

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 12

Verkehrstechnik/
Fahrzeugtechnik

Dipl.-Ing. Markus Maurer,
Ingolstadt

Nr. 443

**Flexible Automatisierung
von Straßenfahrzeugen
mit Rechnersehen**

VDI VERLAG

HLuHB Darmstadt



14958657

Inhaltsverzeichnis

I	Einführung	1
1	Einleitung	2
1.1	Motivation grundlegender Konzepte	3
1.1.1	Automatisierung mit Rechnerschen	4
1.1.2	Flexible Automatisierung	4
1.1.3	Zum Gebrauch des Begriffs 'Autonomie'	5
1.2	Entwicklungshintergrund am ISF	6
1.2.1	Wahrnehmung und Verhaltensgenerierung mit dem 4D-Ansatz	6
1.2.2	Projektrahmen	9
1.3	Struktur und Beitrag der Arbeit	10
2	Stand der Technik	12
2.1	Amerikanische Gruppen	13
2.1.1	Carnegie Mellon University	13
2.1.2	National Institute of Standards and Technology	16
2.1.3	Ohio State University	16
2.1.4	University of California, Berkeley	17
2.2	Asiatische Gruppen	17
2.2.1	Mazda	17
2.2.2	Ministerium für internationalen Handel und Industrie	18
2.2.3	Mitsubishi	18
2.2.4	Nissan	18
2.2.5	Toyota	19

2.2.6	Universität Pohang und Hyundai	19
2.3	Europäische Gruppen	19
2.3.1	BMW	19
2.3.2	C-VIS	20
2.3.3	Daimler-Benz	20
2.3.4	Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung . .	22
2.3.5	Institut national de recherche en informatique et en automatique	23
2.3.6	Niedersächsisches Projekt 'Autonomes Fahren'	23
2.3.7	Ungarische Akademie der Wissenschaften und Knorr-Bremse, Ungarn	24
2.3.8	Universität Parma	24
II	Ein System zur flexiblen Automatisierung von Kraftfahrzeugen	25
3	Funktionale Systemarchitektur	26
3.1	Der Mensch als Vorbild für autonome Systeme	27
3.1.1	Fertigkeitsbasiertes Verhalten	28
3.1.2	Regelbasiertes Verhalten	29
3.1.3	Wissensbasiertes Verhalten	29
3.1.4	Wissensrepräsentation	29
3.1.5	Vorbild für technische Systeme?	30
3.2	Ansätze zur Strukturierung komplexer Systeme	31
3.2.1	Theorie der hierarchischen Mehrebenensysteme	31
3.2.2	Theorie der intelligenten Führungssysteme	34
3.2.3	Zum Gebrauch des Begriffs 'Intelligenz'	35
3.2.4	Echtzeitfähige Führungssysteme	37
3.2.5	Verhaltensbasierte Architekturen	38
3.3	Systemarchitektur für sehende autonome Fahrzeuge am ISF	40
3.3.1	Hardware-spezifische Ebene	40
3.3.2	4D-Ebene	42
3.3.3	Regelbasierte Ebene	44
3.3.4	Wissensbasierte Ebene	45

4	Modelle zur Generierung von Verhalten	47
4.1	Hierarchie der Beschreibungsebenen	48
4.1.1	Dynamische Modelle auf der 4D-Ebene	48
4.1.2	Implizites Modellwissen auf der hardware-spezifischen Ebene	50
4.1.3	Repräsentationsformen auf der regelbasierten Ebene	50
4.1.4	Symbole als integrale Repräsentation physikalischer Phänomene	54
4.1.5	Verknüpfung von regelbasierter und 4D-Ebene	55
4.2	Objektorientierte Modellierung	55
4.3	Repräsentation physikalischer Objekte	58
4.3.1	Straßen und Landmarken	58
4.3.2	Selbstrepräsentation für situationsgerechtes Verhalten	58
4.3.3	Fremdfahrzeuge	63
4.3.4	Fahrermodell	66
5	Fahrzeugführung	67
5.1	Struktur der Fahrzeugführung	67
5.1.1	Teilsysteme der Regelstrecke 'Kraftfahrzeug'	68
5.1.2	Hierarchische Fahrzeugführung	69
5.1.3	Flexible Struktur zur Generierung von Verhalten	75
5.2	Überwachung der Regelkreise zur Laufzeit	75
5.2.1	Anforderungen an Regelkreise	75
5.2.2	Einschwingverhalten eines Regelkreises	76
5.2.3	Integralkriterien	77
5.3	Automatische Querführung	78
5.3.1	Automatische Querführung auf der 4D-Ebene	78
5.3.2	Überwachung der automatischen Querführung	83
5.4	Automatische Längsführung	84
5.4.1	Realisierung der Verhaltensweisen	85
5.4.2	Anforderungen an die Längsregelung	88

6	Situationsgerechte Verhaltensentscheidungen	90
6.1	Realisierte Lösungsansätze für sehende Straßenfahrzeuge	90
6.1.1	Verhaltensgenerierung im Versuchsfahrzeug Vita II von Daimler-Benz	91
6.1.2	Ansätze zur Verhaltensentscheidung im Straßenverkehr an der Carnegie Mellon University	92
6.1.3	Verhaltensentscheidungen für die Fahrzeuge der Universität der Bundeswehr	92
6.1.4	Kritik der Ansätze	93
6.2	Zentrale Entscheidungen	94
6.2.1	Zentrale Entscheidungsinstanz	98
6.2.2	Überwachung der Leistungsfähigkeit	101
6.2.3	Situationserfassung für die Fortbewegung	102
6.2.4	Verhaltensentscheidung für die Fortbewegung	104
III	Hardware-spezifische Realisierungen und Ergebnisse	112
7	Systembeschreibung auf der hardware-spezifischen Ebene	113
7.1	Versuchsfahrzeuge für autonome Mobilität und Rechnersehen	113
7.1.1	Aufbau des Versuchsfahrzeugs VaMP	114
7.1.2	Elektronisch ansteuerbare Stellglieder	118
7.1.3	Rechner zur Fahrzeugansteuerung	119
7.1.4	Hardware-spezifische Regelkreise	121
7.2	Rechner und Prozesse	123
7.2.1	Transputer-basiertes System zur visuellen Wahrnehmung	124
7.2.2	Kompaktes Wahrnehmungssystem	126
7.2.3	Maschinelle Wahrnehmung und Verhaltensentscheidung mit Personalcomputern	126

8 Experimentelle Ergebnisse	134
8.1 Automatische Langstreckenfahrt	135
8.2 Flexible Automatisierung von Straßenfahrzeugen	141
8.2.1 Hybrider adaptiver Tempomat	142
8.2.2 Automatische Notbremsung	145
8.2.3 Automatische Querführung	151
8.2.4 Autonome Missionen	155
9 Zusammenfassung und Ausblick	159
Literatur	162