

知能化空間における分散配置センサと移動ロボットの協調 SLAM システム

○橋川史崇(明治大学) 森岡一幸(明治大学) 安藤慶昭(産業技術総合研究所)

1. はじめに

ロボット制御において自己位置推定と環境地図生成を同時に行う SLAM[1]と呼ばれる手法がある。しかし長距離走行等による推定誤差を避けることは難しい。特に周回する経路では同一経路が一致せずに歪んだ地図を生成してしまうことがある [2][3]。

一方、近年では環境中にネットワーク化されたセンサ等を配置し、人間やロボットの位置測定などの環境認識を行う知能化空間[4]が提案されている。知能化空間では空間認識の為に分散配置したセンサの位置を統合した座標系上で知る必要がある。しかし分散センサが大量かつ広域に分散する場合、全センサの位置推定は煩雑である。

本研究では上記の移動ロボットの SLAM と知能化空間の問題点を効率良く解消するために双方のシステムを相互作用させることを考える。

2. 協調 SLAM

2.1 概要

本研究では1節で記述した SLAM と知能化空間の問題点を補完する為に双方のセンサデータおよび推定結果などの情報を共有することを考える。移動ロボットにはレーザー測域センサを1台搭載している。知能化空間には分散センサとしてレーザー測域センサを複数台設置する。レーザー測域センサから取得される情報は周辺物体までの距離データである。双方が距離データを基に生成した環境地図を共有し、それらをマッチングすることで、類似した形状の地図を探索する。これにより知能化空間に分散設置されたセンサが世界座標系上のどの位置に存在するのかを知ることができる。また移動ロボット側でも位置推定された分散センサの地図と推定した地図を比較することで、より正確な推定が可能になる。

2.2 システム構成

本研究のシステムは移動ロボットの SLAM による地図生成と知能化空間における各センサの処理が独立して動作している。移動ロボットが分散センサの計測領域内を走行したときに双方の地図情報の共有が行われる。

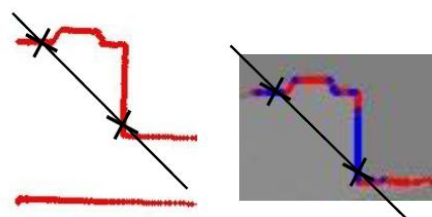
SLAM には FastSLAM[1]を用いる。FastSLAM はパーティクルフィルタを用いた SLAM である。パーティクル毎に自己位置と地図を保持し状態の推定を行う。地図として、移動物体の侵入のような環境変化に頑健な占有格子地図[1]を用いる。

分散センサでも移動ロボットの SLAM と同様に

占有格子地図を用いて、センサの周辺領域の地図を生成する。分散センサの位置推定にも、同様にパーティクルフィルタを用いる。このパーティクルフィルタでは地図共有により尤度算出を行う。尤度は移動ロボットの距離データと分散センサの地図のマッチングの度合いとする。これにより分散センサの位置を推定する。マッチングの詳細は次節に示すが、このマッチングの度合いをロボット側の FastSLAM のパーティクルの尤度計算にも加算する。

2.3 双方向地図マッチング

移動ロボットから計測した距離データと分散センサの地図情報のマッチングについて述べる。分散センサが推定している世界座標上の自分自身の位置姿勢に基づき生成された地図と、移動ロボットが推定している自己位置から得られた距離データをマッチングすることになるため、特に初期状態では位置姿勢が大きくずれることが多く、単純な位置の重なりだけでは尤度評価はできない。そこで、分散センサの位置推定の為に直線の傾きを用いたパーティクルの尤度付けを考える。まず分散センサの格子地図で占有確率が最大の格子を2点選択する。その2点の座標に最も近い移動ロボットの距離データ2点を最小2乗法により求める。分散センサ側と移動ロボット側で求めた各2点の座標からそれぞれ直線の式を求める。その傾きの差をパーティクルの尤度とする。この処理を全パーティクルに対して行う。尤度の最も高い(傾き差が小さい)パーティクルをその時刻の分散センサの位置姿勢とする。図1に直線の傾き算出の一例を示す。



移動ロボットの距離データ 分散センサの格子地図

図1 2点間の傾き比較による尤度算出

図2は移動ロボットとある分散センサでの双方向での地図のマッチング時の移動ロボットの距離データと分散センサの地図の様子である。赤点が移動ロボットの距離データ、青点が分散センサの地図との一致点であり、マッチング開始時からの時系列的な変化を示している。上記の尤度評価による位置推定を重ねる毎に一致点数が増加していく様子が見える。結果として分散センサの推定位置が適切な値に更新される。

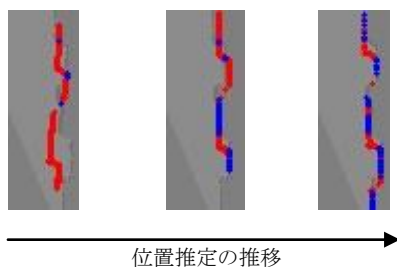


図2 地図のマッチングの様子

3. 実験

分散測域センサの位置姿勢情報として任意の値（表1:Initial Value）を与え、提案するシステムによる移動ロボットの自己位置推定と地図生成、分散センサの位置姿勢推定を行なった。実験環境は学内の校舎1フロア（1周約100m）を走行経路とした。分散センサは図4の×印の位置に設置した（LRF No.0～3）。図3は移動ロボットの単純なFastSLAMにより生成された地図である。移動ロボットは左上から時計回りに1周走行した。図4は4台の分散センサが生成した地図との情報共有により生成された地図である。

今回の実験ではロボットと分散センサのパーティクル数を50個ずつ、占有格子地図の格子サイズは50mm×50mmとした。また、移動ロボットにはPioneer3-DX、搭載した測域センサにはUTM30-LX、分散測域センサにはURG04-LXを使用した。

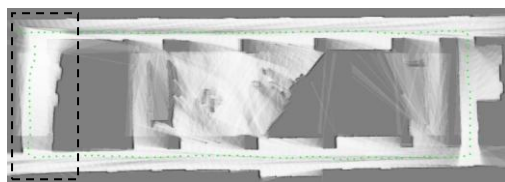


図3 実験結果 (FastSLAM)

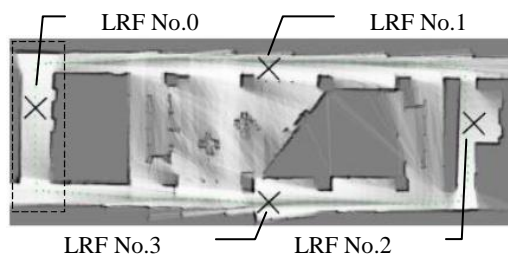


図4 実験結果 (地図共有 SLAM)

図3の点線で括られた部分は計測開始時と終了時で同一経路の推定に誤差を生じているが、図4の点線で括られた部分は分散センサとの地図共有が有効に働き、両者が一致している。地図共有によりFastSLAMで生成した地図と分散センサの地図の双方に合うパーティクルが選択された為である。表1は分散センサの位置推定の結果であり、各センサの計測値、初期値、推定値を示す。計測値は推定値を評

価する為に手動で計測した実環境での位置であるが、特に世界座標に対する姿勢については、正確に測定することは困難であったため、あくまでも参考値である。LRF No.3を除いて、分散センサも推定値が初期値から計測値に近づく様子が確認できた。

表1 分散センサの位置推定

LRF No.0	x [mm]	y [mm]	θ [度]
Measured Value	-210	-3490	0
Initial Value	0	-4000	0
Estimated Value	268.47	-3479.47	-0.61
LRF No.1	x [mm]	y [mm]	θ [度]
Measured Value	16290	10	0
Initial Value	15000	0	0
Estimated Value	16408.86	-224.21	-2.05
LRF No.2	x [mm]	y [mm]	θ [度]
Measured Value	32865	-4990	0
Initial Value	35000	-5000	0
Estimated Value	33279.47	-5109.58	0.51
LRF No.3	x [mm]	y [mm]	θ [度]
Measured Value	16290	-9990	0
Initial Value	15000	-10000	0
Estimated Value	13813.53	-9487.64	0.96

4. まとめ

本研究では、移動ロボットのSLAMにおいて、センサデータと知能化空間で推定した地図を共有し双方向的なマッチングと尤度評価をすることで、地図生成の精度を向上させることができた。さらに、移動ロボットを分散センサの位置情報の校正に利用できる可能性についても述べた。今後は、組込みコンピュータを用いた小型分散配置センサを構成し、知能化空間の構築をより容易にすることを考えている。

参考文献

- [1] Sebastian Thrun, and et al., "Probabilistic Robotics", MIT Press, pp.1-483, 2007
- [2] F.Lu and E.Milios., "Robot Pose Estimation in Unknown Environments by matching 2D Range Scans", Journal of Intelligent and Robotic Systems, Vol.18, pp.249-275, 1997
- [3] Cyrill Stachniss, Dirk Hahnel, Wolfram Burgard, "Exploration with Active Loop-Closing for FastSLAM", pp. 1-6, 2004
- [4] Kazuyuki Morioka, and et al., "Human-following mobile robot in a distributed intelligent sensor network", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.51, No.1, pp.229-237, 2004