

## Visual SLAM の自動運転振動ローラへの適用

安藤ハザマ, 東京大学 正会員 ○千野 雅紀  
 安藤ハザマ 安保 篤康, 村石 辰徳  
 東京大学 包 潤秋, 小松 廉  
 宇都宮大学 Renato Miyagusuku  
 東京大学 正会員 山下 淳, 浅間 一

### 1. はじめに

就労者数の減少や就労者の高齢化が進む建設業界では、省人化・生産性向上を目的として建設機械の自動運転技術の開発が行われている<sup>1)</sup>。建設機械の自動運転では、フィードバック制御のため建設機械の位置情報を連続して取得する必要がある、一般的に GNSS が用いられる。しかし、GNSS は測位衛星からの信号を基に位置を計測するという原理上、衛星からの受信状況が悪い場所では計測精度が低下するという問題がある。

そこで、筆者らは、画像を用いた SLAM (Visual SLAM) に着目し、カメラから得られる画像を用いて位置情報を取得するシステムの開発を行った<sup>2)</sup>。開発した位置情報取得システムをベースにして、GNSS から Visual SLAM への置き換えを行うための開発に取り組んだ。本稿では、GNSS に代えて Visual SLAM を適用するためのデータ変換プログラムの開発を行い、自動運転システムに適用したので報告する。

### 2. システム概要

#### 2.1 Visual SLAM を搭載する建設機械

今回 Visual SLAM を適用した建設機械は、当社で開発した自動運転システムを搭載した土工用振動ローラ (SV512) である (写真 1)。振動ローラには位置情報を取得するセンサとして GNSS が搭載されており、GNSS から位置情報を取得することを前提に自動運転システムが組まれている。GNSS を Visual SLAM に置き換えて位置情報を取得し、自動運転を行った。



写真-1 自動運転振動ローラ

#### 2.2 機器構成

カメラを 2 台設置することでステレオカメラを構築した。特徴点の変化を捉えやすいように、運転席の上に、進行方向に対して側方に向けてカメラを設置した (写真-2)。

左右のカメラで取得した映像を同期できるように、カメラは FLIR 社の Grasshopper を用いた。左右のカメラの映像の同期には ViewPLUS 社の SyncUsb3 を用いた。

#### 2.3 Visual SLAM への置き換え手法

GNSS で出力される位置データは地理座標系である経緯度である。一方、Visual SLAM で出力される位置データは直交座標系である XYZ である。データ形式の違いがあると、自動運転システム側でデータ受け入れを行うことができない。そのため、Visual SLAM の出力するデータ形式を GNSS の出力データ形式と一致させることが課題であった。

データ形式を一致させるために、データ変換プログラムの



写真-2 カメラ設置状況

キーワード 自動運転, Visual SLAM, ステレオカメラ, GNSS, 位置計測

連絡先 〒107-8658 東京都港区赤坂 6-1-20 Tel.03-6234-3786 E-mail: chino.masaki@ad-hzm.co.jp

開発を行った。変換に際しては、① Visual SLAM で出力した位置情報の座標系の直交座標系から地理座標系への変換、② Visual SLAM の位置情報算出に分岐処理があるために不定となっているデータ出力頻度の一定化、③ ノイズによる外れ値の除外、といった処理を行う。

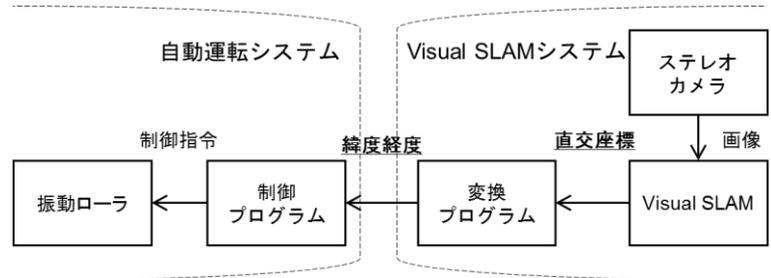


図-1 システム構成図

図-1 に示すシステム構成図のように、データ変換を行うプログラムを Visual SLAM システムの内部で作成し、シリアル通信が可能になるように開発を行った。

### 3. 実験

Visual SLAM の出力データの変換を行い、そのデータを用いて自動運転が可能であることを確認するための実験を行った。

振動ローラの走行開始位置の座標を取得するために、トータルステーションで座標を測量した複数のマーカーを走行開始位置に設置した。振動ローラに設置したカメラでマーカーを撮影し、PnP 法で振動ローラの走行開始位置を算出した。自動運転では、実際の施工と同様に、20 m 前後進を行い、その後レーンチェンジを行う設定で自動運転を行った(図-2)。振動による画像のぶれの影響を確認するために、振動はありとなしの両パターンを実施した。

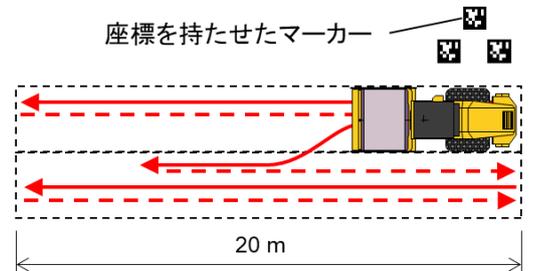


図-2 自動運転の走行パターン

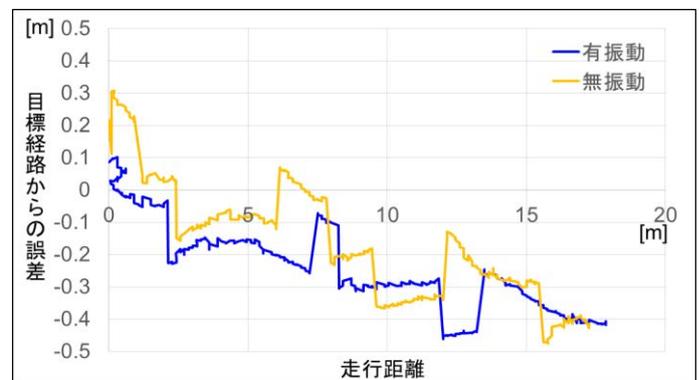


図-3 自動運転の走行誤差

Visual SLAM で出力した位置情報を利用して、設定した経路を最後まで自動運転で走行することを確認した。

自動運転で設定した目標経路からの平均誤差は 222 mm であった。自動運転の前進中の誤差を計測した結果の一例を図-3 に示す。振動の影響が懸念されたが、振動の有無で誤差に大きな差は見られなかった。

走行が進むにつれて誤差が大きくなっているが、走行軌跡を近似した直線の方が、目標経路の方位と平均 1.4 度ずれており、制御上の座標系が実際の直交座標系からずれていた。このことから、走行開始位置の算出精度が原因であると考えられる。実際の施工では、踏み残しが生じないように 200 mm 以下の誤差で走行する必要があるが、今回の誤差はそれを上回った。原因として、前述の走行開始位置の精度に加えて、走行中の Visual SLAM で算出した位置精度が十分でなかったことが考えられる。走行場所は屋外の平地であり、走行開始位置にマーカーを設置はしたが、走行中に特徴点として捉えられる情報が少なかったことが精度低下の原因と考えられる。実験結果から、Visual SLAM の位置情報を用いて自動運転を行うことはできるが、実際の施工で利用するには、位置情報の精度向上が必要であると考えられる。

### 4. まとめ

GNSS の代わりに Visual SLAM から取得した位置情報を利用して、振動ローラの自動運転が可能であることを確認した。今後さらなる位置情報精度の向上を図り、他の GNSS を利用したシステムへの適用を進めていく。

### 参考文献

- 1) 千野雅紀, 武石学: 振動ローラの自動運転システムに関する実験報告, 土木学会第 73 回年次学術講演概要集, VI-701, 2018.
- 2) Runqiu Bao, Ren Komatsu, Renato Miyagusuku, Masaki Chino, Atsushi Yamashita and Hajime Asama: "Stereo Camera Visual SLAM with Hierarchical Masking and Motion-state Classification at Outdoor Construction Sites Containing Large Dynamic Objects", Advanced Robotics, Vol. 35, No. 3-4, pp. 228-241, 2021.