

DI Simone Fuchs

A Comprehensive Knowledge Base for Context-Aware Tactical Driver Assistance Systems

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktorin der Technischen Wissenschaften

Alpen-Adria-Universität Klagenfurt
Fakultät für Technische Wissenschaften

1. Begutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kyandoghere Kyamakya
Institut: Intelligente Systemtechnologien
2. Begutachter: Univ.-Prof. DI Dr. Gerhard Friedrich
Institut: Angewandte Informatik

Klagenfurt, Dezember 2008

Smart System Technologies

Band 3

Simone Fuchs

**A Comprehensive Knowledge Base for
Context-Aware Tactical Driver Assistance Systems**

Shaker Verlag
Aachen 2009

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Klagenfurt, Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2009

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8078-9

ISSN 1866-7791

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende wissenschaftliche Arbeit selbstständig angefertigt und die mit ihr unmittelbar verbundenen Tätigkeiten selbst erbracht habe. Ich erkläre weiters, dass ich keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Alle aus gedruckten, ungedruckten oder dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte sind gemäß den Regeln für wissenschaftliche Arbeiten zitiert und durch Fußnoten bzw. durch andere genaue Quellenangaben gekennzeichnet.

Die während des Arbeitsvorganges gewährte Unterstützung einschließlich signifikanter Betreuungshinweise ist vollständig angegeben.

Die wissenschaftliche Arbeit ist noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden. Diese Arbeit wurde in gedruckter und elektronischer Form abgegeben. Ich bestätige, dass der Inhalt der digitalen Version vollständig mit dem der gedruckten Version übereinstimmt.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Klagenfurt, am 05.12.2008

DI Simone Fuchs

DEDICATION

This work is dedicated to my husband Florian, without whose patience, support and encouragement I never would have made it.

ACKNOWLEDGEMENT

I want to express my gratitude to my supervisors for their tips and helpful inputs. I also want to thank all my colleagues at the university for their patience in the long and interesting discussions we had.

ABSTRACT

An ongoing research project at the Transportation Informatics Group at Klagenfurt University is concerned with the development of the advanced driver assistance system MIDCO - a "Machine-vision based context-aware Intelligent Driver Co-pilot". MIDCO will be an intelligent co-driver, who will support the human driver and give advice in potentially dangerous and difficult situations.

This thesis is embedded within the project and is mainly concerned with the development of a comprehensive knowledge base for the planned context-aware driver support system. Most of the active research in driver assistance is still concerned with the gathering of environment information. Much less attention is given to the question what shall be done with the information once it is available. The presented work will focus on this by trying to give an answer to three major questions:

1. What is the context for driving assistance on a tactical level and how can it be represented?
2. How can traffic rules be integrated in a driver assistance system?
3. How can imperfect sensed context-information be handled?

An approach for knowledge representation and processing of driving context and traffic rules will be developed and validated within the thesis, which is also able to cope with imperfect context information.

The thesis starts with an overview of state-of-the-art advanced driver assistance systems and involved methods from artificial intelligence. Afterwards, a thorough analysis is conducted about what "context" means within the driving task on a tactical level. While this so-called context-model is implicitly hidden in every driver assistance system, no general model is available so far. Therefore, an appropriate context-model for representing and exchanging domain information about a driving scene is developed. The model provides a generic scene description, regardless of the specific driving task.

Although traffic law actually regulates the legal behavior of drivers, it is often not yet considered in driving assistance. The presented work pays tribute to this fact by integrating the context-model with a logic-programming environment, where the complex traffic rules are kept in the form of static and dynamic constraints. This enables intelligent reasoning and decision deduction on the available information in real-time. An overtake assistant is used as a showcase to simulate and demonstrate the feasibility of the presented approach.

Safety is always the first and foremost aspect for driver assistance. Since the available context-information in a driver assistance system cannot be expected to be fully reliable,

a support system should be able to know its own limitations and admit ignorance when necessary. Therefore, the thesis is completed with an analysis of the major types of imprecision of information, which are likely to occur in a driver support system, and an overview of suitable methods to cope with them in the knowledge base, in order to provide useful driver support nonetheless.

KURZFASSUNG

Die Forschungsgruppe Verkehrsinformatik der Alpen-Adria-Universität Klagenfurt entwickelt das fortgeschrittene Fahrerassistenzsystem MIDCO - "Machine-vision based context-aware Intelligent Driver Co-Pilot". MIDCO wird ein intelligenter Beifahrer sein, der den menschlichen Fahrer in potentiell gefährlichen und schwierigen Situationen unterstützt.

Die vorliegende Dissertation ist in dieses Projekt eingebettet und beschäftigt sich in diesem Zusammenhang mit der Entwicklung einer umfangreichen Wissensbasis für das geplante kontextbewusste Fahrerassistenzsystem. Der Großteil der aktuellen Forschungsprojekte im Bereich der Fahrerassistenzsysteme beschäftigt sich noch immer mit der Erfassung von Umgebungsinformationen; der Frage, was mit der Information passieren soll, wenn sie verfügbar ist, wird sehr viel weniger Aufmerksamkeit geschenkt. Die vorgestellte Arbeit stellt dieses Thema in den Mittelpunkt, in dem versucht wird, folgende drei zentralen Fragen zu beantworten:

1. Was ist der Kontext für Fahrerunterstützung auf taktischer Ebene und wie kann man ihn darstellen?
2. Wie können Verkehrsregeln in Fahrerassistenzsysteme integriert werden?
3. Wie kann man mit unvollkommener Kontext-Information der Sensor-Systeme umgehen?

In der vorliegenden Arbeit wird ein Ansatz zur Wissensrepräsentation und -verarbeitung des Kontexts und der Verkehrsregeln entwickelt und validiert, der auch mit unvollkommener Kontextinformation umgehen kann.

Nach einem Überblick über den aktuellen Stand der Technik von Fahrerassistenzsystemen und der Methoden aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz, die diese verwenden, wird anschließend eine umfassende Analyse des Begriffs "Kontext" in Zusammenhang mit Fahrverhalten auf taktischer Ebene durchgeführt. Dieses sogenannte Kontextmodell ist implizit in jedem Fahrerassistenzsystem enthalten, ein generelles Modell ist derzeit aber nicht verfügbar. Deshalb wird aus den Ergebnissen der Begriffsanalyse ein generisches Kontextmodell für die Repräsentation von Informationen über eine bestimmte Fahrsituation entwickelt.

Obwohl die Straßenverkehrsregeln das gebotene Fahrverhalten bestimmen, werden sie in bisherigen Fahrerassistenzsystemen meistens vernachlässigt. Diese Arbeit zollt diesem Punkt Respekt, indem eine Integration des Kontextmodells mit einer logischen Programmierumgebung erfolgt, in der die Verkehrsregeln in Form von sogenannten statischen und dynamischen Constraints gespeichert sind. Diese Vorgehensweise ermöglicht intelligente Entscheidungsfindung auf den vorhandenen Informationen in Echtzeit. Zur Demonstration der Realisierbarkeit wird ein Überholassistent als Anwendungsfall benutzt.

Bei einem Fahrerassistenzsystem kann nicht davon ausgegangen werden, dass die verfügbare Kontextinformation absolut zuverlässig ist. Ein Fahrerassistenzsystem sollte daher seine Grenzen kennen und im Zweifelsfall seine Unkenntnis der Sachlage eingestehen. Aus diesem Grund schließt die Dissertation mit einer Analyse der wichtigsten Arten von Ungenauigkeit, die in Bezug auf die Umgebungsinformationen in einem Fahrerassistenzsystem zu erwarten sind, und mit einem Überblick über verschiedene Methoden, mit denen Ungenauigkeit in die Wissensbasis miteingebunden werden kann, um trotzdem sinnvolle Entscheidungen treffen zu können.

Contents

1	Introduction	17
1.1	Problem Context	17
1.2	Problem Statement	19
2	Intelligence in Driver Assistance Systems	25
2.1	Traditional Driver Assistance Systems	25
2.1.1	Automatic transmission	25
2.1.2	Cruise Control	26
2.1.3	Antilock brake system	26
2.1.4	Anti-Slip Control/Traction Control System	26
2.1.5	Electronic Stability Program	27
2.1.6	Rain Sensor	27
2.1.7	Intelligent Headlight	27
2.1.8	Brake Assist System	27
2.2	Artificial Intelligence and Concepts	29
2.2.1	Fuzzy logic	32
2.2.2	Bayesian Reasoning	32
	Bayesian Networks	34
	Hidden Markov Models	35
	Dynamic Bayesian Networks	36
2.2.3	Evolutionary Algorithms	36
2.2.4	Neural Networks	37
2.3	Artificial Intelligence in Advanced Driver Assistance Systems	40
2.3.1	Lane Departure Warning System	41
2.3.2	Adaptive Cruise Control	43
2.3.3	Electronic Parking Assistant	47
2.3.4	General applications of AI to driver assistance systems	49

3	Context for Driver Assistance Systems	51
3.1	Generic Approaches for Modeling Context-Information	53
3.2	Modeling Context-Information for Driver Assistance Systems	55
3.3	Context for Driver Assistance Systems	58
3.4	Influence of Context-Awareness on Driver Assistance Systems	63
3.4.1	Collaboration between Vehicles and Infrastructure	66
3.5	An Ontological Context-Model for Driver Assistance Systems	67
3.5.1	Representing Uncertain Information	73
3.5.2	Representing Spatio-Temporal Information	73
3.6	Integration of OWL-based Scenario Descriptions with a Logic-Programming Environment	75
3.7	Representation of Traffic Rules as Constraints	83
4	Context Model Validation	89
5	Integration of Traffic Rules and Context Information in an Overtake Assistant	97
5.1	Related Work on Overtaking Assistance	98
5.2	A Context-Aware Overtaking Assistant	101
5.2.1	Constraints for Moving Participants	105
5.2.2	Constraints for Static Traffic Objects	112
5.2.3	General Speed Dependent Constraints	113
	Sufficient Line of Sight	113
	Sufficient Side Distance	114
5.2.4	Influence of environmental conditions	115
5.3	Further Examples for Tactical Driving Maneuvers	116
5.3.1	Intersection Crossing	117
5.3.2	Curve Drive-Through	117
5.4	Risk Classification	118
5.4.1	A-priori fuzzy risk classification	118
5.4.2	A-posteriori probabilistic risk classification	121
6	Validation of the Overtake Assistant	125
6.1	Validation of the Translation and the Recommendation Component	126
6.2	Validation of Risk Classification	128
7	Uncertainty of Context Information in Driver Assistance Systems	133
7.1	Related Work	135

CONTENTS

7.2	Uncertainty	136
7.3	Ignorance	142
7.4	Incompleteness	148
7.4.1	Incomplete Attribute Information	148
7.4.2	Incomplete Traffic Object Information	152
7.5	Inconsistency	153
7.6	Inaccuracy	154
7.7	Imprecise Information and the Reasoning Process	157
8	Conclusions	165
8.1	Contributions	166
8.2	Outlook	168
A	Test Results - Risk Rating	171
B	Excerpt From Driving Ontology	173
B.1	Header	173
B.2	Class	174
B.2.1	Context Object	174
B.2.2	Relationship	176
B.2.3	MetaInformation	178
B.2.4	isDerivable	179
B.3	Datatype Property	180
B.4	Object Property	182
C	Abbreviations	183
	Bibliography	185

List of Figures

2.1	Historical development of in-vehicle software functionality (taken and translated from [11])	28
2.2	A typical Bayesian network, showing the topology and the conditional probability tables (CPTs). In the CPTs, the letters <i>B</i> , <i>E</i> , <i>A</i> , <i>J</i> and <i>M</i> stand for <i>Burglary</i> , <i>Earthquake</i> , <i>Alarm</i> , <i>JohnCalls</i> and <i>MaryCalls</i> , respectively [12].	34
2.3	A simple Feedforward network [13]	38
2.4	A simple Hopfield network [13]	39
3.1	Relevant sub-contexts of a driving situation	59
3.2	Spatial and local driving contexts	60
3.3	Example 1: Influence of context-awareness on driver assistance systems	64
3.4	Example 2: Influence of context-awareness on driver assistance systems	65
3.5	Ontological context-model for driving-relevant objects	69
3.6	Lane numbering scheme	71
3.7	Example: The context-class "ownVehicle" and its datatype and object properties	72
3.8	Spatial representation of directions in a relative, egocentric view originating at the subject vehicle	74
4.1	Tagging of relevant traffic objects within a driving scene	90
5.1	Graphical frontend of a conceptual overtake assistant	101
5.2	General sequence of overtaking (taken and adapted from [14])	105
5.3	Path-time diagram of an overtaking maneuver	106
5.4	Path-time diagram of an overtaking maneuver with an oncoming vehicle	109
5.5	Path-time diagram of an overtaking maneuver with an approaching vehicle and a vehicle in the overtaking lane	110
5.6	Estimated times for intersection crossing (taken and adapted from [14])	117
5.7	Active forces for curve drive-through (taken and adapted from [14])	118

5.8	Piecewise linear membership functions for fuzzy risk classification with three classes	119
5.9	Overtaking scenario with three vehicles	122
5.10	Flowchart of the decision finding process	124
6.1	3D VR simulation of overtaking with oncoming traffic	126
6.2	Simulation with random speed/distance values	128
6.3	Conflict between simulation and recommendation component	128
6.4	Camera views at first test run	129
6.5	Camera view at second test run	130
7.1	The Meta-information class <i>isDerivable</i> keeps information about derivable attribute values in the context ontology.	151
7.2	Influence of speed measurement deviations on the overtaking maneuver	156
7.3	Piecewise linear membership functions for fuzzy quality classification	161
7.4	Incorporation of imprecision handling in the reasoning process	163

List of Tables

2.1	Definitions of artificial intelligence [12]	30
5.1	Side distance for overtaking	114
5.2	Weather dependent speed adjustment	115
A.1	Subjective risk rating - excerpt from first run	171
A.2	Subjective risk rating - second, improved run	172