

# センサーネットワークにおける SLAM を用いた位置推定実験

山田 寿夫<sup>†</sup> 中塚 正之<sup>†</sup> 甲藤 二郎<sup>†</sup>

早稲田大学理工学研究科<sup>†</sup>

## 1. はじめに

近年、センサーノードを移動させる無線モバイルセンサーネットワークの試みが盛んに検討されている。本稿では特にその位置推定の問題に着目し、プラットフォームとして市販のセンサーノードと移動ロボットを利用し、位置推定アルゴリズムとして SLAM (Simultaneous localization and mapping) を使用した屋内外の特性評価実験結果について報告する。

## 2. 既存の位置推定手法と課題

### 2.1. 既存の位置推定手法

受動的な位置情報推定手法として、大きく分けて以下の二つの手法がある。

- Range-based 方式
- Range-free 方式

GPS に利用されている TOA や AOA, TDOA などの手法に代表される Range-based 方式は、超音波や磁気などの特殊な情報を利用し、ターゲットまでの距離を推定する手法で、特殊な情報を取得する為のコストがかかるが、少ない位置の既知なビーコンセンサー端末で実現することができる。

一方、Centroid, DV-HOP, APIT などの手法に代表される、Range-free 方式は、特殊なハードウェアを必要としない反面、多数のビーコン端末を必要とする。

### 2.2. 課題

これらの位置推定手法は、位置評価を頻繁に更新することにより、移動対応させることは可能ではあるが、位置推定対象の可動性を考慮した十分な設計が行なわれているとは言い難い。また、特別な専用設備が必要であり、多くのコストや労力が必要であるため、個人ユースでの利用は困難であることが課題として挙げられる。

## 3. 提案システム

### 3.1. 提案システム

提案システムは、位置の既知なビーコン端末を必要とせず、自動または遠隔操作可能な廉価ホー

ムロボットのみで構築可能なシステムであり、対象となるセンサーは簡易な通信機構があればよいものとなっている。移動ロボットが、自動または遠隔操作で移動し、能動的に対象となるセンサーの位置を推定し、それらをデータベースに管理しておくことで、位置の変わらない静的な物体から、人や動物など、動的に位置が変化するものまで、その存在の有無や数量、実際の位置までを把握することができる。

### 3.2. 位置推定アルゴリズム

ロボット用途に開発された SLAM は、もともとロボットの可動性(自律走行性)を想定し、自身の位置推定と地図作成を同時に実現する。SLAM では、センサーを用いて周囲の環境を把握しつつ、そのセンサーデータをもとに自身の位置を推定・修正する。この SLAM において必要な情報は、移動ロボットの運動モデルと、センサーから得られる観測モデルである。今回、その観測値として受信電波強度 (RSSI 値) を採用した。本稿では、EKF-SLAM (Extending the Kalman Filter for SLAM) [1] と FastSLAM (A Factored Solution to the SLAM) [2] の二つの手法を用いる。

EKF-SLAM は、最も初期の SLAM アルゴリズムであり、最尤法を用いて拡張カルマンフィルタ (EKF) を SLAM に適用したものである。ランドマークが十分に一意識別可能な場合、そのアルゴリズムは良く機能する。しかし、ランドマークが簡単に識別できなければならないことと、フィルタの更新における計算の複雑性が大きいことが欠点として挙げられる。

FastSLAM では、ロボットの軌跡の推定にパーティクルフィルタが用いられ、ランドマークの位置を EKF で推定する。計算量は、ランドマークの数に対して、対数時間で演算可能であり、地図の大きさ、パーティクルの数に比例して増加する。また、非線形なロボットの動作モデルに対応しており、ロボットの位置の不確かさが大きいときに有効となる。

## 4. 実験

### 4.1. 実験環境とシナリオ

実験では、屋内と屋外において、Mote (MICAz) を固定センサーノードとして使用し、LEGO

Localization Experiments using SLAM in Wireless Sensor Networks

<sup>†</sup>Toshio Yamada <sup>†</sup>Masayuki Nakatsuka <sup>†</sup>Jiro Katto

<sup>†</sup>Graduate school of Science & Engineering, Waseda University

Mindstorms NXT に、Mote と接続した Stargate と GPS を載せた移動ロボットを移動センサーノードとして用いた(図 1 参照)。表 1 に各種製品仕様を示す。また、実装実験を行ったシナリオを図 2 に示す。シナリオ 1(図 2 左)は受信電波強度が極端に強弱ある場合、シナリオ 2(図 2 右)は均等に強弱ある場合となっている。図 2 における括弧内数値は屋内実験環境を示す。

表 1. 各種製品仕様

製品	MICAz Mote	Stargate	Mindstorms NXT
プロセッサ	8bit 7.37MHz ATMega128L	32bit, 400MHz Intel PXA255 XScale	32bit ARM7
メモリ	128kB / 4kB SRAM	32MB Flash / 64MB SDRAM	256KByte Flash / 64KByte RAM
通信	802.15.4 (ZigBee 2.4GHz)	802.11b(無線 LAN)	Bluetooth V2.0

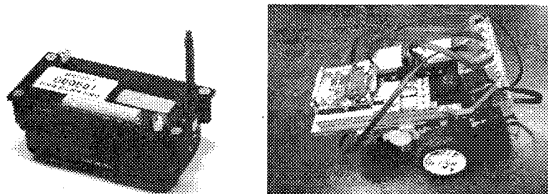


図 1. 固定ノード(左)と移動ノード(右)

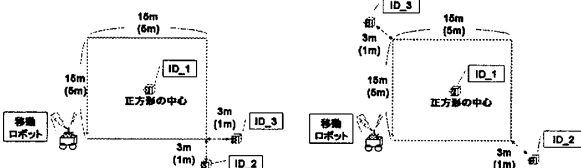


図 2. シナリオ 1(左)とシナリオ 2(右)

#### 4.2. 運動モデル

遠隔操作により移動制御された移動センサーノードは、両車輪(ローテーションセンサー)の回転角とジャイロセンサーの角速度を Bluetooth で PC に送信する。ローテーションセンサーとジャイロセンサーの値は自己の方向を決定する。また、ローテーションセンサーの値は自己の移動速度も決定する。

#### 4.3. 観測モデル

移動センサーノードは近隣の固定センサーノードからの packet (RSSI 算出用) を収集しながら歩き、それらの packet を Stargate に送り、Stargate は無線 LAN で PC に送信する。そして、それらを受信した PC が、RSSI をノードごとの RSSI 値に算出し、ノード間距離の平均値に換算する。

#### 4.4. SLAM

各シナリオにおいて上述の運動モデルと観測モデルを用いて SLAM を実装した結果を図 3~6 に示す。図 3, 4 は屋外, 図 5, 6 は屋内に対応する。

- ・ 屋外の実験結果

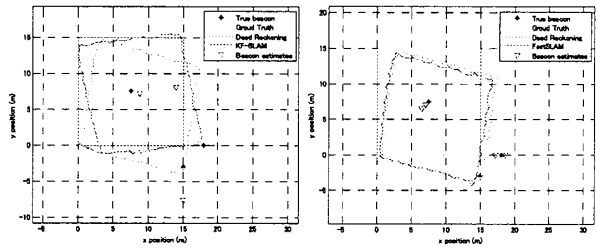


図 3. シナリオ 1: EKF-SLAM(左)と FastSLAM(右)

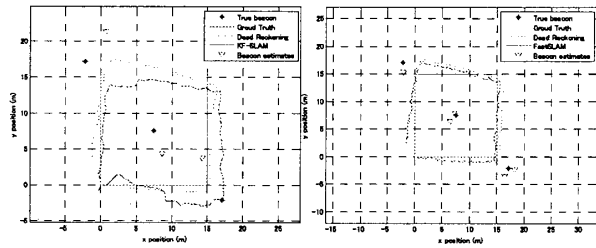


図 4. シナリオ 2: EKF-SLAM(左)と FastSLAM(右)

- ・ 屋内の実験結果

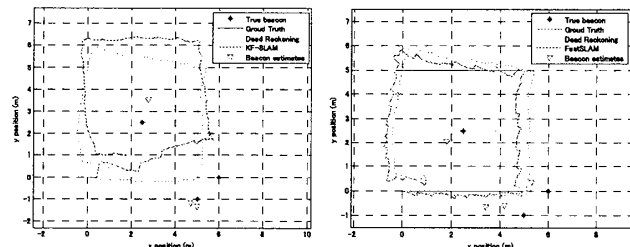


図 5. シナリオ 1: EKF-SLAM(左)と FastSLAM(右)

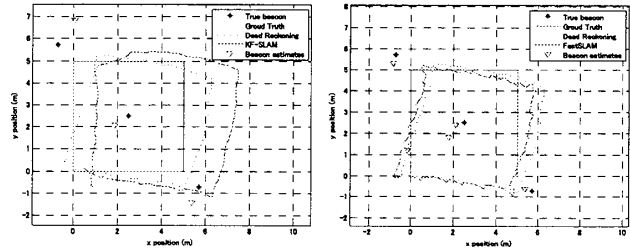


図 6. シナリオ 2: EKF-SLAM(左)と FastSLAM(右)

#### 5. まとめ

本研究は、個人での利用を想定した、遠隔操作可能な廉価ホームロボットを用いた、位置情報推定実験を行った。移動ロボットが環境上を能動的にセンシングし、RSSI 観測値を取得することにより、位置の既知なビーコンセンサー端末の不要な、位置推定手法を実験的に検証した。また、屋内外の 2 つのシナリオにおいて、EKF-SLAM と FastSLAM の手法を用い、それぞれ検証を行った。

#### 参考文献

[1] Derek Kurth, "Range-Only Robot Localization and SLAM with Radio", Tech. Report CMU-RI-TR-04-29, CMU, May. 2004.  
 [2] Michael Montemerlo, "FastSLAM: A Factored Solution to the Simultaneous Localization and Mapping Problem With Unknown Data Association", Tech. Report CMU-RI-TR-03-28, CMU, Jul. 2003.