

# 3D-LiDAR を用いた小型飛行体検出法に関する一検討

## An Investigation of Detection Method for Small Flying Objects using 3D-LiDAR

中村 勇也<sup>†</sup> 岩切 宗利<sup>‡</sup> 藤原 匠<sup>‡</sup>  
Yuya Nakamura Munetoshi Iwakiri Takumi Fujiwara

### 1. はじめに

近年、無人航空機、(特にマルチコプターを代表とするドローン等、以下ドローンと称する)の急速な普及によって様々な場面でドローンが利活用されている様子を目にするようになった。科学技術の進歩によってドローンが高性能化して、その操縦が簡易になったため操縦者が急増し、ドローンの用途の多様性や可能性が広まったと考えられる。

一方、故意過失問わずさまざまなトラブルが生じているのも事実である。例えば、落下や接触事故、電波法違反、航空機の進路妨害(海外では実際に航空機との接触事故)、国内の例を挙げると「首相官邸無人機落下事件」[1]が記憶に新しい。このようにドローンによるインシデントに関する規模や種類は多岐にわたる。

これらのトラブルへの対策を講じるには、まず発見が重要である。特にドローンのような小型飛行体は遠方において発見が困難である。特に悪意のある高性能かつ多機能ドローンの発見が遅くなるとその対策が間に合わなくなる可能性もある。小型飛行体の発見はその意図を特定し脅威を判断するうえで重要である。

小型飛行体の発見・検出に用いられる機器や手法はレーダ、無線通信傍受、カメラのような光学センサ、音響センサ、熱源探知など多岐にわたる [2,3]。表 1 は、Vittorio Ugo Castrillo らの研究 [4] 等を基に代表的な手法の特徴をまとめたものである。この表に示したとおり、それぞれの手法には長所短所が存在し、実際の物体検出においては相互補間によってその長所短所を補うことが望ましい [3]。

しかしながら、これまでの研究では 3D-LiDAR を用いた手法があまり検討されていないのが実情である。本研究では 3D-LiDAR による 3 次元点群を用いた小型飛行体(ドローン)の検出法を検討した。

表 1 ドローン検出における代表的な手法と特徴

センシング手法	有効検出距離	得意	苦手
レーダ	150 m 以上	開けた空間	小型物体
無線探知	150 m 以上	無線使用機器全般	無線混雑 無線未使用機器
光学	150 m 以上	見やすい	夜間
音響	150 m 以上	比較的安価	騒音
赤外線	150 m 以下	夜間等	周囲の熱
LiDAR	50 ~ 150 m	ドローンに限らない	雨・霧

<sup>†</sup> 防衛大学校理工学研究科情報数理, Mathematics and Computer Science, Graduate School of Science and Engineering, National Defense Academy of Japan

<sup>‡</sup> 防衛大学校情報工学科, Department of Computer Science, National Defense Academy of Japan

### 2. 提案手法

Georgia Lykou らの研究 [5] によれば、ドローン検出において 3D-LiDAR は対象物の特定などに期待される一方で、遠距離における解像度が低く、特定は困難であるとされている。このことから、小型飛行体の検出の一手法として 3D-LiDAR を用いる研究はあるものの、それを有効に活用する取り組みは少ない。

滝田 [6] や松本ら [7] による研究では、3D-LiDAR や類似手法を用いて障害物検出を行う際に、揺動を機械的に加えることで検出距離および検出範囲の向上が認められた。これらのハードウェアは 3D-LiDAR の空間分解能を向上するため、小型飛行体の発見・検出にも有効と考えられる。しかしながら専用ハードウェアが必要であり、より柔軟で進展的な運用検討に制約がある。またこれらを本研究目的に適用評価した研究例は、未検討の状態である。

そこで本研究では、3D-LiDAR のセンサ位置、姿勢を変動させ取得した点群をレジストレーション処理するソフトウェア的手法を検討した。本提案手法では、測量レーザー光の隙間を補間センシングすることで小型飛行体検出にも適用可能となり、その効果により遠距離の小型飛行体検出能力の向上や検出精度を高めることができる。

### 3. 実験

本実験では、提案手法の有効性を確認するため 3D スキャン装置を揺動させない場合 (a) とさせた場合 (b) について比較実験を行った。検出対象の小型飛行体として DJI 社 PHANTOM 4 PRO (28.9.5 × 28.9.5 × 196 mm, 対角寸法約 350 mm) を用いた。3D スキャン装置として Velodyne LiDAR 社の 3D-LiDAR に VLP-16、レジストレーション処理に Kaarta 社の Stencil 2 を用いた。表 2 は、3D スキャン装置の基本的な機能諸元である。

表 2 3D スキャン装置の機能諸元

測定距離	最低: 1 m, 最高: 100 m
精度	± 300 mm
測定速度	300,000 points/sec
回転速度	10 Hz (600 rpm)
レーザー波長	905 nm
レーザーチャンネル数	16 (それぞれ 2° の角度差)
仰角・俯角	± 15°

図 1 は各実験装置の配置と全体像である。本実験ではまず 3D スキャン装置に揺動を加えずに観測 (測定時間: 約 20 秒間) し, その後手で揺動 (前後にそれぞれ約 30° ずつ) を加えた状態で測定 (測定時間: 静止約 10 秒間, その後揺動約 10 秒間) を行った。本実験のドローンの飛行条件は, 表 3 のとおりである。これをすべての条件で繰り返し行った。

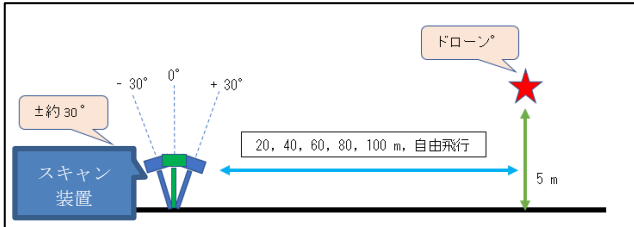
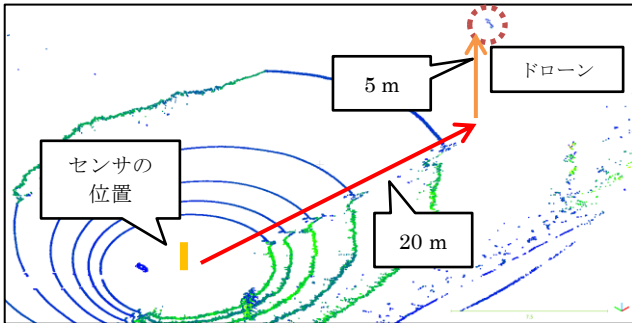


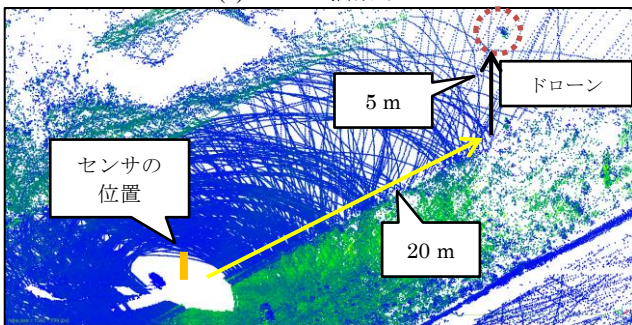
図 1 実験装置の配置と全体像

表 3 条件 (距離・揺動の有無) 別結果

飛行高度	約 5 m
センサの位置 (地表からの高度)	約 1m
センサからの水平距離	20 m, 40 m, 60 m, 80 m, 100 m
自由飛行時に高度	約 5 m



(a) 20m 揺動なし



(b) 20m 揺動あり

図 2 本実験で作成した 3 次元点群の一例

表 4 条件 (距離・揺動の有無) 別結果

水平距離 (m)	検出した点の数	
	揺動なし	揺動あり
20	13	98
40	0	17
60	0	—
80	0	4
100	0	3

#### 4. 実験結果と考察

図 2 は, 本実験により得た 3 次元点群の例である。表 4 は, この結果をまとめたものである。60 m 実験ではレジストレーションに失敗した。それ以外の実験条件では揺動なしと比べて, 揺動ありの方が有意にドローン上の観測点を取得できることがわかった。自由飛行の実験で点群に記録された時間の追跡によりドローンの飛行経路を追跡することもできた。

#### 5. おわりに

本研究では, 3D-LiDAR に揺動を加えることにより小型飛行体の検出能力を向上できることがわかった。本提案手法により, 従来手法では困難とされていた 3D-LiDAR による小型飛行体の検出について検討の余地があることがわかった。

#### 参考文献

- [1] 竹岡まりこ (内閣委員会調査室), “ドローンの飛行をめぐる新たな緊急安全対策 — 小型無人機等飛行禁止法等の一部を改正する法律案 —”, 立法と調査 No. 411 (2019)
- [2] Aldrich A Cabrera-Ponce, J Martinez-Carranza and Caleb Rascon, “Detection of nearby UAVs using a multi-microphone array on board a UAV”, International Journal of Micro Air Vehicles (IMAV 2019-Original Research Article), Volume 12: 1–10 (2019)
- [3] Petar Andraši, Tomislav Radišić, Mario Muštra and Jurica Ivošević, “Night-time Detection of UAVs using Thermal Infrared Camera”, Transportation Research Procedia 28 (2017)
- [4] Vittorio Ugo Castrillo, Angelo Manco, Domenico Pascarella and Gabriella Gigante, “A Review of Counter-UAS Technologies for Cooperative Defensive Teams of Drones”, Drones (2022)
- [5] Georgia Lykou, Dimitrios Moustakas and Dimitris Gritzalis, “Defending Airports from UAS: A Survey on Cyber-Attacks and Counter-Drone Sensing Technologies”, Sensors (2020)
- [6] Takita Yoshihiro. “Creating a 3D Cuboid Map Using Multi-Layer 3D LIDAR with a Swing Mechanism”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.30 No.4, (2018)
- [7] 松本 光広, 吉田 智章, 森 利宏, 油田 信一, “回転式揺動機構と SCIP-3D コマンドシステムを用いた三次元測域センサーモジュール”, 日本機械学会論文集 (C編) Vol.75 No.760 (2009)