

Inhaltsverzeichnis

Englische Zusammenfassung (Abstract)	vii
Verwendete Formelzeichen	xi
1 Einleitung	1
2 Radarsysteme im Automobil	5
2.1 Anwendungsgebiete	5
2.1.1 Was Radarsensoren messen	5
2.1.2 Mit Radarsensoren realisierbare Anwendungen	8
2.2 Alternativen zum Radar	10
2.2.1 Ultraschallsensoren	10
2.2.2 Laserscanner	10
2.2.3 Kamerasysteme	12
2.3 Funktionsweise von Radarsensoren	14
2.3.1 Frequenzbereiche	15
2.3.2 Radargleichung	16
2.4 Puls-Doppler-Radar	17
2.4.1 Der Doppler-Effekt	19
2.4.2 Abtastung von Pulsen und Pulsfolgen	20
2.4.3 Überreichweiten und Interferenzen	24
2.4.4 Zieldetektion	25
2.4.5 Schätzung von Distanz und Relativgeschwindigkeit	26
2.4.6 Genauigkeit und Auflösung	28
2.4.7 Zeitdauer-Bandbreite-Produkt	30
2.4.8 Winkelschätzung	31
2.4.9 Sensor-internes Tracking	37
2.5 FMCW-Radar	39

2.5.1	Funktionsweise	39
2.5.2	Auflösung	42
2.5.3	Vergleich zum Puls-Doppler-Radar	43
3	Simulation von Radarziellisten	47
3.1	Motivation	47
3.2	Simulationsprinzip	51
3.2.1	Numerische Simulation von elektromagnetischen Wellen	51
3.2.2	Idee des gewählten Ansatzes	54
3.2.3	Simulationsablauf	58
3.3	Mikroskopische Verkehrssimulation	61
3.3.1	Wiedemann-Modell	62
3.3.2	Berücksichtigung von Spurwechseln	62
3.3.3	Modellierung der Fahrbahn	63
3.4	Objektmodell	64
3.4.1	Punktreflektionszentren	64
3.4.2	Flächenreflektoren	69
3.4.3	Berechnung der idealen Zielliste	71
3.5	Kanal- und Sensormodell	72
3.5.1	Ausbreitungs- und Reflektionsmodell	73
3.5.2	Abtastung und Detektion	88
3.5.3	Winkelschätzung	99
3.5.4	Bestimmung der Simulationsparameter anhand realer Daten	105
3.5.5	Analyse und Simulation von Clutter	112
3.5.6	Sensor-internes Tracking	123
3.6	Gesamtüberblick der Simulation	125
4	Verarbeitung von Radarziellisten	127
4.1	Einführung	127
4.1.1	Zielsetzung	127
4.1.2	Abgrenzung zum sensor-internen Tracking	129
4.1.3	Problembereiche	129
4.2	Überblick über das Tracking	130

4.3	Die Wahl des Zustandsraummodells	133
4.3.1	Wahl der Zustandsgrößen	133
4.3.2	Wahl des Koordinatensystems	134
4.3.3	Linear separiertes Zustandsmodell	135
4.3.4	Neues Bewegungsmodell	137
4.3.5	Jacobi-Matrizen der Systemgleichungen	141
4.3.6	Globales Koordinatensystem nur mit globaler Referenz?	142
4.4	Das Kalman-Filter	143
4.4.1	Das lineare Kalman-Filter	144
4.4.2	Das erweiterte Kalman-Filter	148
4.4.3	Das unscented Kalman-Filter	149
4.4.4	Das Partikelfilter	151
4.4.5	In dieser Arbeit verwendeter Zustandsschätzer	152
4.5	Zuordnung neuer Messungen zu bestehenden Tracks	154
4.5.1	Festlegung des Akzeptanzbereichs	155
4.5.2	Auswahl der optimalen Zuordnung	156
4.5.3	Behandlung von Scheinzielen	159
4.6	Aktualisierung bestehender Tracks	160
4.7	Initialisierung neuer Tracks	160
4.7.1	Berechnung einer Regressionsgeraden	163
4.7.2	Schätzung von Position und Geschwindigkeit	165
4.7.3	Übergabe an das Kalman-Filter	168
4.8	Trackverwaltung	171
4.9	Ergebnisse	174
4.9.1	Vergleich zwischen erweitertem und unscented Kalman-Filter	174
4.9.2	Vergleich von reduzierten Zustandsmodellen	174
5	Zusammenfassung und Ausblick	179
A	Sensor-internes Tracking	183
	Literaturverzeichnis	187