

低照度環境下における画像の明瞭化による 駐車車両検出の高精度化の一考察

齊藤 康司¹・高橋 翔²・萩原 享³

¹ 学生会員 北海道大学 大学院工学院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

E-mail: sk-1997_hd@eis.hokudai.ac.jp

² 正会員 北海道大学准教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

E-mail: stakahashi@eng.hokudai.ac.jp

³ 正会員 北海道大学教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

E-mail: hagiwara@eng.hokudai.ac.jp

駐車場における駐車車両検出には、車室ごとに赤外線や超音波のセンサを用いる手法が実用されている。また、少ないセンサで複数の車室を同時に観測する手法として、駐車場が広範囲に撮像されている画像を用いた方法も挙げられる。しかしながら、低照度環境下での精度劣化が顕著となる。この要因として、コントラストの低下および撮像素子によって生じるノイズが挙げられる。そこで、本文では、低照度環境下における、駐車車両の検出の高精度化を目的として、前処理を加えた画像に対して深層学習による物体検出を行う手法を提案する。具体的には、低照度環境で撮像された画像に対して、ノイズ除去およびコントラスト強調を適用し、明瞭化された複数の画像を得る。次に、これらの画像に対して、深層学習による物体検出を行う。

Key Words: vehicle detection, parking lot, low illuminance, image processing, deep learning

1. はじめに

駐車場でのドライバーによる空車位置の探索は、ドライバーの移動時間の消費だけでなく、駐車場内の混雑および駐車場周辺の交通渋滞の要因となる。そこで、駐車場での混雑の解消とスムーズな利用の実現を目的として、駐車場に設置されたセンサを活用した取り組みが行われている^{1,2)}。具体的には、センサで取得したデータを基に、各車室の駐車車両を検出し、利用者に対して、空車位置の提示および誘導を行う。また、近い将来には自動運転車が一般に普及すると予想されており、自動運転社会における駐車場での自動バレーパーキングの実現が期待されている⁴⁾。自動バレーパーキングとは、自動運転により無人での駐車および発車をを行い、任意の場所から車室にある車を呼び出すことが可能な駐車場である。自動バレーパーキングにおいて、自動運転車が空車位置に移動する際、車に搭載された各種センサによるセンシングだけでは、駐車場全体の形状と空車位置の把握は困難であり、空車位置を発見するまでの時間の損失が生じる可能性がある。そこで、駐車場側の設備による支援が、

駐車場の規模が大きくなる程必要になると考えられる。具体的には、駐車場に設置されたセンサで空車位置を検知し、自動運転車に対し、空車位置までの経路を指示するシステムである。このような背景から、空車位置の自動での把握を可能とすることは、駐車場での混雑の解消およびスムーズな利用のために、重要であると考えられる。

駐車場における空車位置の検出方法は、カウンタベース、センサベースおよび画像ベースの3つの手法に分類される³⁾。具体的に、カウンタベースの手法は駐車場に出入りする車両の数をカウントするものである。この手法は、駐車場内の空車位置の総数の把握が可能である一方で、利用者に対して正確な空車位置を伝えることが困難である。次に、センサベースの手法は、車室ごとに赤外線や超音波方式のセンサを取り付け、駐車車両の有無を判別するものである。このような手法は、全ての車室にセンサを設置する必要があるため、特に大型な駐車場ほど、膨大な設置数が必要となる。最後に、画像ベースの手法は、駐車場が撮影された画像を解析することで空車位置を把握する。この手法は、適切な位置にカメラを



図-1 撮影時に生じたノイズの例



図-2 低コントラストの例

設置することにより、少数のセンサで複数の車室を同時に観測することが可能である。

画像ベースの手法として、駐車場が撮像された画像の各車室領域から算出される画像特徴を基に分類器を構築し、駐車車両の有無を把握する手法⁹⁾の研究がされてきた。しかしながら、これらの手法は、分類器を構築するための多量の学習データを駐車場ごとに準備する必要がある。そこで、近年様々な分野で成果を上げている深層学習による物体検出を、駐車車両の検出に適用する研究⁹⁾が行われている。これらの手法は、駐車場ごとの学習データを準備する必要がなく、検出対象とする物体の画像を事前に学習することで検出が可能である。しかしながら、画像から物体検出により駐車車両を検出する手法では、低照度環境下で撮像された画像に対して、車両の検出精度の低下が見られる⁹⁾。そこで、1日を通して精度高く空車位置の検出を可能とするためには、低照度環境下において、高精度での駐車車両の検出が必要となる。

そこで、本文では、低照度環境下に頑健な駐車車両の検出手法を提案する。低照度環境下での精度劣化の要因として、画像のコントラスト低下および撮影時に撮像素子によって生じるノイズが挙げられる。提案手法ではまず、画像のコントラスト強調およびノイズ除去を導入することにより、検出対象である駐車車両が明瞭化された複数の画像を得る。次に、これらの前処理を施した複数の画像および元の画像に対して、深層学習による物体検出手法を適用する。最後に、得られた複数の検出結果に基づいて、駐車車両の検出を行う。以上より、提案手法を用いることで低照度環境下におけるコントラスト低下およびノイズに頑健な駐車車両の検出が期待できる。

以降、本文の構成について述べる。まず、2章では、提案手法の説明を行う。次に、3章では、提案手法の有効性を確認するための実験結果を示す。最後に4章は、まとめとする。

表-1 フィルタの組み合わせ

	Nr	Eq
フィルタ0		
フィルタ1	✓	
フィルタ2		✓
フィルタ3	✓	✓

2. 提案手法

本章では、提案手法について説明する。低照度環境下での精度劣化の要因として、撮像素子によって生じるノイズおよびコントラストの低下が挙げられる。ノイズが見られる画像の例を図-1、低コントラストの画像の例を図-2に示す。そこで、提案手法では、はじめに、前処理として画像のノイズ除去およびコントラスト強調を導入し、画像の明瞭化を行う。次に、これらの画像に対して深層学習による物体検出を適用し、得られた複数の結果に基づいて駐車車両の検出を行う。

(1) 画像の前処理

提案手法では、始めに画像の前処理を行う。具体的には、ノイズ除去(Nr)およびコントラスト強調(Eq)を表-1のように組み合わせたフィルタ0～フィルタ3をそれぞれ適用した図-3に示すような4種類の画像を得る。ここで、フィルタ0を適用した画像は、前処理を行わない元画像を意味する。ノイズ除去、コントラスト強調については、以下で説明する。

a) ノイズ除去

低照度環境下で撮影を行う場合、デジタルカメラに取り込まれる光の量は、照度の高い環境に比べて減少する。撮像素子に受光された光の信号は、適切な明るさの画像になるように増幅される。そのため、取り込まれる光の量が減少するほど、信号の増幅度は大きくなり、ノイズも同様に増幅される。駐車車両の検出に先立って、こ



元画像
(a)フィルタ 0



ノイズ除去
(b)フィルタ 1



コントラスト強調
(c)フィルタ 2



ノイズ除去+コントラスト強調
(d)フィルタ 3

図-3 前処理を施した画像の例

のノイズを除去する必要があるが、駐車車両と背景部分との輪郭の情報を保つ必要がある。提案手法では、輪郭の情報の損失を抑えつつ、ノイズ除去を行うために、メディアンフィルタによるノイズ除去を行う。

(b) コントラスト強調

低照度環境下で撮影された画像は、検出対象となる駐車車両の輪郭が不明瞭となる。これは画像の輝度値が低い値に集中することにより、画像のコントラストが低下するためである。そこで、提案手法では、低い値に集中した輝度値のヒストグラムを均一化することで、コントラストを高くする。具体的には、コントラスト制限付適用ヒストグラム均等化(CLAHE)¹⁰⁾により、コントラスト強調を行う。CLAHEは、画像を矩形の小領域に分割し、各領域ごとにヒストグラム均等化を行う処理である。各階調のピクセル数を制限することで過強調を防ぐ。これにより、街灯やヘッドライトによる局所的に明るい領域が存在する画像において、画像全体のヒストグラムを均等化する処理に比べ、コントラストの過強調を抑えた画像の取得が期待できる。

(2) 駐車車両の検出

提案手法では、表-1に示すフィルタを適用することで得られた4枚の画像それぞれに対して、深層学習に基づく物体検出を行う。次に、物体検出の結果に基づき、駐車車両の停車位置を特定し、それぞれの車室の駐車状況の判定を行う。ここで、車室に駐車車両がある場合を **Occupied**、車室に駐車車両がない場合を **Empty** とする。これにより、一つの車室につき4つの駐車状況の判定結果を得る。これら4つの判定結果の内、1つ以上 **Occupied** と判定された車室の駐車状況を **Occupied** とする。

3. 実験

本章では、実際の駐車場で夜間に撮影された画像に対して、提案手法を適用し、駐車車両の検出精度を確認することで、その有効性を確認する。

本実験では、撮影機材として図-4に示す TP-Link 社のネットワークカメラ Tapo C100 を採用した。ナイトビジョンモードによる動画の撮影を行い、動画から静止画の抽出を行う。撮影は日没後に行い、図-5に示すような画



図4 TP-Link 社 Tapo C100

像を取得した。取得した画像の解像度は 1980×1080 画素である。

これらの画像に対して、検出対象とする範囲を設定し、その範囲内の車室の Occupied・Empty を目視により確認し、正解ラベルの作成を行った。目視確認の例を図-6に示す。本実験に用いる画像数、画像内の Occupied・Empty の数は表-2 に示す通りである。

本実験における、駐車車両の検出には、COCO dataset¹¹⁾ で事前学習された YOLOv4¹²⁾ を用いる。検出する対象物は次の4カテゴリ car, truck, bus, bike とし、いずれかのカテゴリに分類された物体を駐車車両とした。YOLOv4 が駐車車両を検出した場合、図-7に示されるような矩形領域 (Bounding box) が出力される。本実験では、この Bounding box の座標を用いることで、駐車車両の位置を特定する。その駐車車両の位置に基づき、車室ごとの Occupied・Empty を判定する。駐車車両の検出精度の評価方法として正答率(Accuracy)、適合率(Precision)、再現率(Recall)、F 値(F-measure)の4つの評価指標を用いる。各評価指標は式(1)~式(4)の通りである。式中の TP, FP, FN, TN は表-3 のように定義される。

$$Accuracy = \frac{TP + FN}{TP + FP + TN + FN} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

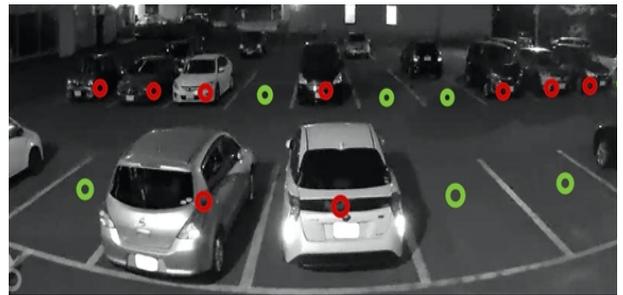
$$F\text{-measure} = \frac{2 \cdot Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \quad (4)$$

本実験の比較手法として、画像の前処理を行わない元画像に対して物体検出を適用した結果に基づいて、駐車車両の検出を行う。

表-4 に、YOLOv4 によるによる駐車車両の検出結果を示す。提案手法の Accuracy, Recall, F-measure が比較手法を



図5 取得した駐車場の画像の例



赤 : Occupied, 緑 : Empty

図-6 駐車車両の目視確認の例



図-7 YOLOv4により出力された Bounding box

表-2 精度検証データの内訳

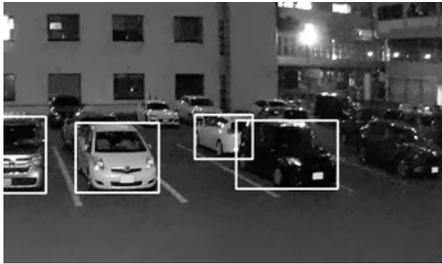
画像数(枚)	Occupied	Empty
115	591	1434

表-3 精度評価のための混同行列

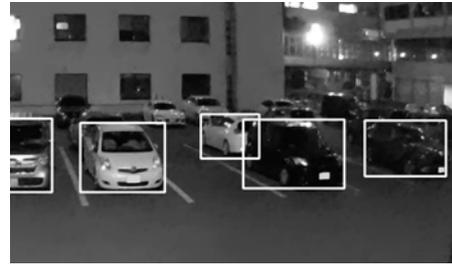
		実際のデータ	
		Occupied	Empty
検出結果	Occupied	TP (True Positive)	FP (False Positive)
	Empty	FN (False Negative)	TN (True Negative)

表-4 実験結果の比較

	Accuracy	Precision	Recall	F-measure
提案手法	0.963	0.994	0.880	0.934
元画像	0.952	0.996	0.843	0.913



(a)フィルタ 0 (元画像)



(b)フィルタ 1

図-8 フィルタ 1により駐車車両の検出が改善した例



(a)フィルタ 0 (元画像)



(b)フィルタ 2

図-9 フィルタ 2により駐車車両の検出が改善した例



(a)フィルタ 0 (元画像)



(b)フィルタ 3

図-10 フィルタ 3により駐車車両の検出が改善した例

上回ることが確認できる。提案手法と比較手法は共通して Precision が高く、駐車車両の誤検出が限りなく少ないことがわかる。提案手法では、比較手法に対して Precision が大きく減少することなく、Recall が増加している。このことから、駐車車両の誤検出を抑えつつ、検出数の増加が可能であることが確認できる。

提案手法のフィルタ 1～フィルタ 3 による画像の前処理により、駐車車両の検出数が改善した例を、それぞれ図-8～図-10 に示す。図-8～図-10 を通して、(a)の元画像では検出されていなかった車両が、前処理を施した画像では、検出できていることが確認できる。図-8、図-9 については、車両の色が車両周辺の領域と同系色であることから不明瞭だった輪郭部が、コントラスト強調により

明瞭化されたことにより、車両が検出されたと考えられる。

4. まとめ

本文では、低照度環境下において、高精度な駐車車両の検出を可能とすることを目的として、前処理を加えた画像に対して深層学習による物体検出を行う手法を提案し、実験によりその有効性を確認した。具体的には、低照度環境下で撮像された画像に対し、ノイズ除去およびコントラスト強調を適用することにより、明瞭化された複数の画像を得た。次に、これらの画像に対して、深層学習による物体検出を行い、得られた検出結果を用いて、

駐車車両の検出を行った。物体検出に YOLOv4 を利用した実験では、その結果から、低照度環境下における駐車車両の検出精度が向上することを確認し、提案手法の有効性が示された。

参考文献

- 1) Geng, Yanfeng, C. G. Cassandras.: New “smart parking” system based on resource allocation and reservations, IEEE Transactions on intelligent transportation systems, vol.14, no.3, p1129-1139, 2013.
- 2) 藤本雅樹, 西井和夫, 古屋秀樹.: 駐車場案内情報システムに対する利用者意識の特性分析, 土木計画学研究・論文集, 第 49 巻, Vol4, p384-385, 1994.
- 3) エムケー精工株式会社, 駐車場満空情報案内, <https://www.mkseiko.co.jp/product/ms/info/kankouju/29/index.php> (accessed2021-9-30)
- 4) 経済産業省 : 自動走行ビジネス検討会 - 報告書「自動走行の実現に向けた取組報告と方針」 Version3.0, 2019, https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/jido_soko/pdf/20190626_03.pdf (accessed2021-9-6)
- 5) P. R. De Almeida, et al.: PKLot–A robust dataset for parking lot classification, Expert Systems with Applications, vol.42, no.11, p4937-4949, 2015.
- 6) C. C. Huang, S. J. Wang.: A hierarchical bayesian generation framework for vacant parking space detection, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 20, no.12, p1770-1785, 2010.
- 7) 市橋秀友, 堅多達也, 藤吉誠, 野津亮, 本多克宏.: フェジィ c 平均識別器による駐車場のカメラ方式車両検知システム, 知能と情報, 22(5), p599-608.
- 8) Cai, Bill Yang, et al.: Deep learning-based video system for accurate and real-time parking measurement, IEEE Internet of Things Journal 6.5, p7693-7701, 2019.
- 9) Chen, Lun-Chi, et al.: Video-based parking occupancy detection for smart control system, Applied Sciences 10.3, 1079, 2020.
- 10) Zuiderveld, Karel.: Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization, Graphic Gems IV. San Diego: Academic Press Professional, p474-485, 1994.
- 11) COCO Dataset, <https://cocodataset.org/#home>(accessed 2021-9-6)
- 12) A. Bochkovskiy, C. Y. Wang, and H. Y. M. Liao.: Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection, arXiv preprint arXiv:2004.10934,2020.

A NOTE ON IMPROVEMENT OF PARKED VEHICLE DETECTION BY ENHANCING IMAGE CLARITY UNDER LOW ILLUMINANCE CONDITION

Koji SAITO, Sho TAKAHASHI and Toru HAGIWARA

For detecting parked vehicles in a parking lot, infrared or ultrasonic sensors are installed in each vehicle compartment, which are used in some parking lots. Also, the method of object detection by deep learning from images of a parking lot enables to detect a wide range of parked vehicles with a small number of sensors. However, the accuracy of this method deteriorates significantly in low illuminance conditions. This is due to the decrease in contrast and the noise generated by the image sensor. In low illuminance conditions, low quality images containing these factors are accumulated. In this paper, we propose a method for object detection using deep learning on preprocessed images to improve the detection accuracy of parked vehicles under low illuminance conditions. At first, we apply denoising and contrast enhancement to images captured under low-light conditions to obtain several distinct images. Then, we apply deep learning to these images for object detection.