

CoMSys - ein GUI-basiertes Berechnungstool zur Analyse und Optimierung nachgiebiger Mechanismen

CoMSys - a GUI-based calculation tool for the analysis and optimisation of compliant mechanisms

Hannes Jahn, Stefan Henning, Lena Zentner

Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau, 98693 Ilmenau, Deutschland

Fachgebiet Nachgiebige Systeme: {hannes.jahn, stefan.henning, lena.zentner}@tu-ilmenau.de

Kurzfassung

Nachgiebige Mechanismen mit Festkörpergelenken (FKG) gewinnen aufgrund ihrer vorteilhaften Eigenschaften, wie beispielsweise Reproduzierbarkeit, Spielfreiheit und Wartungsfreiheit, zunehmend an Bedeutung [1]. Die Synthese nachgiebiger Mechanismen erfolgt vorwiegend durch Starrkörperersatzmodelle. Bestehende Berechnungstools greifen zum Großteil auf Topologieoptimierungen zurück (vgl. [2, 3, 4]). Weiter werden Energiemethoden und Starrkörperersatzmodelle verwendet (vgl. [5, 6, 7, 8]). Selten basieren bekannte Synthesetools auf nichtlinearen Balkenmodellen (z. B. [9]). In diesem Beitrag sollen ebenfalls analytische Modellgleichungen für die Mechanismensynthese angewendet werden. Die Lösung dieses Problems ist aufgrund von nicht konstanten Balkenquerschnitten nicht trivial. In Anbetracht der Zeitersparnis im Vergleich zu FEM Lösungen jedoch hoch sinnvoll. Zur Optimierung des Verformungsverhaltens nachgiebiger Mechanismen gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten, wie bspw. die Variation der Gelenkkontur [10], Verändern der Gelenkausrichtung [11] und in diesem Beitrag die Verschiebung einzelner Festkörpergelenke entlang der Balkenachse. Um diese Methode für einen Ingenieur zugänglich zu machen, wird die grafische Benutzeroberfläche „CoMSys“ mit Python[®] entwickelt, welche am bereits bestehenden Entwicklungstool „CoMUI“ [9] orientiert ist. Die entwickelte Benutzeroberfläche ist in Bild 1 dargestellt.

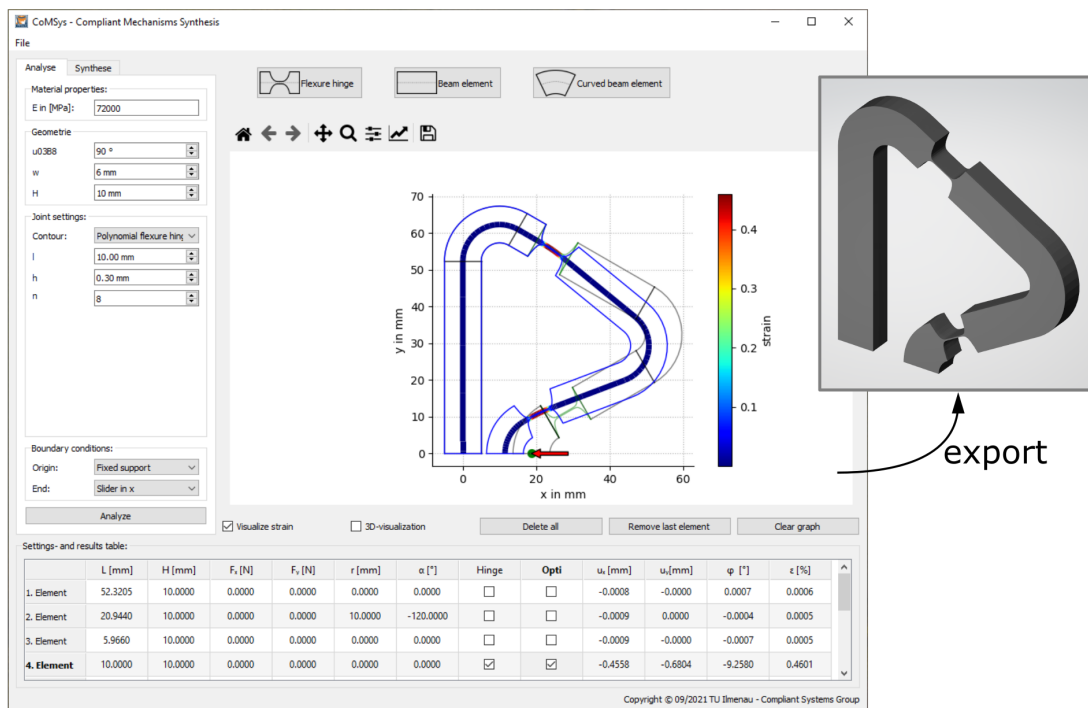


Bild 1 Grafische Benutzeroberfläche des PC-Programms zur Analyse und Optimierung nachgiebiger Mechanismen mit einem Beispielmechanismus sowie Bild des exportierten Mechanismus.

Die Berechnungsgrundlage des Programms bildet die Theorie großer Verformungen stabförmiger Strukturen [12] für planare Anwendungsfälle. Belastet werden die Mechanismen ausschließlich durch richtungstreue Kräfte in x - und y -Richtung. Durch die kontinuumsbasierte Modellierung liegen nach der Berechnung der Mechanismen die x - und y -Koordinaten mit dem dazugehörigem Winkel entlang der Balkenachse im verformten Zustand vor. Mit Hilfe derer kann die Verschiebung für jeden Punkt entlang der Balkenachse, sowie die auftretende Dehnung berechnet werden. Mit Hilfe des Synthesetools lassen sich die Mechanismen in ihrem Verformungsverhalten optimieren, indem durch Vor-



gabe einer maximal zulässigen Dehnung ε_{zul} die Gelenkpositionen der einzelnen FKG entlang der Balkenachse variiert wird. Mit Hilfe eines Optimierungsverfahrens werden so die optimalen Gelenkpositionen ermittelt, sodass die Verschiebung eines gewählten Punktes im Mechanismus in x - oder y -Richtung oder der Winkel der Balkenachse optimiert wird. Diese Optimierung wurde anhand einer Parameterstudie erfolgreich validiert.

Im Anschluss an die Optimierung wird der Mechanismus in der verformten Lage dargestellt und dem Bediener wird die Möglichkeit geboten die maximale Dehnung zu visualisieren vgl. Bild 1.

Zur Weiterarbeit mit dem erstellten Mechanismus, kann die Geometrie gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt erneut bearbeitet werden. Außerdem besteht die Option den Mechanismus als Wafefrontdatei (*.obj) zu exportieren um die Fertigung von Prototypen mittels additiven Verfahren zu ermöglichen.

Das erstellte PC-Programm stellt ein zeiteffizientes und intuitiv bedienbares Werkzeug zur Analyse und Optimierung nachgiebiger Mechanismen dar. Durch die Optimierung wird ein wichtiger Beitrag zur Synthese nachgiebiger Mechanismen geboten. Die *export*-Funktion ist ein Alleinstellungsmerkmal für dieses Werkzeug und ein entscheidender Beitrag für eine schnelle Prototypenentwicklung.

Das Synthesewerkzeug bietet folgende Features:

- Verwendung verschiedener Werkstoffe (Eingabe Materialparameter E-Modul)
- segmentweise Zusammenstellung eines zu berechnenden Mechanismus
- Wahl verschiedener Gelenkkonturen (Rechteck-, Halbkreis- Viertelkreis-, Ellipsen- und Polynomkontur)
- Randbedingungen am Ende und Anfang des Mechanismus (Eingepannt, Loslager/Drehgelenk, Frei)
- Belastung durch richtungstreue Kräfte in x - und y -Richtung
- Analyse des belasteten Mechanismus
- maßstäbliche Darstellung des Mechanismus (unverformt und verformt)
- Darstellung der Maximaldehnung entlang der Balkenachse
- Wahl zu optimierender Gelenke
- Einstellung der Nebenbedingung ε
- Wahl der Zielfunktion (Maximierung von x , y oder φ) an auswählbarem Segment
- Speichern und öffnen von Mechanismen
- Export von Mechanismen im dreidimensionalen *.obj-Format

Danksagung – Die Autoren bedanken sich bei der DFG für die Projektförderung (ZE 714/22-1).

Literatur

- [1] Howell, L. L. “Compliant Mechanisms”. In: *21st Century Kinematics. The 2012 NSF Workshop*. Ed. by McCarthy, J. M. London: Springer, 2013. DOI: 10.1007/978-1-4471-4510-3_7.
- [2] FlexSys. *FlexWorks™*. URL: <https://www.flxsys.com/software> (visited on 11/29/2021).
- [3] Liu, K. and Tovar, A. “An efficient 3D topology optimization code written in Matlab”. In: *Structural and Multi-disciplinary Optimization* 50.6 (2014), pp. 1175–1196. DOI: 10.1007/s00158-014-1107-x.
- [4] Milojević, A., Pavlović, N. D., and Pavlović, N. P. “Adaptive compliant gripper finger with embedded extending actuators”. In: *Ilmenau Scientific Colloquium* (2014).
- [5] Bilancia, P. et al. “A CAD/CAE integration framework for analyzing and designing spatial compliant mechanisms via pseudo-rigid-body methods”. In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 56 (2019). DOI: 10.1016/j.rcim.2018.07.015.
- [6] Megaro, V. et al. “A computational design tool for compliant mechanisms”. In: *ACM Transactions on Graphics* 36.4 (2017), pp. 1–12. DOI: 10.1145/3072959.3073636.
- [7] Turkkkan, O. A. and Su, H.-J. “DAS-2D: a concept design tool for compliant mechanisms”. In: *Mechanical Sciences* 7.2 (2016), pp. 135–148. DOI: 10.5194/ms-7-135-2016.
- [8] Malaekke, H. and Moeenfard, H. “A novel flexure beam module with low stiffness loss in compliant mechanisms”. In: *Precision Engineering* 48 (2017), pp. 216–233. DOI: 10.1016/j.precisioneng.2016.12.004.
- [9] Henning, S. and Zentner, L. “Analysis of planar compliant mechanisms based on non-linear analytical modeling including shear and lateral contraction”. In: *Mechanism and Machine Theory* 164 (2021). DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2021.104397.
- [10] Henning, S. et al. “Optimization of Compliant Path-Generating Mechanisms Based on Non-linear Analytical Modeling”. In: *Microactuators, Microsensors and Micromechanisms*. Ed. by Zentner, L. and Strehle, S. Vol. 96. Mechanisms and Machine Science. 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-61652-6_3.
- [11] Gräser, P. et al. “On the influence of the flexure hinge orientation in planar compliant mechanisms for ultra-precision applications”. In: *Ilmenau Scientific Colloquium* 2017.1.3.07 (2017).
- [12] Zentner, L. and Linß, S. *Compliant systems*. eng. Berlin and Boston: De Gruyter Oldenbourg, 2019. DOI: 10.1515/9783110479744.

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

In: Achte IFToMM D-A-CH Konferenz 2022

Dieser Text wird via 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: 10.17185/duepublico/75432

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20220222-165717-4



Dieses Werk kann unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 Lizenz (CC BY-NC-SA 4.0) genutzt werden.