

SAR衛星画像を用いた車両検出アルゴリズム

Vehicle Detection Algorithm Using SAR Satellite Images

須永 楓大*
Futa Sunaga

北田 智之
Tomoyuki Kitada

中島 正浩
Masahiro Nakajima

八川 剛志
Takeshi Hachikawa

AI技術の急激な進展によって、自動車の自動運転化が現実的になってきている。それには、道路や駐車場所の俯瞰的な状況把握が不可欠となるが、車両から得られるプローブ情報や、道路に設置された感知器では網羅性に課題がある。そこで我々は、全天候性を有するレーダであるSARによって観測された単色画像を活用して、車両を検出するアルゴリズムを開発した。そのアルゴリズムのSAR衛星画像に対する適用結果と、目視による台数カウントの結果を比較することによって妥当性を確認した。本稿ではその成果を報告する。

With the rapid development of AI technology, autonomous driving is becoming a reality. To achieve this, it is important to have a comprehensive view of road and parking area conditions. However, achieving sufficient coverage is challenging because probe information is limited by data privacy concerns and road sensors are installed only on major roads. To address these challenges, we proposed an algorithm to detect vehicles using monochromatic images observed by an all-weather radar called SAR (Synthetic Aperture Radar). We evaluated the algorithm by comparing its results on SAR satellite images with vehicle counts obtained through visual inspection. This paper reports the results and discusses the challenges encountered in the process.

キーワード：SAR、リモートセンシング、車両検出、ITS、segmentation

1. 緒 言

大規模な自然災害の増加や、自動運転社会に向けた技術開発が進む中、道路や駐車場所の状況を広範囲かつ俯瞰して把握する技術への期待が高まっている。当社グループではITS（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）として、交通情報を収集するためのセンサ機器や、交通情報を配信するシステムを販売・運用してきた。しかし、道路に設置される車両感知器は、主要な道路にしか設置されておらず、また車両やスマートホンから得られるプローブ情報も搭載率やデータ所有権の問題があり、網羅性に課題がある。

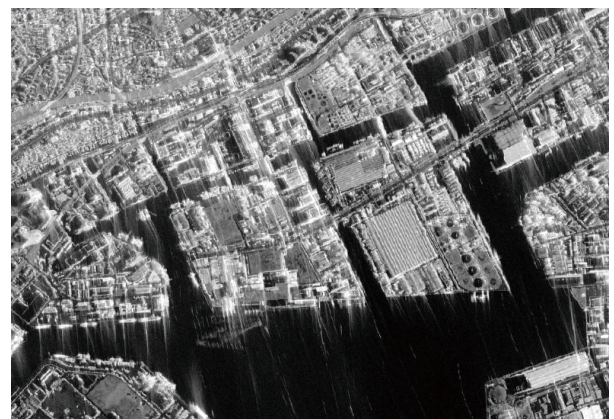
そこで本稿では、道路および駐車場所の俯瞰的な状況把握を目指し、地球観測衛星による車両検出を考える。地球観測衛星とは、宇宙から地球で起きる諸現象を観測している人工衛星であり、光学センサや電波センサなど様々なセンサを搭載している。我々は、SAR（Synthetic Aperture Radar：合成開口レーダ）を搭載したSAR衛星を用いて、地上にIoTセンサや電力・通信インフラがない環境でも、遠隔から道路や駐車場所の実態を把握することを目指す。

2. SAR衛星とは

SAR衛星は、地表面を観測するために能動型マイクロ波センサを使用する。SARから発射された送信信号は、地表の対象物にあたり、SARはそれらから後方散乱する信号を観測する。この観測信号と参照信号で相関処理を行うことで、高分解能な画像を得ることができる。2020年以降は

SAR衛星の技術進化によって、民間企業による小型Xバンド^{*1}SAR衛星の開発および打ち上げが加速しており、空間分解能が1m以下のSAR衛星が各国から登場している。

上述のように、SARは観測に太陽光を必要としないため、昼夜問わずに観測が可能、かつ、SARが使用するマイクロ波は雲を透過するため、天候に左右されない観測が可能である。しかし、地上の物体検出を考えた場合、複数波長からカラー画像を生成することができる光学センサとは異なり、SARはマイクロ波の強度のみから成る単色画像であること（図1に画像例）、さらに反射波の干渉に起因するスペックルノイズなど、画像解析における課題がある。本



©Capella Space Corp. All Rights Reserved.

図1 SARで港湾エリアを観測した例

稿では、SAR衛星画像に映る複数の車列から精度良く車両検出することを目指し、segmentation法と呼ばれる画像処理アルゴリズムを用いた車両検出を考える。

3. 検討手法

今回我々は、segmentation法と呼ばれる画像処理アルゴリズムを用いることで、車両検出を考える。このアルゴリズムは、各ピクセルの距離や輝度値などの類似度を基にして、スーパーピクセルと呼ばれるピクセルのかたまりを生成する技術のことであり、SAR衛星画像解析の研究分野においては、画像中領域から森林である領域を推定する研究⁽¹⁾等で用いられている画像処理技術である。

検討手法では、まずポリゴンデータ^{*2}を用いて車両存在区画を抽出する。抽出した区画に対して、輝度値を二値化するための閾値操作と、segmentation法を組み合わせることによって、車両検出を行う。閾値操作を行う目的は、画像中スペックルノイズを軽減することと、車両境界を明確にすることである。

車両の出荷場や駐車場といった、車両が高密度で存在する領域では、観測角度等の条件によって、各車両の輝度値が大きく異なる可能性が考えられる。この場合に閾値操作を行うと、相対的に輝度値が小さな車両を画像から排除してしまうことによって、正確な台数カウントができないと考えられる。そこで、車両存在区画の中で距離が近く、輝度値の分布が類似していると考えられる車両のかたまりに対して、輪郭抽出技術を用いて車列として抽出し、得られた車列ごとにsegmentation法を適用することによって、正確な台数カウントを実現する。

なお、様々なsegmentationアルゴリズムのうち、今回はk-meansと呼ばれるクラスタリング手法を応用した、SLIC (Simple Linear Iterative Clustering)⁽²⁾を用いた。SLICは、k-meansと比べ、探索が重心の近傍に限定され、計算量的メリットがある。

ここまで説明した処理の流れを図2に示す。

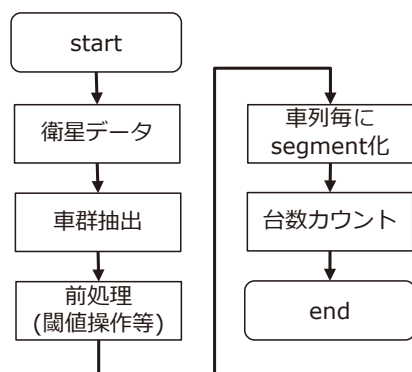


図2 アルゴリズムの流れ

SLICを用いる際、画像領域をどの程度のセグメント数に分割するかを、パラメータとして事前に設定する必要がある。さらに、そのパラメータに従って生成されたセグメントが、車両に相当するセグメントか否かを判断する必要がある。台数カウント処理部においては、あるセグメントを車両と判断する基準として、閾値となるパラメータを設定している。セグメントのサイズと閾値パラメータの関係を判断基準とするなどの処理によって、車両台数のカウントを行った。なお、これらのパラメータの値については、車両サイズと空間分解能から適切と考えられる値を設定した。

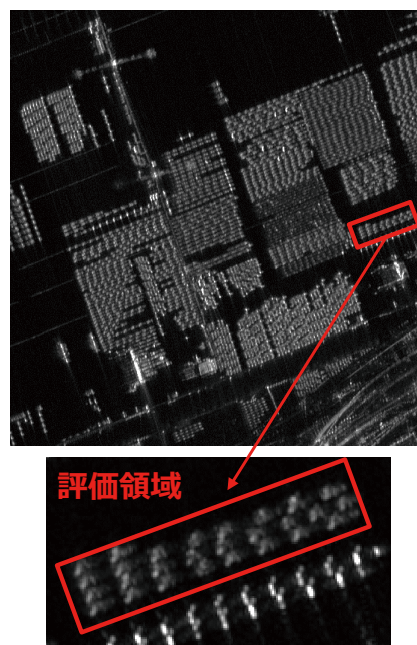
4. 使用データ

評価に用いたデータの諸元を表1に示す。今回の評価では、Capella Space社によって提供される、オルソ補正^{*3}済みのGEOプロダクトデータを用いた。空間分解能はアジマス方向^{*4}が0.5m、グラウンドレンジ方向^{*5}が0.5~0.7mである。また、港湾部の車両出荷場に対応する元画像と、今回評価対象とした領域を図3に示す。

評価領域は、民間の駐車場等よりも車両が高密度で存在しており、目視でも車両間の境界がわかりにくく、個車分

表1 評価に用いたSAR衛星画像の諸元データ

観測日	2022/10/13
周波数	X-band
入射角	43.8°
衛星軌道	Ascending
観測モード	SpotLight



©Capella Space Corp. All Rights Reserved.

図3 港湾部の車両出荷場の元画像と評価領域

離の難易度が高い。本評価領域のような状況で正確に車両検出ができれば、アルゴリズムによる個車分離は現実的に可能であると言える。

5. アルゴリズムの適用結果

以降では、我々が開発した車両検出アルゴリズムを図3の評価領域に適用した結果について説明する。

評価領域では、車両が密に集まっているものの、ある程度規則的なかたまりとして整列している様子が見て取れる。そこで、3章で述べた輪郭抽出技術を用いることで車列を抽出した結果の一例は図4のようになる。

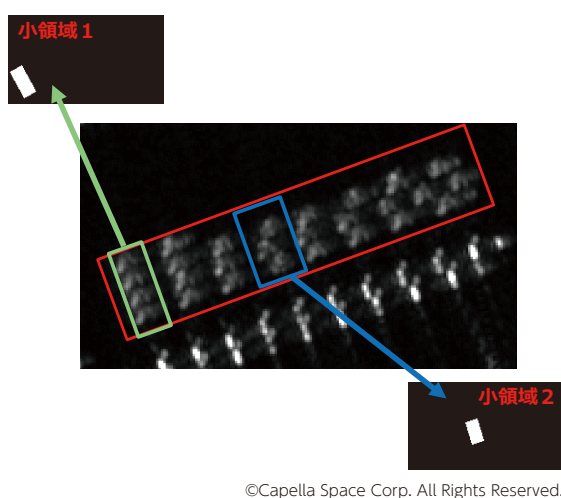


図4 図3の評価領域から抽出された2つの小領域

図4中赤枠である、評価領域全体では、車両ごとに輝度値にばらつきがある一方で、距離的に近い小領域では輝度値が似通っていることが多い。そのため、評価領域全体ではなく、小領域ごとに閾値操作、segmentation等アルゴリズムを適用することで、精度の良い車両検出が実現できると考える。

図4に示した小領域に対し、閾値を変化させながらアルゴリズムを適用した結果を図5に示す。小領域ごとの正解値には、目視確認によってカウントした台数として、小領域1、2に対してそれぞれ4台、3台としている。

図5において、横軸は各領域中輝度最大値で規格化した二値化に用いる閾値、縦軸は各閾値における正解値からのずれを表している。

これらの結果は、広範な閾値に対して正解値が得られていることを示している。このことから、本アルゴリズムを用いることで、車両が高密度に存在し、個車分離が難しいように思われるケースにおいても、高い精度で車両検出が可能であることがわかった。

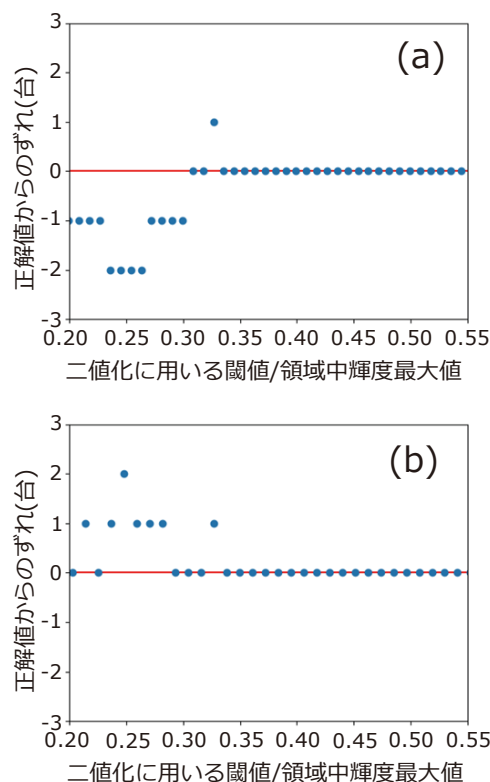


図5 (a) : 小領域1に対する適用結果
(b) : 小領域2に対する適用結果

一方で、本来は閾値を強めることで徐々に正解値に収束していくのがあるべき姿であるが、閾値が小さい領域で正解しており、また正解しているパラメータ領域に一部不正解なものがある。これは、現在の台数カウントロジックにおける内部処理と、経験的な値で固定した各種パラメータの関係のチューニングが不十分であることに起因していると考えており、改善にはこれらのチューニングを行うこと、さらに、各種パラメータを小領域のサイズや輝度分布等の特徴量をもとに適切な値を自動設定するといった拡張が必要であり、今後の課題と考えている。

6. 結 言

本稿では、SAR衛星による交通状況の俯瞰監視を目的とした車両検出技術について述べた。また、車両が通常の駐車場よりも高密度に存在するテストデータに対してアルゴリズムの適用を行った結果が、目視確認の結果と一致していることを確認し、SAR衛星画像を用いた車両検出が可能であることを示した。今後は、今回開発したアルゴリズムにおいて、経験的な値を用いたパラメータ設定の自動化等を行い、アルゴリズムをより強固なものにする予定である。さらに、今回の技術開発で得られたSAR衛星画像解析に対する知見を応用し、AIを用いた自動検出にも取り組み、ITSの更なる発展に貢献していきたい。

7. 謝 辞

本技術の研究開発成果は、一般財団法人リモート・センシング技術センターの山之口勤博士との共同研究によって得られたものである。本研究の遂行にあたり、多大なご助言とご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

用語集

※1 Xバンド

マイクロ波の周波数帯域の一つであり、8GHzから12GHzを指す。

※2 ポリゴンデータ

地理的な領域を表現するための図形データの一つであり、座標により特定される複数の頂点が形成する閉じた領域のこと。

※3 オルソ補正

地上の座標に合わせて画像を正しく配置するために、衛星画像の歪みを補正する処理のこと。

※4、5 アジマス方向、グランドレンジ方向

SAR搭載衛星の進行方向をアジマス方向、SAR衛星の直下から地表面上の対象物の位置の方向をグランドレンジ方向と呼ぶ（図6）。

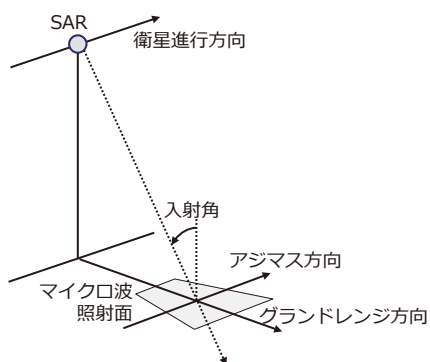


図6 各方向と角度の名称

参考文献

- (1) THIEL, C.; DREZET, P.; WEISE, C.; et al. Radar remote sensing for the delineation of forest cover maps and the detection of deforestation, An international Journal of Forest Research, 2006, Vol 79, No 5, pp589-597
- (2) Achanta, Radhakrishna.; Appu, Shaji.; Smith, Kevin.; et al. SLIC Superpixels Compared to State-of-the-Art Superpixel Methods, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, Vol 34, No 11, pp2274-2281

執筆者

須永 楓大*：情報ネットワーク研究開発センター



北田 智之：情報ネットワーク研究開発センター
主席



中島 正浩：住友電工システムソリューション(株)
主幹



八川 剛志：情報ネットワーク研究開発センター
部長



*主執筆者