

(様式 5)



2020年 6月 1日
Year Month Day

学位 (博士) 論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph. D. candidate)	工学府博士後期課程 機械システム工学 専攻 (major) 2017年度入学 (Admission year) 学籍番号 17833011 氏名 前田 健太  (student ID No.) (Name)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク教授
論文題目 (Title)	市街地道路地図の自律生成に基づく交通参加者の移動予測と自動運転制御 Traffic Participant Motion Prediction and Autonomous Driving Control Based on Urban Road Map Construction
論文要旨 (2000 字程度) 交通事故ゼロをめざす、高齢化社会において特に過疎地の足を確保する、などの社会課題の解決を目的として、ドライバ操作を代替する自動運転システムの実現を見据えた研究開発が盛んに行われている。国内外で高速道路における公道試験走行が進んでおり、ドライバがハンドルから手を離すことが認められるレベル3自動運転が日本国内で認められ、今後は市販の乗用車への搭載も進むと考えられる。一方、一般道では最近になって一部地域で公道試験走行が開始された段階である。限定エリアにおけるレベル4自動運転システムを搭載した無人運転バスの実証試験も全国で行われているが、実用化には至っていない。高速道路と比べて、自動運転に必要なHD地図の整備が一般道(特にラストワンマイル自動運転の領域)では遅れること、一般道は歩行者・自転車などの移動体に対する衝突回避が求められるため技術的な難易度が高いことが課題となっている。 本論文では、自動運転システムにおける判断・制御の観点から、これら課題を解決する。特に、【1】低コストな車載センサのみを用いて自動運転用の地図を自己生成すること、そして【2】歩行者・自転車の行動変化を予測すること、の2点を研究対象とする。 まず、本論文では、自動運転システムの一般的な構成について述べる。具体的には、本研究のために構築した実験車両および車両に取り付けられた車載センサ、本稿が適用した一般的な自己位置推定手法を示す。そして自動運転に必要な操舵制御設計として、前方注視モデルに基づく軌道追従制御と操舵角サーボについて述べる。 次に、本稿で目的とする市街地道路環境での自動運転実現に向けた技術課題を深掘りする。まず、車載センサ情報を用いて地図生成するにあたっての課題について実験車両をテストコース上で走らせた際の走行データを用いて示す。そして歩行者行動予測の課題につ	

いては、ヒヤリハットデータの分類に基づき、移動体同士もしくは静止物体と移動体の相互作用による行動変化予測モデルの構築を行うという方針を立てる。

さらに、【1】の課題として、地図生成手法について具体的な手法を構築し、テストコースを手動で走行した際のデータを用いて検証する。その際、レンジと画角が異なる2種類のカメラを比較し、地図生成におけるセンサ要件を考察する。また、考察にあたり、横方向誤差の考え方に基づき生成した地図の精度判定を行う手法を提案する。レンジが短く画角の広い Fisheye camera でテストコースの自動運転走破を試行し、ランドマークがコンスタントに検出されることが自動運転継続にあたってのキーとなることを示す。一方、地図精度判定手法については、あくまで必要条件であって十分条件とは言えないという結果も示す。

加えて、【1】の課題として、上記の知見を踏まえて地図精度判定手法のもう一つの考え方を提案する。すなわち、構築した地図自体の精度を統計学的に判定する手法を構築する。そして、上記と同じくテストコースを手動で走行した際のデータを用いて検証する。実験では、周回の回数を重ねるごとに自動運転可能 (Satisfy) と判定した区画が増加し、自動運転可能 (Satisfy) と判定した区画と自動運転不可能 (Not satisfy) と判定した区画の白線地図を比較し、開発した手法が、特に垂直方向のばらつきが大きい区画で自動運転不可能と判定することから本手法の有効性を示す。一方、判定結果はパラメータ設定に依存するという結果も示す。

最後に、【2】の課題に対して、【1】で得られた知見を応用する。すなわち、ローカルダイナミックマップ (LDM) 内の静止物 (地図) の情報と移動物体の情報を組み合わせることで歩行者・自転車の将来の行動変化を予測する歩行者行動予測を構築する。行動予測にはポテンシャル法を適用し、自車両と歩行者とが将来干渉することが予測される場合には終端状態制御を用いてなめらかに減速する速度計画法を構築する。また、歩行者がいついかなる方向に行動変化しても急ブレーキで停車可能な安全速度を導入する。ある特定の高密度道路環境を想定したユースケースにおけるシミュレーションと、テストコースにおける実車とダミー歩行者を用いた実験により、本手法の有効性を示す。本手法により、歩行者の将来の行動変化が予測されない場合には速度を維持しつつ、行動変化が予測される場合には所定内の減速度で減速可能である。すなわち、歩行者行動予測により、歩行者・自転車が混在する市街地道路環境において、速度 (利便性) と減速度 (乗り心地) のトレードオフを解消可能である。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

For solving social issues such as maintaining the transportation of the rural area in the aging society, and aiming at zero traffic accidents, research and development has been actively focused on realizing an autonomous driving system that substitutes driver operation. In Japan and abroad, driving tests on expressways are progressing. On the other hand, it is a stage where driving tests have been started in some regions recently in general roads. Compared to the expressways, construction of the high-definition map required for autonomous driving is delayed in the general roads (especially the last one-mile autonomous areas). In addition, the general road has a high technical difficulty because the collision avoidance to the moving bodies such as pedestrians and the bicycles is demanded.

This paper solves these problems in terms of decision making and control in the autonomous driving system. In particular, the following two subjects of the research is studied; (1) to construct a map for autonomous driving using only low-cost on-board sensors, and (2) to predict movement changes of pedestrians and bicycles.

First, as a challenge of (1), a map construction method is developed, and it is verified using the data of manual driving on a proving ground. Two cameras with different range and field of view are compared for verification in order to consider the sensor requirements for map construction. Moreover, this paper proposes a map evaluation method that determines the accuracy of the constructed map itself. In this paper, the constructed map with which the lateral error of localized position is less than 0.5 m, is determined as “usable” for autonomous driving. As the map evaluation methods, a method for estimating the accuracy of localized position, and a method of statistically determining the lateral variation, are proposed.

Next, as a challenge of (2), this paper proposes a pedestrian behavior prediction method that predicts the future movement change of pedestrians and bicycles by combining information of moving objects with static objects (map). The potential method is applied to the prediction method, and a velocity planning method which slows down the vehicle smoothly by using the Final State Control when the vehicle and the pedestrian are expected to collide in the future, is developed. The effectiveness of the proposed method is verified by simulation in the use case which assumes a certain high-density road environment, and the experiment using the real vehicle and the dummy pedestrian in the proving ground. By this method, the vehicle’s speed is maintained if the future movement change of the pedestrian is not predicted, while it can be decelerated within a predetermined deceleration when the movement change is predicted.