

建設現場における LiDAR-SLAM と Visual-SLAM の 特性分析に関する一考察

塚田義典[†] 中原匡哉[‡] 梅原喜政[†] 西田義人^{†‡} 窪田諭^{‡‡}

田中成典^{‡‡‡} 清水則一^{‡‡‡} 川崎悠史^{‡‡‡†} 近藤龍^{‡‡†}

摂南大学経営学部[†] 大阪電気通信大学総合情報学部[‡] 金沢工業大学基礎教育部^{†‡}

関西大学環境都市工学部^{‡‡} 関西大学総合情報学部^{‡‡†} 関西大学先端科学技術推進機構^{‡‡‡}

関西大学大学院総合情報学研究科^{‡‡‡†}

1. はじめに

我が国では、建設生産システム全体の生産性向上を目指す取り組みとして、i-Construction[1]が推進されている。これにより、点群データを活用するための新基準の整備が進んでいる。点群データは、主に航空レーザや MMS (Mobile Mapping System) により計測されているが、衛星電波の受信が困難な場合に測位精度が低下し、正確な環境地図を生成できない課題がある。そのため、近年では、カメラやレーザスキャナを搭載した可搬型の SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 機器が注目されている。SLAM は、動画像を用いる Visual-SLAM と点群データを用いる LiDAR-SLAM の 2 つに大別される。しかし、建設現場では、Visual-SLAM は階段や植生、動体などを含む場面、LiDAR-SLAM は類似形状が連続する場面で自己位置の推定精度が低下する。これに対し、両技術の自己位置の推定精度を比較することで特性を明らかにし、それぞれの欠点を補完し合うことで精度向上が期待できる。そこで、本研究では、建設現場における SLAM の精度向上のため、両技術の自己

位置推定精度の低下要因を調査し、その特性を明らかにする。

2. 研究概要

LiDAR-SLAM には、動体に着目する手法[2]や形状ごとに特徴点を分類する手法[3]が提案されている。前者の手法[2]は、動体を計測データ内から推定し、除去する。その上で形状ごとに特徴点を分類し、同種の形状の特徴点同士をマッチングすることで環境地図を構築する。後者の手法[3]は、動体を計測した点を除去せず、サーフェスとエッジの 2 種類の特徴点に分類し、互いの特徴点の分布が一致するように重畳する。両手法を建設現場に適用した場合、前者の手法[2]では、静止中の建機も誤って除去され、自己位置を推定するための特徴が減少し、精度が低下する可能性が高い。そのため、建設現場の環境地図の構築や自己位置の推定には後者の手法[3]が適している。Visual-SLAM には、単眼カメラの画像を用いる手法[4]やステレオカメラを用いる手法[5]が提案されている。前者の手法[4]は、単眼カメラで撮影した異なる画像間で共通する特徴点を手掛かりに環境地図を構築する。後者の手法[5]は、2 つのレンズ間で共通する特徴点とレンズ間の基線長を基に撮影範囲内の環境地図を構築する。後者の手法の場合、持ち運びできるサイズのステレオカメラの基線長では広範な建設現場に対して十分な計測範囲を確保できず、自己位置の推定に失敗しやすい。そのため、建設現場の環境地図の構築には、前者の単眼カメラの画像を用いる手法が適している。以上のことから、本研究では、建設現場に適している手法として、形状ごとに特徴点を分類する LiDAR-SLAM の手法と単眼カメラを用いる Visual-SLAM の手法を対象に建設現場に適用した場合の特性を明らかにする。

Consideration on Characteristic Analysis between LiDAR-SLAM and Visual-SLAM in Construction Site

[†] Yoshinori Tsukada and Yoshimasa Umehara
Faculty of Business Administration, Setsunan University

[‡] Masaya Nakahara
Faculty of Information Science and Arts,
Osaka Electro-Communication University

^{†‡} Yoshito Nishita
Faculty of Academic Foundations Programs,
Kanazawa Institute of Technology

^{‡‡} Satoshi Kubota
Faculty of Environmental and Urban Engineering,
Kansai University

^{‡‡†} Shigenori Tanaka and Ryu Kondo
Faculty of Informatics, Kansai University

^{‡‡‡} Norikazu Shimizu
Organization for Research and Development of
Innovative Science and Technology, Kansai University

^{‡‡‡†} Yushi Kawasaki
Graduate School of Informatics, Kansai University

表 1 自己位置推定精度の比較結果

最確値との差	SLAMの種類	直線1	角1	直線2	角2	直線3	角3	直線4	角4	全体
平均(mm)	Visual-SLAM	73	101	203	145	66	51	126	84	97
	LiDAR-SLAM	56	98	98	85	86	103	123	38	78
標準偏差 (mm)	Visual-SLAM	50	13	47	23	27	24	44	61	63
	LiDAR-SLAM	27	10	16	10	22	20	19	27	34

3. 実証実験

3.1 実験内容

本実験では、建設現場を想定した実験環境(図1)を対象に、計測機器(図2)を携行した計測者が常に実験環境の中心を向くように移動する。そして、LiDAR-SLAMとVisual-SLAMで推定した自己位置の推定結果と、GNSSで計測した自己位置(以下、最確値とする)をそれぞれ比較し、差の平均と標準偏差で精度を評価する。評価地点は、図1に示す直線と角のそれぞれ4地点とする。

3.2 結果と考察

自己位置推定精度の比較結果を表1、推定した自己位置の可視化結果を図3に示す。LiDAR-SLAMでは、全体の最確値との差の平均値は78mm、標準偏差は34mmとなった。Visual-SLAMでは、平均値は97mm、標準偏差は63mmとなった。このことから、実験環境下では、LiDAR-SLAMの方が安定して高精度に自己位置を推定できることがわかった。ただし、直線3では20mm、角3では52mmとなり、Visual-SLAMの方がLiDAR-SLAMより最確値との差の平均値が小さい結果となった。直線3と直線4地点の画像を図4に示す。図4に示すとおり、直線3の画像は、他地点に比べて画像内の空が占める割合が少ない。そのため、連続する画像間において周囲の地物から十分に同一地物の特徴点を抽出できたためと考えられる。そこで、同一環境で空の映る割合を変更して追加実験を行ったところ、空の映る割合が多い場合、自己位置推定精度が低下することを確認した。以上より、画像に空が写り込まない程度に地物や建造物を含む場合はVisual-SLAM、そうでない場合はLiDAR-SLAMを用いて環境地図を構築する方法が適していると考えられる。

4. おわりに

本研究では、建設現場におけるSLAMの精度向上に向けて、LiDAR-SLAMとVisual-SLAMの手法の自己位置推定精度の低下要因を調査し、その特性を明らかにした。今後は、計測データ内の環境に応じて、自動で適切なSLAM手法に切り替える技術の開発を目指す。

参考文献

[1] 国土交通省：i-Construction推進コンソーシアム，

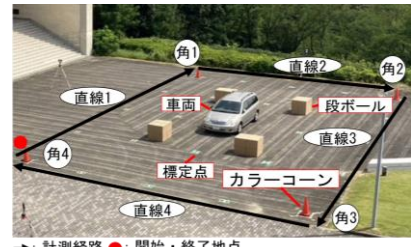


図1 実験環境

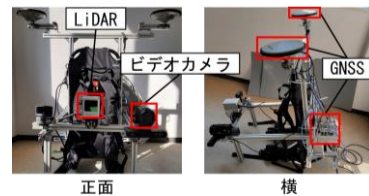


図2 計測機器

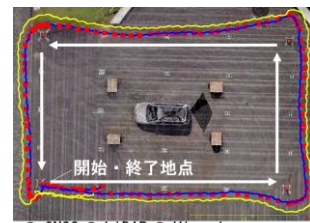


図3 自己位置の可視化結果



図4 直線3と直線4地点の画像

入手先〈https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/i-con_consortium/index.html〉(参照2023-1-13)。
 [2] Livox: A Robust LiDAR-inertial Odometry with LIO-Livox Open-source Algorithm, available from 〈<https://www.livoxtech.com/jp/showcase/12>〉(accessed2023-1-13).
 [3] Xu, W., Cai, Y., He, D., Lin, J. and Zhang, F.: FAST-LIO2: Fast Direct LiDAR-Inertial Odometry, arXiv (online), available from 〈<https://arxiv.org/pdf/2107.06829.pdf>〉(accessed2023-1-13).
 [4] Teed, Z. and Deng, J.: DROID-SLAM: Deep VisualSLAM for Monocular, Stereo, and RGB-D Cameras, arXiv(online), available from 〈<https://arxiv.org/pdf/2108.10869.pdf>〉(accessed2023-1-13).
 [5] StereoLabs: Spatial Mapping in Computer Vision using ZED, Medium(online), available from 〈<https://stereolabs.medium.com/spatial-mapping-in-computer-vision-using-zed-69bce43c2e7a>〉(accessed 2023-1-13).