



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Lidar-based Localization and Pose Estimation Approaches in the Map Built by Monocular SLAM [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Wang, Su
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13788号
Issue Date	2019-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/75908
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Su_Wang_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 Wang Su

審査担当者 主 査 教 授 小林 幸徳
副 査 教 授 梶原 逸朗
副 査 教 授 近野 敦 (本学情報科学院)

学位論文題名

Lidar-based Localization and Pose Estimation Approaches in the Map Built by Monocular SLAM
(単眼カメラ SLAM による地図における Lidar に基づく自己位置と姿勢の推定)

本論文は、単眼カメラで構築される地図における Lidar に基づくロボットの自己位置と姿勢の推定問題を主に論じている。モバイルロボットの自律的ナビゲーションにおいて、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) は必須のアルゴリズムであり、環境地図を再構築し、他のロボットに提供するためのアルゴリズムとして広く用いられている。また、環境認識のための種々のセンサを用いた多様な SLAM 問題に関する研究が盛んに行われている。その中で、単眼カメラ SLAM は簡単な構成かつ低コストであることから、ロボット研究者の間で注目されている。しかしながら、単眼カメラによるイメージからは、距離情報を得ることができない。したがって、単眼カメラ SLAM は絶対的なスケール無しに位置を推定するという固有の問題を有している。加えて、2つのフレームの間に空間固定の基準線が無い場合、単眼カメラ SLAM で再構築された地図は、時間とともにスケールがドリフトする傾向となる。距離情報は、超音波センサや LRF などのセンサにおいては必須であることから、この本質的な弱点は、単眼カメラ SLAM で構築した地図を再利用する際に大きな障害となる。しかし、単眼カメラ SLAM で得られた地図の幾何学的構造は自己位置推定において利用可能であり、スケール情報の無い幾何学的特徴点を用いることで、測距センサとの認識を一致させることは可能である。本論文では、単眼カメラ SLAM で構築した地図を Lidar センサのみを搭載したロボットで再利用するためのアルゴリズムを提案している。この問題に関する研究成果は、実環境における移動ロボットの自律的な活動を支える基盤技術と言え、ロボット工学の発展に大きく寄与するものである。

本論文は全4章で構成されており、以下にそれぞれの章の概要を示す。

第1章では、研究背景と研究動機について述べている。また、これまでに行われた自己位置推定手法に関する研究、単眼カメラ SLAM に関する研究を概説し、スケールドリフトについても述べている。

第2章では、スケールを考慮したモンテカルロ位置推定法について論じている。単眼カメラ SLAM の地図における 2D レーザースキャナによるロボットの自己位置推定を行うための拡張モンテカルロ位置推定 (MCL) を提案している。本手法では、モンテカルロサンプリングによって、地図のローカルなスケールファクタと同時にロボットの姿勢の推定を可能としている。さらに、Kullback-Leibler Divergence (KLD) サンプリングを用いることで、グローバルな自己位置推定ができることを示している。また、本手法の有効性を、まず公開されている地図データを用いて精度検証を行い、その後に実環境におかれたロボットによる計測を行って検証している。

第3章では、スケールの伸長による独創的なスキャン合成 (Scan registration) のアルゴリズムを提

案している.MCL はロボットの姿勢を有効に推定できるが, 計算コストが高く 6 自由度の推定問題には適さない. スキャン合成はセンサの相対的な姿勢をスキャンデータと参照ポイントクラウドとのマッチングで推定する有用な手法である. ここでは, 独自のスキャン合成法である Scaled Normal Distribution Transform (sNDT) を, 異なるサイズのポイントクラウド間の配置を扱うために提案している.sNDT の計算時間と収束特性を Iterative Closest Point (ICP) に基づく解との比較で検証し, さらに UKF (unscented Kalman filter)-based back-end と sNDT を併用して, 不完全でスケールドリフトのある単眼 SLAM の地図において Lidar を用いた 6 自由度の位置推定が可能であることを示した.

第 4 章は, 結論と総括であり, 本論文で得られた研究結果をとりまとめている.

これを要するに, 著者は, 単眼カメラ SLAM で構築した地図を Lidar センサのみを搭載したロボットで再利用するためのアルゴリズムを提案し, 実環境における移動ロボットの自律的な活動を支える基盤技術において有益な知見を得たものであり, ロボット工学の進歩に貢献するところ大なるものがある. よって著者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める.