

令和 2年 9月 1日

埼玉工業大学大学院工学研究科長殿

学位論文審査委員会

主 査 渡部 大志



副 査 大山 航



副 査 山崎 隆治



副 査 和田 正義



副 査 吉本 堅一



学位（博士）論文及び最終試験の審査結果について（報告）

専攻名：博士後期課程 システム工学 専攻

学籍番号：1721001

院生氏名：王 治

論文題目：埼玉工大の自動運転機能後付けバスとその安全性向上に関する研究

上記の学位（博士）論文について、令和2年8月27日に審査および最終試験を行い、その結果を下記のとおり報告します。

記

1 学位論文の内容の要旨

近年、バスドライバー不足の問題は深刻であり、運転しやすい車両の配備で労働環境を改善し新規のバスドライバーを増やすことや、離職につながる高齢バスドライバーの事故を減らせるような自動運転や安全運転支援の追加機能の開発が重要な課題となっている。自動停止機能など安全運転支援機能がついたバスの新車は徐々に販売されつつあるが、バス車両自体のライフサイクルが乗用車に比べて長い（新車の代金が高く、古い車両を使い続ける傾向がある）ので、乗用車の安全運転支援機能のように普及は進んではいない。この課題に対応するため埼玉工業大学では、既存のバスに自動運転/安全運転支援機能を後付する仕組みを東京農工大学の和田准教授と株式会社ミクニライフ&オートが開発した「ジョイ・カー」をベースに開発している。このシステムは任意の古いバス車両（AT車）に後付けできるので、この後付け自動運転/安全運転支援機能で既存のバスの操作性と安全性を向上できれば、バスドライバー不足の問題を解決し、運転免許返納後の高齢者の移動の便や地域公共交通の維持に役立つのではないかと考えている。本博士論文は以下の2部構成からなっている。

第1部では埼玉工大の自動運転プロジェクトの概要を述べている。既存のバスに自動運転／安全運転支援機能を後付する仕組みを開発し、その仕組みを搭載したバスに延べ2,415名の体験試乗者を乗せて計652kmの公道（本番走行のみ、適合走行は想定3000km）を自動走行した。申請者はこの実証実験全てにおいて助手席でシステムオペレーターとして加わり自動運転システムの開発に参画した。このプロジェクトで、様々な土地での自動運転実証実験で遭遇した申請者の経験をもとに自動運転バスの安全性を向上する検討・提案を行い、6件の国内学会発表（1件登録済み）、5件の国際会議（1件 accepted）2編の学术论文を発表した（SCOPUS 掲載4件（内定1件）、Web of Science 掲載2件（内定1件））。

第2部では上記の学術発表内容のうち申請者が主体的に開発にかかわった内容を詳解している。申請者が第1著者として開発にかかわり学位申請に用いる学术论文2報の提案をそれぞれ詳解した2つの章と、プロジェクトで検討・提案を行い申請者が主体的にかかわった提案を1つにまとめた章を合わせた合計3章で詳解する。

まず初めに、煙霧下における車載カメラによる障害物検知能力を高める煙霧除去手法を提案した。ヘイズ（煙霧）等が原因で自動車や歩行者などの障害物が検出しにくくなることがあるので、ヘイズ除去法はこの悪天候における自動運転車の安全性向上という課題に有効な手法の一つである。現在のところ Deep Learning などを利用した速度より性能を優先させる研究が多く、自動運転に必要な速度を性能と両立させる研究は必ずしも多くない。さらに、障害物検出性能に基づいてヘイズ除去性能を評価した研究はない。申請者は He'09, Gibson'12, Liu'13 による煙霧に関する Narasimhan の物理モデルに基づくヘイズ除去を改良した新たな高速ヘイズ除去手法を提案した。ヘイズ除去のベンチマーク画像において He'09, Gibson'12, Liu'13 の手法や同様に高速な処理を目指した Cai'16 の手法より PSNR や SSIM が優れていることを示した。また Yolo 等を利用した自動車検出実験において、これらの手法のうち最高の成績を持つものに比肩する性能を持つことを実験的に示した。さらに速度も 640×480 画素の画像で 60FPS 以上であり、この手法は自動運転車の安全性向上に役立つことが期待される。

次に、自動運転実証実験用のドライブレコーダーを提案した。自動運転実証実験ではヒヤリハットや事故を完全に避けることは難しいが、同じ原因のヒヤリハットや事故に遭うことが二度とないようにするためにはその原因を正確に分析する必要がある。自動運転の PC は Linux/ROS で動いており Linux/ROS には標準のログに rosbag があるが、Linux がリアルタイム処理ではないのでこのログを再生・分析するだけではヒヤリハットや事故が再現できるとは限らず、これらの原因究明が十分にできるとは限らない。さらに、自動運転実証実験の記録では車両の周辺情報、テイクオーバーリクエストに対する運転手の動作やテストドライバーとは別の自動運転システムを監視するシステムオペレーターの操作画面の記録も重要である。そこで、車両の全方位カメラ、鳥瞰図とオペレーターの操作画面及び運転席の映像を記録する自動運転実験車両用のドライブレコーダーを開発した。

最後に、プロジェクトで検討・提案したその他の安全確保機能についてまとめた。前述した信号のサイクル情報による信号の認識機能と環境地図とのスキャンマッチング以外のローカライザーへの切り替え機構など、本家の Autoware にはない機能を提案し、SAIKO CAR WARE（埼玉工大版の Autoware）に新たに実装した。建物が多い市街地で GNSS の測位誤差は大きいですが、スキャンマッチングの精度が高い所は NDT スキャンマッチングを用い、建物が少なくスキャンマッチングの精度が悪い代わりに、GNSS の測位誤差が小さい所は

GNSS ローカライザーを利用できるようにした。更に、走行中の車両後輪の中心から計画経路までの距離や角度が閾値を超えたとき、車速に基づいて設定されたステアリングの操舵角が閾値を超えたとき、位置推定の誤差が大きくなってきたとき、安全に停止できる距離にて信号識別ができていないとき（逆光、貨物車両が立ち往生して見えない、信号が停電で付いていないとき）のような様々な危険状況が発生しそうなときには、安全を確保するため、上位 PC からテイクオーバーリクエストをテストドライバーに出し自動運転モードを切るフェールセーフ機能を新たに実装した。最後に、実験車両走行中、自動運転システムを監視するシステムオペレーターは CAN データ、各機器の健康状態、信号のサイクル情報、ローカライザー情報（後述）や計画経路までの距離など数多くの情報に気を配り続ける必要があり、疲労による見落としの懸念もある。そこでこれらの情報をコンパクトに表示し、継続的な実験での疲労による見落としがなくなるような工夫をしたシステムオペレーター用の GUI を新規開発した。

2 審査意見：

本論文は埼玉工業大学の自動運転プロジェクトで開発した自動運転バスを用いた実証で、申請者が遭遇した経験をもとに自動運転バスの安全性を向上する検討・提案を行ったものである。第1部は申請者が参加した大学の自動運転プロジェクトの概要について、第2部はこのプロジェクト中に発表された研究発表で、申請者が筆頭著者となる2報の学術論文についての詳解と総括である。第2部では、煙霧下における車載カメラの障害物検知能力を高めるために開発した精度と速度を両立させる煙霧除去手法、および、自動運転実証実験中に遭遇するヒヤリハットや事故の原因の分析を容易にするため、自動運転実証実験中の車両データ、車両の周辺状況、テイクオーバーリクエストに対するテストドライバーの動作、オペレーターの動作を一度に記録する自動運転実験車両用のドライブレコーダーについて詳解した。さらに、その他、当該プロジェクトで申請者が主体的に検討・提案し、国際会議論文で発表したフェールセーフ機能、位置推定の切り替え機構などの安全確保機能について詳解した。本研究で得られた知見は自動運転実証実験の安全性の向上に寄与するところが多い。当審査委員会は、令和2年8月27日に審査委員並びに関係教員出席のもとに、論文の最終審査及び最終試験を行った。その結果、情報工学に関する学力、および英語に関し十分な学力があるものと認定し、本論文を博士（工学）の学位論文として合格と認める。

3 学位に付記する専攻分野の名称（いずれかを○で囲む）

工学

学術

4 学位を授与できるか否かの意見

1) 審査結果（いずれかを○で囲む）

① 学位論文及び最終試験の判定

合格

不合格

2) 意見

学位申請者の報告を審査した結果、申請者の論文は博士学位論文に適している。