

論文審査の結果の要旨

氏名：関 弘 翔

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：車両下影に基づく先行車両検出に関する研究

審査委員：（主査） 教授 細 野 裕 行

（副査） 教授 香 取 照 臣 特任教授 泉 隆

現代社会において道路交通事故は深刻な社会問題である。事故類型別割合の中で、脇見運転などの安全運転義務違反が 75%と最も多く、ドライバのヒューマンエラーが原因で発生する追突事故が最も多い。ただし、直近の 12 年間ににおける事故発生件数及び死傷者数は減少傾向にある。これは ITS（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）の 9 つの開発分野の 1 つである「安全運転の支援」における研究成果が貢献している。追突事故の防止・低減を実現する ADAS（Advanced Driver Assistance System：先進運転支援システム）には「衝突被害軽減ブレーキ」があり、国土交通省と経済産業省は、2020 年までに新車の 9 割以上を運転支援車とする目標を設定している。しかし、現行車の多数は非搭載車であり、後付けで搭載するタイプの衝突被害軽減ブレーキシステムの普及にはコストなどの点で依然課題が残っている現状があり、安価で後付け設置が容易なシステムの実現は急務である。ADAS の中で有力な手段は、カメラを利用した画像処理による先行車両検出であり、本論文は、追突事故の防止・低減を実現する ADAS で重要な技術となる先行車追跡システムに関する研究をまとめたものである。

具体的な目的は、単眼カメラを利用した手法の利点に着目し、単眼車載カメラとコンピュータを利用した画像処理による先行車両検出システムを構築することである。論文では、後付け可能なドライブレコーダなどへの組み込みを目指し、車載単眼カメラを利用した運転自動化技術レベル 1, 2 相当の ADAS へ応用可能なシステムを提案している。最初にリアルタイムで動作する先行車両検出及び追跡の実現のため、路面白線エッジ特徴を考慮したエッジ重畳による新しい白線抽出方法を提案し、有効性を実証している。さらに、先行車の車両下にできる路面上の影に着目し、単眼視による車間距離推定を提案し、検証を経てその有効性を実証している。また、Particle Filter による影らしさと車両らしさを考慮した車両下影追跡システムを構築し、実験により昼夜・天候に依らない高精度な追跡が可能であることを実証している。

本論文は、車載単眼カメラを利用した画像処理による先行車両検出システムの研究・開発の成果を論じたものである。このように、本研究は、社会に与える影響および技術水準も高いものであり、以下、論文の章立てに沿って審査の内容を報告する。

本論文は 5 章から構成されている。

第 1 章の「序論」では、本研究の全体概要、課題と位置付け、さらに提案の目的と特徴に関して論じている。この章で研究意義をわかりやすく説明しており、その内容も妥当である。

第 2 章の「白線エッジ特徴を考慮したエッジ重畳による白線抽出」では、道路上の白線抽出に関して、関係する先行研究手法と導き出される本論文の新たなアルゴリズムに関して述べている。先行研究手法を調査した結果として、かすれや破線などの少ない白線候補点からも頑健に白線を抽出しようとする検討が多く、計算コストが高くなる傾向があることを論じている。本論文では、エッジ重畳による白線候補点の補完に基づく軽量の白線抽出アルゴリズムへ発展させたことを論じ、様々な道路種別、時間帯、天候における白線抽出実験を行い、提案手法を構築するためのいずれの要素もあらゆる環境において効果的に働くという結果を示している。白線抽出アルゴリズムは、先行車両検出における処理領域を限定するための重要なツールであり、白線候補点抽出の頑健性を向上させつつ軽量化に成功した本論文のアルゴリズムはオリジナルな研究成果として高く評価できる。

第 3 章の「車両下影抽出と車両識別による影に着目した先行車両検出」では、影に着目した先行車両検出の関連研究と提案アルゴリズムの位置付けに関して述べ、局所的な特徴に着目した車両下影抽出に

よる仮説生成と、車両背面全体の特徴を学習した識別器による仮説検証の統合による検出アルゴリズムの理論に関して説明している。具体的には、第2章で提案した手法により抽出する白線を用いることで高速かつ高精度に処理領域を限定し、この領域内の統計量と局所的な特徴に着目した車両下影抽出することで事前に設定する条件を最低限にして計算コストを抑え、様々な道路シーンに対応できることを、実験を通して示している。従来法と異なる、車両下影による仮説生成と車両識別器による仮説検証を統合した本論文の手法が、低コスト・高速・高精度であることをわかりやすく説明できている。

第4章の「Particle Filterによる影らしさと車両らしさを考慮した車両下影追跡」では、物体追跡に関する他手法と関連して、本研究の位置づけを論じ、車両領域と車両下影領域を同時に追跡する必要性を述べている。さらに、尤度特徴を設計することで柔軟な追跡が可能なParticle Filter (PF) を応用し、影らしさと車両らしさを考慮した車両下影追跡を実現するアルゴリズムを提案している。第3章と同様に、車両追跡実験を行い、安全運転支援システムとしての評価を行っている。その結果、本アルゴリズムを用いることで、平均10ms程度かつ、Kernelized Correlation Filterよりも高精度に領域と下影を追跡し、影追跡が困難と考えられる雨天・逆光・夜間の実験シーンにおいても進行方向に対する平均座標誤差1pixel程度で良好に追跡可能であることを示している。車両領域と車両下影領域を同時に追跡するというアイデアは、研究者としての柔軟な思考力の証として評価できる。

第5章の「結論」では、本論文の成果と課題に関して論じている。具体的には、一般道や晴雨・昼夜・逆光などの環境を対象とし、「白線エッジ特徴を考慮したエッジ重畳による道路白線抽出」「車両下影抽出と車両識別による影に着目した先行車両検出」「Particle Filterによる影らしさと車両らしさを考慮した車両下影追跡」に関する本研究により、距離推定機能を有する追加設置可能なADASの要素技術を構築したことを論じている。課題としては、車両検出と車両下影追跡を組み合わせたシステムとしての実装方法について検討する必要があると述べている。

本論文は、安全運転支援システムの基盤技術として、単眼車載カメラとコンピュータを利用した画像処理による先行車両検出システムとして、従来にない距離推定機能を有する高精度に先行車両の追跡を行う新しい試みとして高く評価できる。提案手法の実証結果より、現行のAEBS非搭載車両への対応として重要な要件である追加設置容易な衝突警報システムを、後付けで搭載することを実現できる。具体的には、破線や、かすれの白線候補点そのものを補完するエッジ重畳を基にした頑健で軽量の白線抽出手法を提案したこと、車両下影による仮説生成と車両背面の画像特徴を学習した識別器による仮説検証を統合した車両検出手法を提案および、特徴点に基づく影らしさと領域に基づく車両らしさをPFにより同時に考慮する高精度な車両下影追跡手法を提案し、一般道や晴雨・昼夜・逆光などの環境を対象とし、距離推定機能を有する関単に追加設置可能なADASの要素技術を構築したことは大変意義深いものである。

本研究の成果により、既存の車両に後付けで高度な先行車両検知システムを簡易・安価に構築・搭載できるようになり、高齢者等の事故防止に資すると期待される。これは、内閣府が進める中央交通安全対策会議でも取り上げられている、車の情報化技術の一躍を担うことで、大変有意義なものである。

提出者は、本論関連論文で電気学会産業応用部門優秀論文発表賞を2回受賞するなど、ITS技術研究分野での注目度は高く、最新技術に対応する先進的研究開発を推進する役割を期待できる。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令和2年10月22日