

衛星画像における車両検出のための合成データセットの提案 Synthetic Dataset for Vehicle Detection from Satellite Images

寺岡 知紀[†]
Tomoki Teraoka

飯山 将晃[†]
Masaaki Iiyama

1. はじめに

衛星画像を活用した車両の物体検出は、都市計画・交通管理、災害対応、安全保障に加え、ショッピングセンターや観光地における購買需要の把握などの商用にも利用されている。本研究では図1に示すような国内ディーラーへの納入前、及び港から輸出前の完成車駐車場における物体検出モデルを検証する。このようなシーンでの車両検出技術は日々変化する車両の台数動向を捉えることを可能とし、将来の景気動向や自動車販売需要/生産の動向予測への活用が期待される。

物体検出のモデル構築にあたっては目的に合った適切な既存のデータセットが存在しないケースが大半である。特に今回対象とする小型かつ密集した車両が大量に存在するシーンでは、既存のデータセットも限定的であり新たなデータセットを作成し正確なアノテーションを付与することも多大なコストを要する。

そこで本研究ではCGによるアノテーション付き合成画像データセットの自動生成手法を提案する。データセットでは、車両の配置位置、数、色の条件や、太陽の位置などを条件付けが可能である。その際、車両が密集したシーンを生成する際の車両配置アルゴリズムが重要となる。提案手法ではベータ分布を用いた車両配置アルゴリズムを提案する。



図1 完成車駐車場を撮影した衛星画像の例

2. 合成画像データの生成手法と関連研究

画像認識におけるアノテーション不足を合成画像によって解消するアプローチはいくつか提案されており[1]、Xuら[2]は、ゼロショットおよび少数ショット学習の文脈で利用可能な合成俯瞰画像を生成するためのフレームワーク、**Synthetic Imagery for Multi-class Progressive Learning**, を提案している。この手法では、実衛星画像の背景上に3Dオブジェクトモデルを重ね合わせることで自然な合成画像を構築し、ターゲットオブジェクトの位置・サイズ・色・照明などを確率分布に基づいて自動設定することで従来の

合成手法に比べ設計負荷を大幅に低減しつつ、ラベル付き合成データを高効率に生成している。また、衛星画像の中でもとりわけ車両に特化した研究[3][4]では、車両配置アルゴリズムとして、現実のルールやドメイン知識などを織り込んだ方法も存在する。例えば走行中の車両配置では、道路の位置を定義した上で道路のエッジ位置を利用し、道路の進行方向に並行する位置及び角度で車両が配置している。しかしながら、車両の位置や向きについては検討されているものの、多くの車両が密集する完成車駐車場のようシーンにおける大量の車両の配置については検討されていない。

これに対し、本研究では完成車駐車場における車両の配置がベータ分布に従うとの仮定をおき、分布パラメータを調整することで車両の密集度等を自動的に調整可能な手法を提案する。

3. 提案手法

車両配置アルゴリズムを設計するにあたり、ドメイン知識として完成車駐車場の利用形態について述べる。工場で生産された車両は、国内向けには隣接する完成車駐車場から販売店へ輸送され、海外向けには港近くの完成車専用の駐車場に集約される。いずれの場合も、車両を等間隔でかつ同じ向きに配置したクラスターが複数存在するようなシーンとなる。

上記を踏まえ、単に駐車可能な場所にランダムに車両を配置するのではなく、完成車駐車場に並ぶ車両群をある程度規則的に配置することを目指す。

提案手法では、まず車両を配置可能な候補領域を定義する。候補領域は矩形のグリッド状に定義し、各グリッドのサイズは車両のサイズに合わせたものとする。次に、各グリッドに対して車両を配置するか否かを決定する。具体的には以下のアルゴリズムによって車両の密集しやすさを制御した配置を行う。

1. β 分布に基づいて確率 p を決定する。
2. 確率 p に基づいて車両を配置する。
 - 2-1. 確率 p でまだ車両を配置していないグリッドをランダムに1つ選択し、その位置に車両を配置する。
 - 2-2. 確率 $1-p$ で、すでに車両が配置されているグリッドをランダムに1つ選択し、そのグリッドの上下左右の隣接グリッドからランダムに1つ選択する。選択されたグリッドに車両を配置する。
3. 以上の手順をあらかじめ設定した車両の数に達するまで繰り返す。

[†] 滋賀大学大学院データサイエンス研究科
Graduate School of Data Science, Shiga University

β 分布は、0~1の範囲で定義される確率分布であり、その形状はパラメータ α と β によって制御される。 α と β による分布形状の違いを図2に示す。 α と β を調整することにより車両の密集度をコントロール可能である。

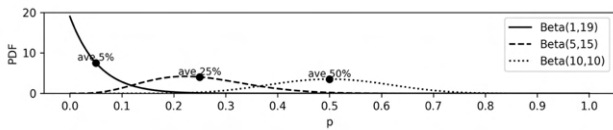


図2 β 分布

また、車両の配置の他に、日照条件についてもシミュレーションを行う。緯度・経度・日付・現地時間・画像の向き(方角)に基づいて太陽の高度角と方位角を算出する。

CG合成にはBlenderを用い、車両の3次元モデルについては既存のものを、背景となる駐車場画像については実写の衛星画像からインペインティング処理により車両領域を削除したものをを用いる。また、アノテーションについてはCGモデルの形状に合わせた矩形領域をアノテーションとして出力する。

4. 実験

4.1. 生成画像

β 分布の異なるパラメータによって生成された合成画像を図3に示す。

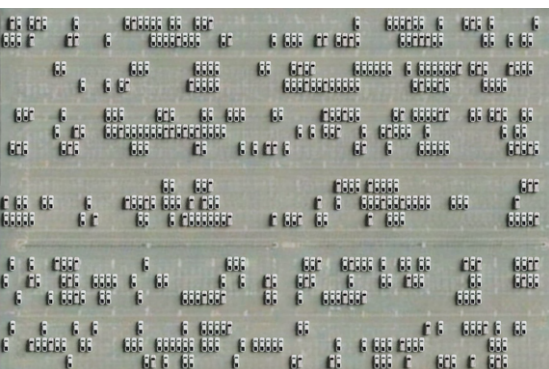
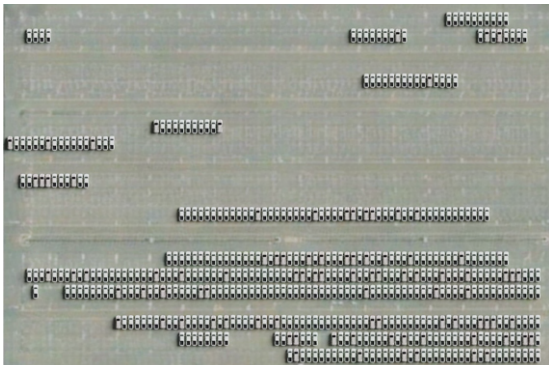


図4 車両台数500台の合成画像

上段： $\alpha=1$ 、 $\beta=19$ 、下段： $\alpha=10$ 、 $\beta=10$

いずれも車両台数は500台であり、 β 分布パラメータ(α 、 β)をそれぞれ(1, 19)、(10, 10)としている。 β 分布のパラメータを調整することにより様々な密集度の画像を生成できていることが確認できる。

4.2. 物体検出モデルの学習と評価

生成した合成データの有効性の検証のためMMDDetectionフレームワークを基盤にMask R-CNNモデルにて簡易的な検証を行った。生成した車両1000台の画像10枚を使用してファインチューニングを行い、実写画像での検出性能を確認した。今回の実験では実写の画像に対する正確なアノテーションが存在しないため、図4に示す主観的な評価となる。図4は図1で示した画像に対する車両検出結果である。合成データのみを用いたモデルにおいてもある程度の性能が得られることが示唆される結果となった。なお、画像中の約850台の車両のうち、学習モデルにより529台の車両が検出され、誤差の多くは検出漏れである。検出漏れについては合成データの追加だけでなく検出アルゴリズムの改良も必要であると考えられる。

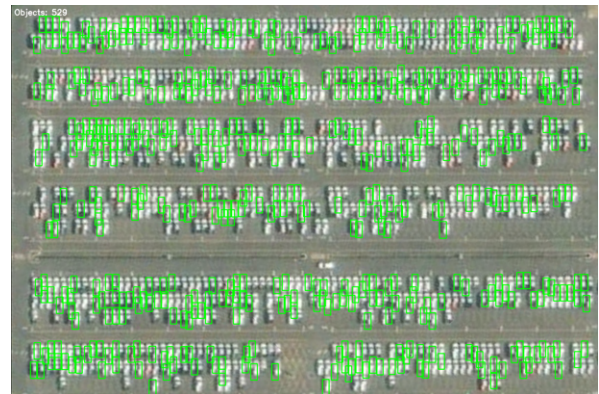


図4 図1の衛星画像に対する車両検出結果

5. まとめ

本研究では完成車駐車場における衛星画像からの車両検出を目的として訓練用の合成画像を生成する手法を提案した。今後は検出モデルの構築、特に小さな物体検出に特化したモデル[5]の構築と性能検証を行うとともに、合成画像と実写画像とのドメインの違いを吸収する方法についても検討を進めていく。

参考文献

- [1] Man K., Chahl J., "A Review of Synthetic Image Data and Its Use in Computer Vision", Journal of Imaging, Vol.8, No.11 (2022).
- [2] Xu Y., Huang B., Luo L., Malof J.M., "SIMPL: Generating Synthetic Overhead Imagery to Address Zero-shot and Few-Shot Detection Problems", IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens., Vol.15, (2022)
- [3] Orić M., Galić V., Novoselnik F., "Synthetic dataset generation system for vehicle detection", Software Impacts, Vol.23, 100735 (2025).
- [4] Klamp M., Stütz P., "Deep Learning-Based Vehicle Detection on Real and Synthetic Aerial Images: Analysis of Training Data Composition and Statistical Influences", Sensors, Vol.23, No.7, 3769 (2023).
- [5] Nikouei M., Baroutian B., Nabavi S., Taraghi F., Aghaei A., Sajedi A., Ebrahimi Moghaddam M., "Small Object Detection: A Comprehensive Survey on Challenges, Techniques and Real-World Applications", arXiv preprint arXiv:2503.20516 (2025).