

Dipl.-Inform. Margit Kinder, München

**Pfadplanung für  
Manipulatoren in  
komplexen Umgebungen  
mittels generalisierender  
Pfadspeicherung  
in Ellipsoidkarten**

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

Nr. **580**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Pfadplanung im Konfigurationsraum . . . . .	1
1.2	Praktische Anforderungen . . . . .	1
1.3	Pfadplanung durch generalisierende Pfadspeicherung . . . . .	2
1.4	Aufgabenstellung und Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1	Robotik . . . . .	5
2.1.1	Statische Kinematik . . . . .	5
2.1.2	Inverse Kinematik . . . . .	8
2.1.3	Konfigurationsraum . . . . .	11
2.1.4	Dynamik . . . . .	12
2.2	Neuronale Netze . . . . .	14
2.2.1	Selbstorganisierende Karten . . . . .	15
2.2.2	Radiale Basisfunktionen . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Vorhandene Planungsansätze</b>	<b>18</b>
3.1	Geometrische Ansätze . . . . .	18
3.1.1	Wegenetz (Roadmap) . . . . .	18
3.1.2	Zellzerlegung . . . . .	19
3.1.3	Potentialfeld . . . . .	20
3.2	Markov-Prozesse, Lernprobleme . . . . .	21
3.2.1	Dynamisches Programmieren . . . . .	21
3.2.2	Reinforcement-Lernen . . . . .	22
3.2.3	Q-Lernen . . . . .	23
3.2.4	PartiGame: Ein Ansatz für hochdimensionale Räume . . . . .	24
3.2.5	Evolutionäre Algorithmen . . . . .	26
3.3	Graphbasierte Ansätze . . . . .	27
3.3.1	Kavraki/Latombe: Ein Ansatz für bis zu 12 DOF Linienroboter . . . . .	27
3.3.2	Horsch, Schwarz, Tolle: Ein Ansatz für realitätsnahe Modellierungen von bis zu zwei 6 DOF Manipulatoren durch Reflexion an Konfigurationshindernissen . . . . .	29
3.3.3	Eldracher: Ein Ansatz mit nur wenigen Kollisionstests . . . . .	29
3.3.4	Baginski, Glavina: Ein Ansatz für dynamische Umgebungen . . . . .	30
<b>4</b>	<b>Pfadplanung mittels Ellipsoidkarte</b>	<b>32</b>
4.1	Motivation, Überblick und Illustrationsbeispiel . . . . .	32
4.1.1	Anregungen aus der Literatur . . . . .	32

4.1.2	Berücksichtigung der Steuerung von Pfaden . . . . .	33
4.1.3	Realisierung des Freiraummodells als Ellipsoidkarte . . . . .	33
4.1.4	Das Illustrationsbeispiel . . . . .	34
4.2	Pfadspeicherung in der Ellipsoidkarte . . . . .	34
4.2.1	Ellipsoide zur Modellierung von Raumgebieten . . . . .	36
4.2.2	Adaption der Ellipsoide an Pfade . . . . .	37
4.2.3	Modellierung direkt verbindbarer Gebiete . . . . .	40
4.3	Pfadplanung . . . . .	41
4.3.1	Pfadgenerierung . . . . .	41
4.3.2	Behandeln von Generierungsfehlern . . . . .	42
4.4	Parameter des Planungssystems . . . . .	43
<b>5</b>	<b>Erweiterungen der Ellipsoidkarte</b>	<b>44</b>
5.1	Nutzen von Entfernungsinformation . . . . .	44
5.1.1	Art der 3D-Entfernungsinformation . . . . .	44
5.1.2	Entfernungsinformation in Simulation . . . . .	45
5.1.3	Initialisierung der Ellipsoide . . . . .	47
5.2	Kartenbasierte Exploration . . . . .	53
5.2.1	Grundsätzliche Explorationstechnik . . . . .	53
5.2.2	Besonderheiten beim Speichern explorierter Pfade . . . . .	54
5.2.3	On-line-Exploration zum Erreichen eines Ziels . . . . .	55
5.2.4	Off-line-Exploration zur Verbesserung der Karte . . . . .	56
5.3	Pfadplanung bei Veränderungen im Arbeitsraum . . . . .	58
5.3.1	Klassifikation von Objekten . . . . .	58
5.3.2	Langsame Veränderungen . . . . .	58
5.3.3	Schnelle oder kurzzeitige Veränderungen . . . . .	58
<b>6</b>	<b>Simulationen</b>	<b>59</b>
6.1	Simulationsbeispiele . . . . .	59
6.1.1	ROTEX . . . . .	59
6.1.2	Greifroboter . . . . .	60
6.2	Ausgewertete Daten . . . . .	61
6.3	Simulationsergebnisse . . . . .	62
6.3.1	ROTEX . . . . .	62
6.3.2	Greifroboter . . . . .	65
6.4	Vergleich mit anderen Planungsverfahren . . . . .	68
6.4.1	Vergleich der ausgewerteten Daten . . . . .	69
6.4.2	Vergleich des Speicherbedarfs . . . . .	71
6.4.3	Vergleich anhand von qualitativen Kriterien . . . . .	71
6.4.4	Vergleich der konzeptionellen Stärken . . . . .	72
<b>7</b>	<b>Funktionsapproximation mit GRBF-Netzen</b>	<b>73</b>
7.1	Einsatzgebiete für GRBF-Units . . . . .	74
7.2	Standardadaption: Gradientenabstieg . . . . .	74
7.3	Verfahren I: Gebiete ähnlicher Funktionswerte . . . . .	75
7.3.1	Adaption . . . . .	75
7.3.2	Diskussion . . . . .	75
7.4	Verfahren II: Gebietsaktivierungen als Ausgabewerte . . . . .	77

7.4.1	Adaption . . . . .	77
7.4.2	Simulationen . . . . .	78
7.4.3	Diskussion . . . . .	82
7.4.4	Vergleich mit anderen Ansätzen . . . . .	83
<b>8</b>	<b>Schlußbetrachtung</b>	<b>86</b>
8.1	Zusammenfassung . . . . .	86
8.2	Ansatzpunkte für zukünftige Arbeiten . . . . .	87
<b>A</b>	<b>Mathematischer Anhang</b>	<b>89</b>
A.1	Adaption an Punkte des Pfades . . . . .	89
A.1.1	Translation . . . . .	89
A.1.2	Streckung . . . . .	89
A.2	Adaption an Kollisionspunkte . . . . .	90
A.2.1	Translation . . . . .	90
A.2.2	Streckung . . . . .	91
A.3	Hauptachsen der Ellipsoide . . . . .	91
A.4	Vergleich mit multivariater Normalverteilung . . . . .	92
A.5	Singuläre-Werte-Zerlegung . . . . .	93
	<b>Literatur</b>	<b>94</b>