

レーザレンジファインダを搭載した移動ロボットによる自己位置推定と地図生成

中本 琢実[†] 山下 淳[†] 金子 透[†]

[†] 静岡大学工学部 〒432-8561 静岡県浜松市城北 3-5-1

E-mail: [†] {f0530055, tayamas, tmtkane}@ipc.shizuoka.ac.jp

あらまし 本研究では、レーザレンジファインダを搭載した移動ロボットによる地図生成及び自己位置推定の手法を提案する。地図生成は、複数の位置から周囲環境を計測し、その計測データを統合することによって行う。統合には、デッドレコニングと ICP アルゴリズムを併用する手法を用いる。また、既知の地図上における移動ロボットの現在位置を推定する手法についても述べる。移動ロボットを用いた実験結果より、本手法の有効性を示す。

キーワード 自己位置推定, 地図生成, レーザレンジファインダ, ICP アルゴリズム, SLAM

1. 序論

一般に、自律移動ロボットが自ら考えて行動するためには、障害物の位置情報などを記した地図などが必要となる。しかし、周囲環境の地図は必ずしも存在するとは限らない。また、実際にロボットが地図を用いて行動するとき、地図上での現在位置がわからなければ、ロボットは行動を開始することができない。この場合、ロボットの初期位置の情報無しで、現在位置を推定しなければならない。

そこで本研究では、移動ロボットが自ら環境地図を生成する手法、及び地図上でのロボットの現在位置を推定する手法を提案する。

2. 地図生成

2.1. 前提条件

本研究で用いるレーザレンジファインダ (LRF) (Fig.1) は、平面をスキャンすることができる。そして、LRF を搭載した移動ロボット (Fig.2) によって、現場を複数の位置から計測し、各計測データを1つに統合することで地図生成を行う。なお、移動ロボットは平面上を移動するものとする。



Fig.1 レーザレンジファインダ Fig.2 移動ロボット

2.2. 計測データの統合

LRF で計測したデータを統合するためには、各計測データの位置関係を推定する必要がある。移動ロボットはデッドレコニングを用いることで自己位置推定が可能であるが、推定した位置関係には誤差が生じる。そこで正確な統合には、各計測データの位置合わせを

行う必要がある。位置合わせには様々な方法が提案されている (例えば[1]) が、今回は計測データから直接位置合わせする手法の1つである ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズム [2] に基づいた方法を用いる。

ICP アルゴリズムは、反復計算により対応点間の誤差を最小化するような移動パラメータを求めるものである。具体的には、まず2つの点群 M, S があるとき、点群 S 中の各点 s_i ($1 \leq i \leq N$) について、点群 M 中で最も近い点 m_j ($1 \leq j \leq N$) を対応点とする (Fig.3)。そして、式(1)で表される各対応点間の距離の2乗和 E_1 が最小となる移動パラメータ (R, t) を求める。ここで、 R は 2×2 の回転行列で、 t は並進移動ベクトルである。

$$E_1(R, t) = \sum \|m_j - (Rs_i + t)\|^2 \quad (1)$$

しかし、計測データ間が離れすぎていると、点と点が正しく対応しない場合がある (Fig.3)。このような場合、誤差が修正できない。

そこで本研究では、点と点を対応させるのではなく、点と直線に対応させることにより位置合わせを行う (Fig.4)。すなわち、点群 S 中の各点 s_i ($1 \leq i \leq N$) について、点群 M 中で最も近い2点 m_j, m_k ($1 \leq j \leq N, 1 \leq k \leq N$) を求め、その2点からなる直線に対応点の代わりとする。そして、式(2)で表される各点と直線間の距離の2乗和 E_2 が最小となる移動パラメータ (R, t) を求める。ただし、 m_{\perp} は m に直交し大きさが $|m|$ であるベクトルを表す。

$$E_2(R, t) = \sum \frac{|(Rs_i + t)(m_k - m_j)_{\perp} + m_k m_{j\perp}|^2}{\|m_k - m_j\|^2} \quad (2)$$

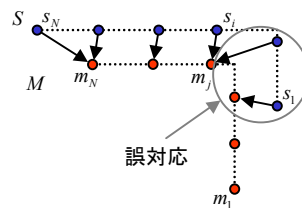


Fig.3 ICP アルゴリズム

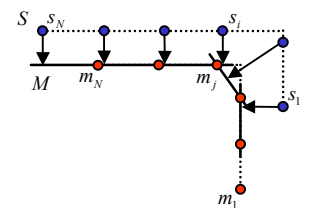


Fig.4 点と直線の対応

3. 自己位置推定

実際に地図を用いるときには、ロボットの初期位置を与えずに現在位置を推定する必要がある。本研究では、既知の地図上において、その場で計測したデータと類似する位置(現在位置候補)を全探索することで、自己位置推定を行う。そこで、現在位置候補とみなす条件を説明する。

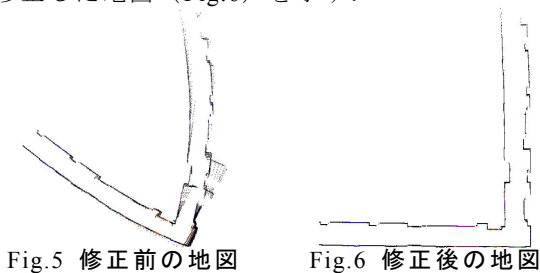
まず、その場で計測したデータを点群 S 、既知の地図を無数の点の集合とみなし点群 M とおく。点群 S 中の各点 s_d ($1 \leq d \leq N$) について、点群 M 中で最も近い点 m_l ($1 \leq l \leq N$) を対応点とする。そしてその対応点群のうち、対応点間の距離 $|s_d - m_l|$ がある一定値以下の個数を数え、その個数がある閾値以上になったときの位置を、地図上での現在位置候補とする。現在位置候補が複数存在するときは、現在位置から移動して計測を行い、その計測データを用いて同じ処理を行い、移動後の現在位置候補を計算する。そして、移動前後の現在位置候補の位置関係から現在位置を絞っていき、最終的に現在位置候補が 1 つになるまで処理を繰り返す。

4. 実験

4.1. 地図生成

LRF は、計測範囲前方 180° 、分解能 0.5° の設定で行った。また、大学構内の L 字の廊下を移動と計測を繰り返し行うことにより計 27ヶ所のデータを取得し、データ間の位置合わせを行った。

全ての計測データをデッドレコニングのみを用いて統合した地図 (Fig.5) と、ICP アルゴリズムに基づいて修正した地図 (Fig.6) を示す。

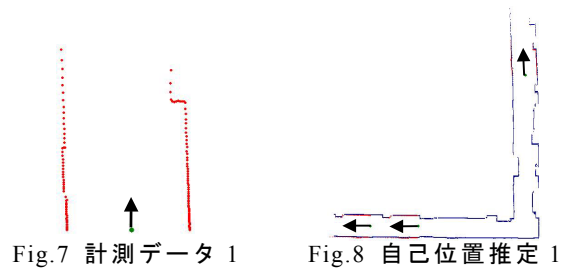


デッドレコニングのみで生成した地図は歪んだものになっているが、ICP アルゴリズムによって修正した地図は、より正しい地図となっている。

4.2. 自己位置推定

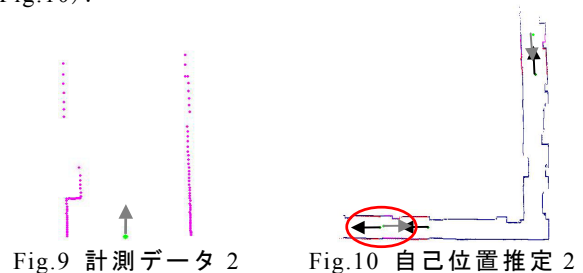
4.1 節で作成した地図上のある位置にロボットをおいて、その位置を推定した。

まず、その場で計測したデータ (Fig.7) と、自己位置推定を行った結果 (Fig.8) を示す。なお、矢印の向きはロボットの向きを表す。



結果を見ると、現在位置候補が複数あり、このままでは現在位置がわからない。

そこで、現在位置から 180° 回転し、もう一度計測を行い (Fig.9)、その位置で自己位置推定を行った (Fig.10)。



回転後の計測においても、現在位置候補が複数になった。しかし、回転前後の現在位置候補の組み合わせとその位置関係において、 180° 回転したことを考慮すると、現在位置を 1ヶ所に絞ることができる。このように、1回で現在位置を推定できない場合でも、移動を行いその位置における計測データを用いることで、現在位置を推定可能となった。

5. 結論

本研究では、レーザレンジファインダを搭載した移動ロボットを用いて地図生成及び自己位置推定を行う手法を提案した。今回の実験から、ICP アルゴリズムに基づいた方法で地図生成を行うことの有効性を確認できた。また、本研究の手法を用いて自己位置推定を行えることが確認できた。

今後の展望としては、より高速で効率の良い手法[3]の導入、2次元ではなく3次元の地図の生成などが挙げられる。

文 献

- [1] 友納正裕：“スキャンマッチングによる移動ロボットのマップ構築と大域的自己位置推定”，第9回ロボティクスシンポジウム講演予稿集，1B2，pp.32-37 (Mar. 2004)
- [2] P. J. Besl and N. D. McKay：“A Method for Registration of 3-D Shapes”，IEEE Trans. on PAMI，14, 2, pp.239-256 (Feb. 1992)
- [3] Sebastian Thrun：“Robotic Mapping: A Survey”，CMU-CS-02-111 (Feb. 2002)