

RGB-D センサと 3 次元地図を用いた XOR ボックスセルマッチングによる位置同定

鄭 龍振 (九大) ○ 大石 修士 (九大) 正 倉爪 亮 (九大) 正 長谷川 勉 (九大)

Global localization by XOR voxel matching using RGB-D sensor and 3D map

Yongjin JEONG, Kyushu University
Shuji OISHI, Kyushu University, oishi@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp
Ryo KURAZUME, Kyushu University
Tsutomu HASEGAWA, Kyushu University

We proposed a global positioning technique in 3D environment using 3D geometrical map and a RGB-D sensor based on a XOR voxel matching. Firstly, a 3D geometrical map represented by occupancy grids is converted to ND (Normal Distributions) voxels. Then representative planes in the ND voxels are extracted. Meanwhile, for a captured 3D image by a RGB-D camera, ND voxels are also created from the 3D image and seven representative points (sigma and center points) are defined in each ND voxel. For global localization, point-plane correspondence and XOR-type voxel matching (or occupancy grid-map matching) are tested and optimum global position is determined using a particle filter. Experimental results show that the proposed technique is robust for the similarity in a 3D map and converges faster than a standard AND-type voxel matching.

Key Words: 3D global localization, 3D environmental map, Kinect, Occupancy grid, Particle filter

1 はじめに

本稿では、事前にレーザ計測により得られた大規模な 3 次元環境地図 [1] を用いた、RGB-D カメラを搭載したロボットによる大域位置同定手法を提案する。本手法では、まず点群データで表された 3 次元環境地図に NDT (Normal Distributions Transformation) [3] を適用し、点の分布を 3 次元正規分布で表現した ND ボクセルを生成する。次に各ボクセルで代表面を抽出し、これを地図データとして登録する。また位置同定時には、RGB-D カメラに得られる点群から同様に ND ボクセルを生成し、各ボクセルで代表的な 7 点 (シグマ点と中心) を抽出して、これを計測データとする。その後、点 - 平面对応やボクセルの XOR 計算により地図データと計測データの一致度を計算し、パーティクルフィルタによりロボットの位置を同定する。本稿では、70 × 35m の屋内環境に対し、Kinect を用いた位置同定実験の結果を示す。

2 提案手法

2.1 地図データ

地図データには、CPS-SLAM システム [1] によりあらかじめ構築された大規模な 3 次元環境地図を用いる。ただし、この環境地図は大量の点群データからなっており、計算量

NDT (Normal Distributions Transformation)

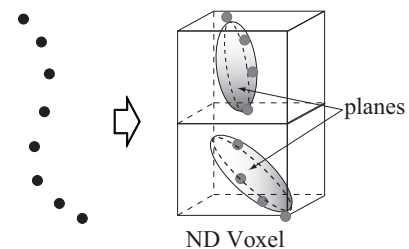


Fig.1 NDT の概念 [3]

削減のために、事前に図 1 に表す ND ボクセル化を行い、分散値が最も小さい方向を法線方向とする代表面を抽出しておく。得られた ND ボクセルおよび代表面を図 2 に示す。今回使用した環境地図はおよそ 4 千万点の点データであり、一辺 800mm の ND ボクセルを用いた場合、およそ 5 万ボクセルであった。また図 3 に表すように法線を基に床面を抽出し、2 次元平面地図に変換しておくことでロボットの移動可能領域を識別する。

2.2 計測データ

図 4 に示すような、RGB-D センサ (Microsoft Kinect) を搭載した移動ロボットに対して位置同定を行う。RGB-D センサから一回で計測される 30 万点の 3 次元点群データの一例を図 5 に表す。

この点群データに対しても、同様に ND ボクセルを計算する。その後、得られた 3 次元正規分布に対して、各軸方

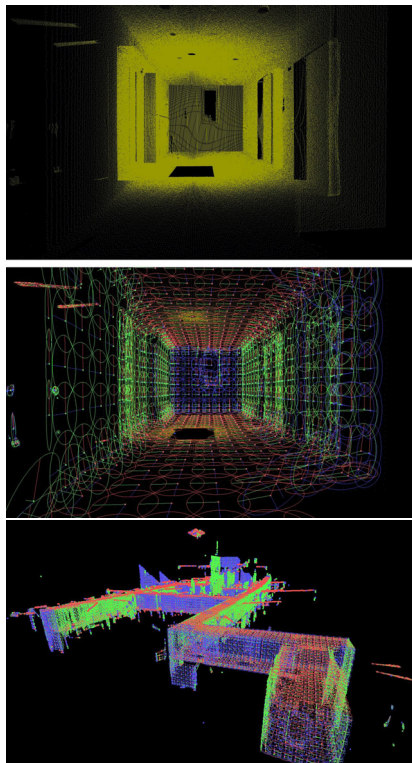


Fig.2 点群データ (上) と代表面検出結果 (中, 下)

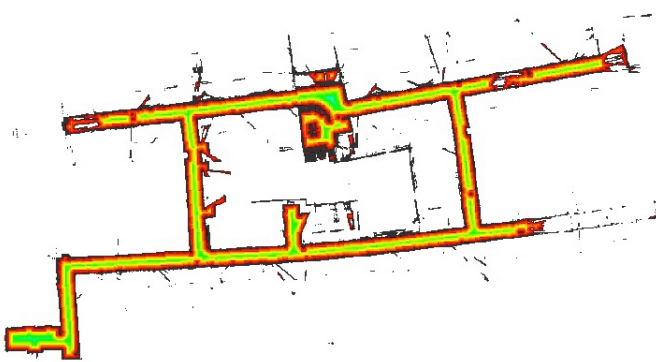


Fig.3 抽出された移動可能領域



Fig.4 RGB-D センサ (Kinect) を搭載した移動ロボット

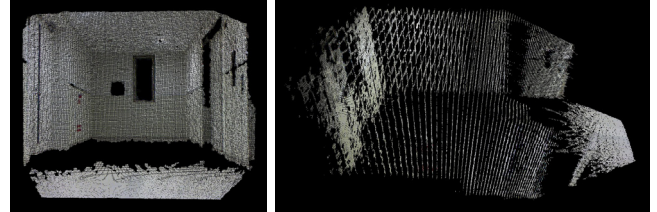


Fig.5 実際の環境 (上) と, Kinect から得られる点群データ (下)

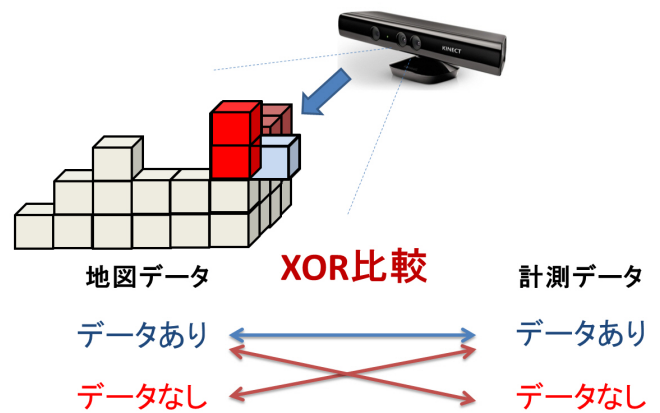


Fig.6 XOR を用いた一致度計算

向に距離 $\sqrt{-2 \log_e r}$ となる点から変換されたシグマ点を合計 6 つ抽出し, 正規分布の中心点と合わせて 7 つの点を計測データとする. ただしここでは $r = 0.5$ とした. また地図データと同様に代表面も求めておく.

2.3 XOR ボクセルマッチング

ボクセル化された地図データと計測データを比較しロボットの位置姿勢を同定する. 一般には, 計測データを位置姿勢候補で変換し, 地図データと重なる部分の AND を計算して両者の一致度を算出する [4]. しかし一致度の計算には, 両者が矛盾している情報も用いることができ, 本研究ではこれをボクセルの XOR (図 6) により求める.

2.4 パーティクルフィルタを用いた大域位置同定

上述した地図データ, 計測データ, および XOR ボクセルマッチングを用い, パーティクルフィルタにより大域位置同定を行う. 各パーティクルはそれぞれ位置姿勢候補を保持

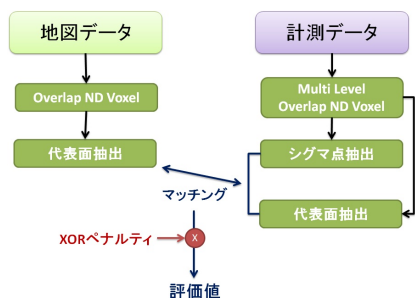


Fig.7 尤度計算手法

し、図7のように尤度計算を行う。

まず計測データを位置姿勢候補で座標変換し、地図データである各ボクセルの代表面と計測データである7つの代表点の距離、および平面法線の角度差を計算する。その後、XOR ボクセルマッチングによるペナルティ項を掛けて、最終的な尤度とする。

なお、必要なパーティクル数は、KLD サンプリング法 [5] により収束状況に応じて適応的に変更した。

3 位置推定実験

図4のロボットを用い、図3に表す70×35mの屋内廊下環境において、ロボットが移動しながら距離データを計測し、大域位置推定、および時系列距離データを用いた位置同定実験を行った。

まず比較のために、オドメトリのみを用いて距離データを重ね合わせた結果を図8に表す。ただしここでは80回分の計測データを用いた。これより、オドメトリのみでは次第に計測データがずれていくことがわかる。



Fig.8 オドメトリにより統合された80回分の時系列計測データ

次に、パーティクルフィルタにより、初期位置が未知の状態での位置推定を行った。初期パーティクルの数はおよそ70,000であり、各パーティクルは位置 (x, y, z) と方向 (θ) の4つの情報を有する。

実験では、まずロボットが静止した状態でKinectにより距離データを取得し、パーティクルを更新して初期位置を推定した。その後、時系列距離データを用いて移動しながら

位置を同定した。ただし、初期位置では4回、それぞれの時系列距離データでは1回、パーティクルを更新した。パーティクルの収束様子を図9に表す。

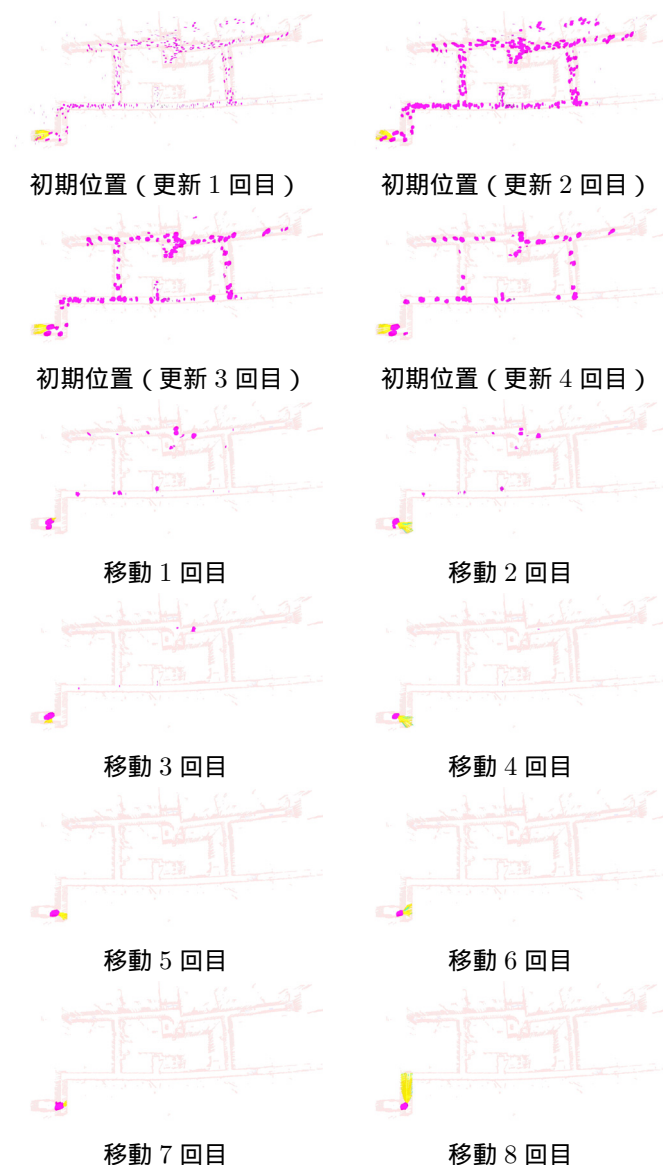


Fig.9 パーティクルの収束の様子 (ND ボクセル、および XOR による尤度計算)

次に比較のために、XOR ボクセルマッチングやND ボクセルを用いず、単純なボクセルのAND計算により尤度計算を行った結果を図10に示す。なお、AND計算では、初期位置で静止してパーティクルの更新を繰り返しても、正しい位置が推定されなかったため、図9と異なりすぐに移動を開始している。

また、両手法のパーティクル数の変化の様子を図11に表す。このように、提案手法は単純なAND計算に比べて収束が早いことがわかる。

最後に、提案手法により推定されたロボットの移動軌跡を

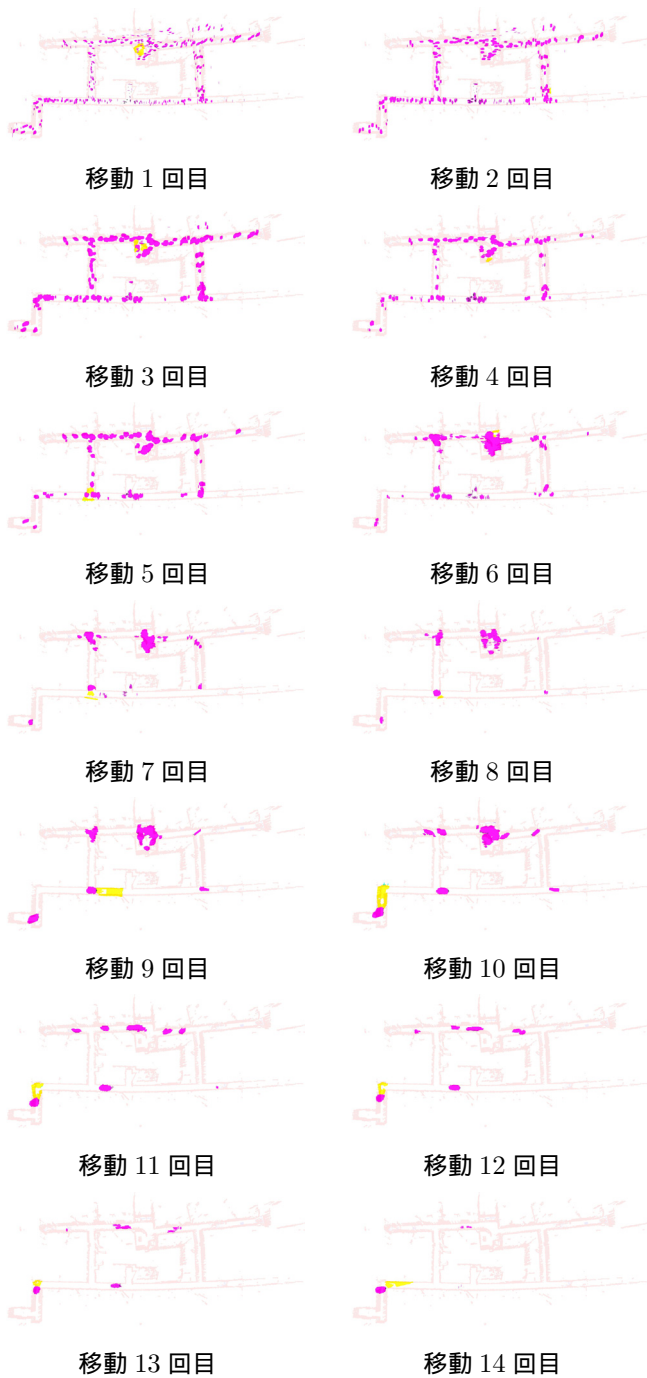


Fig.10 パーティクルの収束の様子 (AND による尤度計算)

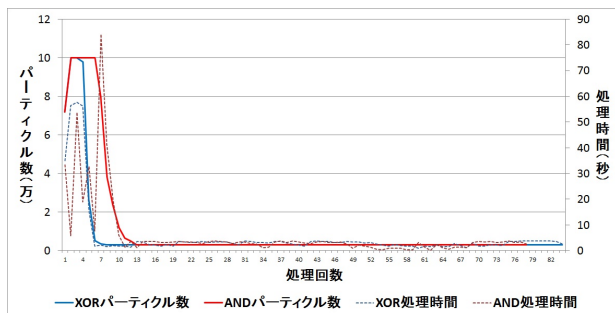


Fig.11 パーティクル数と処理時間

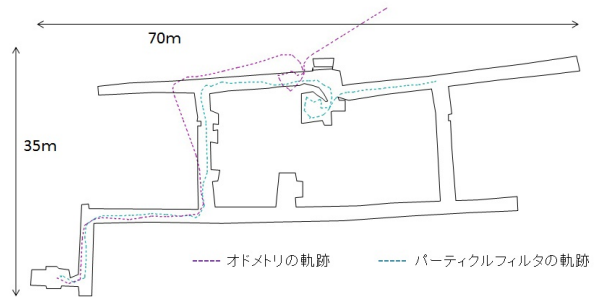


Fig.12 推定された移動軌跡

図 12 に表す . このようにロボットの位置が正確に推定されていることがわかる .

4 結論

本稿では, 事前にレーザ計測により得られた大規模な 3 次元環境地図を用いた, RGB-D カメラを搭載したロボットによる大域位置同定手法を提案した. 本手法は, 点群で表された環境地図や計測データの ND ボクセル, 2 次元平面地図への変換, 代表面, 代表点の抽出, XOR ボクセルマッチング等により, パーティクルフィルタにより移動ロボットの大域自己位置同定を実現するものである. 今後は, ND ボクセルと代表点情報を用いた, より高精度な位置同定手法を開発する予定である.

謝辞 本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (B) (課題番号 23360115) の支援を受けた .

文献

- [1] 倉爪 亮, 戸畑 享大, 村上 剛司, 長谷川 勉, CPS-SLAM の研究-大規模建造物の高精度 3 次元幾何形状レーザ計測システム, 日本ロボット学会誌, vol.25, no.8, pp.1234-1242, 2007.
- [2] 広瀬 茂男, 倉爪 亮, 長田 茂美, 群ロボットによる協調ポジショニング法, 日本ロボット学会誌, vol.13, no.6, pp.838-845, 1995.
- [3] Peter Biber and Wolfgang Straber, The Normal Distributions Transform: A New Approach to Laser Scan Matching Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2743-2748, 2003.
- [4] Clark F. Olson, Probabilistic Self-Localization for Mobile Robots, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol.16, No.1, pp.55-66, 2000.
- [5] Dieter Fox, Adapting the sample size in particle filters through KLD-sampling, International Journal of Robotics Research, 2003.