AutoUni – Schriftenreihe

AutoUni

Tuan Tran Nguyen

A Reliability-Aware Fusion Concept Toward Robust Ego-Lane Estimation Incorporating Multiple Sources

AutoUni – Schriftenreihe

Band 140

Reihe herausgegeben von/Edited by
Volkswagen Aktiengesellschaft
AutoUni

Die Volkswagen AutoUni bietet Wissenschaftlern und Promovierenden des Volkswagen Konzerns die Möglichkeit, ihre Forschungsergebnisse in Form von Monographien und Dissertationen im Rahmen der „AutoUni Schriftenreihe" kostenfrei zu veröffentlichen. Die AutoUni ist eine international tätige wissenschaftliche Einrichtung des Konzerns, die durch Forschung und Lehre aktuelles mobilitätsbezogenes Wissen auf Hochschulniveau erzeugt und vermittelt.

Die neun Institute der AutoUni decken das Fachwissen der unterschiedlichen Geschäftsbereiche ab, welches für den Erfolg des Volkswagen Konzerns unabdingbar ist. Im Fokus steht dabei die Schaffung und Verankerung von neuem Wissen und die Förderung des Wissensaustausches. Zusätzlich zu der fachlichen Weiterbildung und Vertiefung von Kompetenzen der Konzernangehörigen fördert und unterstützt die AutoUni als Partner die Doktorandinnen und Doktoranden von Volkswagen auf ihrem Weg zu einer erfolgreichen Promotion durch vielfältige Angebote – die Veröffentlichung der Dissertationen ist eines davon. Über die Veröffentlichung in der AutoUni Schriftenreihe werden die Resultate nicht nur für alle Konzernangehörigen, sondern auch für die Öffentlichkeit zugänglich.

The Volkswagen AutoUni offers scientists and PhD students of the Volkswagen Group the opportunity to publish their scientific results as monographs or doctor's theses within the "AutoUni Schriftenreihe" free of cost. The AutoUni is an international scientific educational institution of the Volkswagen Group Academy, which produces and disseminates current mobility-related knowledge through its research and tailor-made further education courses. The AutoUni's nine institutes cover the expertise of the different business units, which is indispensable for the success of the Volkswagen Group. The focus lies on the creation, anchorage and transfer of knew knowledge.

In addition to the professional expert training and the development of specialized skills and knowledge of the Volkswagen Group members, the AutoUni supports and accompanies the PhD students on their way to successful graduation through a variety of offerings. The publication of the doctor's theses is one of such offers. The publication within the AutoUni Schriftenreihe makes the results accessible to all Volkswagen Group members as well as to the public.

Reihe herausgegeben von/Edited by
Volkswagen Aktiengesellschaft
AutoUni
Brieffach 1231
D-38436 Wolfsburg
http://www.autouni.de

Weitere Bände in der Reihe http://www.springer.com/series/15136

Tuan Tran Nguyen

A Reliability-Aware Fusion Concept Toward Robust Ego-Lane Estimation Incorporating Multiple Sources

Springer

Tuan Tran Nguyen
AutoUni
Wolfsburg, Germany

Dissertation, Otto von Guericke University Magdeburg, 2019

AutoUni – Schriftenreihe
ISBN 978-3-658-26948-7 ISBN 978-3-658-26949-4 (eBook)
https://doi.org/10.1007/978-3-658-26949-4

This Springer imprint is published by the registered company Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH part of Springer Nature
The registered company address is: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Contents

List of Figures

List of Tables

List of Algorithms

List of Acronyms

ACC Adaptive Cruise Control

ADAS Advanced Driver Assistance System

ANN Artifical Neural Network

AP Autonomy Percentage

AV Availability

AVG Average Fusion

BE Baseline

BN Bayesian Network

CART Classification and Regression Tree

CH Center Hypothesis

CNN Convolutional Neural Network

DDD Driver Drowsiness Detection

DGPS Differential Global Positioning System

DNN Deep Neural Network

DST Dempster–Shafer theory

DT Decision Tree

FCH First Center Hypothesis

FEX Feature Extraction

FLH First Left Hypothesis

FN False Negative

FP False Positive

FRH First Right Hypothesis

FS F-Score

FSL Feature Selection

GCS Grid Coordinate System

GPS Global Positioning System

JDL Joint Directors of Laboratories

kNN k-Nearest Neighbors

KPI Key Performance Indicator

LDW Lane Departure Warning

LH Left Hypothesis

Lidar Light Detection and Ranging

LKA Lane Keeping Assist

LM Left Marking

MA Maximum Availability

MED Median Selection

MIN Minimum Selection

MP Mapping reliabilities to UTM

NB Naive Bayes

NN Neural Network

OEM Original Equipment Manufacturer

OP Overlapping Percentage

PR Precision

Radar Radio Detection and Ranging

RAN Random Selection

RE Recall

ReLU Rectified Linear Unit

RF Random Forests

RH Right Hypothesis

RM Right Marking

SAE SAE International

SCH Second Center Hypothesis

SGD Stochastic Gradient Descent

SLH Second Left Hypothesis

SRH Second Right Hypothesis

SVM Support Vector Machine

TCH Third Center Hypothesis

TJP Traffic Jam Pilot

TLH Third Left Hypothesis

TLU Threshold Logic Unit

TN True Negative

TP True Positive

TRH Third Right Hypothesis

UTM Universal Transverse Mercator

VCS Vehicle Coordinate System

VH Vehicle Hypothesis

WBF Weight-Based Fusion

WIF Winners Fusion

WTA Winner-Takes-All

Abstract

The foundation of autonomous driving is a perception system, which can provide sufficient results in all relevant situations. In this context, the road estimation task is an indispensable part, which entails many challenges due to the variety of environmental conditions. To cope with the challenges of this task, the information from multiple sources has to be combined such as optically detected lane markings, the preceding vehicle, occupancy grid. This requirement results from the fact that all sensors have their specific advantages and drawbacks regarding the current environment. For example, the visibility of lane markings can affect the performance of the marking detector. Accordingly, the premise, which is assumed by many works, that all information sources and sensors respectively are uniformly reliable and the following application of an average fusion of all sources are inappropriate to produce sufficient results continually.

Hence, this thesis introduces a new and innovative fusion framework for lane estimation, which incorporates reliabilities of the sources so that the fusion considers only the most reliable sources. Therefore, at first, we extend the commonly known JDL fusion model to integrate the reliability aspect at multiple levels, where reliability represents higher-level uncertainty. Secondly, we define a novel source-independent metric to evaluate the reliability of all information sources within the context of road estimation. Thereby, this measure compares the predicted road course with the manually driven trajectory regarding the angle deviation. Thirdly, a data-driven reliability estimation approach is introduced, where the reliability of each source is separately learned and estimated by a classifier. By that, the set of data for the training consists of the relevant information from sensors' measurements, consensus, and contextual information as well as the past performance of the corresponding hypothesis. Eventually, the reliability-based fusion clusters the hypotheses and then selects the most reliable group. Consequently, only the hypotheses belonging to the chosen group contribute to the final estimation, and the unreliable sources are omitted from the fusion. This supports the system to solve conflict situations among the sources in an appropriate way.

By performing a thorough evaluation using real-world data recordings, our reliability-based fusion approach can improve the overall availability of automated driving. Besides, our reliability-aware framework can be generalized to combine high-level data from multiple sources with varying performances, where the reliability estimation is easily adaptable to new sensors and scenarios.

Zusammenfassung

Die Schlüsselanforderung des vollautomatisierten Fahrens ist ein System zur Umfeldwahrnehmung, das alle möglichen Szenarien abdecken kann. Dabei ist die Fahrbahnschätzung ein wichtiger Bestandteil, welcher aufgrund verschiedener Umweltbedingungen viele Herausforderungen mit sich bringt. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, müssen die Informationen aus unterschiedlichen Sensorquellen, z. B. kamerabasierte Markierungserkennung, vorausfahrendes Fahrzeug, Belegungsgitter, etc., miteinander kombiniert werden. Abhängig vom Einsatzszenario hat jede Quelle ihre spezifischen Vor- und Nachteile, beispielsweise können die Sichtbarkeit und das Vorhandensein von Markierungen die Performanz des Markierungsdetektors beeinflussen. Daher sind die Annahmen bestehender Ansätze, dass alle Quellen immer gleich zuverlässig sind, und der Einsatz einer Mittelwertbildung zur Kombination der Quellen ungeeignet ist, um permanent robuste Ergebnisse zu liefern.

Deshalb stellt diese Arbeit ein neues Fusionsframework für die Fahrbahnschätzung vor, welches die Zuverlässigkeit der Sensoren mit einbezieht. Das Ziel besteht darin, nur die zuverlässigsten Quellen für die Fusion zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck wird als Erstes das JDL-Fusionsmodell erweitert, um den Zuverlässigkeitsaspekt als höhere Unsicherheit zu integrieren. Zweitens wird eine neue sensorunabhängige Metrik zur Zuverlässigkeitsbewertung der Quellen präsentiert, die den geschätzten Straßenverlauf mit der manuell gefahrenen Trajektorie im Hinblick auf die Winkelabweichung vergleicht. Drittens präsentiert diese Arbeit einen datengetriebenen Ansatz für die Zuverlässigkeitsschätzung, bei dem die Zuverlässigkeit jeder Quelle anhand eines Klassifikationsmodells separat gelernt und prädiziert wird. Dabei bestehen die Trainingsdaten aus den relevanten Merkmalen von Sensormessungen, der Konsens- und Kontextinformation sowie aus der bisherigen Performanz der entsprechenden Hypothese. Auf Basis der Dempster-Shafer-Evidenztheorie gruppiert die zuverlässigkeitsbasierte Fusion die verfügbaren Hypothesen. Danach werden nur Elemente der zuverlässigsten Gruppe zur endgültigen Fusion beitragen und die restlichen Hypothesen sind ausgeschlossen. Dies ermöglicht dem System, Konfliktsituationen zwischen den Quellen besser zu lösen.

Eine ausführliche Evaluierung mit realen Messdaten zeigt, dass der zuverlässigkeitsbasierte Fusionsansatz die Gesamtverfügbarkeit des automatisierten Fahrens steigert. Ferner kann dieser Ansatz auf die Probleme angewendet werden, bei denen Daten auf hohen Abstraktionsebenen aus mehreren Quellen mit unterschiedlicher Performanz zu kombinieren sind. Außerdem bietet dieser Ansatz die Möglichkeit, die Zuverlässigkeitsschätzung mit geringer Komplexität an neue Sensoren und Szenarien anzupassen.