

非 GPS 環境下における自律飛行ドローンシステムの開発と橋梁 3 次元計測の実証試験

清水建設（株）技術研究所 正会員 ○林 大輔, 稲田 裕, 田中 博一

Carnegie Mellon University 非会員 Weikun Zhen, Yaoyu Hu, Junbin Yuan, Sebastian Scherer

1. はじめに

近年、点検作業の効率化を目的に、目視点検の代替としてドローン空撮による画像点検が積極的に使われ始めている。しかし、点検に有効な撮影画像を取得するためには、一定の操縦技術が必要となることや、操縦者とドローンの距離が大きく離れる場合には、構造物に近接することが困難となるなど、活用には課題も残される。著者らはこれまで、維持管理の高度化を目的とした点検・評価技術の開発に取り組んでおり、上記の課題に対して、操縦に高度な技術を要しない自律飛行ドローン計測システムを開発した。本稿では、開発したシステムの概要と橋梁を対象に実施した実証試験の内容について報告する。

2. 自律飛行システム

開発したシステムは、構造物周辺や屋内環境のように GPS の信号が届かない非 GPS 環境を想定して、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術による自律飛行を行うものである。システムの流れは、図-1 の通りに示す通りである。事前に取得した LiDAR センサの点群情報(周辺環境 Map) から、点検対象とする構造物の面(計測対象平面)を選択し、選択した平面に対して飛行ルートを設定する。周辺環境 Map は構造物に対して一度取得すれば十分であり、実際の業務では点検フライトごとに対象平面を選択して作業を行うこ

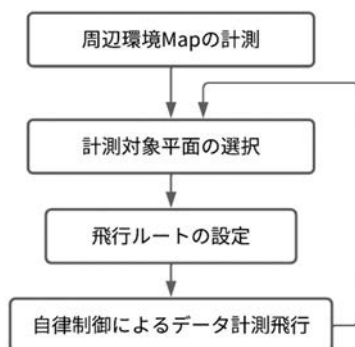


図-1 ドローン計測飛行の流れ

ととなる。

3. 使用機材

開発したドローン及び計測機材を図-2 に示す。計測機材は、既往の研究で報告しているステレオカメラと LiDAR を組み合わせた計測装置である。

4. 対象構造物

実証試験で対象とした構造物を図-3 に示す。福島ロボットテストフィールド内に設置された試験橋梁を対象に試験を実施した。自律飛行の検証は、天候(強風)の都合もあり橋脚部分を対象に実施した。

5. 周辺環境 Map の取得

自律飛行に先立ち、飛行ルートを設定に用いる周辺環境 Map を取得した。周辺環境 Map は、パイロットがドローンを操縦して飛行させながら、計測装置に含まれる LiDAR センサで計測を行い取得した。図-4 に取得した周辺環境 Map を示す。移動中の計測データから Map を作成するために、SLAM 技術を使用している。



図-2 ドローン及び計測装置



図-3 対象橋梁

キーワード インフラ点検, ドローン, 自律飛行, SfM, 橋梁

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL03-3820-5504

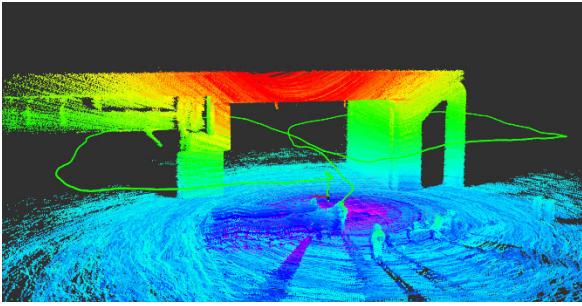


図-4 周辺環境 Map

ここでは、複数のセンサ情報を組み合わせて高精度な位置推定を行う Super Odometry²⁾というアルゴリズムを使用した。図-4 中に示す緑実線は実際にドローンが飛行した軌跡である。

6. 自律制御飛行

取得した周辺 Map から飛行ルートを設定し、自律飛行によるデータ計測飛行を実施した。飛行ルートの設定は、図-5 に示すように周辺環境 Map から計測対象平面を選択して行う。周辺 Map の点群情報から自動的に平面部を認識し、認識した平面群の中から計測対象とする平面を選択する。最終的に選択した平面の大きさを調整して計測範囲を決定する。飛行ルートについても、計測平面と飛行ルートの距離（離れ）を設定すると、搭載しているカメラの画角を考慮して、撮影もれがないルートを自動的に計画するようにした。

自律飛行中は、設定したルート上をドローンの目標位置となるコントロールポイントが一定速度で移動していく。そのポイント近づくように、前述の SLAM 技術で飛行中のドローンの位置を計測しポイントとの距離差を求め、その差が小さくなるように位置制御を行っている。検証試験を行った際は、風速 4-5m/s 程度の風が断続的に吹いていた。風の影響でドローンの飛行スピードが一定ではなかったものの、所定のルートに従って飛行計測を完了した。

7. 計測データ

自律制御で飛行中に撮影した画像の一例を拡大して図-6 に、撮影画像を使用して独自の SfM (Structure from Motion) 手法¹⁾により生成した高密度な 3D 点群モデルを図-7 に示す。撮影画像は、12M ピクセル(4112×3008)の解像度で、対象物から 4m の位置で撮影した。対象構造物表面には、ひび割れを有する試験片が貼付けられており、図-6 から幅 0.1mm のひび割れを認識することができる。実際の点検業務では、画像から検出した損傷を図-7 に示す 3D モデル上に投影して可視化させる

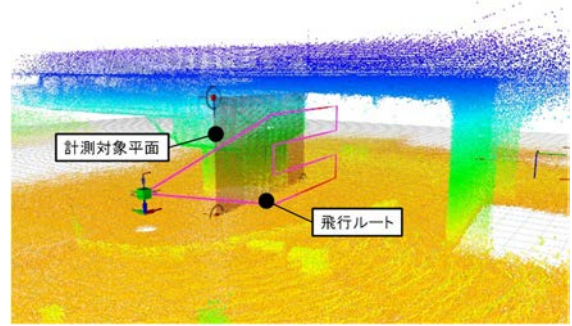


図-5 飛行ルートの設定

ことで、損傷情報を含む BIM/CIM データを作成する計画である。

8. まとめ

インフラの点検効率化を目的に非 GPS 環境で有効なドローンの自律飛行システムを開発し、その検証を実施した。得られた結論を以下にまとめる。

- ・事前に計測した点群情報を基に構造物の形状に合わせて飛行ルートを設定し、自律制御により飛行計測を行うシステムを構築した。
- ・橋梁環境で実証計測を行い、自律飛行中に撮影した画像からひび割れを識別できることを確認した。

参考文献

- 1) 林大輔ほか：ドローンによる 3 次元計測と数値解析が連携したインフラ点検評価システム，土木学会第 76 回年次学術講演会講演概要集，VI-879，2021。
- 2) Zhao Shibo, et, al.: "Super Odometry: IMU-Centric LiDAR-Visual-Inertial Estimator for Challenging Environments." In 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 8729-36., 2021



図-6 ひび割れテストピース (幅 0.1mm)

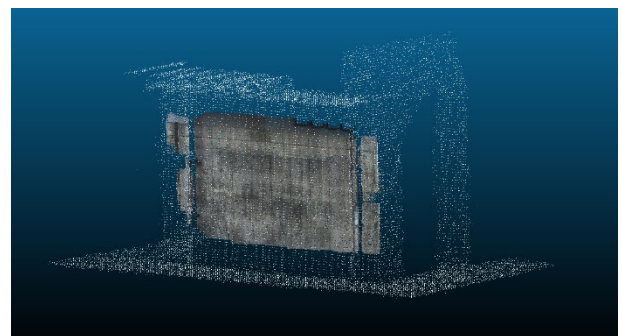


図-7 撮影画像より生成した 3D モデル