

ステレオカメラと LiDAR を用いた Structure-from-Motion による構造物の形状取得

清水建設（株）技術研究所 正会員 ○林 大輔, 田中 博一

Carnegie Mellon University 非会員 Weikun Zhen, Yaoyu Hu, Huai Yu, Sebastian Scherer

1. 目的

インフラ点検に画像計測技術を用いることが一般的となってきた。その一つに、多視点から撮影した画像群を用いて、撮影対象物の 3 次元形状を復元する Structure from Motion (SfM) がある。インフラ点検に必要な構造物表面の損傷を詳細にとらえるためには、対象物に近接して画像を撮影する必要があるが、その画像から SfM により 3 次元形状を再構成しようとした場合、撮影画像の画角が狭いことで画像間のオーバーラップが十分に取れず、得られるモデルの精度が低下することが危惧される。この問題に対し、撮影データに対して頑健性があり、精度の高い新たな SfM 手法¹⁾を構築し、構造物を対象とした検証を実施した。

2. 提案手法

提案手法は、ステレオペア画像と LiDAR (light detection and ranging) の点群を入力データとして、ステレオ画像から再構成した点群と LiDAR の点群から 3 次元モデルを出力する方法である。計算プロセスの流れを図-1 に示す。アルゴリズムの詳細については、Zhen らの研究¹⁾を参考にされたい。

本手法の特徴として、一般的な SfM アルゴリズムは多視点で撮影した単眼カメラ画像を使用するが、本

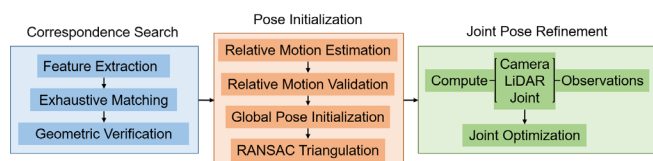


図-1 LiDAR で強化した SfM パイプライン



(a) センサ装置 (b) ステレオペア画像 [左: Left-Camera, 右: Right Camera] (c) LiDAR 点群

図-2 センサ装置と取得データ

手法ではステレオに配置した 2 台のカメラから取得するステレオペア画像を用いる。あらかじめキャリブレーションしたステレオカメラを用いることで、単眼カメラの場合では直接取得できない対象物のスケール（大きさ）を得ることができる。加えて、計測範囲の広い LiDAR のデータを組み合わせることで、ドリフト効果と呼ばれる SfM 特有の誤差を低減することができる。具体的には、1) LiDAR 点群により、無効な画像の組み合わせを抽出して排除する。2) LiDAR の点群と画像の特徴点を組み合わせ、カメラ位置を推定することで、累積誤差の影響を低減することができる。この 2 つの改良により、従来の SfM 手法と比べて画像データの品質に対して頑健性があり、かつ高精度な 3 次元モデルを再構築することができる。

3. センサ装置

データ取得に使用したセンサ装置を図-2(a)に示す。センサ装置は、2 台のデジタルカメラ (Ximea MC124CG-SY:1200 万画素) と一定速で回転するモータに搭載した LiDAR (Velodyne Puck LiDAR VLP-16) を組み合わせて、接続したコンピュータにより制御する。このセンサ装置を三脚に固定し、装置の位置を盛替えながらデータの取得を行う。同一計測点で取得した各センサのデータを、図-2(b)、図-2(c)に示す。

4. 検証試験

提案手法の有効性を検討するため、2 種類のデータセットを用いて検証試験を実施した。一つは、図-2(b)の壁面を有する建物を対象に、従来の SfM 手法との比

キーワード インフラ点検, Structure-from-Motion, 3D 点群, 頑健性, 高精度

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL: 03-3820-5504

較を行い、提案手法の有効性を確認した。ここでは、比較対象としてオープンソースの SfM ソフトウェア (COLMAP²⁾, OpenMVG³⁾) を用いた。結果を図-3 に示す。ここで、COLMAP と OpenMVG の結果は、ステレオに配置した左右のカメラの画像を独立にすべて使用し、提案手法は同一位置で撮影した左右カメラの画像をペアとしている。

3 次元点群に再構成した結果を比較すると、COLMAP と OpenMVG の結果は、モデルの一部が欠落し、大きくゆがんでいることが確認できる。その原因として、対象とした建物の異なる位置の類似した特徴点が位置していたことで、間違った画像間で対応づけがなされたこと、使用した画像間のオーバーラップが 40% 程度と十分でなかったことがあげられる。しかし、提案手法では、同一の画像データを使用しているにも関わらず、正しい形状に復元できている。この結果より、提案手法は、使用する画像データの品質に対して頑健性があり、従来手法よりも形状を適切に再現できる。

もう一つの検証試験として、本手法の計測精度を確認するため図-4 (a) に示す橋脚に対して検討を実施した。提案手法を用いた場合と、レーザースキャナ (Faro FOCUS 3D : 範囲誤差 $\pm 2\text{mm}$) による測量を行った結果を比較して図-4 (b) に示す。提案手法で得られた点群とレーザースキャナにより得られた点群の相対差が、94%以上の点において 9.0mm 以下であることが確認で

きる。特に、構造物のエッジも精度良くとらえていることから、提案手法が構造物の形状測定に高い精度を有していることが示された。

5. まとめ

インフラ点検に求められる要求に適した新たな SfM 手法を提案し、構造物を対象に検証実験を行った結果をまとめる。1) ステレオカメラと LiDAR の点群を組み合わせた SfM 手法によって、従来手法と比べて画像データの品質に対して頑健性の高い結果が得られた。2) 提案手法から再構成した 3 次元形状とレーザースキャン計測を比較すると、ほぼすべての範囲において 1.0cm 以下の誤差であり、高い精度を有していることを確認した。

今後は、開発したセンサ装置を UAV に搭載し、飛行条件下でデータの取得、提案手法による形状を実施する計画である。

参考文献

- 1) Zhen. W., et al.: LiDAR Enhanced Structure-from-Motion, *ICRA 2020* (投稿中)
- 2) Schonberger, J.L. and Frahm, J.-M.: Structure-from-motion revisited, *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp.4104-4113.
- 3) Moulon, P., Monasse, P. and Marlet. R.: Openmvg, <https://github.com/openMVG/openMVG>

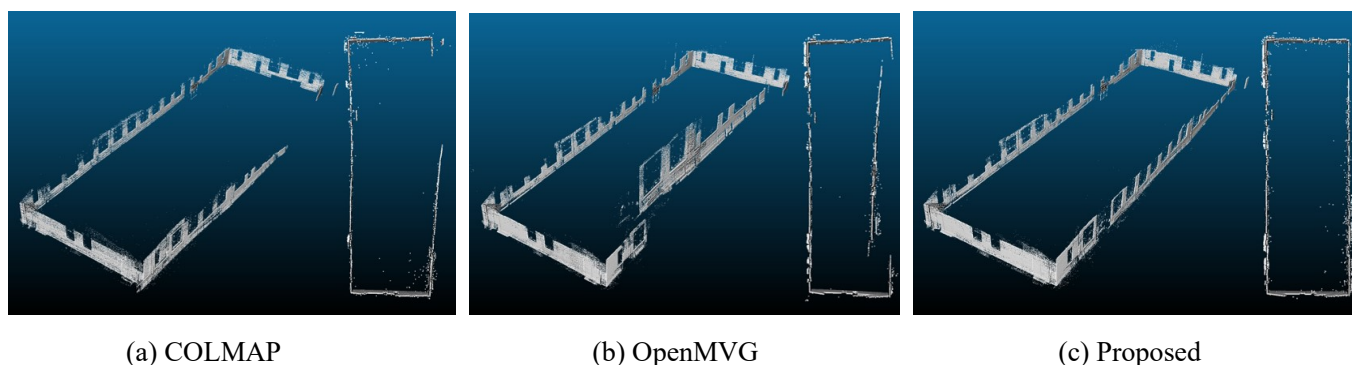


図-3 提案手法の比較

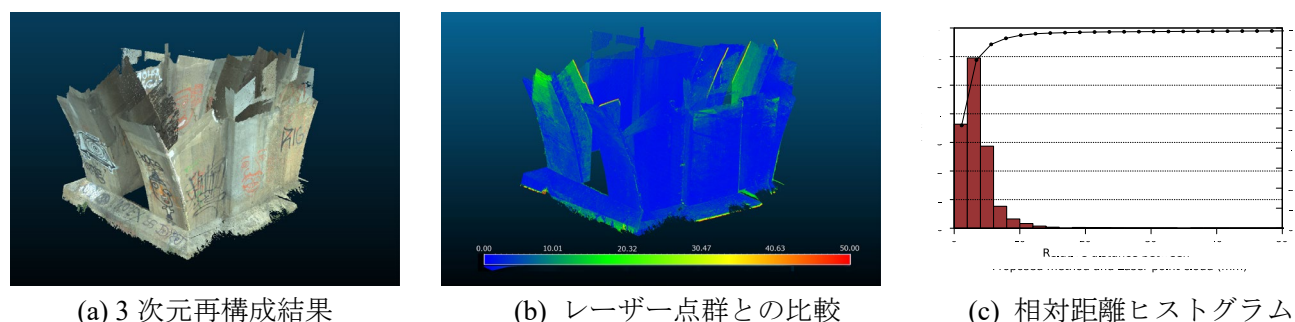


図-4 レーザースキャナとの計測精度比較