

Datengetriebener Beobachterentwurf auf Basis von Mixture Density Networks für Systeme mit ununterscheidbaren Trajektorien

Sebastian Mathis Eming, Pascal Jerono, Thomas Meurer

Digital Process Engineering Group, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik, Engler-Bunte-Ring 1b 76131 Karlsruhe, E-Mail: {sebastian.eming, pascal.jerono, thomas.meurer}@kit.edu

Datengetriebene und auf maschinellem Lernen basierende Verfahren haben zunehmend an Bedeutung für den Beobachterentwurf gewonnen [1]. Solche Ansätze können genutzt werden, um datengetriebene Repräsentationen der Systemdynamik zu erstellen und diese mit etablierten Schätzverfahren wie Kalman-Filtern oder Moving-Horizon-Schätzern zu kombinieren. Alternativ kann die Zustandsrekonstruktion direkt aus Messdaten erlernt werden. Letzteres stellt einen attraktiven Black-Box-Ansatz dar, da die Zustandsrekonstruktion direkt als Abbildung von der verfügbaren Messinformation auf den Systemzustand erlernt werden kann, ohne dass eine explizite modellbasierte Beobachterstruktur erforderlich ist. Der Verzicht auf ein explizites mathematisches Modell schränkt jedoch den direkten Zugang zu strukturellen Systemeigenschaften wie Beobachtbarkeit, Detektierbarkeit und Ununterscheidbarkeit ein. Daraus ergibt sich die Frage, wie Mehrdeutigkeiten bei der Zustandsrekonstruktion in einem rein datengetriebenen Beobachter behandelt werden können.

In diesem Beitrag wird ein rein datengetriebener Beobachter für Systeme mit einer endlichen Anzahl ununterscheidbarer Trajektorien betrachtet, bei denen eine Ausgangstrajektorie mehreren unterschiedlichen Zustandstrajektorien entsprechen kann [2]. Konventionelle deterministische Regressionsmodelle mit Punktschätzung können diese Mehrdeutigkeit nicht explizit abbilden. Zur Behandlung dieses Problems wird daher ein rein datengetriebener Beobachter auf Basis eines Mixture Density Networks (MDN) vorgeschlagen [3]. Durch die Vorhersage einer bedingten multimodalen Zustandsverteilung kann ein MDN mehrere Zustände repräsentieren, die mit derselben Messinformation vereinbar sind. Für den Beobachterentwurf wird eine endliche Anzahl aufeinanderfolgender Ausgangsmessungen auf eine bedingte Wahrscheinlichkeitsverteilung des vollständigen Systemzustands abgebildet. Der Ansatz wird anhand eines gedämpften Pendels mit dem Ausgang $y = \cos(\theta)$ demonstriert, das zwei symmetrische ununterscheidbare Trajektorien aufweist. Die Ergebnisse zeigen, dass der multimodale Beobachter beide ununterscheidbaren Zustandstrajektorien rekonstruieren kann.

Literatur

- [1] Röbenack, K.; Fiedler, J.; Gerbet, D.: High gain embedding observer design: combining differential geometry and algebra with machine learning, 2023 27th International Conference on System Theory, Control and Computing, IEEE, pp. 62–69, 2023.
- [2] Bernard, P.; Maghenem, M.: Reconstructing indistinguishable solutions via a set-valued KKL observer, *Automatica*, vol. 166, 111703, 2024.
- [3] Bishop, C. M.: Mixture density networks, Technical Report NCRG/4288, Aston University, Birmingham, 1994.