Robustifizierung von Beoachtern für Systeme mit quasi-unbekannten Eingängen

A. Schaum†, S. Koch‡

†Lehrstuhl für Prozessanalytik, Universität Hohenheim, Garbenstr. 23, D-70599 Stuttgart, Tel: +49(0)711 459 23286, E-Mail: alexander.schaum@uni-hohenheim.de

‡Institut für Regelungs- und Automatisierungstechnik, Inffeldgasse 21B, A-8010 Graz, Tel: +43(0)316 873 7031, E-Mail: stefan.koch@tugraz.at

Das Problem der Robustifizierung von nominellen Beoabachtern für Systeme mit quasi-unbekannten Eingängen wird diskutiert. Ein Ansatz zum systematischen Entwurf einer Robustifizierung basierend auf einer zusätzlichen Korrektur wird vorgestellt. Die Korrektur kann entweder statisch oder dynamisch erfolgen. Beide Fälle und deren Abgrenzung werden diskutiert und notwendige sowie hinreichende Bedingungen hergeleitet.

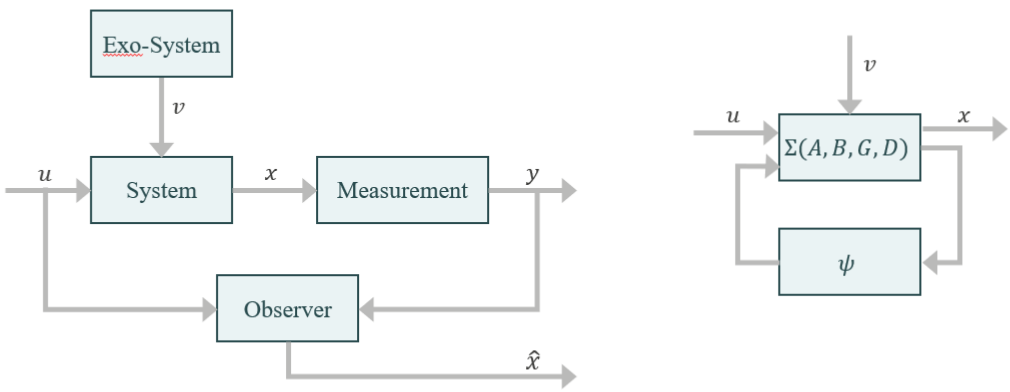

Abbildung 1: Links: Gesamtsystemstruktur, Rechts: Systemdynamik als Lur'e Verschaltung.

Hierbei werden (nichtlineare) Systeme in der spezifischen Form (siehe auch Abbildung 1 rechts)

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} + \mathbf{G}\boldsymbol{\psi}(\boldsymbol{\sigma}) + \boldsymbol{\varphi}(t, \mathbf{y}, \mathbf{u}) + \mathbf{D}\boldsymbol{v} \tag{1a}$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{H}\mathbf{x} \tag{1b}$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} \tag{1c}$$

$$\dot{\boldsymbol{v}} = \mathbf{S}\boldsymbol{v} \tag{1d}$$

betrachtet, wobei $\mathbf{x}(t) \in \mathcal{X}$ der Zustand ist und $\mathcal{X}$ ein geeigneter Zustandsraum, $\mathbf{A} : \mathcal{X} \to \mathcal{X}$ ein Operator zur Beschreibung des linearen Anteils der Dynamik, $\mathbf{B} : \mathcal{U} \to \mathcal{X}$ der Eingangsoperator für den bekannten exogenen Eingang $\mathbf{u}(t) \in \mathbb{R}^q$, $\mathbf{D} : \mathbb{R}^d \to \mathcal{X}$ der entsprechende Eingangsoperator für den (quasi-)unbekannten exogenen Eingang $\boldsymbol{v}(t) \in \mathbb{R}^d$, $\mathbf{G} : \Xi \to \mathcal{X}$ ein Verstärkungsoperator für den nichtlinearen Anteil $\boldsymbol{\psi} : \Sigma \to \Xi$, wobei Σ, Ξ Unterräume von $\mathcal{X}$ sind, welche gemäß dem Ausgangsoperator $\mathbf{H} : \mathcal{X} \to \Sigma$ und $\boldsymbol{\psi}$ definiert sind. Der gemessene Ausgang des Systems ist durch den Operator $\mathbf{C} : \mathcal{X} \to \mathbb{R}^m$ bestimmt. Die Dynamik des Exosystems wird durch die Matrix $\mathbf{S}$ bestimmt, welche als bekannt angenommen wird. Die Anfangsbedingung $\boldsymbol{v}(0)$ ist jedoch unbekannt. In der

Betrachtung wird $\mathbf{S}$ auf solche Systeme beschränkt, bei denen der Realteil der Eigenwerte Null ist, d.h.$\boldsymbol{v}(t)$ kann konstant, periodisch oder polynomiell in t sein.

Basierend auf der Annahme eines Beobachters mit der Struktur

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{B}\mathbf{u} + \mathbf{G}\boldsymbol{\psi}(\hat{\boldsymbol{\sigma}}) + \boldsymbol{\varphi}(t, \mathbf{y}, \mathbf{u}) - \mathbf{L}(\mathbf{C}\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{y}) \tag{2a}$$

$$\hat{\boldsymbol{\sigma}} = \mathbf{H}\mathbf{x} - \mathbf{N}(\mathbf{C}\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{y}) \tag{2b}$$

wird eine zusätzliche Korrektur der Form

$$\bar{\mathbf{x}} = \hat{\mathbf{x}} + \boldsymbol{\mathcal{N}}\{\mathbf{C}\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{y}\} \tag{3}$$

entworfen, wobei $\mathcal{N}$ einen geeigneten Korrekturmechanismus darstellt, welcher entweder statisch oder dynamisch ist. Die Bedingungen an die Existenz dieses Korrekturmechanismus werden basierend auf Eigenschaften der zugehörigen Störgrößenübertragungsfunktion für das lineare Teilsystem hergeleitet.

Der Ansatz wird anhand von Beispielen für nichtlineare konzentriert-parametrische, sowie parabolische und hyperbolische verteilt-parametrische Systeme diskutiert und illustriert.

Literatur

[1] Schaum A., Koch S., Moreno J.A.: Nonlinear quasi-unknown input observer design using dissipativity, IEEE 63rd Conference on Decision and Control (CDC), Milan, Italy, 2024, pp. 7014-7019.

[2] Schaum A., KochS.: Nonlinear observer design for an undamped wave equation with distributed disturbance, IFAC CPDE 2025 (accepted)

[3] Koch S., Schaum, A.: Design of quasi-unknown input observers for a class of distributed-parameter systems, Automatica, provisionally accepted, 2025.

[4] Koch S., Schaum, A., Horn, M.: Robust boundary controller design with proportional integral observer for a linear 1D heat equation, IFAC-PapersOline 56(2),9918-9923, 2023.