

2023年 8月 28日

豊橋技術科学大学長 殿

情報・知能工学 専攻

学位審査委員会

委員長 岡田 美智男



## 論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	Oskar Natan	学籍番号	第 209302 号
申請学位	博士 (工学)	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 情報・知能工学 専攻
博士学位 論文名	Deep Perception-Action Coupling and Sensor Fusion for End-to-end Autonomous Driving (End-to-end自動運転のための深層学習に基づく知覚-行動結合とセンサフュ ージョン)		
論文審査の 期間	2023年 7月 13日 ~		2023年 8月 28日
公開審査会 の日	2023年 7月 20日	最終試験の 実施日	2023年 7月 20日
論文審査の 結果※	合格	最終試験の 結果※	合格
審査委員会(学位規程第6条)			
学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。			
委員長	栗山 繁		
委員	垣内 洋平		三浦 純
		印	印
		印	印

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

## 論文内容の要旨

近年、自動運転技術の進展は目覚ましく、すでに多くの実用例がみられる。実用化されている自動運転システムでは、認識や動作生成などの処理モジュールを順に連結した構成となっており、個々の処理モジュールごとに開発できるという利点はあるものの、システム全体を適切に設計することは難しい。そこで、End-to-end自動運転と呼ばれる、カメラや距離センサからのデータを入力として自動車の制御量（ステアリング、アクセル、ブレーキ）を直接計算する単一の深層学習モデルを獲得するアプローチが注目を集めている。End-to-end自動運転では、人間による運転の履歴を基に教師あり学習によりモデルを獲得するため、個別のモジュールの開発やモジュール間の調整が不要となり、その潜在的な有用性は高い。本論文は、End-to-end自動運転に関する課題として、モデルの複雑さへの対応や学習の効率性向上を指摘し、それらを解決するための新たな手法についての研究をまとめたものである。第1章では、研究の背景、対象とする問題の定義、研究目的と本論文の貢献、論文構成について述べている。第2章では関連研究について述べている。第3章では、複数のセンサ情報の処理を効率的に学習するための学習法について述べている。第4章では、End-to-end自動運転の深層学習モデルを提案し、運転シミュレーション環境での評価を行っている。第5章では、前章で提案したモデルを実ロボットに適用し、実環境でのEnd-to-end自動運転が可能であることを示している。第6章では、前章のモデルを改良し、夜間など十分な照明が得られない環境下でも動作可能なシステムを構築し、実環境での評価を行っている。第7章では、本論文の成果をまとめるとともに、今後の課題と展望を述べている。

## 審査結果の要旨

自動運転のさらなる高度化には、多様な天候や交通状況に対して頑健なシステムの実現が重要である。そのような環境の多様性に対してアルゴリズムの工夫のみによって対応することは難しいため、大量の運転データから自動運転モデルを自動的に獲得できることが望ましい。本論文では、End-to-end自動運転と呼ばれる、センサデータから運転の制御量を直接計算する深層学習モデルを学習によって獲得するアプローチを対象とし、新たなネットワーク構成と効率的な学習手法を提案するとともに、シミュレーション環境および実環境での実験を通してそれらの有効性を検証しており、高い新規性を有する。

本論文の主要な成果は以下のようにまとめられる。1) 複数のタスクを同時に行うモデルの学習において、タスク間の学習速度を適切に調整するための学習アルゴリズムを提案している。複数種類のセンサ情報を統合して道路環境の構造や物体検出など複数のタスクを行うコンパクトなモデルを設計し、提案する学習アルゴリズムを適用することにより、従来手法に比べ性能が向上することを示している。2) End-to-end自動運転のための新たな深層学習モデルを提案している。運転シミュレーション環境を利用して学習データの獲得とテストを行い、多様な天候や状況に対して従来手法に比べ性能が大幅に向上することを示すとともに、提案するデータ表現手法の有効性を、モデルの各構成要素の有効性を個別に評価するAblation studyにより示している。3) 提案モデルを実移動ロボットの制御に適用し、実環境でのEnd-to-end自動運転の有効性を示している。実環境で収集した運転データに基づくモデル学習と自動運転実験により、従来手法に比べ性能が向上することを示している。また、レーザ距離センサのみを周囲認識用センサとして利用するように改良したモデルを提案し、照明条件の変化に頑健な自動運転システムが実現できることを示している。

これらの成果は学術的に高い評価を受けるとともに、自動運転やロボティクスに関連する分野への幅広い応用が期待される。以上より、本論文は博士（工学）の学位論文に相当するものと判定した。