

(15) SfMソフトウェアの全自動化に向けた 対空標識の自動認識手法の提案

安彦 智史¹・北川 悦司²・村木 広和³・米田 将⁴・津村 拓実⁵

¹正会員 仁愛大学講師 人間学部 (〒915-0015福井県越前市大手町3-1-1)

E-mail:abiko@jinai.ac.jp

²正会員 阪南大学教授 経営情報学部 (〒580-8502 大阪府松原市天美東5-4-33)

E-mail:kitagawa@hannan-u.ac.jp

³非会員 国際航業株式会社 センシング開発部 (〒183-0057東京都府中市晴見町2-24-1)

⁴非会員 阪南大学大学院 企業情報研究科 (〒580-8502 大阪府松原市天美東5-4-33)

⁵非会員 阪南大学 経営情報学部 (〒580-8502 大阪府松原市天美東5-4-33)

近年、地上分解能が小さい空中写真を容易に撮影できる手段としてUAVが注目を集めている。このUAV空撮画像を用いた3次元計測は、一般的にSfM (Structure from Motion) 技術を用いた写真測量ソフトウェアを利用する。このSfMソフトウェアの一般的な利用フローは、バンドル法を用いたカメラ位置計算→GCP設定→バンドル法でカメラ位置再計算となる。そして、このフローのGCP設定の箇所に人の作業が介入するため、全自動化ができていないという課題がある。そのため、GCP設定に利用する対空標識の自動認識技術が必要とされている。そこで、本研究では、SfMソフトウェアの利用フローに注目し、初めに行うカメラ位置計算の結果とGCP座標を利用することと、日光によるハレーションに対応するためのテンプレート画像を作成することで、高精度な自動認識技術を構築した。

Key Words : SfM(Structure from Motion), UAV, GCP, image processing, template matching

1. はじめに

国土地理院では、無人航空機(UAV : Unmanned Aerial Vehicle 通称ドローン)を測量で使用できるように、「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)¹⁾」及び「公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準(案)²⁾」を作成し、平成28年3月30日に公表した。これにより、近年、測量業界では安全にUAVによる測量を実施できる環境を整え、建設現場における生産性の向上を目指したUAVの運用を進めている。UAVを用いて測量を行う際には、UAVから撮影した地上分解能が高い複数の連続写真から3次元モデルデータを作成するSfM(Structure from Motion)と呼ばれるソフトウェア³⁾が用いられる。SfMソフトウェアを用いて3次元モデルデータを作成する際、まず、各連続写真内において自動でカメラ位置が計算されるが、この際に写真内のGCP⁴⁾の位置がずれる問題がある。GCPの位置がずれると連続写真から3次元モデルデータを作成する際に正しく結合ができないため、現在は測量対象範囲内に対空標識設置し、人手による入力でカメラ位置を補正する作業を行っている。しかし、

この作業は技術者の負担が多く、工期短縮やコスト削減に向けて、対空標識を自動認識し、自動的にGCP座標の写真座標を補正する技術が求められている。

画像の中から対空標識を抽出するのに利用可能な技術としては、テンプレートマッチング⁵⁾やShiftなどの特徴点によるマッチングがある。特徴点マッチングは、テンプレートとなる画像に特徴点を発生させ、探索対象画像内に同様の特徴が含まれるオブジェクトを抽出する技術である。しかし、特徴点マッチングの場合、看板や写真内のオブジェクトの抽出には適しているが、対空標識のような色数が少なく単純な形状ではうまく特徴が発生せず、写真内の対空写真を抽出することが困難である。また、テンプレートマッチングを用いた手法は、テンプレートとなる画像と探索対象画像の類似度を計算し、探索対象画像内からテンプレートに該当するオブジェクトを抽出する技術である。しかし、UAVが撮影した写真内の対空標識は、ハレーション等の問題によりテンプレートと異なる形状に変化しており、テンプレートマッチングを適用することは困難である。さらに、UAVから取得した写真は広域な範囲を映しているため、多量の

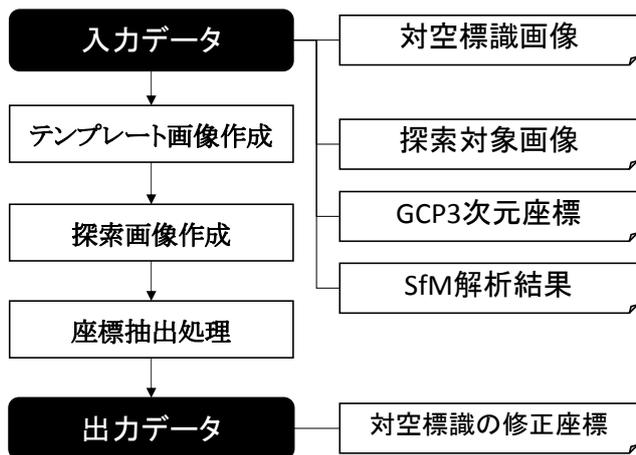


図-1 処理フロー



図-2 UAVで撮影した標識画像



図-3 テンプレート画像の白膨張処理

自然物が含まれ、抽出精度が低下する問題がある。そこで本研究では、SfMソフトウェアから得られるカメラの位置情報と複数のテンプレートを用いたマッチングを行うことで、一般的なテンプレートマッチングの手法でも高精度に対空標識を認識し、位置情報を取得するシステムを開発する。

2. 研究の概要

本研究では、SfMソフトウェアの全自動化に向けた対空標識の自動認識手法を開発する。本手法を実装したシステムの処理フローを図-1に示す。

(1) 入力データ

本システムの入力データとして、テンプレートとなる対空標識画像とその実寸値、探索対象となる対空写真、SfMの計算結果とGCP座標を用いる。テンプレートとなる対空標識画像は、スキャナや写真撮影後のトリミングなど様々な方法での作成が考えられる。そのため、ピクセルサイズもバラバラで入力される可能性が高い。そこで、エイリアスの影響などを統一化させるために、一度

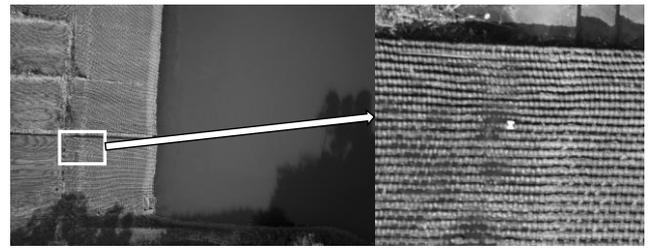


図-4 探索画像作成(左：対空写真，右：探索画像)

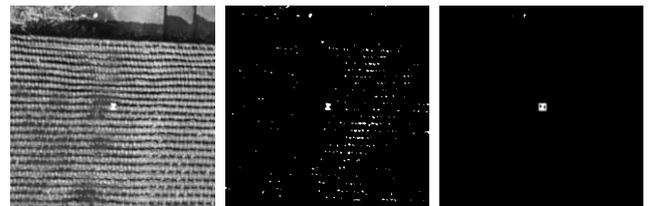


図-5 探索画像の2値化(元画像，閾値 200，閾値 235)

100×100ピクセル（長方形の場合は横が100）の大きさに自動リサイズを行う。また、探索対象となる対空写真の解像度については、SfMソフトウェアの解析結果を用いる。

(2) テンプレート画像作成処理

本処理では、入力データにある対空標識画像に前処理を行うことにより、テンプレート画像を自動生成する。UAVで撮影した標識は、日照状況や撮影高度など撮影条件によってハレーションが生じ、白色部分が膨張してしまうことが多々ある(図-2)。ハレーションの度合いは撮影条件に依存するため、システム上で推測することは困難である。そのため、本処理では入力データのテンプレート画像に対して、ハレーションと似た形状変化になる白色膨張処理を行って異なる膨張強度の3枚の画像を生成する(図-3)。そして、この3枚の画像をテンプレートとしたテンプレートマッチングを行う。本システムでは、まず、テンプレート画像を2値化し、不要なゴミなどを除去した後、OpenCVの白膨張処理を用いて、3種類のテンプレート画像を生成する。白膨張の強度は、1、5、10の3種類とした。次に、生成したテンプレート画像のリサイズを行う。テンプレートマッチングでは、テンプレートのサイズと検索画像に写っているテンプレートのサイズがある程度同じでなければ、極端に精度が落ちる問題がある。そこで、「テンプレートの実寸値 (mm) / 解像度 (mm/ピクセル)」の計算を行い、探索画像である対空写真内に存在する対空標識とある程度同じサイズにテンプレート画像をリサイズする。

(3) 探索画像作成処理

本処理では、テンプレートマッチングで利用する探索画像を生成する。UAVから撮影した対空写真からSfMソフトウェアを用いてカメラ位置を計算する際、GCPを手動で設定後、再度カメラ位置を再計算する必要がある。そこで、本機能では、入力したGCPの3次元座標とSfMの解析結果から算出できるGCPの写真座標を (x, y) 、探索範囲 (mm) / 解像度 (mm/ピクセル) を H とした場合、左上が $(x-H, y-H)$ で、右下が $(x+H, y+H)$ となる矩形を対空標識の探索画像として切り出す。本処理により、膨大な範囲を映し出している対空写真から、対空標識が含まれる探索範囲を絞り込み、探索画像とする(図-4)。次に、探索画像の2値化を行う。様々な撮影条件に対応するために、2種類の2値化画像を用意する。具体的には、様々な撮影条件に対応するため、2値化処理の閾値を白に近い200と235の2種類とした(図-5)。そして、2値化された2種類の探索画像に対して、白色のラベリング処理を行い、白領域が大きい箇所を除去する。白領域除去の基準としては、3つのテンプレート画像で白が一番大きい強度10のテンプレートの白の個数×2倍以上の大きさとした。その理由として、テンプレートのサイズと、実際の検索画像のサイズをほぼ同様にしているため、そのサイズより極端に大きい(2倍以上)白色は標識ではないと定義できる。

(4) 座標抽出処理

本処理では、前処理で作成した3つのテンプレートを2つの探索画像に対してテンプレートマッチングを行い、標識の座標を算出する。本研究では、OpenCVを用いて6種類のテンプレートマッチングを実装し、簡易実験を行った結果から、照明変化に強いとされる正規化相互相関(Normalized Cross Correlation)の計算方法を用いたテンプレートマッチングを採用した。本処理では、この正規化相互相関のテンプレートマッチングをテンプレート3種類×検索画像2種類の6回行う。本処理の結果から、6つの出力結果に対してもっとも近似座標が多い位置を結果とした。また、座標数が同じ場合は、テンプレートとの類似度が一番高いものを選定した。最後に、抽出した白色領域の重心を出力座標とし、左上の座標 $(x-H, y-H)$ をその値に足すことで、切り取る前の座標値に変換して出力する。

3. 実証実験

(1) 実験概要

本提案手法の有用性を確認するために、本提案システムを用いて、UAVにより撮影した空撮写真内の対空標識抽出実験を行う。本実験では、UAVで撮影した対空

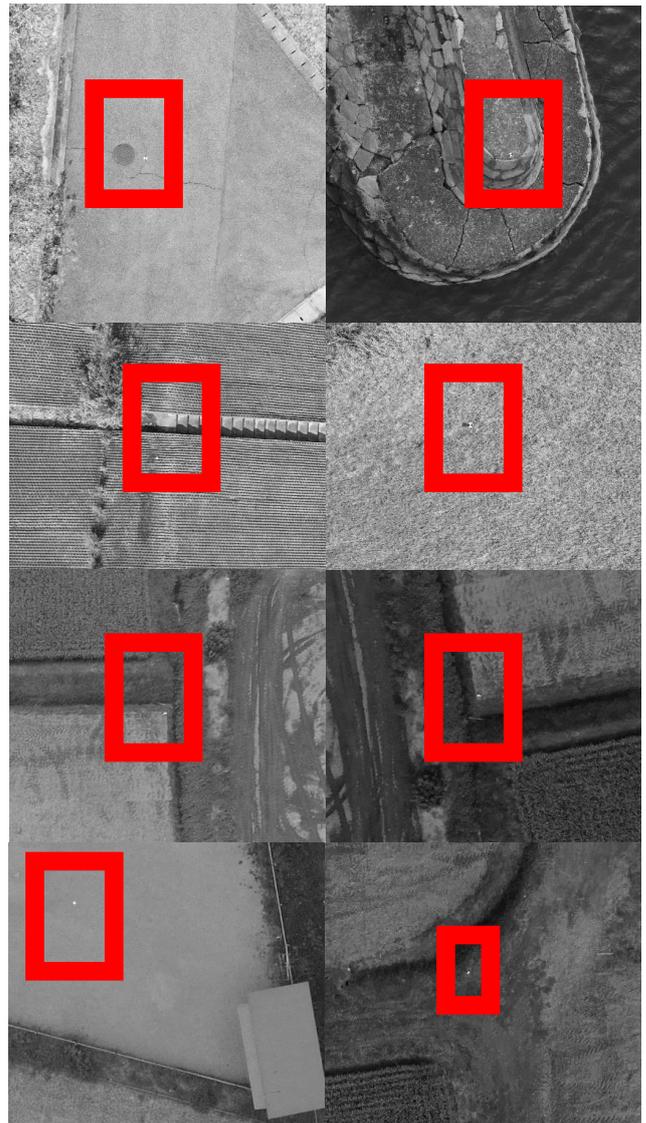


図-6 対空標識を認識できた探索画像

画像に含まれる対空標識を対象に、座標取得精度を確認した。実験対象としては、撮影日時や場所が異なる10シーンの中の対空写真を対象にした。UAVは連続写真のため、同じ対空標識が複数枚含まれることが一般的だが、基本的に一枚の画像が認識できると同様のシーンは全て認識することが可能である。そのため、1シーンから1対空標識を選定して実験を行った。なお、本実験ではSfMソフトウェアとしてPix4Dmapperを用いた。

(2) 実験結果と考察

実験の結果、10枚中8枚のシーンにおいて対空標識を抽出することができた。標識が抽出できた画像を図-6、標識が抽出できなかった画像を図-7に示す。実験から、海岸やダム、道路など様々なシーンで対空標識の座標を自動取得することが可能であることがわかった。

対空標識が抽出できなかった2枚の画像について考察

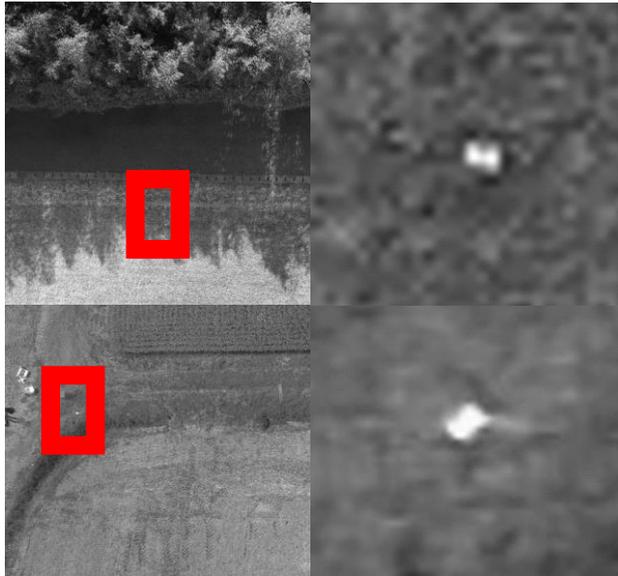


図-7 対空標識が認識できなかった画像とその誤抽出画像

する。図-7上の画像については、空撮画像の中で日照状況により輝度が大きく異なる2領域が発生しており、日陰の領域にある対空標識の白色が認識できず、白色に近い草原のハレーション領域が対空標識として誤抽出されている。また、図-7下の画像については、空撮写真内に白く反射したものが存在し、そちらを対空標識として誤抽出されている。両画像ともに、写真内の対空標識に大きくハレーションが生じており、人目による判断においても対空標識と判断することが難しいレベルであった。また、図-7右の拡大画像からもわかるとおり、対空標識にはほぼ黒領域が無く、対空標識に背面の色が侵食するように形状が変化していることで、テンプレートとの差異が大きくなり、他に類似度が高い場所を誤認識したと考えられる。これらの誤抽出を解決する手法としては、より空間分解能が高いカメラを用いた空撮を行うほか、UAVを用いた公共測量マニュアルに記載されている黄色黒色の対空標識を設置するなど、形状を維持する手法を検討する必要がある。また、空撮の際に、日陰に対空標識を設置しないなどの運用でカバーすることである程度有効だと考えられる。しかし、図-7の両画像に含まれる対空標識の画素数を計算したところ、 10×10 画素に満たない画素数となっていた。UAVを用いた公共測量マニュアルに記載されている第52条運用基準によると、対空標識の辺長または円形の直径は、撮影する空中写真に15画素以上で写る大きさを標準とする旨が記載されている。すなわち、本手法により誤認識できなかった画像は測量を行う対象画像としては不適切といえる。しかしな

がら、本手法を実装したシステムでは、15画素未満の画素数の対空標識が含まれていた他の画像においても高精度に対空標識を抽出することができた。本結果からも、対空標識座標を自動取得する手法として、本手法有用であると考えられる。

4. おわりに

本研究では、SfMソフトウェアから得られるカメラの位置情報と複数のテンプレートを用いたマッチングを行うことで、一般的なテンプレートマッチングの手法でも高精度に対空標識の位置情報を自動取得するシステムを開発した。そして、実証実験から、本システムの精度について確認した。本システムにより、GCP位置を補正した写真座標を自動取得することが可能となった。これによりSfMソフトウェアの利用フロー内におけるGCP座標の自動取得を行うことが可能になると考えられる。しかし、対空画像内の対空標識の画素数が少ない場合や撮影条件が悪い場合、対空標識を認識できない可能性がある。これらを解決する手法として、UAVを用いた公共測量マニュアルに記載されている第52条運用基準に基づいた測量を行うほか、対空標識を特徴点マッチングが利用できるような幾何模様にするなどの手法も検討できる。今後は、提案手法を用いてより多くのシーンで対空標識の取得実験を行い、より実運用に即したシステムになるよう改良を進める予定である。

参考文献

- 1) 国土地理院：UAVを用いた公共測量マニュアル(案), <<http://www.gsi.go.jp/common/000186712.pdf>>, (入手2018.6.15).
- 2) 国土地理院：公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準(案), <https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/uav/doc/anzen_kijun_160330.pdf>, (入手2018.6.15) .
- 3) 早坂寿人, 大野裕幸, 大塚力, 関谷洋史, 瀧繁幸：UAVによる空撮写真を用いた三次元モデリングソフトウェアの精度検証, 国土地理院時報, 国土地理院, No.127, pp.107-116, 2015.
- 4) Ts. Purevdorj and R. Yokoyama：AVHRR画像におけるGCPの自動抽出方法, 写真測量とリモートセンシング, 写真測量学会, Vol.41, No.1, pp.28-38, 2002.
- 5) 阿久津裕之, 太田直哉：テンプレートマッチング法のパターンの変形に対する耐性の実験的評価, 情報処理学会第37回全国大会講演論文集, 情報処理学会, pp.511-512, 2011.