

令和 6 年 5 月 20 日現在

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03985

研究課題名（和文）自動運転信頼度の飛躍的向上を目指した言語モデル導入による深層学習新手法の研究

研究課題名（英文）New Approach to Deep Learning by Introducing Language Model for Drastic Improvement of Automated Driving Reliability

研究代表者

秋田 時彦（Akita, Tokihiko）

豊田工業大学・工学（系）研究科（研究院）・特任上級研究員

研究者番号：20564579

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：未学習データに対する駐車車両の形状復元精度を向上するための、半教師あり学習手法を創出した。計測した実環境データに対して、駐車車両の正解形状を大量に生成することは困難で精度低下が生じている。これに対して本手法は少量の教師付き学習データのみで精度向上を図るものである。これを仮想正解値生成と能動学習、一貫性正則化の手法を組合せて実現した。仮想正解値の生成のため、VAEによる自己教師あり学習を用いる方法と、推定形状の正解形状モデルとの整合性から判定する方法を創出した。この手法により、教師データ16%のみで、80%での限界性能と同等以上の駐車車両形状の推定精度が得られることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

深層学習の認識精度は学習データに依存する。そのために大量の正解値が必要であるが、コストの課題がある。本研究では少ない正解値で、大量の正解値付与の場合と同等の性能を得られることを示し、課題解決策を提案した。特に物体形状推定における半教師あり学習の手法は研究例が少なく、新しい可能性を示すものである。ここではミリ波レーダを用いた駐車車両形状復元を対象とした。ミリ波レーダは耐環境性が最も高いが、分解能が低くノイズが多いため、画像より遥かに正解値生成コストがかかるため、これを低減することは特に有効である。ソナーによる駐車支援をミリ波レーダ流用に置き換えることにより、低コスト化と意匠改善できる。

研究成果の概要（英文）：A semi-supervised learning method was created to improve the accuracy of parking vehicle shape reconstruction for unlearned data. It is difficult to generate a large number of correct shapes of parking vehicles for measured real-world data, resulting in a loss of accuracy. In contrast, this method improves accuracy with only a small amount of supervised training data. This was achieved by combining pseudo correct value generation, active learning, and consistency regularization methods. For the generation of pseudo correct values, we created a method that uses self-supervised learning with VAE and a method that determines the consistency of the estimated shape with the model of the correct shape. With this method, we confirmed that with only 16% of the supervised data, the accuracy of estimating the shape of a parking vehicle is equal to or better than the marginal performance at 80%.

研究分野：情報科学

キーワード：深層学習 半教師あり学習 Variational Autoencoder 能動学習 ミリ波レーダ 駐車車両形状推定

1. 研究開始当初の背景

自動運転の環境認識において、高精度な深層学習の利用は必要不可欠である。しかし、認識精度は学習データの質に大きく依存しており、学習された環境では高精度に認識できるが、学習データには無い環境では大きな誤りが発生する可能性がある。これは安全性が重要な自動運転には致命的であり、抑止しなければならない。しかし、深層学習は帰納法の枠組みであり、未学習データに対する精度の保証は不可能である。学習データの拡張を行うことが解決手段の一つで、インターネット上で入手できる一般的な知識を転移しようと試みたが、本研究対象の駐車シーンの復元に関して、著作権などもあり、一般的な駐車シーンデータの入手は困難であった。そこで、計測した大量のデータを用いることで学習データを拡張し、そこで問題となる教師データの生成コストに対し、半教師あり学習で教師データ生成数を低減してその問題を解決することとした。

2. 研究の目的

大量のデータに対する教師データ生成コストを低減する、つまり生成数を低減させることを目的とする。これにより、未学習データに遭遇する可能性を低減させることで、誤りの少ない推定を実現する。

本研究対象は、ミリ波レーダを用いた駐車車両形状の推定であり、自動駐車や駐車支援に応用することができる。ここでの教師データは、ミリ波レーダの反射マップに対する駐車車両形状となる。

3. 研究の方法

クラス識別に関する半教師あり学習手法の FixMatch などの従来研究を調査解析することで、図1の独自の半教師あり学習アルゴリズムを創出した。これは、少数の正解値付きデータセットに対する深層学習の推定結果を評価して疑似正解値を自己生成して増加させ、この処理を繰り返して精度向上させる構成となっている。この疑似正解値生成は、学習済データとの類似性を評価する自己教師あり学習と車両形状のモデル知識を用いた推定結果の精度評価を用いて実現している。推定の初回のみアクティブラーニングにより、推定精度の低かったデータに対して人手による正解値生成により、より精度を向上させている。この駐車車両形状推定には、独自に設計した24層の畳み込み深層学習ニューラルネットワークを用いている。これを学習する際に、ミリ波レーダの反射マップ入力にランダムマスクによる摂動を与え、変動に頑健な推定を行っている。

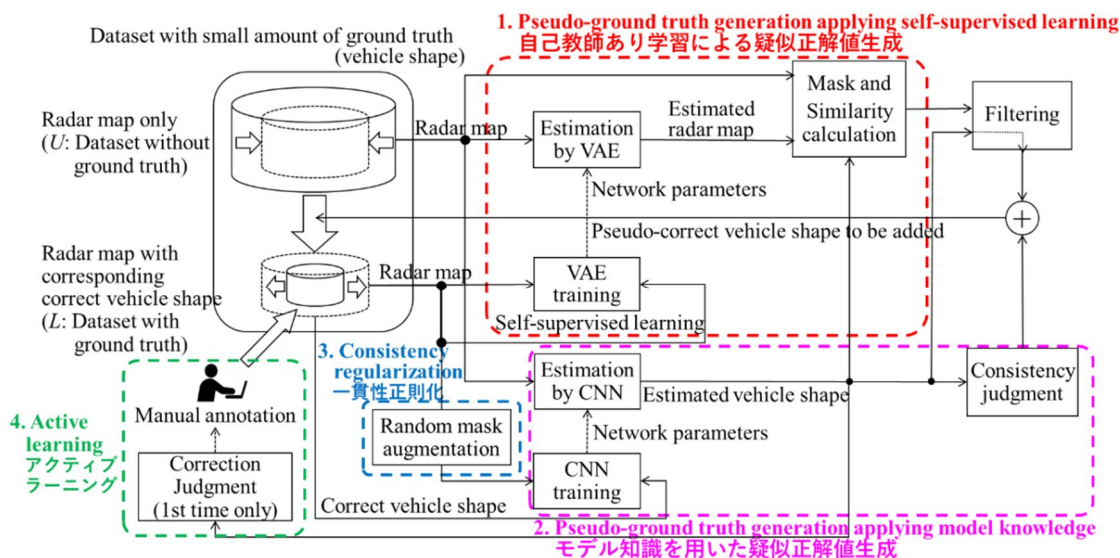


図1 車両形状推定のための半教師あり学習アルゴリズムの全体構成

このアルゴリズムを図2の実環境の市街地駐車場にて図3に示す実験車による計測を行い、その計測データからミリ波レーダ蓄積マップと対応する教師データの駐車車両形状を同時に計測したLiDARから半自動で生成し、学習用データセットを作成した。ここでは、79GHzUWBミリ波レーダを用い



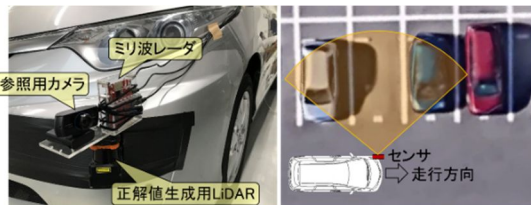
図2 実環境評価駐車シーンの例

て計測を行い、車載センサから計算した走行軌跡にて補正して蓄積した反射データマップを入力とする 2099 枚のデータセットを生成した。

4. 研究成果

このデータセットの一部に正解値を付与し、各正解値付与率に対して、ランダムに抽出した 20%の固定評価データに対して車両領域の推定精度を評価した結果を図 4 に示す。最も下のグラフは、人手で正解値を付与したデータのみに対して推定精度評価を行った従来手法の教師あり学習による推定精度である。その上のグラフがアクティブラーニングを用いない場合の結果で、約 20%の正解値付与のみで従来手法の 80%正解値付与における限界最高精度を上回った。左上のグラフはアクティブラーニングを加えた場合の推定結果で、約 16%の正解値付与のみで限界最高精度を上回った。この結果から、創出した半教師あり学習アルゴリズムにより、少ない正解値で推定精度を向上できることを確認できた。

本手法の効果の具体例を図 5 に示す。左から、ミリ波レーダ蓄積マップ、初回の推定値、本手法により繰り返し疑似正解値を生成して得られた最終推定値、正解値、である。並列、斜め、縦列駐車の場合を挙げている。この例から、ミリ波レーダマップはノイズが大きく、正確な物体形状を推定することが難しいことが分かる。初回の推定では、推定車両形状が崩壊し大きなノイズが残っており、車両推定精度は 40%程度であったが、疑似正解値の生成を 30 回繰り返して推定した後では推定精度 98%以上と正解形状に非常に近い推定が行われていることが確認できた。



(a) 計測センサ搭載図 (b) 駐車場計測イメージ
図 3 レーダ搭載図と計測イメージ

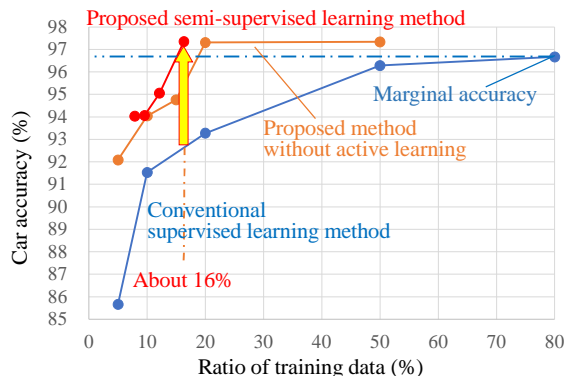


図 4 学習データ率に対する車両領域推定精度

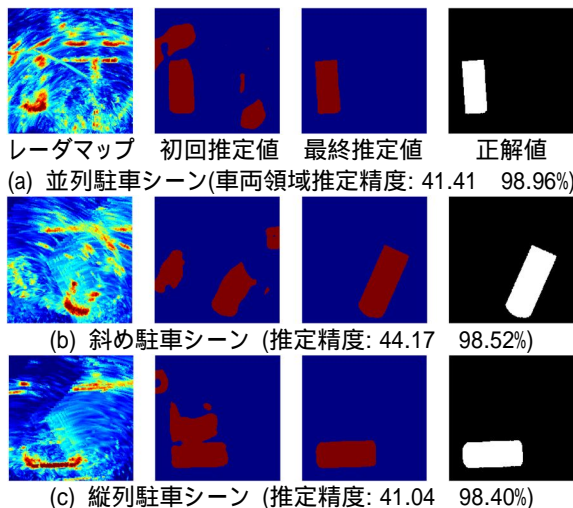


図 5 提案手法による形状推定修正効果の例

< 引用文献 >

K. Sohn, et al., "FixMatch: Simplifying Semi-Supervised Learning with Consistency and Confidence", NIPS'20: Proceedings of the 34th International Conference on Neural Information Processing Systems, pp. 596-608, 2020.

秋田時彦, "半教師あり学習を用いたミリ波レーダによる駐車車両形状の推定精度向上", 自動技術会秋季学術講演会前刷り集, No. a231280, 2023.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Akita Tokihiko, Kyutoku Haruya, Akamine Yusuke	4. 巻 13
2. 論文標題 Error Correction Method for Untrained Data to Estimate Accurate Parking Vehicle Shape by Millimeter-Wave Radar with Deep Learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Automotive Engineering	6. 最初と最後の頁 97 ~ 102
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20485/jsaeijae.13.2_97	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 秋田 時彦
2. 発表標題 イメージングレーダの世界の最新動向
3. 学会等名 自動車技術会 アクティブセーフティ部門委員会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋田 時彦
2. 発表標題 自動運転の環境認識におけるディープラーニング - 応用例, 最新動向と課題 -
3. 学会等名 日本機械学会年次大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋田 時彦, 久徳 遙矢, 赤峰 悠介
2. 発表標題 ミリ波レーダを用いた駐車車両形状推定における深層学習の確率的信頼度推定
3. 学会等名 自動車技術会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋田 時彦, 久徳 遙矢, 赤峰 悠介
2. 発表標題 ミリ波レーダを用いた駐車車両形状推定における深層学習の確率的信頼度推定
3. 学会等名 自動車技術会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tokihiko Akita
2. 発表標題 Imaging radar using deep learning
3. 学会等名 AI Automotive Summit (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋田 時彦
2. 発表標題 IEEE ITSC2023調査報告
3. 学会等名 IEEE ITSS名古屋チャプタ2023年度第2回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tokihiko Akita
2. 発表標題 Active learning with self-supervised learning for imaging radar
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Future Active Safety Technology toward Zero Accidents (FAST-zero '23) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋田 時彦
2. 発表標題 半教師あり学習を用いたミリ波レーダによる駐車車両形状の推定精度向上
3. 学会等名 自動技術会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tokihiko Akita, Seiichi Mita
2. 発表標題 Parking Vehicle Shape Estimation Using Millimeter-Wave Radar Applying Semi-Supervised Learning
3. 学会等名 The 26th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋田 時彦
2. 発表標題 自動運転の環境認識におけるディープラーニング
3. 学会等名 日本機械学会 2023年度 年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋田 時彦
2. 発表標題 半教師あり学習及び能動学習やドメイン適応を用いた深層学習によるミリ波レーダを用いた走行環境認識技術
3. 学会等名 GTC2024 Japan AI Day
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Tokihiko Akita
2. 発表標題 IMAGING RADAR APPLYING ADVANCED DEEP NEURAL NETWORK TECHNIQUES
3. 学会等名 Autonomous Vehicles USA2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Tokihiko Akita
2. 発表標題 Imaging Radar applying Advanced Deep Neural Network Techniques
3. 学会等名 ScaleUp 360° Automotive AI Europe (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋田 時彦
2. 発表標題 ミリ波レーダを用いた深層学習による環境認識 (イメージングレーダ)
3. 学会等名 第6回AIロボティクス研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋田 時彦
2. 発表標題 車載イメージングレーダの現状
3. 学会等名 2022年度自動車・モビリティフォトニクス研究会 第2回討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tokihiko Akita
2. 発表標題 Imaging radar using deep learning
3. 学会等名 AI Automotive Summit (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 秋田 時彦	4. 発行年 2022年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 7
3. 書名 月刊車載テクノロジー 2022年11月号 ミリ波レーダの基礎と最近の車載ミリ波レーダ最前線	

1. 著者名 秋田 時彦	4. 発行年 2024年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 7
3. 書名 月刊車載テクノロジー 2024年5月号 ディープラーニングを用いたミリ波レーダによる走行環境認識技術	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------