4. Übung: *Matlab* System Identification Toolbox

Aufgabe 4.1: Vorbereitung

Zur optimalen Vorbereitung auf diese Übung empfiehlt es sich, einen Eindruck von der System-Identification-Toolbox (Matlab) zu gewinnen. Einen guten Einstieg bietet hierbei die *Matlab*-Dokumentation. Durch Eingabe des Befehls `doc ident` öffnet sich die Dokumentation zur Toolbox. Unter „Getting started" befindet sich ein Tutorial zur Identifikation linearer Systeme mithilfe der GUI.

Aufgabe 4.2: Black-Box-Identifikation

In dieser Aufgabe soll ein lineares dynamisches System mithilfe der System Identification Toolbox von *Matlab* identifiziert werden. Gehen Sie hierzu wie folgt vor:

a) Laden Sie die Messdaten von der Vorlesungshomepage herunter (Ueb4.mat). Diese Datei enthält u. .a. die Datensätze `dataChirp` und `dataValid`. Beide Datensätze sind als `struct` gespeichert mit den Feldern `Ts` (Sampling-Rate), `u` (Anregung) und `y` (gemessener Ausgang).

b) Machen Sie sich mit dem `IDDATA`-Format vertraut (`help iddata`) und konvertieren Sie die Messdaten in das `IDDATA`-Format.

c) Lassen Sie sich die Daten in den erzeugten `IDDATA`-Objekten anzeigen (`plot`).

d) Öffnen Sie die System-Identification-Toolbox mit dem Befehl `ident`.

e) Importieren Sie die zwei Daten-Objekte über „Import data → Data object ...".

f) Machen Sie sich mit der Oberfläche der GUI vertraut, bevor Sie mit den nächsten Aufgaben fortfahren.

g) Wählen Sie das zu `dataChirp` gehörige `IDDATA`-Objekt als „Working Data" und das zu `dataValid` gehörige als „Validation Data" (per drag & drop).

h) Lassen Sie sich den Frequenzgang („Frequency function") der Identifikationsdaten anzeigen und überlegen Sie welche Modellordnung sinnvollerweise bei der Modellidentifikation verwendet werden soll.

i) Identifizieren Sie das dynamische System als „Polynomial Model". Dabei ist es sinnvoll mit einer höheren Modellordnung zu beginnen und diese schrittweise zu verkleinern.

   Lassen Sie sich das Ergebnis der Identifikation anhand des Validierungs-Datensatzes anzeigen, indem Sie „Model output" anwählen. Durch Rechtsklick auf ein identifiziertes Modell werden die Modellparameter angezeigt. Anhand dieser lässt sich oftmals abschätzen ob eine weitere Reduktion der Modellordnung möglich ist.

j) Testen Sie verschiedene Methoden zur Identifikation des Systems. Welche liefern die besten Ergebnisse?

k) Die Messung des `dataChirp`-Datensatzes weist einen konstanten Drift auf. Filtern Sie diesen über „Preprocess data → Remove trend" heraus und wiederholen Sie die Schritte i–j. Verbessern sich die Ergebnisse?

Hinweis: Die in Matlab implementierten Identifikationsmethoden können über das GUI der System Identification Toolbox (`ident`) oder direkt über die Kommandozeile ausgeführt werden. Die Toolbox besitzt auch eine Schnittstelle in Simulink. Bitte machen Sie sich mit diesen Blöcken vertraut.

Aufgabe 4.3: Identifikation mittels Regression und Instrumental Variables

Es soll die Übertragungsfunktion eines Ein-Massen-Schwingers identifiziert werden. Das Zustandsraummodell ist durch

$$\begin{aligned}\dot{\boldsymbol{x}} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{d}{m} \end{bmatrix} \cdot \boldsymbol{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \end{bmatrix} \cdot u, \quad \boldsymbol{x}(0) = \boldsymbol{x}_0 \\ y &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}\end{aligned} \tag{1}$$

gegeben, mit der Masse m, der Federkonstanten k und der Dämpfungskonstanten d. Die Übertragungsfunktion des Systems lautet

$$G(s) = \frac{\frac{1}{m}}{s^2 + \frac{d}{m} \cdot s + \frac{k}{m}}. \tag{2}$$

a) Diskretisieren Sie $G(s)$ durch das Euler-Vorwärts Verfahren ($s = \frac{z-1}{T_s}$). Setzen Sie die tatsächlichen Werte $m = 2\,\mathrm{kg}$, $d = 0{,}2\,\mathrm{Ns/m}$, $k = 3\,\mathrm{N/m}$ und $T_s = 0{,}01\,\mathrm{s}$ ein.

b) Schreiben Sie eine Funktion zur Simulation der z-Übertragungsfunktion für einen beliebigen Eingangsvektor $\boldsymbol{u}$ und beliebige Koeffizientenvektoren $\boldsymbol{a}$ und $\boldsymbol{b}$. *Hinweis:* Wandeln Sie die z-Übertragungsfunktion zuerst in eine Differenzengleichung um.

c) Laden Sie die Datei `ES_iddata_no_noise`. Identifizieren Sie ein ARX-Modell mittels Regression ohne die Identification Toolbox. Wie viele freie Parameter sind für Zähler- und Nennerpolynom sinnvoll? Vergleichen Sie die identifizierten Parameter mit den tatsächlichen aus Aufgabenteil a).

d) Laden Sie die Datei `ES_validdata_no_noise`. Vergleichen Sie die simulierte Antwort des identifizierten Modells mit den Validierungsdaten.

e) Jetzt soll die Identifikation mit verrauschten Messdaten versucht werden. Laden Sie dazu die Datei `ES_iddata_noise` und identifizieren Sie das ARX-Modell erneut. Vergleichen Sie die simulierte Antwort des Systems mit dem Datensatz `ES_validdata_noise`.

f) Um die Konsistenz der Schätzung zu verbessern, soll die Instrumental-Variable Methode auf den Datensatz angewandt werden. Verwenden Sie als Startwert die im vorherigen Schritt identifizierten Parameter. Vergleichen Sie nun die Antwort des identifizierten Systems mit den Validierungsdaten.

Aufgabe 4.4: Parameteridentifikation an einem linearen Modell

In dieser Aufgabe sollen die Dämpfungsparameter eines linearen Zwei-Massen-Schwingers (Abb. 1) identifiziert werden. Auf das System wirkt als Eingang u die Kraft F, die an der Masse m_2 angreift.

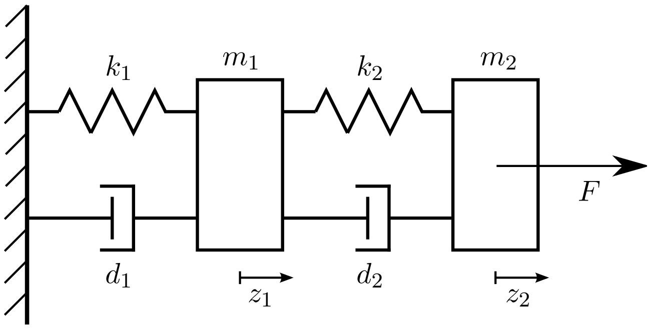

Abbildung 1: Zwei-Massen-Schwinger

Ausgang des Systems ist die Auslenkung z_2 der Masse m_2. Die Zustandsraumdarstellung des Systems ist durch

$$\begin{aligned}\dot{\boldsymbol{x}} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{k_1+k_2}{m_1} & -\frac{d_1+d_2}{m_1} & \frac{k_2}{m_1} & \frac{d_2}{m_1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_2}{m_2} & \frac{d_2}{m_2} & -\frac{k_2}{m_2} & -\frac{d_2}{m_2} \end{bmatrix} \cdot \boldsymbol{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{m_2} \end{bmatrix} \cdot u, \quad \boldsymbol{x}(0) = \boldsymbol{0} \\ y &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \boldsymbol{x} \end{aligned} \tag{3}$$

gegeben. Die bekannten Parameterwerte sind $k_1 = 3\,\mathrm{N/m}$, $k_2 = 5\,\mathrm{N/m}$, $m_1 = 2\,\mathrm{kg}$ und $m_2 = 1\,\mathrm{kg}$. Die Startwerte für die Bestimmung der Dämpfungskonstanten betragen $d_1 = d_2 = 0{,}5\,\mathrm{Ns/m}$.

a) Laden Sie die Datensätze `DS_iddata` und `DS_validdata` zur Systemidentifikation bzw. Verifikation und erstellen Sie aus `DS_iddata` ein `iddata`-Objekt. Die Samplingrate beträgt $T_s = 0{,}01\,\mathrm{s}$.

b) Erstellen Sie ein zeitkontinuierliches Zustandsraumsystem mit identifizierbaren Parametern. Legen Sie feste und freie Parameter fest und setzen Sie physikalisch sinnvolle ober- bzw. Untergrenzen für die freien Parameter.

c) Identifizieren Sie das System. Legen Sie sinnvolle Optionen für die Identifikationsfunktion fest und lassen Sie sich die Iterationsschritte bei der Identifikation anzeigen.

d) Das zu identifizierende Zustandsraummodell ist überparametriert. Bestimmen Sie durch Regression die Dämpfungskonstanten.

e) Vergleichen Sie die Validierungsdaten mit dem identifizierten System.

Nützliche Befehle: `iddata, idss, ssest, mldivide, c2d, compare`