

氏 名 永島 徹  
学 位 名 博士（システム情報科学）  
学 位 記 番 号 第 4 3 号  
学位授与年月日 令和元年9月19日  
学 位 論 文 題 目 低解像度 LIDAR を用いたスキャンライン数の変化にロバストな物体分類手法に関する研究

論文審査委員 主査 松原 仁  
副査 鈴木 恵二  
副査 長崎 健  
副査 三上 貞芳

## 論 文 要 旨

本論文では、量産車へ向けた安価な周辺監視システムを提供することを目的として、低解像度 LIDAR を用いたスキャンライン数の変化に対してロバストな物体分類手法に関する研究について述べる。具体的にスキャンライン数が変化する状況として、スキャンラインが欠損する場合と LIDAR の設置高さを変化させた場合についてロバスト性を検証した。

交通事故死者数や交通事故の削減を目的とし自動車メーカー各社は先進運転支援システム（ADAS; Advanced Driving Assistant System）あるいは自動運転車の開発に取り組んでいる。ADAS や自動運転車向けのセンサには主にカメラ、ミリ波レーダ、LIDAR がある。LIDAR は、赤外線レーザを照射して反射光から物体までの位置を測定するセンサである。赤外光を自身から照射することから、夜間でのセンシング、トンネルなどの明暗の切り替わりが激しい場所、雨天時など周囲の環境に左右されずに安定したセンシングできる。また、距離分解能が高く物体の外形をとらえることができる。カメラ、ミリ波の弱点を補完する ADAS/自動運転車には必須のセンサとされている。

LIDAR から得られる点群データを用いた物体認識に関する研究は古くから行われてきた。手法に注目すると、特徴量を SVM などの分類器で識別する従来の機械学習に基づく手法と近年急速に発展した深層学習を応用した手法に大別される。LIDAR のスペックに注目すると、高解像度 LIDAR と低解像度 LIDAR を用いた研究に分けられる。ADAS/自動運転車の周辺監視システムのためには、交通環境に登場する様々な物体をとらえる必要があり、多クラス分類ができる深層学習が向いている。量産車向けを対象にしていることを考慮する

と比較的安価な低解像度 LIDAR を用いることが望まれる。

本研究では、スキャンラインの本数が 10 本前後と比較的垂直分解能が低い低解像度 LIDAR を用いて、スキャンラインごとに独立した認識をする前段と、前段の結果を統合して最終的な結果を得る後段からなる深層学習に基づく二段構成認識手法を提案した。性能を評価するために、歩行者、自転車、自動二輪、車両、その他の物体を実機 LIDAR にて計測し、高い正解率で分類した。さらに、このようにスキャンラインごとに独立した構造をとることで、提案手法はスキャンラインの欠損に対するロバスト性が向上する。これを検証するために、スキャンラインが欠損した歩行者データに対して、LIDAR データを深度画像に変換して畳み込みニューラルネットワーク (CNN) により分類する手法と比較をし、提案手法が優位であることを示した。

次に、提案手法が LIDAR の設置高さに依存した学習をすることに対し、これを抑制する改良を加えた。量産車では車種ごとに車高が異なるため、LIDAR の設置高さに依存した学習をすると、車種ごとに再学習の必要性が生ずる。LIDAR の設置高さに依存した学習を抑制することを目的として、提案手法の前段と後段の間にプーリング層を追加した。ドライビングシミュレータソフトにて設置高さの異なる LIDAR データを生成し、改良の効果を検証した。

#### 審査結果の要旨

本学位論文では、低解像度 LIDAR を物体分類に用いるときにスキャンライン数の変化にロバストな手法、具体的にはスキャンラインが欠損する場合と LIDAR の設置位置高さを変化させた場合にロバストな手法について述べている。スキャンラインごとに独立した認識をする前段と前段の結果を統合して最終的な結果を得る後段からなる深層学習に基づく二段構成方式を提案し、歩行者、自転車、自動二輪、車両その他の物体を実機 LIDAR で計測して高い正解率で分類できることを示した。畳み込みニューラルネットワーク (CNN) との比較実験も行い、本提案の優位性を示し、将来の自動運転における実現可能性を示唆した。

よって本学位論文で提案された内容は学位授与に値するので、合格と判定する。

本論文は従来の低解像度 LIDAR を用いた物体分類手法がスキャンライン数の変化にうまく対応できなかったことに注目してスキャンライン数の変化にロバストな手法を提案してその有効性を実験によって示したものである。

交通事故の死者数や件数の削減を目指して自動車メーカーは先進運転支援システム (ADAS: Advanced Driving Assistant System) や自動運転車の開発に取り組んでいる。ADAS や自動運転車向けのセンサーとしては主にカメラ、ミリ波レーダ、LIDAR がある。その中で LIDAR は赤外線レーザを照射して反射光を受けることで物体までの距離を測定するセンサーであ

る。赤外線を自身から照射するので夜間でのセンシング，トンネルなど明暗の切り替わりが激しい場所，雨天時など周囲の環境の変化に左右されずに安定したセンシングができるという特徴を持っている。また距離分解能が高く物体の外形を捉えることができる。以上のことからカメラやミリ波レーダの弱点を補完するLIDARは重要である。

LIDARには高解像度と低解像度とがあるが，量産車向けを対象とすることを考慮すると比較的安価な低解像度LIDARが有望である。よって本研究では低解像度LIDARを取り上げることとした。

低解像度LIDARを用いた従来の方法はスキャンライン数の変化にうまく対応できなかった。ここではスキャンライン数が変化する理由として，

- ① オクルージョンなどでラインが欠損する場合
- ② LIDARの設置高さが変化する場合
- ③ 異なるスペックのLIDARを利用する場合
- ④ LIDARの仰角/俯角が変化する場合

の4通りに分類し，そのうちの①と②に対応できる手法として，スキャンラインごとに独立した認識をする前段と，前段の結果を統合して最終的な後段からなる深層学習に基づく二段構成認識手法を提案した。性能を評価するために歩行者，自動車，自動二輪，その他の物体を実機LIDARで計測し，高い正解率で分類することができた。他の手法とも比較して本手法の優位性を示した。

上記の提案手法がLIDARの設置高さに依存した学習をすることに対して，提案手法の前段と後段の間にプーリング層を追加して改良した手法を提案し，設置高さの異なるLIDARに対して有効に働くことを実験によって確認した。

総括すると本論文は実用可能性が高いと思われる低解像度LIDARによってロバストな物体分類ができるようにスキャンラインごとに独立した認識をする前段，中間のプーリング層，そこまでの結果を統合して最終的な結果を得る後段という仕組みを提案し，実験によってその有効性を示したものである。これは人工知能，物体認識，機械学習などの領域にまたがる研究として意味のある知見である。本論文の研究内容は国際会議に2回発表し，国内学会誌に2件投稿している（1件は受理，もう1件は審査中）。

以上より，システム情報科学での新しい成果として意義があると判断し，学位論文として十分に値するものと結論し合格と認定する。