

屋内利用を想定した自律移動ロボットの研究 —群知能アルゴリズムを用いた移動経路の最適化—

○小室 優也*¹ 入江 寿弘*²
新宮 清志*³

キーワード：自律移動ロボット 深度センサー 群知能アルゴリズム

1. はじめに

従来のロボットは工場などの整備された環境で単調な仕事をこなすために使用されるケースが殆どであった。工場などで用いられる産業ロボットのように、限られた活動範囲で同じ作業を繰り返すのであれば、人間が事前に入力した命令を繰り返し実行することで成果を上げることが可能である。

しかし、近年ロボットは多様な場所用途での活躍が期待されるようになった。さらに、要求される内容も単調なものだけでなく複雑になり、動作環境も工場など整備されている既知環境だけではなく、掃除ロボットや介護ロボットなどのように絶えず物が移動する環境や災害現場のように環境が変化してしまった場所、活動場所の地図が存在しない未知環境も含まれるようになった。このような多様な用途・環境で活動する場合、人間が全ての状況を考慮した命令をロボットに事前に与えることは困難であるため、ロボットが自身の判断で動作することが可能な自律ロボットの研究が進められている。

本研究では屋内環境を前提に、外界センサーとして深度センサーを用いて SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) と呼ばれる障害物情報と自身の位置情報を同時に取得する技術を用いることで環境地図を作成し、環境地図から安全で最適な移動経路を生成する移動ロボットの開発を目指す。

2. 研究目的

本稿では、Microsoft 社の Kinect for Windows v2 センサー(以下 Kinect v2 と略す)とロータリエンコーダを用いて SLAM を行い環境地図の作成を行う。さらに、移動経路の生成をおこなうために SLAM で作成した環境地図に ABC(Artificial Bee Colony : 人工蜜蜂コロニー)アルゴリズム

を用いる方法の検討を行う。

3. 移動ロボットの概要

図-1 に本研究で使用した車輪型自律移動ロボットの外観を示す。周辺の情報を測定する外界センサーとして Kinect v2 を前方に、ロボットの両輪付近にはデッドレコニングにより自己位置・姿勢を推定するために車輪軸直結のロータリエンコーダ、機体上部には制御用のノート PC を搭載している。



図-1 移動ロボットの外観

4. 深度センサーを用いた環境地図の作成

4.1 深度センサー

深度センサーとは、図-2 のような空間の 3 次元情報を取得し図-3 のようにセンサーから対象物までの深度を測定するセンサーである。また、深度センサーから取得した深度情報を画素値に置き換えることで図-4 の様な深度画像を表示することが可能である。

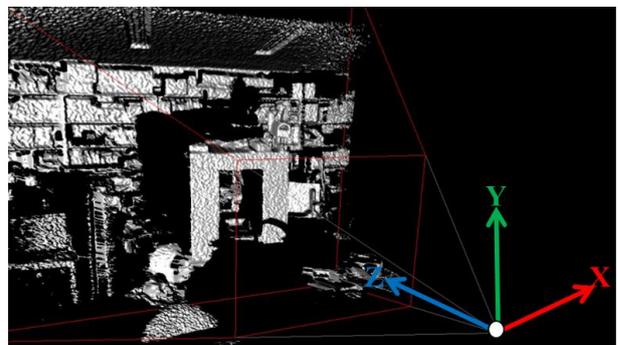


図-2 3次元情報

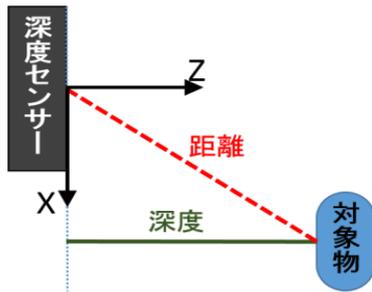


図-3 深度と距離の違い

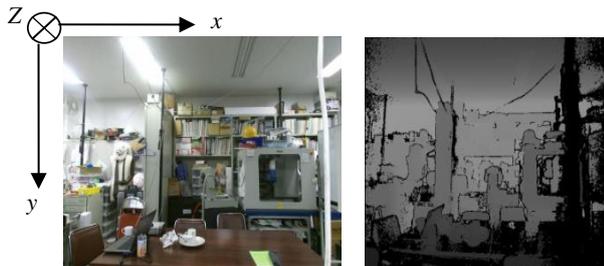


図-4 RGB画像(左)と深度画像(右)の比較

4.2 Kinect v2 センサー

Kinect v2 は NUI(Natural User Interface)デバイスであり、深度センサーを構成する赤外線プロジェクターと赤外線カメラや RGB カメラ・マルチアレイマイクロフォンなどを搭載している。また、これらの構成要素を扱うライブラリが公開されており、容易にロボットシステムに組み込むことが可能である^{1,2)}。



図-5 Kinect for Windows v2

4.3 環境地図の作成

環境地図の作成は図-2 の様な 3 次元空間の情報とロータリエンコーダからの回転数情報を用いたオドメトリによる位置・姿勢推定することにより行う。また、環境地図はロボットの高さから接触する可能性のある障害物だけを検出し 3 次元座標情報を 2 次元座標情報に変換したものをを用いる。

実験を行った環境を図-6、概略図を図-7(上)に示

す。また、概略図上の赤い矢印は環境地図作成の際に移動ロボットが移動した軌跡である。



図-6 実験環境

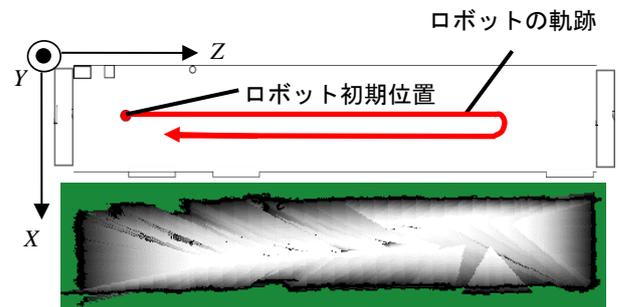


図-7 実験環境の概略図(上)と実験結果(下)

Kinect v2 の Z 軸を正面として左手系座標に合わせてデッドレコニングのオドメトリを用いてマッピングした結果は図-7(下)のようになる。実験結果の黒色が障害物の位置、灰色の部分が障害物に近いほど濃くなるグラデーション、白色が障害物の存在しない場所、緑色が未知領域となっている。図-7 の上下を比較すると細かな違いはあるがマッピングが出来ていることが分かる。しかし、本来なら障害物が存在しない場所に黒い点が存在している。また、移動ロボットが旋回を行った箇所にズレが生じてしまっている。これは、測定時に発生した誤差が原因と考えられるので対策を検討する必要がある。

5. 最適経路生成

移動ロボットを安全に目標位置まで到達させるためには、環境地図から障害物に接触しない経路を生成する必要がある。本章では、環境地図を用いて現在位置から目標位置までの安全で効率的な経路を生成する手法を検討する。

5.1 ABC アルゴリズムを用いた経路生成

(1) ABC アルゴリズム

ABC アルゴリズムは、群知能アルゴリズムの 1 種で蜜蜂の群れが採餌を行う際の行動を模倣したものであり餌場と 3 種類の蜜蜂群 Employed Bees(EB), Onlooker Bees(OB), Scout Bees(SB)を基本構成要素としてモデル化

されたものである³⁾。蜜蜂群の概要は以下のようになっている。

• EB

各蜜蜂がそれぞれ1つの餌場に関連付けられており、関連付けられた餌場の近傍でより高い餌場を探索する。

• OB

EBによって、得た情報を基に他よりも相対的に評価の高い餌場の近傍を集中的に探索する。

• SB

EB, OBの探索においてある設定した探索回数の間一度も更新されなかった餌場が存在した場合、EBは対応関係にある餌場の位置を大きく移動させる。

(2) 移動経路への応用方法

ロボットの移動経路を生成するために、本研究では黒を0, 白を1に2値化した環境地図を使用する。環境地図上には図-8のようにEBと餌場の組とロボットが現在の位置から目標位置まで移動する経路の中継地点を、乱数を用いて配置する。中継地点 $p_i(x_i, y_i)$ は任意の数 n 個として設定する。このとき、 i の範囲は $i=1, 2, \dots, n$ である。

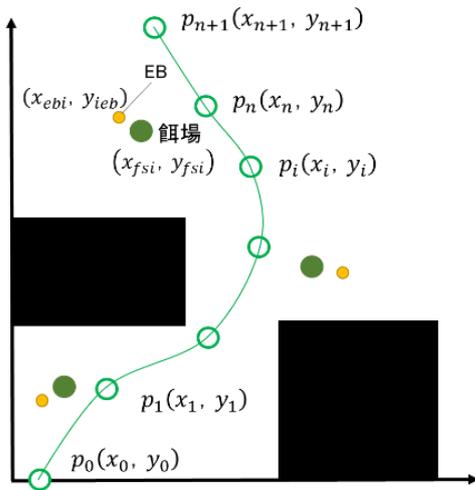


図-8 ABCによる経路生成手法

また、ロボットの現在位置を $p_0(x_0, y_0)$ 、目的位置を $p_{n+1}(x_{n+1}, y_{n+1})$ とする。EBは式(1)の評価式を基にして探索を行い、最良解が更新されたとき餌場の位置をEBの位置に移動する。

$$f_{ebi}(x_{ebi}, y_{ebi}) = G \times \sum_{x=-x_j}^{x_j} \sum_{y=-y_j}^{y_j} \{Image(x_{ebi} + x, y_{ebi} + y) \times Gauss(x, y)\} \quad (1)$$

Gauss(x, y)

$$= \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(x+x_j)^2 + (y+y_j)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

Image(x, y)は2値化した環境地図の画素ごとの輝度値、 (x_{ebi}, y_{ebi}) は $i=1, 2, \dots, n_{be}$ の数字を割り当てたEBの環境地図上の座標となっている。式(1)はEBの周辺に障害物が存在するとき、障害物との距離に応じて値が大きくなるように式(2)のガウスイルタ⁴⁾と輝度値を掛け合わせた値に重み定数Gを掛け合わせたもので、この値がそれまでの餌場ごとの最良解の値より小さくなったときに餌場の座標が更新される。また、今回は $x_j \cdot y_j=40[\text{pixel}]$ に設定した。

移動経路の更新は個々のEBが更新された際、そのEBが経路の各中継地点と入れ替わったときの評価をし、移動経路の最良解が更新されたとき中継地点の位置をEBの位置に移動する。そのときの、評価式は次のようになる。

$$f(p_i) = A + B + C \quad (3)$$

$$A = a \sum_{i=1}^{n+1} |\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} - average| \quad (4)$$

$$B = b \sum_{i=1}^{n+1} \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} \quad (5)$$

$$C = c \times \sum_{x=-x_j}^{x_j} \sum_{y=-y_j}^{y_j} \{Image(x_i + x, y_i + y) \times Gauss(x, y)\} \quad (6)$$

式(3)はA(中継地点間の等価性)、B(移動距離)、C(中継地点付近の障害物の割合)によって移動経路の評価を行う。式(4)のaverageは中継地点間の距離の平均で、式全体では各中継地点間が等距離に近づくほど値が小さくなる。式(5)は、中継地点間を直線で結んだときの距離の合計を表している。式(6)は式(1)と同様のもので、重み定数であるcは今回式(1)のGと同じ値を使用した。

また、移動経路の最適化を行う際に試行回数を重ねると局所解に収束しそれ以上の更新が行われなくなる。それを回避するために本研究では移動経路を構成する中継地点が更新されなかった回数を記録し、それが一定以上に達したとき、周囲に乱数を用いて再配置するSBと同様の操作を行った。

(3) ABCアルゴリズムによる移動経路の最適化

黒色の座標を障害物が存在するものとした図-9のような環境地図上に、乱数を用いて移動経路の中継地点になる餌場と独立したEBと餌場の組を配置する。

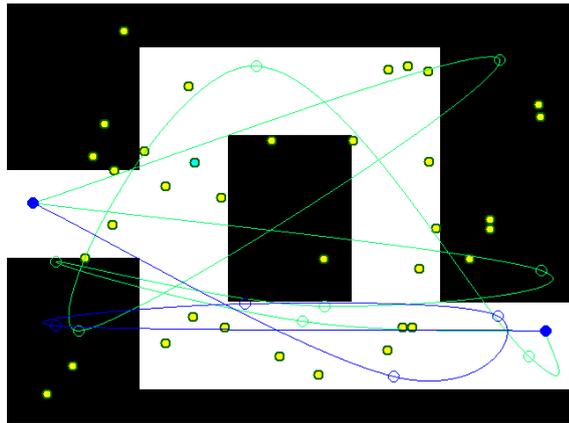


図-9 乱数を用いた初期配置

図-9にABCアルゴリズムを用いることで最適化を行った結果が図-10である。

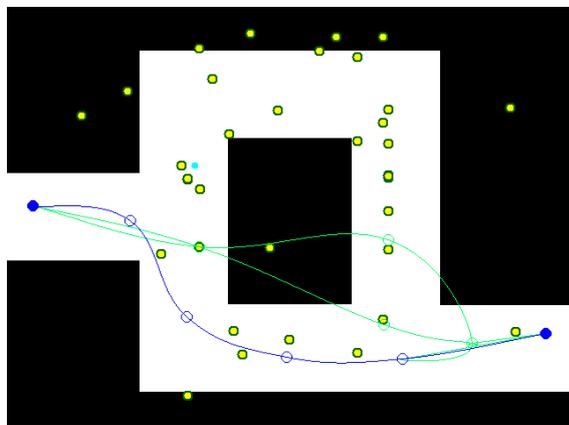


図-10 経路の生成結果

このときの、青色の線が試行全体を通しての最良解、黄緑色の線が探索を行っている経路である。図-10を見れば分かるように最良解は障害物に接することなく、実際にロボットが走行する際に急な方向変換を必要としない安全で移動効率の良い経路の生成に成功した。しかし、今回の方法では障害物が存在しない白色の場所の幅が一定ではないときや、複雑な環境地図の場合、安全に移動できない場所や無駄な移動をする必要とする場所が発生してしまう問題がある。これを回避するために、今後は評価式や更新方法の検討を行う必要がある。

6. まとめ

深度センサーを用いて3次元空間情報を所得し、2次元座標に変換することで環境地図の作成を行った。また、ABCアルゴリズムを用いてロボットの移動経路を最適化する手法の検討を行った。

環境地図の作成では、大まかな形状の再現は可能であるが、一部障害物が存在しない場所に障害物を検出している。これは、すべりによる誤差等が考えられるので、位置推定の補正方法を検討する必要がある。

経路生成では、今回の更新方法・評価式では複雑な環境地図や障害物が存在しない場所の面積が一定ではない環境地図に対応することが出来ないため評価式や更新方法の検討を行う必要がある。

[参考文献]

- 1) 小室優也, 入江寿弘, 新宮清志 他: 深度センサーを用いた自律移動ロボット-ロボットの運動特性を考慮した効率的な最適経路生成-, 計算工学講演会論文集 vol.21, pp.1 - 6, 2016.
- 2) 小室優也, 入江寿弘, 新宮清志 他: 深度センサーを用いた自律移動ロボットの研究, ファジィシステムシンポジウム論文集 31, pp1 - 4, 2015.
- 3) 宇谷明秀, 入江寿弘, 新宮清志 他: 建築・都市・環境デザインのためのモデリングと最適化技術, 日本建築学会編, 丸善, pp96 - 104・pp.115 - 117, 2015.
- 4) 清水雅夫, 奥富正敏 他: デジタル画像処理, CG - ARTS 協会, pp.106 - 108, 2004.

-
- *1 日本大学大学院 理工学研究科 精密機械工学専攻院生
 - *2 日本大学 理工学部 精密機械工学科 教授 博士(工学)
 - *3 日本大学 名誉教授 工学博士, 総合資格学院 顧問