



Title	Scan Matching and SLAM for Mobile Robot in Indoor Environment [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	呂, 吉鑫
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12455号
Issue Date	2016-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/63336
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	LV_JIXIN_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 呂 吉鑫

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 (情報科学研究科)

学位論文題名

Scan Matching and SLAM for Mobile Robot in Indoor Environment
(屋内移動ロボットのスキャンマッチングと SLAM)

自律移動ロボットが未知の環境に置かれたとき、ロボットは環境の正確な地図を構築すると同時にその地図上での自身の位置と姿勢を把握する必要がある。この問題は、Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) としてよく知られており、多くの研究者らの関心を集めてきた。SLAM 問題における最も一般的な手法は確率論的なものであり、Extended Kalman Filter (EKF) SLAM、Particle Filter SLAM、Maximum Likelihood SLAM などが知られている。近年、スキャンマッチング (Scan Matching) と呼ぶロバストな手法が提案され、注目されている。これは、異なる姿勢で計測したデータを照合することで、2つの姿勢の間の剛体変換を効率よく行う手法である。通常、環境探索用のセンサが高精度かつロバストな特性を有することから、スキャンマッチングは移動ロボットの自己位置同定に極めて有効な手法となっている。

一方で、SLAM 問題にビジョンセンサを用いる方法も普及し始めているが、ビジョンセンサは明るさの変化など、予測できない環境変化に敏感である。さらに、ビジョンセンサを用いる手法によって構成される環境の特徴点情報は疎なデータであり、移動ロボットの自律ナビゲーションには不十分な場合が多い。それ故に、Laser Range Finder (LRF) を用いるスキャンマッチング法と高速な SLAM フレームワークは、環境変化に対するロバスト性から依然として広く用いられている。他に広く用いられるセンサとして、加速度と回転速度を同時に計測する慣性計測装置 (Inertial Measurement Unit, IMU) がある。コストを考えると MEMS 技術からなる IMU がロボット研究には適している。しかしながら、低価格な MEMS-IMU による計測では、種々のノイズの影響を受けやすい。したがって、MEMS-IMU を使用する際には、ノイズ低減のためのキャリブレーションが必須である。

以上のような背景から、本研究では、以下に示す3つのポイントについて論じている。最初に様々なスキャンマッチングの手法について比較をし、最も広く用いられている Iterative Closest Point (ICP) 法について詳しく論じるとともに、その性能向上のための方法を提案している。次に、構造化されている屋内環境に対して有効な、セグメント情報を用いる EKF-SLAM を提案している。この手法はセグメントで構成される一様平面上の SLAM に加えて、斜面や平面の端部の検出を効率的に行うことができる。最後に、提案したロバストなスキャンマッチングの有用性を活用するために、MEMS-IMU の直接的で効率的な校正手法を開発している。

本論文は、以下の通り6章からなる。

第1章では、本研究の背景と動機及び目的について述べ、本論文の概要を説明している。

第2章では、最初に様々なスキャンマッチングの手法について比較をし、最も広く用いられてい

る Iterative Closest Point (ICP) 法について詳しく論じている. ICP が大きな角度変位に対して誤差を生じやすい理由を明らかにするとともに, これを解決する新たな繰り返しアルゴリズムとして Iterative Closest Normal (ICN) 法を提案し, その有用性を実験によって示している.

第 3 章では, まず Nearest Neighbor Search (NNS) 法について述べたのち, ICP の演算を高速化する 2 つの方法を提案している. さらに, 疎なデータから地図を構築し, 同時にロボットの自己位置同定が可能なインクリメンタルスキャンマッチングの構成を論じ, 室内環境における大規模な地図構築への適応を実験によって検証している.

第 4 章では, まず LRF のスキャンデータから線分を抽出する方法を説明している. そして, セグメント情報を用いる EKF-SLAM について詳細に述べている. さらに, オドメーターを用いたデッドレコニングに基づく EKF-SLAM のロバスト性を ICP による補償によって向上させるアルゴリズムを示している. そして, 提案した手法をロボットの移動経路中にあるスロープ検出に適用するため, 水平方向と垂直方向にスキャンする 2 台の LRF を搭載した移動ロボットを製作して実験を行い, その有用性を検証している.

第 5 章では, 提案したロバストなスキャンマッチングの有用性を活用するために, MEMS-IMU の直接的で効率的な校正手法を開発している. 3D プリンターで製作したプラスチック製の立方体を IMU の筐体として用い, まず多方向で計測した加速度と重力加速度の値の誤差を最小化することによって, 加速度に関する校正を行う. ついで, 提案したスキャンマッチング法によって角度変位を推定し, ジャイロセンサの校正を行う. この方法の精度の検証は, 歩行軌跡の測定によって行い, 移動ロボットの姿勢計測におけるセンサとしての実用性を示している.

第 6 章は総括であり本論文で得られた研究結果を取りまとめるとともに, 今後の課題についても述べている.

これを要するに, 著者は, 屋内移動ロボットの SLAM 問題において広く用いられているスキャンマッチング法の問題点を明らかにするとともに, これを解決する独自の手法を考案して極め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.