

# Prozessorientierte Handlungsplanung für Mehragentensysteme

von der  
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
der  
Universität Dortmund  
genehmigte

## DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktorin der Ingenieurwissenschaften

von  
**Dipl.-Ing. Katharina Hilker**

Dortmund  
2003

Tag der mündlichen Prüfung:	10. November 2003
Hauptreferent:	Prof. Dr.-Ing. E. Freund
Korreferent:	Prof. Dr. T. Christaller



Berichte aus der Automatisierungstechnik

**Katharina Hilker**

**Prozessorientierte Handlungsplanung  
für Mehragentensysteme**

D 290 (Diss. Universität Dortmund)

Shaker Verlag  
Aachen 2004

**Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Dortmund, Univ., Diss., 2003

Copyright Shaker Verlag 2004

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-2310-X

ISSN 0945-4659

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 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)

# Vorwort

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

Herrn Prof. Dr.-Ing. E. Freund, dem Leiter des Instituts, gilt mein besonderer Dank für die stetige Förderung meiner Arbeit, die Schaffung hervorragender Arbeitsbedingungen und die Möglichkeit, meine wissenschaftlichen Ergebnisse in bedeutenden Forschungsprojekten praktisch umsetzen zu dürfen.

Herrn Prof. Dr. T. Christaller, dem Leiter des Instituts für Autonome Intelligente Systeme, danke ich für das der Arbeit entgegengebrachte Interesse und die freundliche Übernahme des Korreferates.

Weiterhin danke ich meinen ehemaligen Kollegen am Institut für Roboterforschung für die vielen anregenden und kritischen Diskussionen, für die konstruktive Zusammenarbeit und für ihre Hilfsbereitschaft. Ebenso gilt mein Dank den Studenten, die mich bei der praktischen Umsetzung tatkräftig unterstützt haben.

Meinen Eltern, die durch ihre Erziehung den Grundstein für meine Ausbildung legten und so meine Promotion ermöglichten, danke ich besonders. In meiner Familie fand ich stetigen Rückhalt während der gesamten Zeit bis zur Fertigstellung dieser Arbeit.

Vor allem aber danke ich meinem Mann Thorsten, ohne dessen Unterstützung, Rücksichtnahme und Geduld diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Kamp-Lintfort, November 2003

Katharina Hilker



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Technik und Einordnung der neuen Verfahren</b>	<b>5</b>
2.1	Steuerung und Überwachung von Mehragentensystemen . . . . .	6
2.1.1	Intelligente Robotersteuerungen . . . . .	6
2.1.2	Projektplanung mittels Netzplantechnik . . . . .	10
2.1.3	Mehrrobotersteuerung IRCS . . . . .	11
2.2	Handlungsplanungssysteme . . . . .	14
2.2.1	Planungsmethoden und Planungssysteme . . . . .	14
2.2.2	Handlungsorientierte Handlungsplanung . . . . .	17
2.2.3	Ressourcenorientierte Handlungsplanung . . . . .	23
2.2.4	Prozessorientierte Handlungsplanung . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Generierung korrekter und optimierter Handlungspläne</b>	<b>39</b>
3.1	Grundlagen der Graphentheorie . . . . .	40
3.2	Generierung von zyklensfreien Handlungsplänen . . . . .	42
3.2.1	Einfügen neuer gerichteter Kanten bei Zyklensfreiheit . . . . .	43
3.2.2	Einfügen neuer gerichteter Kanten mit automatischer Zyklens- eliminierung . . . . .	45
3.3	Optimierung von Handlungsplänen . . . . .	51
3.3.1	Entfernen identischer Elementaraktionen . . . . .	52
3.3.2	Parallelisieren von Elementaraktionen und Offline-Kollisions- vermeidung . . . . .	53
3.3.3	Zusammenfassen von Elementaraktionen . . . . .	56
3.4	Zeitliche Ordnung von Handlungsplänen . . . . .	60
<b>4</b>	<b>Neue Verfahren für Prozessorientierte Handlungsplanung</b>	<b>65</b>
4.1	Handlungsplanung als Komponente eines Regelkreises . . . . .	66
4.1.1	Einfachregelkreis – Sequentielles Planen . . . . .	66
4.1.2	Kaskadenregelkreis – Gleichzeitig Planen und Ausführen . . . . .	68
4.1.3	Mehrgrößenregelkreis – Paralleles Planen für unabhängige Mehr- agentensysteme . . . . .	71
4.2	Zeitplanung und Planrevision . . . . .	76
4.2.1	Aufgabenpriorität und Ausführungszeit . . . . .	76

4.2.2	Entscheidung über Ausführung bei unterschiedlichen Aufgaben-	78
	prioritäten . . . . .	
4.2.3	Neuplanung nach unterbrochener Ausführung . . . . .	86
<b>5</b>	<b>Datenbankbasiertes Konfigurieren des Handlungsplanungssystems</b>	<b>87</b>
5.1	Speichern der Konfigurationsdaten . . . . .	87
5.1.1	Grundlagen des relationalen Datenbankentwurfs . . . . .	88
5.1.2	Merkmale einer aktiven Datenbank . . . . .	90
5.1.3	Datenbankentwurf für das Handlungsplanungssystem . . . . .	92
5.2	Generierung der Konfigurationsdaten . . . . .	98
5.2.1	Integration des Simulations- und Steuerungssystems COSIMIR® . . . . .	99
5.2.2	Online-Erweiterung . . . . .	104
5.2.3	Konfigurieren des Handlungsmusternetzes . . . . .	105
5.2.4	Online-Konfigurieren des Systemzustands . . . . .	107
<b>6</b>	<b>Realisierung des Prozessorientierten Handlungsplanungssystems</b>	<b>113</b>
6.1	Aufgaben- und Zustandsverwaltung . . . . .	113
6.2	Sensorüberwachung . . . . .	114
6.3	Planungsprozess . . . . .	115
6.3.1	Ressourcenplanung . . . . .	117
6.3.2	Detailplanung . . . . .	118
6.3.3	Zeitplanung und Planrevision . . . . .	120
6.4	Zustandsaktualisierung und Ausführungsüberwachung . . . . .	120
6.5	Schnittstellen . . . . .	120
6.5.1	Eingangsseitige Aufgaben-Schnittstelle . . . . .	121
6.5.2	Ausgangsseitige Elementaraktionen-Schnittstelle . . . . .	122
<b>7</b>	<b>Praktische Ergebnisse</b>	<b>125</b>
7.1	Konfigurieren des Handlungsplanungssystems . . . . .	125
7.1.1	Integration des Simulations- und Steuerungssystems COSIMIR® . . . . .	125
7.1.2	Arbeitsaufwand beim Konfigurieren . . . . .	128
7.2	Produktivitätssteigerung durch Prozessorientierte Handlungsplanung . . . . .	133
7.3	Aufgabenorientierte Programmierung von Mehragentensystemen . . . . .	137
7.3.1	Integration in verschiedene Robotersteuerungen . . . . .	137
7.3.2	Leistungsfähigkeit . . . . .	147
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>153</b>
<b>A</b>	<b>Beschränkungsorientiertes Rückverfolgungs-Verfahren</b>	<b>157</b>
<b>B</b>	<b>Knotenrang- und Zyklenbestimmung</b>	<b>161</b>
<b>C</b>	<b>Datenstruktur zur Repräsentation des Handlungsmusternetzes</b>	<b>165</b>

---

<b>D Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>173</b>
D.1 Formelzeichen . . . . .	173
D.2 Abkürzungen . . . . .	179
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>181</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>183</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>185</b>
<b>Index</b>	<b>191</b>