

# 論文の内容の要旨

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

交通事故は、平成 30 年においても依然として年間約 43 万件発生している。その多くは、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であり、この防止低減を目的に ITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム) の開発分野の一つ、「安全運転の支援」に位置づけられる ADAS (Advanced Driver Assistance Systems: 先進運転支援システム) の研究・開発が進められている。代表的なものに「AEBS (Advanced Emergency Braking System: 衝突被害軽減ブレーキ)」があり、2021 年 11 月より国産の新車を対象に搭載を義務付けることが決定された。一方で衝突被害軽減ブレーキ機能を持たない現行車への対応にはコストなどの面で課題が残る。

そこで、現行車への追加設置容易なドライブレコーダなどの単眼車載カメラを対象に、単眼視による距離推定までを見据えた先行車両検出に関する研究を行った。単眼視による距離推定を実現するため、先行車両の特徴として車両下影と呼ぶ車両下にできる路面上の影に着目する。この特徴は、3 次元空間上の高さが路面上に拘束されるため、カメラを路面と水平に設置した上で、焦点距離などのカメラパラメータや設置高さを用いることにより画像上での位置を 3 次元空間上の奥行、すなわち距離に換算できる。単眼視により車両を検出し距離推定までを考慮する研究はいくつかあるが、検出矩形の下端を路面接地と仮定して距離推定を行うものにとどまり、より厳密に路面接地すると考えられる車両下影を利用するものは見当たらない。また、車両下影を車両の特徴として用いる手法はいくつかあるが、車両が存在し得る候補領域（仮説とする）の生成にとどまり、機械学習を用いた識別器などによる詳細な仮説検証処理と統合した車両検出手法は見当たらない。さらに、車両追跡にまで対象を広げた際、車両を表す特徴の一部として車両下影を含むものはあるが、車両下影そのものを追跡対象にまでする手法についても検討されていない。

以上より本論文では、車両下影を効果的に用いることによる単眼視での距離推定までを見据えた、リアルタイムで動作する先行車両検出及び追跡の実現を目的とする。このために、仮説生成における計算効率化としての道路白線（道路区画線）抽出、車両下影を用いた仮説生成と車両背面画像の局所特徴量を学習した識別器による仮説検証を統合した先行車両検出、車両下影の特徴と車両領域の特徴の統合による車両下影追跡の手法をそれぞれ提案し、実験により有効性を検証した。本論文の成果は、一般道や晴雨・昼夜・逆光などの環境を対象として、路面上に拘束される車両下影を効果的に用いて先行車両を頑健に検出できたことである。本論文は 5 つの章から構成する。以下にその概要を示す。

## 第 1 章 序論

第 1 章では、本論文の背景として交通事故の発生状況や、AEBS に代表される ADAS の現状について述べている。さらに本論文で対象とする先行車両検出の関連研究について述べた後、車両下影に着目して先行車両検出を行う本論文の目的について述べ、最後に本論文の構成について述べている。

## 第 2 章 白線エッジ特徴を考慮したエッジ重畳に基づく道路白線抽出

第 2 章では、道路白線抽出の関連研究について述べた後、本論文で提案する、白線エッジの特徴を考慮したエッジ重畳による道路白線抽出について述べている。白線抽出は、路面と道路白線に生じる輝度差、すなわちエッジを白線候補点として抽出し、得られた白線候補点から直線を白線として抽出したり、白線を模した直線や曲線のモデルに適合したりする手法が基本となる。従来手法は、破線状の白線やペイントかすれなどにより白線候補点が少ない場合、その少ない白線候補点からでも頑健に白線を抽出できるようにする取り組みが多い。しかし、白線候補点が少ない場合一つ一つの寄与が大きくなるため、雑音に頑健なエッジ抽出手法や白線抽出手法が求められる。また、頑健性を担保しつつも少ない白線候補点を漏らさず抽出する必要もあり、その両立が課題であった。本論文では、抽出した時系列のエッジ画像を重ね合わせるエッジ重畳により候補点を補完することで、単純な処理により破線状の白線も抽出できる軽量な手法

を構築した。具体的には、効果的なエッジ重畳を実現するための白線エッジ特徴を利用したエッジ抽出、リングバッファを用いたエッジ重畳、及び二段階で適用する連結画素走査を組み合わせた提案手法を構築した。実験により、平均処理時間 2ms で高速に動作し、高速道路昼晴天及び、道路標示やワイパーの影響を受ける一般道雨天の昼夜の環境において有効に働くことを明らかにした。

### 第3章 車両下影に着目した車両識別による先行車両検出

第3章では、車両下影に着目して先行車両を検出する関連研究について述べた後、本論文で提案する車両下影に着目した車両識別による先行車両検出について述べている。従来の影に着目した先行車両検出手法は、エッジで囲まれる走行可能領域内の輝度値が正規分布に従うという仮定のもとに影を抽出する手法に基づくものが多く、その発展としてエッジ情報を加えて利用するものもあるが、事前に設定するエッジの閾値を必要とする。さらに車両下影抽出と車両背面の特徴を学習した識別器などによる検出を統合して車両検出を行う検討はなく、車両下影の抽出をもって車両検出とするのは信頼性に欠ける点が問題としてあった。本論文では、輝度値が低いという影の特徴に基づき統計量と局所的な特徴を用いて車両下影候補を抽出し、かつ車両下影の上部領域に対して機械学習により構築する車両識別器を適用して車両の有無を識別する2段階を踏むことで、車両としての信頼性を担保する先行車両検出手法を提案した。実験により、平均処理時間 20ms 以内で動作し、一般道夜雨天の実験環境においても提案手法が有効に働くことを明らかにした。

### 第4章 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

第4章では、一般的な物体追跡や、車両下影を利用して先行車両の追跡を行う関連研究について述べた後、本論文で提案する、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基づく先行車両追跡について述べている。画像中の物体追跡においては、追跡対象を領域に基づいて処理し、検出しながら追跡する Tracking-by-detection と呼ばれる手法が主流である。本論文の追跡対象である車両下影は、車両領域の一部に含まれるため、領域に基づいた車両追跡により影も合わせて追跡できるように思われるが、領域に基づいた追跡は通常物体領域の中心を精度良く追跡するため、一般的な追跡手法では物体領域に対して端に位置する影の特徴は重要視されない問題があった。加えて車両下影は、車両背面のように形状を表す特徴が良く現れる領域に対して現れる特徴も少なく背景に紛れやすいため、車両下影を領域中心においた追跡では車両を領域中心においた追跡ほどの性能が発揮できない問題もあった。また、車両下影を利用して先行車両追跡を行う他の手法は、車両らしさを表す特徴の一つとして車両下影を用いているに過ぎず、追跡対象とするわけではないため、車両下影追跡を実現し得るものではなかった。さらに多くの追跡手法では、追跡対象がある領域内におおよそ収まっていれば追跡成功となるが、本論文においては単眼距離推定への応用を前提としており、車両下影座標の正確な追跡を実現する手法が求められるため、それらを解決する新しい手法を提案した。具体的には、追跡対象としての尤もらしさ、すなわち尤度を基にモンテカルロ法により物体追跡を行う Particle Filter を利用して、その尤度を表す特徴に、輝度及びテクスチャによる影らしさと物体追跡手法の KCF を応用する車両らしさを組み合わせた車両下影追跡手法を構築した。実験により、車両下影追跡が困難と考えられる夜間、雨天、逆光といった環境にも対応し、高精度に車両下影の追跡が行えることを明らかにした。

### 第5章 結論

第5章では、結論として本論文の成果と今後の課題について述べている。本論文は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することで、自動車への追加設置容易なドライブレコーダを利用した前方車両衝突警報システムなどの ADAS へ応用可能な要素技術の開発を目指した。本論文の成果は、一般道や晴雨・昼夜・逆光などの環境を対象として、路面上に拘束される車両下影を効果的に用いて先行車両を頑健に検出できたことである。この成果は、距離推定機能を有し、追加設置可能な ADAS のための要素技術としての貢献が期待できる。