

Komponentenbasiertes Modell zur bedarfsgerechten Dimensionierung der Genauigkeit eines Industrieroboters

Component-based model of an articulated robot for demand-oriented dimensioning of the accuracy

Prof. Dr.-Ing. Tobias Weiser, HS Kempten, 87435 Kempten, Deutschland, tobias.weiser@hs-kempten.de
Markus Schmitz, RWTH Aachen University, Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik, 52062 Aachen, Deutschland, schmitzm@igmr.rwth-aachen.de

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird ein Manipulatormodell zur Verwendung in einem Entwurfsprozess für die Manipulatormechanik vorgestellt. Das Ziel ist Schwingungen zu minimieren und die Genauigkeit applikationsspezifisch zu entwerfen. Aus geeigneten Modellansätzen der einzelnen Roboterkomponenten, wie der Tragstruktur, den Wälzlager, der Verkabelung und der Fügstellen wird ein Gesamtmodell einer seriellen Sechs-Achs-Kinematik in Modelica erstellt. Für den Antriebsstrang werden Modellansätze für Kompaktgetriebe, Riementriebe, Wellen und Zahnräder abgeleitet. Eine Validierung erfolgt durch eine Modalanalyse durch Selbstanregung.

Abstract

A manipulator model for use in a design process of the manipulator mechanics is shown in this paper. The target is to minimize vibration and design appropriate accuracy in application. The focus is to model manipulator components and merge them in a manipulator model. This approach is applied to a six degree of freedom serial kinematic robot with rotational joints. The proposed model uses the Floating Frame of Reference approach for modeling the structural parts of the manipulator. The stiffness modeling of bearings is introduced. Electric drives generate the motion of the rotational joints, which is transported to the rotational joint via a drivetrain. A drivetrain model containing appropriate models of gearboxes, belt drives, shafts and toothed gears is derived. The required electric power is transmitted by the cabling of the manipulator. An approach of cable stiffness is introduced to consider the contribution to the manipulator system dynamics. The influence of the connection of each component is presented by a bolted joint approach. Finally, the component-oriented total manipulator model is validated with a measurement by dynamic excitation.

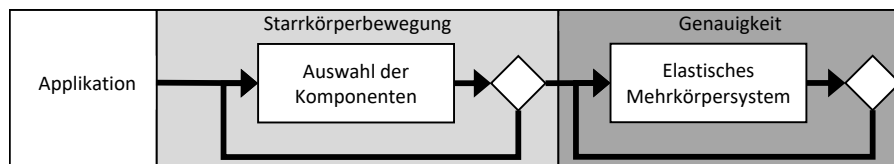


Bild 1 Auslegungsprozess eines Manipulators

Diese Arbeit zeigt einen Ansatz zur Modellierung eines seriellen Manipulators mit Drehgelenken für die Verwendung zur Auslegung des mechatronischen Designs. Der Prozess für die Dimensionierung eines Manipulators wird für diese Arbeit in zwei Schritten angenommen. Für eine spezifizierte Roboterkinematik und Applikation werden zuerst die Komponenten, z.B. die Motoren oder die Größe der Kompaktgetriebe festgelegt, um die Anforderungen an die Starrkörpermechanik (z.B. Taktzeit) zu erfüllen [1]. Im zweiten Schritt soll die Genauigkeit des Manipulators durch ein geeignetes Design des elastischen Mehrkörpersystems optimiert werden. Dafür wird ein Modell benötigt, das die für die Systemdynamik relevanten Komponenten berücksichtigt. Durch die geeignete Abstraktion jeder Komponente ist dann der jeweilige Einfluss auf die Genauigkeit transparent darstellbar und die Anforderungen an die Genauigkeit können top-down auf die Komponenten abgeleitet werden. Dazu wird der komponentenbasierte Modellansatz aus [2] für die steifigkeitsoptimale Auslegung eines Manipulators auf ein elastisches Mehrkörpersystem erweitert. Die Parametrierung des Modells soll an Hand von Datenblattwerten oder CAD-Modellen erfolgen, damit dieses Modell bereits während der Entwicklungsphase des Manipulators verwendet werden kann.

Um jede Komponente des mechatronischen Systems zu berücksichtigen, die die Genauigkeit eines Industrieroboters beeinflusst, werden diese in die Tragstruktur und den Antriebsstrang aufgeteilt. Für jede dieser Komponenten werden die für die Systemdynamik relevanten Eigenschaften Masse, Trägheit, Steifigkeit und Dissipation beschrieben. Für die Tragstruktur werden die kinematischen Glieder des Roboters als Balken mit Hilfe des Floating Frame of Reference Ansatzes beschrieben [3]. Die Wälzlager werden als räumlicher Zwei-Masse-Schwinger modelliert. Dieser besteht aus dem Innen- und Außenring des Wälzlagers, die über eine nichtlineare Steifigkeitsmatrix verbunden sind [4]. Dabei wird die Hertz'sche Pressung im Wälzkontakt für verschiedene Wälzkörper berücksichtigt. Der Steifigkeits- und Dämpfungseinfluss für die

DOI: 10.17185/dupublico/77386



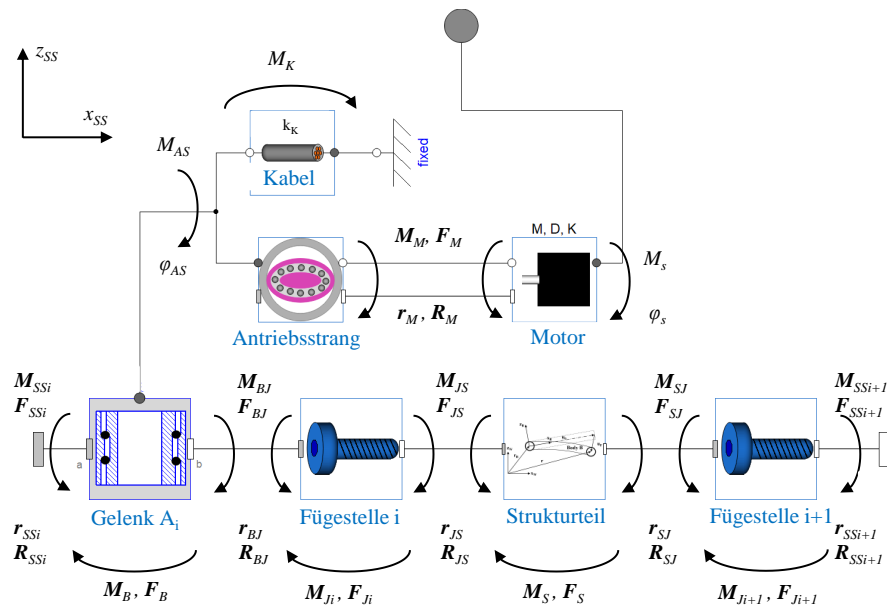


Bild 2 Rotatorisches Gelenk-Strukturteil-Subsystem in Modelica mit dem Gelenk A_i (B), der Fügestelle i (J_i), Strukturteil (S), der Fügestelle $i + 1$ (J_{i+1}), dem Antriebsstrang (AS), dem Motor (M) und der Steifigkeit der Verkabelung k_K

Verkabelung wird berücksichtigt [5]. Verschraubungen werden als Fügstellen modelliert und liefern einen Beitrag zur Dämpfung und Steifigkeit.

Für den Antriebsstrang werden die Steifigkeiten, Reibung und Dämpfungen für Wellen, Riementriebe, Verzahnungsgetriebe und Wälzlager beschrieben. Kompaktgetriebe, wie z.B. Well-Getriebe, Zykloiden-Getriebe oder Planetengetriebe, werden mit Hilfe eines rotatorischen Zweimassenschwingers mit einer nichtlinearen Steifigkeit approximiert [6]. Die Reibungen dieser Komponenten werden zustandsbasiert mit Hilfe von S-GMS Ansätzen modelliert um Stick-Slip-Effekte im Rahmen der Genauigkeitsvorhersage abzubilden. Zusätzlich werden für die Getriebe des Antriebsstrangs das Anregungsverhalten und das Flankenspiel modelliert [7].

Aus diesen Komponenten werden modulare Modelle der Subsysteme der Grundachsen (Motor-Getriebe-Einheiten, s. Abb 2) und der Handachsen (Motor-Getriebe-Antriebsstrang) in Modelica erstellt. Es wird ein Modell einer seriellen 6-Achs-Kinematik mit drei Grundachsen und drei Handachsen erstellt.

Die Validierung des Robotermodells wird im ersten Schritt durch eine Messung und Simulation der statischen Nachgiebigkeit durchgeführt. Im zweiten Schritt wird dieses Modells an einem KR6 R900-1 der Firma KUKA Roboter GmbH durch Selbstanregung validiert. Dabei wird über die Antriebe ein in der RSI-Schnittstelle generiertes Chirp-Signal in die Struktur eingeleitet. Das Antwort-Signal wird durch einen low-cost Beschleunigungssensor am TCP erfasst.

Die Anwendung dieses Ansatzes wurde für eine serielle Kinematik gezeigt. Der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz ist sowohl für serielle als auch für parallele Kinematiken, wie z.B. einer DELTA-Kinematik, anwendbar und ist als nächster Schritt geplant.

Literatur

- [1] M. Pettersson, P. Krus, and J. Andersson, "On optimal drive train design in industrial robots," in *2005 IEEE International Conference on Industrial Technology*, pp. 254–259, IEEE, 2005.
- [2] T. Weiser, *Komponentenbasiertes Modell eines Industrieroboters zur bedarfsgerechten Dimensionierung*. Apprimus Wissenschaftsverlag, 2020.
- [3] A. A. Shabana, "Flexible multibody dynamics: review of past and recent developments," *Multibody system dynamics*, vol. 1, no. 2, pp. 189–222, 1997.
- [4] T. Weiser and B. Corves, "Modelling of roller bearings," in *Proceedings of the 12th international Modelica Conference*, Linköping University Electronic Press, 2017.
- [5] K. Papailiou, "On the bending stiffness of transmission line conductors," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 12, no. 4, pp. 1576–1588, 1997.
- [6] H. Zhang, S. Ahmad, and G. Liu, "Modeling of torsional compliance and hysteresis behaviors in harmonic drives," *IEEE/ASME Trans. Mechatron*, vol. 20, no. 1, pp. 178–185, 2015.
- [7] R. R. Waiboer, *Dynamic modelling, identification and simulation of industrial robots*. PhD thesis, University of Twente [Host], 2007.

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/77386

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20230314-142045-8



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