

Vorwort zur 1. Auflage

Die Robotik als interdisziplinäres Gebiet

Roboter werden mit intelligenten Maschinen in Verbindung gebracht, die komplexe Arbeiten ähnlich dem Menschen zielgerichtet ausführen können. Die dabei angenommenen Möglichkeiten machen die Anziehungskraft und Faszination der Robotik aus. Der „Roboter“ ist deshalb auch ein gesellschaftliches und kulturelles Objekt geworden. Neben der Diskussion um die Gentechnik dient die Robotertechnik als Bezugspunkt, um Möglichkeiten und Gefahren von aktuellen und zukünftigen technischen Entwicklungen zu diskutieren. In den eher nüchternen technischen Wissenschaften ist der Roboter ein beliebtes Testobjekt, um fortgeschrittene Verfahren der Steuerung, Regelung, Sensorik, künstlicher Intelligenz etc. anzuwenden.

Dieses Buch konzentriert sich auf die Industrierobotertechnik, die innerhalb der Robotik die größte ökonomische Bedeutung zu verzeichnen hat und Ausgangspunkt für neue Anwendungen z. B. in der Medizintechnik und im Servicebereich ist. Aber auch ein Industrierobotersystem selbst ist ein technisches Produkt, das nur in interdisziplinärer Zusammenarbeit vieler Fachdisziplinen entstehen kann. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit können Mechanik, Maschinenbau, Elektrotechnik, Antriebstechnik, Informationsverarbeitung und Informatik, Mathematik, Regelungstechnik, Sensortechnik, Expertensysteme und künstliche Intelligenz genannt werden. Weiterhin ist zu bedenken, dass ein Industrieroboter beim Einsatz im industriellen Umfeld nur ein Teilsystem eines komplexen Fertigungsumfeldes ist und entsprechend mit anderen Industrierobotern und Automatisierungsrichtungen zusammenarbeiten und mit Leitsystemen kommunizieren muss. Aus diesem Grunde wird die Robotertechnik auch von der Fertigungsplanung, Arbeitswissenschaft und betriebswirtschaftlichen Aspekten beeinflusst. Nicht zuletzt steht der Industrieroboter als markantes Rationalisierungsinstrument der Automatisierungstechnik im Zusammenhang mit einer sozialverträglichen Technikgestaltung in der Diskussion.

Schwerpunkt und Interessentenkreis des Buches

Wer sich in die Robotertechnik einarbeiten will, steht somit vor einem sehr umfangreichen und interdisziplinären Gebiet. In der Industrierobotertechnik werden vielseitig einsetzbare, leistungsfähige Komponenten der technischen Fachdisziplinen genutzt, um eine kostengünstige, hochflexible Maschine „Roboter“ zu entwickeln. Schwerpunkt des Buches sind deshalb diejenigen Methoden der Kinematik, Dynamik und Regelung, die es auf der Basis dieser Komponenten ermöglichen, eine funktionsfähige Steuerung zu entwickeln und effektiv einzusetzen. Bei diesem mechatronischen Ansatz stehen Lagebeschreibung, Bewegungssteuerung, Programmierung, Beschreibung der Dynamik und Bewegungsregelung im Vordergrund. Kenntnisse der Bewegungsbeschreibung und Programmierung sind auch Voraussetzung, um sich in spezielle Teilbereiche der Robotik wie Sensorik,

Bildverarbeitung, fortgeschrittene Methoden der Programmierung, kooperative Roboter, Kollisionsvermeidung, künstliche Intelligenz und autonomes Verhalten einzuarbeiten.

Ausgehend von diesem Ansatz richtet sich das Buch an einen breiten Leserkreis. Studenten technischer Fachrichtungen und der Informatik an Universitäten und Fachhochschulen, die sich im Rahmen des Hauptstudiums mit der Robotertechnik beschäftigen, bietet das Buch einen Grundkurs in die Bewegungsbeschreibung, Programmierung und Regelung von Industrierobotern.

Für die wachsende Zahl von Ingenieuren, die sich mit der Anwendung von Industrierobotern beschäftigen, werden die benötigten Grundkenntnisse in der Bewegungsbeschreibung vermittelt, um einen Industrieroboter oder andere Mehrachsgeräte geeignet zu programmieren und damit effektiv einzusetzen. Die Leistungsfähigkeit der Steuerungshardware nimmt bei sinkenden Kosten zu. Dies eröffnet die Möglichkeit, auch außerhalb von Forschungslabors fortgeschrittene Regelungsalgorithmen zu entwickeln, zu erproben und einzusetzen. Den Ingenieuren in der Praxis, die diese Aufgaben angehen, bietet das Buch einen effizienten Zugang und Anregungen zur Modellbildung und zum Regelungsentwurf.

Erfahrungsgemäß bilden die mathematischen Methoden der Steuerung und Regelung die größten Hemmschwellen, wenn man sich als Ingenieurstudent/in mit der Robotertechnik befasst oder sich als Ingenieur/in in der Praxis neuen Methoden der Steuerung und Regelung zuwendet. Das Buch führt deshalb schrittweise mit einfachen, anwendungsnahen Beispielen in die unbedingt notwendige Mathematik der Steuerung und Regelung ein, damit die mathematischen Methoden schon bei der Einführung unmittelbar mit der Anwendung im Zusammenhang stehen. Die Methoden zur Steuerung und Regelung werden im Gegensatz zu anderen Lehrbüchern zuerst an einem Eingelenkarm und „Robotern“ mit zwei Gelenken eingeführt, bevor sie auf handelsübliche Industrieroboter angewandt werden. Die angebotenen Aufgaben können zumeist mit Matlab gelöst werden. Die beiliegende CD enthält Lösungsbeispiele und Programme und das in Matlab geschriebene Entwicklungs- und Visualisierungswerkzeug RoCSy. Mit einer menügesteuerten einfachen Programmiersprache ist es in RoCSy möglich, Bewegungen des Industrieroboters RV6 von Reis vorzugeben und im dreidimensionalen Raum mit einem Vollkörpermodell zu visualisieren. Auch die Simulation und grafische Darstellung des Regelungsverhaltens bei Einsatz konventioneller und fortgeschrittener Regelungsmethoden ist in RoCSy enthalten.

Zum Inhalt

Kapitel 1 gibt einen Überblick über einige wesentliche Teilgebiete der Robotik. Der folgende Inhalt des Buches kann in zwei Teile aufgeteilt werden. Der erste Teil des Buches (Kapitel 2 bis Kapitel 5) beschäftigt sich mit der kinematischen Beschreibung und der Programmierung, der zweite Teil (Kapitel 6 und Kapitel 7) behandelt die Dynamik und Regelung.

In Kapitel 2 wird nach Einführung der unbedingt nötigen Grundkenntnisse über Vektoren und Matrizen der Nutzen von Rotationsmatrizen, homogenen Matrizen (Frames) und der Denavit-Hartenberg-Konvention bei der Lagebeschreibung von Industrierobotern aus einfachen Anwendungsbeispielen abgeleitet. Dabei wird der Zugang zur Denavit-Hartenberg-Konvention für Industrieroboter durch eine neue, ausführliche Formulierung erleichtert. Die in der Robotik wichtigen Transformationen zwischen Gelenkkoordinaten und kartesi-

schen Koordinaten werden in Kapitel 3 behandelt und exemplarisch an einem Zweigelenkroboter und am Knickarmroboter RV6 durchgeführt. Die wesentlichen Bewegungs- und Interpolationsarten erläutert Kapitel 4 ausführlich, während Kapitel 5 die Roboterprogrammierung zum Inhalt hat, die dazu dient, diese Bewegungsabläufe geeignet vorzugeben. Zur Übung und Visualisierung kann vom Leser die einfache Offline-Programmiersprache von RoCSy verwendet werden.

Im zweiten Teil des Buches wird in Kapitel 6 das Newton-Euler-Verfahren als für den Ingenieur zugänglichste und effizienteste Methode zur Beschreibung der Roboterdynamik behandelt. Dabei wird das Newton-Euler-Verfahren nicht wie gewöhnlich als anzuwendender Algorithmus gebracht, sondern auch für Ingenieure ohne fundierte Mechanikausbildung verständlich hergeleitet und an Beispielen erläutert. Elektrische Antriebssysteme mit antriebsnaher Servoelektronik und das Getriebe werden so weit beschrieben, wie es für die Gewinnung eines geeigneten Regelungsmodells notwendig ist und schließlich mit der Roboterarmdynamik in einfacher Weise zu einer Vektordifferentialgleichung zusammengefasst, die als Grundlage für den Regelungsentwurf (Kapitel 7) dient. Zuerst wird in Kapitel 7 die konventionelle Kaskadenregelung behandelt, die die gegenseitige Beeinflussung durch Stellung und Bewegung der Achsen nicht explizit in den Regelungsentwurf einbezieht. Vorteile und Grenzen solcher Einzelgelenkregelungen werden diskutiert. Eine leistungsfähige fortgeschrittene Regelung muss diese Verkopplungen bei der Ansteuerung der Antriebe berücksichtigen. Als erste Möglichkeit zur Verbesserung der Regelungsgüte wird das Prinzip adaptiver Gelenkregelungen betrachtet und ein spezielles Verfahren näher erläutert. Anschließend werden solche modellbasierten Regelungen behandelt, die das nichtlineare Modell der Dynamik direkt in die Regelungsalgorithmen einbeziehen und somit zu einer Entkopplung beitragen. Aus den vielfältigen Verfahren aus dieser Klasse von Regelungsverfahren werden diejenigen behandelt, die einen einfachen transparenten Entwurf ermöglichen. In diesem Zusammenhang wird zum ersten Mal in einem Lehrbuch eine modellbasierte Regelung vorgestellt, die mit der in der Praxis üblichen Kaskadenstruktur arbeitet. Anschließend werden Vorgehensweise und prinzipielle Strukturen der Fuzzy-Technik und neuronalen Netze erläutert und einige Anwendungen in der Roboterregelung skizziert. Zum Abschluss wird ein Überblick über Strukturen von Kraftregelungen gegeben.

Der Anhang enthält einige Definitionen und Rechenregeln für Matrizen sowie Hinweise zum Gebrauch der Simulationssoftware RoCSy und weiteren Matlab-Programmen zu Bahnberechnungen und Simulation. Voraussetzung zur Nutzung der Matlab-Programme auf der CD ist eine Studentenversion oder Vollversion von MATLAB 5. Die lauffähigen Programme in MATLAB 6 können auf Anfrage vom Autor erhalten werden.

Voraussetzungen und Möglichkeiten der Nutzung des Buches

Zum Verständnis der ersten fünf Kapitel werden nur geringe mathematische Kenntnisse aus Trigonometrie, Geometrie, Analysis, Differential- und Integralrechnung vorausgesetzt. Das Arbeiten mit Vektoren und Matrizen wird, soweit benötigt, schrittweise eingeführt oder ist kurzgefasst im Anhang zu finden. Ein Leser, der sich ausschließlich in die Bewegungsbeschreibung und Programmierung einarbeiten will, muss sich nicht mit den umfangreichen Kapiteln 6 und 7 beschäftigen. Zur Erarbeitung von Hintergrundwissen zu den Bewegungsbefehlen der Roboterprogrammierung genügen aus Kapitel 3 die Prinzipien der kinematischen Transformationen.

Kapitel 6 führt in die Kinematik und Dynamik eines Industrieroboterarms als Mehrkörpersystem ein, wobei das Antriebssystem in das mathematische Modell einbezogen wird. Auf der Basis dieser Beschreibung werden in Kapitel 7 verschiedene Regelungsverfahren behandelt. Zum Studium dieser beiden Kapitel sollten grundlegende Kenntnisse der Kinematik und Dynamik und der Regelungstechnik vorhanden sein, wie sie in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen an den Hochschulen gelehrt werden.

Danksagung

Ein solches Buch kann nur aus der intensiven Beschäftigung und kritischen Auseinandersetzung mit dem Thema entstehen. In diesem Sinne haben Kolleginnen und Kollegen aus dem beruflichen Umfeld und Studierende zur Entstehung des Buches beigetragen. So möchte ich mich besonders bei Herrn Dipl.-Ing. Günter Trautmann, Herrn Jens Meyer und den Studierenden und Diplomanden bedanken, die mitgeholfen haben, die Simulationsumgebung RoCSy zu entwickeln. Meinem Kollegen Herrn Prof. Dr. Friedrich Münter danke ich herzlich für die sorgfältige Durchsicht von Teilen des Manuskripts, Frau Dipl.-Ing. Erika Hotho vom Hanser Verlag für die gute Zusammenarbeit und die aufgebrachte Geduld. Voraussetzung ist auch die Förderung der Lehre und von Projekten im Bereich der Robotertechnik an der Fachhochschule Darmstadt durch die Hochschulleitung und die beteiligten Fachbereiche. Herzlich danken möchte ich auch Herrn Dipl.-Ing. Stefan Anton von der Fa. EASY-ROB™ für die Überlassung und Hilfe bei der Integration seiner Visualisierungssoftware in die Entwicklungsumgebung RoCSy. Die Firmen Reis Robotics GmbH, KUKA Roboter GmbH, Hirata Robotics GmbH, Bosch GmbH und imt Peter Nagler GmbH haben mir freundlicherweise werkseigenes Bildmaterial zur Verfügung gestellt. Dafür möchte ich mich herzlich bedanken.

Meine Familie hat durch ihr entgegengebrachtes Verständnis für die zusätzliche Arbeit wesentlich zum Gelingen des Buches beigetragen.

Darmstadt, März 2002

Wolfgang Weber

Vorwort zur 5. Auflage

Die 5., aktualisierte und erweiterte Auflage hält an dem Ziel fest, ein handliches und leicht verständliches Werk für Studierende und Praktiker bereitzustellen, das sowohl Grundlagen als auch spezielle Gebiete der Steuerung und Regelung behandelt.

Die Auflage zeichnet sich im Besonderen dadurch aus, dass Dr.-Ing. Heiko Koch als Co-Autor hinzugewonnen wurde. Neben verschiedenen Aktualisierungen und Ergänzungen hat er eine Einführung in die immer umfangreicher in der Praxis eingesetzte bildgestützte Regelung beigesteuert.

In Kapitel 2 wurde die Orientierungsbeschreibung durch Roll-Pitch-Yaw-Winkel (Roll-Nick-Gier-Winkel) aufgenommen. Die Rückwärtstransformation für einen SCARA-Roboter mit verschiedenen Methoden wurde in Kapitel 3 ergänzt. Zusätzlich zu den kubischen Splines werden in Kapitel 4 nun auch die quintischen Splines (Splines 5. Ordnung) behandelt. In Kapitel 5 wurde ein weiteres Beispiel zur Programmierung von Industrierobotern in der Sprache RAPID formuliert. In Kapitel 6 wurde explizit die Beziehung zwischen Denavit-Hartenberg-Parametern und kinematischen Angaben beim rekursiven Newton-Euler-Verfahren aufgeführt. Wie eingangs erwähnt, enthält Kapitel 7 neben einigen Ergänzungen zur Gelenkregelung nun einen Abschnitt zur bildgestützten Regelung. Die Website zum Buch wird laufend aktualisiert.

Wir danken allen Firmen und Einrichtungen, die uns aktuelles Bildmaterial zur Verfügung gestellt haben. Ebenso danken wir den Studierenden und Fachkolleg*innen, die Fehler gemeldet und konstruktive Vorschläge für die neue Auflage gemacht haben. Zu guter Letzt danken wir Frau Julia Stepp vom Carl Hanser Verlag für die angenehme und motivierende Zusammenarbeit bei der Vorbereitung der 5. Auflage.

Darmstadt, Oktober 2021

Wolfgang Weber, Heiko Koch