

Dipl.-Inform. Petra Sybille Bohner, Karlsruhe

**Ein Multiagentenansatz  
zur Steuerung von  
redundanten Manipulatoren  
für medizinische  
Applikationen**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-  
und Regelungstechnik

Nr. **675**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Ziel der Arbeit . . . . .	3
1.3	Aufbau und Kapitelübersicht . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>7</b>
2.1	Definitionen . . . . .	7
2.2	Geometrische Bahnplanung für Robotersysteme mit vielen Freiheitsgraden .	10
2.3	Steuerung von redundanten Manipulatoren . . . . .	13
2.3.1	Globale Methoden . . . . .	14
2.3.2	Lokale Methoden . . . . .	14
2.4	Reaktive Steuerung redundanter Manipulatoren . . . . .	16
2.5	Optimierungsansätze . . . . .	17
2.5.1	Hybride Architekturen . . . . .	17
2.5.2	Verteilungsansätze . . . . .	18
2.5.3	Effiziente Umweltmodellierung . . . . .	19
2.5.4	Explizite Modellierung der Unsicherheiten . . . . .	20
2.6	Beispiele realisierter redundanter Manipulatorsysteme . . . . .	20
2.6.1	Fehlertolerante Systeme . . . . .	20
2.6.2	Teleoperierte Systeme . . . . .	21
2.6.3	Redundante Manipulatoren mit mobiler Basis . . . . .	22
2.7	Bewertung . . . . .	23

<b>3</b>	<b>Konzept der verteilten Planung und Steuerung</b>	<b>25</b>
3.1	Grundlagen des Planungs- und Steuerungskonzeptes . . . . .	25
3.1.1	Das Verteilungskonzept . . . . .	26
3.1.2	Architektur des Steuerungssystems . . . . .	27
3.2	Planungs- und Steuerungskonzept für redundante Manipulatoren . . . . .	30
3.3	Die reaktive Ebene . . . . .	34
3.3.1	Das Prinzip des Multiagentenansatzes . . . . .	35
3.3.2	Das Agentenmodell . . . . .	36
3.3.3	Die Agentengesellschaft . . . . .	41
3.4	Optimierungsebene . . . . .	45
3.5	Aufgabenebene . . . . .	46
3.5.1	Bahnplanung . . . . .	47
3.5.2	Operationsplanung . . . . .	47
3.6	Zusammenfassung . . . . .	54
<b>4</b>	<b>Die lokalen Komponenten der reaktiven Steuerung</b>	<b>56</b>
4.1	Die Realisierung der Agenten . . . . .	57
4.1.1	Übersicht . . . . .	57
4.1.2	Das Zielkriterium . . . . .	59
4.1.3	Stabilitätsbetrachtung . . . . .	61
4.1.4	Prioritätenberechnung . . . . .	62
4.1.5	Das Hinderniskriterium . . . . .	67
4.1.6	Fehlerabschätzung . . . . .	72
4.2	Aufwandsbetrachtung . . . . .	73
4.3	Zusammenfassung . . . . .	74
<b>5</b>	<b>Die optimierenden Komponenten der reaktiven Steuerung</b>	<b>75</b>
5.1	Effiziente Berechnung der Arbeitsraumdichte . . . . .	75
5.1.1	Überblick über den Algorithmus . . . . .	76
5.1.2	Repräsentation der Arbeitsraumdichte . . . . .	77
5.1.3	Bestimmung der Arbeitsraumgrenzen . . . . .	77
5.1.4	Berechnung der konvexen Arbeitsraumhülle . . . . .	78

5.1.5	Berechnung der Endeffektordichte . . . . .	80
5.1.6	Berechnung der Arbeitsraumdichte . . . . .	84
5.1.7	Orientierungsdichte . . . . .	86
5.1.8	Aufwandsabschätzung . . . . .	87
5.1.9	Ergebnisse . . . . .	89
5.2	Der traktrixbasierte Koordinationsansatz . . . . .	90
5.2.1	Der Traktrixalgorithmus für ein Armsegment ohne Hindernisse . . .	91
5.2.2	Traktrix mit Berührung . . . . .	94
5.2.3	Traktrixalgorithmus für den gesamten Manipulator . . . . .	97
5.2.4	Integration erlaubter Gelenkwinkelintervalle . . . . .	98
5.3	Integration der Verfahren . . . . .	102
5.4	Zusammenfassung . . . . .	103
<b>6</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>104</b>
6.1	Evaluierungssysteme . . . . .	104
6.1.1	Simulation . . . . .	104
6.1.2	Hardwarerealisierung eines redundanten Manipulators . . . . .	105
6.1.3	Sensitive Haut . . . . .	106
6.1.4	Miniaturisierung . . . . .	107
6.1.5	Simulation langer Molekülketten . . . . .	109
6.2	Theoretische Evaluierung . . . . .	111
6.3	Experimente . . . . .	112
6.3.1	Verteilte Planung ohne Kommunikation . . . . .	114
6.3.2	Steuerung und Planung durch die reaktive Ebene . . . . .	114
6.3.3	Experimente mit integrierter Optimierungsebene . . . . .	120
6.4	Zusammenfassung . . . . .	123
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>124</b>
7.1	Einordnung . . . . .	124
7.2	Ergebnis der Arbeit . . . . .	125
7.3	Ausblick . . . . .	127

---

<b>A</b>	<b>Hardwarerealisierungen</b>	<b>130</b>
A.1	Aufbau des Manipulatorarms . . . . .	130
A.1.1	Prozessoren . . . . .	131
A.1.2	Sensoren . . . . .	132
A.1.3	Aktoren . . . . .	133
A.1.4	Kommunikation . . . . .	134
A.2	Sensorsystem . . . . .	135
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>139</b>