

Schriftenreihe des Arbeitsbereichs  
Werkzeugmaschinen und Automatisierungstechnik  
der Technischen Universität Hamburg-Harburg

Band 10

**Holger Gräßner**

**Identifikation dynamikbestimmender Parameter  
von Industrierobotern**

Shaker Verlag  
Aachen 1999

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Grässner, Holger:*

Identifikation dynamikbestimmender Parameter von Industrierobotern/Holger  
Grässner. - Als Ms. gedr. -

Aachen: Shaker, 1999

(Schriftenreihe des Arbeitsbereichs Werkzeugmaschinen und  
Automatisierungstechnik der Technischen Universität Hamburg-Harburg;  
Bd. 10)

Zugl.: Hamburg-Harburg, Techn. Univ., Diss., 1999

ISBN 3-8265-6411-1

Copyright Shaker Verlag 1999

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen  
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-  
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISBN 3-8265-6411-1

ISSN 1438-8529

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## 9 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird ein Konzept zur Identifikation dynamikbestimmender Industrieroboter-Parameter entwickelt, das in einfacher Weise auf beliebige Industrieroboter-Typen übertragbar ist, ohne A-priori-Kenntnisse zur Dynamik vorauszusetzen. Die Ergebnisse sind zur Auslegung beliebiger Reglerstrukturen verwendbar. Vereinfachende Annahmen zu den Getriebeeigenschaften sind nicht erforderlich, können aber — z. B. bei Direktantrieben — in das Modell integriert werden.

Das Identifikationskonzept ist modular aufgebaut und in zwei Identifikationsebenen untergliedert.

- Auf der Ebene der einzelnen Achsen des Industrieroboters werden ausschließlich die Parameter der betreffenden Achse identifiziert, dabei stehen zwei verschiedene Module zur Durchführung der Identifikation zur Auswahl. Das erste Modul arbeitet im Zeitbereich, das zweite im Frequenzraum.
- Auf der Ebene des gesamten Industrieroboters werden die Mehrkörpermodell-Parameter aller Achsen identifiziert. Auch hier kann zwischen zwei Identifikationsmodulen gewählt werden. Das indirekte Mehrachsen-Identifikationsverfahren setzt auf den Ergebnissen auf, die zuvor von den Einzelachs-Identifikationsmodulen berechnet wurden, die direkte Mehrachsen-Identifikation beruht auf der Auswertung einer einzelnen mehrachsigen Bewegung.

Auf beiden Ebenen hängt die Auswahl des optimalen Identifikationsmoduls von der Getriebecharakteristik der untersuchten Achsen ab.

Die beiden Verfahren zur Identifikation der Einzelachs-Parameter werden mit Hilfe von Simulations-Identifikations-Experimenten auf ihre Empfindlichkeit gegenüber Meßrauschen untersucht. Dabei werden insbesondere die Auswirkungen von Modellvereinfachungen — z. B. die Beschränkung auf viskose Reibung — auf das Identifikationsverhalten analysiert. Die so gewonnenen Erkenntnisse zum Verhalten der Identifikationsverfahren können durch praktische Experimente an einem Industrieroboter des Typs Bosch SR 800 verifiziert werden. Beim Einzelachs-Identifikationsverfahren im Frequenzraum läßt sich die zunächst inakzeptabel hohe Rauschempfindlichkeit durch verschiedene Maßnahmen soweit absenken, daß dieses Verfahren den Zeitbereichsverfahren überlegen ist. Dazu wird u. a. eine Phasenkohärenzmessung zur Gewichtung eingesetzt. Voraussetzung für den Einsatz des Frequenzbereichsverfahrens ist allerdings die lineare Modellierung der Getriebecharakteristik; das Zeitbereichsverfahren kommt ohne diese Einschränkung aus.

Die beiden Verfahren zur Identifikation der Mehrachsen-Parameter unterscheiden sich im meßtechnischen Aufwand und in ihren Anforderungen an die Steifigkeit der zu identifizierenden Achsgetriebe. Beim indirekten Mehrachsen-Identifikationsverfahren sind alle Modellparameter unabhängig vom verwendeten Getriebemodell bestimmbar. Das meßtechnisch weniger aufwendige direkte Mehrachsen-Identifikationsverfahren ist dagegen auf Industrieroboter mit vernachlässigbaren Getriebeelastizitäten beschränkt.

Ein Hauptproblem bei der Identifikation der Mehrachsen-Parameter liegt in der aufwendigen Aufstellung der benötigten Identifikationsgleichungen für jeden Industrieroboter-Typ. Um die Identifikationsverfahren dieser Arbeit auf einen bestimmten Industrieroboter

übertragen zu können, müssen lediglich die Geometrie- und Trägheitsdaten seiner Einzelkörper angegeben werden. Daraufhin werden mit Hilfe des Programms *NEWEUL* [35] die symbolischen Bewegungsgleichungen generiert. Ein im Rahmen dieser Arbeit entwickeltes Konvertierungsprogramm generiert daraus automatisch ein C++ -Programm, das die Identifikationsgleichungen des betreffenden Industrieroboters enthält und die Mehrachsen-Identifikation durchführt.

In der Regel sind bei der Identifikation von Mehrkörpermodellen nicht alle physikalischen Modellparameter isoliert bestimmbar, da diese Abhängigkeiten voneinander aufweisen. Die Festlegung eines geeigneten minimalen Satzes zu bestimmender Parameter kann durch ein automatisches Auswahlverfahren erfolgen. Für den Anwender entsteht dadurch kein zusätzlicher Modellierungsaufwand, da auch dieses Verfahren auf den von *NEWEUL* generierten symbolischen Bewegungsgleichungen aufsetzt. Insbesondere sind keine A-priori-Kenntnisse der Roboterdynamik erforderlich.

Alle vorgestellten Identifikationsverfahren ermitteln physikalische Modellparameter. Aus diesen Parametern können sämtliche zur Auslegung von Regelungen erforderlichen Darstellungen abgeleitet werden, z. B. die Koeffizienten von Übertragungsfunktionen. Die Identifikationsergebnisse sind damit nicht auf die Verwendung mit bestimmten Regelungsverfahren beschränkt; sie können zur Dimensionierung beliebiger Regelungen dienen. Durch den modularen Aufbau des Identifikationskonzepts ist auch der meßtechnische Aufwand auf die regelungstechnischen Erfordernisse abstimmbare. Adaptive, dezentrale Reglerkonzepte erfordern z. B. weniger Identifikations-Aufwand als die Regelung mit Hilfe des inversen Systems.

Allen vorgestellten Identifikationsverfahren liegt die robotereigene Sensorik zugrunde, die lediglich um Beschleunigungsaufnehmer an den einzelnen Achsen zu ergänzen ist. Auf die Einspannung von Industrieroboter-Elementen wird ebenso verzichtet wie auf Anregungsfunktionen, die nicht im Normalbetrieb des Roboters realisierbar wären.

Insgesamt erlauben die in dieser Arbeit vorgestellten Verfahren, die dynamikbestimmenden physikalischen Parameter beliebiger Industrieroboter mit vertretbarem Modellierungs- und Meßaufwand zu identifizieren, so daß einer Verwendung im industriellen Umfeld nichts entgegensteht.