

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	1
1.1	Motivation und Hintergrund . . . . .	2
1.1.1	Aufgabenstellung . . . . .	3
1.1.2	Begriffserläuterungen . . . . .	5
1.1.3	Leitgedanken der intelligenten Autonomie . . . . .	6
1.2	Intelligentes hierarchisches Regelungskonzept . . . . .	9
1.2.1	Teilaufgaben der drei Hierarchieebenen . . . . .	10
1.2.2	Obere Ebene: 'Globale Planung' . . . . .	13
1.2.3	Mittlere Ebene: 'Lokale Kollisionsvermeidung' . . . . .	16
1.2.4	Untere Ebene: 'Robuste Bewegungsregelung' . . . . .	19
1.2.5	Implementierung und Erprobung des intelligenten hierarchischen Regelungskonzeptes . . . . .	22
1.3	Gliederung der Arbeit . . . . .	23
<b>2</b>	<b>Globale Planung</b>	25
2.1	Einführung in die globale Planung . . . . .	25
2.2	Übersicht über bekannte Ansätze zur globalen Planung und Planaktua- lisierung . . . . .	29
2.2.1	Graphenbasierte globale Planung . . . . .	29
2.2.2	Kartenbasierte globale Planung . . . . .	31
2.2.3	Planaktualisierung und Neuplanung . . . . .	33
2.3	Mehrfachwellenbearbeitung zur ständigen Planaktualisierung . . . . .	34
2.3.1	Systematische Mehrfachwellenbearbeitung des Planungsraumes . . . . .	35
2.3.2	Abschätzung der Aufwandsersparnis . . . . .	39
2.4	Globale Planung für autonom mobile Roboter . . . . .	42
2.4.1	Globale Hinderniswissensbasis: Gitterkarte mit hexagonalen Zellen . . . . .	42

2.4.2	Aufbau der Hindernisgitterkarte mit Wahrscheinlichkeitswerten	43
2.4.3	Globale Planung mit schneller Wellenausbreitung . . . . .	45
2.4.4	Ständige Planaktualisierung durch Mehrfachwellenbearbeitung .	47
2.5	Zusammenfassung der globalen Planung . . . . .	48
<b>3</b>	<b>Lokale Kollisionsvermeidung</b>	<b>51</b>
3.1	Einführung in die lokale Kollisionsvermeidung . . . . .	51
3.2	Überblick über bekannte Ansätze zur Kollisionsvermeidung . . . . .	54
3.2.1	Labyrinth-Suche-Algorithmen . . . . .	55
3.2.2	Allgemeine künstliche Potentialfelder . . . . .	55
3.2.3	Harmonische künstliche Potentialfelder . . . . .	56
3.2.4	Flußpotentiale . . . . .	57
3.2.5	Generalisierte Potentialfelder . . . . .	58
3.2.6	Gitterkartenbasierte Algorithmen . . . . .	58
3.2.7	Hauptprobleme bisheriger Ansätze zur Kollisionsvermeidung . .	59
3.3	Harmonische Dipol-Potentiale zur lokalen Kollisionsvermeidung . . . .	61
3.3.1	Harmonische Dipol-Potentiale für einzelne Hindernisse . . . . .	61
3.3.2	Harmonisches Gesamtpotential für mehrere Hindernisse . . . . .	68
3.4	Sensorbasierte lokale Kollisionsvermeidung für mobile Roboter . . . . .	75
3.4.1	Sensorsystem zur Erfassung des Arbeitsraumes . . . . .	76
3.4.2	Berechnung des harmonischen Dipol-Potentials aus den Meßdaten der Arbeitsraumsensoren . . . . .	77
3.5	Zusammenfassung der lokalen Kollisionsvermeidung . . . . .	81
<b>4</b>	<b>Robuste Bewegungsregelung</b>	<b>83</b>
4.1	Einleitung zur robusten Bewegungsregelung . . . . .	83
4.2	Überblick über bekannte Ansätze zur Bewegungsregelung . . . . .	86
4.2.1	Konventionelle Bahnfolgeregler . . . . .	87
4.2.2	Direkte Koppelung des Gradienten eines künstlichen Potential- feldes mit der Roboterdynamik . . . . .	88
4.2.3	Berücksichtigung der Roboterdynamik im Potentialfeldentwurf über die Erreichzeit zu einem Hindernis . . . . .	89
4.2.4	Der Gradient eines künstlichen Potentialfeldes als Geschwindig- keitsfeld . . . . .	89
4.3	Dynamische und kinematische Robotermodelle . . . . .	90
4.3.1	Modell eines holonomen Roboters . . . . .	90

4.3.2	Abstraktes Modell für die Roboterantriebe . . . . .	91
4.3.3	Modell eines nichtholonomen mobilen Roboters . . . . .	92
4.4	Gleitregler zum Gradientenfolgen für holonome mobile Roboter . . . . .	95
4.4.1	Kurze Einführung in die Theorie gleitender Regler . . . . .	96
4.4.2	Grundidee der Gradientenfolgeregelung . . . . .	99
4.4.3	Absolutgeschwindigkeit des Roboters beim Gradientenfolgen . . . . .	99
4.4.4	Gleitreglerentwurf zum Gradientenfolgen . . . . .	102
4.5	Das Schnatterproblem: Ursachen und Lösungsmethoden . . . . .	103
4.5.1	Ursachen von Schnattern . . . . .	104
4.5.2	Kaskadenregelung . . . . .	107
4.5.3	Approximation der Schaltfunktion durch eine Sättigungsfunktion . . . . .	110
4.5.4	Zusätzlicher Beobachterkreis mit idealem Gleiten . . . . .	113
4.5.5	Diskussion der Lösungsmethoden des Schnatterproblems . . . . .	117
4.6	Gleitregler zum Gradientenfolgen für nichtholonome mobile Roboter . . . . .	118
4.6.1	Gleitregler für die Absolutgeschwindigkeit . . . . .	118
4.6.2	Gleitregler für die Orientierung . . . . .	119
4.6.3	Aspekte der Implementierung . . . . .	121
4.7	Zusammenfassung der robusten Bewegungsregelung . . . . .	123
<b>5</b>	<b>Von der Theorie zur Praxis</b> . . . . .	<b>125</b>
5.1	Beschreibung des Versuchsroboters ROAMER . . . . .	126
5.2	Details der Implementierung . . . . .	130
5.2.1	Oberen Ebene: 'Globale Planung' . . . . .	131
5.2.2	Mittleren Ebene: 'Lokale Kollisionsvermeidung' . . . . .	133
5.2.3	Untere Ebene: 'Robuste Bewegungsregelung' . . . . .	137
5.3	Exemplarische Versuchsfahrten . . . . .	138
5.4	Zusammenfassung und Diskussion der experimentellen Erprobung . . . . .	140
<b>6</b>	<b>Schlußfolgerungen und Perspektiven</b> . . . . .	<b>147</b>
6.1	Zusammenfassung der Leitgedanken . . . . .	148
6.2	Zusammenfassung des intelligenten hierarchischen Regelungskonzeptes . . . . .	149
6.2.1	Obere Ebene: 'Globale Planung' . . . . .	150
6.2.2	Mittlere Ebene: 'Lokale Kollisionsvermeidung' . . . . .	154
6.2.3	Untere Ebene: 'Robuste Bewegungsregelung' . . . . .	156
6.3	Implementierung des intelligenten hierarchischen Regelungskonzeptes . . . . .	159

6.4	Erweiterungsmöglichkeiten und Ausblick . . . . .	162
6.4.1	Erweiterung mit speziellen Verhaltensweisen . . . . .	162
6.4.2	Erweiterung auf komplexere Bewegungsaufgaben . . . . .	163
6.4.3	Erweiterung auf mobile Manipulatoren . . . . .	164
<b>A</b>	<b>Definitionen</b> . . . . .	167
A.1	Variablen . . . . .	167
A.2	Funktionen . . . . .	171
A.3	Englische Übersetzungen . . . . .	172
<b>B</b>	<b>Beispiele und Algorithmen</b> . . . . .	173
B.1	Simulationsbeispiele zum Schnatterproblem . . . . .	173
B.2	Implementierte Algorithmen . . . . .	176
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	185