

Automatische Parameteridentifikation eines nichtlinearen parametervariierenden Modells für eine rotierende Kegelfördereinheit

Julia Isabel Hartmann†, Christoph Ament‡

Universität Augsburg, Fakultät für Angewandte Informatik, Lehrstuhl Regelungstechnik,

Am Technologiezentrum 8, 86159 Augsburg

†Tel: ++49 821 598 - 69294, E-Mail: julia.hartmann@uni-a.de

‡Tel: ++49 821 598 - 69290, E-Mail: christoph.ament@uni-a.de

Bei der Verpackung und Portionierung von Lebensmitteln stellen stückige Produkte eine besondere Herausforderung dar, da die Schwankungen im Stückgewicht einzelner Nahrungsmittel häufig eine Über- oder Unterfüllung der Verpackungseinheit nach sich ziehen. Um eine balancierte Portionierung nahe am Nennfüllgewicht einer Verpackungseinheit zu erreichen, werden in der Lebensmittelindustrie üblicherweise Mehrkopfwaagen eingesetzt. Mehrkopfwaagen sind industrielle Waagen, die durch mehrere vorhandene Wägezellen gleichzeitig verschiedene Teilmengen wiegen. Anschließend wird eine Auswahl dieser Teilmengen kombiniert, um die Variabilität im Stückgewicht auszunutzen und somit eine Füllmenge nahe der Nennfüllmenge zu erzielen.

Im Zuge des Wägeprozesses erfolgt die Verteilung des Produkts auf die Wägezellen über eine rotierende, kegelförmige Fördereinheit. Die Dynamik der Teilchen auf der Fördereinheit ist maßgeblich durch die Reibung und den Kontakt zwischen den Teilchen und der Fördereinheit bestimmt. In [1] wird ein nichtlinearer Modellierungsansatz vorgestellt, der den generischen und numerisch stabilen Ansatz der dynamischen Reib- und Kontaktmodellierung nach [3] und [4] um ein kinematisches Modell für den Kegelförderer erweitert. Neben den nichtlinearen Kontaktinteraktionen weist das Modell aus [1] zudem nichtlineares parametervariierendes (NLPV) Verhalten auf, da ein Teil der Modellparameter vom initialen Zustand (Startposition) und der auf das System aufgebrachten Stellgröße (Drehgeschwindigkeit) abhängt.

In der Literatur finden sich nur wenige Arbeiten wie [5, 6], welche sich mit nichtlinearen Identifikationsmethoden von NLPV-Modellen beschäftigen. Im vorliegenden Beitrag wird daher ein Verfahren zur Identifikation der variierenden Parameter des NLPV-Modells eines Kegelförderers vorgestellt. Zu diesem Zweck werden die Modellparameter zunächst in messbare und zu identifizierende Größen unterteilt. Letztere gliedern sich wiederum in konstante sowie, abhängig vom initialen Systemzustand und der aufgebrachten Stellgröße, veränderliche Parameter. Alle zu identifizierenden Parameter werden mittels einer mehrstufigen Optimierungsstrategie auf Basis des *Pattern Search*-Verfahrens ermittelt. Das Verfahren umfasst vier Stufen: eine globale Schätzung aller Koeffizienten, die getrennte Feinanpassung für niedrige und hohe Drehgeschwindigkeiten der Fördereinheit sowie ein abschließendes Feintuning im Stick-Slip-Bereich. Das Optimierungsverfahren muss für jeden Initialzustand separat durchgeführt werden. [2]

Die Methodik wird experimentell anhand eines vollfaktoriellen Versuchsdesigns an einem vom Wägesystem getrennten Demonstrator einer Kegelfördereinheit mit einem Durchmesser von 45 cm validiert. Zur Datenerfassung wird eine Tiefenkamera eingesetzt, die die Trajektorien von drei unterschiedlichen Probenkörpern mit jeweils 3 cm Durchmesser aufzeichnet. Die aufgenommenen Bilddaten werden mittels eines anwendungsspezifischen Bildverarbeitungsalgorithmus ausgewertet. Für die Parameteridentifikation werden pro

Probenkörper und Initialzustand 20 zufällig ausgewählte Messungen aus den insgesamt 600 Messungen je Probenkörper herangezogen; die verbleibenden Datensätze dienen der Modellvalidierung.

Die aus der vorgestellten mehrstufigen Identifikationsmethode resultierenden Modelle werden sowohl im Open-Loop- als auch im Closed-Loop-Betrieb simuliert. Es ergibt sich ein mittlerer *Root Mean Squared Error* (RMSE) zwischen der simulierten und gemessenen Positionen in der Ebene von 1,63–2,28 cm in der Closed-Loop-Simulation und von 0,26–0,59 cm in der Open-Loop-Simulation, jeweils bei einem Radius von 22,5 cm des Kegelförderers.

Zukünftige Arbeiten umfassen die kontinuierliche Parametermodellierung in Abhängigkeit von Initialzuständen und Stellgrößen, den Vergleich mit alternativen Verfahren zur Identifikation von NLPV-Modellen sowie den Einsatz der Modelle für eine modellbasierte Regelung der Fördereinheit und automatische Produkterkennung im Rahmen eines Multi-Model-Frameworks.

Literatur

- [1] Hartmann, J. I.; Olbrich, M.; Hamann, M.; Ament, C.: Simulation of particle motion on rotating cone feeder for a multihead weigher based on dynamic friction modeling, 2023 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM). IEEE, 2023, pp. 138–143, DOI: 10.1109/AIM46323.2023.10196110.
- [2] Hartmann, J. I.; Ament, C.: Automatic Parameter Identification of a Nonlinear Parameter-Varying Model for a Rotating Cone Feeder, 9th International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD'25), 2025, DOI: N/A.
- [3] Specker, T.; Buchholz, M.; Dietmayer, K.: A new approach of dynamic friction modelling for simulation and observation, IFAC Proceedings Volumes, vol. 47, no. 3, pp. 4523–4528, 2014, DOI: 10.3182/20140824-6-ZA-1003.01711.
- [4] Specker, T.; Buchholz, M.; Dietmayer, K.: Dynamical modeling of constraints with friction in mechanical systems, IFAC-PapersOnLine, vol. 48, no. 1, pp. 514–519, 2015, DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.05.124.
- [5] Morato, M. M.; Stojanovic, V.: A robust identification method for stochastic nonlinear parameter varying systems, Mathematical Modelling and Control, vol. 1, no. 1, pp. 35–51, 2021, DOI: 10.3934/mmc.2021004.
- [6] Deng, J.; Huang, B.: Identification of nonlinear parameter varying systems with missing output data, AIChE Journal, vol. 58, no. 11, pp. 3454–3467, 2012, DOI: 10.1002/aic.13735.