

Dipl.-Ing. Kianoush Azarm, München

**Ein dezentrales Verfahren  
zur reaktiven und  
konfliktfreien  
Fahrzeugführung in  
Multiroboterumgebungen**

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

Nr. **644**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Aufgabenstellung . . . . .	1
1.2	Übersicht über Inhalt und Ergebnisse . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Analyse der Fahrzeugführungsaufgabe</b>	<b>6</b>
2.1	Einleitung . . . . .	6
2.2	Weiträumiges Fahren in einem dezentralen Multirobotersystem . . . . .	6
2.3	Individuelles vs. kooperatives Fahrverhalten . . . . .	8
2.4	Hybride Steuerungsstruktur . . . . .	9
2.4.1	Bewegungsplaner . . . . .	12
2.4.2	Kooperation / Koordination . . . . .	13
2.5	Einordnung des Verfahrens zur konfliktfreien Fahrzeugführung . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Reaktive Fahrzeugführung</b>	<b>17</b>
3.1	Einleitung . . . . .	17
3.2	Wegeplanung basierend auf physikalischer Analogie zum Diffusionsprozeß .	18
3.2.1	Virtueller Diffusionsprozeß . . . . .	19
3.2.2	Wegesuche mittels Verfahren des steilsten Anstiegs . . . . .	21
3.3	Erweiterter Diffusionsplaner . . . . .	24
3.3.1	Berücksichtigung der Fahrzeuggeometrie . . . . .	26
3.3.2	Berücksichtigung der Fahrzeugkinematik . . . . .	28
3.3.3	Bewertung des Planers . . . . .	33
3.4	Einsatz des erweiterten Diffusionsplaners für reaktive Fahrzeugführung . .	35
3.4.1	Karten- und sensorbasierte Planung . . . . .	35
3.4.2	Erzeugung der Fahrbefehle . . . . .	37
3.4.3	Globale und lokale Bewegungsplanung basierend auf Umweltmodellen unterschiedlicher Auflösung . . . . .	41
3.5	Gesamtstruktur der reaktiven Fahrzeugführung . . . . .	44

<b>4</b>	<b>Bewegungsplanung im Konfigurationsraum</b>	<b>46</b>
4.1	Einleitung . . . . .	46
4.2	Aufbau des diskretisierten Konfigurationsraums . . . . .	46
4.3	Wegeplanung basierend auf der physikalischen Analogie der Ausbreitung von Wellenfronten . . . . .	49
4.3.1	Allgemeine Definitionen zur Strategie der Wellenausbreitung . . . . .	49
4.3.2	Festlegung der Nachbarschaftsbeziehung . . . . .	49
4.3.3	Wegesuche . . . . .	51
4.4	Integration des Verfahrens in die Steuerungsstruktur der Fahrzeugführung .	52
4.5	Bewertung und Zusammenfassung . . . . .	54
<b>5</b>	<b>Dezentrale Multiroboterbewegungsplanung</b>	<b>56</b>
5.1	Einleitung . . . . .	56
5.2	Aufbau des räumlich-zeitlichen Weltmodells (RZW) . . . . .	57
5.3	Wellenausbreitungsalgorithmus im RZW . . . . .	59
5.4	Ein-Schritt-Wegesuche . . . . .	62
5.5	Optimierte Wegesuche . . . . .	63
5.6	Planungsergebnisse . . . . .	65
<b>6</b>	<b>Kooperation/Koordination zur konfliktfreien Fahrzeugführung</b>	<b>70</b>
6.1	Einleitung . . . . .	70
6.2	Dezentrales Verfahren zur Konfliktauflösung . . . . .	71
6.2.1	Inter-Roboter-Kommunikation (IRC) . . . . .	72
6.2.2	Konflikterkennung . . . . .	74
6.2.3	Verhandlungsschemata . . . . .	75
6.2.4	Konfiguration des Multiroboterplaners . . . . .	79
6.2.5	Dynamische Festlegung der Prioritäten . . . . .	81
6.2.6	Koordinierte Bewegungsausführung . . . . .	82
6.3	Bewertung in einer flexiblen Simulationsumgebung . . . . .	83

<b>7 Experimentelle Ergebnisse</b>	<b>89</b>
7.1 Fahrexperimente mit MACROBE . . . . .	89
7.1.1 Transportaufgaben in Fabrikumgebungen . . . . .	90
7.1.2 Blockadesituationen . . . . .	90
7.2 Fahrexperimente mit ROMAN . . . . .	92
7.3 Multiroboter-Fahrexperimente . . . . .	94
<b>8 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>98</b>
<b>A Symbole &amp; Abkürzungen</b>	<b>102</b>
<b>B Technische Daten der Experimentierplattformen MACROBE und ROMAN</b>	<b>104</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>105</b>