

レーザーレンジデータおよびデプスデータを用いたパーティクルフィルタによる3次元SLAM

木村 孝広[‡] 東原 智幸[†] 河端 悟[†] 田中 英俊[†] 渥美 雅保[†]

創価大学工学部情報システム工学科 創価大学大学院工学研究科情報システム工学専攻

1 はじめに

ロボットが未知の環境で自律的に移動し、サービスを提供するためには、自身の位置と周囲の環境を把握することが必要である。本研究では、LRF (Laser Range Finder) および Kinect[1] の2種類のセンサーを持つロボットが、未知の環境を探索しながら、自己位置と環境地図を同時推定するパーティクルフィルタに基づく3次元SLAM[2]の手法を提案し、レーザーレンジデータとデプスデータの統合による有用性を実験により確かめる。

2 システム構成

図1にシステムの構成図を示す。

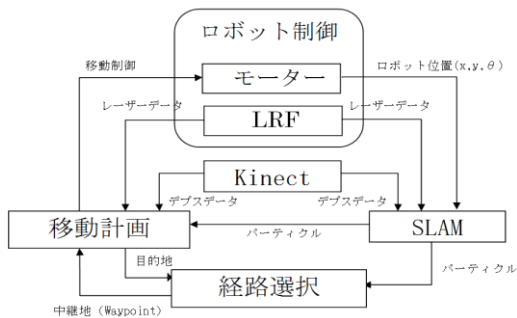


図1: システム構成図

SLAM コンポーネントでは、モーターからのロボット位置と LRF および Kinect からのセンサーデータから自己位置と地図の同時推定を行い、それらを SLAM パーティクルとして経路選択および移動計画へと出力する。移動計画コンポーネントでは、SLAM パーティクルと各種センサーからのセンサーデータを入力とし、目的地を経路選択へ、移動制御をロボット制御のモーターへとそれぞれ出力する。経路選択コンポーネントでは SLAM パーティクルと移動計画からの目的地を入力として、目的地までの中継地を移動計画へ出力する。

3 SLAM

3.1 概要

SLAM は大きく分けて動作モデル、計測モデル、地図作成、リサンプリングの4つの処理から構成される。まず、動作モデルによってロボット移動量から自己位置を更新する。次の計測モデルでは、更新した自己位置と地図情報から、レーザーデータの尤度計算を行う。地図作成では LRF および Kinect からのセンサーデータを用いて、3次元占有格子地図を生成する。最後にリサンプリングによって SLAM パーティクルの更新を行い、尤度の高いパーティク

ルを保持する。

3.2 動作モデル

動作モデルでは、オドメトリによって得られた推定位置からロボットの移動量を計算し、自己位置 (x, y, θ) の更新を行う。ここで (x, y) は初期位置を原点とした二次元座標、 θ は初期位置の方向からみた角度である。各パラメータには、移動量 mov の平方に応じた、式(1)で与えられる雑音を加える。

$$sample(mov^2) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{12} rand(-mov, mov) \quad (1)$$

(1)は標準正規分布に近似した分布となる。

3.3 計測モデル

計測モデルでは、自己位置と占有地図情報から、各センサーデータの尤度 w を計算する。 w は(2)式で与えられる。

$$w = \prod_k Z_{hit} p_{hit}(z_t^k | x_t, M) + Z_{short} p_{short}(z_t^k | x_t, M) + Z_{max} p_{max}(z_t^k | x_t, M) + Z_{rand} p_{rand}(z_t^k | x_t, M) \quad (2)$$

$p_s(z_t^k | x_t, M)$ は時刻 t における推定位置 x と地図 M のもとでのセンサーデータ k の計測確率を表す。計測確率の添字 s は誤差要因を表し、それぞれ計測雑音、移動体等による遮蔽、計測失敗、その他の誤差が生じる確率分布に基づいて計測確率を求めている。 Z_s は各誤差要因 s の生じる確率であり、使用するセンサーや環境に応じた値に設定する。

3.4 地図作成

LRF により得られる2次元地図および Kinect で作成する複数の高さの2次元地図を重ね合わせることで、3次元占有格子地図を生成する。各センサーデータに対応する格子 m を求め、 m には占有値として正の整数値を返す。 m とロボット間の直線上の格子には占有値として負の整数値を返す。占有値の合計が正の場合その格子は占有、負の場合は非占有とする。ただし、初期値は0とし、この格子は未探索状態とする。

4 センサー統合による移動計画

4.1 目的地設定による移動

自己位置からの距離が近い未探索領域を目的地として設定し、地図の占有状況から、目的地までの中継地リストを作成する。ロボットは左手側と右手側を状況に応じて切り替えて障害物回避をしながら移動し、中継地を経由しながら目的地へと向かう。

4.2 デプスデータ取得のための移動

Kinect はロボット前方0.85m以内が計測範囲外であるので、前方0.85m以内が Kinect で未探索の場合、後退可能であれば、その場で後退することでその領域のデプスデータを取得する。後退が可能かどうかの判断は、LRF で作成する2次元地図の占有状態を見て判定する。また、ロボットの側面も

3DSLAM based on a Particle Filter using Laser Range Data and Depth Data.

[‡]Takahiro Kimura @ Department of Information Systems Engineering, Faculty of Engineering, Soka University.

[†]Tomoyuki Higashihara, Satoru Kawabata, Hidetoshi Tanaka, Masayasu Atsumi @ Information Systems Science major, Graduate School of Engineering, Soka University.

Kinect では計測範囲外なので、側面方向のレーザーレンジデータの時間変化率からロボットの側面領域が変化の大きい空間構成の環境であるか判断し、その空間が Kinect で未探索であれば側面方向へその場で回転し、側面領域のデプスデータを取得する。

5 実験

5.1 実験環境

実験環境は、縦×横がおよそ 6 m × 8 m の部屋で、その中央付近に 3 次元 SLAM を行うロボットを配置する。LRF の取り付けの高さは床面から 0.48m とし、Kinect の取り付けの高さは床面から 0.925m とする。図 2 に床面からの高さが 0.5m と 1.3m の高さでの実験環境を示す。

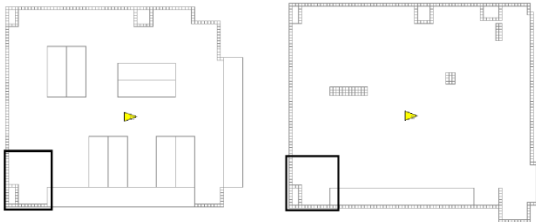


図 2: 実験環境 (床面からの高さ-左:0.5m/右:1.3m)

ただし、左下の黒四角で囲んだ領域は実験の作業領域として用い、動的に変化する環境であるため、この領域は本実験の評価には使用しない。

5.2 センサー統合による有用性の評価実験

左手側と右手側の切り替えのみの移動方法 A と、今回提案する移動方法 B の二つで 5 分間 SLAM を行い、地図作成時間と精度比較を行う。作成した地図の一部を図 3～図 5 に示す。各図の左側が移動方法 A、右側が移動方法 B による地図である。

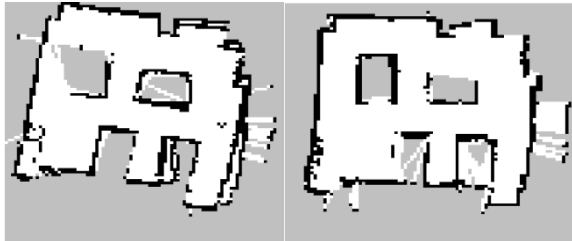


図 3: 床面からの高さが 0.48m の LRF による地図 (左:A,右:B)



図 4: 床面からの高さが 0.5m の地図 (左:A,右:B)

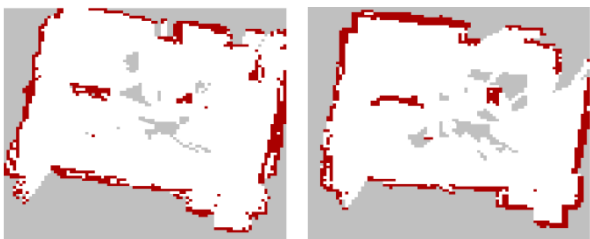


図 5: 床面からの高さが 1.3m の地図 (左:A,右:B)

図 3、図 4 の移動方法 A の地図は、左上の未探索領域が移動方法 B に比べて多くみられ、通路の一部が未完成であることがわかる。したがって今回提案する移動方法 B の方が移動方法 A に比べ、探索時間が短いと考えられる。地図の精度については、移動方法 A の地図には右半分には多少の歪みが発生し、壁が二重になっているように見える部分が見られ、移動方法 B の地図にはそのような大きな歪みはみられず、移動方法 B の方が精度は良いといえる。移動方法 A は左手側と右手側の切り替えのみによる移動であり、回転速度の変化が移動方法 B に比べて大きい。そのため移動量誤差が生じやすく、自己位置推定が困難になり、歪みが生じたと考えられる。

5.3 側面領域確認の評価実験

今回提案する移動方法 B のうち、変化の大きい側面領域の確認は行わないという移動方法 C で SLAM を行い、地図作成効率を比較する。結果は地図作成時間に大きな違いはみられなかったが、地図作成の過程に違いが見られた。図 6 に移動方法 B が側面領域の確認を行っている時刻における床面からの高さが 1.3m の地図の様子を示す。

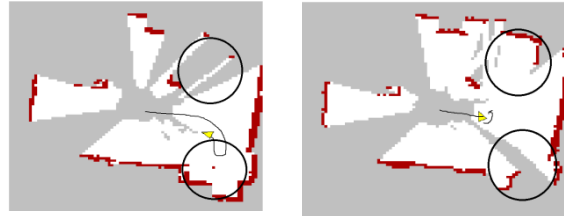


図 6: B が側面領域確認をはじめたときの地図の様子(左:C,右:B)

移動方法 C は目的地の経路にしたがって、目的地であった図 6 の右下の領域の探索を済ませ、次の目的地である左側の領域の探索に向かっている。一方移動方法 B は、同様に右下の領域の探索に向かっていたが、ロボット左手側領域が変化の大きい空間構成の環境であると判断し、側面領域確認のため、図の上方向の探索をおこなっている。このため、同時刻での地図の出来具合が円で囲った部分で大きく異なる。

6 むすび

本論ではレーザーレンジデータとデプスデータの統合により、3 次元 SLAM における地図作成を効率化するシステムを提案し、その評価実験を行った。センサー統合による有用性の評価実験では、左手側と右手側のみの移動による SLAM に比べ、センサー統合による移動計画に基づいた SLAM の方が、地図作成にかかる時間は短かった。したがってセンサー統合により地図作成の探索効率は上がったといえる。側面領域確認の評価実験では、側面領域確認の有無によって、地図の作成過程に違いはあったが、地図作成にかかる時間に変化はほとんどなかった。これは見通しの良い環境であり、側面領域確認を行う回数が少ないからであると考えられる。障害物の多いような、見通しの悪い環境であれば、側面領域確認の回数が増え、探索効率に違いがあらわれるのではないかと予想されるので、そういった実験環境での比較が、今後の課題として挙げられる。

参考文献

- [1] MicroSoft :Kinect SDK Documetation & API Resources | Kinect for Windows (<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/resources/>)
- [2] Thvun,S.,Burgd,W.,Fox,D. : Probabilistic Robotics, The MIT Press, 2005.