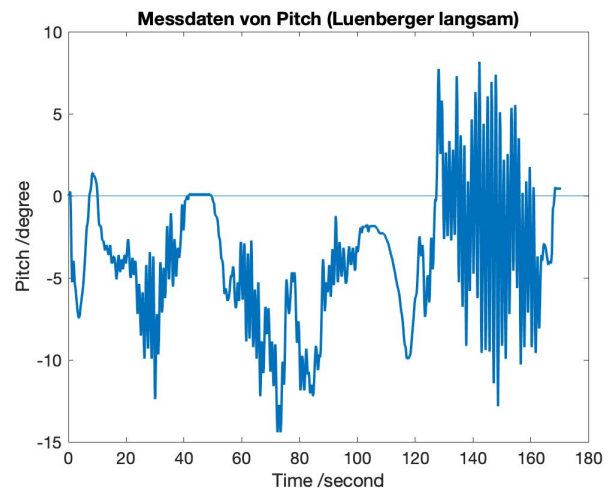


Abbildung 7. Messdaten von  $\gamma$  mit Luenberger-Beobachter.

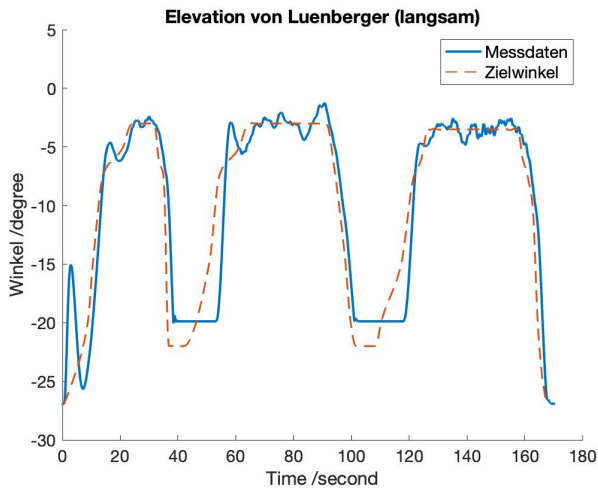


Abbildung 8. Messdaten von  $\beta$  mit Luenberger-Beobachter.

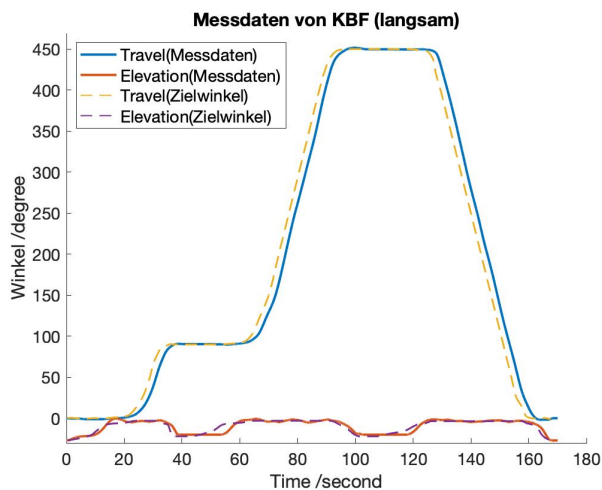


Abbildung 9. Kontrastdiagramm von dem Zielwinkel und der Messdaten (KBF).

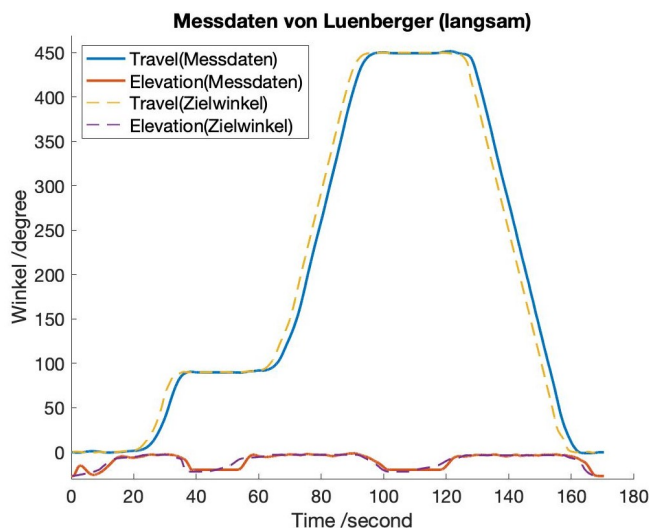


Abbildung 10. Kontrastdiagramm von dem Zielwinkel und der Messdaten (Luenberger-Beobachter).

Dann haben wir die Laufzeit der Trajektorie verkürzt, um den Helikopter schneller laufen zu lassen. Aber wir haben festgestellt, dass der Helikopter nicht so stabil war und der Fehler des  $\alpha$ -Winkels größer war. Der Helikopter konnte nicht mehr die Metallkugel anziehen. Daher haben wir diese Strategie aufgegeben und im Protokoll nicht die Messdaten mit der schnelleren Trajektorie gezeigt, sondern nur die Messdaten mit der langsameren Trajektorie.

Zusammenfassend beide Beobachter können die Aufgabe erledigen, wie die Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigt. Aber wir bevorzugen KBF, da mit KBF ist der Pitch Winkel  $\gamma$  stabiler und der Helikopter wackelt nicht so stark wie mit Luenberger-Beobachter.

## 5. PLAN FÜR L5

Wie in Tabelle 1 Arbeitsplan für Laborversuch 5 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.
- “Vorlesung „Konzepte der Regelungstechnik“, Handout Robustheit,” University of Stuttgart, Institute for Systems Theory and Automatic Control, 2021.

Tabelle 1. Arbeitsplan für Laborversuch 5

Time	Duration	Goal	Task	Preparation
14:00	60 min.	Führen die Gesamtsteuerungsaufgabe mit dem Helikopter erfolgreich durch und präsentieren unseres Simulationsmodell.	Implementieren den Regler im realen System und protokollieren die Ergebnisse.	
15:00	60 min.	Durch Iterieren dieser Strategie läuft der Helikopter schneller und stabiler	Optimieren die Pole des Luenberger-Beobachters oder die Koeffizienten $Q$ und $R$ des Reglers. Oder verbessern die Trajektorie.	