

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der verwendeten Symbole	ix
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Beiträge dieser Arbeit	4
1.3 Struktur dieser Arbeit	5
2 Stand der Technik	7
2.1 Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung	7
2.2 Forschungsprojekte zur vorausschauenden Fahrerassistenz	14
2.2.1 Historie	14
2.2.2 Aktuelle Forschungsprojekte	15
3 Beschreibung des Gesamtsystems	20
3.1 Aufbau des Versuchsfahrzeugs	20
3.2 Physikalische Beschreibung der Sensoren	21
3.2.1 Einordnung von Sensortypen	22
3.2.2 Radar	23
3.2.3 Laserscanner	27
3.2.4 Kamera	30
3.3 Verwendete Sensorkonfiguration	36
3.4 Koordinatensysteme und Transformationen	37
3.4.1 Beschreibung der verwendeten Koordinatensysteme	38
3.4.2 Homogene Koordinatentransformation	42
3.5 Softwareentwicklungsumgebung ADTF	44
4 Modellbasierte Objekterkennung mittels Bildverarbeitung	46
4.1 Grundlagen der Bildverarbeitung	47
4.1.1 Kantendetektionsoperatoren	48
4.1.2 Hauptachsentransformation	51
4.2 Merkmalspezifische Operatoren	55
4.2.1 Gradientenhäufungsoperator	55
4.2.2 Konturbewertungsoperator	56
4.2.3 Symmetriepoperatoren	57
4.3 Detektoren	60
4.3.1 Reifendetektor	60
4.3.2 Lichtdetektor	61

4.3.3	Bodenreflexionsdetektor	64
4.3.4	Dachkantendetektor für Fahrzeugheckansichten bei Nacht	66
4.4	Modellbasierte Objekterkennung	69
4.4.1	Modelle der Objektgestalt	70
4.4.2	Modelle der Objektdynamik	73
4.4.3	Rekursive Zustandsschätzung nach dem 4D-Ansatz	79
4.5	Zusammenfassung zur modellbasierten Objekterkennung	83
5	Klassifikation durch Maschinenlernverfahren	84
5.1	Random-Forest-Klassifikator	84
5.1.1	Entscheidungsbäume	85
5.1.2	Ensemble-Lernverfahren	88
5.2	Generalisierte Radiale-Basis-Funktionen-Netze	89
5.3	Merkmalsselektion	91
6	Fahrzeugdetektion bei Tag und Nacht	93
6.1	Philosophie	93
6.2	Herausforderungen	96
6.3	Verfahren zur Fahrzeugdetektion bei Tag	98
6.3.1	Trainingsdatenerzeugung	98
6.3.2	ROI-Generierung	100
6.3.3	Objekterkennung mittels Klassifikation	106
6.3.4	Bewertung des Verfahrens	110
6.4	Verfahren zur Fahrzeugdetektion bei Nacht	117
6.4.1	Trainingsdatenerzeugung	117
6.4.2	ROI-Generierung	118
6.4.3	Objektdetektion mittels Klassifikation	126
6.4.4	Bewertung des Verfahrens	131
6.5	Zusammenfassung zur Fahrzeugdetektion	133
7	Strategien zur robusteren Objektverfolgung	134
7.1	Fahrspurtracking	134
7.1.1	Angepasste Vorausschau	135
7.1.2	Gruppierung von Markierungsmerkmalen	137
7.1.3	Situationsabhängige Trackerdynamik	145
7.1.4	Gierratenoffsetschätzung	148
7.2	Multisensorielles Fahrzeugtracking	150
8	Zusammenfassung und Ausblick	153
A	Grundlagen zu Maschinenlernverfahren	156
A.1	Kompromiss zwischen Bias und Varianz	158
A.2	Bewertung und Validierung eines Klassifikators	159
B	Parameter für Fahrzeugerkennung bei Nacht	161

Inhaltsverzeichnis

C	Bewertungsmaße	162
C.1	Detektionsraten	162
C.2	Konfusionsmatrix	163
D	Algorithmus zur Verkettung von Spurmarkierungsmerkmalen	165
E	Grundlagen zur Kalman-Filterung	168
F	Diskretisierung von Differenzialgleichungssystemen	170
	Literaturverzeichnis	171