

氏名	SAIFUDIN BIN RAZALI
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第4634号
学位授与の日付	平成24年 9月27日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	Smoothing Techniques and a Spherical Simplex Unscented Transformation in Solving a SLAM Problem (SLAM問題解法におけるスムージング技法と球状シンプレックス・アンセンテッド変換)
論文審査委員	教授 渡邊 桂吾 教授 則次 俊郎 教授 鈴森 康一

学位論文内容の要旨

Chapter 1 introduces the SLAM problem in general and statement of contributions of this thesis.

Chapter 2 presents the necessary background to this thesis by discussing the common optimal filtering and smoothing. The history and formulation of the discrete time optimal filtering and smoothing as recursive Bayesian inference are presented in the beginning. Then the fundamental knowledge of the classical Kalman filter, extended Kalman filter, unscented Kalman filter and particle filter are discussed in detail. The smoothing methods based on Rauch-Tung-Striebel are explained in detail including the basic Rauch-Tung-Striebel smoother, extended Rauch-Tung-Striebel smoother, and unscented Rauch-Tung-Striebel smoother.

Chapter 3 gives detailed explanations about the SLAM problem. This chapter starts by describing the basic navigational map such as occupancy grid, feature map and topological map which is used in the autonomous mobile robot. Then, the derivation of the SLAM problem in probabilistic term is discussed in detail. Afterwards, this derivation then is used as basic knowledge to solve the SLAM problem. Detailed implementation of the common method in solving the SLAM problem, named the extended Kalman filter (EKF) based SLAM is also presented in detail in this chapter. The structure of the EKF based SLAM including the state augmentation between the robot state and map, the prediction and updating stage, and the augmentation of new feature in the map are described step by step. Then, the derivation of motion model of a nonholonomic vehicle with Ackerman steering model used in this thesis also is demonstrated in detail. In addition, we introduce the extended Rauch-Tung-Striebel smoother (ERTSS) based SLAM and discuss its performance over the standard EKF based SLAM.

Chapter 4 describes another method to solve the SLAM problem known as an unscented transformation used by the unscented Kalman filter (UKF) based SLAM. Instead of using the approximation of nonlinearities in a SLAM problem by the EKF based SLAM, this unscented transformation uses the deterministic sigma points to directly propagate the nonlinear system. The structure of the UKF based SLAM is described in the similar way as in the previous chapter but replacing the linearization with the unscented transformation to estimate the nonlinear term. The comparison between the EKF based SLAM and the UKF based SLAM is also presented. In addition, novel approach known as unscented Rauch-Tung-Striebel smoother (URTSS) is presented to solve the SLAM problem. The performance of this proposed method is evaluated by comparing with the UKF.

Chapter 5 discusses another paradigm in solving a SLAM problem known as the FastSLAM. The FastSLAM decomposes the SLAM problem into robot localization and a collection of landmark estimation problem. The standard FastSLAM framework, which consists of robot estimation, features state estimation and the important weight calculation, are presented in detail. In this chapter, the unscented transformation is introduced by replacing the linearization approaches used in the standard FastSLAM. The performance between the proposed method and the standard FastSLAM will be also discussed. In addition to the standard sampling technique of the unscented transformation, we present the spherical simplex unscented transformation as a new sampling method used in the FastSLAM framework. The evaluation among these approaches is also presented in this chapter.

Chapter 6 presents the conclusions and suggestions for the future directions of this work.

論文審査結果の要旨

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 問題は、各種移動ロボットの自律航法において重要な課題である。従来の SLAM 問題では、拡張カルマンフィルタ、アンセンテッドカルマンフィルタおよびパーティクルフィルタなどのフィルタリングに関する研究が盛んに行われてきた。本研究では、スムージング技法による SLAM 問題への解法に挑戦し、またロボットの自己位置推定とランドマーク推定を個別に扱う FastSLAM 問題へのアンセンテッド変換の適用と、さらに従来法に比べてより少ないサンプリング点ですむ球状シンプレックス・アンセンテッド変換法の有用性を示した。

まず、従来の拡張カルマンフィルタを用いた SLAM の推定精度向上法として拡張 Rauch-Tung-Striebel (RTS) スムーザを用いる SLAM 法を提案し、その推定精度において従来法のものよりも改善できることを示した。

次に、拡張カルマンフィルタに代わり、モデルの非線形部分の線形化を行わない（微分をとらない）で複数のサンプル点を再サンプリングするアンセンテッドカルマンフィルタによる SLAM 問題において、アンセンテッド RTS スムーザを適用し、結果的にアンセンテッドカルマンフィルタによる推定精度よりもさらに改善できることを明らかにした。

最後に、FastSLAM 問題において従来の線形化部分をアンセンテッド変換に置き換えることで推定精度の向上が図れることを示し、さらにそのアンセンテッド変換の代わりに球状アンセンテッド変換を導入することでほぼ同様の精度を維持しながら計算負担がほぼ半分となる方法も示した。

このように本研究は移動ロボットの SLAM 問題において、拡張スムーザあるいはアンセンテッドスムーザの導入による自己位置推定及び地図構成の推定精度改善法を示し、また FastSLAM 問題において、アンセンテッド変換による推定精度向上法や球状シンプレックス・アンセンテッド変換による計算負担の軽減化法を示したものである。これらの成果はロボット工学、特に移動ロボットの経路計画や航法技術の発展に寄与するものである。

本学位審査委員会は、学位論文の内容ならびに参考論文等を総合的に判断し、博士（工学）の学位に値するものと判断する。