

Theoretische und experimentelle Voruntersuchungen von Manipulatoren auf Basis von nachgiebigen Tensegrity-Strukturen

Preliminary theoretical and experimental investigations on manipulators based on compliant tensegrity structures

David Herrmann, OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau, 93053 Regensburg, david.herrmann@st.oth-regensburg.de

Leon Schaeffer, OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau, 93053 Regensburg, leon.schaeffer@oth-regensburg.de

Lena Zentner, TU Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau, 98693 Ilmenau, lena.zentner@tu-ilmenau.de

Valter Böhm, OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau, 93053 Regensburg, valter.boehm@oth-regensburg.de

Kurzfassung

Um die Leistungsfähigkeit von nachgiebigen Robotersystemen („Soft Robotics“) zu verbessern, werden immer neue Möglichkeiten zur Realisierung dieser Systeme gesucht. In vielen Anwendungen ist der Einsatz von mechanisch vorgespannten nachgiebigen Strukturen in diesen Systemen von Vorteil. Die Steifigkeit dieser Strukturen kann gezielt und gegebenenfalls reversibel variabel eingestellt werden. Die Formveränderung kann nur durch wenige Aktuatoren erzeugt werden.

Nachgiebige Tensegrity-Strukturen, die auf hochelastischen Materialien basieren, entsprechen einer speziellen Klasse von mechanisch vorgespannten Strukturen. Sie werden durch druck- und zugbelastete Segmente gebildet, wobei die druckbelasteten Segmente untereinander nicht direkt verbunden sind. Die resultierende Form dieser Strukturen wird durch ihre Vorspannung bestimmt. Weiche Roboter, die auf diesen Strukturen basieren, bieten mehrere vorteilhafte Eigenschaften, wie z. B. Faltbarkeit/Entfaltbarkeit, geringe Masse, hohes Festigkeits-Gewichts-Verhältnis und stoßdämpfende Fähigkeiten [1]. Diese Strukturen haben eine ausgeprägte Fähigkeit, sowohl ihre Form als auch ihre Steifigkeit zu verändern. In den letzten Jahren hat das Interesse an der Erforschung von Robotersystemen, die auf diesen Strukturen basieren, zugenommen. Aktuelle Arbeiten konzentrieren sich auf die Entwicklung von mobilen Robotern [2]–[7] und Manipulatoren, die auf diesen Strukturen basieren [8]–[10].

Tensegrity-Manipulatoren werden typischerweise durch Kaskadierung von gleichartigen elementaren Einheiten gebildet, die nach dem Tensegrity-Prinzip untereinander verbunden werden. Die elementaren Einheiten sind entweder selber konventionelle Tensegrity-Strukturen oder einteilige planare bzw. räumliche Strukturen. In klassischen Tensegrity-Manipulatoren werden starre Drucksegmente und nicht elastische Zugsegmente verwendet. Die Formänderung dieser Systeme wird durch Änderung der Längen ausgewählter Zugsegmente realisiert. Dem gegenübergestellt können nachgiebige Tensegrity-Manipulatoren realisiert werden, indem die Zugsegmente der Struktur eine hohe Nachgiebigkeit aufweisen. Um die mechanische Nachgiebigkeit und Formänderungsfähigkeit von diesen nachgiebigen Manipulatoren zusätzlich zu erhöhen, ist auch der Einsatz von Tensegrity-Strukturen auf der Basis nachgiebiger Drucksegmente denkbar.

Im vorliegenden Beitrag werden zwei nachgiebige Tensegrity-Manipulatoren vorgestellt und in Hinblick auf ihre mechanischen Eigenschaften und Formänderungsfähigkeit gegenübergestellt. Sie unterscheiden sich in ihrer Topologie, in der Art der Aktuierung und auch in der mechanischen Nachgiebigkeit. Die mechanische Nachgiebigkeit des ersten Systems beruht auf der Elastizität der Zugsegmente, die Drucksegmente sind starr. Die elementaren Einheiten bilden einteilige Strukturen. Das zweite System beruht auf elementaren Einheiten, die selbst räumliche Tensegrity-Strukturen sind. In diesem System sind sowohl die Zug- als auch die Drucksegmente nachgiebig. Die Aktuierung des ersten Systems erfolgt durch Längenänderung der Zugsegmente. Im zweiten System wird die Formänderung des Gesamtsystems durch Änderung der Form der nachgiebigen Drucksegmente realisiert. Die theoretischen Untersuchungen erfolgen unter Anwendung der statischen geometrisch nichtlinearen FE-Methode. Mit diesen Untersuchungen wird die Formveränderungsfähigkeit der beiden Systeme unter Variation ihrer Vorspannung untersucht und gegenübergestellt. Die experimentellen Untersuchungen an zwei Demonstratoren bestätigen die theoretischen Ergebnisse und zeigen die Anwendbarkeit von Systemen auf Basis dieser Strukturen als Manipulatoren auf.

Abstract

In this paper, two compliant tensegrity manipulators are presented and contrasted with respect to their mechanical properties and deformation capability. They differ in their topology, in the way they are actuated and also in their mechanical compliance. The mechanical compliance of the first system is based on the elasticity of the tensioned segments, while the compressed segments are rigid. The second system is based on elementary units, which are themselves spatial tensegrity structures. In this system, both the tension and compressed segments are compliant. Actuation of the first system occurs by changing the length of the tensile segments. In the second system, the change in shape of the overall system is realized by changing the shape of the compliant compressed segments.

DOI: 10.17185/duerpublico/77397



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz.

Literatur

- [1] J. Rieffel und J.-B. Mouret, “Adaptive and Resilient Soft Tensegrity Robots,” *Soft robotics*, Jg. 5, Nr. 3, S. 318–329, 2018. DOI: 10.1089/soro.2017.0066.
- [2] M. Vespignani, J. M. Friesen, V. SunSpiral und J. Bruce, “Design of SUPERball v2, a Compliant Tensegrity Robot for Absorbing Large Impacts,” in *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2018, S. 2865–2871, ISBN: 2153-0866. DOI: 10.1109/IR0S.2018.8594374.
- [3] Y. Lu, X. Xu und Y. Luo, “Path Planning for Rolling Locomotion of Polyhedral Tensegrity Robots Based on Dijkstra Algorithm,” *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, Jg. 60, Nr. 4, S. 273–286, 2019, ISSN: 1996-9015. DOI: 10.20898/j.iaass.2019.202.037.
- [4] K. Kim, A. K. Agogino und A. M. Agogino, “Rolling Locomotion of Cable-Driven Soft Spherical Tensegrity Robots,” *Soft robotics*, Jg. 7, Nr. 3, S. 346–361, 2020. DOI: 10.1089/soro.2019.0056.
- [5] J. Shintake, D. Zappetti, T. Peter, Y. Ikemoto und D. Floreano, “Bio-inspired Tensegrity Fish Robot,” in *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2020, S. 2887–2892, ISBN: 2577-087X. DOI: 10.1109/ICRA40945.2020.9196675.
- [6] P. Schorr, F. Schale, J. M. Otterbach, L. Zentner, K. Zimmermann und V. Boehm, “Investigation of a Multistable Tensegrity Robot applied as Tilting Locomotion System,” in *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Piscataway, NJ: IEEE, 2020, S. 2932–2938, ISBN: 978-1-7281-7395-5. DOI: 10.1109/ICRA40945.2020.9196706.
- [7] V. Böhm, P. Schorr, F. Schale, T. Kaufhold, L. Zentner und K. Zimmermann, “Worm-Like Mobile Robot Based on a Tensegrity Structure,” in *2021 IEEE 4th International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)*, 2021, S. 358–363. DOI: 10.1109/RoboSoft51838.2021.9479193.
- [8] S. Lessard, D. Castro, W. Asper u. a., “A bio-inspired tensegrity manipulator with multi-DOF, structurally compliant joints,” in *IROS 2016*, Piscataway, NJ: IEEE, 2016, S. 5515–5520, ISBN: 978-1-5090-3762-9. DOI: 10.1109/IR0S.2016.7759811.
- [9] D. Fadeyev, A. Zhakatayev, A. Kuzdeuov und H. A. Varol, “Generalized Dynamics of Stacked Tensegrity Manipulators,” *IEEE Access*, Jg. 7, S. 63 472–63 484, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2916681.
- [10] B. Fasquelle, M. Furet, P. Khanna, D. Chablat, C. Chevallereau und P. Wenger, “A bio-inspired 3-DOF light-weight manipulator with tensegrity X-joints,” in *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Piscataway, NJ: IEEE, 2020, S. 5054–5060, ISBN: 978-1-7281-7395-5. DOI: 10.1109/ICRA40945.2020.9196589.

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

In: Neunte IFToMM D-A-CH Konferenz 2023

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/77397

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20230314-164736-8



Dieses Werk kann unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 4.0 Lizenz (CC BY-NC-ND 4.0) genutzt werden.