

Modellierung forminstabiler Gebinde für die virtuelle Inbetriebnahme eines roboterbasierten Handhabungssystems

M. Wehmeier^{1*}, S. Hain¹, M. Hagedorn², D. Pfeifer³, O. Sawodny¹

¹ Institut für Systemdynamik, Universität Stuttgart, Waldburgstr. 19, 70563 Stuttgart

² Premium Robotics GmbH, Maybachstr. 11, 70771 Leinfelden-Echterdingen

³ ISG Industrielle Steuerungstechnik GmbH, Gropiusplatz 10, 70563 Stuttgart

* Tel: +49 711 68566296, E-Mail: wehmeier@isys.uni-stuttgart.de

Der zunehmende Fachkräftemangel im Lebensmitteleinzelhandel führt zu einem wachsenden Bedarf an Automatisierungslösungen. Die große Produktvielfalt stellt dabei eine zentrale Herausforderung dar. Die Inbetriebnahme eines roboterbasierten Handhabungssystems ist mit einem erheblichen Zeit- und Personalaufwand verbunden, da für jedes neue Produkt umfangreiche Feldversuche durchgeführt werden müssen. Durch die Möglichkeit einer virtuellen Inbetriebnahme lässt sich der Versuchsaufwand deutlich reduzieren. In diesem Beitrag wird ein echtzeitfähiger Modellierungsansatz für die roboterbasierte Handhabung forminstabiler Gebinde vorgestellt. Die Simulation umfasst eine Kollisionserkennung, eine Approximation der Kontaktkräfte und ein Modell für die Gebindedynamik. Abbildung 1 zeigt die Gegenüberstellung eines Laborversuchs und die Animation der entsprechenden virtuellen Inbetriebnahme.

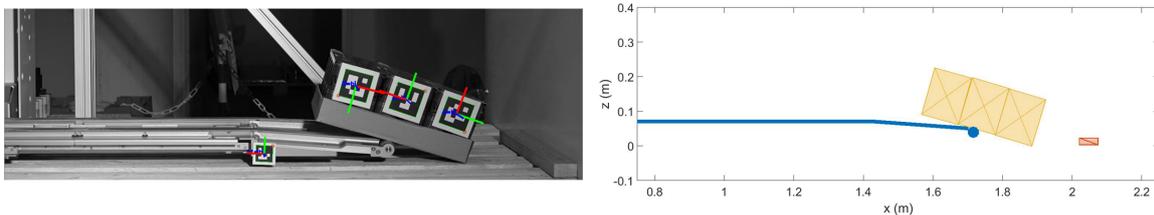


Abbildung 1: Gegenüberstellung eines Laborversuchs (links) und einer Animation der entsprechenden virtuellen Inbetriebnahme (rechts).

Die Beschreibung der Gebindedynamik basiert auf einer Zerlegung der forminstabilen Gebinde in ein Starrkörpersystem, wobei die Segmentierung und die Freiheitsgrade die erwartete Gebindeverformung vorgeben. Um Echtzeitfähigkeit sicherzustellen, wird die Topologie des Mehrkörpersystems auf offene kinematische Ketten beschränkt. Gelenke, die kinematische Schleifen verursachen, werden freigeschnitten und durch die entstehenden Schnittkräfte ersetzt. Die Gebindeoberfläche wird als Punktwolke approximiert, um die Kollisionserkennung zu vereinfachen. Für den Greifer und die Umgebung wird eine implizite Darstellung gewählt, wobei die zugrundeliegenden Funktionen die vorzeichenbehaftete euklidische Distanz zur jeweiligen Oberfläche beschreiben [1]. Entsteht eine Kollision, werden auf Grundlage dieser Darstellungsformen relevante Informationen wie die Kollisionstiefe und -richtung berechnet. Die Kontaktkräfte werden mit Hilfe eines dissipativen Kontaktmodells approximiert [2]. Es stellt einen linearen Zusammenhang zwischen Kollisionstiefe und Normalkraft her und wird durch ein dynamisches Reibmodell ergänzt, das auf Coulomb-Reibung basiert [3]. Die Kräfte werden zunächst für jeden Kontaktpunkt einzeln berechnet. Nach der Bilanzierung bezüglich des jeweiligen Massenschwerpunkts werden die resultierenden Kräfte und Momente in der Gebindedynamik berücksichtigt.

Die Starrkörper werden über Feder-Dämpfer-Elemente gekoppelt, um die Gebindesteifigkeit und die Materialdämpfung einstellen zu können. Die unbekanntes Modellparameter werden im Rahmen einer Parameteridentifikation auf Basis experimenteller Messdaten bestimmt. Hierfür werden ausgewählte Oberflächenpunkte des Gebindes mit ArUco-Markern ausgestattet und ihre Bewegung kamerabasiert erfasst, siehe Abbildung 1 [4]. Die so ermittelten Markerposen dienen als Referenz für eine numerische Optimierung der Modellparameter, die mit Hilfe eines genetischen Algorithmus durchgeführt wird.

Ein Vorteil des vorgestellten Modellierungsansatzes ist die einfache Kollisionserkennung. Durch die Diskretisierung der Gebindeoberfläche werden komplexe nichtlineare Effekte, wie die Zu- und Abnahme der Kontaktfläche bei nicht-kongruenten Oberflächen, implizit berücksichtigt. Zudem können Modellgenauigkeit und Rechenaufwand in gewissen Grenzen bedarfsgerecht skaliert werden. Eine zuverlässige Erkennung von Punkt- und Linienkontakten erfordert jedoch eine feine Diskretisierung, wodurch der Rechenaufwand quadratisch ansteigt. Darüber hinaus führt der Diskretisierungsfehler zu Unstetigkeiten in der berechneten Kontaktkraft.

Literatur

- [1] Arriola-Rios, V. E. et al.: Modeling of Deformable Objects for Robotic Manipulation: A Tutorial and Review, *Frontiers in Robotics and AI* , Vol. 7, 2020
- [2] Flores, P.; Lankarani, H. M.: *Contact Force Models for Multibody Dynamics* , Springer International Publishing, 2016
- [3] Marques, F.; Flores, P.; Pimenta Claro, J. C.; Lankarani, H. M. : A survey and comparison of several friction force models for dynamic analysis of multibody mechanical systems, *Nonlinear Dynamics* , Vol. 86, No. 3, 2016
- [4] Bradski, G.: *The OpenCV Library*, *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, 2000