

Systemidentifikation und Regelung in der Medizin

Gedächtnisprotokoll

SS21

Multiple Choice Fragen haben jeweils nur eine richtige Antwort. Der Rechenweg muss für alle Lösungen erkennbar sein.

1 Least Squares

1.1 Aufgabe 1

Beurteilen Sie, ob sich die positiven Parameter Θ_1 bis Θ_4 des folgenden dynamischen Systems ($u(k)$ - Eingang, $y(k)$ - Ausgang, $\zeta(k)$ - Messrauschen) mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate (Least Squares - LS) bestimmen lassen.

$$y(k) = \Theta_1 u(k-1) + \Theta_2 u(k)^2 + \Theta_1 \Theta_3 \sin(u(k-1)) + \Theta_4/5 + \zeta(k)$$

- Ja
- Nein

1.2 Aufgabe 2

Beurteilen Sie, ob sich die positiven Parameter Θ_1 bis Θ_4 des folgenden dynamischen Systems ($u(k)$ - Eingang, $y(k)$ - Ausgang, $\zeta(k)$ - Messrauschen) mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate (Least Squares - LS) bestimmen lassen.

$$y(k) = \Theta_1 u(k) + 2\Theta_2 u(k-1) + \sin(\Theta_3 u(k)) + \Theta_4/5 + \zeta(k)$$

- Ja
- Nein

1.3 Aufgabe 3

Die Hessische Matrix bei der LS-Schätzung ist nahezu singular. Was bedeutet das? Wählen Sie die richtige Antwort aus.

- Fehler in der Parameterschätzung werden sehr klein.
- Die Dauer des Tests sollte verkürzt werden, da zu viele Daten gemessen wurden.
- Die Anregung des Systems sollte verbessert werden.
- Die Anregung des Systems war sehr gut.
- Das Experiment sollte mit identischen Einstellungen wiederholt werden und alte Daten verworfen werden.

1.4 Aufgabe 4

Überführen Sie das folgende nichtlineare dynamische System ($y(k)$ - Ausgangsgröße, $u(k)$ - Eingangsgröße, $\zeta(k)$ - mittelwertfreies gaußisches Rauschen)

$$y(k) = \frac{b}{q^2 + aq} u(k) + \frac{pq^2}{q^2 + aq} u(k)y(k-1) + \frac{q^2}{q^2 + aq} \zeta(k)$$

in ein skalares Regressionsmodell in der Form $y(k) = \Theta^T \varphi(k) + \zeta(k)$ mit dem Parametervektor $\Theta^T = (b \ a \ p)$. Gesucht ist $\varphi(k)$.

1.5 Aufgabe 5

Beurteilen Sie, ob sich die positiven Parameter Θ_1 bis Θ_4 des folgenden dynamischen Systems ($u(k)$ - Eingang, $y(k)$ - Ausgang, $\zeta(k)$ - Messrauschen) mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate (Least Squares - LS) bestimmen lassen.

$$y(k) = \Theta_1 y(k-1) + \Theta_2 y(k-1)u(k-1)^2 + \Theta_3 \sin(u(k)) + \Theta_4/5 + \zeta(k)$$

- Ja
- Nein

1.6 Aufgabe 6

Welches Regressionsmodell $y(k) = \Theta^T \varphi(k) + \zeta(k)$ mit dem Parametervektor $(\Theta_1 \ \Theta_2 \ \Theta_3 \ \Theta_4)^T$ beschreibt das folgende nichtlineare dynamische System:

$$y(k) = \Theta_2 u(k-1)y(k-2) + (\Theta_1 - 3\Theta_3)u(k)^2 + \Theta_3 \sin(u(k-1)) + (\Theta_4 + \Theta_2) + \zeta(k)$$

- $\varphi = (u(k)^2 \ 1 + y(k-2)u(k-1) \ \sin(u(k-1)) \ (3u(k)^2 + 1))^T$
- $\varphi = (u(k-1)y(k-2) \ u(k)^2 \ \sin(u(k-1)) \ 1)^T$
- $\varphi = (u(k-1) \ y(k-2) \ u(k)^2 \ \sin(u(k-1))(1 - 3u(k)^2))^T$
- Ein anderen φ als die angegeben.
- Das System ist gar nicht als lineares Regressionsmodell darstellbar, daher gibt es kein passendes φ .

1.7 Aufgabe 7

Gegeben ist die Kovarianzmatrix des Schätzfehlers

$$P = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.1 \\ 0.1 & 0.64 \end{pmatrix}^T$$

Wie groß ist die Standardabweichung für den geschätzten Parameter $\hat{\Theta}_2$?

1.8 Aufgabe 8

Wie kann der Schätzfehler in der Praxis verkleinert werden, wenn die Modellstruktur und Komplexität optimal gewählt sind?

- Mehr Daten erfassen.
- Weniger komplexes Modell wählen.
- Mehr Daten erfassen, aber die Eingangsgröße weniger variieren.
- Komplexeres Modell wählen.

1.9 Aufgabe 9

Beurteilen Sie, ob sich die positiven Parameter Θ_1 bis Θ_4 des folgenden dynamischen Systems ($u(k)$ - Eingang, $y(k)$ - Ausgang, $\zeta(k)$ - Messrauschen) mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate (Least Squares - LS) bestimmen lassen.

$$y(k) = \Theta_1^2 u(k) + \Theta_2 u(k-1) + \Theta_3 \sin(u(k)) + \Theta_4 + \zeta(k)$$

- Ja
- Nein

2 RLS, Kalman-Filter, EKF

2.1 Aufgabe 10

Das Gewicht eines Fahrzeugs soll mittels eines Kalman-Filters geschätzt werden. Je nach Beladung ist die wahre Fahrzeugmasse im Bereich von 2 bis 3,2 Tonnen. Welchen Wert würden Sie dem entsprechenden Eintrag für diesen Parameter in der Kovarianzmatrix des Schätzfehlers initialisieren, wenn Sie den Anfangsschätzwert bei 2,5 Tonnen ansetzen?

- 0,5 t
- 0,7 t
- 1,2 t
- 3,2 t
- $0,5^2 t^2$
- $0,7^2 t^2$
- $1,2^2 t^2$
- $3,2^2 t^2$
- einen anderen Wert als die vorgeschlagenen

2.2 Aufgabe 11

Die Schätzung für einen Zustand ist bei einem eingeschwungenem EKF sehr verrauscht. Welche Kombination von Maßnahmen führt sicher zu einer Verringerung des Rauschens?

- o Einträge in der Kovarianzmatrix des Messrauschens erhöhen, Einträge der Kovarianzmatrix des Systemrauschens erhöhen.
- o Einträge in der Kovarianzmatrix des Messrauschens erhöhen, Einträge der Kovarianzmatrix des Systemrauschens verringern.
- o Einträge in der Kovarianzmatrix des Messrauschens verringern, Einträge der Kovarianzmatrix des Systemrauschens erhöhen.
- o Einträge in der Kovarianzmatrix des Messrauschens verringern, Einträge der Kovarianzmatrix des Systemrauschens verringern.

2.3 Aufgabe 12

Der Parameter $\Theta(t)$ des folgenden zeitvarianten Systems

$$\dot{z}(t) = \Theta(t)z(t) + u(t)$$

$$y(t) = z(t)^2 \zeta(t)$$

soll mittels des Erweiterten Kalman-Filters (EKF) aus abgetasteten Ein- und Ausgangswerten ($u(k)$ und $y(k)$) geschätzt werden. $\zeta(k)$ ist mittelwertfreies gaußisches Messrauschen mit bekannter Varianz. Es wird angenommen, dass der Parameter Θ sich nur langsam oder nur sehr selten sprunghaft ändert.

- a) Geben Sie für eine genügend kleine Abtastperiode Δ ein geeignetes zeitdiskretes Zustandsraummodell $\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(k), u(k))$ für die Schätzung des Zustandes $z(k)$ und des Parameters $\Theta(k)$ mittels des EKF an.
- b) Bestimmen Sie des Weiteren die notwendigen Matrizen des linearisierten zeitdiskreten Zustandsraummodells für die aktuell geschätzten Zustände $\hat{\mathbf{x}}(k|k)$ (für $\mathbf{A}(k)$) und $\hat{\mathbf{x}}(k|k-1)$ (für $\mathbf{C}(k)$).
- c) Was müssen Sie beim Einstellen des EKF beachten, um eine dauerhaft akkurate Schätzung von $\Theta(k)$ zu erzielen? (mit Begründung)

3 PEM, Modellvalidierung, PRBS

3.1 Aufgabe 13

Führen Sie für die i-Schritt-voraus-Prädiktion

$$\frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})}u(k-d+i) = \frac{1}{1-2q^{-1}+q^{-2}}u(k-d+i) = G_i u(k-d+i) + q^{-i+d-1} \frac{H_i}{A} u(k-d+i)$$

eine Trennung in zukünftig ($\geq k$) und bekannt ($< k$) durch. Lösen Sie die diophantische Gleichung mittels Polynomdivision für $i = 3$ und $d = 2$, um die Polynome G_3 und H_3 zu ermitteln.

3.2 Aufgabe 14

Gegeben ist folgendes System mit dem Parametervektor $\Theta^T = (a_1 \ b_0 \ c_1)$:

$$y(k) = -a_1 y(k-1) + b_0 u(k-2) + e(k) - c_1 e(k-1), \quad e(k) = y(k) - \hat{y}(k|k-1, \hat{\Theta})$$

Bestimmen Sie die Ableitung des Ein-Schritt-voraus-Prädiktors $\hat{y}(k+1|k, \hat{\Theta})$ nach dem derzeit geschätzten Parameter \hat{a}_1 .

3.3 Aufgabe 15

Beurteilen Sie folgende Aussagen

Wahr	Falsch	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Das Schätzergebnis von Nonlinear Least Squares (PEM) ist immer unabhängig von den Startwerten des iterativen Algorithmus.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	LS und RLS liefern das gleiche Ergebnis für N gegebene Daten unabhängig von der Initialisierung von RLS
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	FIR-Modelle lassen sich sowohl mit LS als auch mit PEM bestimmen.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	LS und Nonlinear Least Squares (PEM) können das gleiche quadratische Gütefunktional benutzen.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	LS und RLS liefern das gleiche Ergebnis für N gegebene Daten, wenn RLS richtig initialisiert wird.

3.4 Aufgabe 16

Erläutern Sie das Verhalten der Kreuzvalidierung mit eigenen Worten! Wozu dient es und wie wird es konkret durchgeführt?

3.5 Aufgabe 17

Ein Prädiktor für ein BJ-Modell mit einem Störgrößenabstand für eine konstante bzw. stückweise konstante Störung besitzt das Polynom $C = 1 + 0,5q^{-1}$. Welche der folgenden Aussagen ist korrekt für das Verhalten nach einem Sprung in der stückweise konstanten Störgröße?

- Die Prädiktion zeigt stabiles, aber stark ungedämpftes (oszillierendes) Verhalten.
- Das C-Polynom hat keinen Einfluss auf die Prädiktion/Beobachtung von deterministischen Störungen. Daher ist keine Aussage möglich.
- Die Prädiktion zeigt stabiles, gut gedämpftes Verhalten.
- Die Prädiktion zeigt instabiles Verhalten.

3.6 Aufgabe 18

Welches der folgenden Systeme stellt das Simulationsmodell für die Validierung eines ARX-Systems mit einer Polstelle, keiner Nullstelle und einer Zeitverzögerung von einem Abtastschritt dar?

- o $\hat{y}(k) = -a_1\hat{y}(k-1) + b_0u(k-1)$
- o $\hat{y}(k) = -a_1\hat{y}(k-1) + b_0u(k-1) + \hat{e}(k)$
- o $\hat{y}(k) = -a_1y(k-1) + u(k) + b_0e(k)$
- o $\hat{y}(k) = -a_1\hat{y}(k-1) + b_0u(k)$
- o $\hat{y}(k) = -a_1y(k-1) + b_0u(k-1)$
- o keins der anderen Systeme

3.7 Aufgabe 19

Wählen Sie eine geeignete Ordnung für ein PRB-Signal, um ein System mit einer Anstiegszeit von 0,25s und einer Abtastzeit von 0,05s zu identifizieren. Skizzieren Sie, wie das entsprechende Signal generiert wird. Wie groß ist die Periodendauer des Signals in Sekunden?

3.8 Aufgabe 20

Wie wählen Sie konkret das BJ-Modell (Strukturansatz), um eine konsistente Schätzung für die deterministische Transferfunktion G zu erzielen, deren Ordnung im Bereich von 1 bis 3 liegen kann? Die Messdaten des Systemausgang können durch Störungen beeinträchtigt sein.

4 MPC

4.1 Aufgabe 21

Was sind zwei typische Nebenbedingungen für die Argumente der Optimierung für den Fall $H_c < H_p - d$ und für welche Systemtypen wendet man welche Bedingung an?

4.2 Aufgabe 22

Ihre modellprädiktive Regelung verhält sich instabil, obwohl das verwendete Modell mit dem wahren System übereinstimmt. Welche erste vielversprechende Maßnahme würden Sie durchführen, um ein stabiles Systemverhalten zu erzielen?

4.3 Aufgabe 23

Eine existierende Modell-prädiktive Regelung ist zu rauschempfindlich. Beschreiben Sie zwei konkrete Maßnahmen, um die Rauschempfindlichkeit zu reduzieren.

4.4 Aufgabe 24

Wie stellt man sicher, dass Parameterunsicherheiten für Modell der modellprädiktiven Regelung keine stationäre Regelfehler verursachen?

5 Polvorgabe-Entwurf

5.1 Aufgabe 25

Bestimmen Sie die drei Polynome eines Deadbeat-RST-Reglers für

$$A(q) = q - 1/3 = A^-(q)$$

$$B(q) = 1/5 = B^-(q)$$

$$R_d(q) = q - 1$$

$$S_d(q) = 1$$

5.2 Aufgabe 26

Mittels Systemidentifikation wurde folgende deterministische Transferfunktion ermittelt:

$$y(k) = \frac{0,4(q^{-3} + 0,5q^{-4})}{1 - 0,5q^{-1}}u(k)$$

- Bestimmen Sie zunächst die Transferfunktion $B(q)/A(q)$ und anhand dieser die statische Verstärkung, Ordnung und die Totzeit des Systems.
- Welche Ordnung hat ein minimaler RST-Regler, wenn konstante Ausgangsstörungen ausgeregelt werden sollen und das Messrauschen bei der Nyquistfrequenz komplett unterdrückt werden soll?
- Könnte(n) die Nullstelle(n) der Transferfunktion beim Reglerentwurf gekürzt werden (mit Begründung)?