

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 12

Verkehrstechnik/
Fahrzeugtechnik

Dipl.-Ing. Michael Lützeler,
München

Nr. 493

Fahrbahnerkennung
zum Manövrieren
auf Wegenetzen mit
aktivem Sehen

RVK 00

HLuHB Darmstadt




15293373

VDI Verlag

2.5	Zusammenfassung und Bewertung	22
3	Systementwurf	26
3.1	Vorarbeiten am ISF	27
3.2	Diskussion der Ergebnisse	29
3.3	Sensorkonzept MARVEYE	30
3.4	Bildgebende Sensoren	33
3.4.1	Standard-CCD-Kameras	34
3.4.2	Kameras mit Restlichtverstärker	35
3.5	Flexible Wahrnehmungsarchitektur	36
3.5.1	Informationsfluss in einem autonomen verteilten System	36
3.5.2	Kontrollfluss	37
3.5.3	Objektdatenfluss	38
3.5.4	Zentrale Wissensrepräsentation: der Szenenbaum	42
3.6	Abbildung auf eine Rechnerarchitektur	43
3.7	Einbettung der Straßenerkennung in das EMS-System	46
3.8	Versuchsumgebung	46
3.8.1	Experimentalplattform VAMORS	47
3.8.2	Experimentalplattform WIESEL	48
3.8.3	Laborentwicklungssystem	49
4	Visuelle Umwelterfassung	51
4.1	Methoden der Merkmalsextraktion	52
4.1.1	Eingangssignale	52
4.1.2	Kantenbasierte Verfahren	55
4.1.3	Segmentierungsverfahren	56
4.1.4	Verallgemeinerter Basisvektor	57
4.2	Detektion	58

4.2.1	Ungerichtete Merkmalsextraktion	58
4.2.2	Gruppieren von Kantenelementen	59
4.3	Gruppen von Merkmalen im Bild	60
4.3.1	Operationen auf Merkmalsgruppen	61
4.3.2	Ablauf der Verfolgung von Merkmalsgruppen	66
4.3.3	Bildung von 3D-Straßenhypothesen	66
4.4	Detektor für Einmündungsbereiche	67
4.5	Wiedererkennung von Objekten in Bildfolgen	69
4.5.1	Bestimmung von Form und Lage: Der 4D-Ansatz	69
4.5.2	Umsetzung in einem allgemeinen Wahrnehmungsprozess	72
4.6	Bildauswertung	74
4.6.1	Anwendung eines Segmentierungsoperators	74
4.6.2	Merkmalszuordnung	77
4.6.3	Verdeckungsanalyse	79
4.6.4	Bestimmung von sichtbaren Objektteilen	80
4.6.5	Objektschnittstelle zur Aufmerksamkeitssteuerung	82
5	Bewegungsmodelle	85
5.1	Fahrzeugquerdynamik	86
5.1.1	Systemgleichungen des kontinuierlichen Modells	86
5.1.2	Das diskrete Systemmodell 5. Ordnung	88
5.2	Global-Modell mit gemessenen Geschwindigkeiten	89
6	Erkennung von Wegenetzen	91
6.1	Modellierung der Fahrbahn	92
6.1.1	Festlegung der Segmentlänge	94
6.1.2	Kantenbasiertes Messmodell	95
6.1.3	Flächenbasiertes Messmodell	96

6.1.4	Schnittstelle zur Aufmerksamkeitssteuerung	97
6.1.5	Mehrsegmentiger Vorausschaubereich	100
6.1.6	Reduziertes Segmentmodell für Konturen	100
6.2	Modellierung von Verzweigungen	101
6.2.1	Formbeschreibung des Verbindungssegments	101
6.2.2	Messmodell des Verbindungssegments	104
6.3	Lokale ortsfeste Modellierung	105
6.4	Straßenobjekte im Szenenbaum	105
6.4.1	Auswirkung der Modellparameter auf die Messgrößen	106
6.4.2	Klassenentwurf der Straßenobjekte	110
6.4.3	Lokale Repräsentation des Fahrstreifens	111
6.4.4	Die Beschreibung eines Fahrbahnsegments	112
6.4.5	Das Verbindungssegment	112
7	Experimentelle Ergebnisse	114
7.1	Eingangssignale bildgebender Sensoren	114
 7.1.1	Signale der MARVEYE-Kamerakonfiguration	114
7.1.2	Signal einer Kamera mit Restlichtverstärker	115
7.2	Erfassung der Fahrbahn zur Querführung	116
7.2.1	Detektion und Hypothesengenerierung	116
7.2.2	Verfolgen und Modellanpassung	120
7.2.3	Segmentverkürzung bei großen Krümmungen	125
7.2.4	Automatische Fahrten bei Nacht ohne künstliche Beleuchtung	126
7.2.5	Automatische Querführung für ein Kettenfahrzeug	126
7.3	Erfassung von Querstraßen und Verzweigungen	128
7.3.1	Detektion des Einmündungsbereichs	128
7.3.2	Erkennung von Verzweigungen	131

7.4 Einbindung in eine zusammenhängende Mission	133
8 Zusammenfassung	139
A Verwendete Koordinatensysteme	141
A.1 Bildkoordinatensystem	141
A.2 Kamerakoordinatensystem	142
A.3 Koordinatensysteme der Zweiachsenplattform	142
A.4 Die Koordinatensysteme des Fahrzeugs	142
A.5 Das bahntangentiale Koordinatensystem der Sollbahn	143
A.6 Die Koordinatensysteme der Fahrbahn	143
A.6.1 Lokales Fahrstreifensegment	143
A.6.2 Fahrbahnkoordinatensystem	144
A.6.3 Geodätisches Fahrbahnkoordinatensystem	144
A.6.4 Das Koordinatensystem eines Fahrwegknotenpunkts	145
B Diskretes Zustandsraummodell	146
B.1 Modell der Rotationsdynamik um die Hochachse	146
B.2 Modell der Ablagedynamik	147
C Form des Verbindungssegments	149
D Die Klothoide	151
E Farbraum-Transformationen	152
E.1 HSI	152
E.2 I1I2I3	153
Literatur	154
Index	166