

SfM の特性を活かした高精度点群データの生成実験

パシフィックコンサルタンツ株式会社 (元法政大学) 正 会 員 ○佐藤 紗希
 法政大学 正 会 員 今井 龍一
 大阪経済大学 正 会 員 中村 健二
 摂南大学 正 会 員 塚田 義典
 アジア航測株式会社 非 会 員 新名 恭仁

1. はじめに

我が国では、インフラの急速な老朽化や労働者不足により、経済的かつ効率的なインフラ維持管理の必要性が高まっている。そこで、国土交通省は、レーザスキャナやカメラより取得した三次元データを用いて、建設生産システムの生産性向上を図る i-Construction を推進している¹⁾。さらに、近年では、仮想空間上で都市空間を再現するデジタルツインが構築され、都市開発や施工・点検等の情報共有、交通量・人流等の都市活動のモニタリングへの活用が検討されている。

都市空間デジタルツインの構築には、基盤となる点群データを効率的に取得する必要がある。そこで、対象物の詳細な点群データを廉価に得られる SfM (Structure from Motion) が注目されている。SfM とは複数枚の写真から、それらの撮影位置を推定して撮影対象の三次元形状を復元する技術である。しかし、SfM に用いる画像の解像度、対象物の色彩、明度、柄の細かさや光沢の有無が画像の特徴点の検出に影響を与えるため、撮影位置の推定精度および点群データの精度が一様でない課題がある²⁾。以上より、本研究では、SfM を適用して高精度な点群データを生成させるための諸条件を実験を通じて考察する。

2. 提案手法

画像の特徴点を捉える SfM の技術特性を踏まえると、

表-1 撮影諸元と使用ソフトウェア

対象物	カラーコーン, マネキン, ごみ箱
カメラ	Canon EOS R5
焦点距離	24mm
画像サイズ	8,192×5,464ピクセル
画像枚数	36枚
ソフトウェア	Agisoft Metashape

表-2 レーザスキャナの詳細

製品名	FARO Focus3D S120
レーザクラス	Class IM
測距距離	0.6~330m
最大測距点数	976,000pt/sec
最大想定誤差	±2mm

プロジェクトにより対象物に画像の特徴点を捉えやすくする模様を投影した状態で撮影を行い、点群データを生成することで、精度向上に繋がると考えた。そのため、本研究では、対象物への模様投影有無それぞれで生成した点群データと、レーザスキャナで計測した点群データとの精度を比較し、模様投影の有用性を検証する。

3. 実験と考察

本実験では、まず、プロジェクトで対象物に模様を投影した状態で、カメラで対象物を撮影する。次に、撮影画像から SfM を適用して点群データを生成する。そして、投影の有無によるタイポイント数の多寡や復元形状の正確性を確認する。最後に、SfM より生成した点群データとレーザスキャナより取得した点群データとの断面形状およびそれらの法線方向の差分を算出し、精度を検証する。

表-1 に撮影諸元を示す。対象物の撮影には 8K カメラである Canon EOS R5, SfM ソフトウェアには Agisoft 製の Metashape を使用した。Metashape での写真のアライメント (撮影位置・姿勢推定) 処理の入力パラメータと高密度クラウド構築処理の入力パラメータである品質は、デフォルトである「中」とした。レーザスキャナは、表-2 に示す FARO 製の Focus3D S120 を用いた。

(1) タイポイント数と精度比較

SfM で検出したタイポイント数および生成した点群データの形状の比較結果を表-3 に示す。模様を投影した場合は、投影しない場合と比較してタイポイント数が約 3 倍多く検出でき、良好なカメラの位置・姿勢の推定と対象物の形状の復元ができた。一方、投影しない場合は、カメラの位置・姿勢を推定できず、形状が復元できなかった。この要因として、対象物の特徴が少なくタイポイント数を十分に検出できなかったことが考えられる。以上の結果から、特徴の少ない対象物でも、プロジェクトで模様を投影して撮影すると、エッジが明瞭で欠損のない

キーワード：SfM, 点群データ, タイポイント, 高解像度カメラ, i-Construction

連絡先 〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 法政大学 TEL : 03-5228-1347 E-mail : ryuichi.imai.73@hosei.ac.jp

点群データを生成できることを明らかにした。

(2) レーザスキャナとの精度比較

模様投影有無の2パターンで撮影し生成した点群データとレーザスキャナで取得した点群データとの精度比較結果を表-4に示す。投影せずに生成した点群データの断面は、点のばらつきが大きくなった。一方、投影しながら生成した点群データの断面は、レーザスキャナより取得した点群データの断面と概ね一致した。また、投影した場合には、投影しない場合と比較して、レーザスキャナで取得した点群データを真値とした法線方向の差分が約1/2減少した。したがって、画像に特徴点を増やす模様を対象物に投影して撮影すると、点のばらつきを軽減させ、SfMでもレーザスキャナに近い精度の点群データを生成可能であることを明らかにした。ただし、カラーコーンには、他の対象物と比較して法線方向の差分の変化が小さいことを確認した。この要因として、カラーコーンの色相が投影した模様を不鮮明にしていることが考えられる。

4. 追加提案と実験および考察

前章では、対象物の色相によっては、投影を鮮明に映しづらいケースが存在し、高精度な点群データを生成できない可能性を示唆した。この現象への補完として、対象物の補色に変換した模様を投影して撮影した画像を用いて点群データを生成し、レーザスキャナより取得した点群データとの精度を比較してその有用性を検証した。

補色の使用前で生成した点群データとタイポイント数およびFAROで取得した点群データとの法線方向の差分を表-5に示す。補色を用いた場合、タイポイント数は約500点増加し、エッジ部分が明瞭な点群データが生成された。また、レーザスキャナで取得した点群データを真値とした法線方向の差分は、補色を用いることで約1/2になることを確認した。したがって、投影画像を対象物の補色に変換した場合、より高精度な点群データを生成可能であることを明らかにした。

5. おわりに

本研究では、SfMの技術特性を踏まえ、プロジェクタを用いた模様投影による撮影と点群生成の手法を考案して実験を行い、SfMで検出したタイポイント数や形状の復元性から手法の有用性を確認した。また、投影模様を対象物の補色に変換することで、さらに高精度な点群データを生成可能であることを明らかにした。

今後は、土木構造物に考案手法を適用しi-Constructionにおける施工の出来形管理への適用可能性を検証する。

表-3 投影有無による点群データの生成結果

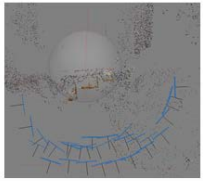
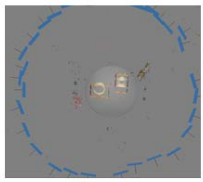
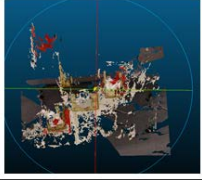
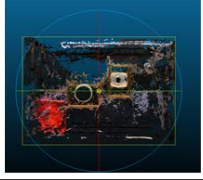
比較項目	投影無し	投影有り
タイポイント数	9,053点	27,476点
タイポイント表示 (上面)		
点群データ (上面)		

表-4 点群データの断面および法線方向の比較結果

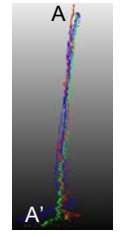
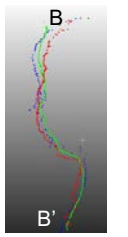
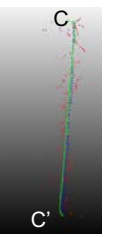


比較項目	カラーコーン	マネキン	ゴミ箱
断面比較 青点：レーザスキャナ 緑点：SfM投影有り 赤点：SfM投影無し			
法線方向の差分 (投影無し)	20.4mm	3.0mm	4.6mm
法線方向の差分 (投影有り)	12.2mm	1.5mm	2.4mm

表-5 補色を用いた点群データの断面

および法線方向の比較結果

比較項目	補色を用いない場合	補色を用いる場合
点群データ		
タイポイント数	3,483点	3,962点
法線方向の差分の平均値	12.1mm	6.5mm

謝辞：本実験を遂行するにあたり、アジア航測株式会社の松林豊氏、筒井駿吾氏には多大なご協力を賜った。株式会社竹中土木の岡本健氏には、FAROの計測データの提供を賜った。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 国土交通省：i-Constructionの推進，<<https://www.mlit.go.jp/common/001149595.pdf>>，(入手2022.3.21)。
- 山口祥堯，今井龍一，櫻井淳：画像を用いた点群データの生成に適した対空標識に関する研究，土木学会関東支部技術研究発表会，Vol.46，No.IV-6，2019。