

複数ランドマーク観測戦略を用いた ステレオカメラ搭載二足歩行ロボットの誘導

町田 直人 喜多岡 雅明 山下 淳 金子 透

静岡大学工学部 〒432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

E-mail: {f0710119,f0930025,tayamas,tmtkane}@ipc. shizuoka.ac.jp

あらまし 二足歩行ロボットが作業を実現するためには目的地までの誘導が必要となる。本研究では二足歩行ロボットが周囲の環境を認識し、経路の計画を行い、目的地までの移動を実現する手法を提案する。本研究では二足歩行ロボットにステレオカメラを搭載し、ランドマークを観測することで二足歩行ロボットの位置・姿勢を推定する。また、ステレオカメラより得られた周囲の環境情報からグリッドマップを作成し、経路の計画を行う。

キーワード 二足歩行ロボット, ステレオカメラ, ランドマーク, 位置姿勢推定, 経路生成

Navigation of Biped Robot Equipped with Stereo Camera Based on Landmark Observation Strategy

Naoto MACHIDA Masaaki KITAOKA Atsushi YAMASHITA Toru KANEKO

Faculty of Engineering, Shizuoka University 3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8561, Japan

E-mail: {f0710119,f0930025,tayamas,tmtkane}@ipc. shizuoka.ac.jp

Abstract A biped robot needs navigation to the destination in order to achieve its task. This paper presents a method by which a biped robot recognizes its surrounding environment, plans the path to the destination, and moves there. The position and the posture of the biped robot are calculated by landmark observation with a stereo camera system installed on the robot. In order to make it possible for the robot to execute path planning, a grid map is generated by using the surrounding environment information obtained from the stereo camera images.

Keyword Biped Robot, Stereo Camera, Landmark, Localization, Path Planning

1. 序論

現在人間が移動しやすいように整備された住居やオフィス内で、自律して代行作業を行うロボットが期待されている。例として、施設内に侵入した不審者を追跡するロボット、警備を行うロボット、家庭の中で家事や介護をするロボットなどが挙げられる。このような複雑な環境で行動する手段として二足歩行ロボットの研究が盛んに行なわれている。

二足歩行ロボットが作業を実現するためには目的地までの誘導が必要となる。その手法として、我々は二足歩行ロボットに搭載したステレオカメラによって周囲環境を認識し、ロボットが段差や障害物を回避して目的地まで到達する手法を提案した[1]。

このとき、物体の色情報によって観測した物体が床面、段差、障害物のいずれであるかを判断した。しかし、色情報で物体の判別ができるとは限らない。そこで本研究では観測した物体の距離情報を利用して環境を認識し、二足歩行ロボットを目的地まで誘導する手法を提案する。

また、ロボットを目的地まで誘導するためにはロボットの位置姿勢を知る必要がある。[1]では位置姿勢推定にランドマークを利用していた。その際、複数のランドマークが観測される可能性も存在するが、その場合には二足歩行ロボットに最も近いランドマークを選択していた。しかし、複数のランドマークの情報を利用することで位置姿勢推定精度の向上が期待できる。そこで、本研究では複数のランドマークを利用した位置姿勢推定法の構築を行う。

その際、観測したランドマークが環境中のどの位置に存在するランドマークなのか判断しなければならない。そこでランドマークの内部には羽原ら[2]のように種類判別を行うための領域を設ける。

2. 本研究での問題設定

本研究で提案する手法の前提条件は以下の通りである。

- (1) 二足歩行ロボットが移動する環境に存在する物体は、床面（二足歩行ロボットが移動可能な面）、段差（二足歩行ロボットが乗り越えられ、歩行可能

な平面で、床面からの高さ一定)、壁面(二足歩行ロボットが通過できない、床面に対して垂直な面)、ゲート(二足歩行ロボットが通過可能な空間)の4種類とし、それぞれ物体表面にはテクスチャが張られている。

- (2) 環境中に位置と大きさが既知の特徴点(ランドマーク)が存在する。
- (3) 位置姿勢を推定する際、ステレオカメラは地面と水平の状態を保つ。

(1)の条件より、二足歩行ロボットは環境上に存在する物体の距離情報を取得し、グリッドマップを作成することで周囲環境を表現する。これにより、どの位置に床面、段差、壁面、ゲートが存在するか判断できる。

(2), (3)の条件より、二足歩行ロボットは自身の位置姿勢を推定することができる。

3. 処理の概要

本手法の処理の流れを説明する(図1)。

まず、二足歩行ロボットに搭載したステレオカメラにより左右の画像を取得する。取得した画像からランドマークを抽出し、二足歩行ロボットの位置姿勢推定を行う。また、周囲の床面や壁面までの距離を取得し、グリッドマップを作成する。

そして、取得した二足歩行ロボットの位置姿勢とグリッドマップより、目的地までの経路と二足歩行ロボットが行うべき動作を選択し、実行する。

この手順を、二足歩行ロボットが目的地に到達するまで繰り返す。

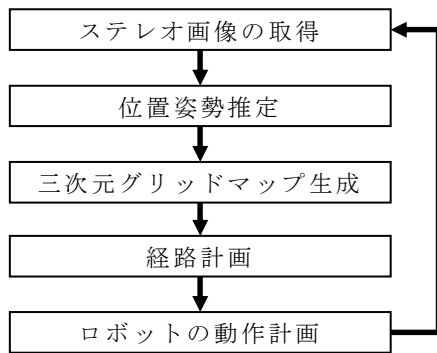


図1 処理手順

4. 位置姿勢推定

4.1. ランドマーク

本手法における二足歩行ロボットの位置姿勢推定には図2に示したランドマークを用いる。ランドマークは黒色の正方形内部に種類判別用領域(図2中の1~4の番号が与えられている領域)を持つ。その4つの種類判別用領域をそれぞれ白色もしくは黒色で塗りわけ、色の配置からランドマークの種類を判別する。

使用するランドマークの例を図3に示す。



図2 ランドマーク

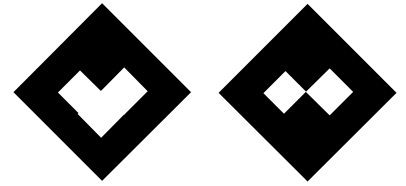


図3 ランドマーク例

4.2. 画像中のランドマークの座標取得

ランドマークの抽出の概略図を図4に示す。

二足歩行ロボットに搭載したステレオカメラにより左右1枚ずつ画像を取得する。取得した画像(図4(a))を二値化し、画像中の黒色領域の抽出を行い(図4(b)), 領域の形状からランドマークか否かを判断し、ランドマークの黒色領域のみを取得する(図4(c))。

そして、ランドマークの外周部の4つの頂点と中心(図4(d)中の灰色の5点)の画像中での座標を取得する。ランドマークの中心の座標は左右の頂点を結んだ直線と上下の頂点を結んだ直線の交点の座標とする。

また、ランドマーク中の4つの種類判別領域の中心(図4(e)中の4点)の色から、観測したランドマークの種類を判別を行う。

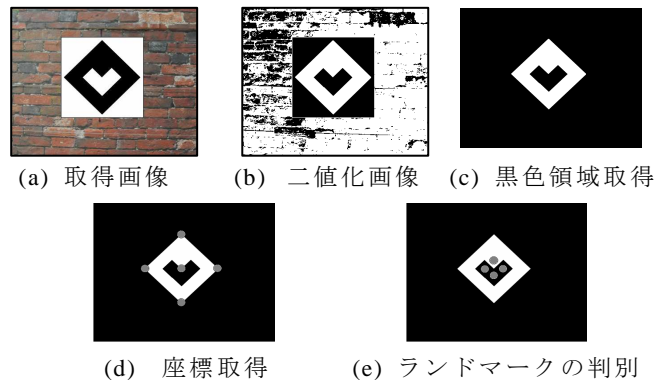


図4 ランドマークの抽出

4.3. ランドマークの三次元座標の取得

左右の画像両方で観測されたランドマークに対して三角測量を行い、カメラ座標系でのランドマークの頂点と中心の三次元座標を取得する。

4.4. 二足歩行ロボットの位置姿勢推定

図5に姿勢推定の概略図を、図6に位置推定の概略図を示す。

姿勢推定にはランドマークの4つの頂点を利用する。複数のランドマークが観測されている場合は二足歩行ロボットに一番近いランドマークと同一の壁面に存在しているランドマークの頂点を利用する(図7)。

まずカメラ座標系でのランドマークの存在する平面を表す式を求める。 n 個のランドマークが姿勢推定に利用できるとき、得られた点の座標を (x_{Ci}, y_{Ci}, z_{Ci}) ($i=1, 2, \dots, n$)とし、求める平面の式を $ax+by+cz=1$

と置くと a, b, c は次式より求めることができる。

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^n (ax_{C_i} + by_{C_i} + cz_{C_i} - 1)x_{C_i} = 0 \\ \sum_{i=0}^n (ax_{C_i} + by_{C_i} + cz_{C_i} - 1)y_{C_i} = 0 \\ \sum_{i=0}^n (ax_{C_i} + by_{C_i} + cz_{C_i} - 1)z_{C_i} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

次にランドマークの存在する平面と二足歩行ロボットがなす角度 β を求める。式(1)で求めた平面は、 $X_C Y_C$ 平面上では $ax+by=1$ と表すことができる。角度 β とはこの直線と X_C 軸のなす角度とみなすことができるので、 β を求める式は以下ようになる。

$$\beta = \pi + \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2)$$

このときの角度 β と既知であるランドマークの姿勢 α から二足歩行ロボットの姿勢 θ を次式より求めることができる。

$$\theta = \alpha + \beta \quad (3)$$

二足歩行ロボットの位置の算出にはランドマークの中心を利用する。三角測量によって求めたカメラ座標系でのランドマーク中心の座標より二足歩行ロボットからランドマーク中心までの三次元ベクトル \mathbf{r}_c が求まる。ただし \mathbf{r}_c はカメラ座標系のベクトルなので θ を用いて世界座標系の三次元ベクトル \mathbf{r}_w へ変換する。

ベクトル \mathbf{r}_w と既知であるランドマーク中心の世界座標系での位置を表す三次元ベクトル \mathbf{q}_w より、二足歩行ロボットの世界座標系での位置を表す三次元ベクトル \mathbf{p}_w は次式によって求めることができる。

$$\mathbf{p}_w = \mathbf{q}_w - \mathbf{r}_w \quad (4)$$

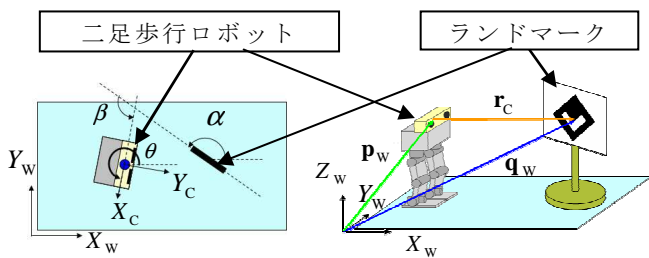


図5 姿勢推定

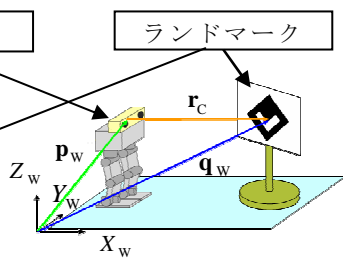


図6 位置推定

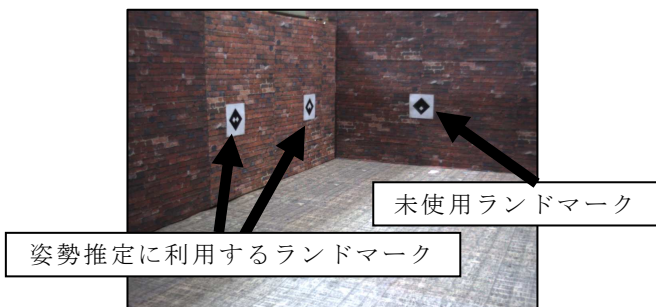


図7 ランドマークの選択

5. 三次元グリッドマップ生成

ステレオカメラにより左右の画像を取得し (図 8), 物体までの距離情報から三次元地図を生成する (図 9). 作成した三次元地図を一定の大きさのグリッドで区切り, 各グリッドに含まれる計測点の数を数え, 一定数以上計測点が存在した場合, そのグリッドには物体が存在していると判断し, 周囲の環境をグリッドで表現する. 図 9 から三次元グリッドマップを作成したものが図 10 になる.

1 回の計測では二足歩行ロボットには計測できない領域が存在する. そのような領域は二足歩行ロボットが移動することにより計測できるようになる場合がある. そこで, 過去に作成した三次元グリッドマップと新しく作成した三次元グリッドマップを統合することで, たとえ最初は目的地が観測できない場所に二足歩行ロボットが存在しても, 目的地まで誘導することが可能となる.

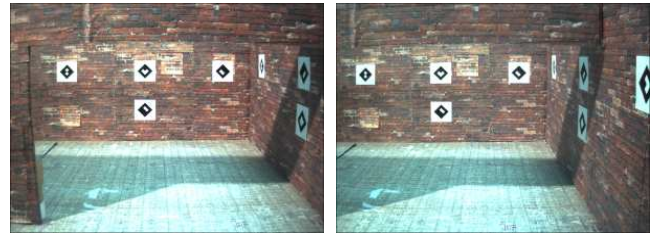


図8 周囲環境の取得

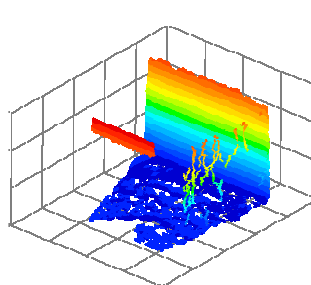


図9 三次元地図

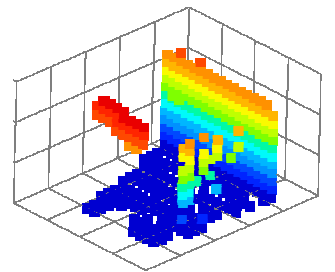


図10 三次元グリッドマップ

6. 経路計画

二足歩行ロボットが目的地に到達するまでの経路の作成を行う。

まず, 三次元グリッドマップを二次元グリッドマップに投影する (図 11). その際, 三次元グリッドマップ中での各グリッドの位置に応じて, それぞれのノードを床面, 段差, ゲート, 壁面, 未計測領域のいずれであるか定義する. 次に, グリッドをグラフのノードとし, 各グリッド同士の関係をアークとして結ぶことで二次元グリッドマップをグラフとして表現する (図 12).

アークには結ばれたノード同士の関係に応じたコストを与え, A*探索[3]を行うことで現在位置から目的地までのコストの合計が最小となる経路を求めるこ

とができる。

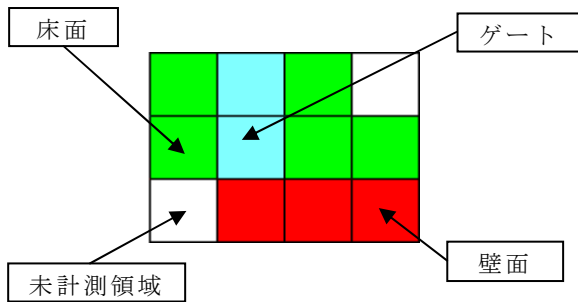


図 11 二次元グリッドマップ

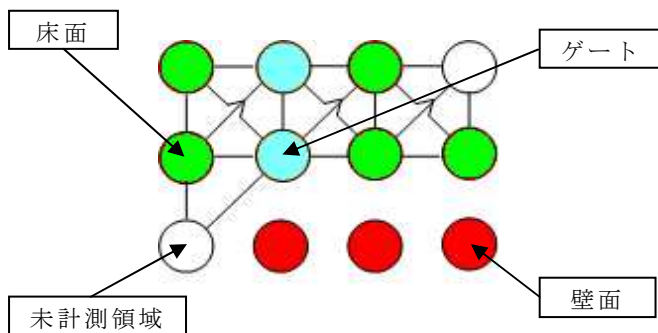


図 12 グリッドマップのグラフ化

7. 実験

7.1. 実験環境

図 13 に示す環境で二足歩行ロボットの誘導を行った。横幅 140cm, 奥行き 180cm の環境中に壁面を配置した。図 13 中の×印が目的地を表し、目安として目的地を中心に半径 10cm の破線の円を描いた。

ステレオカメラには Bumblebee2 (ViewPlus 社製) を使用し、二足歩行ロボットには e-nuvoWALK ver.2 (ZMP 社製) を使用した。

使用したランドマークは一辺 4cm の正方形であり、種類の判別に用いる内部の領域は一辺 1cm の正方形 4 つで構成されている。

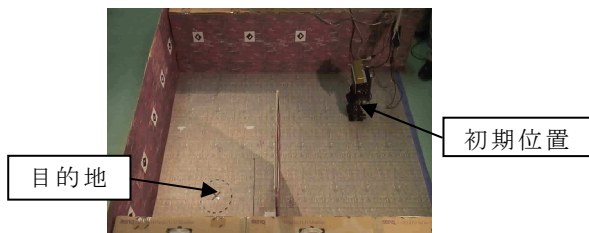


図 13 実験環境

7.2. 二足歩行ロボットの誘導実験

二足歩行ロボットの誘導実験の結果を図 14 に示す。図 14 は作成したグリッドマップを上から見た図 (左図) とそのときの二足歩行ロボットの様子 (右図) を表している。図 14 の(a)は実験開始直後、(b)は壁を回避した後、(c)は目的地到達時の計測結果である。

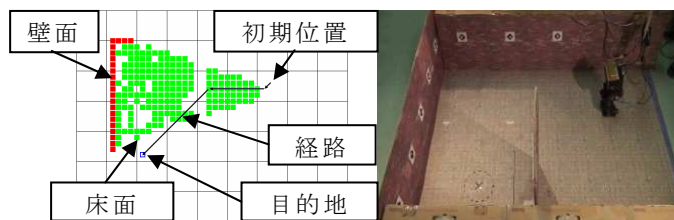
誘導を行った結果、二足歩行ロボットは目的地を中

心とした半径 10cm の破線の円の中に入ることができた。

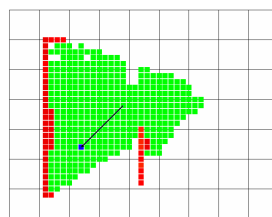
8. 結論

本研究ではランドマークを用いた位置姿勢推定と、グリッドマップ作成による二足歩行ロボットの誘導法を提案した。また、実験により本研究で提案した手法により二足歩行ロボットが目的地に到達できることを確認できた。

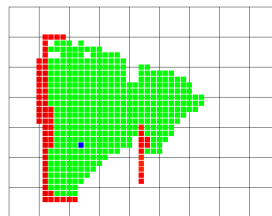
今後は、本研究では考慮していない曲面や斜面の存在する環境への対応、ロボットが転倒したときの対処などの課題を解決する必要がある。



(a) 壁面の回避 (初期位置)



(b) 壁面の回避 (経路途中)



(c) 壁面の回避 (目的地到達時)

図 14 実験結果

文 献

- [1] M. Kitaoka, A. Yamashita, and T. Kaneko: "Obstacle Avoidance and Path Planning Using Color Information for a Biped Robot Equipped with a Stereo Camera System", Proceedings of the 4th Asia International Symposium on Mechatronics, WP1-B-3, pp.38-43, (2010).
- [2] 羽原寿和, 町田貴史, 清川清, 竹村治雄: "ウェアラブル PC のための画像マーカを用いた広域屋内位置検出機構", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.28, No.7, pp.77-82, (2004).
- [3] D. M. Bourg and G. Seemann, AI For Game Developers, O'Reilly Japan, Inc., (2005)