Institute of Automation

David Baiden

Interaction Control of a Robotic Rehabilitation Device using Inherent Compliant Actuators with Pneumatic Rotary Elastic Chambers

SHAKER VERLAG

Publication Series of the Institute of Automation
University of Bremen

Series 3-Nr.12

David Baiden

Interaction Control of a Robotic Rehabilitation Device using Inherent Compliant Actuators with Pneumatic Rotary Elastic Chambers

Shaker Verlag
Düren 2020

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at http://dnb.d-nb.de.

Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2020

Publication Series of the INSTITUTE OF AUTOMATION, UNIVERSITY OF BREMEN:

1 Colloquium of Automation
2 Automation
3 Robotics
4 Control Theory
5 Image Processing
6 Virtual and Augmented Reality
7 Brain Computer Interface

Copyright Shaker Verlag 2020
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7741-4
ISSN 1861-5457

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Phone: 0049/2421/99011-0 • Telefax: 0049/2421/99011-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Zusammenfassung

In der modernen Robotik rücken Menschen und Maschinen sowohl in der Industrie bei Fertigungsprozessen, im privaten Heim zur automatisierten Erbringung von Dienstleistungen als auch im Gesundheitswesen zwecks bewegungstherapeutischer Rehabilitation immer näher zusammen. Da sich beide Beteiligten den Arbeitsbereich teilen und gegebenenfalls in direktem physischen Kontakt befinden, entstehen neue spezielle Ansprüche an das Robotersystem hinsichtlich einer geeigneten Interaktionsregelung sowie der Bedarf einer damit harmonisierenden Antriebstechnologie. Um Verletzungen vorzubeugen, eignen sich nachgiebige Antriebskonzepte in Verbindung mit geringen beschleunigten Massen, bei denen die Nachgiebigkeit entweder aktiv durch einen Regler oder passiv durch die Integration von elastischen Werkstoffen erzeugt werden kann. Damit einher geht allerdings die Problematik einer verringerten Positions- bzw. Kraftregelungsgüte und insbesondere der Bedarf einer gleichermaßen auf die nachgiebigen Antriebe und den Anwendungszweck abgestimmten Interaktionsregelung zur Kooperation mit dem Menschen.

Die vorliegende Dissertationsschrift widmet sich der Erforschung und Entwicklung von unterschiedlichen Interaktionsregelungskonzepten für einen Exoskelett-Roboter mit inhärent nachgiebigen Aktoren auf Basis von fluidischen Direktantrieben mit elastischen Rotationskammern (engl.: *Rotary Elastic Chambers* – REC). Zudem wird untersucht, welche Art der Interaktion bzw. Wirkung erreicht werden kann, wenn die Komplexität von Streckenmodellen und Reglerstrukturen möglichst gering gehalten wird.

Zunächst werden die Anforderungen an die Regelung solcher Systeme formuliert und die Eigenschaften von grundlegenden Reglerkonzepten sowie Antriebstypen betrachtet. Der erste Teil dieser Arbeit befasst sich mit der Modellierung der pneumatischen Rotationsantriebe unter Verwendung von experimentellen und phänomenologischen Ansätzen. Dabei wird das Antriebsmodell in Subsysteme für Pneumatik und Mechanik unterteilt und bestehende Modelle modifiziert bzw. erweitert. Um den besonderen Erfordernissen gerecht zu werden und die Regelgenauigkeit zu verbessern, werden statische Drehmomentcharakteristiken mit verschiedenen Reibungskompensationsmodellen kombiniert und eine Lösung zur unabhängigen Einstellung von Drehmoment und Antriebssteifigkeit realisiert.

Der zweite Teil dieser Dissertation behandelt die Entwicklung von Interaktionsreglern, die ohne die Verwendung von Kraft-/Momentensensoren auskommen, wodurch sich Kosten in hohem Umfang einsparen lassen. Zu diesem Zweck steht ein dreigelenkiges planares Exoskelett mit REC-Antrieben zur Verfügung, welches die unteren Extremitäten teilweise unterstützen kann. Als Anwendungsbeispiel wird aus dem Bereich Rehabilitation eine Aktivität des täglichen Lebens gewählt, bei der ältere Personen oder körperlich leicht eingeschränkte Schlaganfallpatienten durch repetitive Übungen den Transfer vom Sitz in den Stand durchführen sollen.

Das Gesamtentwicklungsziel besteht darin, mit einer Kombination aus nachgiebigem Aktor und Interaktionsregler den Aufstehprozess so zu unterstützen und erfolgreich abzuschließen, dass der Benutzer nicht passiv auf einer fest vorgegebenen Trajektorie geführt wird, sondern größtenteils selbst die Kontrolle behält und vom Roboter so wenig wie möglich beeinflusst wird. Die diesbezüglich vorgestellten Konzepte reichen von einem einfachen nahezu modell-freien Master-Slave Ansatz mit individueller Trajektoriengenerierung, über die Verwendung von aktiven virtuellen Gelenkadmittanzen mit zeitlicher Solltrajektorie bis hin zur Realisierung variabler passiver Gelenksteifigkeiten. Ein adaptives iterativ lernendes Konzept im kartesischen Raum erlaubt schließlich zeitliche und örtliche Bewegungsfreiheit. Die Funktionalität der verfolgten Ansätze wird anhand praktischer Experimente mit gesunden und teils körperlich beeinträchtigen Testpersonen evaluiert. Abschließend werden die erreichten Resultate beschrieben und mögliche Anwendungszwecke angeführt.