

Effiziente und interpretierbare Systemidentifikation im Bauingenieurwesen mittels datengesteuerter Methoden

Efficient and Interpretable System Identification in Civil Engineering Using Data-Driven Methods

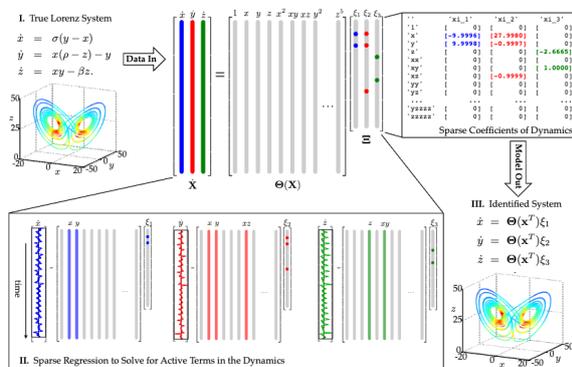


Abbildung 1: Systemidentifikation mit SINDy [1]

Nichtlineare dynamische Systeme spielen eine entscheidende Rolle im Bauingenieurwesen, insbesondere bei der Analyse und Vorhersage des Verhaltens von Strukturen unter komplexen Belastungsbedingungen. Die präzise Modellierung solcher Systeme ist essenziell, um die Sicherheit und Langlebigkeit von Bauwerken zu gewährleisten. Traditionelle Methoden der Systemidentifikation stoßen jedoch häufig an ihre Grenzen, wenn es darum geht, komplexe nichtlineare Beziehungen zu erfassen. In diesem Kontext bietet die Methode der *Sparse Identification of Nonlinear Dynamics* (SINDy; siehe [1, 2]) eine vielversprechende Alternative. SINDy identifiziert nicht nur präzise Modelle nichtlinearer Dynamiken mit einer minimalen Anzahl von Parametern, sondern entspricht auch den Prinzipien der *Explainable AI*, indem es interpretierbare Modelle liefert, die Einblicke in die zugrunde liegenden physikalischen Prozesse komplexer Systeme bieten.

Ziel dieser Arbeit ist es, SINDy umfassend zu untersuchen und ihr Potenzial für den Einsatz im Bauingenieurwesen zu evaluieren. Dies umfasst eine detaillierte Literaturrecherche zur Methode selbst sowie die praktische Anwendung an unterschiedlichen Beispielen. Die Arbeit soll aufzeigen, inwieweit SINDy zur effizienten Modellierung und Vorhersage von nichtlinearen Systemen im Bereich des Bauingenieurwesens nutzbar ist.

Zielsetzungen

- Durchführung einer umfassenden Literaturrecherche zu nichtlinearen dynamischen Systemen und Systemidentifikation im Bauingenieurwesen. Fokus liegt dabei auf den Grundlagen zur Methode SINDy, den zugrunde liegenden mathematischen Konzepten und der praktischen Anwendung. Desweiteren sollen SINDy-Erweiterungen wie Bayesian SINDy [3], RK4-SINDy [4] und Phi-SINDy [5] vorgestellt werden. Bei einer Masterarbeit ist eine der weiteren genannten Methoden im Detail zu untersuchen.
- Implementierung der numerischen Untersuchungen z.B. in Julia, Python oder Matlab. Die grundlegenden Funktionsweisen sollen an einem einfachen Beispiel (einem 1D nichtlinearen Oszillator, z.B. [1, Abschnitt 4.1]) selbst implementiert werden. Bei einer Masterarbeit ist eine der weiteren genannten Methoden ebenfalls zu implementieren.
- Anwendung der Methode auf ein komplexeres Beispiel aus dem Bauingenieurwesen, z.B. auf ein FEM Modell einer Brücke oder eines Tragwerks. Hierbei sollen die Ergebnisse mit den Ergebnissen traditioneller Methoden der Systemidentifikation verglichen werden. Hier kann auf existierende Softwarepakete zurückgegriffen werden, z.B. auf das Julia-Paket `DataDrivenDiffEq.jl`.
- Kritische Analyse der Ergebnisse und Bewertung der Eignung von SINDy und dessen Erweiterungen im Vergleich zu traditionellen Methoden.

Bibliographie (Auswahl)

- [1] Steven L. Brunton, Joshua L. Proctor und J. Nathan Kutz. „Discovering Governing Equations from Data: Sparse Identification of Nonlinear Dynamical Systems“. In: *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 113.15 (Apr. 2016). DOI: 10.1073/pnas.1517384113.
- [2] Steven L. Brunton und J. Nathan Kutz. *Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems, and Control*. Second. Cambridge University Press, Mai 2022. DOI: 10.1017/9781009089517.
- [3] Seth M. Hirsh, David A. Barajas-Solano und J. Nathan Kutz. „Sparsifying Priors for Bayesian Uncertainty Quantification in Model Discovery“. In: *Royal Society Open Science* 9.2 (Feb. 2022). DOI: 10.1098/rsos.211823.
- [4] Pawan Goyal und Peter Benner. „Discovery of Nonlinear Dynamical Systems Using a Runge-Kutta Inspired Dictionary-based Sparse Regression Approach“. In: *Proc. R. Soc. A.* 478.2262 (Juni 2022). DOI: 10.1098/rspa.2021.0883.
- [5] Christos Lathourakis und Alice Cicirello. „Physics Enhanced Sparse Identification of Dynamical Systems with Discontinuous Nonlinearities“. In: *Nonlinear Dyn* 112.13 (Juli 2024). DOI: 10.1007/s11071-024-09652-2.

Typ der Arbeit

Interdisziplinäres Projekt (12 CP)
oder Masterarbeit (24 CP)

Voraussetzungen

18 CP aus Pflichtmodulen
60 CP (nur Masterarbeit)

Hinweise

Die Arbeit kann in deutscher oder englischer Sprache verfasst werden.

Ansprechpartner

Lukas Fritsch

E-Mail: fritsch

@irz.uni-hannover.de

13. Mai 2025

Institut für Risiko

und Zuverlässigkeit

Callinstr. 34

30167 Hannover

www.irz.uni-hannover.de

Zentrale:

Tel. +49 511 762 0

Fax +49 511 762 3456

www.uni-hannover.de