Optimale Synthese nachgiebiger Mechanismen für die Robotik

E. J. Wehrle[1], J. Achleitner[2], J. Reinisch[2]
1 Freie Universität Bozen, Bozen, Südtirol, Italien, Erich.Wehrle@unibz.it
2 Lehrstuhl für Luftfahrtsysteme, Technische Universität München, {Johannes.Achleitner, Joseph.Reinisch}@tum.de

5. IFToMM D-A-CH Konferenz 2019
26.–27. Feber 2019
RWTH Aachen

Als Ingenieure streben wir danach, die leichtesten, schnellsten und effizientesten Strukturen und Mechanismen zu entwerfen. Nachgiebige Mechanismen haben eine Reihe von Vorteilen, um dieses Vorhaben zu erreichen, vor allem in der Robotik. In dieser Arbeit kommen Optimierungsmethoden zum Einsatz — vor allem die Topologieoptimierung — für die Synthese optimaler nachgiebiger Mechanismen mit geringem Gewicht. Neuartige additive Herstellungsmethoden, d.h. dreidimensionales Drucken, wie Schmelzschichtungsverfahren und selektives Lasersintern ermöglichen die Realisierung der dabei entstehenden komplizierten Geometrien, die mit subtraktiver Fertigung nur schwer erreichbar oder gar unmöglich wären.

Diese flexiblen Strukturen haben das gleiche Ziel wie traditionellere Mechanismen, obwohl ihnen Gelenke fehlen. Dieser Mangel an Gelenken hat mehrere Vorteilen, einschließlich der Vermeidung von Reibung. Die für die Bewegung erforderliche Energie wird als elastische Energie gespeichert, die dazu verwendet werden kann, den Mechanismus in seine ursprüngliche Position zu bewegen oder in Form von Elektrizität geerntet zu werden. Darüber hinaus reduziert die damit verbundene monolithische Konstruktion die Herstellung auf den dreidimensionales Druckprozess, wodurch eine Montage entfällt, die bei Gelenken erforderlich wäre.

Im Gegensatz zu dem gewöhnlichen Strukturentwurf sind große Deformationen, Verschiebungen und Rotationen bei nachgiebigen Mechanismen erwünscht und sind sogar die funktionale Anforderung. Daher sind gängige lineare strukturmechanische Modelle nicht mehr gültig. Neben die geometrische Nichtlinearitäten, d.h. große Verrückungen und große Dehnungen, können auch nichtlineare Werkstoffeigenschaften sowie Kontakt eine Rolle spielen. Kontakt kommt vor allem in Form des Selbstkontakts sowie zwischen einer nachgiebigen Struktur und deren Werkstück oder Ladegut. Hier werden allerdings die Werkstoff- und Kontaktnichtlinearitäten bei der strukturmechanischen Analyse vernachlässigt.

Es stehen uns eine Reihe an Modellbildungen zur Verfügung und diejenigen, die hier behandelt werden, sind wie folgt:

- Starrkörpersysteme mit flexiblen Gelenken
- Balkenmodellierung mit großer Deformation

- Nichtlineare Methode der finiten Elemente

Beispiele werden jeweils für den Entwurf, die Analyse und — hier die Hauptaspekte — die Entwurfsoptimierung nachgiebiger Strukturen.

Die Optimierung ist ein mathematisches Werkzeug, das mit einem parametrisierten Modellen gekoppelt wird um nach einem optimalen Entwurf zu suchen. Die Definition des Optimales, d.h. die Übersetzung des ingenieurtechnischen Entwurfsproblems in eine mathematische Optimierungsaufgabe, ist der erste Herausforderung. Hier wird mögliche Optimierungsformulierungen für den Entwurf nachgiebiger Strukturen eingeführt und dargestellt. Die Besonderheiten der einzelnen Modellierungsmethoden werden hinsichtlich der Systemantworte und deren Integration in die Entwurfsoptimierung erläutert.

Letztens wird die Topologieoptimierung als Methode zur Auslegung nachgiebiger Mechanismen motiviert und erklärt. Da nachgiebige Mechanismen große Verformungen aufweisen, die Notwendigkeit von der Topologieoptimierung mit der nichtlinearen Methode finiter Elemente wird gezeigt. Das hier erläuterte Topologieoptimierungswerkszeug wurde von Reinisch (2017) implementiert für geometrische Nichtlinearitäten und von Reinisch (2018) deutlich weiterentwickelt. Die Anwendung der Optimierungsmethoden werden mit Beispielen aus der Robotik dargestellt.

References

Bruns, T. E. and D. A. Tortorelli (2003). An element removal and reintroduction strategy for the topology optimization of structures and compliant mechanisms. *International Journal for Numerical Methods in Engineering 57*, 1413–1430.

Cao, L. (2015). *On advancing the topology optimization technique to compliant mechanisms and robots*. Ph.D. diss.

Howell, L. L. (2001). *Compliant mechanisms*.

Pedersen, C. B. W., T. Buhl, and O. Sigmund (2001). Topology synthesis of large-displacement compliant mechanisms. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2683–2705.

Reinisch, J. (2017). Topologieoptimierung von Compliant Mechanisms mit nichtlinearer FEM und Spannungsrestriktionen. Semester thesis, Lehrstuhl für Leichtbau, Technische Universität München. Advisor: J. Achleitner.

Reinisch, J. (2018). Synthesis of Compliant Mechanisms for Morphing Wings with Nonlinear Topology Optimization. Master thesis, Lehrstuhl für Luftfahrtsysteme, Technische Universität München. Advisor: J. Achleitner.

Sigmund, O. (1997). On the design of compliant mechanisms using topology optimization. *Mechanics of Structures and Machines* (25), 493–524.

Zentner, L. (2014). *Nachgiebige Mechanismen*. De Gruyter Oldenbourg.

DuEPublico
Duisburg-Essen Publications online

Optimale Synthese nachgiebiger Mechanismen für die Robotik

Wehrle, Erich Josef; Achleitner, Johannes; Reinisch, Joseph

In: IFToMM D-A-CH Konferenz / Fünfte IFToMM D-A-CH Konferenz 2019

Dieser Text wird über DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt.

Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: https://doi.org/10.17185/duepublico/48210

URN: urn:nbn:de:hbz:464-20190222-122251-5

Link: https://duepublico.uni-duisburg-essen.de:443/servlets/DocumentServlet?id=48210

Lizenz:
Sofern nicht im Inhalt ausdrücklich anders gekennzeichnet, liegen alle Nutzungsrechte bei den Urhebern bzw. Herausgebern. Nutzung - ausgenommen anwendbare Schrankenregelungen des Urheberrechts - nur mit deren Genehmigung.