

インフラ設備点検効率化に向けた移動ロボットの段差検出に関する検討

東日本電信電話(株) 正会員 ○小田 友和 勝村 玲音
非会員 島原 広季 佐々木 理

1. はじめに

高度経済成長期に大量構築された土木構造物などのインフラ設備の点検業務の効率化が求められている。そこで近年、移動ロボットの利活用が注目されている。センサを搭載した移動ロボットを利用することで、現場への点検者の派遣が不要となる。加えて、センサ取得データの AI 診断を活用することで損傷個所の自動検出が可能となるため、点検稼働の削減が期待できる。一方で、現場にあるロボットを人がカメラ映像を見て遠隔で操作するとなると、点検稼働の削減効果が小さい。したがって、ロボットが移動ルートを自動で設定し、障害物等の走行不可領域を避けつつ自律走行できることが望ましい。

Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)は移動体が自己位置推定と環境地図作成を同時に行う技術である。SLAM 技術で作成した環境地図には、ロボットが衝突しうる障害物が描写されるため、障害物を回避するルート生成および自律走行が可能である。一方、ロボットが走行不可となる箇所としては、障害物の他に段差がある。車輪が装着された移動ロボットでは、車輪の直径が小さいとわずかな段差でも走行不可となる場合がある。ロボットを点検に活用することを考えると、走行時に段差を検出して車輪径に応じた段差の走行の可否を判断し、走行不可の段差は通行を避けるといった運用ができることが望ましい。

本稿では、移動ロボットに単眼カメラ、RGBD カメラ、3D LiDAR を搭載し、これらのセンサからの取得データと SLAM 技術を用いて段差の高さ測定を検証した結果について報告する。

2. 各種センサによる段差の高さ測定検証

図-1 に検証で用いた移動ロボットの構成を示す。移動ロボットは ROBOTIS 社製の TurtleBot3 をベースとして改造を行い、上部に 3D LiDAR、RGBD カメラ、単眼カメラを搭載した。3D LiDAR には Velodyne Lidar 社製の VLP-16、RGBD カメラにはインテル社製の D435i、単眼カメラにはロジクール社製の C1000s を使用した。D435i および C1000s の解像度は 1280×720 とした。SLAM には WEB で公開されている Open Source Software (OSS)を使用した。3D LiDAR による SLAM には LeGO-LOAM¹⁾の fork である LeGO-LOAM-BOR と interactive_slam を用いた。RGBD カメラおよび単眼カメラによる SLAM には OpenVSLAM²⁾の fork である stella_vslam を用いた。

検証には高さ調整可能なジャッキを 2 台使用した。図-2 に

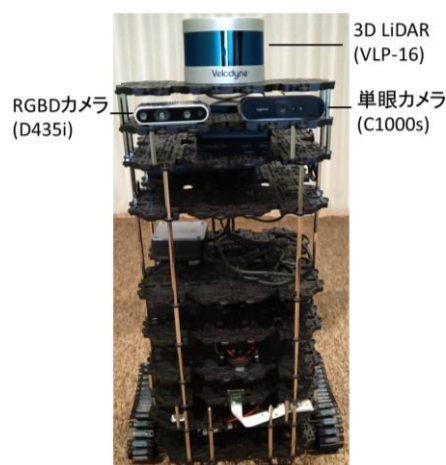


図-1 移動ロボットの構成

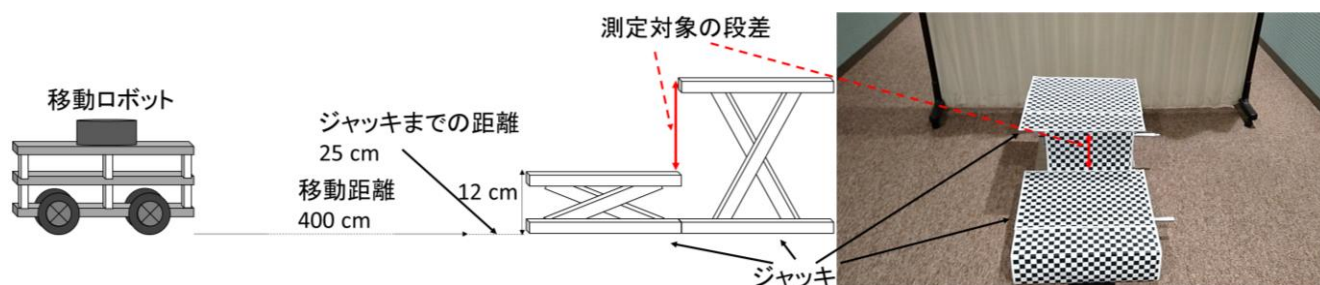


図-2 検証の構成

キーワード SLAM, ロボット, LiDAR, カメラ

連絡先 〒163-8019 東京都新宿区西新宿 3-19-2 本社ビル 16F 東日本電信電話(株) TEL 03-5359-5930

段差の高さ測定検証の構成を示す。移動ロボットから見て奥側のジャッキの高さを変更し、手前側のジャッキと奥側のジャッキの高さの差分を段差とした。段差の高さは 2 cm から 20 cm まで 2 cm 刻みで変化させた。stella_vslam 実施時に特徴点を取得しやすくするため、ジャッキの表面にはチェスボードを印刷した紙を配置した。ロボットは 400 cm 走行させ、ジャッキ手前 12 cm で停止させた。段差の高さ測定の手順は、まず SLAM により取得した 3D 点群に対して、3D データ処理のライブラリである Open3D に用意されている平面検出を行い、ジャッキや床を構成する点群に分解した。次に、ジャッキの表面を構成する点群の高さの中央値を算出し、2 台の高さの中央値の差分により段差の高さを取得した。なお、stella_vslam で得られる長さは相対的な位置関係を表しており、絶対的な長さは直接取得できない。したがって、測定時の廊下の幅を既知として補正を行うことで、段差の高さを取得した。

3. 検証結果

各種センサと SLAM を用いて取得した 20 cm 段差時の点群測定結果を図-3 に示す。(a)~(c)はそれぞれ 3D LiDAR, RGBD カメラ, 単眼カメラにて測定した結果である。横軸は移動ロボットからジャッキを見た際の奥行方向の長さ、縦軸は高さを表す。(a)~(c)の青、オレンジ、緑、赤の点はそれぞれ検出した平面を構成する点群である。(a)~(c)いずれの結果においても、平面検出により床やジャッキ、衝立を構成する点群へと分解できており、高さの異なる 2 台のジャッキが確認できる。また、ジャッキを構成する点群の密度は RGBD カメラによる測定結果が最も高いことが分かる。

図-4 に測定した点群から求めた段差の高さを示す。横軸は設定した段差の高さであり、縦軸は測定により得られた段差の高さである。黒の実線は設定した段差の高さと測定した高さが一致する場合を表している。図-4 よりいずれのセンサにおいても測定値は設定した段差の高さと良い一致を示す。また、3 つのセンサの中でも RGBD カメラが設定値に対して最もばらつきが小さいことが確認できる。これはジャッキ表面を構成する点群の密度が最も高く、ノイズの影響を受けづらいのが要因であると考えられる。

4. まとめ

3D LiDAR, RGBD カメラ, 単眼カメラを搭載した移動ロボットによる段差の高さ測定検証を行った。いずれのセンサにおいても、SLAM を用いることで段差の高さを取得できることを確認した。今後は、点群密度と測定値のばらつきの関係について調査を行う。

参考文献

- 1) T. Shan and B. Englot, "LeGO-LOAM: Lightweight and Ground-Optimized Lidar Odometry and Mapping on Variable Terrain", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 4758-4765, 2018.
- 2) Sumikura, Shinya, Mikiya Shibuya, and Ken Sakurada. "OpenVSLAM: A versatile visual SLAM framework." *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia*, pp. 2292-2295, 2019.

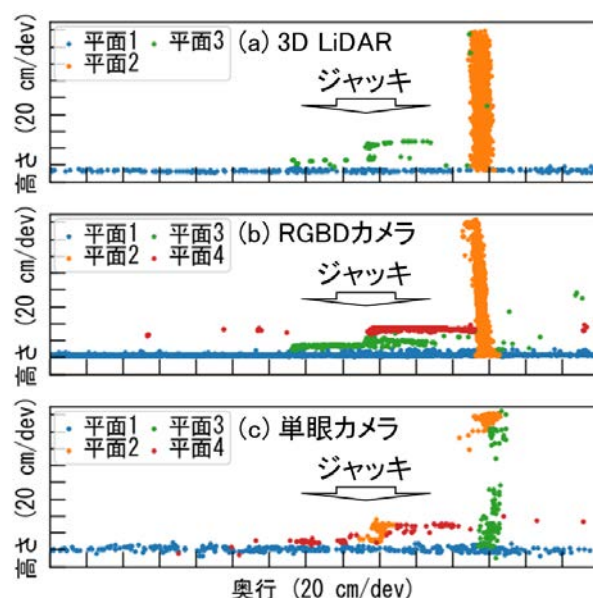


図-3 20 cm 段差時の点群測定結果

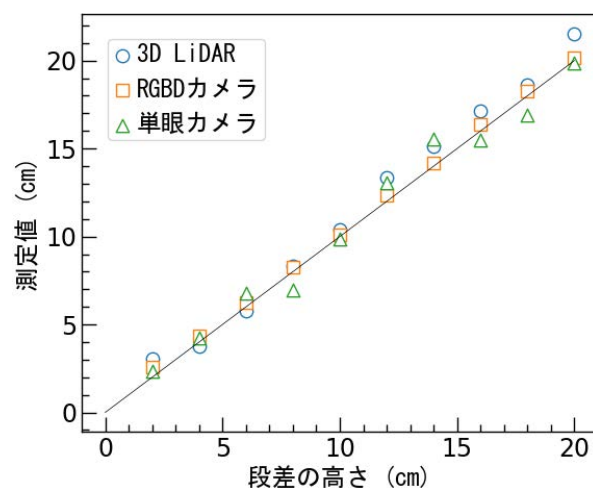


図-4 段差の高さに対する測定結果