

レーザスキャン点群と SfM メッシュの自動位置合わせ

藤里 和樹[†] 檀 寛成[‡] 安室 喜弘[‡]

[†]関西大学大学院 理工学研究科

[‡]関西大学 環境都市工学部

1. はじめに

歴史的遺産や文化財の3次元記録では、レーザスキャナやドローンを用いた SfM (Structure from Motion) が用いられている。3次元計測データは現状をありのままに記録し、現場の保全・活用に利用される。関西大学でも「国際文化財・文化研究センター」にて、2016年にバーレーン文化省と協定を結び、記録調査を開始している。

レーザスキャナは、高密度で広範囲の点群情報を取得可能であるが、観測場所や回数制限によりデータ欠損が容易に生じる。一方、近年ではドローンを用いた写真測量が利用されている。地形制約を受けず計測を網羅的に撮影可能であり、撮影した画像に対して SfM 処理を施すことで3次元データを復元する。起伏が多く立ち入りが困難な箇所に対しても、人がリスクを負うことなくデータを取得可能であるが、原理的に復元結果のスケールは不定であるため、別途何らかの方法で実寸と整合させる必要がある。

本研究では適切な対応点選択と陽解法により、レーザスキャン点群と SfM メッシュの自動統合手法を提案する。

2. 従来の3次元情報の統合手法

多くの既往の点群データ処理ソフトでは、形状フィッティングに基づいて、異なる点群データファイル間での位置合わせを行う。これは ICP (Iterative Closest Point) 法¹⁾に基づいており、点群間での点の対応関係と相対的な位置姿勢を更新しながら、繰り返し計算により、対応点間の距離の総和を最小化する。点群間の位置どうしの対応関係は曖昧であるため、通常は、ユーザが初期位置を与え制約なし非線形最適化問題として位置合わせを行う。標準的な ICP では、最近傍点による対応付けと幾何変換の2つの処理を交互に行っているが、点群の初期の位置や姿勢によっては、正確な収束結果を得られない場合がある。また、ノイズや外れ値が含まれた状態では、点群全体として正確な位置合わせができない可能性が高くなる。

2. 提案手法

本研究では、先行研究²⁾の枠組みを踏まえ、スキャン点群と SfM のデータを自動選択し統合する手法を提案する。図-1に示すように、スキャン点群のレンダリング結果をキャプチャした画像(以下、スキャナ画像)をドローンによる空撮画像に含めて SfM 処理を実行することで、各スキャン地点を推定し、データを重畳させることで対応付ける。さらに、位置合わせの曖昧性を低減しつつ空間的に均一な対応を自動選択し、データを統合する。

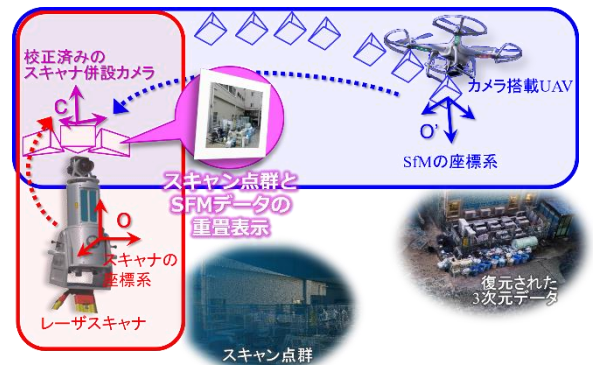


図-1 重畳表示による3次元データの対応付け

2.1 スキャン点群と SfM データの対応付け

ドローンにより空撮した画像群にスキャン画像を含めて SfM 処理を実施することで、対象シーンの形状と撮影位置が復元される。ここで、スキャン画像の各画素はスキャン点群と一対一対応しており、座標系 O (図-1 参照) で対応付けられている。一方、SfM 処理後の3次元データは座標系 O' で復元されている。SfM 処理でスキャン画像をもとに推定された計測位置を用いて、重畳表示させスキャン点群と SfM データを画素の比較を行うことで対応付けできる。

2.2 空間的に均一な対応点の取得

点群全体として適切な位置合わせが実行できるように、空間的に均一な対応点を選択する必要がある。重畳表示後にスキャン点群が存在する領域について、画素値をもとに縦・横方向の分割、視線方向へのデプス値をもとに奥行き方向について分割を行う。ここで、孤立した点はノイズである可能性が高いため、1つの格子領域に含まれるスキャン点の個数に閾値を設け、閾値以上の点が存在する領域からランダムに1

Automated Registration of Laser-scanned data and SfM data
Kazuki Fujisato[†], Hiroshige Dan[†] and Yoshihiro Yasumuro[‡]
[†]Graduate School of Science and Engineering, Kansai University
[‡]Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University
3-3-35 Yamate, Suita, OSAKA, 564-8680, JAPAN

点選択する。

上記により各スキャン画像から取得した対応点には再投影誤差に起因する誤対応が含まれる可能性がある。そこで、RANSAC アルゴリズムを用いて外れ値を除外しながら、最も RMS 誤差を小さくする対応点の組を選出して変換行列算出に使用する³⁾。

3. 実装実験

本研究では、バーレーン本島北西に位置する同国最大の神殿であるバルバル神殿を計測対象とする。神殿には当時の様相を示す供物台、貯水施設などがあり、スキャン計測では容易にオクルージョンが生じる。そこで、計測が困難である箇所を、ドローンを用いた SfM で補填する。

事前の最適化計算⁴⁾により計画された、最小回数で全体を網羅するスキャナ設置位置の 20 箇所からスキャンング (FARO FOCUS 3D X 330, FARO 社) を行い、約 3 億の点群データ取得した。一方でドローン (Phantom 4 Pro, DJI 社) を用いて地上からは計測しにくい窪地などを上空から網羅的に撮影した。

点群編集ソフト CloudCompare (オープンソース) を用いて各計測地点から 2 枚ずつスキャナ画像を生成する。このスキャナ画像 40 枚とドローンにより空撮した画像 863 枚を併せて PhotoScan (Agisoft 社) により SfM を適用し、3 次元点群情報と各撮影位置のカメラパラメータを取得し、240 万頂点のメッシュを得た (図-2)。次に、ス



図-2 SfM による 3 次元データと
推定されたスキャン地点

キャナ画像をもとにスキャン点群と SfM メッシュを重畳し画素比較により対応付ける (図-3)。

今回の実験では、縦 6、横 9 の領域に分割し、また奥行き方向に関してはデプス値を正規化した上で 5 等分し 6×9×5 の小領域に分割した。次に、点群の中から孤立したノイズの点を採用し

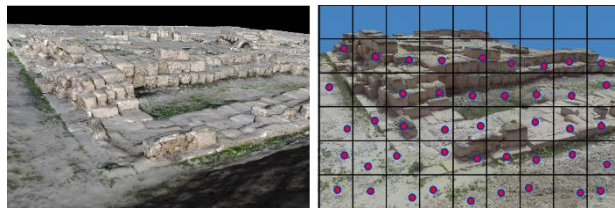


図-3 スキャナ画像を介した対応付け
SfM メッシュ (左) とスキャン点群 (右)

ないように、10 点以上データが存在する領域からランダムに 1 点の代表値を選択した。11 視点のスキャナ画像から合計 975 点の対応を自動取得した。ここで、自動取得した 975 点に再投影誤差による誤対応を含まないようにするため、RANSAC アルゴリズムを実装した。今回の実験では対応点の入れ替えを 10 万回実施し、対応点間の RMS を最も小さくする 100 点の組の対応点を変換行列の算出に使用した。結果として、対応間の RMS は 0.007[m] となった (図-4(右))。



図-4 バルバル神殿の一部
スキャン点群 (左) と統合結果 (右)

4. おわりに

本研究では、レーザスキャナと SfM を併用して得られたデータを自動的に統合する手法を提案し、実験により効果を示した。結果、レーザスキャナでは計測することが困難である箇所に対して 3 次元メッシュで補間することができた。今後の課題としては、点群を空間的に取得するための適切な格子の分割数決定などがある。

謝辞：本研究は科学研究費補助金 (15H02983, 16H05000, 15K02977) の助成による。

参考文献

- 1) C. Wu: Toward Linear-time Incremental Structure from Motion, 3DV 2013, pp.127-134, 2013.
- 2) 藤里 他: 点群分布を考慮した対応点選定によるレーザスキャナと SFM の統合的 3 次元記録手法, 第 79 回情報処理学会大会論文集(2), pp.4_107-4_108, 2017.
- 3) 玉木 徹: 姿勢推定と回転行列, 情報通信学会技術研究報告, pp.59-64, 2009.
- 4) 北田 他, SfM に基づいた屋外レーザスキャンの最適計画, 土木学会論文集 F3, Vol.70, No.2, pp.L_257-L_264, 2015.