

## 構造物維持管理のための UAV 最適飛行計画と検証

藤井 隆行 檀 寛成 窪田 諭 安室 喜弘

関西大学 環境都市工学部

### 1 はじめに

我が国の社会資本ストックは、今後 20 年間で建設後 50 年以上経過する施設の割合が加速的に高くなる見込みである。一斉に老朽化するインフラを戦略的に維持管理・更新するために、点検・診断において、Unmanned Aerial Vehicle (UAV) による空撮が導入されているが、立体的な構造物の空撮において効果的とされる方法論は確立されていない。

そこで、本研究では、数理計画法で最適化した UAV の空撮飛行軌道を用意し、空撮の実施内容の品質を検証する方法を検討する。具体的には橋脚のモデルに対して、最小撮影回数で被写体を網羅的に撮影する最適飛行計画を立案し、単眼カメラで計画通りに撮影する実験を実施し、計画された飛行経路の再現性と撮影効率との関係について検証結果を報告する。

### 2 先行研究・技術

檀らは UAV を用いた構造物の空撮に際し、対象となる壁面の撮影回数や撮影時の角距離の和に関する制約を満たしつつ、対象物全体を最小回数でカバーできるような撮影ポイントを見つける最適化問題を提案した。さらに最適化問題から得られた撮影ポイントを巡回する最短経路を見つける手法についても提案した[1]。これにより、屋外構造物の点検・調査に UAV を用いる際の飛行計画を立案できるようになったものの、計画に基づいた UAV による空撮は実施されていない。UAV は風の影響を受けやすく、熟練の操縦者であっても計画によって得られたコース通りの飛行は難しい。加えて、撮影ポイントから指定方向への撮影にも差異が生じる。そのため、

計画の再現性と撮影品質の検証が必要である。

### 3 提案手法

本研究では先行研究により得られた撮影ポイントと巡回経路を事前の飛行計画として利用する。空撮を実施する際には、カメラで動画もしくは静止画を連続的に撮影しながら UAV が飛行しているものとする。そのライブ映像を使って、単眼カメラに対する Visual SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を実施する。SLAM により、飛行中も逐次的に、被写体の点群を取得しながら、撮影視点と視線方向も推定される。SLAM 処理を空撮と並行して実施することにより、空撮状況をモニターすることを考える。風や操縦技術による計画の再現性への影響を無くし、撮影ポイント及び巡回経路の再現性を検証する。

SLAM によって、被写体の概形が 3 次元点群で分かるため、その粗密や形状の不連続などにより、記録されている空撮が事後処理の SfM (Structure from Motion) に適しているかどうかの判断に使えるほか、推定される撮像視点と被写体との相対的な位置関係により、事前計画と実際の飛行との乖離の有無を検証できる可能性がある。

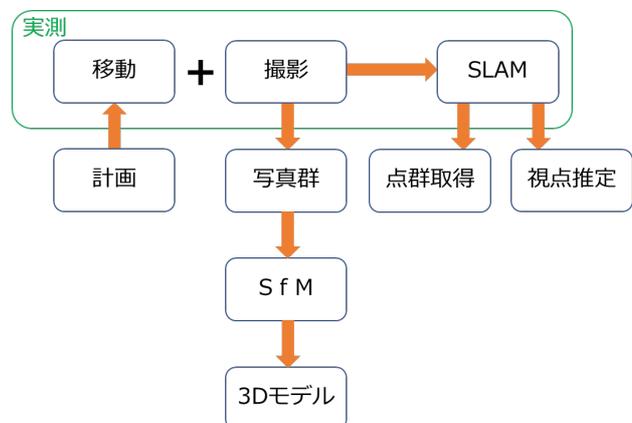


図 1 : 提案手法

Optimization and Verification of UAV Flight Plan for Maintenance Management of Structures  
Takayuki Fujii, Hiroshige Dan,  
Satoshi Kubota, Yoshihiro Yasumuro  
Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University  
3-3-35 Yamate, Suita, OSAKA, 564-8680, JAPAN

## 4 実験方法

### 4.1 実験環境

実験にはノート PC (OS : Ubuntu 16.04 LTS CPU : Intel(R) Core(TM)i7-8750H, GPU : NVIDIA GeForce 1060 6GB, メモリ : 16 GB) に LSD-SLAM[2] を実装し, USB カメラ (BUFFARO 製, BSW200MBK, 200 万画素, 水平画角 120°) を繋いで手動でカメラを動かして, 空撮に見立てる. 被写体にはコンクリート状のテクスチャ画像を印刷して橋梁の橋脚に見立てた円筒を使用した(図 2(左)).

### 4.2 実験の概要

図 2(右)のように, 先行研究[1]より, 橋脚の模型に対する計画を立て, 得られた撮影ポイント, 撮影方向, 巡回経路を基に, 単眼カメラによる撮影を行う. 同時に Visual SLAM によって得られた情報から撮影状況をリアルタイムで確認する. 最後に撮影した写真を用いて SfM(Structure from Motion)で 3D モデルを作成する.

### 4.3 撮影状況の可視化

被写体撮影と同時に Visual SLAM によって撮影視点の推定, 3 次元点群の取得を行い, 撮影状況を可視化する. 取得した 3 次元点群及び撮影視点とその軌跡をリアルタイムで確認することで, 撮影状況を把握し, 撮影視点のズレや撮影できない箇所での再撮影を防ぐことができる.

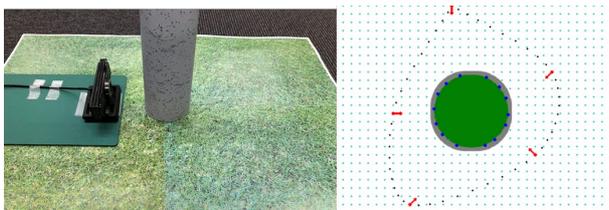


図 2 : 実験の様子 (左) と飛行計画 (右)

## 5 結果と考察

本研究では先行研究より得られた飛行計画の再現性と網羅性を検証した. 飛行計画によって得られた撮影ポイントの巡回経路通りに撮影を行うことで, SfM による 3D モデル作成を行うことができたが, 撮影ポイントから撮影した画像だけでは 3D モデルを作成することができなかった. よって, 撮影ポイント間の移動中も撮影を行うことが必要となることがわかった.

さらに, 撮影時の移動速度を上げることで SLAM 点群がばらつき, 撮影視点の推定も行うことができなくなった上に, SfM による 3D モデ

ル作成も行えなかったため, 移動速度や移動時の撮影方向に関する検証を行う必要がある.

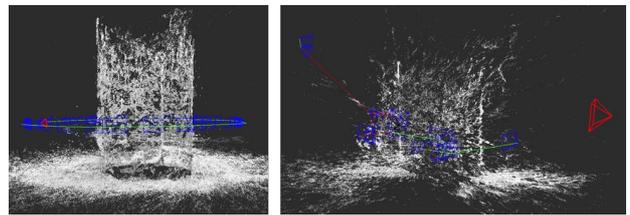


図 3 : SLAM 点群結果比較  
(左 : 通常時, 右 : 速度上昇時)

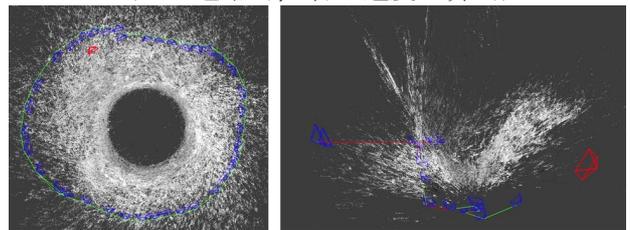


図 4 : 上部から見た SLAM 点群結果比較  
(左 : 通常時, 右 : 速度上昇時)

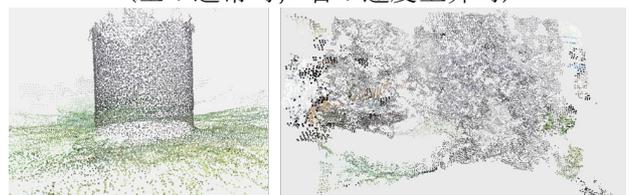


図 5 : SfM による 3D モデル比較  
(左 : 通常時, 右 : 速度上昇時)

## 6 おわりに

本研究では先行研究より得られた飛行計画には撮影ポイント間の移動方法や移動速度も重要であることを示すとともに, SLAM から得られた 3 次元点群情報と撮影視点を利用することで, 撮影の網羅性を確保できることを示した.

今後は移動速度や移動時の撮影方向に関する検証を行うとともに, 複雑な模型に対する飛行計画の検証を行う予定である.

**謝辞 :** 本研究は, 一般財団法人 日本建設情報総合センター (助成番号 第 2017-06 号) と JSPS 科研費 JP16H05000 の助成を受けた.

### 参考文献

- [1] 檀寛成 他: 構造物維持管理における空撮用 UAV の最適飛行計画, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.43, 2018.
- [2] LSD-SLAM: Large-Scale Direct Monocular SLAM (J. Engel, T. Schöps, D. Cremers), In European Conference on Computer Vision (ECCV), 2014,