

Dipl.-Inform. Thomas Edlinger,  
Höhenkirchen-Siegertsbrunn

# **Hierarchische Steuerung für einen mobilen Roboter zur autonomen Erkundung seiner Einsatzumgebung**

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

Nr. **638**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	III
<b>Zusammenfassung</b> .....	IX
<b>1. Einleitung</b> .....	1
1.1 Historischer Überblick.....	1
1.2 Problemstellung.....	2
1.3 Zielsetzung und Beitrag der Arbeit .....	3
<b>2. Autonome mobile Roboter</b> .....	6
2.1 Einsatzumgebungen.....	6
2.2 Anforderungen an einen autonomen mobilen Roboter .....	8
2.2.1 Autonomie .....	8
2.2.2 Sicherheit.....	8
2.2.3 Echtzeitanforderungen.....	9
2.3 Kontrollsystem.....	10
2.3.1 Aktionssteuerung.....	11
2.3.2 Sensordatenverarbeitung .....	11
2.4 Sensorik .....	12
2.4.1 Interne Sensoren .....	13
2.4.2 Externe Sensoren .....	13
2.4.2.1 Taktile Sensoren.....	13
2.4.2.2 Berührungslose Sensoren .....	14
2.4.3 Fehlerquellen .....	17
2.5 Antriebskonfigurationen .....	18
2.6 Begriffsbestimmung .....	19

<b>3. MOBOT-IV</b> .....	21
3.1 Vorgängerprojekte .....	21
3.2 Hardware .....	23
3.2.1 Mechanischer Aufbau.....	23
3.2.2 Sensorik .....	24
3.2.2.1 Inkrementalencoder .....	24
3.2.2.2 Hindernissensor .....	25
3.2.2.3 Navigationssensor .....	27
3.2.3 Rechnerausstattung.....	30
3.3 Softwarestruktur .....	30
3.3.1 Sensordatenverarbeitung .....	33
3.3.2 Aktionssteuerung.....	34
3.3.3 Kommunikationsschema .....	34
3.3.3.1 Echtzeitfähige Kommunikation .....	35
3.3.3.2 Auftragsorientierte Kommunikation .....	36
3.4 Projektzielsetzung .....	36
3.5 Anforderungen an die Einsatzumgebung.....	37
<b>4. Weltmodell</b> .....	39
4.1 Problemstellung.....	39
4.2 Einführung .....	41
4.2.1 Rasteransätze .....	42
4.2.1.1 Umweltmodell von »Shakey« .....	43
4.2.1.2 Verfahren von Elfes .....	44
4.2.2 Modelle mit geometrischen Primitiven .....	45
4.2.2.1 Umweltmodellierung im Projekt »Yamabico«.....	45
4.2.3 Topologische Modelle .....	46
4.2.3.1 Ansatz von Kuipers.....	46
4.2.3.2 Ansatz von Nehmzow .....	46
4.2.4 Semantische Modelle .....	46
4.3 Sensordatenverarbeitung in MOBOT-IV .....	47
4.3.1 Vorverarbeitung der Sensorrohdaten.....	48
4.3.1.1 Radar-Map Generator .....	48
4.3.1.2 Sector-Map Generator .....	49
4.3.2 Sensordatenfusion .....	50
4.4 Umweltmodellierung in MOBOT-IV .....	51
4.4.1 Konzeption .....	51
4.4.2 Grundstruktur .....	53
4.4.3 Topologische Information .....	57

<b>5. Exploration</b> .....	61
5.1 Problemstellung.....	61
5.2 Einführung.....	63
5.2.1 Verfahren von Iijima.....	64
5.2.2 Verfahren von Rao.....	65
5.2.3 Die “Seed Spreader” Strategie.....	66
5.3 Der “Bubble”-Algorithmus.....	67
5.3.1 Projektvorgaben.....	67
5.3.2 Die Idee.....	69
5.3.3 Repräsentation der Blase.....	70
5.3.4 Erweiterung der Blase.....	71
5.3.5 Erzeugung von Explorationszielen.....	72
5.3.6 Globale Exploration.....	74
5.3.7 Testergebnisse.....	74
5.3.8 Abschließende Bewertung.....	75
5.4 Exploration in MOBOT-IV.....	78
5.4.1 Konzeption.....	78
5.4.2 Struktur und Schnittstellen.....	79
5.4.3 Erzeugung von Explorationszielen.....	81
5.4.4 Auswahl und Überprüfung von Explorationszielen.....	83
5.4.5 Effizienzanalyse.....	87
<b>6. Navigation</b> .....	89
6.1 Problemstellung.....	89
6.2 Einführung.....	90
6.2.1 Brooks.....	93
6.2.2 Moravec.....	93
6.2.3 Kampmann.....	94
6.2.4 Kambhampati.....	95
6.3 Navigation in MOBOT-IV.....	95
6.3.1 Konzeption.....	95
6.3.2 Struktur und Schnittstellen.....	97
6.3.3 Topologische Navigation.....	98
6.3.4 Geometrische Navigation.....	100

<b>7. Pilot</b> .....	106
<hr/>	
7.1 Problemstellung.....	106
7.2 Einführung.....	109
7.2.1 Generierung der Bahn.....	109
7.2.2 Ansteuerung der Motoren.....	111
7.2.3 Kollisionsvermeidung.....	113
7.2.4 Berechnung und Korrektur der Position.....	115
7.3 Bahnregelung in MOBOT-IV.....	116
7.3.1 Konzeption.....	117
7.3.2 Struktur und Schnittstellen.....	118
7.3.3 Generierung der Bahn.....	120
7.3.4 Bahnregelung.....	123
7.3.4.1 Referenzpunktgenerierung.....	123
7.3.4.2 Der Regler.....	125
7.3.4.3 Die $V$ - $\omega$ -Schnittstelle.....	129
7.3.5 Hindernisvermeidung.....	132
7.3.5.1 Beschränkung der Lineargeschwindigkeit $V$ .....	133
7.3.5.2 Beschränkung der Krümmung $K$ .....	134
7.3.6 Positionsverwaltung.....	138
<b>8. Testergebnisse</b> .....	140
<hr/>	
8.1 Verifikation von Kontrollalgorithmen.....	140
8.2 Mensch-Maschine-Schnittstelle.....	141
8.3 Simulierte Testfahrt.....	141
8.4 Reale Testfahrten.....	148
8.5 Auswertung.....	150
<b>9. Resümee &amp; Perspektiven</b> .....	151
<hr/>	
Eigene Veröffentlichungen.....	155
Literatur.....	156
Index.....	165