

ショートノート

深層ニューラルネットワークを用いた領域推定と 部分テンプレートマッチングによる 道路標示検出システム†

三井 悠也*¹・宮崎 棕瑚*¹・吉元 裕真*¹*²・石田 裕太郎*¹・伊藤 太久磨*³・
通山 恭一*⁴・田向 権*¹*⁵

本研究では、自動運転技術における自車位置推定のために、You Only Look Once (YOLO) を処理に組み込むことで道路標示検出システムの性能向上を行う。従来手法では、輝度値に基づくテンプレートマッチングで道路標示を検出する。しかし、この手法では日光による白飛びや標示の掠れにより検出できないものが存在する。これに対し、提案手法ではYOLOで道路標示の存在する領域を探索し、テンプレートマッチングの適用範囲を制限する。これにより、誤検出の発生を抑制でき、テンプレートマッチングの検出閾値を下げ、これまで未検出であった道路標示の数を削減できる。また、テンプレートマッチングの探索領域も制限され、処理速度も向上できる。実験の結果、提案手法は誤検出数は0のまま、従来手法よりも未検出数を低減できた。また、従来手法と比較してシステムの Accuracy は 0.013、処理速度は 4.6 FPS 上がった。

キーワード：道路標示検出、You Only Look Once (YOLO)、自車位置推定、自動運転

1. 緒言

昨今、自動車の安全な走行や効率的な移動手段の確立などを目的として、自動運転技術の研究が盛んに行われている [1]。自動運転において、車両は建物や人などの周囲の環境を把握しながら走行する。周囲の環境情報を把握する上で、その基準となる自車の位置情報を取得することは特に重要となる。

自車位置推定手法の1つであるデッドレコニングでは、車輪の回転数や車両の加速度から自車位置推定を行う。この手法には、センサ誤差が蓄積する問題点があるが、地図情報を用いた位置補正を適度に行うことで高精度に自車位置推定できる [2]。

地図情報を用いた自車位置補正手法として、道路標示の局所領域を検出する手法が存在する [3]。この手法は、駐車支援の

用途で使われるリアカメラを用い、道路上の標示を検出することで自車の推定位置を補正する。道路標示は設置情報が管理されており、この管理情報と道路標示の検出結果から自車位置推定の補正を行う。フロントカメラと比べ、リアカメラは縦方向の車両運動による画角変化が小さい上に、フロントカメラよりも近傍の道路を撮影するため、他車などの遮蔽に頑健である。

検出アルゴリズムは、輝度値に基づくテンプレートマッチングにて局所領域の検出が行われる。ここで、システムが道路標示を誤検出した場合、自車位置推定に大きな誤差が生じてしまうため、検出閾値を高く設定し、誤検出を抑制している。そのため、日光による画像の白飛びや道路標示の掠れなどの外乱により未検出となってしまうケースが存在する。

そこで本研究では、従来手法に物体検出を行う Deep Neural Network (DNN) の1つである You Only Look Once (YOLO) [4] を組み込むことで道路標示検出精度の向上を図る [5]。この手法では、YOLOで道路標示全体の検出を行い、その検出領域にて、従来手法による検出処理を実施する。検出処理の探索領域を制限することで、道路標示が存在しない領域での誤検出を抑制でき、検出閾値を下げるができる。検出閾値を下げたことで、道路標示の未検出数を低減できる。また、検出処理を行う領域が小さくなったことで、処理も高速化する。

提案手法の有効性を検証するため、道路標示データセットによる評価を行った。その結果、従来手法と同様に誤検出数を0に抑えつつ、道路標示の未検出数を削減した。また、従来手法と比較して提案手法では Accuracy が 0.013 向上し、処理速度も 4.6 FPS 上がった。

† A Road Marking Detection System Using Partial Template Matching and Region Estimation by Deep Neural Network
Yuya MII, Ryogo MIYAZAKI, Yuma YOSHIMOTO, Yutaro ISHIDA, Takuma ITO, Kyoichi TOHRIYAMA, and Hakaru TAMUKOH

*1 九州工業大学大学院 生命体工学研究科
Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

*2 日本学術振興会特別研究員
Japan Society for the Promotion of Science Research Fellow

*3 東京大学大学院 工学系研究科機械工学専攻
Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

*4 トヨタ自動車株式会社 未来創生センター 産学連携戦略室
Frontier Research Center, Toyota Motor Corporation

*5 九州工業大学 ニューロモルフィック AI ハードウェア研究センター
Research Center for Neuromorphic AI Hardware, Kyushu Institute of Technology

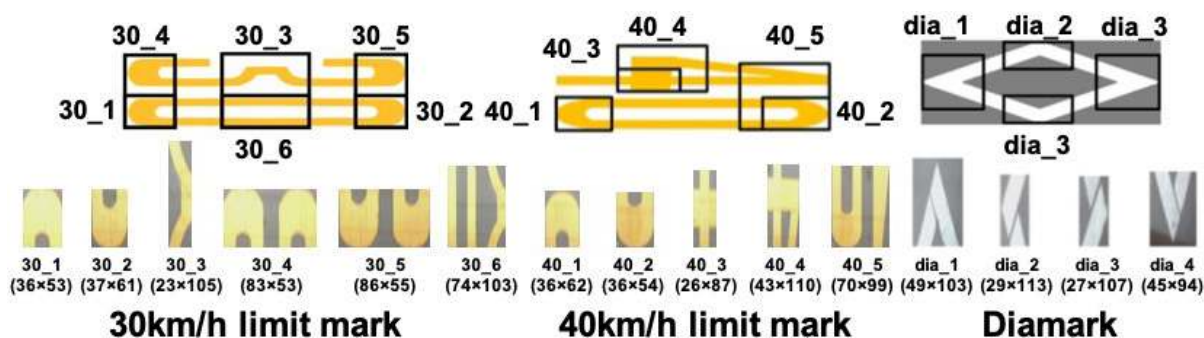


図1 検出対象の道路標示と局所領域

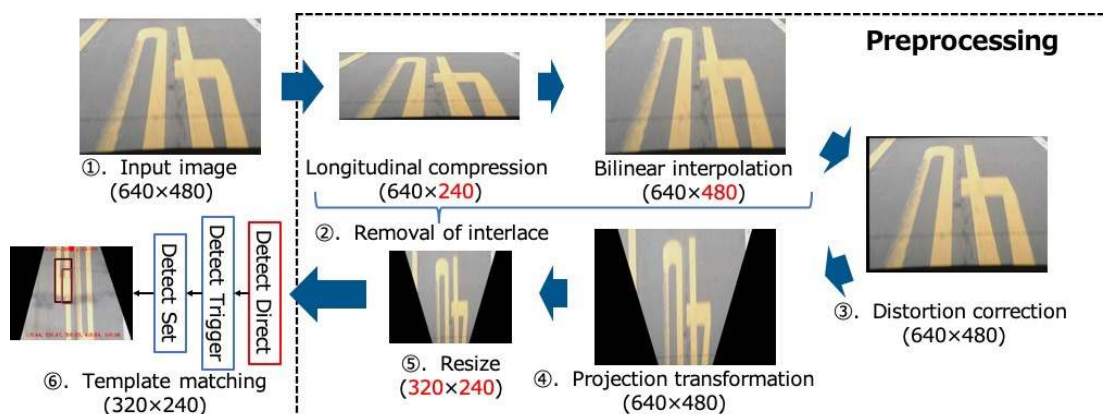


図2 テンプレートマッチングによる道路標示検出の流れ

2. 関連研究

2.1 テンプレートマッチングによる自車位置推定手法

自車位置推定の補正手法として、各道路標示の特徴的な局所領域を検出する手法が提案されている [3]。図1に検出対象の道路標示とその局所領域を示す。30 km/h 標示は6つ、40 km/h 標示は5つ、ダイヤモンドでは4つのテンプレートが用意されている。図2および以下にこの手法の処理の流れを示す。

- ① 駐車支援用リアカメラにて道路を撮影し、画像化する。
- ② 得られた画像のインターレースを除去する。
- ③ レンズの影響を除去するため、歪み補正を行う。
- ④ 検出の容易化のため、真上から見たように投影変換する。
- ⑤ 処理の高速化のため、画像を縮小する。
- ⑥ テンプレートマッチングを行う。

テンプレートはダイレクト、トリガ、セットの3種類の役割が存在する。ダイレクトは、検出閾値が高く設定され、検出された場合、即座に道路標示を検出したと判定される。次に、トリガとセットは順序関係を有する。まず、検出閾値を低めに設定してあるトリガが検出された場合、検出閾値がやや高めのセットの探索処理が行われる。その後、セットが検出された場合、即座に道路標示が検出されたと判定される。

検出された道路標示と車両の各種情報から、車両と道路標示との位置関係を計算する。道路標示は国土交通省が位置情報と種類を管理しており、既知情報である。これらを用い、既知の位置情報と検出された道路標示の位置を照合し、自車位置推定の補正を行う。しかし、この手法は輝度値に基づくテンプレ

ートマッチングを行っており、画像の白飛びなどの外乱によって、誤検出が発生してしまう。このシステムにおいて、道路標示を誤検出した場合、自車位置推定に大きな誤差が発生してしまう問題がある。それを防ぐために検出閾値を高く設定する必要がある。その結果、未検出の道路標示が存在している。

2.2 物体検出のための DNN

DNN によって画像中の物体検出を行う手法として、YOLO [4] と呼ばれる手法が存在する。YOLO では認識を行う際に一度の推論で済み、画像全体の情報から学習や検証を行うことで、高い検出精度とリアルタイム性を有している。

2.3 石田らの手法における学習データセット生成

石田らは、物体認識用 DNN のための学習データセット生成手法を提案している [6]。この手法では、床や家具の背景画像を撮影し、その後、様々な視点から検出対象を撮影する。次に、背景画像と検出対象の画像を合成し、ホームサービスロボットが直面しうる仮想の画像を生成している。同時に、背景画像と合成された検出対象の領域とカテゴリから、深層学習のためのアノテーションファイルを自動的に生成することで、半自動で学習データセットを生成する。

3. 提案手法

3.1 テンプレートマッチングの探索範囲の制限

提案手法では、DNN を用いた物体検出手法として YOLO v2 [4] を道路標示抽出器として処理に組み込む。今

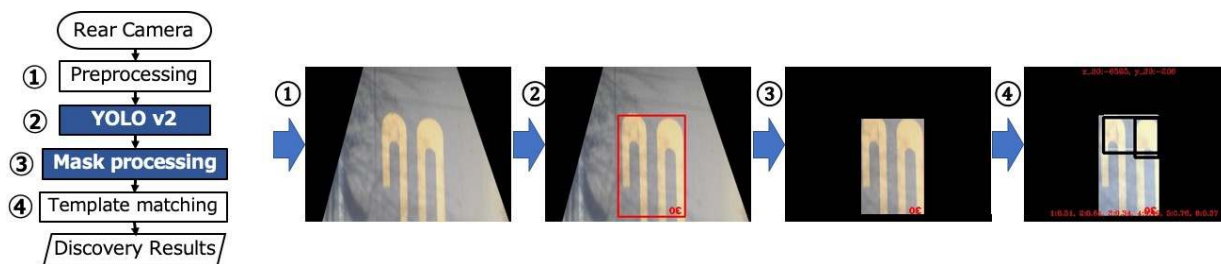


図3 YOLO v2によるテンプレートマッチング範囲の制限

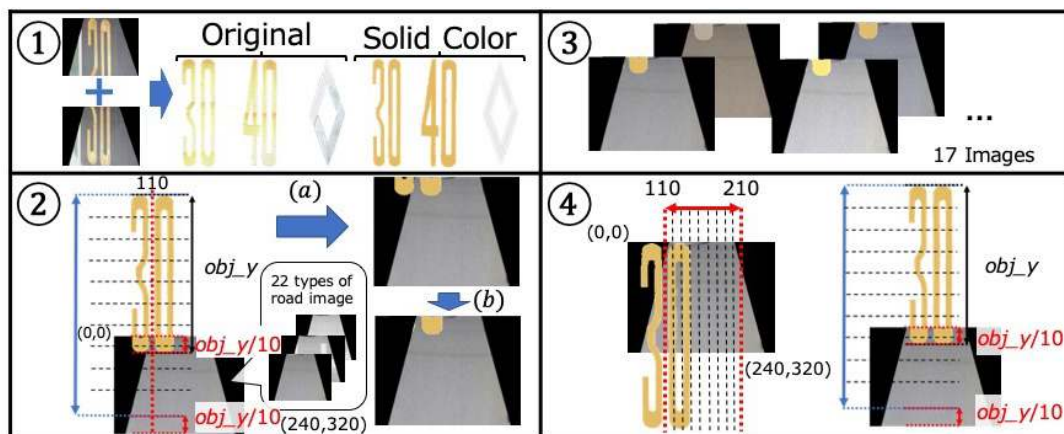


図4 道路標示画像の学習データセット生成の流れ

回は、石田らの手法 [6] を参考に学習データセット生成を考案したため、同じバージョンである YOLO v2 を採用する。YOLO v2 によって道路標示全体を検出し、道路標示が存在する領域に限定してテンプレートマッチングを行うことで、道路標示が存在する領域外における誤検出を抑制する。この時、テンプレートマッチングの検出閾値を下げることで、これまで未検出であった道路標示の数を低減し、システムを高精度化する。また、テンプレートマッチングの探索領域が限定されたことで、処理速度が向上する。

提案手法の処理フロー図および、YOLO v2 によるテンプレートマッチングの検出範囲の制限手順を図3と以下に示す。

- ① リアカメラから取得した画像に、インターレースの除去、レンズ歪み補正、投影変換、リサイズを施す。
- ② YOLO v2 によって道路標示全体を検出する。この YOLO v2 は石田らの手法を参考に、半自動生成した道路標示の学習データセットを用いて学習した。
- ③ YOLO v2 の検出結果の領域外にマスク処理（黒塗り）を施し、テンプレートマッチングの適用領域を制限する。
- ④ 検出閾値を下げたテンプレートマッチングを、YOLO の検出結果の範囲内で行い、道路標示の局所領域を検出する。

3.2 学習用データセット生成

石田らの手法 [6] を参考にした道路標示学習用データセット作成手順を図4と以下に示す。

- ① 画像を結合し、背景を透過して道路標示の全体図を作成する。また、道路標示を単色で色付けした画像も用意する。
- ② 道路標示が写り込んでいない道路路面画像を22枚用意

し、(a) 道路標示を画像処理で合成する。道路標示を合成する初期位置は、X座標は110px地点を道路標示の中心とし、Y座標は、道路標示画像の縦の長さを obj_y とした時、 obj_y の下部から10%分見える位置とする。その後、(b) 黒塗り領域をマスク処理で上から黒く塗り直す。

- ③ 合成画像に灰色仮説 [7] に基づいて17種類の補正を施す。
- ④ ②の合成位置をX軸方向に10pxずらし、再度③を行う。同様の処理を繰り返し、X座標が210px地点までの10段階ずらし終わった後にY軸方向に1段階ずらし、X座標を110px地点まで戻す。ここで、Y軸方向への1段階とは、 obj_y の下部から10%見える位置から obj_y の上部から10%見える位置までを10分割したものである。これをY軸方向に10段階繰り返し、30、40、ダイヤの3クラスに対し、各74,800枚の画像を自動生成し、合計224,400枚の学習用画像を自動生成した。

4. 実験

4.1 実験条件

本実験では、従来手法、提案手法にて検証用データセットを用いた評価を行った。YOLO v2 の学習は、3.2節で作成したデータセットを10,000エポック学習させた。PCはIntel Core i7-6700K, DDR4 16GB, NVIDIA GTX 1070 のものを用いた。

4.2 検証用データセット作成

検証用データセット生成の手順を図5と以下に示す。示された手順はすべての道路標示に対して適用した。ここで、走行動画はリアカメラを搭載した車で3都市を走行し、道路を録画

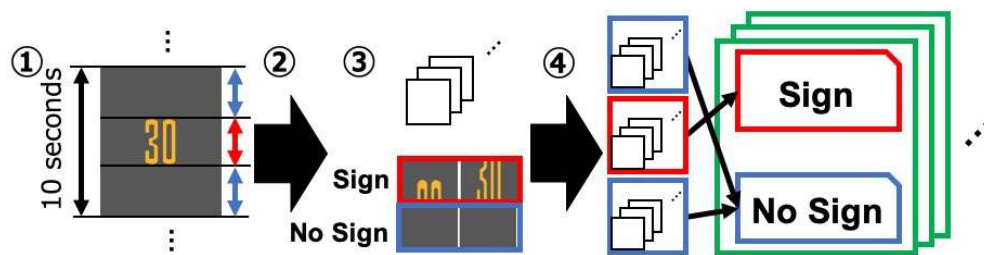


図5 検証用データセット作成手順

表1 提案手法のテンプレートマッチングの閾値

Role	Template name															
	30_1	30_2	30_3	30_4	30_5	30_6	40_1	40_2	40_3	40_4	40_5	dia_1	dia_2	dia_3	dia_4	
Direct	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.75	0.75	0.75	0.75	
Trigger	0.55		0.45	0.45		0.60	0.45		0.55	0.55		0.50	0.55	0.55		
Set		0.60	0.65		0.60	0.70		0.60	0.65	0.70	0.70		0.70	0.70	0.70	

表2 混同行列および性能指標による評価

検証手法	True Positive	False Negative	False Positive	True Negative	Accuracy	Precision	Recall	F-measure	FPS
従来手法	78	38	0	116	0.836	1	0.672	0.804	24.15
提案手法	81	35	0	116	0.849	1	0.698	0.822	28.75

従来手法：テンプレートマッチングのみ

提案手法：YOLO（閾値 0.325） + テンプレートマッチング

して用意した。その動画に写っていた 30 km/h 標示を 30 個、40 km/h 標示を 22 個、ダイヤモンド 64 個を使用した。

- ① 走行動画から標示が写り込む 10 秒分の動画を切り出す。
- ② 10 秒間分の動画からおおよそ 300 枚の画像群を作成する。
- ③ 画像群に前処理を施し、平面画像に変換する。
- ④ 標示が写っている画像と標示が無い画像に分類する。

4.3 検出閾値の決定方法

提案手法では、従来手法におけるテンプレートマッチングの閾値 [3] を用い、YOLO v2 の初期閾値である 0.3 を 0.025 間隔で変動させ、最も高い検出精度となった YOLO の閾値を採用した。次に、提案手法におけるテンプレートマッチングの検出閾値を一律 0.025 ずつ下げ、誤検出が発生した 1 つ手前の閾値をテンプレートマッチングの閾値として採用した。

4.4 実験結果

表 1 に今回用いたテンプレートマッチングの閾値を示す。4.3 節の様に閾値を調整していった結果、表 1 のような閾値が適切であったため、今回は表 1 の閾値を採用し、テンプレートマッチングを行った。

次に、表 2 に実験結果から得られた各手法の混同行列および、性能指標による評価を示す。道路標示が写りこむ画像において、道路標示の局所領域の検出結果が、対象の局所領域外で検出された場合は FN に分類している。

表 2 より、提案手法においては従来手法と比較し、Precision を 1 に維持したまま、Recall を 0.026 向上できた。これにより、False Positive の発生を従来手法と同様に 0 とした時、提案手法では False Negative を低減できたことが分かる。さらに、

提案手法では、従来手法と比較して Accuracy を 0.013 向上させ、F-measure は 0.018 向上できている。

これらの結果から、提案手法では、このシステムの要件である誤検出の発生を抑制することを達成しつつ、従来手法と比較して、未検出の数を削減できていることが分かる。

また、従来手法の処理速度が約 24 FPS だったのに対し、提案手法では、約 29 FPS の処理速度で動作した。

4.5 考察

実験結果から、提案手法では、従来手法と比較して誤検出数が 0 となるよう検出閾値を設定した時、未検出数を削減できた。これは、YOLO v2 を組み込んだことで道路標示が存在する領域外での誤検出発生が抑制でき、テンプレートマッチングの検出閾値を下げたことに起因すると考えられる。

また、提案手法の処理速度が従来手法よりも、4.6 FPS 向上していることから、YOLO v2 による道路標示検出によって、テンプレートマッチングの処理範囲を制限したことが処理の高速化の起因になったと考えられる。

石田らの手法 [6] では YOLO v2 単体で検出を行っているが、本研究では、検出対象となる道路標示テンプレートの領域が重なるものが存在するため、学習時の影響を考慮する必要がある。今後の調査が必要であると考えられる。

5. 結言

本研究では、自動運転車における自車位置推定の補正のために YOLO v2 を組み込んだ道路標示検出手法を提案した。提案手法では、YOLO v2 を従来手法に組み込み、道路標示抽出器として用いた。YOLO v2 を用いて道路標示が存在する領域を検

出し、その領域内のみテンプレートマッチングを行った。これにより、道路標示の領域外における局所領域の誤検出を防ぎ、テンプレートマッチングの検出閾値を下げることができた。その結果、誤検出の発生を0に抑制し、誤検出を起こすと大幅な自車位置推定の誤差が発生するこのシステムの問題点を防ぎながらシステムの Accuracy を 0.013 向上できた。また、テンプレートマッチングの処理範囲が小さくなったことで、4.6 FPS 処理を高速化できた。

今後は、検出対象となる道路標示の種類をさらに増やしていくことや、YOLO 単体での検出精度の検証を行う必要がある。

参 考 文 献

- [1] 我妻広明: “人工知能による運転支援・自動運転技術の現状と課題,” 計測と制御, Vol.54, No.11, pp. 808-815, 2015.
- [2] T. Ito, M. Mio, K. Tohriyama, and M. Kamata: “Novel Map Platform Based on Primitive Elements of Traffic Environments for Automated Driving Technologies,” *Int. J. of Automotive Engineering*, Vol.7, No.4, pp. 143-151, 2016.
- [3] S. Nakamura, T. Ito, T. Kinoshita, and M. Kamata: “Detection Technology of Road Marks Utilizing Combination of Partial Templates,” *Int. J. of Automotive Engineering*, Vol.9, No.3, pp. 105-114, 2018.
- [4] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi: “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection,” *Proc. of the IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 779-788, 2016.
- [5] 三井悠也, 福田有輝也, 宮崎棕瑚, 石田裕太郎, 伊藤太久磨, 通山恭一, 田向権: “自動運転車における自車位置推定のためのランドマーク検出の改良,” ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 149-154, 2020.
- [6] Y. Ishida and H. Tamukoh: “Semi-Automatic Dataset Generation for Object Detection and Recognition and its Evaluation on Domestic Service Robots,” *J. Robot. Mechatron.*, Vol.32, No.1, 2020.
- [7] Colorcorrect: <https://github.com/shunsukeaiihara/colorcorrect> [accessed Dec. 15, 2020]

(2020 年 10 月 14 日 受付)

(2021 年 1 月 4 日 採録)

[問い合わせ先]

〒808-0196 福岡県北九州市若松区ひびきの 2-4

九州工業大学大学院生命体工学研究科

田向 権

TEL: 093-695-6133

FAX: 093-695-6143

E-mail: tamukoh@brain.kyutech.ac.jp

著 者 紹 介



三井 悠也 [非会員]

2017 年 3 月宇部工業高等学校電気工学科卒業。2019 年 3 月九州工業大学工学部電気電子工学科卒業。同年 4 月九州工業大学生命体工学研究科人間知能システム工学専攻博士前期課程進学。自動運転における画像認識、自動運転の走行経路生成のためのリスクポテンシャルマップに関する研究に従事。



宮崎 棕瑚 [非会員]

2018 年 3 月有明工業高等学校専攻科生産情報システム工学専攻修了。2020 年 3 月九州工業大学生命体工学研究科人間知能システム工学専攻博士前期課程修了。自動運転における運転行動の意思決定のための人工知能、自動運転における画像認識に関する研究に従事。



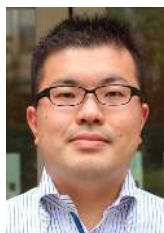
吉元 裕真 [非会員]

2016 年 3 月舞鶴工業高等学校専攻科電気電子システム工学専攻修了。2018 年 3 月九州工業大学大学院博士前期課程修了。同年 4 月九州工業大学大学院博士後期課程進学。また 2019 年 4 月 JSPS 特別研究員に DC2 として採用。ホームサービスロボットののための画像認識や、そのハードウェア実装に関する研究に従事。



石田 裕太郎 [非会員]

2013 年 3 月神戸市立工業高等学校電子工学科卒業。2015 年 3 月九州工業大学工学部電気電子工学科卒業。2017 年 3 月九州工業大学大学院生命体工学研究科人間知能システム工学専攻博士前期課程修了。2020 年 3 月九州工業大学大学院生命体工学研究科生命体工学専攻博士後期課程修了。博士 (工学)。サービスロボット、自動運転、FPGA、人工知能、および、これらを融合したシステムに関する研究に従事。



伊藤 太久磨 [非会員]

2012 年東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻博士課程修了。博士 (工学)。同年 4 月同大学高齢社会総合研究機構特任研究員。2019 年 10 月より同大学大学院工学系研究科機械工学専攻特任講師。知能化モビリティの環境認識システムやユーザ受容性評価の研究に従事。自動車技術会、機械学会、ヒューマンインタフェース学会、IEEE 各会員。



通山 恭一 [非会員]

1977 年成蹊大学経済学部卒業。2006 年 4 月よりトヨタテクニカルディベロップメント株式会社に入社。2016 年 1 月よりトヨタ自動車株式会社に入社。車両の先進安全および自動運転システムの研究開発に従事。



田向 権 [正会員]

2006 年九州工業大学大学院生命体工学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。同年 4 月同大学院博士研究員。2007 年 10 月東京農工大学大学院共生科学技術研究院先端電気電子部門助教。2013 年 2 月より九州工業大学大学院生命体工学研究科准教授。脳型人工知能、ソフトウェアコンピューティング、FPGA、デジタル集積システム、および、これらのサービスロボットや自動運転などへの応用に関する研究に従事。電子情報通信学会、日本知能情報ファジィ学会、日本ロボット学会、人工知能学会、日本神経回路学会、IEEE 各会員。

A Road Marking Detection System Using Partial Template Matching and Region Estimation by Deep Neural Network

by

**Yuya MII, Ryogo MIYAZAKI, Yuma YOSHIMOTO, Yutaro ISHIDA, Takuma ITO, Kyoichi TOHRIYAMA,
and Hakaru TAMUKOH**

Abstract:

We improve the performance of a road marking detection system by incorporating You Only Look Once (YOLO) into the processing for vehicle location estimation in autonomous driving technology. The conventional detection method uses a template matching process based on luminance values to detect road marking. However, there are some markings that cannot be detected by this method due to halation by sunlight or strong blurred of road markings. In contrast, the proposed method uses YOLO to search for areas where road marking exists and restricts the area of adaptation for template matching. Owing to this area restriction, the proposed method can prevent the occurrence of false detection, lower the detection threshold for template matching, and reduce the number of previously undetected road markings. In addition, the search area for template matching is restricted, which also can improve the processing speed. Experimental results show that the proposed method is able to reduce the number of undetected road markings compared to the conventional method while keeping the number of false detections to zero. The accuracy of the system was improved by 0.013 and the processing speed was increased by 4.6 FPS compared to the previous method.

Keywords: road marking detection, You Only Look Once (YOLO), own-vehicle position estimation, autonomous driving

Contact Address: **Hakaru TAMUKOH**

*Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology
2-4 Hibikino, Wakamatsu-ku, Kitakyushu, Fukuoka 808-0196, Japan
TEL: +81-93-695-6133
FAX: +81-93-695-6143
E-mail: tamukoh@brain.kyutech.ac.jp*