

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19700192

研究課題名（和文） 移動ロボットによる低精度センサを用いた大規模地図生成

研究課題名（英文） Generation of Large-size Maps by a Mobile Robot Using Low-Accuracy Sensors

研究代表者 田中 完爾（TANAKA KANJI）

福井大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：30325899

研究成果の概要：

移動ロボットのリアルタイム地図学習（SLAM）問題に対し、低精度センサに有効な手法群を開発し、実用的な低精度 RFID センサを用いた大規模地図生成システムを実現した。具体的には、まず、（1）低精度センサに有効なコンパクト・高速な SLAM 手法（LSH-PF 手法）を開発した。また、（2）地図全体誤差を低減する平滑化手法（グラフィカル SLAM 手法）を開発した。さらに、（3）低精度・小規模な地図群を位置合せ・統合して大規模・高精度な地図を生成する「低精度センサ SLAM 手法」を開発した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,200,000	0	2,200,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	330,000	3,630,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：知能情報処理・知能ロボティクス

キーワード：アルゴリズム、画像、文章、音声等認識、情報システム、知能ロボティクス、モデル化

1. 研究開始当初の背景

移動ロボットが、安全・効率的にナビゲーションを行うためには、周囲のランドマーク地図を生成するとともに、この地図上で自己位置を推定する必要がある。特に未知環境においては、地図と自己位置を同時かつリアルタイムに推定する必要がある。この推定問題を SLAM 問題と呼ぶ。従来の SLAM 技術は、主に、レーザ距離計など高精度なランドマーク

観測センサを対象にしていた。しかし、今後、家庭用パーソナルロボットの分野などにおいて、安価な低精度センサを対象とする、新しい SLAM 技術が期待される。低精度センサの場合、ランドマーク観測誤差が大きく、従来のガウス雑音分布など、コンパクト・単純なセンサモデルを直接に用いることができない。そこで、本研究では、低精度センサのための新しい SLAM 技術を実現することを目的とする。

2. 研究の目的

本研究では、低精度センサの地図生成 (SLAM) 技術を実現することを目的とする。具体的に、実用的な低精度 RFID センサを用いた大規模地図生成システムを開発する。

本研究では、地図生成システムに要求される、高速性と高精度性をいかにして両立するかが鍵となる。高速性の観点からは、コンパクトかつ粗いセンサモデルが有効であり、具体的には、カルマンフィルタやパーティクルフィルタなどのリアルタイム推定手法が適している。一方、高精度性の観点からは、地図全体誤差関数を大域的に最小化するオフライン最適化手法が適している。以上の考察から、我々は、リアルタイム推定手法とオフライン最適化手法を結合する新しい SLAM 技術を研究開発することを目的とする。

3. 研究の方法

観測誤差および地図全体誤差に頑健な、新しい SLAM 技術を研究開発する。具体的には、

(1) コンパクトかつ粗い観測モデルを用いて、リアルタイムに地図を構築していく頑健な SLAM 手法

(2) 詳細な観測モデルを用いて、地図全体誤差を低減する平滑化手法 (最適化手法) の 2 つの手法を開発し、両手法を互いに連係させる。2 つの手法を連係させる方法として、

(3) 地図生成処理と地図平滑化処理の 2 つの処理を適時に切替ながら解探索を行う方法を開発する。

4. 研究成果

本研究の成果は、以下の 4-1 ~ 4-3 に集約できる。

4-1 コンパクト・高速なパーティクルフィルタ手法の研究開発

SLAM 問題の標準的な推定手法として、パーティクルフィルタが用いられる。パーティクルフィルタは、雑音に対し頑健な推定手法であり、低精度センサに有効であると期待できる。本研究では、このパーティクルフィルタを拡張し、LSH パーティクルフィルタと呼ぶコンパクト・高速な手法を開発した。この拡張手法は、近年注目を集めているデータベース技術 locality sensitive hashing (LSH) に基づいており、以下のような利点がある。

(1) ランドマーク群をリアルタイムに地図へ記録することができる。

(2) 地図を高速に検索しロボットの自己位置を効率よく絞り込むことができる。

(3) 自己位置の各候補を追跡し最も確か

らしい自己位置を推定することができる。

(4) ランドマークの特徴量に対し次元削減を行い空間コスト (メモリ消費量) を低く抑えることができる。

以下のような実験を実施し有効性を確認した (図 1)。

(1) 異なる 3 通りのランドマーク型を用いて実験を行い性能比較した。

(2) 異なる 3 通りのデータベース構造を用いて性能比較した。

(3) データベース・パラメータに対する感度を調査した。

(4) アルゴリズムの各処理部分について空間コスト (メモリ消費量) および時間コストを調べた。

4-2 グラフィカル SLAM 手法の研究開発

本研究では、低精度 RFID センサのための地図平滑化手法を開発した。本問題では、ロボットの観測経路に沿って自己移動とランドマーク観測の列が与えられる状況を想定する。そして、地図全体誤差を大域的に最小化するような、視点群とランドマーク群を推定することを目的とする。低精度 RFID センサの場合、センサノイズは非常に大きく

(例: 数十 cm ~ 数 m)、標準的な SLAM 手法では大きな地図誤差が生じてしまう (図 2)。我々は、この誤差を低減するために、SGD と呼ばれる標準的なオフライン最適化手法を利用する。当初、直接に SGD を適用したところ、大きな地図誤差が生じた。その理由として、低精度 RFID センサの場合、雑音分布が大きく未知であるため、モデル化誤差が生じたと考えられる。この問題に対処するために、複数視点での観測データをもとに、RFID ランドマークの位置を大まかに推定し、より高精度に雑音分布を予測する方法を開発した。この方法では、雑音分布をガウス分布により近似する。一般に、ガウス雑音分布は、SGD など多くの最適化手法と親和性が高いという利点がある。この新しい雑音モデルを SGD に実装し、実験を行ったところ、性能が大きく改善することを確認した (図 3c)。

4-3 大規模地図生成システムの開発

本研究では、複数の小規模地図群を位置合せする新しいマップマッチング手法を開発した。マップマッチング手法の研究は 90 年代より数多くなされている。しかしながら、それらの多くは、小規模な地図を対象としており、本研究のような大規模地図を扱ったものは少ない。そうしたなか、Neiera らは RANSAC を利用して大規模地図のマップマッチングに成功している。我々は、この RANSAC マップマッチングを基礎とし、必要な 3 つの

拡張を行った。第一の拡張として、preemptive RANSAC (pRANSAC)を導入し、リアルタイム性を実現した。第二の拡張として、pRANSACを逐次型へと拡張し、移動ロボットにより逐次的に構築されていく地図群を扱えるようにした。第三に、4-1でも述べたLSHデータベースを導入し、大規模なランドマーク群を高速に記録・検索できるようにした。

主に、以下のような実験を行い、提案手法の有効性を確認した。

(1) 最大16枚のサブマップ群からなる大規模地図を用いて自己推定タスクを実施し(図4, 図5), 多くのケースにおいて、高い推定効率・推定精度を確認した。

(2) 自己位置推定タスクにおいて有効であったランドマークの特性(外見・場所など)を調査した。

(3) 異なるパラメータ設定下で実験を行い、提案システムが、広範囲のパラメータにおいて安定に動作することを示した。

(4) 提案システムにおいて複数の解候補が生成・評価されていく様子を解析し明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

Kanji Tanaka, Yoshihiko Kimuro, Kentaro Yamano, Mitsuru Hirayama, Eiji Kondo and Michihito Matsumoto, A Supervised Learning Approach to Robot Localization Using a Short-Range RFID Sensor, IEICE Trans. Information and Systems, E90-D(11): 1762-1771, 2007.

田中完爾, 木室義彦, 岡田伸廣, 近藤英二, オクルージョンを相対位置情報として用いた確率的な複数歩行者追跡, 日本機械学会論文集C編, 73(29):250-256, 2007.

田中完爾, 高次特徴地図のためのE2LSHに基づくモンテカルロ自己位置推定, 92(1):70-80, 2009.

[学会発表] (計5件)

Kenichi Saeki, Kanji Tanaka, Takeshi Ueda, LSH-RANSAC: An incremental scheme for scalable localization, IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, 2009.

Kanji Tanaka, Eiji Kondo, Mobile robot mapping with geometrically inconsistent

measurements in dynamic environments, SICE Annual Conference, 1493-1500, 2007.

Kanji Tanaka, Multiscan-based map optimizer for RFID map-building with low-accuracy measurements, IAPR Int. Conf. Pattern Recognition, 2008.

Takeshi Ueda, Kanji Tanaka, On the scalability of robot localization using high-dimensional features, IAPR Int. Conf. Pattern Recognition, 2008.

Kanji Tanaka, Eiji Kondo, A Scalable Algorithm for Monte Carlo Localization Using an Incremental E2LSH-Database of High Dimensional Features, IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, 2008.

[図書] (計1件)

[産業財産権]
○出願状況 (計1件)

特願2009-114066, 発明者: 田中 完爾, 特許出願人, 福井大学, 出願日: 平成 21.5.9, 国内

○取得状況 (計1件)

[その他]

6. 研究組織
(1) 研究代表者

田中 完爾 (TANAKA KANJI)
福井大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 30325899

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

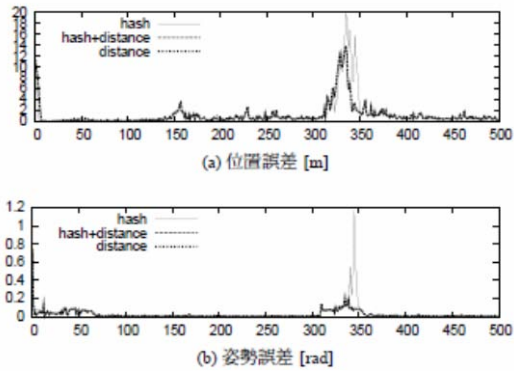


図1 LSH パーティクルフィルタ実験

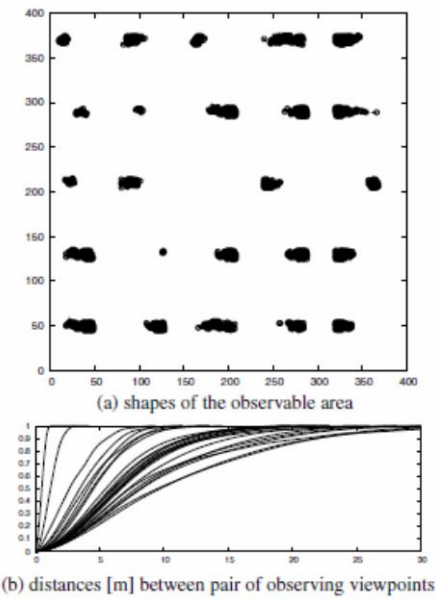


図2 RFID 特性の調査

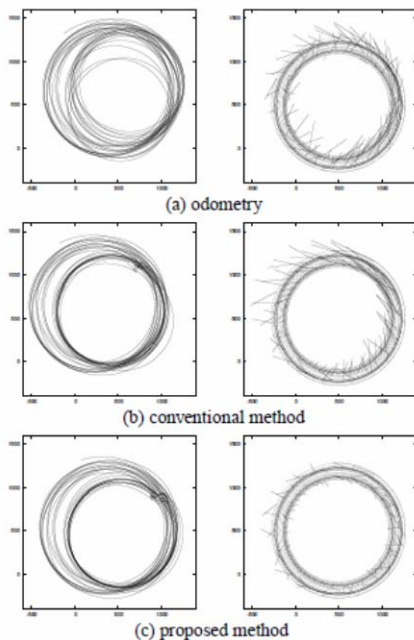


図3 RFID 地図生成実験

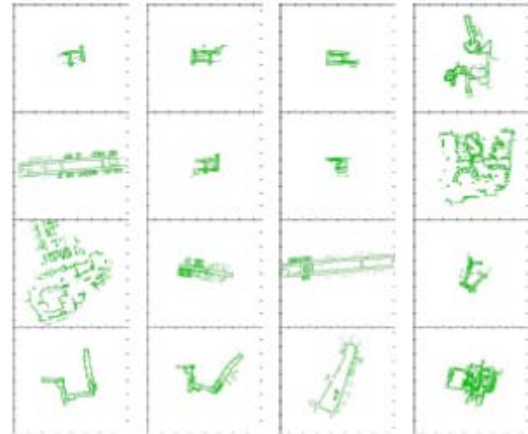


図4 大規模地図生成実験

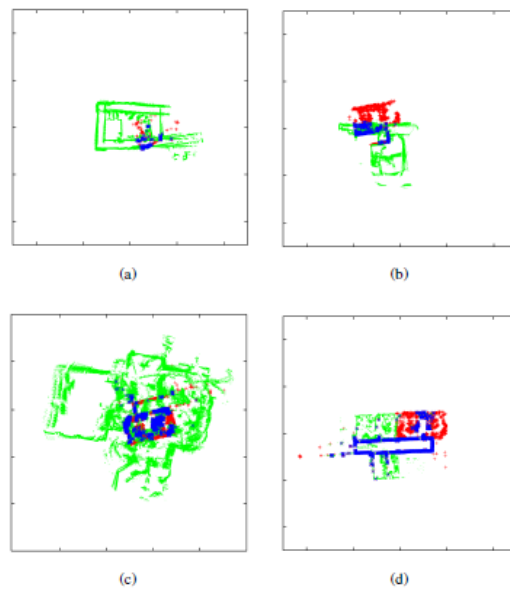


図5 マップマッチング