

施工中の建設機械に搭載した Visual SLAM の位置推定精度に関する検証

安藤ハザマ，東京大学 正会員 ○千野 雅紀
安藤ハザマ 正会員 掛川 直樹，安部 篤康，村石 辰徳
東京大学 小松 廉，浅間 一，正会員 山下 淳

1. 目的

建設業では就労者数の減少が進んでいることに加えて，他産業に比べて労働生産性が低いため，生産性の向上が求められている．生産性向上の方法の一つとして，建設機械の自動運転による施工がある．自動運転を行うためには，計画した位置に移動して作業を行うことから，建設機械の位置情報が必要になる．従来，位置情報の取得には Global Navigation Satellite System (GNSS) が用いられてきた．しかし，GNSS は衛星情報を利用することから，マルチパスが生じやすい山間部においては GNSS の位置計測精度が低下するおそれがある．

GNSS に代わり位置情報を取得する方法の一つとして，画像を用いて自己位置推定と環境地図の作成を行う Visual Simultaneous Localization and Mapping (Visual SLAM) がある．Visual SLAM は画像内の特徴点のフレーム間における対応関係を利用して位置推定を行う．場所による制約を受けにくいという利点を持つ一方で，土木現場のように周囲に構造物が少ない場所では計測精度の低下が懸念される．本稿では，土木現場環境における Visual SLAM による位置情報取得の適用性について検証を行った．

2. システム構成

本システムでは，奥行情報の絶対距離を得るために，デジタルカメラを 2 台利用してステレオカメラを構成した．盛土工事の振動ローラへの適用を想定し，写真-1 に示すように振動ローラの運転席上にステレオカメラを設置することとして，フレーム間の特徴点の変化を捉えやすいように，ステレオカメラを側方に向けて配置した．

ステレオカメラを設置する架台は，振動ローラの振動数 33 Hz において固有振動が生じないような設計で作成した．

使用したカメラは FLIR 社の Grasshopper，左右のカメラの同期には ViewPLUS 社の SyncUsb3 を用いた．



写真-1 ステレオカメラ設置状況

3. 実験

3.1 実験方法

施工中の盛土工事の振動ローラに本システムを適用し，Visual SLAM の位置計測精度の確認実験を行った．「TS・GNSS を用いた盛土の締固め管理要領」における振動ローラの締固め管理ブロックサイズから，誤差 500 mm 以下を目標とした．

実験は，写真-2 に示すように，法面と谷で挟まれた盛土現場で行い，振動ローラを法面に対して平行に約 40 m 往復して，鉄輪を振動させながら数レーンを走行した．

カメラの撮影方向が法面側か谷側かによって被写体が大きく異なるため，適切に特徴点を抽出するためには撮影場所によって俯角を変更することが求められる．一方，振動ローラの



写真-2 盛土現場

運転席上にカメラを設置する場合、設置高さは3 m程度となる。この場合、画角の上方は空になる可能性が高く、特徴点が生じるのは地面付近になるため、カメラを下向きにすることが望ましい。表-1 および図-1 にカメラ俯角と撮影範囲の関係例を示す。

そこで、カメラの撮影方向、俯角を実験パラメータとした。位置情報の正解値として、施工中の振動ローラの位置情報を自動追尾型トータルステーションで計測した値を用いた。Visual SLAM による座標とトータルステーションによる座標を比較して、距離の差を評価項目とした。なお、実験は日中に実施したが、カメラを水平より下に向けており、逆光にはならなかった。

3.2 実験結果

カメラの撮影方向および俯角を変更した際の、Visual SLAM とトータルステーションの位置計測の差を表-2 に示す。平均値はいずれも 500 mm 以下であり目標を達成することができた。最大値を考えた場合、カメラが法面方向で俯角が 20 度のときには最大値が 487 mm となり、500 mm を下回った。

図-2 に施工中に撮影した画像の一例を示す。谷側の画像では、上半分に遠方の山が写っている。法面側の画像では上半分は法面が写っており、法面は一定の勾配でカメラとの距離が変化していく。谷側の遠方では距離が遠くて特徴点が得られにくい一方、法面側では距離の変化がある中で連続的に特徴点を検出できたことが、計測精度の差の原因であると考えられる。

図-3 に、カメラを法面側に向け、俯角を変えたときの画像の一例を示す。40 度では法面が一部しか写らない一方、20 度では法面全体が写っている。先述の通り、法面を写すことで連続的な特徴点検出が可能であることから、20 度の方が良い結果になったと考えられる。30 度の方が最大値が大きい理由は、レーン移動の予備動作として車体を屈曲させることがあり、画像では急旋回が起きたため局所的に誤差が生じたと考えられる。

今回の実験から、施工中の建設機械の位置情報を 500 mm 以下の精度で取得できることが分かった。局所的に誤差が生じる場合でも、特徴点を得られやすくするために、法面の全体が写るようにカメラの撮影方向と俯角を設定して設置することで最大誤差 500 mm 以下となることが分かった。

4. まとめ

実施工環境においてステレオカメラで取得した画像を用いて振動ローラの位置情報を計測した結果、トータルステーションとの差が目標である 500 mm 以下となることを確認した。今後は、自動運転で期待される夜間における位置情報計測など、Visual SLAM の適用範囲を拡大させる方法について検討を行っていく。

参考文献

1) Runqiu Bao et al.: Cost-effective and Robust Visual Based Localization with Consumer-level Cameras at Construction Sites, 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics, pp. 1007-1009, 2019.

表-1 カメラ撮影範囲

カメラ俯角 θ	下端可視範囲 L [mm]	上端可視範囲 N [mm]
20 度	2,170	∞
30 度	1,450	∞
40 度	840	33,430

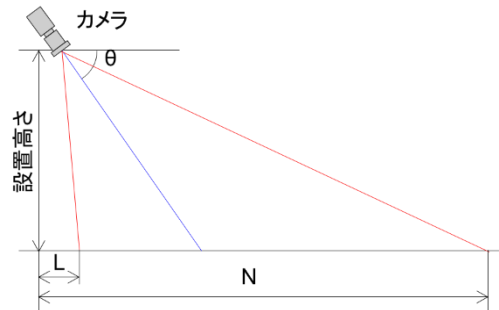


図-1 カメラ撮影範囲

表-2 位置計測差の一覧

撮影方向	カメラ俯角	振動	平均値	最大値
谷側	20度	あり	139 mm	1,479 mm
谷側	30度	あり	478 mm	987 mm
谷側	40度	あり	170 mm	2,013 mm
法面	20度	あり	178 mm	487 mm
法面	30度	あり	203 mm	980 mm
法面	40度	あり	230 mm	750 mm

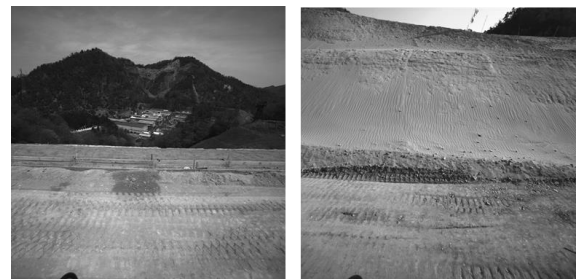


図-2 撮影方向別の撮影画像例
(左：谷側，右：法面側)

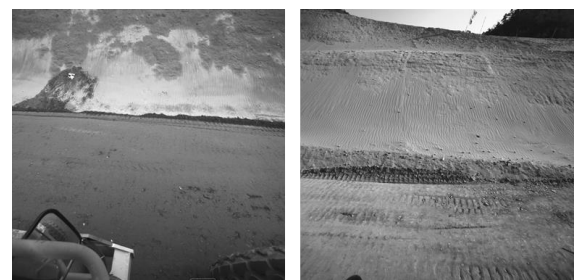


図-3 俯角別の撮影画像例
(左：40度，右：20度)