

Context-Supported Lane Estimation
Understanding the Scene by Learning Spatial Relations
Between Semantic Features and Virtual Ground Truth

Von der Carl-Friedrich-Gauß-Fakultät
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
zur Erlangung des Grades eines
Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von
Volker Patricio Schomerus
geboren am 08.12.1982
in Osorno

Eingereicht am: 09.08.2016
Disputation am: 27.10.2016
1. Referent: Prof. Dr.-Ing. Friedrich M. Wahl
2. Referent: Prof. Dr.-Ing. Torsten Bertram

Fortschritte in der Robotik

Band 16

Technische Universität Braunschweig
Institut für Robotik und Prozessinformatik
Prof. Dr.-Ing. Friedrich M. Wahl (Hrsg.)

Volker Schomerus

Context-Supported Lane Estimation

Understanding the Scene by Learning Spatial Relations
Between Semantic Features and Virtual Ground Truth

Shaker Verlag
Aachen 2016

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.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2016

Copyright Shaker Verlag 2016

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 978-3-8440-4933-6

ISSN 1431-7222

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

Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Robotik und Prozessinformatik der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig entstanden. Für die angenehme Zeit und die technische und freundschaftliche Unterstützung möchte ich allen meinen Kollegen und Freunden am Institut danken. Besonders danke ich Jens Spehr für die wertvollen technischen Diskussionen. Ganz besonders möchte ich Herrn Prof. Dr. Friedrich M. Wahl für seine fachliche Betreuung auch über seine aktive Zeit als Institutsleiter hinaus danken sowie für die Möglichkeit, wissenschaftliche Themen frei und selbstständig bearbeiten zu können.

Während meiner Arbeit hatte ich die uneingeschränkte Unterstützung meiner Familie. Ich möchte meinen Eltern für ihre Geduld und die Ermutigungen bis zur Fertigstellung dieser Arbeit danken. Die Fahrzeugbilder, die für Veranschaulichungen und die Visualisierung von Ergebnissen verwendet wurden, sind Fotos eines Lloyd Alexander TS Modells meines Vaters.

Mein größter Dank gilt meiner Frau Geraldine, die mich bis zum Schluss motiviert und oft bis spät in die Nacht Zeit mit mir am Schreibtisch verbracht hat. Du hast einen großen Anteil an der Fertigstellung dieser Arbeit. Danke!

Braunschweig, August 2016

Volker Schomerus

Disclaimer

Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen AG.

Zusammenfassung

Fahrerassistenzsysteme und automatisches Fahren gewinnen im Bereich der Mobilität mehr und mehr an Bedeutung. Durch erhöhte Sicherheit und die Möglichkeit einer anderweitigen Nutzung der Reisezeit wird die Entwicklung intelligenter Fahrzeuge die Mobilität der Zukunft neu definieren.

Um die Grenzen der Systeme für vollautomatisches Fahren zu erweitern, versuchen Forschungseinrichtungen und Firmen bereits, neben gut strukturierten Autobahn-Szenarien auch komplexere Fahrzeugumgebungen zu meistern, wie z.B. den Stadtverkehr. Während derzeitige Methoden zur kamerabasierten Fahrzeugumfelderfassung traditionelle Bildsegmentierungs- und Objekterkennungstechniken verwenden, stellt diese Arbeit einen großen Schritt in Richtung umfassenden Szenenverstehens dar. Zu diesem Zweck werden leistungsfähige Methoden des maschinellen Lernens eingesetzt, um die räumlichen Beziehungen zwischen diversen Merkmalen im Kamerabild und der Fahrzeugtrajektorie zu lernen. Das Zusammenführen der räumlichen Beziehungen aller gefundenen Merkmale eines Kamerabildes resultiert in einer sogenannten Verteilungskarte, in die ein Fahrstreifenmodell eingepasst werden kann. Des Weiteren wird mit Hilfe globaler Bildmerkmale der Kontext der aktuellen Szene bestimmt. Es werden verschiedene Möglichkeiten untersucht, mit Hilfe der gewonnenen Kontextinformation die Fahrstreifenerkennung zu verbessern, und es wird erläutert, wie ein solches globales Verfahren mit einer lokalen Methode zur Fahrstreifen- bzw. Fahrstreifenbegrenzungserkennung kombiniert werden kann. Es wird gezeigt, dass viele verschiedene Arten von Merkmalen in der Fahrzeugumgebung wichtige Informationen über die Lage des Fahrstreifens liefern und dass dieser Fahrstreifen im Bild detektiert werden kann, indem dessen räumliche Beziehungen zu diesen Merkmalen modelliert werden. Außerdem wird gezeigt, wie zusätzliches Wissen über den aktuellen Kontext die Qualität der Fahrstreifenerkennung erhöhen kann.

Abstract

Advanced driver assistance systems and automatic driving are becoming more and more important in the market of personal mobility. By increasing traffic safety and allowing the driver to use the traveling time for other activities, the generation of intelligent vehicles creates a new definition of mobility in the future.

To extend the limitations of systems for fully automated driving, research institutions and companies are trying to master more complex vehicle environments like urban traffic. While current approaches for camera-based vehicle environment perception use traditional image segmentation and object detection techniques, this work presents a big step towards comprehensive scene understanding. For this purpose, powerful machine learning methods are applied to learning the spatial relations between several types of features in the camera image and the vehicle trajectory. The registration of these spatial relations for all features in a video frame leads to a distribution map which allows the matching of a lane model. Additionally, the context of the current vehicle environment is determined by extracting global image features.

Several possibilities for improving the lane detection performance with additional context information are analyzed, and the combination of global and local lane or lane border detection methods is proposed. It is shown that many different types of features within the vehicle environment provide important information about the lane and that, by modeling the spatial relations between features and the trajectory of the vehicle, its lane can be detected. It is also shown that knowledge about the current scene context can be used to improve the lane detection performance.

Contents

1. Introduction	1
1.1. Motivation	1
1.2. Related Work	2
1.3. Contribution	4
2. Virtual Ground Truth: Learning Spatial Relations	7
2.1. Virtual Ground Truth	7
2.2. Modeling Spatial Relations	9
2.2.1. Coordinate Systems of the Vehicle	9
2.2.2. Bird's Eye View	12
2.2.3. Representation of the Spatial Relations	17
2.3. The Distribution Map	20
2.3.1. Registration of Spatial Relations	20
2.3.2. Integration of Additional Information: The Prior	21
3. Local Features: What Tells us Where to Drive the Car?	25
3.1. Local Features	26
3.1.1. Feature Detection	26
3.1.2. Feature Classes	30
3.2. Classification	35
3.2.1. Linear Regression and Classification	36
3.2.2. Logistic Regression	38
3.2.3. The Feature Descriptors	40
3.2.4. Classification Performance	42
4. Model Matching	53
4.1. Modeling Traffic Scenes	53
4.2. Retrieval of the Vehicle Trajectory from Learned Spatial Relations	54
4.2.1. Random Line Search	54
4.2.2. Dynamic Programming	58
4.2.3. Curve Template Matching	60
4.3. Model Selection	68

5. Using Context Information in Driver Assistance Systems	71
5.1. Context Definition in Image Processing	71
5.2. Context Classification	72
5.2.1. Context Classes	73
5.2.2. Global Features	74
5.2.3. Classification	75
6. Applications and Evaluation	83
6.1. Dataset	84
6.2. Context-based Lane Model Matching	86
6.3. Context-based Spatial Relations	90
6.4. Context-based Feature Weighting	91
6.5. Experiments with other Datasets	95
6.6. Lane Border Detection	99
7. Conclusion and Outlook	101
7.1. Discussion	101
7.2. Conclusion	102
A. Model Matching Results	105
B. Context Classification Results	107
C. Results with images from the KITTI dataset	113
Notation	115
Glossary	117
List of Figures	119
Bibliography	121
Index	127