

公道上での方向転換を必要とする駐車場の幾何構造に基づく分類と空撮画像を用いた判別

本田 望・栗 達・小野 晋太郎

福岡大学工学部 (〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1)

E-mail: † {tl191264, lida, onoshin}@fukuoka-u.ac.jp

駐車場における方向転換の操作は歩行者や自動車との接触を起こしやすく、公道上で方向転換を必要とする場合は特に危険である。本研究では、公道上での方向転換を必要とする駐車場の幾何的な構造を2つのタイプに集約し、各タイプに該当するかどうかを空撮画像から半自動的に判別する。判別は駐車車両および駐車区画線の位置・角度に基づいて行い、車両の検出はYOLOv5、区画線の検出は先端部のテンプレートマッチングにより行った。評価実験の結果、車両検出は適合率0.99、再現率0.89、区画線の検出は適合率0.97、再現率0.77と良好な結果が得られた。

Key Words: parking lot, geometric structure, aerial photo, vehicle detection, boundary line detection

1. はじめに

土地の有効活用などの観点から、小規模な空き地を駐車場（カーシェアの拠点を含む）として活用するケースが増えている。比較的大きな商業施設等の駐車場では方向転換を敷地内で完結することが一般的であるが、図1のように公道に面した小規模な駐車場では、公道上での切り返し操作を伴う方向転換が必要になることがある。方向転換は歩行者や自動車との接触を引き起こしやすく、更に公道上であれば他の交通を一時的に妨げる。このような駐車場を走行中または事前に把握しておくことは、安全走行や都市整備の観点において有用であろう。

本研究では、このように公道上での方向転換を必要とする駐車場を幾何的な構造特性に基づいてタイプに集約・分類し、そのタイプに該当するかどうかを空撮画像から半自動的に判別する。

既存研究においては、駐車場の空き区画を画像認識により検出する事例は多く見られる¹⁾。また、駐車場の構造に着目して、大規模小売店舗の駐車場の出入口の構造が交通に与える影響に関する分析した事例²⁾もある。公道上での方向転換に着目した事例は、調査した範囲においては見受けられなかった。

2. 公道上で方向転換の必要な駐車場の分類と判別

(1) 分類

福岡市内および周辺の駐車場を調査したところ、公道上で方向転換が発生する駐車場の構造は、一部の例外を除き、次の2タイプに集約・分類できるこ

とが分かった。

タイプ 1 (縦方向の用地不足) : 駐車方向が公道に垂直であり、駐車区画から公道(歩道または車道)までの距離が十分でないケース。小規模な路面店舗の駐車場などによく見られる(図1(a))

タイプ 2 (横方向の用地不足) : 駐車方向が公道に垂直であり、駐車場の幅が十分でないケース。小規模な空き地の駐車場によく見られる(図1(b))。

その他 (少数の例外) : 公道上での方向転換の必要性が、駐車済み車両の台数・位置や、駐車場と公道の間に塀やフェンスがあるかどうかで異なるケース。今回は取り扱わない。



(a) タイプ 1

(b) タイプ 2

図1 公道上で方向転換の必要な駐車場

(2) 判別

公道上で方向転換の必要な駐車場であるかどうかは、以下の条件により判別することができる。

条件 C₀ : 駐車区画の方向と道路方向のなす角度 θ について、 $\theta \cong 90^\circ$

条件 C₁ : 駐車区画端から道路端までの距離 d について、 $d < d_0$

条件 C₂ : 駐車場の敷地の幅 W について、 $W < W_0$

タイプ 1 に該当する条件 : C₀ かつ C₁

タイプ 2 に該当する条件 : C₀ かつ C₂

ここで、道路の方向や道路端の位置は道路基盤地図等から、幅 W は不動産登記情報等から電子的に得られると仮定する(今回は手動で与える)。駐車区画は、駐車車両があれば車両自身の位置、なければ区画線の位置として空撮画像から検出し、これに基づいて角度 θ 、距離 d を求めることとする。

駐車場法施行令³⁾第 8 条によれば、駐車場の車路の幅員は一方通行で 3.5 m 以上と定められ、また、普通自動車が増車する際には約 4.5 m の幅が必要とされることから、以降では $d_0 = 5.0\text{ m}$ と仮定する。

また、駐車場の敷地内で切り返すためには自動車の最小回転半径の 2 倍の幅が必要である。市販されている普通自動車の最小回転半径が最大 5.7 m であることから、以降では $W_0 = 12\text{ m}$ と仮定する。

判別の流れを図 2 に示す。以降では、空撮画像からの駐車車両検出および駐車区画線検出の詳細を説明する。

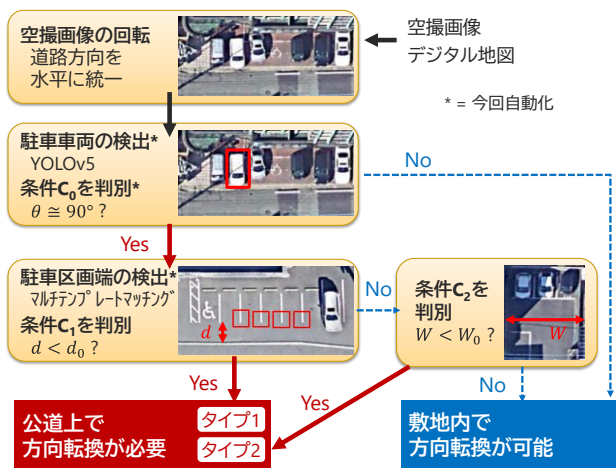


図 2 判別の流れ

3. 空撮画像からの駐車車両の検出

(1) 検出手法

本研究では、YOLOv5⁴⁾を用いて空撮画像から駐車車両を検出する。YOLOv5 は処理速度が特徴であり、Faster R-CNN⁵⁾と比べても 6~7 倍高速とされる。

YOLOv5 の標準的な学習済みモデルにも自動車は含まれているが、正面・側面視点の画像に限られるため、上空視点の画像データを学習させる。上空視点画像は、公開データセットの Cars Overhead With Context (COWC)^{6,7)}を用いる。COWC では 4 ヶ国 6 都市の空撮画像を対象に車両の位置座標が提供されている(例: 図 3)。データセットの画像サイズは 256 × 256、車両の幅・高さはおよそ 20~60 ピクセル程度である。

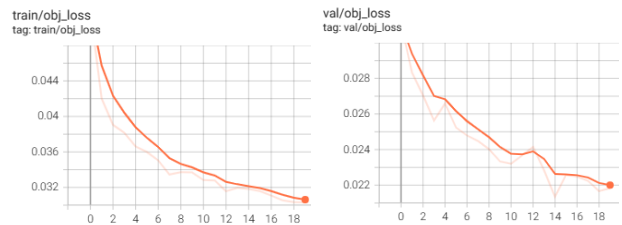


図 3 COWC データセット^{6,7)}の例

(2) 検出実験および結果

YOLOv5 のバッチサイズを 32、エポック数を 20 として 8000 枚の画像を学習した。また、テスト画像 50 枚に対しては、車両の自動車のサイズが学習データと同等になるようリサイズして与え、評価を行った。学習におけるロスの変化は図 4 の通りであり、学習が進行していることが確認できる。

評価結果を表 1 に、検出結果の例を図 5 に示す。検出すべき車両の見逃しはあるが、高い再現率が得られた。適合率も高く、精度の高い学習モデルということが分かる。



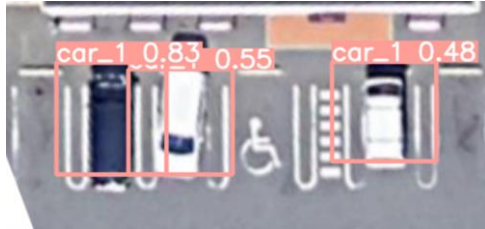
(a) 学習 (訓練)

(b) 検証

図 4 学習・検証におけるロスの変化

表 1 空撮画像からの駐車車両の検出結果

		Predicted		Precision	0.99
		Pos.	Neg.		
Actual	Pos.	181	22	Recall	0.89
	Neg.	1	-	F ₁ score	0.92



(a) 成功例



(b) 失敗例

図 5 空撮画像からの駐車車両の検出結果の例

4. 空撮画像からの駐車区画端の検出

(1) 検出手法

駐車区画端から道路端までの距離を推定するため、区画線の先端部分をテンプレートマッチングにより検出する。区画線の先端部分には I 字形, 逆 T 字形, U 字形など複数のバリエーションがあるが、今回はそれらを 4 種類 6 パターンにまとめる。図 6 に駐車区画の例とそれに対応するテンプレートを示す。

全パターンに対して正規化相互相関 (NCC) に基づくテンプレートマッチングを実施し、最も高い類似度が 0.7 を超える場合に検出と見なす。区画線がない場合、消えかかっている場合、駐車車両が区画線を覆い隠している場合は、今回は評価の対象外とする。

続いて、検出された区画線の先端部分 (複数) について、その相互間の距離 (間隔) を求める。この距離値をクラスタリングし、区画幅の整数倍に該当しない検出は誤検出と見なす。

(2) 検出実験および結果

50 枚の駐車場画像に対し、前述のマッチングを実施した。結果を表 2、結果の例を図 7 に示す。再現率が低下した原因は、駐車車両の左右端の白線が検出できなかったのが原因であった。

また、図 7(b) で検出した区画線先端どうしの距離の例を表 1 に示す。駐車区画 1 台あたりの幅は 2.4 ~ 2.5 m であることがわかる。地点 3, 5 は区画線の先端部分が検出されず 2 台分の幅となっているが、この例ではそれ以外の距離値は検出されず、誤検出は存在しなかったことが分かる。

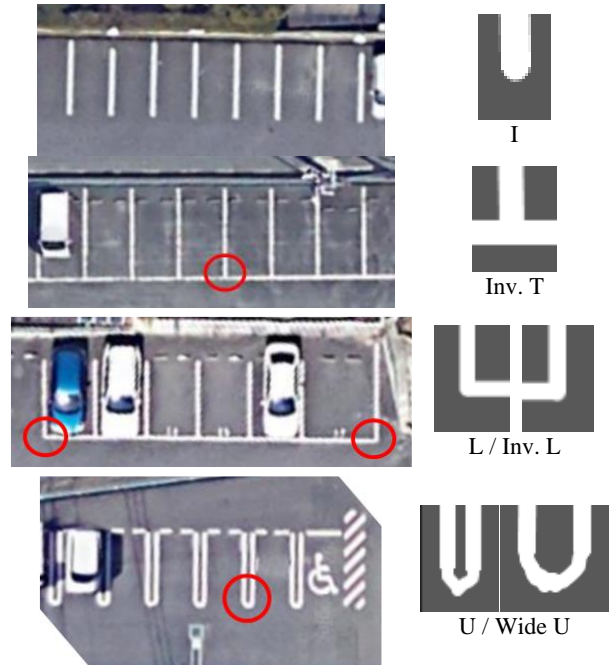
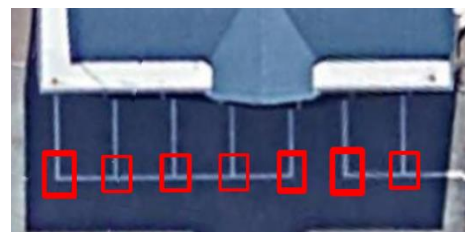


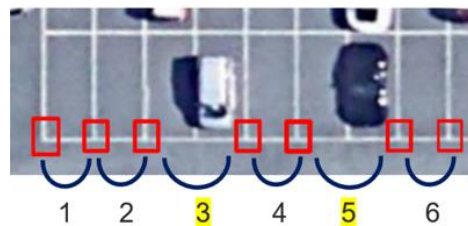
図 6 テンプレートマッチングによる空撮画像からの駐車区画端の検出

表 2 空撮画像からの駐車区画端の検出結果

		Predicted		Precision	0.97
		Pos.	Neg.		
Actual	Pos.	259	78	Recall	0.77
	Neg.	7	-	F ₁ score	0.85



(a) 成功例



(b) 失敗例

図 7 駐車区画端の検出結果の例

表 3 駐車区画端どうしの間隔

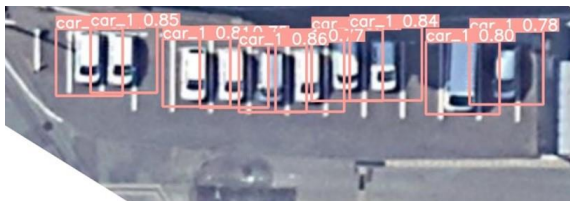
地点	1	2	3	4	5	6
距離 (m)	2.5	2.5	4.8	2.5	4.9	2.4

5. 分類・判別の実例

最後に、公道上で方向転換の必要な駐車場の分類と判別を行った実例を示す。

図 8 の駐車場では、角度 $\theta \cong 90^\circ$ 、距離 $d = 1.7\text{ m} < d_0$ であるため、公道上で方向転換が必要な駐車場（タイプ 1）であることが分かる。

図 9 の駐車場では、角度 $\theta \cong 90^\circ$ 、距離 $d = 8.5\text{ m} > d_0$ 、幅 $W = 18.2\text{ m} > W_0$ であるため、敷地内で方向転換のできる駐車場であることが分かる。

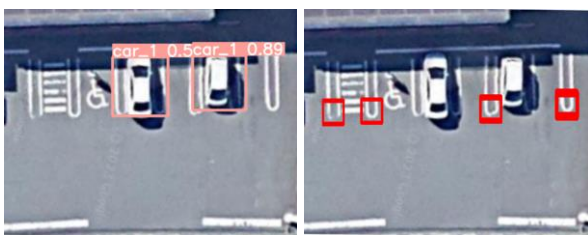


(a) 駐車車両の検出



(b) 駐車区画端の検出

図 8 駐車場の例 1



(a) 駐車車両の検出

(b) 駐車区画端の検出

図 9 駐車場の例 2

6. 終わりに

本研究では、公道上で方向転換の必要な駐車場を空撮画像から事前に把握する手法を提案し検証した。

公道上で方向転換の必要な駐車場の構造は 2 タイプに集約され、それらを単純な基準により判別できることを示した。この判別を半自動化するため、YOLO による駐車車両およびテンプレートマッチングによる区画線検出を実施し、その結果を用いて前述の判別基準となる角度や距離が測定できることを示した。

今後の課題として、空撮画像ではなく車載カメラを用いて判別を行うことや、公道上での方向転換が交通事故や交通流に与える影響について分析することなどが挙げられる。

REFERENCES

- 1) 植中裕史, 立花裕之, 近藤敬: 駐車支援システムインテリジェントパーキングアシストの紹介, 計測と制御, vol. 54, no. 11, pp. 836-840, 2015.
- 2) 田部井優也, 長田哲平, 大森宣暁: 大規模小売店舗の駐車場出入口の構造が交通事故や交通流に与える影響に関する分析, 交通工学論文集, vol. 6, no. 2, pp. A260-A269, 2020.
- 3) 駐車場法施行令, e-Gov 法令検索, デジタル庁, <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=332CO0000000340>
- 4) Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A.: You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 779-788, 2016.
- 5) Ren, S., He, K., Girshick, R., Sun, J.: Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks, Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS), 2015.
- 6) T. Nathan Mundhenk, Goran Konjevod, Wesam A. Sakla, Kofi Boakye: A Large Contextual Dataset for Classification, Detection and Counting of Cars with Deep Learning, European Conference on Computer Vision (ECCV), 2016.
- 7) Cars Overhead with Context at LLNL, Lawrence Livermore National Laboratory, <https://gdo152.llnl.gov/cowc/>

CLASSIFICATION AND DETECTION OF PARKING LOTS THAT REQUIRES TURNAROUND ON PUBLIC ROADS USING AERIAL IMAGES FOCUSING ON THEIR GEOMETRIC STRUCTURES

Nozomu HONDA, Da LI and Shintaro ONO

Turning-around maneuvers with switching back in parking lots can easily cause contact with pedestrians and vehicles, and are particularly dangerous when such maneuvers are required on public roads. In this study, the geometric structures of parking lots that require turning with switching back on public roads are aggregated into two patterns, and each pattern is semi-automatically detected from aerial images. Discrimination is based on the position and angle of the parked vehicles and the parking lot lines. Vehicle detection is performed by YOLOv5, and lot line detection is performed by template matching of the leading edge of the lines. The results of evaluation experiments showed that the vehicle detection and the boundary line detection achieved good results, with a recall rate of 0.99 and precision rate of 0.89 for the vehicle detection, and 0.97 and 0.77 for the boundary line detection, respectively.