

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Das Bahnplanungsproblem	5
2.1	Industrieroboter und ihre Programmierung	5
2.2	Definition des Bahnplanungsproblems	12
2.2.1	Geometrie	12
2.2.2	Kinematik	13
2.2.3	Der Konfigurationsraum	18
2.2.4	Formulierung des Bahnplanungsproblems	22
2.3	Komplexität des Bahnplanungsproblems	24
2.3.1	Komplexität von Algorithmen	24
2.3.2	Problemklassifizierung nach Komplexität	25
2.3.3	Klassifizierung des Bahnplanungsproblems	30
2.4	Lokale Bahnplanungsverfahren	32
3	Objektorientierte Logikprogrammierung	35
3.1	Logikprogrammierung und Prolog	35
3.1.1	Logikprogrammierung	35
3.1.2	Die Logikprogrammiersprache Prolog	38
3.1.3	Eine vollständige Lösung des Bahnplanungsproblems in Prolog	44
3.2	Objektorientierung	46
3.2.1	Objekte, Klassen und Instanzen	47
3.2.2	Klassenhierarchien	48
3.2.3	Komposition von Objekten	51
3.3	PROLoop: Ein objektorientierter Aufsatz auf Prolog	52
3.3.1	Datenkapseln	53
3.3.2	Eigenschaften und Vererbung	55
3.3.3	Generische Objekte	58

3.4	Modellierung der Robotereigenschaften	60
3.4.1	Modellierung der Roboterhebel	61
3.4.2	Modellierung der Manipulatoren	66
4	Ein regelbasiertes Planungsverfahren	73
4.1	Kollisionen	74
4.1.1	Hinderniskollision	74
4.1.2	Kollision zwischen Robotern	78
4.1.3	Kollision eigener Hebel	79
4.1.4	Kollisionsprüfung	81
4.2	Elementare Planungskomponenten	84
4.2.1	Direkte Bewegung	84
4.2.2	Ausweichempfehlungen	91
4.2.3	Ausweichbewegungen	95
4.2.4	Der Kollisionsschwerpunkt	103
4.3	Komplexe Planungsschritte	109
4.3.1	Auswahl einer Gruppenausweichempfehlung	109
4.3.2	Berücksichtigung bisheriger Ausweichrouten	118
4.3.3	Zwischenziele zur Hindernisumgehung	122
4.3.4	Verbindung von Zwischenzielen	124
4.3.5	Bahnplanungsalgorithmus	130
4.4	Eigenschaften und Vergleich mit anderen Verfahren	138
4.4.1	Eigenschaften des Bahnplanungsalgorithmus'	138
4.4.2	Vergleich mit anderen Verfahren	140
4.5	Ein einfaches Planungsbeispiel	143
4.5.1	Aufgabenstellung	143
4.5.2	Planungsverlauf	145
5	Bahnoptimierung	153
5.1	Geradlinige Verbindung von Konfigurationen	153
5.2	Optimierungsalgorithmus	164
5.3	Beispiel zum Optimierungsalgorithmus	167
6	Bahnplanungsbeispiele	171
6.1	Kooperation zweier Roboter	171
6.2	Bahnplanung für einen Schweißroboter	179
7	Zusammenfassung	189
	Literaturverzeichnis	195

Abbildungsverzeichnis

2.1	Schema eines exemplarischen Gelenkarmroboters	6
2.2	Schema eines exemplarischen Portalroboters	7
2.3	Koordinatensysteme nach Denavit und Hartenberg	14
2.4	Mögliche Struktur der Klasse PSPACE	29
3.1	SLD-Baum	39
3.2	Beispiel einer Klassenhierarchie	49
3.3	Baumdarstellung der Beispielhierarchie	49
3.4	Objekthierarchie der Roboterhebel	61
3.5	Ermittlung einer Transformationsmatrix	64
4.1	Ruft-auf-Relation der Algorithmen des Bahnplanungsverfahrens . . .	75
4.2	Alle kürzesten Wege zwischen zwei Konfigurationen	85
4.3	Direkter Weg zwischen den Konfigurationen aus Abbildung 4.2 . . .	86
4.4	Hindernisabhängigkeit der Bahn	92
4.5	Ein Bahnplanungsproblem mit dem Freiheitsgrad zwei	143
4.6	Versuch der kollisionsfreien Bewegung in Zielrichtung	146
4.7	Konfliktfolge in Zielrichtung	147
4.8	Ausweichroute nach Strategie innen	148
4.9	Konfliktfolge nach Strategie innen zum Zwischenziel E	149
4.10	Ausweichroute nach Strategie oben	150
4.11	Verbindung der Zwischenziele $B - E$ und $F - E$	151
4.12	Übrige Verbindungen und besuchte Konfigurationen	151
4.13	Kollisionsfreie Bahn	152
5.1	Direkter und geradliniger Weg	154
5.2	Direkte Bahn und geradliniger Weg	161
5.3	Ursprüngliche kollisionsfreie Bahn	168
5.4	Optimierte kollisionsfreie Bahn	168

6.1	Roboterexperimentierfeld	172
6.2	Anfangskonfiguration des Kooperationsbeispiels	173
6.3	Zwischenziele des Kooperationsbeispiels	174
6.4	Rekursionen des Bahnplanungsalgorithmus' beim Koordinierungs- beispiel	175
6.5	Kollisionsfreie Bahn des Kooperationsbeispiels	177
6.6	Optimierte Bahn des Kooperationsbeispiels	178
6.7	Automobilkarosserie mit Schweißroboter	180
6.8	Schnitte durch den Kofferraum	181
6.9	Kinetische Struktur des Schweißroboters	182
6.10	Rekursive Aufrufe des Bahnplanungsalgorithmus'	184
6.11	Zwischenziele des Schweißbeispiels	185
6.12	Optimierte Bahn des Schweißbeispiels	186