

ドローン空撮画像を用いたピクセル単位の着陸安全性判別法とその検証

Pixel-wise Detection Method for Safe Landing Area from Drone Aerial Images and Its Verification

菊本 智寛[†], 吉田 武史[‡], 浦久保 孝光[†]

[†] 神戸大学大学院 システム情報学研究科

[‡] 立命館大学 総合科学技術研究機構

Chihiro Kikumoto[†], Takeshi Yoshida[‡], and Takateru Urakubo[†]

[†] Kobe University

[‡] Ritsumeikan University

Abstract In order to realize autonomous drones that can accomplish various tasks and emergency landings in unknown environments, automatic detection of safe landing area is required. We have proposed a method for detecting safe landing area based on the images captured by an onboard monocular camera. In this paper, we apply the method to actual aerial images, and check whether several types of small objects on the ground surface can be detected as unsafe areas.

1 はじめに

自律ドローンによる次世代の物資輸送システムを実現するには、安全な自動着陸のための誘導制御技術が必要となる [1, 2]. すなわち、輸送先の地表の状況を的確に判断し、安全な着陸候補地点を設定し、安全な飛行経路で自動着陸することが求められる。とくに、大規模災害時などの救援物資輸送においては、着陸場所の状況は未知であり、災害発生前の地理情報やランドマークは利用できない可能性が高い。また、機体トラブル発生などによって緊急着陸する際にも周辺環境から安全な着陸場所を見つけ着陸する必要がある。

我々は、未知環境における安全な着陸を実現するために、上空を水平飛行するドローンのカメラ画像を用いて、画像上の各ピクセルにおける着陸安全性を判別する手法の構築を進めている [3]. Semantic Segmentationを用いた地表クラス分類、および、オプティカルフローを用いた地表の平坦さ推定にもとづき、各ピクセルの着陸安全性をスコア化し、得られたスコアに対して閾値を設けることで着陸可能領域を抽出する。本稿では、この手法の概要を紹介した後、地表にいくつかの小さな物体を設置した場合の画像に提案手法を適用した結果を示し、提案手法の有効範囲や利用法について考察する。

2 着陸可能領域検出手法の概要

山間部の被災地へ物資輸送を行うことを想定すると、ドローンの故障を避け、人が回収できる場所へ物資を届けるためには、1. 池や川などの水が満ちた場所でないこと、2. 屋根の上、木の上などの人が到達困難な場所でないこと、3. 急斜面や大きな凹凸のある場所でないこと、がドローンの着陸要件として考えられる。提案手法では、地表クラス分類による評価と平坦さ推定による評価をヒートマップとして組み合わせることで、単眼カメラの画像を用いて着陸要件 1 ~ 3 を満たす領域を抽出する。

ただし、本研究では、ドローンが比較的上空を水平飛行中に、着陸候補地点を抽出する場合を考えることに注意する。安全な自動着陸には、上空での着陸候補地点の抽出、着陸候補地点へのアプローチ、低空での候補地点付近の安全性再確認などの段階的な誘導制御が必要と考えられる。とくに、機体周辺に侵入する人や自動車などの移動体については、低空侵入時の再確認が求められる。また、詳細は別稿にて報告予定であるが、以下で紹介する手法は、[3] で提案した手法をいくつかの点で改良したものである。

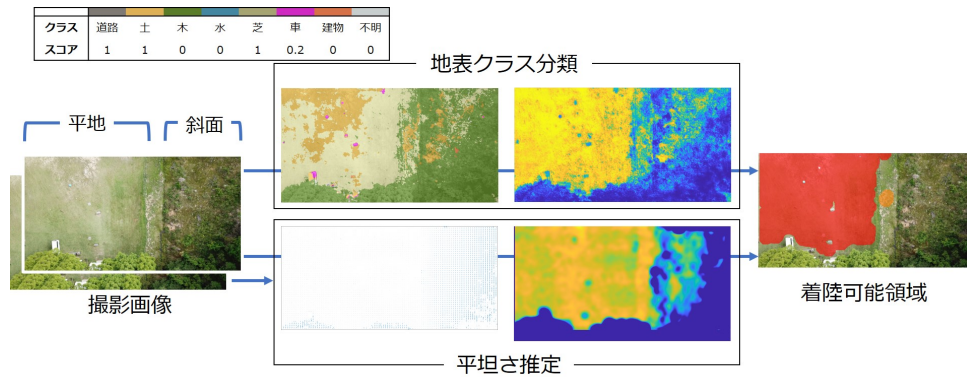


図1 提案手法による着陸可能領域抽出の流れ

地表クラス分類

要件1と2の評価には、ピクセル毎にクラス分類を行う Semantic Segmentation と呼ばれる深層学習を用いる。本研究では、

DeepLab v3+ モデル [4] をベースに、衛星写真 200 枚と CG 画像 200 枚からなる学習データセットを用いた fine tuning を行うことで、表1に示す8クラスに分類する学習器を作成した。Semantic Segmentation の出力として得られた分類確率の値に、表1に示すクラス毎に設定したスコアを乗じて総和をとることで、各ピクセルにおける地表クラス分類のスコアを得る。

表1 地表クラスに対するスコア設定

地表クラス	道路	土	木	水	芝	車	建物	不明
スコア	1	1	0	0	1	0.2	0	0

平坦さ推定

オプティカルフローを用いた地表面の平坦さ推定により、要件3の評価を行う。ドローンを水平飛行させながらカメラを真下に向けて撮影を行うとき、2枚の撮影画像間には地表の高度に応じた視差（オプティカルフロー）が生じる。地表の凹凸度合は、オプティカルフローから求めた高度の標準偏差によって評価することができる。本研究では、まず位相限定相関法により2枚の画像間で重複する領域を切り出し、続いて Farneback 法 [5] により各ピクセルのオプティカルフローを算出した。地表分類のスコアと評価値の値域が一致するように高度の標準偏差を変換して、平坦さ推定によるスコアとする。

スコアの統合と着陸可能領域の抽出

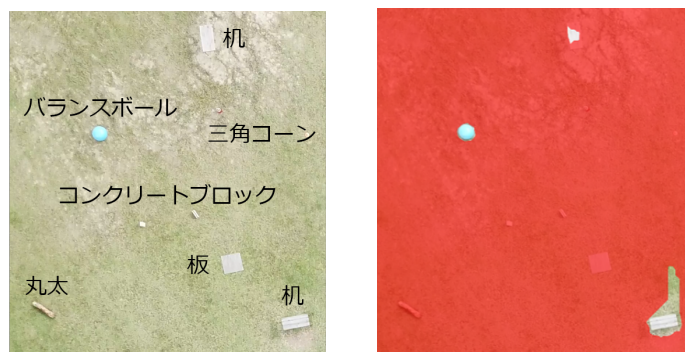
地表クラス分類によるスコアと平坦さ推定によるスコアの平均値を取ることで最終的なスコアを算出し、閾値を設けて二値化することで着陸安全性を判別する。また二値画像に対してラベリング処理や拡大・収縮処理を行い、得られた領域の面積が大きい順に着陸候補領域とする。

図1は以上に述べた処理の流れを表しており、最終的に得られた着陸可能領域を、面積の大きい順に赤、橙で示している。提案手法を適用した結果、平地の部分が検出されていることがわかる。

3 実験結果と考察

図1に示した結果では、斜面、木などを除いた領域を、おおむね適切に着陸可能と判別していることが分かる。ここでは、比較的小さな物体が地上にある場合の提案手法の判別能力を実験結果により調べる。図2(a)に示すとおり平地に様々な物体を設置し、高度約50[m]を水平飛行させながら動画像を取得した。撮影は能勢ドローンフィールド（大阪府豊能郡能勢町宿野437）において2021年8月30日の午後に行い、天候は曇、軽風であった。機体はDJI社のMAVIC PRO PLATINUMを使用しており、ジンバル機構によりカメラの向きを真下方向に保って撮影を行った。カメラの解像度は4096×2160である。

図 2 (b) に、提案手法を適用して判別された着陸可能領域を赤色で示す。なお、(a)(b) とも撮影画像から物体を設置した画像領域のみを切り出したものであることに注意する。図 2 (b) より、設置した物体のうち机 (高さ約 70 [cm])、バランスボール (高さ約 70 [cm]) は着陸可能領域から除外されたが、それ以外の物体は除外されていないことが分かる。板については、高低差を生じないことから着陸に支障はないが、三角コーン (高さ約 70 [cm])、コンクリートブロック (高さ約 40 [cm])、丸太 (高さ約 20 [cm]) の上への着陸は避けるべきである。本実験の結果から、高度 50 [m] からの空撮画像を用いた場合には、提案手法では比較的小さな物体によって着陸不可となる領域を検出できない恐れがある。



(a) 撮影画像 (b) 提案手法の適用結果

図 2 提案手法による様々な物体の検出結果

現在、同じ画素数および高度でも提案手法の改良によって、どの程度小さな物体の領域が検出可能か、検討を進めている。例えば、平坦さ推定スコアの算出においては、高度標準偏差の計算時に用いるガウスカーネルの設定によって、三角コーンのような小さな領域での高度変化が小さく評価される可能性がある。また、着陸可否を判断する閾値も検出結果に大きく影響する。今後の課題として、適切な改良を進めつつ、高度や移動距離に応じた検出可能な物体の大きさを明らかにすることが必要である。さらに、安全な自動着陸に向けては、検出したい物体の大きさに応じて必要な高度や移動距離を提案手法にもとづき算出し、上空から低空侵入時の飛行経路計画に活用することなどが考えられる。

4 まとめ

本稿では、ドローンが未知環境上空を水平飛行中に、撮影した地表画像から着陸可能領域を抽出する問題を考え、Semantic Segmentation による地表クラス分類と、位相限定相関法と Farneback 法による平坦さ推定を組み合わせた手法を紹介した。実際の空撮画像による実験では、斜面、木などの大きな着陸不可領域を適切に除外できるが、高度約 50 [m] からの画像では小さな物体による着陸不可領域を除外できない可能性を確認した。今後、提案手法の改良とともに、高度と除外可能な物体の大きさの関係を明らかにすることが必要である。

参考文献

- [1] T. Hinzmann, T. Stastny, C. Cadena, R. Siegwart and I. Gilitschenski: Free LSD: Prior-Free Visual Landing Site Detection for Autonomous Planes, *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 3, Issue 3, pp. 2545–2552, 2018.
- [2] M. Warren, L. Mejias, X. Yang, B. Arain, F. Gonzalez and B. Upcroft: Enabling Aircraft Emergency Landings using Active Visual Site Detection, *Proc. of the 9th Conference on Field and Service Robotics*, pp. 1–14, 2013.
- [3] 張本, 菊本, 吉田, 浦久保: ドローン自動着陸におけるカメラ画像を用いた安全な着陸可能領域の抽出, 第 65 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp. 874–877, 2021.
- [4] L.-C. Chen, Y. Zhu, G. Papandreou, F. Schroff and H. Adam: Encoder-decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation, *European Conference on Computer Vision*, arXiv:1802.02611 [cs.CV], 2018.
- [5] G. Farneback: Two-frame Motion Estimation Based on Polynomial Expansion, *Proc. of Scandinavian Conference on Image Analysis*, pp. 363–370, 2003.