

Prozeßorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern

von der
Fakultät für Elektrotechnik
der
Universität Dortmund
genehmigte

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften

von
Dipl.-Ing. Dirk Rokossa
Unna
1999

Tag der mündlichen Prüfung:	8. Dezember 1999
Hauptreferent:	Prof. Dr.-Ing. E. Freund
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. W. Kreis

Berichte aus der Automatisierungstechnik

Dirk Rokossa

**Prozeßorientierte Offline-Programmierung
von Industrierobotern**

D 290 (Diss. Universität Dortmund)

Shaker Verlag
Aachen 2000

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Rokossa, Dirk:

Prozessorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern/

Dirk Rokossa. - Als Ms. gedr. - Aachen : Shaker, 2000

(Berichte aus der Automatisierungstechnik)

Zugl.: Dortmund, Univ., Diss., 1999

ISBN 3-8265-6945-8

Copyright Shaker Verlag 2000

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

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISBN 3-8265-6945-8

ISSN 0945-4659

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Roboterforschung der Universität Dortmund.

Dem Leiter des Instituts, Herrn Prof. Dr.-Ing. E. Freund, gilt mein besonderer Dank für die stetige Förderung dieser Arbeit, sein großes Interesse hieran und die Schaffung hervorragender Arbeitsbedingungen, die in hohem Maße zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Kreis, Inhaber des Lehrstuhls für Maschinenelemente, -gestaltung und Handhabungstechnik an der Universität Dortmund, für das entgegengebrachte Interesse an dieser Arbeit und die freundliche Übernahme des Korreferates. Herrn Prof. Dr.-Ing. U. Schwiigelshohn, Inhaber des Lehrstuhls für Datenverarbeitungssysteme an der Universität Dortmund, danke ich für die interessanten Gespräche im Zusammenhang mit dieser Arbeit und seine detaillierten Anregungen.

Allen Mitarbeitern des Instituts für Roboterforschung danke ich für die konstruktiven Diskussionen und Anregungen, die ein wichtiger Beitrag zu dieser Arbeit waren. Insbesondere möchte ich hierbei Herrn Dr.-Ing. J. Roßmann, Herrn Dr.-Ing. J. Uthoff, Herrn Dipl.-Ing. A. Meister, Herrn Dipl.-Ing. M. Schluse und Herrn Dipl.-Ing. F. Heinze für die inhaltliche und redaktionelle Durchsicht des Manuskriptes hervorheben. In diesem Zusammenhang bedanke ich mich ebenfalls bei meiner Schwester, Frau Dr. A. Rokossa, für die wertvollen Vorschläge bei der Gestaltung dieser Arbeit. Nicht ungenannt bleiben dürfen natürlich auch die Studenten, die mich als Hilfskräfte, Studien- und Diplomarbeiter unterstützt haben.

Vor allem möchte ich mich aber bei meiner Frau Claudia und meinen Kindern Nils und Nele bedanken, ohne deren Verständnis, Rücksichtnahme und Geduld diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Unna, im Dezember 1999

Dirk Rokossa

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Zielsetzung.....	1
1.2 Aufbau der Arbeit.....	3
2 Stand der Technik	4
2.1 Programmierverfahren	4
2.1.1 Online-Programmierung.....	5
2.1.2 Offline-Programmierung.....	5
2.2 Analyse heutiger Programmiersysteme.....	6
2.2.1 Kommerzielle Programmiersysteme	8
2.2.2 Wissenschaftliche Arbeiten	12
2.2.3 Ergebnisse der Analyse	14
3 Prozeßorientierte Offline-Programmierung	15
3.1 Prozeßorientierter Ansatz.....	15
3.2 Systemkonzepte zur Realisierung.....	17
3.2.1 Analytische Vorgehensweise.....	17
3.2.2 Intuitive Vorgehensweise	18
3.3 Anforderungen an die Systemkomponenten	20
4 Umweltmodellierung.....	22
4.1 Mikroskopische Modellierung.....	22
4.1.1 Differentialgeometrische Flächenrepräsentation	22
4.1.2 Approximative Flächenrepräsentation	32
4.2 Makroskopische Modellierung.....	38
4.2.1 Quantisierung durch Octrees	39
4.2.2 Hierarchisch strukturierte Objektbeschreibung.....	43
5 Funktionale Systemkomponenten	47
5.1 Schnitttests bei einfachen Grundkörpern	47
5.1.1 Schnittuntersuchung zwischen Aa-Box und Facette	48

5.1.2	Schnittuntersuchung zwischen Aa-Box und Quader	51
5.1.3	Schnittuntersuchung zwischen Aa-Box und Zylinder	52
5.1.4	Schnittuntersuchung zwischen Aa-Box und Kugel	54
5.2	Verschneiden von Oberflächen	55
5.2.1	Verschneiden approximativ repräsentierter Flächen	57
5.2.2	Interpolation von Flächenpunkten	62
5.2.3	Verschneiden von Oberflächen in Parameterdarstellung	69
5.3	Kollisionserkennung	76
5.3.1	Überprüfung möglicher Kollisionen	76
5.3.2	Parametrisierung	77
5.4	Datenbasis für Trajektoriensegmente	79
5.4.1	Das Trajektoriennetz	81
5.4.2	Der Trajektoriengraph	86
5.5	Virtuelle Realität als Mensch-Maschine-Schnittstelle	90
5.5.1	Stereoskopische Darstellung	91
5.5.2	Interaktion in der VR	92
6	Aufgabenorientierte Programmgenerierung	94
6.1	Erforderliche Trajektorienparameter	98
6.2	Berechnung notwendiger Trajektorienparameter	103
6.2.1	Parameterberechnung bei kontinuierlicher Prozeßführung	105
6.2.2	Parameterberechnung bei zeitdiskreter Prozeßführung	108
6.3	Trajektoriengenerierung	110
6.3.1	Flächenorientierte Trajektoriengenerierung	110
6.3.2	Linienorientierte Trajektoriengenerierung	113
6.3.3	Positionsorientierte Trajektoriengenerierung	114
6.4	Prozeßabhängige Adaption der generierten Trajektorien	116
6.4.1	Adaption der flächen- und linienorientierten Trajektorien	117
6.4.2	Adaption der positionsorientierten Trajektorien	121
6.5	Automatische Programmerstellung	123

7 Prozeßsimulation von Bearbeitungsvorgängen	125
7.1 Präsentation der Bearbeitungsergebnisse	127
7.1.1 Verwendete Darstellungsmöglichkeiten.....	127
7.1.2 Realisierung der Darstellung	128
7.2 Simulationsgerechte Modellierung	130
7.2.1 Werkstückmodell	130
7.2.2 Werkzeugmodell	131
7.3 Ablauf der Prozeßsimulation.....	134
8 Realisierung und Anwendung der Algorithmen.....	138
8.1 Systemintegration der entwickelten Verfahren	138
8.2 Anwendung der prozeßorientierten Offline-Programmierung	140
8.2.1 Laserbearbeitung von Werkstückflächen	140
8.2.2 Spritzlackieren von Werkstücken	143
8.2.3 Schleifen und Polieren.....	145
8.2.4 Mobiler Kommissionierroboter.....	148
9 Zusammenfassung.....	151
Anhang A: Kinematische Grundlagen	153
Anhang B: Formelzeichen und Abkürzungen	157
Literaturverzeichnis	160