

令和 6 年 5 月 2 8 日現在

機関番号：5 7 1 0 1

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：2 1 K 1 1 9 4 9

研究課題名（和文）道路損傷検出及び地図更新のための自己学習型車載スマートビジョンシステムの開発

研究課題名（英文）Development of a self-learning in-vehicle smart vision system for road damage detection and map updating

研究代表者

松島 宏典（Matsushima, Kousuke）

久留米工業高等専門学校・制御情報工学科・准教授

研究者番号：6 0 4 1 3 8 7 9

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）：本研究では、道路損傷情報をダイナミックマップに反映させることのできるスマートビジョンシステムの開発を目的とした。まず、既存のラベル付けされた道路損傷の学習データを活用しつつ、未知の撮影データに対して自動でラベル付けを行いながら、道路損傷認識を行うシステムを開発した。次に、Visual SLAM技術利用の際に、移動物を除去することにより、マップ作成の精度向上を実現するシステムを開発した。また、物体候補領域の検出を教師なし学習を改善することにより、物体検出精度を向上させる手法や、方位情報を利用してPnP問題を解く手法も併せて開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

道路損傷の点検手法において、既存のラベル付き教師データを活用しつつ、検出結果の新規のラベル付けデータを次学習の教師データとして活用する方法は、他のパターン認識研究でも応用できるため、重要な研究となる。これにより、交通量や自然環境が常に変化する環境においても、車両に搭載されたスマートフォンやドライブレコーダなどで道路を撮影することにより、道路損傷の簡易的な点検が可能となる。また、普段の防災・維持管理にも努めることができ、自然災害発生直後にも情報を迅速かつ的確に収集し、復旧や支援に必要な不可欠な道路交通網を確保することが可能となる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to develop a smart vision system capable of reflecting road damage information in dynamic maps. First, we developed a system that performs road damage recognition by automatically labeling unknown captured data while utilizing existing labeled road damage training data. Next, we developed a system that improves the accuracy of mapping by removing moving objects when using Visual SLAM technology. We also developed a method to improve the accuracy of object detection by improving unsupervised learning for detecting candidate object regions, and a method to solve PnP problems using orientation information.

研究分野：画像認識，コンピュータビジョン，高度道路交通システム

キーワード：道路損傷認識 地図作成

1. 研究開始当初の背景

日本国内の約 80% を占める地方公共団体が管理する道路は、損傷を維持管理する明確な基準がない、専門的知識を有する人材に乏しい、

予算不足、といった諸問題により、道路本来の機能が保てない恐れや、崩壊等による 2 次被害の発生など、多くの潜在的問題が存在する。これらの問題は、例えば、平成 30 年北海道胆振東部地震や平成 28 年熊本地震など、大規模な自然災害が発生した際に顕著に表面化した。よって、これらの問題を解決するために、車両に搭載されたスマートフォンやドライブレコーダなどの簡易デバイスで道路を撮影し、深層学習と画像処理手法を利用した損傷検出が研究されている (図 1 参照)。

2018 年に、Maeda らはスマートフォン画像を利用して、SSD (Single Shot MultiBox Detector; Liu et al., 2016) を利用した領域ベースの道路損傷検出手法を発表している。しかし、本手法は木陰、点検車両のダッシュボード、舗装パターン等を損傷と誤判別することが報告されており、それらの対応策として学習データのカテゴリを増やすことが述べられている。これは、ラベル付けされた教師データを再び収集した後に学習を行わない限り、正常に判別できないことを示しており、実用化のために難しい課題である。申請者は、2014 年からコンピュータビジョンを用いた「教師なし学習」による道路損傷計測システムの開発を進めてきており、クラック、ポットホール、わだちや、道路内部の空洞情報の計測にも取り組んできた。2017 年からは、それまでの研究内容を踏まえ、「クラウド型道路損傷計測システムの開発」(若手研究(B), 課題番号: 17K18325) にて研究開発を進めてきた。これまでの研究により、コンピュータビジョンを搭載した計測車両を走行させて走行車線の道路損傷の自動計測を行い、GPS データにより損傷情報をマップ上にプロットすることを可能とした。



Fig1. Targets of this study

2. 研究の目的

申請者らはこれまで、コンピュータビジョンを用いた道路損傷計測について研究を行ってきた。本研究では、既存のラベル付けされた道路損傷の学習データを活用しつつ、未知の撮影データに対しても自動でラベル付けを行いながら、畳み込みニューラルネットワークで構成される道路損傷の識別器のシステムを更新し、道路の損傷情報をダイナミックマップに反映させることのできるスマートビジョンシステムを開発する。そのために、次のことを明らかにしていく。

- ・ビジョンセンサによって取得される撮影データに対して自動でラベル付けを行い、既知のラベル、または、未知のラベルを付与し、教師データとして活用する手法。
- ・ダイナミックマップと、Visual SLAM (Visual Simultaneous Localization and Mapping) 技術の利用により撮影データを変換して生成されるマップの 2 つを照合し、損傷情報をダイナミックマップに反映させる手法。

3. 研究の方法

道路上には様々な損傷が存在しており、それらはモビリティの事故を誘発する危険性がある。そこで、損傷を事前に検知することができれば、減速や回避といった車両の制御や操作を行うことが可能である。そのため、近年畳み込みニューラルネットワークを用いた教師あり学習による道路損傷検知の方法が盛んに研究されてきた。しかし、従来の検知手法には、継続的にシステムを運用していく中で、新たにクラスを追加して学習を行う場合、新たなクラスのデータに対してラベルを付ける必要があるという問題点がある。実環境の道路上には、様々な種類の物体や障害物が存在している。安全運転支援を考慮する際に、既知のクラスにはない新たなデータを無視することはできず、新規クラスとして追加し、再度学習する必要がある。しかし、学習するためには全ての画像に対してラベル付けを行う必要があり、これには高いコストを要する。そこで、ラベル付けをすることなく、クラスを追加して学習を行うため、UNified Objective function (UNO) フレームワークに基づいた手法を道路損傷検知に応用した。モデルについては、研究背景を考慮し、MobileNet, MobileViT 等を用いた。

一方、Visual SLAM をベースにしたシステムを構築した。SLAM はトラッキングスレッド、マッピングスレッド、ループ検出スレッドの 3 つのスレッドで並列に処理されている。トラッキングスレッドは、カメラで撮影された画像から特徴点の抽出を行い、抽出した特徴点から PnP アルゴリズムを用いてトラッキングを行う。マッピングスレッドは、画像内の点から三次元座標を求め、それらの点群によって環境地図の作成を行う。ループ検出スレッドは、現在のフレームが過去に訪れたことがあり、ループが発生しているか判定する。ループの可能性がある場合、地図上にループを作製し、ループに合わせて軌道全体を補正する。ここで、地図作成において、移動体

のような動的対象物は、処理実行時に影響を与えるとノイズとなり、トラッキング精度が悪くなることが予備実験により得られた。そこで、トラッキングスレッドに画像が入力された際、その画像の人や車両といった移動体をマスク処理し特徴抽出を行った。その際、教師なしモデルである STEGO を使用した移動物体のマスク処理を SLAM システムに統合し、マスク領域のエッジを特徴点として検出しない処理を実装した。これにより、SLAM のトラッキング、環境地図作製の際に移動体が原因により生じるノイズの低減を実施した。さらに、PnP アルゴリズムでは、Pairwise 制約を用いた最適解の探索手法を提案した。従来手法では、解の探索に分枝限定法を用いていた。分枝限定法は、分枝操作と限定操作に分けられており、分枝操作では最適解が見つかるまで探索領域を分割することで、解の上界と下界をある条件で決定する。ここで、解の上界の条件は下界よりも弱い制約となる。限定操作では分枝操作で求めた解の上界と下界から、探索領域を削減する操作である。従来手法では、探索領域に回転軸表現を用いていたが、本手法では、回転パラメータとして極座標表現を分枝限定法に適用した解の探索方法を提案した。

4. 研究成果

道路損傷検知に利用したデータセットの概要を表 1 に示す。CIFAR10 と CIFAR100 はそれぞれ一般的なデータセットであり、RDD は研究室で作成した道路画像データセットである。実験結果を表 2 に示す。RDD に関しては、MobileViT が高い精度を示した。

また、Visual SLAM の実験では Lafida データセットの indoor dynamic と学内で撮影したデータを使用した。表 3 に indoor dynamic での ATE と RPE の結果を示す。移動体をマスクすることで、SLAM の精度が改善されることを確認した。図 2 に従来手法と提案手法の軌跡の様子を示す。従来手法では、トラッキングロストが発生し、SLAM 処理が行われない箇所があるが、提案手法ではトラッキングに成功し、SLAM 処理が実行されている様子が分かる。

PnP アルゴリズムの実験結果を図 3 に示す。(a)に示すとおり、外れ値の割合の増加とともに、回転誤差も増加することを確認した。タイプ A の外れ値では、標準偏差が小さい場合、従来手法と提案手法の誤差の相違はほとんどない。しかし、標準偏差が大きくなるにつれて、提案手法が約 0.5rad 程度精度が向上した。タイプ B では、標準偏差の増減により回転誤差の相違はほとんど観測されず、従来手法より提案手法の回転誤差が約 0.5rad 程度小さくなった。(b)に示す実行時間については、標準偏差が大きくなるにつれて実行時間が増加した。従来手法では、実行に最大約 1000msec を必要としたが、提案手法では約 1msec で実行することができ、大幅に処理時間を削減することができた。

TABLE 1. Data sets

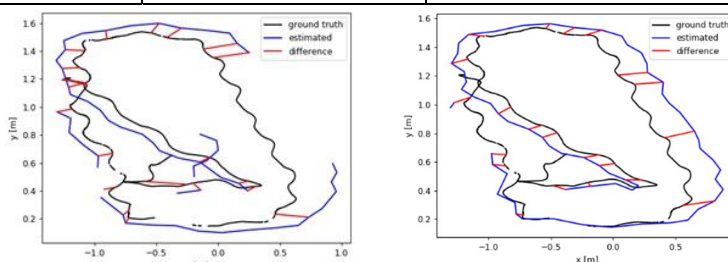
Dataset	Labeled		Unlabeled	
	Images	Classes	Images	Classes
CIFAR10	25K	5	25K	5
CIFAR100	40K	80	10K	20
RDD	28K	5	12K	2

TABLE2. Results of road damages detection

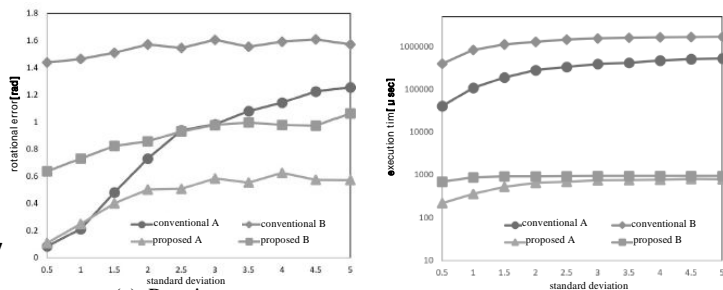
Model	Params	CIFAR10	CIFAR100	RDD
		Accuracy[%]		
MobilenetV3-large	5.4M	85.3	38.4	78.5
MobilenetV3-small	2.9M	75.2	36.3	77.9
MobileViT-xxs	1.9M	<u>93.2</u>	<u>68.3</u>	<u>81.7</u>

TABLE 3. ATE and RPE

	Non-masked Objects	Masked Objects
ATE[cm]	19.9	<u>14.5</u>
RPE[cm/deg]	3.2/3.4	<u>2.6/3.0</u>



(a). The trajectory without masking (b). The trajectory with masking
Fig 2. Comparison of SLAM trajectory and ground truth trajectory



(a). Rotation error (b). Execution time
Fig 3. Comparison of PnP methods

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7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 Kohta Uematsu and Kousuke Matsushima	4. 巻 -
2. 論文標題 A Method for Solving Camera Pose Estimation Problems Considering the Pairwise Constraints and Polar Coordinates	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Conference on Computer and Communication Systems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICCCS57501.2023.10151430	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 -

1. 著者名 Reiya Murasaki and Kousuke Matsushima	4. 巻 -
2. 論文標題 Automatic Pavement Type Recognition based on Mobile Deep Learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Global Conference on Life Sciences and Technologies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LifeTech53646.2022.9754920	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 -

1. 著者名 Masahiro Yamawaki and Kousuke Matsushima	4. 巻 -
2. 論文標題 Image Classification for Advanced Driving Assistant System in Electric Wheelchair	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Global Conference on Life Sciences and Technologies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LifeTech53646.2022.9754888	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 -

1. 著者名 Shoya Yamasaki and Kousuke Matsushima	4. 巻 -
2. 論文標題 Visual SLAM in Dynamic Environments using Multi-lens Omnidirectional Camera	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Global Conference on Life Sciences and Technologies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LifeTech53646.2022.9754868	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 -

1．著者名 Ryoichirou Hara and Kousuke Matsushima	4．巻 -
2．論文標題 Multi-Lens Visual SLAM with Integrated Moving Object Removal using Unsupervised Models	5．発行年 2024年
3．雑誌名 International Conference on Robotics, Engineering, Science, and Technology	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/RESTCON60981.2024.10463585	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 -

1．著者名 Keita Nakano and Kousuke Matsushima	4．巻 -
2．論文標題 DETReg Incorporating Semi-Supervised Learning for Object Detection in the Advanced Driver-Assistance Systems	5．発行年 2024年
3．雑誌名 International Conference on Robotics, Engineering, Science, and Technology	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/RESTCON60981.2024.10463586	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 -

1．著者名 Hiroki Nagamatsu and Kousuke Matsushima	4．巻 -
2．論文標題 Classification of Road Damage Images Considering the Discovery of Unknown Classes	5．発行年 2023年
3．雑誌名 International Conference on Automation, Control and Robots	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICACR59381.2023.10314607	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0件

〔図書〕 計0件

〔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
---------	---------