

自律移動ロボットの経路探索

Route Planning Method for Autonomous Mobile Robots

松田 日嘉†

Hiyoshi Matsuda

浮田 浩行‡

Hiroyuki Ukida

1. まえがき

近年、多種多様な自律移動ロボットが開発されており、その移動方法としては様々な方法が考案されている。本研究では装置の単純化、小型化を考え、3眼ステレオカメラの距離画像を用い、ある地点から別の地点にある目標点まで移動するロボットを考える。このロボットが経路地図を作成し、自律的に行動する方法を検討する。

2. 経路地図構築と自律移動方法

2.1 実験装置

経路地図構築では Point Gray Research 社 3 眼式カメラ「Triclops」を用いる。実験はアームロボットにカメラを取り付け、その移動範囲内で障害物検出、経路探索を行う。ここで、ロボットは前後、左右、斜め方向の合計 8 方向へ移動できるものとする。

2.2 2次元経路地図構築方法

まず、3眼カメラによって検出範囲内におけるカメラから障害物までの距離を計測し 3次元座標 (X_p, Y_p, Z_p) を得る。次に、障害物の範囲を表すためにボクセル座標系に変換する。これで得た座標を 2次元画像上に投影する。以上の処理を、ロボットを移動させながら繰り返すことによって 2次元経路地図を作成する。

2.2.1 ステレオ法による3次元座標の算出

ステレオ法の基本的な原理は 3角測量である。本実験では 3眼カメラを用いるが、まず水平方向の 2台のカメラについて説明する。シーン上の求めたい座標と 2組のカメラ中心の座標で構成される 3角形の幾何学的配置により以下の式が成立する。ただし、 f は焦点距離 [pixel]、 b は基線長 [m]、 d は視差 [pixel] である。添え字 h は水平方向、 l 、 r は左右の画像を示す。

$$X_h = \frac{b_h(X_l + X_r)}{2d_h}, \quad Y_h = \frac{b_h(Y_l + Y_r)}{2d_h} \quad (1)$$

$$Z_h = \frac{b_h f}{d_h}, \quad d_h = (X_l - X_r) \quad (2)$$

また、3眼カメラを用いることで水平方向のカメラでは見えない特徴を垂直方向のカメラで捉え、計測不能箇所を削減すると共に精度の向上を図っている (Fig.1)。

2.2.2 ボクセル座標系の定義

ボクセル座標系 (Fig.2) とは、検出領域を一定の大きさの直方体 (voxel) に区切った 3次元座標系のことである。また、各ボクセルには、その範囲内で検出した座標点の個数に応

じた値が代入されるとする。次に、ボクセルデータの作成手順を示す。Fig.2 にカメラとボクセル座標系の関係を示す。

- (1) ボクセル (i, j, k) に存在する座標点をカウントする。
- (2) ボクセル (i, j, k) のカウント数を元に次の式のようにボクセル値を求める。ただし M は全ボクセルにおけるカウント数のほぼ最大値に相当する値である。

$$V(i, j, k) = \frac{\text{ボクセル}(i, j, k) \text{ のカウント数}}{M} \quad (3)$$

- (3) 時間に対してボクセル値を積算し、その平均値を求め、ボクセル値の信頼度を高める。

2.2.3 経路地図の作成と全体地図の更新

ボクセル中の物体が存在するボクセルを (X, Z) 平面に投影することで、検出範囲の物体領域と移動可能領域は容易に判別することができる。次に全体地図作成の手順を示す。

- (1) ボクセル値にしきい値を設け、物体が存在する可能性が高い座標についてボクセルデータ 3次元座標系から 2次元の新規経路地図を作成する。
- (2) 新規経路地図を、別に用意する全体領域を表す全体経路地図に書き出す。
- (3) ロボットを移動させながら (1)、(2) を繰り返し全体経路地図を作成する。

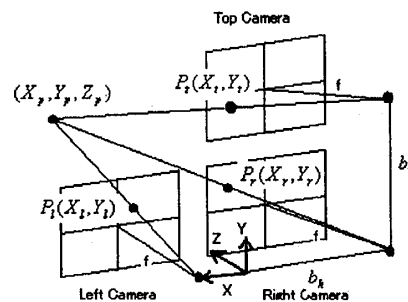


Fig. 1 Image and world coordinate systems of the Triclops

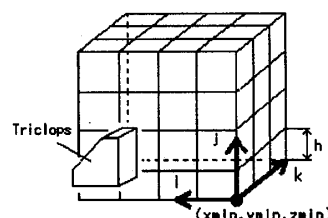


Fig. 2 Triclops and voxel coordinate system

2.3 経路探索

ロボットが出発点から目標地に向かって自律的に最短距離で移動するためのアルゴリズムについて説明する。

† 徳島大学大学院工学研究科

‡ 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部

本研究では、ロボットを移動させる際、報酬の概念を用いた移動方向の選択を行わせる。これは目標地に近づけばロボットに報酬を与えるものである。逆に目標地から遠ざかったり、障害物に衝突する方向などはペナルティを課し報酬を少なくする。ロボット自身は多くの報酬を得ようと行動するため、結果として徐々に目標地へ近づいてゆく。Table.1に各報酬とペナルティを示す。次に具体的なロボットの動作手順について示す。

Step.0 初期状態のロボットは自分の位置と目標地の位置だけを情報として持っているとする。

Step.1 ロボットはまず自分の周りを見回し 2. 2 の方法でロボットの周囲の経路地図を作成する。

Step.2 ロボットの移動する経路を報酬の大小によって選択させる。しかし常に Table.1 の第1式によって報酬が得られる経路へ進めるとは限らない。そのような場合、ロボットは仮想経路探索を行い適切な経路を判断する。

Step.3 目標地に到達するまで Step.1~2 を繰り返す。

Step.2 における仮想経路探索とはロボットがその時の自己位置から目標地まで、それまでに構築してきた全体地図上で、8方向のうち報酬の高い2方向を候補として経路を探索し、より適切な経路を選び出すものである。Fig.3に仮想経路探索の例を示す。Fig.3において経路(a)の方が目標地まで短距離であるためロボットは経路(a)の2歩目を適切な移動方向と判断する。

3. 実験

3. 1 実験環境

Fig.4 (a) は実際の実験環境を示す。出発点と目標点をロボットに与え、2次元経路地図を構築しながら障害物を回避し、自律的に進ませる。Fig.4 (b) は出発点と目標点の領域を与えた初期全体地図図である。

3. 2 2次元経路地図作成の結果

3眼ステレオ法によって得た3次元座標 (Xp,Yp,Zp) をボクセル座標に変換する。Fig.5はある位置のカメラと障害物の例を示す。Fig.6はこの位置での入力画像のひとつである。Fig.7は新規経路地図である。白色が障害物を示している。これを全体地図図に更新する。

3. 3 自律移動と仮想経路探索の結果

Fig.8はFig.4の状況で経路を探索し、出発点から目標点まで到達したときの最終的な全体経路地図である。

Fig.4 (a) をみると、出発点でのカメラの前には障害物は存在しないが、Fig.8では障害物を検出している。これは入力画像にノイズが入り計測距離を誤ったことや、遠くの物体の距離計測を誤って近くに存在すると認識したためと考えられる。

4. むすび

本研究では、3眼カメラによるステレオ法で得られた距離情報から報酬を用いた経路探索によって、障害物領域と移動可能領域の2次元地図を作成し、ロボットを目標地まで移動させる方法について検討した。今後は、ロボットの

ある位置での入力画像と、全体地図の中の各位置における画像との関係を元にロボットの自己位置を推定する手法を取り入れていく予定である。

Table.1 Reward and penalties

番号	条件	報酬とペナルティ
1	ロボットが支障なく進む	100/L-L
2	障害物にぶつかる	-1000
3	範囲外にでる	-1000
4	一度通った経路を進む	-250
5	連続で最短方向に進めない	-100

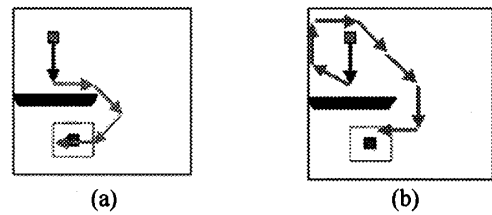


Fig. 3 Virtual searches in the map.

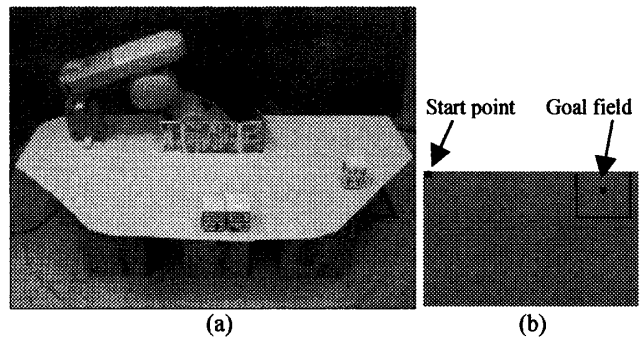


Fig. 4 Experimental Situation.

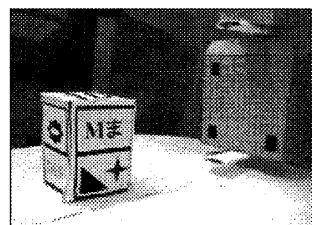


Fig. 5 Obstacle

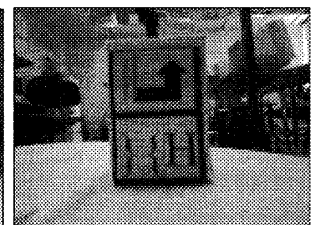


Fig. 6 Input image

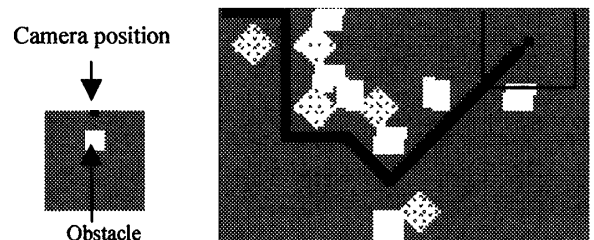


Fig. 7 2D local map

Fig. 8 Result of routing map.

参考文献

[1] 奥富正敏他:デジタル画像処理, CG-ARTS 協会(2006)
 [2] 谷口慶治:画像処理工学, 共立出版株式会社(1996)
 [3] 三上貞芳, 皆川雅章:強化学習, 森北出版株式会社(2000)