



Eugen Schubert (Autor)
**Klassifikation leicht verwundbarer Verkehrsteilnehmer mit
hochauflösendem Automobilradar**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7873>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Einführung in radarbasierte Fahrerassistenzsysteme	1
1.2	Vorausschauende Notbremssysteme für den Fußgängerschutz	3
1.3	Motivation, Abgrenzung und Ziel der Arbeit	6
1.4	Struktur der Arbeit	9
2	AUTOMOBILRADAR UND RADARSIGNALVERARBEITUNG	11
2.1	Funktionsprinzip von Radarsystemen für Automobilanwendungen	11
2.2	Aufbau eines hochauflösenden Sensordemonstrators	14
2.3	Sendesignalmodulationen automobiler Radarsensoren	16
2.3.1	Überblick relevanter Sendesignalmodulationen	16
2.3.2	LFMCW-Prinzip mit langsamen Rampen	18
2.3.3	LFMCW-Chirp Sequence Prinzip mit schnellen Rampen	21
2.4	Detektion von Streuzentren	23
2.4.1	Spektralanalyse der Basisbandsignale	24
2.4.2	Unterscheiden von Signal- und Rauschanteilen	28
2.4.3	Nichtkohärente Integration	30
2.4.4	2D Detektion und Peak-Interpolation	32
2.5	Bestimmung des Einfallswinkels detektierter Streuzentren	34
2.5.1	Winkelbestimmung mit gleichförmigen linearen Array	34
2.5.2	Kalibrierung und Evaluierung des Arrays	37
2.5.3	Winkelbestimmung detektierter Streuzentren	38
2.6	Bestimmung des RCS detektierter Streuzentren	41
2.6.1	Kalibrierung der RCS-Berechnung	41
2.6.2	Kompensation des winkelabhängigen Antennengewinns	42



INHALTSVERZEICHNIS

2.6.3	Kompensation entfernungsabhängiger Einflüsse	43
2.6.4	Bestimmung des RCS ausgedehnter Objekte	43
2.7	Zusammenfassung	45
3	SENSORANFORDERUNGEN FÜR DIE OBJEKTKLASSIFIKATION.....	47
3.1	Der Radarrückstreuquerschnitt von Fußgängern	48
3.2	Modellierung der Fußgängerbewegung.....	52
3.2.1	Der menschliche Gangzyklus	52
3.2.2	Messaufbau zur Aufnahme von Trajektorien der Körperteile	54
3.2.3	Auswertung der Bewegungsfunktionen signifikanter Körperteile ...	55
3.2.4	Ein Multi-Reflexpunkt-Fußgänger-Bewegungsmodell	58
3.3	Ableitung von Auflösungsanforderungen.....	59
3.3.1	Auflösungsanforderungen aus simulierten Unfallszenarien	59
3.3.2	Evaluierung der Anforderungen durch Basisbandsimulation.....	64
3.4	Evaluierung der Anforderungen durch Radarmessungen.....	68
3.4.1	Fußgänger	69
3.4.2	Fahrradfahrer	71
3.4.3	Personenkraftwagen	73
3.5	Zusammenfassung	75
4	ERHÖHUNG DER AUFLÖSUNG DURCH SIGNALVERARBEITUNG.....	77
4.1	Überlappende Auswertung bei kontinuierlicher Rampensequenz.....	78
4.2	Modellbasierte Spektralanalyse	83
4.2.1	Das Modellsystem	83
4.2.2	Bestimmung der Koeffizienten des Modellsystems.....	85
4.2.3	Schätzung der spektralen Leistungsdichte mit dem Modellsystem..	87
4.3	Signalextrapolation mit AR-Modell	89
4.3.1	Autoregressive Modellierung und die Wiener-Hopf-Gleichung.....	90
4.3.2	Autoregressive Extrapolation mittels IIR-Filter.....	91
4.3.3	Einfluss und Auswahl der Modellordnung	93
4.3.4	Validierung der Signalextrapolation durch Simulation	98
4.3.5	Evaluierung der Signalextrapolation mit Messesequenzen	101
4.4	Zusammenfassung	106



5	KLASSIFIZIERUNG VON FUßGÄNGER, FAHRRADFAHRER & PKW	109
5.1	Auswahl eines geeigneten Klassifikationsverfahrens	110
5.2	Messaufbau zur Generierung einer Datenbasis	113
5.3	Gruppieren von Detektionen zu Detektionswolken	115
5.4	Identifikation und Bewertung objektspezifischer Merkmale	121
5.4.1	Extraktion von Merkmalen aus den Detektionsclustern	121
5.4.2	Qualitative Bewertung der Merkmalsverteilungen.....	122
5.5	Implementierung zweier Multi-Class Support Vector Machines	130
5.5.1	One-Against-All Support Vector Machine.....	132
5.5.2	Error-Correcting-Output-Codes Support Vector Machine.....	133
5.6	Interpretation der Klassifikationsergebnisse	133
5.7	Minimierung des Klassifikationsfehlers.....	136
5.8	Untersuchung zur Merkmalsreduktion	141
5.9	Extraktion der Schrittfrequenz eines Fußgängers	145
5.10	Zusammenfassung	150
6	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	153
	LITERATURVERZEICHNIS.....	157