

Multisensorielle Datensimulation im Fahrzeugumfeld für die Bewertung von Sensorfusionsalgorithmen

von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Technischen Universität Chemnitz

genehmigte

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur
(Dr.-Ing.)

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Lars Mesow
geboren am 24. Mai 1976 in Burgstädt

eingereicht am 10. April 2006

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Gerd Wanielik
Prof. Dr.-Ing. Madhukar Chandra
Prof. Dr.-Ing. Peter M. Knoll

Tag der Verleihung: 8. Januar 2007

Forschungsberichte der Professur Nachrichtentechnik
herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gerd Wanielik

Band 4

Lars Mesow

**Multisensorielle Datensimulation im Fahrzeugumfeld
für die Bewertung von Sensorfusionsalgorithmen**

D 93 (Diss. TU Chemnitz)

Shaker Verlag
Aachen 2007

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zagl.: Chemnitz, Techn. Univ., Diss., 2007

Copyright Shaker Verlag 2007

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-5973-0

ISSN 1610-1251

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Diese Arbeit entstand im Rahmen meiner Doktorandenstelle bei der Robert Bosch GmbH in Leonberg.

Für die aufgeschlossene und freundliche Annahme der Arbeit an der Technischen Universität Chemnitz sowie den hilfreichen Anregungen und Diskussionen möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Gerd Wanielik bedanken. Herrn Prof. Dr.-Ing. Madhukar Chandra von der Technischen Universität Chemnitz und Prof. Dr.-Ing Peter M. Knoll von der Robert Bosch GmbH danke ich sehr für die Übernahme des Korreferates.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. rer. nat. Christoph Gauger und weiteren Kollegen von der Robert Bosch GmbH, die diese Arbeit durch wertvolle Hinweise und hilfreiche Anregungen entscheidend gefördert haben.

Meinen Vorgesetzten in der Robert Bosch GmbH in Leonberg möchte ich für die Möglichkeit der Anfertigung dieser Arbeit danken.

Dank geht auch an alle Studenten, die mich bei meiner Arbeit unterstützt haben: Tom Triebe, Sebastian Ebersbach, Noemi Hummel sowie Oliver Kramer.

Bei Dr.-Ing. Michael Skutek und Dipl.-Ing. (FH) Alexander Barke bedanke ich mich für die Durchsicht des Manuskripts und die daraus resultierenden Verbesserungsvorschläge.

Nicht vergessen möchte ich, meinen Eltern, meinem Bruder und meinen Freunden für die Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit danken.

Hepberg, April 2006

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	9
Formelzeichen	11
1 Einleitung	15
1.1 Einführung in die Fahrzeugumfeldsensorik	16
1.2 Einführung in die Simulation	18
1.3 Ziel der Arbeit	19
2 Grundlagen der Radartechnik	21
2.1 Geschichte und Anwendungen des Radars	21
2.2 Radargleichung	22
2.3 Radarrückstreuquerschnitt	23
2.3.1 Technische Definition	24
2.3.2 Feldtheoretische Definition	24
2.3.3 Radarrückstreuquerschnitt im Fahrzeugbereich	26
2.4 Radar-Funktionsweise und typische Messverfahren	27
2.4.1 FMCW-Radar	28
2.4.2 Puls-Doppler-Radar	32
3 Grundlagen der Radarsimulation	39
3.1 Einführung in die Modellierung des Radarrückstreuverhaltens	39
3.2 Die Radar-Zielmodelle nach Swerling	44
4 Modelle zur Erzeugung synthetischer Sensordaten	47
4.1 Einfaches Punktzielmodell	47
4.1.1 Grundkonzept	47
4.1.2 Koordinatentransformationen	49
4.1.3 Anwendungsbereiche	54

4.2	Abstandssensor mit Winkelauflösung ohne Betrachtung von Rückstreuungseigenschaften	57
4.2.1	Grundkonzept	57
4.2.2	Anwendungsbereiche	59
4.3	Abstandssensor ohne Winkelauflösung unter Betrachtung von Rückstreuungseigenschaften	61
4.3.1	Grundkonzept	61
4.3.2	Berücksichtigung von Verdeckung	65
4.3.3	Anwendungsbereiche	71
4.4	Statistisches Radarmodell	76
4.4.1	Anforderungen und nachzubildende Effekte	76
4.4.2	Grundkonzept	78
4.4.3	Anwendungsbereiche	80
4.5	Zusätzlich benötigte Daten in der Sensordatenfusion	83
4.5.1	Eigenfahrzeugdaten	83
4.5.2	Zeitgeber	84
4.5.3	Ground Truth Daten	84
5	Messungen zum Radarrückstreuverhalten von Fahrzeugen	87
5.1	Messaufbau	87
5.1.1	Messumgebung und Durchführung	87
5.1.2	Messtechnik	90
5.2	Allgemeine Aufbereitung der gemessenen Signale	92
5.3	Untersuchung des mittleren RCS	95
5.3.1	Extraktion durch Glättung	96
5.3.2	Ergebnisse	102
5.4	Untersuchung der Fluktuationen	110
5.4.1	Möglichkeiten der Extraktion	110
5.4.2	Statistische Beschreibung der Fluktuationen	112
5.5	Untersuchung der Lage der Reflexionszentren bei Fahrzeugen	115
6	Parametrisierung des statistischen Radarmodells	119
6.1	Positionen und aspektwinkelabhängiger RCS-Verlauf der Reflexionszentren bei einem PKW	119
6.2	Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Daten	123

7	Simulationsumgebung Test-Daten-Synthesizer	127
7.1	Aufbau und Konzeption	127
7.2	Szenenbeschreibung	129
7.3	Datenausgabekonzept	130
7.3.1	Allgemeine Möglichkeiten der Datenausgabe	131
7.3.2	Ausgabe der simulierten Sensordaten auf dem CAN-Bus	131
7.4	Grafische Bedienoberfläche	134
8	Zusammenfassung	137
8.1	Ergebnisse	137
8.2	Ausblick	139
	Literaturverzeichnis	145